

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA

TESE DEFENDIDA POR JOSÉ INACIO

SALIS

PELA COMISSÃO JULGADORA EM

E APRESENTADA EM
29 / 07 / 11

ORIENTADOR

Prof. Jeerson de Oliveira Gomes
Coord. CCM / NEM / ITA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

JOSÉ INACIO SALIS

**Método de apoio à tomada de decisão entre
processos de manufatura e remanufatura de
componentes dos sistemas de suspensão
veiculares automotivos**

Campinas, 2011.

JOSÉ INACIO SALIS

**Método de apoio à tomada de decisão entre
processos de manufatura e remanufatura de
componentes dos sistemas de suspensão
veiculares automotivos**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
Profissional da Faculdade de Engenharia
Mecânica da Universidade Estadual de
Campinas, como requisito para a obtenção do
título de Mestre em Engenharia
Automobilística.

Área de concentração: Manufatura

Orientador: Prof. Dr. Eng. Jefferson de Oliveira Gomes

Campinas
2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Sa34m Salis, José Inacio
Método de apoio à tomada de decisão entre processos de manufatura e remanufatura de componentes dos sistemas de suspensão veiculares automotivos / José Inacio Salis. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Jefferson de Oliveira Gomes.
Dissertação de Mestrado (Profissional) -
Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Manufatura. 2. Automóveis - Molas e suspensão. 3. Automóveis - Peças. 4. Avaliação de ciclo de vida. 5. Desdobramento da função qualidade. I. Gomes, Jefferson de Oliveira. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Method of supporting decision-making between processes of manufacturing and remanufacturing of components of automotive suspension systems

Palavras-chave em Inglês: Manufacturing, Automobiles - Springs and suspension, Automobiles - Parts, Life cycle assessment, Quality function deployment

Área de concentração: Manufatura

Titulação: Mestre em Engenharia Automobilística

Banca examinadora: Anderson Vicente Borille, Luiz Gonzaga Trabasso, Jefferson de Oliveira Gomes

Data da defesa: 29-07-2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA

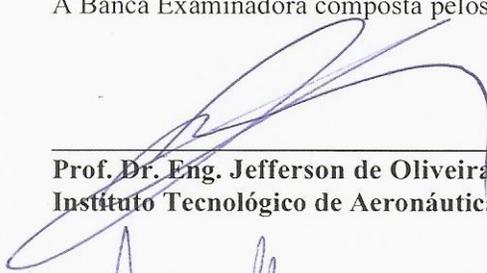
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL

**Método de apoio à tomada de decisão entre
processos de manufatura e remanufatura de
componentes dos sistemas de suspensão
veiculares automotivos.**

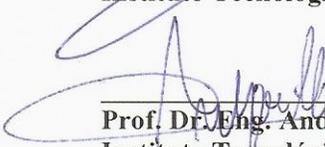
Autor: José Inacio Salis

Orientador: Prof. Dr. Eng. Jefferson de Oliveira Gomes

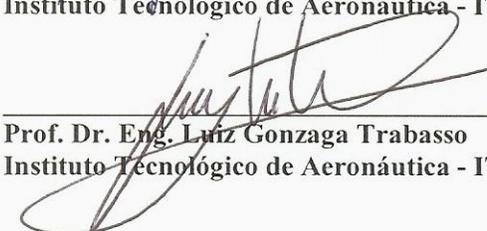
A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



Prof. Dr. Eng. Jefferson de Oliveira Gomes
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA



Prof. Dr. Eng. Anderson Vicente Borille
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA



Prof. Dr. Eng. Luiz Gonzaga Trabasso
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA

Campinas, 29 de Julho de 2011.

Dedico este trabalho à minha família, meus pais José Antônio e Maria Helena, meu irmão Mario e minha querida avó Terezinha.

À memória de meu querido avô Mario Salis e minha querida avó Elaine.

A minha amada esposa Juliana e a sua querida família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas aquelas pessoas que sempre me apoiaram e incentivaram a seguir em frente e assim conquistar mais esta etapa. Eu não teria a felicidade de desenvolver e concluir este trabalho sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

Aos meus pais, José Antônio pela confiança e pelo apoio em todos os momentos, propiciando-me esta oportunidade ímpar e a minha mãe Maria Helena pelo incentivo e amor.

Ao meu irmão Mário Neto pela amizade e força para continuar sempre.

À minha esposa, Juliana, pelo auxílio e compreensão em todos os momentos, assim como a sua família pelo carinho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eng. Jefferson de Oliveira Gomes, por ter acreditado no meu potencial e aceitado me orientar, instigando-me com novas idéias e conceitos.

Ao Prof. Durval de Barba Jr., cujo auxílio e contribuição foram essenciais para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

À todos os meus familiares, amigos e colegas de curso. Em especial aos amigos Bruno Rubega, Luis Augusto Maia Braggio, Marco Daló da MWM International Motores e Clodoaldo Aguado da Volkswagen.

Aos amigos e colegas de trabalho das empresas Premium e Viemar Indústria Automotiva. Na figura do Sr. Fábio Toniolo Vieira, o mesmo proporcionou o desenvolvimento deste trabalho e permitiu conciliar a atividade acadêmica e profissional, contribuindo com a sua visão e o incentivo constante.

Ao Prof. Eng. Paulo Regner pela confiança depositada e o exemplo profissional a ser seguido.

Basta realmente desejarmos algo na vida
e tudo passa a ser possível.

Resumo

Este trabalho pretende avaliar se o processo de remanufatura de um determinado componente automotivo pode ser considerado como uma solução para algumas das principais questões relacionadas à sustentabilidade do respectivo processo de manufatura convencional. Como estudo de caso foi utilizado o processo de fabricação de um braço de controle de um sistema de suspensão veicular. A análise contextualizou as etapas de desenvolvimento de produtos de componentes automotivos, do seu ciclo de vida, da logística envolvida, sempre dentro de um ambiente sustentável. Em função do elevado número de parâmetros a serem avaliados e classificados em grau de representatividade ou contribuição, percebeu-se a necessidade de estudo de métodos para auxílio na tomada de decisão. Sendo assim, foram utilizados diferentes conceitos como a caracterização de Engenharia do Ciclo de Vida (ECV) e ferramentas inerentes para Análise do Ciclo de Vida (ACV) e determinação do Custo do Ciclo de Vida (CCV), além dos dois métodos multicriteriais diferentes, o Método de Função de Desdobramento da Qualidade ou *Quality Function Deployment* (QFD), assim como o Método de Análise Hierárquica ou *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Os resultados foram apresentados por meio de um diagrama ternário, co-relacionando os critérios técnicos, econômicos e os impactos ambientais envolvidos.

Palavras chave: Manufatura, Remanufatura, Componentes de suspensão automotivos, Engenharia do ciclo de vida - ECV, Análise do ciclo de vida – ACV e métodos multicriteriais.

Abstract

This work wants to check if the remanufacturing process of a certain component automobile can be considered as a solution to some of the main issues related to the sustainability of its conventional manufacturing process. As a study case it was used to the analysis the manufacturing process of a control arm of the vehicle suspension system. Contextualized analysis stages of product development of automotive components, the life cycle of the same, the logistics involved, always within a sustainable environment. Due to the large number of parameters to be evaluated and classified as degree of representativeness or contribution, realized the need to study methods to aid in decision making. Therefore, different concepts were used to the characterization of Life Cycle Engineering (LCE) and associated tools for Life Cycle Analysis (LCA) and determining the Life Cycle Cost (LCC), in addition to the two different multicriterial methods, Method of Quality Function Deployment (QFD), as well as the Method of Analytic Hierarchy Process (AHP). The results were presented using a ternary diagram, co-relating the technical criteria, economic criteria and environmental impacts involved.

Keywords: Manufacturing, Remanufacturing, Automotive Suspension Components, Life Cycle Engineering - LCE, Life Cycle Analysis – LCA and Multicriterial methods.

Lista de Figuras

Figura 1 – Modelo de suspensão Braços Sobrepostos Desiguais ou <i>SLA</i>	9
Figura 2 – Modelo de suspensão Multi-braços ou <i>Multi-link</i>	10
Figura 3 – Modelo de suspensão McPherson.	11
Figura 4 – Modelo de suspensão dianteira tipo Braço Arrastado ou <i>Trailing Arm Front</i>	12
Figura 5 – Modelo de suspensão traseira tipo Braço Arrastado ou <i>Trailing Arm Rear</i>	12
Figura 6 – Modelo de suspensão Eixo Sólido ou <i>Hotchkiss</i>	13
Figura 7 – Modelo de suspensão Quatro Barras ou <i>Four Links</i>	14
Figura 8 – Modelo de suspensão Eixo Articulado ou <i>Swing-Axle</i>	15
Figura 9 – Modelo de suspensão Braço Semi-Arrastado ou <i>Semi-Trailing Arms Rear</i>	16
Figura 10 – Caracterização dos processos de pós-tratamento.	17
Figura 11 - Casa da Qualidade.	43
Figura 21 - Desdobramento do QFD pela Abordagem de Makabe.....	49
Figura 12 - Estrutura Hierárquica Genérica de Processos do Método AHP	52
Figura 13 – Fluxograma para aplicação e análise de ECV, por meio dos métodos variados.....	56
Figura 14 – Macro-localização do objeto de estudo – Sistema de suspensão dianteira independente.....	60
Figura 15 – Suspensão dianteira do tipo McPherson, localização de componentes.....	61
Figura 16 – Braço de controle da suspensão dianteira do tipo McPherson.....	61
Figura 17 – Fluxograma para Análise do Ciclo de Vida.	63
Figura 18 – Fluxograma dos processos de fabricação, etapas em comum para ACV.....	64
Figura 19 – Análise de Impactos do Ciclo de Vida por ECO-Pontos.	70
Figura 20 – Fluxograma para Análise do Custo do Ciclo de Vida (CCV).....	74
Figura 22 - Estrutura Hierárquica para o Estudo de Caso.	84
Figura 23 - Estrutura Hierárquica Primária Método AHP para o estudo de caso.	86
Figura 24 - Estrutura Hierárquica Final do Método AHP para o estudo de caso, interface com os demais métodos aplicados.	87
Figura 25 – Diagrama ternário dos resultados da análise Técnica, Econômica e Ambiental.....	91

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Características dos métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida.	33
Tabela 2 – Tabela de dados e cálculo dos ECO-Pontos com base nos Eco-Indicadores.	38
Tabela 3 - Escala fundamental de Saaty.....	53
Tabela 4 - Aspectos positivos e negativos do método AHP.....	54
Tabela 5 - Etapas de desenvolvimento do método proposto.	58
Tabela 6 – ECO-Pontos referentes à AICV - Processo de Manufatura.....	68
Tabela 7 – ECO-Pontos referentes à AICV - Processo de Remanufatura.....	69
Tabela 8 - Voz do cliente – Versão inicial.	79
Tabela 9 - Voz do especialista - Versão inicial.	80
Tabela 10 - Voz do cliente e Voz do Especialista – Versão para Casa da Qualidade.....	81
Tabela 11 - Comparação paritária dos processos de fabricação.....	88

Lista de Abreviaturas

ACV	Análise do Ciclo de Vida
CCV	Custo do Ciclo de Vida
DALY	<i>Disability Adjusted Life Year</i>
DfA	<i>Design for Assembly</i>
DfD	<i>Design for Disassembly</i>
DfE	<i>Design for Environment</i>
DfM	<i>Design for Manufacturing</i>
DfR	<i>Design for Remanufacturing</i>
DfX	<i>Design for Excellence</i>
ECV	Engenharia do Ciclo de Vida
EI	<i>Eco-Indicador</i>
EoL	<i>End of Life</i>
GE	<i>General Electric</i>
HOQ	<i>House of Quality</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
LCC	<i>Life Cycle Cost</i>
LCE	<i>Life Cycle Engineering</i>
LCIA	<i>Life Cycle Impact Assessment</i>
LR	Logística Reversa
LRPC	Logística Reversa de Pós-Consumo
LRPV	Logística Reversa de Pós-Venda
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
SGA	Sistema de gerenciamento ambiental
SLA	<i>Short Long Arm</i>
VFV	Veículos em Fim de Vida

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivação	1
1.2. Objetivo	6
2. REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1. Sistemas de suspensão automotivos	8
2.1.1. Sistema de suspensão do tipo Braços Sobrepostos Desiguais ou <i>SLA</i> :	9
2.1.2. Sistema de suspensão do tipo Multi-braços ou <i>Multi-link</i> :	9
2.1.3. Sistema de suspensão do tipo McPherson:	10
2.1.4. Sistema de suspensão do tipo Braço Arrastado ou <i>Trailing Arm</i> :	11
2.1.5. Sistema de suspensão do tipo Eixo sólido ou <i>Hotchkiss</i> :	13
2.1.6. Sistemas de suspensão do tipo Quatro - Barras ou <i>Four Links</i> :	13
2.1.7. Sistema de Eixo Articulado ou <i>Swing-Axle</i> :	14
2.1.8. Sistema de suspensão com Braço semi-arrastado ou <i>Semi-Trailing Arms</i> :	15
2.2. Remanufatura	16
2.2.1. Características e aspectos críticos dos sistemas de remanufatura	19
2.2.1.1. Fluxo de retorno do produto	19
2.2.1.2. Relacionamento com cliente	20
2.2.1.3. Fluxo de informações	20
2.2.1.4. Modelo de negócios da empresa	21
2.2.1.5. Relacionamento com fornecedores	21
2.2.1.6. Conhecimentos e habilidades dos funcionários	22
2.2.1.7. Características do produto	22
2.2.2. Processos de Desenvolvimento de Produtos e o Design	24
2.2.3. Eco-design	25
2.2.4. Logística reversa	27
2.3. Engenharia do Ciclo de Vida – ECV	29
2.3.1. Análise do Ciclo de Vida – ACV	30
2.3.2. Eco-indicadores	34

2.3.2.1.	Método Eco-Indicator'99	34
2.3.2.2.	Características e utilização do método Eco-Indicator'99	36
2.3.2.3.	Eco-Pontos	37
2.3.3.	Custo do Ciclo de Vida – CCV	39
3.	MÉTODOS MULTICRITERIAIS	41
3.1.	Método QFD	41
3.1.1.	Estrutura do método QFD	42
3.1.2.	Particularidades em relação ao uso do método QFD	45
3.1.3.	Justificativa de escolha do método QFD	47
3.2.	Método AHP	50
3.2.1.	Estrutura do método AHP	51
3.2.2.	Particularidades em relação ao uso do método AHP	53
4.	APRESENTAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO	55
4.1.	Aplicação do método proposto	59
4.1.1.	Objeto de estudo	60
4.1.2.	Análise do Ciclo de Vida do objeto de estudo	62
4.1.3.	Caracterização do processo de fabricação por Manufatura	65
4.1.4.	Caracterização do processo de fabricação por Remanufatura	66
4.1.5.	Análise dos Impactos do Ciclo de Vida – AICV	67
4.1.6.	Aplicação do Método CCV – Custo do Ciclo de Vida	72
4.2.	Aplicação do método QFD	78
4.2.1.	Resultados do método QFD	82
4.3.	Aplicação do Método AHP	83
5.	RESULTADOS	85
5.1.	Resultados do método AHP e processo de tomada de decisão	85
6.	DISCUSSÕES	90
7.	CONCLUSÕES	93
7.1.	Desenvolvimentos futuros	95
8.	REFERÊNCIAS	96

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

A atual crescente pressão sobre os recursos naturais obriga atores sociais a encontrar soluções cada vez mais competentes para equacionar a relação entre o setor produtivo e o meio ambiente. Para dar as respostas necessárias, é necessário introduzir esta preocupação em todos os elos da cadeia produtiva, estendendo-a para os estágios de uso e pós-uso dos produtos. Entender esta nova realidade passa a ser um fator de competitividade para as empresas e países. Mais do que isto, abre inúmeras oportunidades de negócios (KIPERSTOK, 2000).

O automóvel representa um dos produtos de consumo mais elaborados da sociedade moderna, para o qual confluem as mais variadas correntes produtivas. Instrumento hoje indispensável e símbolo clássico de opulência e bem estar, a produção uso e descarte do automóvel provocam um dos maiores impactos sobre os recursos naturais da sociedade moderna. (KIPERSTOK, 2000). O aumento das taxas de emissões de poluentes, bem como ausência de decisões sobre remanufatura, reciclagem e reuso de componentes têm levado a indústria automotiva ao status de vilã da sociedade sustentável. Segundo UGAYA (2001), o automóvel, em seu ciclo de vida, é responsável por uma série de impactos ambientais.

A indústria automotiva destaca-se nos investimentos em relação à pesquisa, desenvolvimento, produtividade, economia de energia, redução do consumo de combustíveis fósseis, redução da poluição atmosférica e do consumo de recursos. Porém, os automóveis ainda lideram a maior fonte de poluição urbana e contribuem com uma parcela significativa das emissões de carbono associadas ao efeito estufa (BIRAES, 2006).

O aumento vertiginoso do consumo de produtos industrializados nas últimas décadas tem levado a comunidade internacional a perceber a facilidade com que podem ser atingidos os limites do planeta, nas suas mais diversas dimensões. Esta experiência tem gerado uma sensação de desconforto, que atravessa as barreiras nacionais. Diversas respostas vêm sendo dadas, a principal é o adensamento da jurisprudência ambiental, seja no surgimento de princípios

ambientais, impensáveis duas décadas atrás, como o Princípio da Precaução, seja no maior rigor das leis e resoluções ambientais. A pressão por maiores regulamentações coincide com demandas ambientalistas de parcelas do público, que têm que ser satisfeitas até mesmo por razões comerciais (KIPERSTOK, 2000).

Estas normas, além de reguladoras, têm um papel fundamental no processo de inovação e evolução contínua dos níveis de engenharia e aumento de criações, com o intuito de prover soluções mais simples, eficientes e econômicas para atingir tais parâmetros pré-determinados.

A preocupação com relação ao automóvel e o ambiente fizeram com que no âmbito da União Européia fosse criada uma comissão específica para a indústria automobilística. Aprovada em setembro do ano 2000, a União Européia adaptou a diretiva relativa aos Veículos em Fim de Vida (VFV) (2000/53/CE), procura prevenir e limitar os resíduos e melhorar a reutilização, reciclagem e recuperação dos VFV's e dos seus respectivos componentes. A *Directive 2000/53/EC of The European Parliament and Of The Council (2000)*, aponta medidas, cuja prioridade de prevenção do desperdício, adição, reuso e reciclagem, estão entre as formas de recuperação de veículos em fim de vida, visando melhorar o desempenho ambiental, em operações durante todo decorrer do ciclo de vida do automóvel, porém em especial no fim de vida dos veículos (SALLA e CADIOLI *et al.*, 2007).

Dentre aos objetivos da diretiva encontram-se:

- Responsabilizar as montadoras pelo ciclo de vida, da montagem à reciclagem dos veículos, e fixa em 95% a taxa de reciclabilidade (incluindo a reutilização e a recuperação energética) até 2015.
- Proibir a utilização de substâncias perigosas como, por exemplo, chumbo, mercúrio, cádmio e cromo, para novos veículos a partir de julho de 2003, com a exceção de peças nas quais a utilização destes materiais é essencial.

A inexistência de legislação específica ou de diretivas, como ocorre na União Européia, dificulta o desenvolvimento de atividades remanufatureiras no Brasil, além da falta de conhecimento e de divulgação dos benefícios e possíveis problemas dos bens remanufaturados, sejam bens de capital ou bens de consumo. Contudo, é uma área de grande interesse comercial e que deve se desenvolver substancialmente nos próximos anos, segundo ZANETTE (2008).

Os instrumentos de regulamentação ambiental deverão também evoluir na direção da exigência de uma maior eco-eficiência de produtos e processos. Onde isto não acontecer, a

própria legislação corre o risco de se tornar um fator de retração ao avanço ambiental e econômico. A cadeia automotiva representa uma grande oportunidade para o desenvolvimento de novas atitudes que aliem competência empresarial e ambiental (KIPERSTOK *et al.*, 2000).

Segundo (SETIZ, 2007) o processo de remanufatura é a transformação de um produto no fim de seu ciclo de vida em um produto com a mesma qualidade de um novo. Este processo inclui algumas das seguintes etapas: desmontagem do produto, limpeza e identificação de suas partes, recuperação das partes e remontagem do produto. Tal prática de “reaproveitamento” de componentes e materiais, especificamente de componentes veiculares, é pouco ministrada em relação ao volume de veículos, seus componentes e sub-componentes produzidos.

Conforme o estudo desenvolvido por MEDINA H. (2002), foi constatado que as montadoras de veículos brasileiras não estão no centro da organização da cadeia industrial para reciclagem de veículos por elas produzidos. Verifica-se que o papel de coordenar a rede de reciclagem cabe aos produtores de materiais como siderúrgicas, metalúrgicas e indústrias de materiais plásticos.

Baseado em um estudo efetuado por LINDAHL, SUNDIN E OSTLIN (2006) foi apurado que o processo conhecido como remanufatura pode ser economicamente vantajoso em relação ao processo de manufatura convencional em função do fato de utilizar uma quantidade inferior de recursos de materiais, por consequência possibilidade de redução dos níveis de descarte.

Alguns aspectos culturais podem estar relacionados a este baixo índice, uma vez que culturalmente o processo de remanufatura ou também conhecido popularmente como recondicionamento de peças automotivas caiu em descrédito. Tal processo de recondicionamento está ligado subjetivamente a um processo informal, sem nenhum procedimento que atenda aos requisitos técnicos necessários de re-beneficiamento de componentes, peças muitas vezes de aplicação e funcionalidade relacionadas diretamente à segurança veicular.

Ocorre que a maior parte das atividades de logística reversa é feita de forma absolutamente precária, em função da existência de um alto índice de informalidade na atividade (CARDOSO e ASSI, 2005 *apud* GOTO; KOGA e MEDEIROS, 2006).

No mercado de reposição automotivo nacional, diversas práticas impróprias e inadequadas de tratamento de peças, em seu estágio final do ciclo de vida, vêm sendo executadas. Práticas com processos simples e incompletos, com etapas de apenas limpeza e pintura de componentes

automotivos usados em sua fase final de vida útil, deveriam ser descartadas, pois componentes devem ser avaliados na sua funcionalidade e segurança.

Muitas destas empresas, simplesmente melhoram apenas a aparência do produto por meio de um processo de lavagem e apresentam o mesmo produto sem reposição de componentes novos, sem aplicar nenhum processo de remanufaturamento. Isto implica em um problema, na medida em que há uma tendência dos consumidores associarem a má qualidade a todos os produtos remanufaturados, sem distinguirem qual a origem da peça remanufaturada que normalmente possuem as marcas originais estampadas no processo de fabricação, confundindo ainda mais o consumidor, fato esse que induziria o cliente a associar a marca original à má qualidade do produto, (GOTO; KOGA e MEDEIROS 2006).

Estas peças com elementos que apresentam desgaste deveriam ser cuidadosamente desmontadas, limpas, avaliadas dimensionalmente, ter repostos seus sub-componentes por elementos efetivamente novos. Como etapa final, se necessário, passariam por um processo de pintura com finalidade apenas de acabamento, caracterizando desta forma um processo típico de remanufatura.

O processo equivocado de recondicionamento fez com que a imagem de pós-tratamento de peças automotivas para manutenção de veículos no mercado de reposição se tornasse algo negativo e de apelo relacionado apenas ao reduzido custo de processo, mas não atendendo as características necessárias para manutenção adequada de veículos. Conforme citado por IJOMAH, CHILDE e McMAHON (2004) o recondicionamento origina produtos em condições satisfatórias, porém pode ter especificações e garantias inferiores à especificação original do fabricante.

Com o início da globalização e a abertura do mercado brasileiro no início da década de 90, se iniciou o processo de penetração de automóveis produzidos no exterior e que para a época possuíam padrões de qualidade, durabilidade, tecnologia, conforto e estilo, melhores definidos e estabelecidos por mercados mais exigentes, como o mercado europeu e americano. O consumidor brasileiro modificou sua visão do produto e começou a ficar mais exigente também com os automóveis produzidos no Brasil, comparando os automóveis produzidos internamente com os que estavam chegando do exterior. Esse fato impulsionou uma transformação na indústria automobilística brasileira, que teve de rever todo o *portfólio* de produtos destinados agora a atender esse novo padrão mercadológico (KRUMENAUER, 2007).

Proprietários de veículos com altos valores agregados apresentam uma tendência em proceder à manutenção apropriada e recomendada pelos seus fabricantes, tendo como base a experiência de longa data de alguns dos membros e colaboradores diretos com o desenvolvimento deste estudo.

Entretanto, a situação atual do país, com crédito amplo e disponível para aquisição de novos veículos automotores pode ser caracterizada como responsável pelo processo de desvalorização dos veículos usados e fora dos respectivos prazos/períodos de garantia concedidos pelos fabricantes, inclusive de marcas renomadas como BMW, Mercedes-Benz, Audi, entre outras.

Nesta situação, em função da perceptível atual alteração e ascensão de classes sociais, agora um público com menor potencial financeiro pode apresentar condições econômicas de adquirir os referidos veículos importados, veículos semi-novos de alto desempenho e sofisticação. Entretanto, este mesmo público nem sempre detém o aporte financeiro mínimo para ministrar a adequada manutenção preventiva, necessária e recomenda para este tipo de veículo.

Sendo assim, existe uma demanda por componentes, por exemplo, de sistemas de suspensão e de direção, com as características de funcionalidade e de segurança que atendam a todos os requisitos técnicos das peças originais. Em contrapartida estas peças devem apresentar valores de venda, no mercado de reposição, com valores inferiores aos habitualmente ministrados pelas concessionárias autorizadas pelos fabricantes originais.

Os produtos comercializados no mercado de reposição ou também conhecido como *Aftermarket*, muitas vezes são produtos classificados e conhecidos informalmente como produtos paralelos, ou seja, não originalmente fabricados pelas OEM (*Original Equipment Manufacturer*) neste mercado de reposição. Tanto para veículos nacionais ou mesmo para importados, estes produtos tendem a apresentar um valor de venda neste nicho de mercado inferior às peças originais genuínas.

Ressalta-se que é no mercado de reposição, na etapa de pós-venda, uma vez terminado o período de garantia do veículo, que será ministrada a maior etapa do ciclo de vida destes veículos, com aproximadamente 12 anos em média mundial e, conseqüentemente, o período mais relevante de manutenção (HERRMANN, C., THIEDE, S., LUGER, T., ZEIN, A., STEHR, J., HALUBEK, P., TORNEY, M., 2009).

A diferenciação de valores de venda destas peças deve ocorrer basicamente por meio da redução de custos, da otimização de processos de manufatura, de processos diferenciados e inovadores de manufatura e/ou remanufatura de componentes de suspensão automotivos.

Associado ao fato da necessidade de criação de métodos tecnicamente adequados, sendo concomitantemente sustentáveis, em termos econômicos e ecológicos, a avaliação dos métodos convencionais de manufatura de componentes de suspensão automotivos deve ser efetuada.

Desta forma, ao se avaliarem os processos de remanufatura dos mesmos componentes, pode-se então discutir e ponderar as principais diferenças entre ambos os sistemas de fabricação. Faz-se necessária uma análise da viabilidade de pós-tratamento de um produto e/ou seus respectivos componentes, sejam por remanufatura ou reciclagem, em função de seu valor agregado versus os custos relacionados aos pós-processos.

Tratando-se de componentes de suspensão e direção automotivos, no caso de articulações esféricas dos sistemas de suspensão, também conhecidos como *Ball-joint* ou pivôs de suspensão, a alteração de suas características decorrentes do processo de remanufatura tem como consequência responsabilidades estruturais, (no caso de pivôs integrados aos braços de controle dos sistemas de suspensão).

A remanufatura é capaz de oferecer um modelo de negócio que engloba todos os aspectos de sustentabilidade. Economicamente, produtos remanufaturados podem ser muito mais lucrativos, uma vez que mantém o valor agregado ao produto durante a sua manufatura. A inclusão dos aspectos relacionados com a sustentabilidade nas práticas de negócios pode contribuir diretamente para o ganho de valores financeiros tangíveis através da possibilidade de crescimento, redução de custos, conservação de capitais e diminuição de riscos e para o aumento de vantagens intangíveis, como reputação, inovação, relacionamentos e incremento de vantagens estratégicas, (BAKSHI e FIKSEL, 2003 *apud* ZANETTE, 2008).

1.2. Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo propor um método particular para tomada de decisão entre dois processos de fabricação, a manufatura ou a remanufatura.

O referido método baseia-se na utilização do conceito de Engenharia do Ciclo de Vida (ECV) e conta com o auxílio de dois métodos multicriteriais, o Método de Função de Desdobramento da Qualidade ou *Quality Function Deployment (QFD)* e o Método de Análise Hierárquica ou *Analytic Hierarchy Process (AHP)*.

O referido método particular proposto pretende auxiliar na decisão entre a manufatura ou remanufatura de componentes de suspensão automotivos, através da análise dos requisitos técnicos, financeiros e os respectivos impactos ambientais relacionados a cada um dos processos produtivos, dentro de um ambiente sustentável.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Sistemas de suspensão automotivos

Todos os veículos possuem um sistema de absorção de oscilações verticais, os denominados sistemas de suspensão. Desde os primeiros veículos projetados, os seus idealizadores estavam preocupados em não somente proporcionar transporte para os seus usuários, mas também proporcionar um bom nível de conforto (EUGÊNIO, 2006).

Concomitantemente os sistemas de suspensão automotivos estão diretamente relacionados com as características de estabilidade, dirigibilidade e conseqüentemente definem o perfil de utilização do veículo para o qual o sistema de suspensão foi concebido.

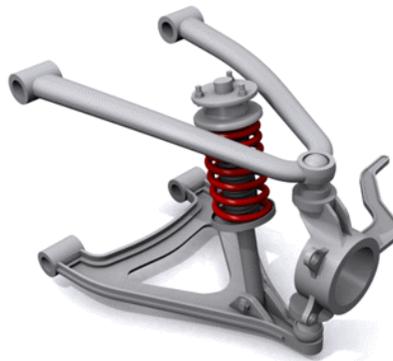
As propriedades de uma suspensão que são importantes para a dinâmica de um veículo são primariamente vistas no comportamento cinemático (movimento) e na sua resposta a forças e momentos que devem ser transmitidos dos pneus para o chassi. Adicionalmente, outras características consideradas no processo de desenvolvimento são custo, peso, espaço relativo ocupado, manufatura e a facilidade de montagem (GILLESPIE, 1992).

Suspensões geralmente são classificadas em dois grupos – suspensões de eixos sólidos e suspensões independentes. Em contraste com a suspensão de eixos sólidos que geralmente é utilizada em veículos utilitários médios e caminhões pesados, as suspensões independentes utilizadas em veículos de passeio, esportivos e utilitários leves permitem que cada roda se desloque verticalmente sem interagir entre si. Tal sistema apresenta ainda como vantagem a acomodação do motor e a resistência a vibrações, adicionalmente elas provêem um fácil controle do centro de rolagem a partir da escolha de geometria do braço de controle (GILLESPIE, 1992).

Dentre os modelos de configurações de sistemas de suspensão, são apresentadas a seguir algumas características dos sistemas mais amplamente utilizados. Em sistemas de suspensão dianteira:

2.1.1. Sistema de suspensão do tipo Braços Sobrepostos Desiguais ou *SLA*:

É um dos sistemas independentes mais antigos e eficientes, composto por dois braços de comprimentos desiguais montados em planos sobrepostos. O sistema de suspensão também conhecido como *SLA* com a sigla tendo como significado *Short-Long Arm* é um dos sistemas mais utilizados em veículos de alto desempenho, veículos de luxo e veículos de competição. A sua configuração apresenta dois braços de controle, um superior e outro inferior sendo o superior mais curto que o inferior (Figura 1). Suas características de projeto lhe conferem a possibilidade de se obter o máximo desempenho dos pneus, em função da variação dos ângulos da geometria do sistema de suspensão durante a alteração de direção em um trajeto curvilíneo. Nos Estados Unidos os braços são chamados de *A-arms*, ou *Double A Suspension System* e na Inglaterra de *Wishbones*, configurando o sistema do tipo *Double-wishbones* (GILLESPIE, 1992).

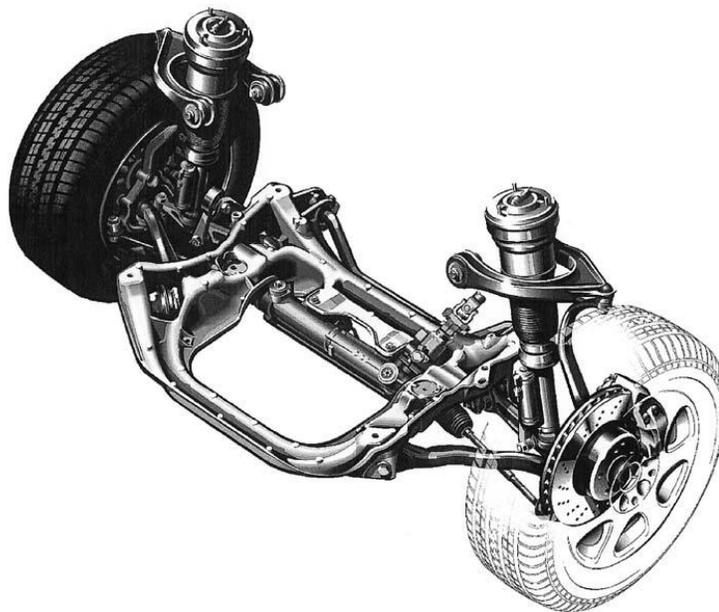


**Figura 1 – Modelo de suspensão Braços Sobrepostos Desiguais ou *SLA*.
(Adaptado de ALMEIDA Jr., 2007).**

2.1.2. Sistema de suspensão do tipo Multi-braços ou *Multi-link*:

Pode ser conceituada como uma das suspensões mais sofisticadas dentre os modelos mais utilizados nos dias de hoje, uma vez que, devido a sua característica construtiva com vários

braços, no mínimo três, torna-se possível o melhor ajuste do posicionamento da roda durante todo o curso da suspensão. Tendo devido a estas características, uma ampla utilização nos dias atuais nos veículos mais renomados e sofisticados em sistemas dianteiros de marcas como Audi e ocasionalmente cinco barras são usadas na suspensão traseira de modelos da Mercedes Benz. O uso de barras (Figura 2) provê flexibilidade para os projetistas atingirem a movimentação e o posicionamento desejado das rodas (ALMEIDA JR., 2007).



**Figura 2 – Modelo de suspensão Multi-braços ou *Multi-link*.
(Adaptado de REIMPELL, 2001).**

2.1.3. Sistema de suspensão do tipo McPherson:

A suspensão McPherson foi desenvolvida por Earle Steele McPherson em 1946 e teve sua primeira utilização na dianteira do Ford Vedette, veículo francês de tração traseira e chegou ao Brasil através do modelo Simca Chambord. Atualmente este tipo de suspensão equipa a grande maioria dos veículos da linha leve produzidos no país, apresenta vantagens em relação à ocupação de espaço para motores transversais e assim é aplicada amplamente em veículos com motorização e tração dianteira. Trata-se de um sistema simples e eficiente de suspensão

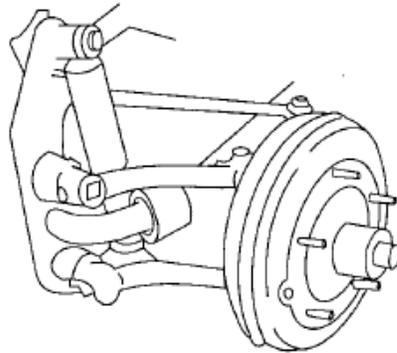
independente (EUGÊNIO, 2006). O sistema possui montagem típica com molas helicoidais e amortecedor, montados de forma concêntrica, tendo sua articulação inferior executada por um braço de ligação horizontal (Figura 3). É um sistema amplamente utilizado até mesmo em veículos de alto desempenho devido aos resultados que proporciona, tem como características a ótima eficiência, o baixo custo, fácil montagem e o reduzido peso (REIMPELL, 2001).



**Figura 3 – Modelo de suspensão McPherson.
(Adaptado de ALMEIDA JR., 2007).**

2.1.4. Sistema de suspensão do tipo Braço Arrastado ou *Trailing Arm*:

Este é um dos mais simples e econômicos modelos de suspensão dianteira independente e foi largamente usado pela Volkswagen em modelo consagrado como o Fusca e pela Porsche durante a Segunda Guerra Mundial. Esta suspensão usa braços paralelos de mesma dimensão que são conectados na parte dianteira da estrutura da carroceria a barras de torção laterais, as quais permitem o balanço do conjunto (ALMEIDA JR., 2007), conforme Figura 4.



**Figura 4 – Modelo de suspensão dianteira tipo Braço Arrastado ou *Trailing Arm Front*.
(Adaptado de GILLESPIE, 1992).**

Suspensões deste tipo podem ser visualizadas em sistemas traseiros (Figura 5) de veículos de alto desempenho, como o esportivo americano Chevrolet Corvette, assim como é utilizada na traseira da maioria dos carros do passeio, normalmente associada a uma barra de torção, o que deixa a suspensão semi-independente (OKABE, 2003). Os braços de controle absorvem as forças longitudinais e os momentos de frenagem além de controlar o movimento de oscilação vertical da suspensão. O sistema de suspensão independente tem a vantagem de reduzir a massa da suspensão devido à montagem do diferencial fixado à carroceria (GILLESPIE, 1992). Mas inerente a este tipo de construção também está seu maior defeito: o ângulo de câmbor da roda sempre acompanhar a inclinação do veículo (OKABE, 2003).

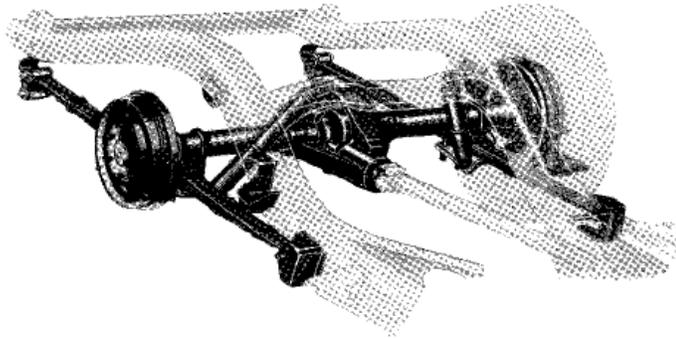


**Figura 5 – Modelo de suspensão traseira tipo Braço Arrastado ou *Trailing Arm Rear*.
(Adaptado de ALMEIDA JR., 2007).**

Assim como serão apresentados alguns tipos e características de sistemas de suspensão traseira:

2.1.5. Sistema de suspensão do tipo Eixo sólido ou *Hotchkiss*:

Tem origem ainda na época da tração animal, sistema no qual as duas rodas estão interligadas rigidamente entre si através de um eixo (Figura 6). Proporciona um longo curso da suspensão, mas não esta associada à característica de conforto. Utilizada normalmente em associação com feixes de mola, é a melhor opção para sistemas traseiros de veículos de transporte como caminhões, ônibus e caminhonetes, ou seja, utilizada em veículos com a função de transporte de carga (OKABE, 2003).

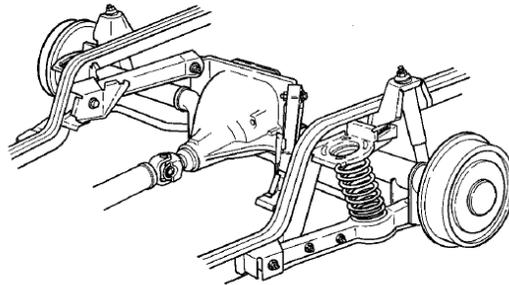


**Figura 6 – Modelo de suspensão Eixo Sólido ou *Hotchkiss*.
(Adaptado de GILLESPIE, 1992).**

2.1.6. Sistemas de suspensão do tipo Quatro - Barras ou *Four Links*:

Em resposta às fraquezas da suspensão com feixe de molas, a suspensão traseira de quatro barras foi escolhida nas décadas recentes para o uso em grandes carros de passageiros e utilitários

que usam eixos sólidos com tração traseira. Os braços de controle inferiores proporcionam controle longitudinal do eixo enquanto os braços superiores absorvem os torques de frenagem e as forças laterais (Figura 7). A habilidade de usar molas espirais ou molas a ar no lugar de feixes de molas proporcionou um melhor comportamento de dirigibilidade e menos ruído devido à eliminação das fricções pertinentes ao sistema de feixe de molas. Apesar de mais caras que o sistema de feixe de molas, o desenho geométrico do sistema de quatro barras permite um melhor controle da posição do centro de rolagem e desempenho de anti-mergulho da carroceria (ALMEIDA JR., 2007).

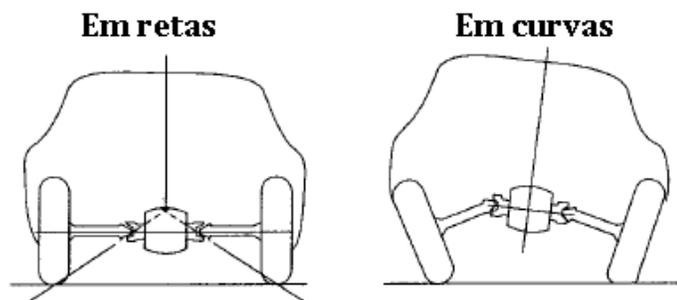


**Figura 7 – Modelo de suspensão Quatro Barras ou *Four Links*.
(Adaptado de GILLESPIE, 1992).**

2.1.7. Sistema de Eixo Articulado ou *Swing-Axle*:

A maneira mais fácil de conseguir uma suspensão traseira independente é por meio de um eixo articulado. Edmund Rumpler é creditado pela invenção deste sistema no início do século passado, e que a partir de 1930 passou a ser usado largamente nos veículos europeus, mais notadamente no Volkswagen Fusca (ALMEIDA JR., 2007). Esse tipo de suspensão tem muitos inconvenientes, entre eles a pouca liberdade de escolha da posição do centro de rolagem da mesma, que normalmente fica numa posição elevada. Outro problema é a mudança do ângulo de câmbio acentuada (Figura 8), o que acarreta numa baixa estabilidade do veículo em curvas. Outro

fator crítico ligado a este tipo de suspensão é o fenômeno denominado *jacking*. Este fenômeno ocorre quando o veículo está fazendo uma curva, e as forças desenvolvidas no pneu que está posicionado no lado externo da curva tendem a elevar o veículo, desta forma a roda se posiciona mais internamente ao veículo, o que combinado com a grande mudança no ângulo de câmbor diminui a força de apoio do pneu no solo e faz com que o veículo tenha sua estabilidade reduzida (OKABE, 2003).



**Figura 8 – Modelo de suspensão Eixo Articulado ou *Swing-Axle*.
(Adaptado de GILLESPIE, 1992).**

2.1.8. Sistema de suspensão com Braço semi-arrastado ou *Semi-Trailing Arms*:

Possuem as mesmas características do braço arrastado, com o adicional de algumas vantagens associadas a sua montagem em ângulo com o eixo transversal do veículo, proporcionado desta forma a variação de sua inclinação durante uma curva. Tendo uma ampla faixa de utilização em veículos com sistemas de tração dianteira ou traseira, como modelos de alto desempenho como o Porsche e a BMW por exemplo. Seus eixos de articulação são usualmente posicionados a 25 graus em relação á linha de rolagem do veículo (Figura 9). Este sistema produz um efeito de esterçamento quando as rodas se movimentam durante a oscilação vertical em trechos retilíneos (GILLESPIE, 1992).

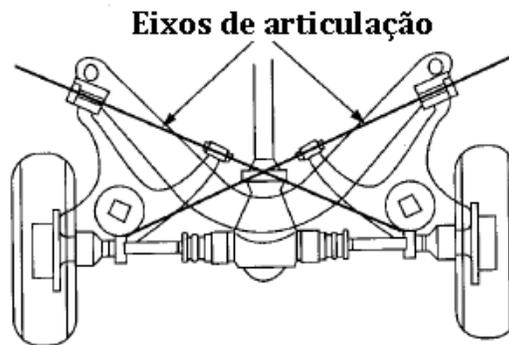


Figura 9 – Modelo de suspensão Braço Semi-Arrastado ou *Semi-Trailing Arms Rear*. (Adaptado de GILLESPIE, 1992).

2.2. Remanufatura

O aumento das preocupações ambientais e da concorrência leva as empresas a buscarem novas formas de atuação para se destacarem no mercado. Assim, algumas empresas estão utilizando estratégias de fim de vida como a remanufatura, que, devido aos seus benefícios ambientais e econômicos, está conquistando um espaço importante no cenário mundial. No entanto, empresas que realizam a remanufatura costumam adotar os mesmos métodos e soluções usados na manufatura tradicional e não enxergam a remanufatura a nível estratégico e como um sistema com processos integrados, nem compreendem a complexidade do seu sistema e suas características peculiares, (BARQUET *et al.*, 2009).

Tratando-se do processo de fabricação por remanufatura, normalmente este termo acaba se confundindo com outros procedimentos que são aplicados a produtos no final do ciclo de vida, também conhecidos como processos de pós-tratamento tais como reuso, recondicionamento ou até mesmo reparo (PUGLIERI, 2009). Com base na Figura 10, evidenciam-se as características relevantes relacionadas a cada um destes processos, com o intuito de uma mais adequada caracterização dos referidos processos de pós-tratamento e a diferenciação entre os mesmos.

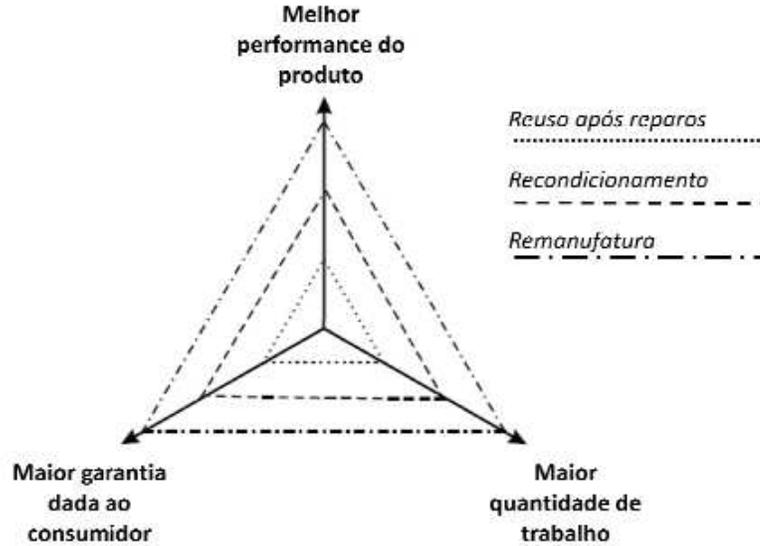


Figura 10 – Caracterização dos processos de pós-tratamento.
 (Adaptado de IJOMAH, 2002 *apud* ZANETTE, 2008)

Para IJOMAH; CHILDE; e McMAHON (2004) *apud* BARQUET (2009), o recondicionamento origina produtos em condições satisfatórias, porém podendo ter especificações e garantias inferiores à especificação original do fabricante. No reparo, há a correção de falhas em um determinado produto, também com garantias inferiores às dos recém-fabricados equivalentes. Já o reuso implica na reutilização dos produtos sem grandes reparos e a reciclagem denota na recuperação dos materiais, sem conservar qualquer estrutura do produto. Já na remanufatura, o produto usado é reprocessado e dá origem ao produto remanufaturado, com a mesma qualidade e garantia de um produto recém-fabricado.

SEITZ (2007) define a remanufatura como a transformação de um produto no fim de sua vida útil em um produto com a mesma qualidade de um novo.

A indústria de remanufatura no mundo teve seu primeiro grande impulso com as grandes guerras, em que as unidades manufatureiras deixaram de produzir bens de consumo para se dedicarem à produção bélica. Desta forma os produtos cotidianos passaram a ser remanufaturados a fim de se atender ao menos em parte as necessidades sociais cotidianas, (ÖSTLIN, 2008 *apud* ZANETTE, 2008).

Segundo GRAY e CHARTER, (2006) *apud* PUGLIERI (2009), citam importantes benefícios ambientais ao se optar pela fabricação de produtos remanufaturáveis:

- Produção e consumo sustentáveis, pois a remanufatura considera produtos descartados como sendo uma forma de recurso;
- Redução de até 85% no consumo de energia, diferença esta resultante entre os processos de remanufatura e a manufatura;
- Redução do descarte em aterros, redução da poluição e economia de recursos naturais;

Assim, devido aos seus benefícios ambientais e econômicos, a remanufatura está crescentemente conquistando um espaço importante no comércio mundial, inclusive no Brasil. No entanto, empresas que realizam a remanufatura tendem a utilizar práticas, métodos e soluções usadas e adequadas a empresas convencionais de manufatura. Contudo, remanufatura é um sistema mais complexo e apresenta um número maior de variáveis a serem consideradas (ZANETTE, 2008).

Segundo PUGLIERI (2009), para que um produto seja remanufaturável, este deve passar por sete processos básicos:

- coleta do núcleo ou carcaça da peça (chamado de *core* em algumas publicações);
- inspeção;
- desmontagem;
- limpeza;
- reparo (quando necessário);
- remontagem;
- teste.

Para YÜKSEL (2010) a limpeza da peça e de seus componentes é a fase da remanufatura que exige um trabalho mais intenso e um alto consumo de recursos energéticos. Com base nos autores SUNDIN e BRAS (2005) *apud* YÜKSEL (2010) a limpeza é a fase mais demorada no processo de remanufatura em alguns casos.

Segundo GUIDE (2000), *apud* BARQUET, (2009), uma das maneiras de lidar com as peculiaridades do sistema de remanufatura é ir além de questões operacionais e ter uma perspectiva global dos processos de negócios.

2.2.1. Características e aspectos críticos dos sistemas de remanufatura

Para GUIDE (2000) *apud* BOUZON (2011), existem sete particularidades ou características complicadoras no ambiente da remanufatura. São elas: incertezas relacionadas ao tempo e à quantidade de retorno de produtos (reflexo da natureza incerta da vida do produto); balanceamento da demanda do mercado de reuso com o retorno de produtos; processo de desmontagem (pois os produtos, em geral, não são projetados para esta operação); diferença na qualidade das peças retornadas; questões da logística reversa; restrições de materiais equivalentes (remontar o produto na exata mesma combinação é problemático); incertezas de rota e tempo de processamento.

Nos itens que se seguem, serão levantados e descritos as características, os desafios e aspectos críticos relacionados ao processo de implementação de um sistema de remanufatura, com base no trabalho desenvolvido por BARQUET (2009).

2.2.1.1. Fluxo de retorno do produto

Leva-se em consideração o transporte do produto do fornecedor a empresa remanufatureira, podendo ou não ter pontos de estocagem durante este caminho, sendo que a inspeção pode ocorrer em diversos pontos deste processo ou somente depois que o produto estiver na fábrica. O fluxo de retorno de produtos é influenciado pelas distâncias entre os vários locais que se encontram os produtos usados e o ponto onde os mesmos serão remanufaturados, sendo também afetados pelas incertezas quanto à qualidade, quantidade e o momento de retorno dos produtos usados, para JACOBSSON, (2000).

2.2.1.2. Relacionamento com cliente

É importante considerar o relacionamento com o cliente, no ponto de vista do cliente como comprador do produto remanufaturado, já que em alguns casos, o cliente também pode ser o fornecedor do produto que será remanufaturado. O trabalho de HERMANSSON e SUNDIN (2005) relata sobre a falta de estruturação do canal de venda(s) para produtos remanufaturados. As empresas não se preocupam em desenvolver estratégias de marketing para estes produtos, nem em treinar e informar o pessoal de vendas sobre os benefícios dos mesmos e como estes devem conquistar os clientes para vender os produtos remanufaturados, por meio de argumentos técnico-comerciais.

SEITZ (2007), já afirmava que um importante aspecto, que influencia a demanda por produtos remanufaturados é a percepção que o cliente tem deste produto, são as informações que são disponibilizadas para ele sobre os benefícios e a qualidade do produto remanufaturado. Poucos clientes têm conhecimento que o verdadeiro processo de remanufatura resulta em produtos com, pelo menos, qualidade e garantias equivalentes a um novo produto.

2.2.1.3. Fluxo de informações

O fluxo de informações para remanufatura é um importante instrumento para lidar com as incertezas associadas ao sistema de remanufatura, possibilitando o estabelecimento de um eficiente sistema. As informações referentes ao produto são importantes tanto para planejar as atividades de reaproveitamento como para evitar transporte e reprocessamento de produtos que não apresentam condições de serem reaproveitados, (JACOBSSON, 2000).

2.2.1.4. Modelo de negócios da empresa

A remanufatura deve ser considerada em um nível organizacional e o modelo de negócios deve ser projetado para acomodar e incentivar a remanufatura (GRAY, 2006).

Este modelo deve englobar suas peculiaridades, como suas incertezas associadas, a demanda instável e a baixa automatização dos processos, que eleva a necessidade da mão-de-obra, além de considerar a gestão do retorno dos produtos usados de diferentes tipos e em diferentes fases do ciclo de vida. É importante ressaltar que os tradicionais paradigmas dos modelos da empresa podem prejudicar os resultados da remanufatura. Fabricantes que deixarem de considerar a oferta de serviços e se limitarem a venda de produtos, dificilmente estimularão os clientes a alterar seu atual comportamento, no sentido de incentivarem a demanda pela função que o produto pode desempenhar, ao invés da busca pela inovação de produtos (IJOMAH *et al.*, 2007).

Uma das maiores oportunidades relacionada ao processo de implementação da remanufatura, estando esta alinhada com o modelo de negócios da referida empresa, é a possibilidade de verificação de falhas nos aspectos comerciais associados à venda dos componentes e a avaliação técnica dos métodos de falhas dos mesmos, durante a sua utilização. Desta forma, através da retro-alimentação técnica e comercial existe a possibilidade de melhoria contínua e do alinhamento com as diretrizes da empresa de forma constante.

2.2.1.5. Relacionamento com fornecedores

Na pesquisa realizada por SUNDIN *et al.*, (2008) *apud* BARQUET (2009), o autor conclui que a relação da empresa remanufatureira com seu fornecedor de produtos usados ou *core*, é um aspecto de grande importância para a efetividade do negócio, o que concorda com a pesquisa de ÖSTLIN; SUNDIN e BJORKMAN, (2009), os quais afirmam que as empresas que

querem alcançar sucesso com a remanufatura, precisam pensar em estratégias que estimulem o cliente a realizar este retorno e que o aproximem da empresa que fará a remanufatura.

2.2.1.6. Conhecimentos e habilidades dos funcionários

A implementação de um sistema de remanufatura requer treinamento de funcionários para realizar as atividades necessárias. De acordo com a natureza da remanufatura e o fato de que poucas etapas podem ser automatizadas, a sua implementação também requer que as experiências e conhecimentos táticos dos funcionários sejam passados para as pessoas envolvidas no sistema, segundo JACOBSSON (2000).

As habilidades, conhecimentos e experiências dos funcionários contribuirão para o sistema de remanufatura. Desde o momento do contato com o fornecedor do produto usado, nas atividades de inspeção, transporte, armazenamento, desmontagem e limpeza, até a venda do produto remanufaturado, os funcionários devem conhecer os processos de remanufatura para lidar com os produtos da forma adequada BARQUET *et. al.*(2009).

No entanto, sem o conhecimento verdadeiro do que é e de como se faz a remanufatura, qualificar os funcionários não levará os resultados que as empresas esperam do sistema de remanufatura. A alta administração deve se envolver e conhecer o sistema (IJOMAH; CHILDE; MCMAHON, 2004), por isso a importância de ver a remanufatura em nível organizacional.

2.2.1.7. Características do produto

Este item diz respeito às características dos produtos que determinarão como e com que eficiência, ocorrerá a operação de remanufatura do produto após o fim de sua vida útil (JACOBSSON, 2000).

No entanto, a maioria dos produtos apresenta baixa remanufaturabilidade, pois, durante o seu desenvolvimento, houve pouca preocupação em projetá-lo para a remanufatura. É o caso da seleção de materiais que serão utilizados nos produtos. Caso o produto seja projetado pensando-se na sua remanufatura, deverá ser levada em consideração a durabilidade dos materiais selecionados. Não sendo diferente das etapas relacionadas à inspeção, desmontagem, limpeza, reparo, remontagem e teste, independentemente da ordem. Esta, diretamente relacionada às características particulares do produto e de seu processo de remanufatura, IJOMAH *et al.*, (2007) *apud* BARQUET (2009).

Algumas restrições de mercado também são presentes no contexto da remanufatura. As vendas de produtos de reuso geralmente reduzem as vendas de novos produtos (MATSUMOTO, 2009 *apud* BOUZON, 2011). Isso gera uma incerteza de rentabilidade para a remanufatura, devido à possível canibalização das vendas dos produtos novos, visto que os produtos remanufaturados são uma alternativa de baixo-custo.

O receio decorrente da canibalização de produtos novos faz com que o processo de remanufatura não se desenvolva por completo ou que os produtos remanufaturados sejam comercializados em canais invisíveis ou secundários. Tendo em vista a escassez de ferramentas eficazes visando ao auxílio no processo de tomada de decisão em favor da remanufatura de produtos, as empresas não estão preparadas para visualizar se os benefícios da remanufatura compensam as perdas da canibalização, (BOUZON *et al.*, 2011).

Neste sentido, o risco de canibalização diz respeito ao tipo de mercado no qual está inserido o produto. No caso de haver baixa concorrência, ou seja, quanto mais próximo de um monopólio, maiores são as chances de o produto remanufaturado canibalizar as vendas dos produtos novos da mesma empresa. No entanto, em caso de alta concorrência, essa redução de volume/receita de vendas pode ocorrer sobre os produtos da concorrência, tornando esse fator uma consequência favorável (ATASU *et al.*, 2008 *apud* BOUZON, 2011).

Concordando com ZANETTE (2008) e com BARQUET (2009), os estudos relacionados à implementação e análise de sistemas de remanufatura podem aumentar a competitividade desta indústria, em particular, a indústria da remanufatura no Brasil. Na medida em que suas principais características e aspectos críticos forem identificados, compreendidos e explorados, as melhores soluções serão implementadas e assim teremos a oportunidade de buscar através de inovações

técnicas e gerenciais novas opções para os processos de fabricação utilizados em nosso país, quem sabe por meio da remanufatura.

2.2.2. Processos de Desenvolvimento de Produtos e o Design

Conforme JESWIET e HAUSCHILD (2005) *apud* BRAGA (2010) a etapa de design do produto é a mais importante, pois é nela que são definidas as características relacionadas à funcionalidade, custo e meio ambiente que permaneceram com o produto até o fim de sua vida (*End of Life – EoL*).

WALKER e DORSA (2001) exploram o papel do *designer* em consonância com a sustentabilidade. Para os autores o *designer* não deve apenas atender os usuários finais, mas também os intermediários, ou, os que participam da manufatura, por meio de uma abordagem integrada que considere o nível local e o global em suas particularidades. Para isto sugerem que a educação do designer, geralmente especializada e instrumental, deve ser ampliada para solucionar os obstáculos de um futuro sustentável, abrangendo aspectos sociais. Nesse sentido exploram que se deve considerar o valor e a natureza do trabalho humano que, na fabricação dos produtos, é criticamente afetado pelo design, BRAGA *et al.*, (2010).

Segundo PARK (2005) *apud* BARQUET (2009), em torno de 80% dos impactos ambientais dos produtos é determinado durante sua fase de concepção. Isto demonstra a responsabilidade que o pessoal envolvido na concepção e desenvolvimento de produtos tem em abordar questões relacionadas com a vida útil dos produtos.

Fundamentados na carência de metodologias de desenvolvimento de produtos que considerem questões ambientais, PLATCHECK *et al.*, (2008) *apud* BRAGA (2010) sugerem uma metodologia de desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos sustentáveis em que os fatores ambientais são considerados desde a concepção da idéia até o produto final, buscando a produção limpa por meio de conceitos como: Design para Manutenção (*Design for Maintenance – DfM*), Design para Montagem (*Design for Assembly – DfA*), Design para Desmontagem (*Design for Disassembly – DfD*).

Segundo BRALLA (1996) *apud* MARTINS (2010), o conceito de DFX (*Design for X ou Design for Excellence*) surgiu no final da década de 1980 na AT&T Bell Laboratories, onde foi reconhecida a necessidade de satisfazer os objetivos de cada atributo desejável de projeto de produto. O DFX evoluiu do conceito de DFM (*Design for Manufacturability*), cujo conceito vinha sendo estudado desde a década de 60 pela GE – *General Electric*.

O DFM é uma técnica analítica e com base no conhecimento (experiência e julgamento de engenharia) que invoca uma série de princípios, *guidelines*, recomendações ou regras para o projeto de um produto de maneira a facilitar a sua manufatura e minimizar seu custo. O DFX pode ser definido como uma abordagem com base no conhecimento que visa maximizar todos os atributos desejáveis no projeto do produto, ao mesmo tempo minimizando o seu custo de vida (*Life Cycle Cost*). O atingimento destes objetivos constitui a excelência do projeto do produto (*Design for Excellence*), BRAGA (2010).

A fase de design e concepção de qualquer produto é crítica, tanto em relação aos custos como em relação aos impactos ambientais ocorridos ao longo do respectivo ciclo de vida deste produto, como 70% do custo final do produto é determinado durante esta etapa, a mesma pode ser relacionada também aos impactos ambientais e requisitos funcionais, PEÇAS *et al.*, (2009).

2.2.3. Eco-design

A palavra *eco-design* tem em sua origem o termo “eco” de raiz grega *oikos*, casa. Este termo relaciona-se com o meio ambiente vivo e seu governo. Neste sentido, “eco” refere-se a natureza, incluindo subsistemas antrópicos. *Eco-design* é análogo à economia e a ecologia, BRAGA (2010).

Segundo PUGLIERI (2009), nas últimas décadas diante do quadro de pressões sociais e governamentais, entidades de pesquisa e empresas iniciaram uma busca por alternativas tecnológicas que minimizassem os danos ambientais que eram causados pelas atividades humanas. Uma destas alternativas foi voltada para o desenvolvimento de produtos, de forma que os impactos ambientais que o produto poderá gerar ao longo de todo seu ciclo de vida sejam considerados logo nas primeiras fases do desenvolvimento. A inserção da análise ambiental nas

fases iniciais do desenvolvimento de produtos ficou conhecida como *eco-design* ou *DfE* (*Design for Environment*), ou seja, o design com a preocupação em relação aos aspectos ambientais.

Outra definição para *eco-design* apontada por LINDAHL (2000) *apud* PUGLIERI (2009), mostra que o *DfE* pode ser entendido como o “desenvolvimento de produtos através da aplicação de critérios ambientais objetivando redução de impactos ambientais em todas das fases do ciclo de vida do produto”.

Eco-design, mais que um conceito, é uma forma de projetar novos produtos ou de re-projetar os existentes integrando parâmetros ambientais desde a concepção inicial dos mesmos. Ou seja, a própria idéia de fazer um produto passa a ser condicionada pela sua performance ou ambiental. Forma, função, materiais, produção, consumo, reciclagem ou descarte no fim de sua vida útil tudo é concebido de forma integrada com o meio ambiente, (MEDINA, 2005).

Segundo KNIGHT e JENKINS (2009) *apud* BRAGA (2010) explicam que enquanto o design tradicionalmente concentra-se nas fases de produção e uso, o *eco-design* tem uma perspectiva do ciclo de vida, desde a extração dos materiais até o fim da vida do produto (conhecida como do “berço ao túmulo”).

A adoção de práticas do *eco-design* pode auxiliar a estratégia de manufatura ao incorporar, na gestão, aspectos relativos ao controle ambiental (BORCHARDT *et al.*, 2007).

Sendo aplicado através da inserção ambiental no desenvolvimento de produtos, o *eco-design* pode abranger diversas finalidades, como realizar quantificações e comparações entre produtos numa perspectiva de ciclo de vida (método de ACV) e até mesmo considerando as alternativas de fim de vida do produto, como a remanufatura, por exemplo, (PUGLIERI, 2009).

A idéia do *eco-design* surgiu na década de 1990, quando a indústria eletrônica dos EUA procurava minimizar o impacto no meio ambiente decorrente de sua atividade. A Associação Americana de Eletrônica (*American Electronics Association*) formou uma força-tarefa para desenvolver projetos com preocupação ambiental e providenciar uma base conceitual que beneficiasse primeiramente os membros da associação. Desde então, o nível de interesse pelo assunto cresceu e os termos *eco-design* e *DfE- Design for Environment* passaram a ser mencionados em programas de gestão ambiental (BORCHARDT *et al.*, 2007).

De acordo com BORCHARDT (2008) *apud* BRAGA (2010) pesquisas empíricas têm indicado como principais motivadores para a integração do *eco-design* no processo de desenvolvimento de produto: o retorno financeiro das vendas de produtos “verdes” e a redução de

custos provocada pela redução de perdas nos processos de fabricação e reaproveitamento físico de materiais.

Assim como o processo de globalização da indústria, o *eco-design* é uma tendência mundial e irreversível neste novo século. Fruto, no plano técnico, de um processo de normalização ambiental crescente, foi inaugurado pela série ISO 14000. Na verdade desde o final do século XX a dimensão ambiental já faz parte dos projetos de produtos ao lado da qualidade (ISO 9000) e das componentes clássicas como as dimensões técnica e econômica do produto, (MEDINA, 2005).

O *eco-design* ou eco-concepção é uma nova forma de desenvolver produtos globalmente, ou seja, pensando não apenas na sua produção, venda e consumo, mas também nos seus antecedentes materiais (se são renováveis ou recicláveis) e nos seus conseqüentes impactos sobre o ambiente ao fim de sua vida útil, (MEDINA, 2005).

2.2.4. Logística reversa

Embora a logística seja uma atividade que é exercida desde os primórdios da nossa civilização, a primeira tentativa de uma definição formal remonta ao ano de 1826, quando o General Jomini dividiu a arte da guerra em cinco ramos, sendo a logística um deles. Nesta definição, a logística pode ser entendida como a arte prática de movimentar os exércitos, compreendendo não apenas os problemas de transporte, mas também o trabalho de estado-maior, as medidas administrativas e até as atividades de reconhecimento e de informação necessários para o deslocamento e a manutenção de forças militares organizadas, (REIS; CARMO; NISHIOKA, 2008).

Definições mais modernas de logística podem ser encontradas em CLM (*Council Logistics Management*), onde a logística é definida como o processo de planejar, implementar e controlar o fluxo de materiais desde a matéria-prima, passando pelo estoque em processo e chegando até a mercadoria final, incluindo o fluxo de informação por toda a cadeia (NOVAES, 2004 *apud* REIS; CARMO; NISHIOKA, 2008).

A crescente preocupação de toda a sociedade com o meio ambiente fez com que uma parcela considerável de empresas começasse a olhar para o volume de sucata e/ou lixo industrial com mais cuidado e responsabilidade, passando a dar um enfoque mais estratégico para o fluxo contrário. É neste contexto que a logística reversa ganha força. A logística reversa é o processo de planejamento, implementação e controle eficiente e eficaz do fluxo de matérias-primas, produtos em processamento, produtos acabados e informações relacionadas desde o ponto de consumo ao ponto de origem, com o propósito de recapturar o fluxo, criar valor ou descartá-lo adequadamente (CLM 2007). De acordo com ROGERS e TIBBEN-LEMBKE (1998) apud REIS; CARMO; NISHIOKA (2008), a logística reversa opera em sentido oposto, tendo como origem o consumidor final.

Embora os conceitos de remanufatura e logística reversa estejam ganhando popularidade na prática, a literatura e teoria disponíveis sobre a tomada de decisão estratégica nestas áreas ainda são limitados, CHINNAM (2009).

Para os autores BRITO e DEKKER (2002), apud HORI (2010), referem-se à Logística Reversa como atividades associadas para recuperar equipamentos, produtos, componentes, materiais ou mesmo todo um sistema técnico. Essa recuperação, segundo os autores, pode ser simplesmente a revenda de um item ou pode ser acompanhada de uma série de processos como coleta, inspeção, separação, remanufatura ou reciclagem. Essa definição pode ser a enumeração das atividades de “recuperar valor ou efetuar o apropriado descarte” da primeira definição de Logística Reversa ou LR.

Neste sentido, “recuperar valor ou efetuar o apropriado descarte” representa a mais importante diferença da LR em relação à logística em seu fluxo direto, HORI *et al.*, (2010).

Na literatura sobre LR observa-se uma diferenciação de processos de fluxo reverso, dependendo do estágio ou fase do ciclo de vida útil do produto retornado, entre as chamadas LRPV ou Logística Reversa de Pós-Venda e a LRPC ou Logística Reversa de Pós-Consumo. A primeira, LRPV, refere-se à operacionalização do fluxo físico e das informações logísticas correspondentes e de bens de pós-venda, com ou sem uso, que retornam à cadeia de suprimentos por diversas razões, sendo as principais: devoluções por razões comerciais, erros no processamento dos pedidos, garantia dada pelo fabricante, defeitos e falhas de funcionamento no produto e avarias durante o transporte para entrega aos clientes. Já a LRPC, é a operacionalização do fluxo físico e das informações correspondentes de bens de pós-consumo, com ou sem

funcionalidade, descartados pela sociedade para serem encaminhados aos processos de descarte ou processamento de resíduos, LEITE (2003) *apud* HORI *et al.*, (2010).

Para BOUZON (2011), um dos principais desafios da remanufatura é fabricar produtos com qualidade a partir de produtos de qualidade desconhecida. Além dessa dificuldade, seu suprimento é limitado pelo número de retorno das vendas, ou seja, os produtos remanufaturáveis enfrentam restrições de fornecimento. Ainda há muito a ser desenvolvido em termos de canais de distribuição reversos, que abastecem a remanufatura.

2.3. Engenharia do Ciclo de Vida – ECV

Para associar as questões e os parâmetros ambientais ao ciclo de vida, durante o desenvolvimento do produto, surge a Engenharia de Ciclo de Vida (ECV) ou também conhecida como *LCE – Life Cycle Engineering*. A ECV é definida como a habilidade de projetar o ciclo de vida do produto por meio de escolhas sobre a sua concepção, a sua estrutura, os seus materiais e os seus processos. Essas escolhas irão determinar o modo como o produto influirá no meio ambiente, ou seja, nas conseqüências que a sua produção acarretará. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é a ferramenta que visualiza as conseqüências ambientais e recursivas dessas escolhas. (ALTING e LEGARTH, 1995 *apud* SALIERNO, 2010).

Tanto o conceito de ECV quanto a ferramenta de ACV servem para que o produto seja gerado de forma ambientalmente adequada. A grande preocupação para ambas é não permitir que os processos causem impactos negativos ao meio-ambiente e que, durante a fase de concepção do produto, se tenha em vista, também, a facilidade de desmontagem, de reutilização, de reciclagem ou de remanufatura após seu uso, (BARBIERI, 1997 *apud* SALIERNO, 2010).

HAUSCHILD *et al.*(2005) *apud* PUGLIERI (2009), definem a Engenharia do Ciclo de Vida (ECV), como sendo um conjunto de atividades de engenharia para o projeto e a manufatura de produtos pensando na proteção do meio ambiente e na conservação de recursos, considerando ainda o processo econômico, a necessidade pela sustentabilidade e a otimização do ciclo de vida do produto, reduzindo a poluição e o desperdício. Por esta definição, a Engenharia do Ciclo de

Vida abrange uma série de conceitos, sustentabilidade, economia, ciclo de vida do produto e o *Eco-design*.

Para garantir a eco-eficiência várias ferramentas de ECV podem ser utilizadas nas diferentes fases do processo, dentre elas o *Eco-design*, a Análise do Ciclo de Vida e Sistemas de Produção Mais Limpa, segundo ZANETTE (2008).

Segundo os autores PEÇAS, RIBEIRO e HENRIQUES (2009) o conceito de ECV pode ser definido como uma análise integrada e uma metodologia para tomada de decisão que considera os desempenhos técnicos, econômicos e ambientais, ao longo do ciclo de vida do produto, propiciando aos engenheiros de produtos, projetistas e designers um guia aplicável. No nível operacional o conceito de ECV faz uso não apenas de ferramentas convencionais como análises técnicas baseadas em propriedades mecânicas, elétricas e/ou químicas, mas também contempla ferramentas de análises ambientais e econômicas do ciclo de vida.

Em função das características do conceito de ECV englobarem de forma ampla estes diversos aspectos já citados, contemplou-se no escopo deste trabalho a aplicação do conceito de Engenharia do Ciclo de Vida, com base na aplicação de suas técnicas de suporte: a Análise do Ciclo de Vida (ACV) por meio do método *Eco-Indicator'99* e a análise de Custos do Ciclo de Vida (CCV).

2.3.1. Análise do Ciclo de Vida – ACV

A metodologia *LCA – Life Cycle Assessment* ou Análise do Ciclo de Vida – ACV, permite a incorporação dos impactos ambientais como fator de decisão durante a fase de desenvolvimento de um produto, através da obtenção de indicadores que expressam o comportamento ambiental dos materiais e processos (POUSA, 2008).

Definiu-se a Análise do Ciclo de Vida como uma técnica de avaliação de aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto (CHEHEBE, 2002). Segundo LJUNGBERG (2005), a ACV compreende etapas que vão desde a retirada, no meio ambiente, das matérias-primas (berço) até a disposição do produto final (túmulo). Os impactos ambientais de um produto são determinados por entradas e saídas durante o ciclo de vida: entram matéria-

prima e energia; e saem gases, efluentes, resíduos, contaminação do solo, ruído, vibrações, radiações e calor (BORCHARDT *et al*, 2008).

O produtor analisa o projeto do produto, a manufatura, os serviços associados, a disposição final e a remanufatura. O consumidor exige que o produto seja definido por características específicas, o que requer soluções individualizadas. A ABNT NBR ISO 14040:2009 estabelece que a ACV de produtos deve ser executada em quatro fases (CHEHEBE, 1997): i) objetivo e escopo, onde são estabelecidos a abrangência e os limites do estudo em três dimensões: extensão, que define início e término; largura, que define quantos e quais subsistemas serão incluídos na análise; e profundidade, que define o nível de detalhe do estudo; ii) análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV), que contempla a coleta e a quantificação das variáveis (matéria-prima, energia, transporte, emissões gasosas, efluentes e resíduos líquidos) relevantes no ciclo de vida; iii) Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV), que consiste na medição ou no julgamento da magnitude ou da severidade dos impactos ambientais das variáveis inventariadas; e iv) interpretação, baseada na análise dos resultados das fases anteriores.

Para GIANNETTI e ALMEIDA (2006), a ACV permite: i) identificar os processos, materiais e sistemas que mais ameaçam o ambiente; ii) comparar opções de minimização de risco; e iii) traçar uma estratégia de longo prazo para o projeto e o uso de materiais de um produto.

Segundo CHEHEBE (1997), a construção de fluxogramas pode auxiliar no processo de identificação dos processos e intervenções ambientais mais relevantes. Para tanto, o autor destaca algumas recomendações, como sua construção a partir do processo de manufatura dos produtos principais e, em caso de necessidade, a posterior subdivisão de processos.

A fase de inventário constitui uma etapa indispensável para a avaliação quantitativa de impactos ambientais e engloba a coleta de dados e procedimentos de cálculos utilizados na quantificação de fluxos de entrada e de saída de matéria prima e energia para um determinado sistema produtivo (MANZINI; VEZZOLI, 2005 *apud* TAKAHASHI, 2008).

Um inventário do ciclo de vida (ICV) consiste na descrição do processo com as entradas e saídas (TAKAHASHI, 2008).

Segundo POUSA *et al.*, (2008) a técnica principal usada em ACV é a modelação. Na fase do inventário dos fluxos, o modelo é desenvolvido a partir dos processos usados para produzir, usar e desmantelar um produto. Para cada processo, são recolhidas todas as emissões e consumos

de recursos durante o ciclo de vida do produto em estudo. Os resultados deste inventário são listas de emissões, recursos consumidos e impactos não materiais, como o uso de terrenos. Como estas listas são geralmente muito longas e de difícil interpretação, para quantificar ambientalmente esses fluxos, um modelo simplificado é desenvolvido. Esta é a terceira fase da ACV, ou seja, a fase de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV). “O objetivo da AICV é prover informações adicionais para ajudar na avaliação dos resultados do ICV de um sistema de produto, visando ao melhor entendimento de sua significância ambiental” (ABNT NBR ISO 14040:2009).

A atribuição dos pesos relativos aos impactos ambientais envolve um ranking, pesagem e uma possível agregação dos resultados dos indicadores pelas categorias, resultando assim uma pontuação final. A atribuição de pesos é um assunto controverso nesta metodologia, devido à sua dependência nos julgamentos de valor e conseqüente subjetividade. Existem vários métodos disponíveis para a atribuição de pesos relativos aos impactos ambientais dentro da metodologia ACV: o *EPS-system*, o método Tellus, o método da Eco-Escassez, e o *Eco-Indicator'99* entre outros (POUSA *et al*, 2008).

A Tabela 1 indica algumas características de alguns dos métodos de AICV.

Tabela 1 - Características dos métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida.

<i>Métodos</i>	<i>Características</i>
<i>Eco-indicator 99</i>	A pontuação fornecida pelo <i>Eco-indicator 99</i> baseia-se na metodologia de avaliação de impactos que transforma os dados da planilha de inventário em pontuações de dano. De acordo com as necessidades e escolha do usuário, os dados podem ser agregados em categorias de danos como recursos (combustíveis fósseis e minerais), qualidade dos ecossistemas (acidificação/eutrofização, ecotoxicidade e uso do solo) e saúde humana (liberação de compostos orgânicos e inorgânicos respiráveis, radiação, mudança climática, depleção da camada de ozônio e emissão de substâncias carcinogênicas), ou em uma pontuação única;
<i>CML method 92</i>	Método desenvolvido pelo <i>Centre for Environmental Science of Leiden University</i> (CML), tendo por princípio, a utilização de indicadores referenciais. Os resultados do inventário são convertidos a partir de fatores de caracterização ou equivalência, sendo posteriormente normalizados em relação a uma base de referência, gerando um único indexador dos impactos ambientais por classe de impacto, seguida de um índice ambiental para o sistema;
<i>Ecopoints 97</i>	Este método baseia-se no princípio da distância até o alvo. A distância entre o nível atual de um impacto e o nível alvo indica a gravidade da contribuição de uma determinada emissão.
<i>EPS 2000</i>	Neste método, calcula-se a cadeia completa de causa e efeito de cada impacto sobre o equivalente humano

Fonte: (SILVA, 2005 *apud* TAKAHASHI, 2008).

Pela complexidade da sua aplicação, mesmo décadas após da sua criação, a ACV ainda está longe de se tornar um instrumento maduro para a avaliação de impactos ambientais. Apesar disto, empresas como a VOLVO na Suécia, e outras, a empregam para projetar seus veículos, aplicando os conceitos denominados de Projeto para Reciclagem ou Projeto para o Meio Ambiente, (*DfE, Design for Environment, ou DfR, Design for Recycling*). Num cenário internacional de crescentes pressões ambientais, as empresas que mais cedo adiram ao processo de busca de uma maior eco-eficiência, melhor desempenho conseguirão no novo ambiente econômico, (KIPERSTOK, 2000).

Para CHINNAM (2009), os estudos relacionados à ACV têm revelado que as organizações devem estar muito atentas para não utilizarem tecnologias obsoletas e poluidoras nos processos de remanufatura de seus componentes, mas sim devem esforça-se para conceber produtos que prevêm a atualização de tecnologias de forma incorporada.

2.3.2. Eco-indicadores

Como pressões legais e públicas, relativas a questões ambientais têm crescido, a necessidade de medição do desempenho ambiental têm sido mais discutida em estratégias funcionais de manufatura. Uma forma que a manufatura usa para responder a tais pressões é a implantação de SGA (sistemas de gerenciamento ambiental), os quais, entre outros requisitos, exigem modelos para a medição de desempenho ambiental, baseados em indicadores quantitativos. Indicadores quantitativos não são a expressão da realidade, mas uma simplificação dela, que tornam mais fácil e simples a comunicação de um assunto complexo, tal como o desempenho ambiental (LUZ; SELLITTO e GOMES, 2006).

Indicadores ambientais podem capturar dados complexos, de várias origens e segundo diversos modos de mensuração, e transformá-los em uma estrutura fácil de comunicar, tal como um índice global. Com isto, podem disseminar conhecimento e promover políticas. Índices globais são o topo de uma pirâmide informacional, em cuja base há dados primários de campo, de várias naturezas, e no meio, indicadores que os capturem e comuniquem acerca do complexo objeto estudado, o desempenho ambiental (HAMMOND *et al.*, 1995 *apud* SELLITTO; BORCHARD e PEREIRA, 2008).

2.3.2.1. Método Eco-Indicator'99

Os conceitos e métodos de avaliação de impactos ambientais continuam em fase de desenvolvimento, ressaltando-se que até o momento, nenhum acordo internacional sobre metodologias específicas encontra-se consolidado. Para facilitar a interpretação dos dados, métodos para avaliação de impactos têm sido desenvolvidos, cabendo citar: o método *Eco-Indicator'99*; *CML method 92*; *Ecopoints 97* e o EPS 2000 entre outros, usualmente disponibilizados por vários softwares de apoio à análise do ciclo de vida (SILVA, 2005 *apud* TAKAHASHI, 2008).

Segundo POUSA *et al.*, (2008), o *Eco-Indicator' 99* (EI' 99) é um sucessor do EI' 95 e avalia os impactos das emissões na saúde humana e nos ecossistemas. O impacto ecológico é representado pela fração potencialmente afetada (*PAF*) ou pela fração potencialmente desaparecida (*PDF*) de espécies, sendo o impacto ambiental dado pelo potencial de aquecimento global (*GWP*), pelo potencial de destruição da camada de ozônio (*ODP*), etc.

O *Eco-Indicator'99* é uma ferramenta de avaliação de impacto ambiental desenvolvida pela PRÉ-Consultants, empresa holandesa de consultoria. A referida ferramenta pode auxiliar designers, projetistas e engenheiros a fazer uma avaliação do impacto ambiental de determinado produto ou serviço, com base no cálculo dos eco-indicadores através dos eco-pontos em função dos materiais e processos utilizados.

A principal forma de consulta à ferramenta mencionada, esta associada à utilização de um manual que foi elaborado por GOEDKOOOP, M., EFFTING, S., COLLIGNON, M.. da empresa PRÉ-Consultants. O trabalho foi demandado pelo governo da Holanda e publicado pelos já citados autores em 2000, sob o título *The Eco-Indicator 99 - A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Manual for Designers*. PRÉ-Consultants. Publication: MHSPE (Ministry of Housing Spatial Planning and the Environment), October 2000. Netherlands.

Durante o desenvolvimento deste estudo o respectivo manual foi amplamente utilizado como fonte de referência. Sendo assim são oriundos deste manual os valores responsáveis pela mensuração dos impactos ambientais, especificados por meio de eco-pontos, relativos a cada uma das etapas do ciclo de vida do produto objeto de estudo.

O *Eco-Indicator'99* tem três versões: igualitária, individualista e hierárquica (padrão). A normalização e as medidas são executadas em nível de categoria de dano (*endpoint level* na terminologia da ISO – *International Organization for Standardization*), incluindo três categorias: dano na saúde humana, danos na qualidade do eco-sistema e danos nos recursos. As categorias de danos (e não as categorias de impacto) são normalizadas num nível europeu (dano causado a um europeu por ano), na maior parte tendo o ano de 1993, como base, com algumas atualizações para as emissões consideradas mais importantes (BARBOZA, 2001).

O impacto na saúde humana é medido por unidades *DALY - Disability Adjusted Life Year*, que representam os anos de vida perdidos ou com incapacidades em consequência dos impactos das emissões. Para um dado processo, as emissões são classificadas em diversas categorias de impactos e caracterizadas em unidades comuns para cada categoria baseadas em fatores de

impacto. Os melhoramentos destes índices foram desenvolvidos nas próprias categorias de impacto, incluindo o uso de terra e a escassez de recursos como categoria de impacto. Foram também desenvolvidas modelação das funções de dano e incluídas teorias culturais como ferramentas para lidar com a subjetividade. Dependendo da atitude dos três arquétipos humanos (individualistas, igualitários e hierarquistas), é determinada a distribuição de fatores de pesos entre saúde humana, ecossistema e recursos (POUSA, 2008).

2.3.2.2. Características e utilização do método Eco-Indicator'99

Segundo GOEDKOOOP; EFFTING e COLLIGNON (2000), com base no *Eco-Indicator'99 - Manual for Designers*, o método tem a sua estrutura efetuada na análise dos três principais etapas do ciclo de vida dos produtos:

- Produção de matérias primas, processamento e manufatura;
- Transporte do produto, utilização de energia e materiais de consumo em uso;
- Descarte.

A estruturação do método requer que sejam seguidos alguns passos, com o intuito da determinação dos respectivos eco-indicadores, sendo estas as principais atividades:

1. Estabelecimento do propósito de cálculo dos eco-indicadores, escopo e objetivos;
2. Definir o ciclo de vida do produto, com base em um fluxograma;
3. Quantificar materiais e processos;
4. Determinação dos ECO-Pontos com base nos eco-indicadores;
5. Interpretação dos resultados.

As instruções para operacionalização do método, particularmente associada à Etapa 4, de Determinação dos ECO-Pontos, devem respeitar a seguinte seqüência:

1. Determinação de uma lista de componentes do produto, identificando os respectivos materiais e processos para elaboração de cada um deles, assim como o seu referido peso;
2. Classificar quanto à etapa do ciclo de vida: Produção, Utilização ou Descarte;
3. Em função tipo de material, transporte ou energia, determinar a respectiva unidade de medida;

4. Determinar o respectivo eco-indicador com base no *EI'99 Manual for Designers*;
5. Multiplicar os valores de pesos e medidas pelos eco-indicadores, obtendo-se desta forma os respectivos ECO-Pontos. Quanto maiores os ECO-Pontos, mais significativos são os impactos ambientais;
6. O número total de ECO-Pontos será calculado através do somatório, para cada uma das fases do ciclo de vida;
7. Considerando-se quais os elementos e as fases do ciclo de vida do produto que causam maior impacto ambiental, pode-se então focar os mesmos nas atividades de re-projeto.

2.3.2.3. Eco-Pontos

Com o intuito de facilitar o registro das informações e dados demandados para o cálculo dos ECO-Pontos, por meio da utilização do método *Eco-Indicator'99*, o documento *Manual for Designers* do *EI'99* sugere a utilização de uma tabela simples e direta. A referida tabela padrão compila tais informações e apresenta como resultado final os ECO-Pontos para cada uma das etapas do ciclo de vida e conseqüentemente o somatório para o ciclo de vida total.

Tendo como referência as tabelas sugeridas no método *EI'99*, algumas alterações e adaptações foram efetuadas e desta forma elaborou-se uma tabela padrão para o cálculo dos ECO-Pontos para a ciclo de vida do objeto de estudo, sendo a Tabela 2 que será apresentada a seguir.

Tabela 2 – Tabela de dados e cálculo dos ECO-Pontos com base nos Eco-Indicadores.

Características do objeto de estudo			Processo de fabricação analisado			
Etapa	Componente	Processo/Material	Quantidade	Unidade	Indicador	Resultado
Produção						
Transporte						
Utilização						
Descarte						
				TOTAL de ECO-Pontos (unidade em <i>mPt</i>)		

Com base na utilização da Tabela 2, onde constam as informações relacionadas à determinação dos ECO-Pontos, por meio dos eco-indicadores, percebe-se a facilidade de leitura e a respectiva análise objetiva dos referidos dados. Desta forma evidenciam-se os valores relacionados a cada uma das etapas do ciclo de vida e conseqüentemente tem-se a oportunidade de determinar quais são os elementos, estágios ou processos mais impactantes em termos ambientais.

Durante as obtenção dos ECO-Pontos, por meio da utilização da Tabela 2 apresentada e tendo como referência os valores de Indicadores contemplados no *Manual for Designers* do *EI'99*, devem ser sempre respeitadas as unidades especificadas.

Como o principal intuito é de comparação entre duas etapas de ciclo de vida de um respectivo produto ou componente, a unidade de Pontos Eco-Indicadores que é expressa como *Pt* não é relevante e estes Eco-Indicadores padrão podem ser considerados adimensionais, segundo os próprios autores do *EI'99*.

A título de informação, os valores destes indicadores geralmente expressam números em grande escala, uma vez que estão relacionados aos impactos ambientais anuais médios de um habitante europeu. A fim de se evitar trabalhar em números com grandes quantidades de casas decimais é então sugerida a utilização em *mPt*, ou seja, no *EI'99* o valor de 1Pt é igual a 1000 *mPt* (*mili-points*).

Sendo assim, em uma análise comparativa, quanto maiores forem os valores dos ECO-Pontos determinados por meio da ferramenta *EI'99*, maiores e piores são os impactos ambientais da etapa ou processo avaliado.

2.3.3. Custo do Ciclo de Vida – CCV

A análise do Custo do Ciclo de Vida - CCV ou também conhecido como *Life Cycle Cost - LCC*, apresenta como dificuldade a necessidade de recolher uma grande quantidade de dados, que a maior parte das vezes não é registrada ou difícil de encontrar e para que seja válida tem que seguir um determinado procedimento. Em primeiro lugar surgem todos os custos dos elementos de interesse relativos à análise que se vai efetuar, seguido de uma definição de uma estrutura de custo, que agrupa os custos de acordo com a sua dependência e natureza, podendo estes dividir-se em custos de engenharia e desenvolvimento, produção e implementação bem como custos de operação, (POUSA, 2008).

Para CHINNAM (2009), três diferentes categorias de custos são usualmente utilizadas para tomadas de decisão na manufatura tradicional, eles são os custos diretos de materiais ou matéria prima, mão de obra direta e aspectos administrativos. A suposição comum de que os valores de venda devem gerar receita suficiente para recuperar todos os custos e ainda gerar lucros não pode ser aplicada ao processo de remanufatura. Uma vez que, determinados componentes de uma peça a ser remanufaturada, podem ser reutilizados diversas vezes, pode não ser razoável recuperar todos os custos e ainda gerar lucros já na primeira venda deste referido produto remanufaturado. Para o autor, a tarefa de determinação destes custos, das vantagens de retorno destes componentes e da preparação dos mesmos para remanufatura será algo ainda mais complicado.

A ausência de uma ferramenta apropriada para uma análise financeira dos custos-benefícios pode resultar em decisões inadequadas relacionadas à remanufatura. Fato este de suma importância, uma vez que a maioria das empresas está tomando as decisões relacionadas à remanufatura apenas baseadas nos benefícios econômicos, segundo CHINNAM (2009).

Embora a preocupação com os impactos das decisões no Processo de Desenvolvimento de Produtos ou PDP em relação aos custos já esteja presente em muitas empresas, persistem ainda perguntas: Uma vez respeitadas demais restrições de projeto e de mercado como Qualidade, *Time-to-market*, Logística etc. (os chamados *trade-offs*), como garantir que determinada solução de projeto representa o menor Custo do Ciclo de Vida do produto? Quais as condições necessárias para que os responsáveis pelas decisões possam tomá-las com o menor grau de

incerteza possível? Certamente estas perguntas poderiam ser feitas em outro contexto que não o de Custos, e a resposta talvez pudesse, no entanto, ser a mesma: a melhoria do processo decisório passa necessariamente por um aperfeiçoamento do PDP, (FREIXO e TOLEDO, 2003).

Segundo pesquisa efetuada por ÖSTLIN, SUNDIN e BJÖRKMAN (2008) *apud* ZANETTE (2008), salienta-se que a principal resposta dada por empreendedores quando questionados sobre os motivos pelo quais praticam o processo de remanufatura é o retorno econômico. Esta rentabilidade se deve à redução de custos na fabricação de produtos novos por remanufatura e para a disposição a final de produtos (nos países nos quais existe a responsabilidade estendida do produtor), ao reuso dos recursos imputados ao produto durante sua remanufatura (energia, matérias primas e trabalho) e a possibilidade de novas estratégias de negócio e abertura de novos mercados.

Com base nestas informações torne-se evidente a necessidade de aplicação de um método para análise do ciclo de vida dos produtos, avaliando-se todas as etapas com o intuito de um levantamento das informações que tangem os custos envolvidos e desta forma a consequente avaliação das possibilidades de alteração e minimização destes fatores cada vez mais decisivos em termos de sucesso ou não, comerciais, os custos em termos de fabricação. Justificando-se entre outros fatores a aplicação da forma mais completa possível do método de Custo do Ciclo de Vida como etapa fundamental para uma Análise do Ciclo de Vida de forma completa.

3. MÉTODOS MULTICRITERIAIS

Atualmente, o processo de tomada de decisão é muito mais complexo que no passado, tornando necessária a consideração de um grande número de variáveis nas análises, bem como a inclusão de fatores de risco e incerteza, com a finalidade de garantir a confiabilidade dos resultados e conclusões. A utilização de uma metodologia multicriterial fornece ao tomador de decisão algumas ferramentas de forma a capacitá-lo a avançar na solução de problemas de decisão, onde diversos pontos de vista e critérios devem ser considerados (VINCKE, 1992 *apud* EDER, 2005).

Segundo SAATY (1991) esta utilização justifica-se por considerar simultaneamente critérios quantitativos e qualitativos em sua análise, ao mesmo tempo em que incorpora a experiência e a preferência dos tomadores de decisão, uma vez que muitas características são qualitativas ou subjetivas, o que torna difícil sua mensuração.

Com o intuito de possibilitar uma análise concreta da maioria dos fatores envolvidos em ambos os processos de fabricação do objeto de estudo, fez-se o uso de dois métodos matemáticos como ferramentas de apoio a tomada de decisão, sendo eles o método QFD e o método AHP, que serão apresentados a seguir:

3.1. Método QFD

O método QFD – “*Quality Function Deployment*” ou Desdobramento da Função Qualidade é um método que tem por fim estabelecer a qualidade do projeto, capaz de obter a satisfação do cliente, e efetuar o desdobramento das metas do referido projeto e dos pontos prioritários, em termos de garantia da qualidade, até o estágio de produção (AKAO *apud* MIRANDA, 2004.)

A exigência dos consumidores no mercado global, especialmente no mercado automotivo, faz com que os fabricantes de automóveis e de seus respectivos componentes estejam cada vez mais atentos as exigências e vontades de seus clientes atuais e fundamentalmente de seus

potenciais futuros clientes. Desta forma o custo, tempo de desenvolvimento e qualidade são consideradas as três maiores determinantes do sucesso de um novo produto (OKABE, 2003).

O método QFD é um processo estruturado que pretende determinar os desejos e necessidades dos consumidores e traduzi-los em requisitos técnicos de engenharia. O QFD pode ser empregado em toda a extensão do desenvolvimento de um novo produto ou melhoria de um projeto já existente. Dentro da fase de análise de viabilidade, o principal método utilizado para desenvolver o QFD é a matriz conhecida como Casa da Qualidade (OKABE, 2003).

3.1.1. Estrutura do método QFD

A estruturação do método consiste no desdobramento que é feito identificando-se a relação entre os requisitos do cliente, denominados “voz do consumidor”, e os requisitos de projeto do produto por meio do uso de uma matriz conhecida como HOQ – “*House of Quality*” ou Casa da Qualidade (HAUSER e CLAUSING, 1988).

O QFD traduz os atributos de um produto em aspectos de projetos e esses, subseqüentemente, transformados em aspectos de peças, procedimentos operacionais e requisitos de produção. O QFD é uma ferramenta de planejamento, de comunicação e de documentação do desenvolvimento de novos produtos e da melhoria dos existentes, que auxilia a redução de custo e garante a melhoria da qualidade (SIMÕES, 1995 *apud* MIRANDA 2005).

Esquema visual da casa da qualidade ou HOQ, é apresentado na Figura 11.

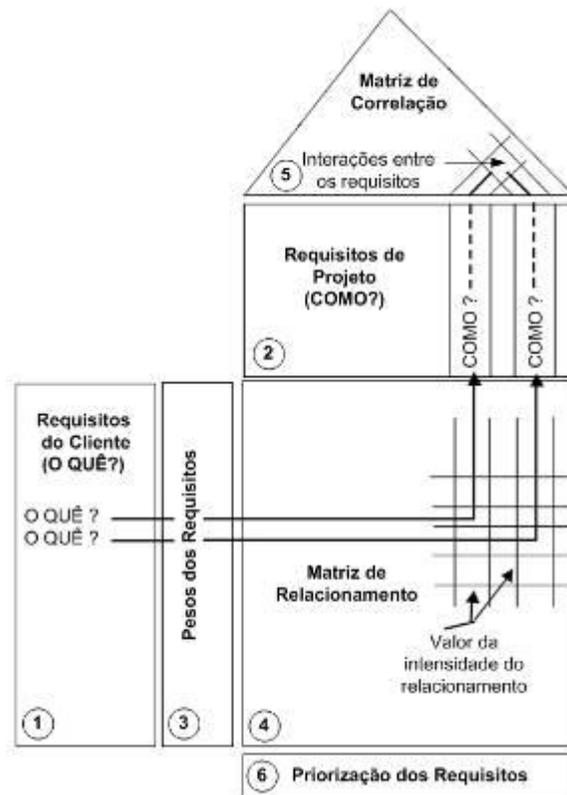


Figura 11 - Casa da Qualidade.
(Adaptada de CHEN, J.; CHEN, C., 2002).

A apresentação de cada um destes conceitos está baseada nos conceitos expostos por OKABE (2003).

1) Requisitos do Cliente podem ser também conhecidos como:

- Voz do consumidor;
- Necessidades do consumidor;
- Desejos do consumidor;
- Atributos do consumidor;
- Requisitos do consumidor.

Estes expressam o que o mercado deseja ou necessita do produto. Representa “O QUE” é importante para o cliente. São as expressões lingüísticas dos clientes convertidas, qualitativamente, em necessidades reais (MOURA, 1994).

2) Requisitos de projeto, também conhecidos como:

- Voz da engenharia;
- Características de engenharia;
- Características das expectativas do produto;
- Requisitos do produto;
- Expectativas da empresa.

Os Requisitos de Projeto refletem as características que os consumidores esperam encontrar no novo produto, sendo uma tradução das necessidades dos consumidores na linguagem técnica da empresa. Representa “COMO” pode ser provido tal requisito para o cliente.

- 3) Pesos dos requisitos: segundo AKAO (1996), é o peso de importância que os clientes atribuem a cada um dos requisitos.
- 4) Matriz de relacionamento: De acordo com CHENG *et al.*, (1995), também conhecida como matriz de relações é a interseção dos itens da qualidade demandada pelos clientes com as características de qualidade. É composta de células identificando como e quando cada característica de qualidade influencia em cada item da qualidade demandada. A intensidade das relações é indicada nos seguintes níveis: forte, médio, fraco e inexistente.
- 5) Matriz de correlação: É o teto da casa da qualidade e por ela é feito o cruzamento das características da qualidade sempre duas a duas para identificar como elas se relacionam. Estas relações podem ser de apoio mútuo, ou seja, quando o desempenho favorável de uma característica ajuda o desempenho favorável da outra característica, ou de conflito, ou seja, quando o desempenho favorável de uma característica prejudica o desempenho favorável da outra característica (CHENG *et al.*, 1995).
- 6) Priorização dos requisitos de projeto: ilustra a ordem de prioridade dos requisitos de projeto em função do relacionamento com os requisitos do cliente e seus respectivos pesos.

3.1.2. Particularidades em relação ao uso do método QFD

Para as organizações convém que todos os colaboradores tenham completo entendimento dos requisitos dos clientes. Deve-se conscientizá-los sobre quais são as suas contribuições que estão relacionadas com cliente final. Os colaboradores do chão de fábrica não devem somente produzir ou montar os produtos. O fato de estarem conscientes dos requisitos e preocupação dos clientes pode maximizar a auto-estima e a motivação dos funcionários (MIRANDA, 2005).

O cliente satisfeito volta para comprar mais. “Vale a pena manter os clientes satisfeitos: se o proprietário de um carro gosta de seu carro, a tendência é ele comprar mais quatro carros da mesma marca, durante os doze anos seguintes, diz a *Technical Assistance Research Program*, uma organização de consultoria de Washington, especializada em comportamento do consumidor (MIRANDA *et al.*, 2005). Também é provável que o cliente transmita a boa notícia para outras oito pessoas. Mas a entrega de um produto de má qualidade é uma situação crítica para o fabricante de carros. Um comprador insatisfeito contará seus problemas para uma média de dezesseis pessoas”, (DEMING *et al.*, 1990 *apud* FARIAS, 2004).

Como exemplo de vantagem competitiva proporcionada pelo uso do QFD, pode ser apresentado o sistema utilizado pela *Toyota Autobody* no Japão. O QFD teve sua implantação nesta indústria japonesa iniciado por um período de treinamento e preparação de quatro anos. Entre janeiro de 1977 e abril de 1984 a *Toyota Autobody* introduziu no mercado quatro modelos novos de veículos. Usando 1977 como ano inicial da introdução do método, a Toyota apresentou uma redução de 20% nos custos iniciais no lançamento de um novo veículo em 1979; uma redução de 38% em 1982; e uma redução acumulativa de 61% em abril de 1984. Durante este período, o ciclo de desenvolvimento do produto foi reduzido em um terço com um aumento correspondente na qualidade devido a uma redução no número de alterações de engenharia (OKABE, 2003).

ROZENFELD (2006) *apud* PUGLIERI (2009), enumera uma série de benefícios ao se trabalhar com o QFD no desenvolvimento de produtos, como a redução do número de mudanças de projeto, diminuição do ciclo de projeto, redução de reclamações de garantia, favorecimento da

comunicação entre os diferentes agentes que atuam no desenvolvimento de produto, tradução das vontades dos clientes (abstratas) em características mensuráveis, etc.

CHENG *et al.* (1995) e RIBEIRO *et al.* (2001) citam alguns benefícios comprovados com o uso do QFD: (i) redução do tempo de desenvolvimento; (ii) facilita a documentação de informações por meio do uso de matrizes de dados, pois as matrizes relacionam-se de forma seqüencial e usa-se uma linguagem e uma lógica comum no seu preenchimento; (iii) redução do número de mudanças de projeto; (iv) redução de custos e perdas; (v) maior entrosamento entre os funcionários; (vi) possibilita a criatividade e as inovações por meio de discussões multisetoriais; e (vii) possibilidade de atendimento às necessidades dos clientes.

Segundo YUKIMURA *et al.* (1993), *apud* VIEIRA (1996), o método do QFD tem trazido várias melhorias e vantagens no projeto e desenvolvimento de novos produtos, tais como:

- Redução nas alterações de engenharia de 30% a 50%.
- Ciclo de projeto tem sido encurtado de 30% a 50%.
- Custos de início de operação reduzidos de 20% a 60%.
- Redução nas reclamações de garantia (mais de 50%).
- O Planejamento da garantia da qualidade mais estável.
- Favorecimento da comunicação entre os diferentes departamentos que atuam no desenvolvimento do produto, principalmente marketing e engenharia.
- A tradução dos requisitos do consumidor facilitada.
- Facilidade maior na identificação das características que mais contribuem nos atributos da qualidade.
- Favorecimento do processo de balanceamento criterioso (“*trade-off*”) do projeto que afeta a função do produto para todos os consumidores.
- Melhor percepção de quais são as características e funções que receberão maior atenção.
- Melhor identificação das propriedades e das características de venda do produto.

3.1.3. Justificativa de escolha do método QFD

Com base em todas as características do método QFD, pode-se destacar que a mais relevante delas é a capacidade de relacionar os requisitos dos clientes com as características do produto sempre com ênfase na qualidade. Fez-se a respectiva avaliação deste método com as características dos processos de fabricação do componente do sistema de suspensão automotivo, utilizado para estudo de caso.

A justificativa para escolha deste método entre todos os demais métodos multicriteriais para auxílio em processos de tomada de decisão baseia-se em três aspectos fundamentais diretamente relacionados:

- O primeiro aspecto é o cliente. Por consequência as vontades e/ou necessidades deste cliente, traduzidas em requisitos do consumidor de forma sólida e direta durante a estruturação do método QFD.
- O segundo fator está diretamente relacionado à característica particular do método de relacionar estes requisitos do cliente com as características do produto, por meio da Casa da Qualidade, etapa essencial deste método.
- O terceiro aspecto está relacionado diretamente ao foco na questão da qualidade, uma vez que o método QFD tem as suas origens diretamente ligadas às ferramentas da qualidade, o método apresenta características que podem ser classificadas como virtudes em processos desde a concepção de novos produtos, a manutenção de produtos correntes até a otimização de serviços.

O não seguimento de determinadas recomendações pode trazer resultados negativos decorrentes de seu uso e assim serem interpretados como desvantagens do método em si. Percebeu-se a grande chance de uma estruturação do método resultando em grandes matrizes e sendo estas passíveis de avaliações dúbias, o que pode ser caracterizado como aspecto negativo do método, assim como uma estruturação do método que demanda o conhecimento dos “clientes” para cada um dos produtos e/ou processos.

Ambas as situações e características podem ser minimizadas por meio da escolha adequada de um grupo multidisciplinar, envolvendo especialistas de áreas distintas, sendo fundamental que estes estejam engajados e dispostos a contribuir com suas experiências e conhecimentos, sempre com o apoio da alta direção para implantação.

A abordagem QFD utilizada neste trabalho para análise do estudo de caso, foi o Modelo das Quatros Matrizes ou Quatro Fases, proposto inicialmente por Makabe no Japão, por meio do Instituto de Tecnologia de Tóquio, sendo este o modelo mais utilizado nos Estados Unidos da América, (EUREKA 1992, *apud* MIRANDA, 2005).

Para os autores HAUSER e CLAUSING (1988), as quatro fases propostas por seu modelo conceitual são:

Matriz I – Casa da Qualidade: planejamento do produto;

Matriz II – Desdobramento das partes: projeto do produto;

Matriz III – Planejamento do processo;

Matriz IV – Planejamento da produção.

As quatro fases desta abordagem se constituem em quatro matrizes orientando o desenvolvimento do produto ou serviço, desde os requisitos dos consumidores até a fabricação.

O relacionamento estabelecido entre as matrizes é rígido, devendo seguir da Matriz I até a Matriz IV. Seu desenvolvimento é iniciado com os Atributos do Consumidor ou Requisitos do Cliente e em seguida são desdobradas as Características de Engenharia ou Requisitos do Projeto, formando-se a matriz. Seguindo-se a mesma seqüência para as matrizes seguintes, vai-se completando o modelo (HAUSER e CLAUSING, 1988), conforme a Figura 21.

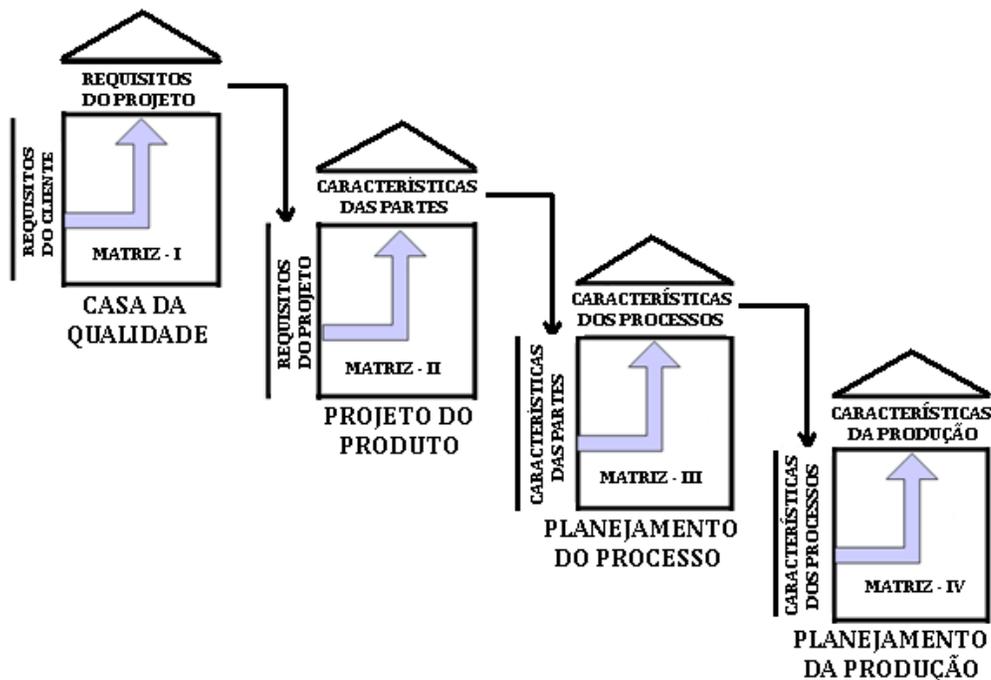


Figura 12 - Desdobramento do QFD pela Abordagem de Makabe (Adaptado de HAUSER e CLAUSING, 1988).

No caso do contexto ser ou estiver relacionado com a fase de pré-desenvolvimento, situação em que o planejamento estratégico da empresa é desdobrado em uma gama de projetos de desenvolvimento (portfólio de projetos) e com grande integração entre as áreas de engenharia, manufatura, marketing e alta gerência ou diretoria, CHENG (1995) recomenda somente a aplicação da casa da qualidade, segundo GERALDINO (2009).

Sendo assim, o projeto do objeto de estudo através do processo de fabricação por Remanufatura caracteriza-se como em suas fases de pré-desenvolvimento e análises conceituais. Assim o presente trabalho fez o uso do método QFD para determinação e análise dos atributos técnicos, onde estes foram indexados dentro da estrutura hierárquica do método AHP em uma etapa subsequente.

Desta forma com base na Abordagem de Makabe e tendo como informações de entrada os requisitos dos clientes e os requisitos de projeto, foi efetuada apenas a estruturação da Matriz I. Esta matriz também conhecida como Casa da Qualidade, tendo como produto o planejamento do produto.

A Matriz da Qualidade ou Casa da Qualidade é uma etapa fundamental do método QFD, conforme HAN *et al.*,(2001) *apud* YÜKSEL (2010), a maioria das aplicações do método culmina e se encerra com a utilização apenas da *HOQ – House of Quality* ou Casa da Qualidade ou Matriz I de Makabe. Para o autor, diversas grandes companhias como a Volvo, perceberam os significativos benefícios da utilização apenas desta primeira matriz.

Dentre as empresas que utilizam o método QFD, apenas 5 % destas, aplicam as outras três fases da metodologia, segundo COX (1992), *apud* YÜKSEL, (2010), ou seja, as outras três matrizes da Abordagem de Makabe são minimamente utilizadas.

Para os autores CHAN e WU, (2005) *apud* YÜKSEL (2010), o formato de estruturação e método de análise, utilizados nas etapas subsequentes a Casa da Qualidade, são essencialmente iguais a esta primeira etapa. Desta forma, a maior parte dos registros na literatura e estudos relacionados, demonstram-se focados justamente na primeira fase, a Matriz I, não diferente do formato utilizado durante o desenvolvimento deste presente trabalho.

3.2. Método AHP

O método AHP – “*Analytic Hierarchy Process*” ou Análise Hierárquica de Processos, é um método de apoio à decisão usando múltiplos critérios ou múltiplos objetivos, criado por Thomas Lorie Saaty na década de 1970 nos Estados Unidos. Método criado no intuito de promover a superação das limitações cognitivas dos tomadores de decisão (ABREU, 2000).

Incertezas e outros fatores de influência também podem ser incluídos. Segundo SAATY (1991), o método AHP consiste de uma comparação aos pares dos diversos critérios, sendo que em cada uma das comparações dá-se um valor, que pode variar de 1 a 9 dependendo da importância do mesmo. Isso é feito até que se tenha formado um julgamento quanto ao peso relativo de cada par de critérios.

De acordo com FORMAN (2001), o método AHP leva em conta dados, experiências, percepções e intuições de uma maneira lógica e completa, permitindo que sejam feitas escalas de prioridade ou de pesos em oposição a decisões arbitrárias. É uma metodologia de decisão

compensatória, porque alternativas deficientes com respeito a um ou mais objetivos podem ser compensadas por seu desempenho em consideração a outros objetivos.

O AHP é composto por vários conceitos dissociados e técnicas como, por exemplo: comparação aos pares, opiniões redundantes, método para definição de importância e de considerações coerentes. Embora, cada um desses conceitos e técnicas sejam úteis individualmente, a combinação de todos produz um processo que de fato é muito mais rigoroso que cada um deles individualmente.

3.2.1. Estrutura do método AHP

Segundo ABREU (2000), a aplicação do método AHP pode ser dividida em duas fases: estruturação e avaliação. A primeira envolve a decomposição do problema em uma estrutura hierárquica que mostra as relações entre as metas, os critérios que exprimem os objetivos e sub-objetivos, e as alternativas que envolvem a decisão. Relaciona-se, portanto, à apresentação, descrição e justificativa do problema e pontos de vista e, conseqüentemente, à busca do consenso, segundo SCHMIDT (1995).

A segunda fase – avaliação – é caracterizada pela definição do tipo de problema a ser adotado, determinando-se assim se as ações serão: a) analisadas em termos relativos ou absolutos; b) ordenadas ou escolhidas, c) aceitas ou rejeitadas, (SCHMIDT, 1995).

Essencialmente, o AHP procura decompor um problema em uma estrutura hierárquica descendente.

O método se propõe a lidar com problemas complexos, não estruturados. De acordo com SAATY (1991), este modelo deve “incluir e medir todos os fatores importantes, qualitativa e quantitativamente mensuráveis, sejam eles tangíveis ou intangíveis”. Deve também considerar “as diferenças e os conflitos de opiniões como nos casos da vida real”. Basicamente, o modelo trata da “decomposição do problema por hierarquias e síntese pela identificação de relações por meio de escolha consciente”. O problema, para ser modelado, é considerado em termos de sua estrutura hierárquica e de sua função. Conforme SAATY (1991), “uma hierarquia é uma abstração da estrutura de um sistema para estudar as interações funcionais de seus componentes e

seus impactos no sistema total”. Para entendimento será apresentado a seguir na Figura 12, a Estrutura Hierárquica Genérica de Processos do Método AHP.

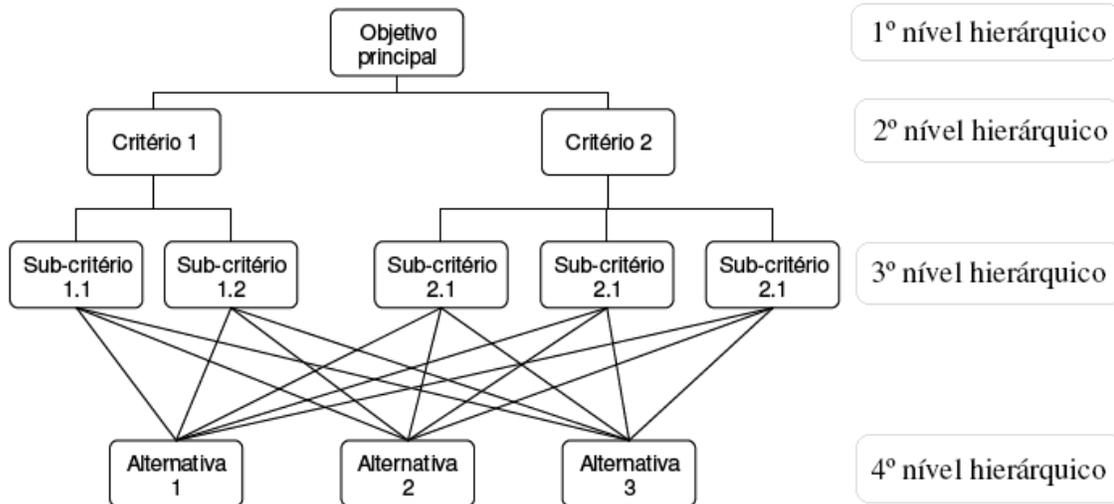


Figura 13 - Estrutura Hierárquica Genérica de Processos do Método AHP (Adaptado de CARLANA, 2006).

A construção da hierarquia requer experiência e conhecimento da área do problema. Dois decisores podem normalmente estruturar duas diferentes hierarquias do mesmo problema. Assim uma hierarquia não é única. Por outro lado, mesmo quando duas pessoas constroem a mesma hierarquia, suas preferências podem produzir diferentes cursos de ação. Entretanto, um grupo de pessoas pode trabalhar junto para chegar a um consenso em ambas as hierarquias e nos julgamentos e suas sínteses (avaliação), (SCHMIDT, 1995).

Após a hierarquização do problema, inicia-se a fase de avaliação com a comparação par a par, entre os atributos, e também entre as alternativas. Por meio desta comparação serão determinadas as importâncias relativas de cada atributo e alternativa, também conhecidas como pesos. As comparações devem ser feitas segundo a seguinte escala de julgamentos descritos na Tabela 3, apresentada a seguir.

Tabela 3 - Escala fundamental de Saaty.

Intensidade da Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Dois elementos contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem moderadamente um elemento em relação ao outro
5	Importância forte de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um elemento em relação ao outro
7	Importância muito forte de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem muito fortemente um elemento em relação ao outro
9	Importância absoluta de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem absolutamente um elemento em relação ao outro
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Para um julgamento mais preciso da importância relativa dos elementos

Segundo SAATY (1991), esta escala foi construída partindo-se do princípio de que a percepção humana não consegue distinguir mais do que sete (mais ou menos dois) níveis diferentes de julgamento. Desta forma, são obtidas várias matrizes recíprocas e positivas, cujos conteúdos são os julgamentos dos analistas, seguindo uma escala pré-definida de quociente ou razão entre valores previstos na Tabela 3, simbolizando uma preferência relativa entre as alternativas para aquele atributo.

3.2.2. Particularidades em relação ao uso do método AHP

É importante que sejam conhecidas e registradas as principais características inerentes a um processo multicriterial e desta forma os principais aspectos positivos e negativos relacionadas a estas características particulares do referido método. Logo, no intuito de proporcionar um panorama das discussões acerca do AHP, foram destacados estes seus principais aspectos, uma

vez que estas informações compiladas por BOAS (2006) estas serão apresentadas na Tabela 4 a seguir.

**Tabela 4 - Aspectos positivos e negativos do método AHP
(Adaptado de BOAS, 2006).**

Aspectos Positivos	Aspectos Negativos
<ul style="list-style-type: none"> • O desenvolvimento dos sistemas estruturados hierarquicamente é preferível àqueles montados de forma geral; • Pequenas modificações em uma hierarquia bem estruturada têm efeitos flexíveis e pouco significativos, pois ela é estável; • Capacidade em lidar com problemas que envolvam variáveis tanto quantitativas como qualitativas; • A forma de agregação dessas variáveis exige que o tomador de decisão participe ativamente no processo de estruturação e avaliação do problema, o que contribui para tornar os resultados propostos pelo modelo mais exequíveis; • Estruturando hierarquicamente um problema, os usuários são capazes de ordenar e comparar uma lista menor de itens dentro de seus próprios contextos; • Sintetiza os resultados dentro de uma lista ordenada que permita a comparação de prioridades e importância relativa de cada fator; • É capaz de prover pesos numéricos para opções onde julgamentos subjetivos de alternativas quantitativas ou qualitativas constituem uma parte importante do processo de decisão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer procedimento para estruturar o questionário de perguntas e preferências; • O trabalho computacional é sensivelmente maior quando se eleva o número de alternativas; • A escala de 1-9 é potencialmente inconsistente internamente; • A ligação entre os pontos na escala de 1 a 9 e as descrições verbais correspondentes não têm fundamento teórico; • O número de comparações requeridas pode ser muito alto; • As prioridades dependem do método usado para derivá-las; • Alternativas incomparáveis não são permitidas; • Por não existir nenhuma base teórica para a formação das hierarquias, os tomadores de decisão, quando se deparam com situações idênticas de decisão, podem derivar hierarquias diferentes, obtendo então diferentes soluções; • Existem falhas nos métodos para agregar os pesos individuais dentro dos pesos compostos; • Uma ausência de fundamento de teoria estatística.

4. APRESENTAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

No presente trabalho é proposta a elaboração de um método particular para auxílio no processo de tomada de decisão entre dois processos de fabricação de componentes automotivos, a manufatura convencional e a remanufatura equivalente.

Fez-se o uso do conceito de Engenharia do Ciclo de Vida (ECV), onde algumas ferramentas inerentes ao seu desenvolvimento e análise foram aplicadas, por exemplo, a análise ambiental executada por meio da Análise do Ciclo de Vida (ACV), onde através do método *Eco-Indicator'99 (EI'99)* foram determinados os impactos ambientais, simultaneamente fez-se uma avaliação dos custos financeiros associados a cada uma das etapas do ciclo de vida, por meio da aplicação do método de Custo do Ciclo de Vida (CCV), assim como a determinação dos atributos e requisitos técnicos por meio da ferramenta conhecida como Desdobramento da Função Qualidade (QFD).

A referida determinação dos atributos e requisitos técnicos por meio do método QFD foi efetuada com o auxílio de uma equipe multidisciplinar envolvida, composta por membros do departamento comercial, qualidade, engenharia de produto e engenharia de pós-venda.

Sendo assim, as características relacionadas aos impactos ambientais, valores relativos aos custos do ciclo de vida e os atributos técnicos determinados, foram indexados dentro da estrutura hierárquica a ser efetuada pelo método de Análise Hierárquica (AHP), onde estes respectivos requisitos técnicos e econômicos em um cenário sustentável ambientalmente são relacionados a cada um dos dois processos de fabricação avaliados, a manufatura e a remanufatura.

Com o intuito do registro e a respectiva demonstração do formato de aplicação de cada um dos referidos métodos e ferramentas matemáticas, elaborou-se um fluxograma retratado na Figura 13 apresentada a seguir, onde se evidencia a aplicação e análise do ECV, por meio da utilização das ferramentas supracitadas.

A análise da referida Figura 13, possibilita a visualização e o maior entendimento da sistemática utilizada no processo de estruturação e aplicação do método particular proposto. Nota-se que esta imagem pode ser classificada como um dos principais esquemas demonstrados no decorrer deste estudo, uma vez que o mesmo ilustra as distintas etapas do ciclo de vida do

produto em questão versus a aplicação de cada um dos métodos utilizados como artifício para determinação dos requisitos, técnicos, econômicos e ambientais, compilados por meio do método AHP em prol da mais fácil tomada de decisão entre os dois processos de fabricação.

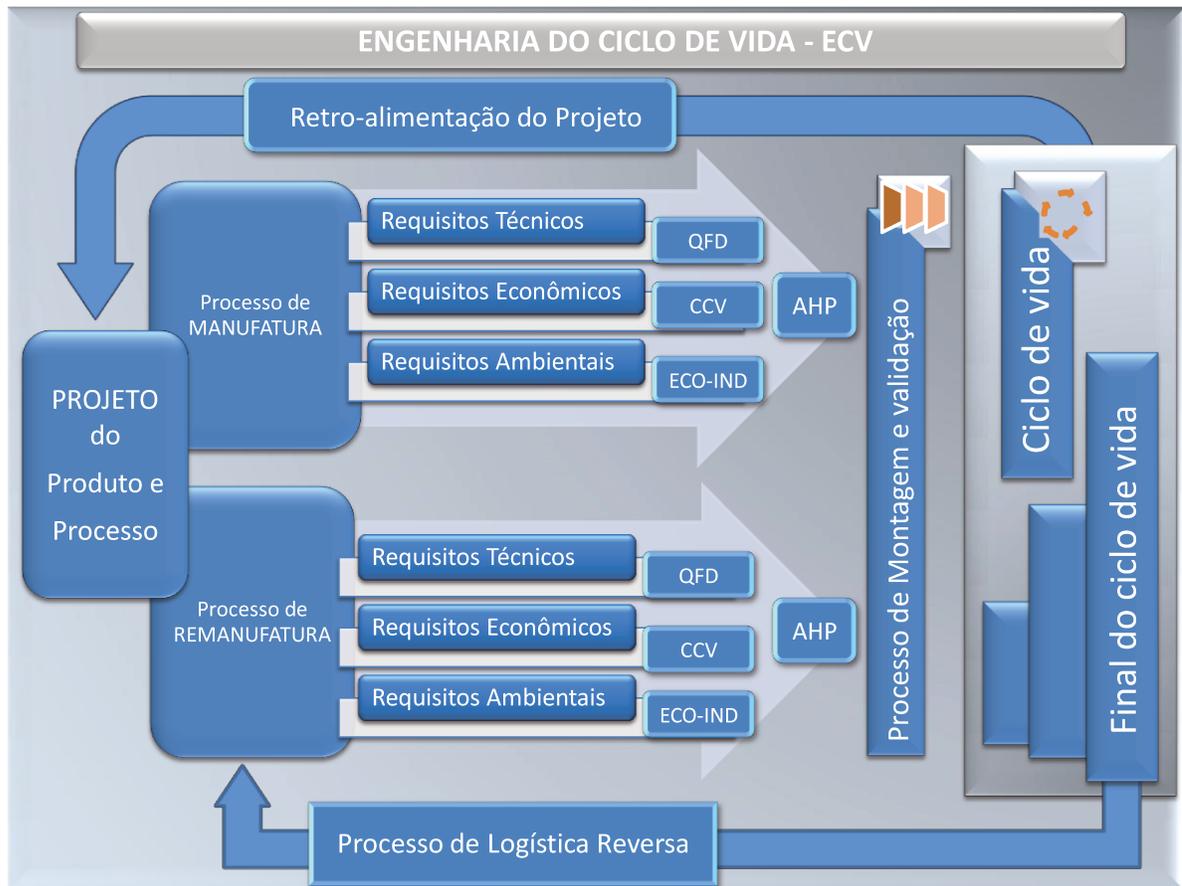


Figura 14 – Fluxograma para aplicação e análise de ECV, por meio dos métodos variados.

Evidencia-se na Figura 13 o quão distintos são os processos de manufatura e remanufatura, sendo uma das mais importantes diferenças o processo de logística reversa associado a este último método de fabricação. Entretanto percebe-se que o método proposto teve como premissa o levantamento de forma igualitária dos requisitos de cada um dos processos, assim como fez uso da mesma forma dos distintos métodos auxiliares, o QFD para levantamento dos requisitos técnicos de ambos os processos, o CCV para os requisitos econômicos e o método de Eco-Indicadores para os ambientais.

Além de demonstrar ainda neste esquema um dos principais aspectos relacionados à análise do ciclo de vida completo, a capacidade de retro-alimentação do projeto. Esta retro-alimentação do projeto acontece para o projeto do produto em si, assim como dos distintos projetos de processos de fabricação.

A retro-alimentação do projeto produto, por meio de informações relacionadas ao método de desgaste e falha de componentes é uma das grandes contribuições da avaliação de produtos em fim de vida, sendo estes, principalmente relacionados aos remanufaturados.

Tal afirmação esta baseada no fato dos produtos remanufaturados terem com matéria prima, ou *core* para fabricação, elementos usados, ou seja, elementos que demonstram algumas vezes explicitamente os seus respectivos métodos de falha e/ou desgaste.

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados parâmetros e valores oriundos dos controles de processos de fabricação, por exemplo, o limite dimensional dos alojamentos e seus sub-componentes: pinos esféricos e buchas.

Para cada uma das análises técnica, econômica e ambiental, utilizou-se como material de apoio e base de informações os parâmetros fornecidos e validados de cada uma das respectivas áreas responsáveis, como o Departamento de Manufatura, o Setor Administrativo e Financeiro. Focou-se na análise dos dados e não no processo de coleta dos mesmos, uma vez que a ação de levantamento/coleta de parâmetros particulares dos processos produtivos no respectivo chão de fábrica não faz parte do escopo do trabalho.

Para demonstrar o formato do método particular proposto, apresenta-se a seguinte seqüência de estruturação e aplicação do mesmo (Tabela 5). Durante a análise da seqüência apresentada, deve-se registrar que o seguimento das etapas mencionadas é recomendado, com o intuito de um maior sucesso na aplicação do referido método.

Entretanto, deve-se registrar também que não existe restrição em relação à escolha de um item ou componente específico a ser analisado, uma vez que o método proposto possibilita uma avaliação geral do ciclo de vida do respectivo objeto de estudo.

Desta forma é fundamental apenas que sejam entendidos claramente os motivadores da escolha do respectivo componente ou produto e assim, conseqüentemente serão adequadamente avaliados os seus distintos processos de fabricação.

Tabela 5 - Etapas de desenvolvimento do método proposto.

ETAPAS	AÇÕES
1º FASE	<p>Durante a elaboração do método particular proposto, ocorreu a execução de uma revisão bibliográfica sobre os assuntos tratados, não com o intuito de avaliar todas as fontes disponíveis sobre os temas, mas com a intenção de possibilitar ao leitor uma adequada contextualização com relação aos temas abordados.</p> <p>Tal revisão fornecendo subsídios para que o mesmo possa compreender a linha de raciocínio traçada e usufruir caso lhe interesse, do modelo de método proposto. Assim justificando a escolha em prol da utilização do referido método, para uma análise adequada dos processos e com o objetivo de uma tomada de decisão mais correta e simples.</p>
2º FASE	<p>Determinação de qual produto seria o objeto de estudo do trabalho proposto. Escolha esta, baseada na relação entre as características técnicas, como geometria do item, matéria-prima, custo do produto final, método de falha e desgaste, com a relativa alta demanda comercial. Mas a escolha baseou-se principalmente na oportunidade de confecção do produto por meio dos dois processos de fabricação: a Manufatura e a Remanufatura, ambos apresentando custos e características significativamente semelhantes.</p> <p>A escolha do componente ou produto deve levar em consideração ainda que estes processos de fabricação sejam conhecidos, ou menos que estejam em etapa de concepção, com o intuito da possibilidade de levantamento do maior número de parâmetros e respectivas características.</p>
3º FASE	<p>Caracterização física do objeto de estudo. Macro-localização do mesmo em sua respectiva aplicação, determinando o tipo de veículo, modelo, marca, ano de fabricação e tipo de sistema de suspensão. Além da especificação do produto final e de seus componentes, em termos de geometria e análise visual, assim como o levantamento de dados relacionados ao seu método de desgaste e falha durante a sua respectiva utilização.</p>
4º FASE	<p>Para uma análise integrada dos mais variados fatores associados ao produto objeto de estudo, fez-se o uso conceito de ECV – Engenharia do Ciclo de vida, para tanto foi utilizado como ferramenta para determinação e avaliação de requisitos técnicos, o método QFD. A determinação e análise dos aspectos econômicos ocorreram por meio da ferramenta de avaliação do Custo do Ciclo de Vida (CCV), bem como a análise dos aspectos e impactos ambientais através do método <i>Eco-Indicator '99</i> (EI'99), ambas, análises dentro do escopo de Análise do Ciclo de Vida (ACV). Sendo efetuada a compilação destes requisitos e a ponderação final através do método AHP – Análise Hierárquica de Processos.</p>

5° FASE	Identificação das características inerentes a cada um dos processos de fabricação avaliados, a manufatura e a remanufatura de um mesmo componente do sistema de suspensão de veículos automotores de linha leve, possibilitando uma adequada análise comparativa entre os processos.
6° FASE	Com base na referida análise comparativa entre os processos produtivos, os resultados são discutidos e apresentados. A apresentação dos resultados para discussão ocorre por meio de um gráfico com aplicação restrita a o presente momento da indústria automotiva, um diagrama ternário. O referido diagrama apresenta a forma de interação entre os impactos ambientais, os custos econômicos e o desempenho técnico do produto, sendo este confeccionado por cada um dos distintos processos de fabricação: a manufatura ou a remanufatura.
7° FASE	Tendo como etapa final a discussão dos resultados e as respectivas conclusões, baseadas nas análises executadas. Com base na dificuldade encontrada durante o levantamento de parâmetros e dados oriundos dos processos produtivos, assim como, em função do grau de complexidade das análises efetuadas em cada uma das etapas do ciclo de vida, percebe-se a possibilidade de sugestão de estudos futuros. Estudos estes, que tem como objetivo uma análise mais profunda e a mensuração mais concreta de características associadas a estas etapas específicas. Procurando desta forma, esgotar todas as considerações teóricas associadas a cada um dos distintos processos de fabricação.

4.1. Aplicação do método proposto

Com o intuito de estruturação e a respectiva aplicação do método particular proposto, foram seguidas as etapas elencadas no capítulo número 4 e contempladas na Tabela 5, assim como aplicou-se durante este estudo a seqüência de etapas supracitadas.

Durante a aplicação do referido método, em prol da escolha de um processo de fabricação, foram determinadas as condições de contorno do respectivo estudo. Por meio da determinação do objeto de estudo fez-se a escolha do componente protagonista e de todas as respectivas características associadas aos seus distintos processos de fabricação, a manufatura e a remanufatura.

4.1.1. Objeto de estudo

O objeto de estudo deste trabalho, escolhido para análise das características relativas aos seus respectivos processos de fabricação a manufatura ou a remanufatura do mesmo, trata-se de um braço de controle localizado na parte inferior de um sistema de suspensão dianteira independente do tipo McPherson (Figura 14). Por trata-se de um dos sistemas mais utilizados em veículos automotores urbanos de linha leve, com sistema de motorização e tração dianteira, o referido sistema de suspensão e respectivo componente foram escolhidos.



Figura 15 – Macro-localização do objeto de estudo – Sistema de suspensão dianteira independente.

O braço de controle analisado trata-se de um braço transversal inferior, dotado de três pontos de fixação e articulação: dois pontos utilizam buchas elásticas poliméricas (Buchas 1 e Bucha 2), ambas ligadas a carroceria do veículo através da plataforma dianteira ou *sub-frame* e o terceiro ponto é fixado/articulado através de uma articulação esférica conhecida como pivô de suspensão ou *Ball-joint* ao montante. Este último elemento, o montante, fixa-se também ao conjunto de amortecedor e mola (Figura 15).



Figura 16 – Suspensão dianteira do tipo McPherson, localização de componentes.

Adicionalmente a informação de vasta aplicação deste tipo de componente, faz-se necessário registrar que o componente específico objeto de estudo o braço de controle (Figura 16) de suspensão dianteira é um elemento com aplicação restrita ao veículo da marca Peugeot, modelo 206 com fabricação compreendida entre o período de 2001 até 2009.



Figura 17 – Braço de controle da suspensão dianteira do tipo McPherson.

É importante registrar que o componente braço de controle é constituído de uma peça de formato em “L”, confeccionado pelo processo de fabricação por fundição, composto por ferro fundido nodular, o mesmo é posteriormente limpo, pintado e tem usinado os alojamentos, para receber em uma etapa final os elementos de articulação, caracterizados como as Buchas números 1 e 2, assim como o Pivô ou *Ball-joint*. Sendo estas buchas compostas por borracha e estrutura metálica, inseridas nos respectivos alojamentos usinados.

Em seu respectivo processo de utilização o referido produto objeto de estudo, apresenta como característica e método de desgaste a reduzida vida útil dos elementos articulados caracterizados anteriormente como Buchas e Pivôs.

Tal situação e demanda prematura de substituição dos referidos componentes, em distintas condições de uso, muitas vezes esta relacionada ao tipo de piso, clima, temperatura, condições da pista de rolagem e características de condução, além da falta de manutenção preventiva adequada e da respectiva verificação/correção dos ângulos de geometria dos sistemas de suspensão e direção, ambos demandados periodicamente e nem sempre efetuados.

4.1.2. Análise do Ciclo de Vida do objeto de estudo

Para uma adequada Análise do Ciclo de Vida (ACV) do componente objeto de estudo, foram demonstradas as etapas significativas relativas aos processos de fabricação do referido produto, através dos dois métodos de fabricação – a manufatura e a remanufatura.

Entretanto é fundamental registrar que, com base na bibliografia consultada e referenciada ao longo deste trabalho, a Análise do Ciclo de Vida (ACV) é composta por algumas etapas, sendo elas: (1) definição do objetivo e escopo, neste caso específico contemplando-se a análise dos ciclos de vida de um mesmo produto, por dois distintos métodos de fabricação; (2) ICV – inventário do ciclo de vida ou algumas vezes chamado de Análise do Inventário do Ciclo de Vida (levantamento dos dados – entradas e saídas com o auxílio de um fluxograma); (3) AICV – Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (com os dados de entrada – ICV – cálculo dos impactos ambientais), neste caso específico, executada por meio da aplicação do método *Eco-Indicator'99* e (4) interpretação do ciclo de vida.

Para uma adequada determinação das características relacionadas a cada uma das etapas do ciclo de vida e com o intuito de estruturação de um futuro inventário do ciclo de vida, elaborou-se um fluxograma, ilustrado na Figura 17 a seguir.

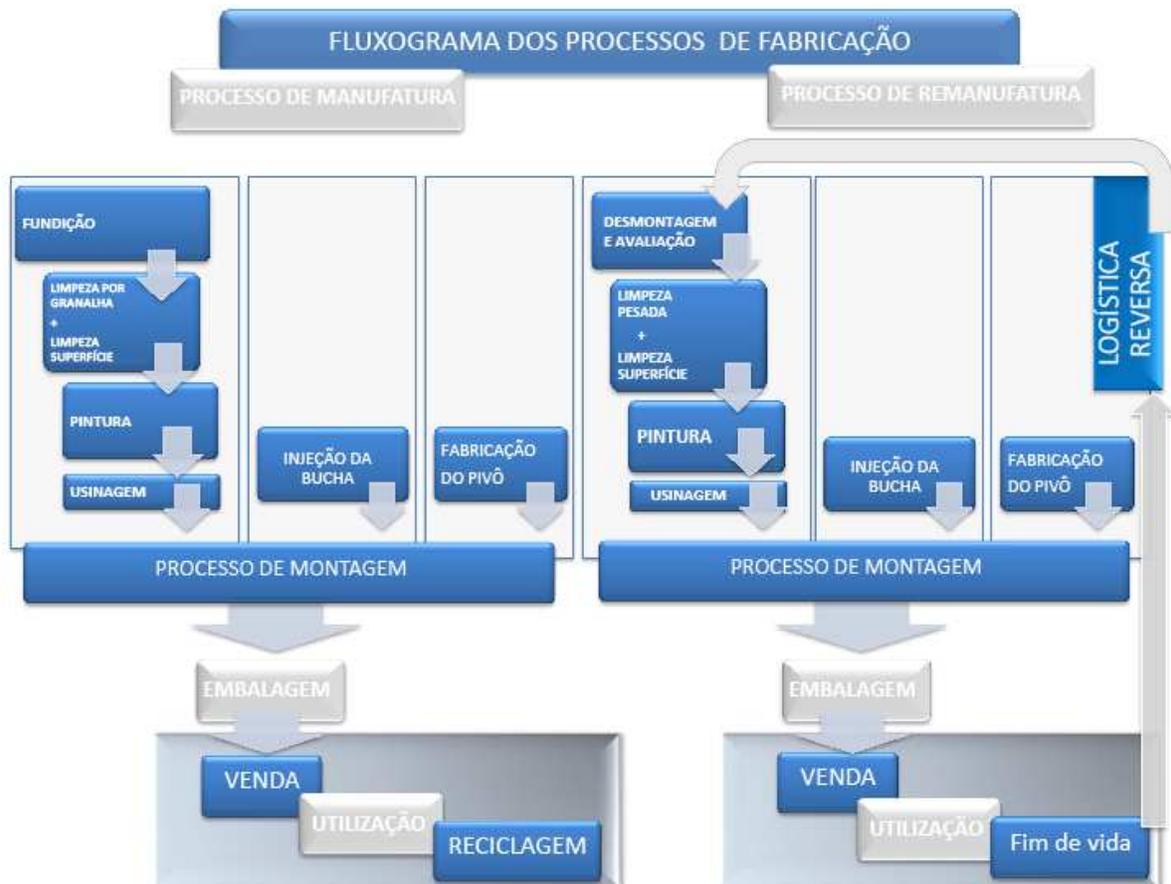


Figura 18 – Fluxograma para Análise do Ciclo de Vida.

Com base no fluxograma apresentado na Figura 17, percebe-se a significativa dificuldade na mensuração de todos os valores associados à energia necessária a cada uma das etapas apresentadas, assim como fica evidente a complexidade no levantamento de todos os valores associados aos aspectos que tangem emissões e resíduos.

Com o intuito de uma melhor visualização das semelhanças e diferenças relevantes entre os dois métodos de fabricação, a manufatura e a remanufatura, elaborou-se um novo fluxograma. Agora com as etapas em comum do ciclo de vida demonstradas de forma unificada,

possibilitando que se evidenciem apenas os processos distintos, conforme demonstrado na Figura 18 a seguir.

Deve ser registrado que durante o escopo deste trabalho não foram avaliadas as características relacionadas à etapa de venda e utilização do referido objeto de estudo, uma vez que um número muito vasto de variáveis está diretamente associado com os distintos aspectos da venda, como a logística de distribuição, por exemplo. Um número talvez ainda maior de variáveis no que tange a etapa de utilização deveria ser analisado, uma vez que, aspectos ligados à manutenção preventiva e/ou corretiva adequada deveriam ser mensurados.

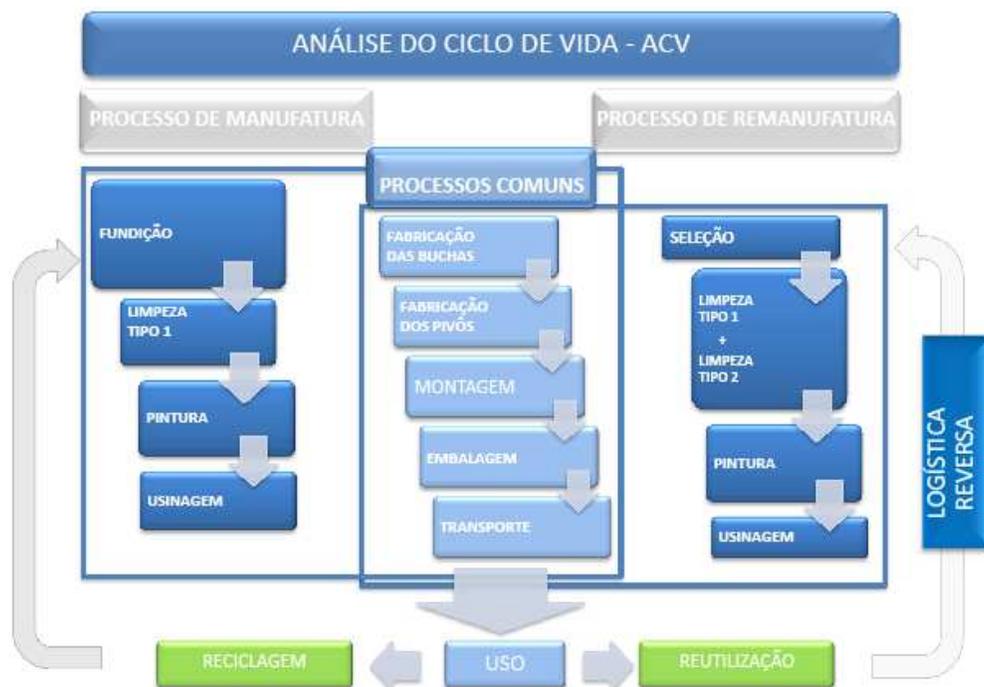


Figura 19 – Fluxograma dos processos de fabricação, etapas em comum para ACV.

Com base no fluxograma para Análise do Ciclo de Vida apresentado anteriormente na Figura 18, percebe-se a importância da caracterização de cada um dos processos de fabricação por manufatura e remanufatura do componente objeto de estudo.

É necessário registrar que o presente trabalho não tem o intuito de analisar profundamente as características particulares das etapas em comum, dos processos de fabricação e por questões

técnico-comerciais estratégicas não serão profundamente demonstradas e durante este trabalho, mensuradas. Entretanto foi importante a diferenciação entre as principais características destes referidos processos, tendo-se como resultado de uma comparação paritária entre os mesmos, uma análise direta de suas características associadas a cada uma das etapas de seus respectivos ciclo de vida.

4.1.3. Caracterização do processo de fabricação por Manufatura

O processo de fabricação caracterizado como manufatura convencional do objeto de estudo é um processo que já acontece no período de desenvolvimento deste trabalho, particularmente conhecido no ambiente da empresa que concedeu as informações. Por consequência, apresenta determinados valores conhecidos e assim, existe a respectiva oportunidade de uma avaliação mais completa, possibilitando a mensuração de alguns valores e que serão respectivamente conhecidos no processo de remanufatura, já que o mesmo trata-se de um projeto.

O referido processo de manufatura esta relacionado a fabricação de produtos novos para o mercado de reposição ou *Aftermarket*, com a característica de serem produtos voltados para aplicação em oficinas independentes e grandes redes de auto-centros, sendo estes produtos caracterizados como produtos paralelos ou alternativos aos produtos originais.

A fabricação por manufatura contempla diversas etapas e processos distintos de fabricação em relação à remanufatura do mesmo componente como, por exemplo: a fundição do braço de controle, sendo este o elemento principal do referido objeto de estudo, com a posterior limpeza, aqui classificada como limpeza do Tipo 1 e esta, apresenta como característica um processo de limpeza e desengraxe preparatório para a pintura deste braço, sendo esta limpeza/preparação idêntica ao processo executado na remanufatura, com uma etapa final de usinagem para elaboração dos alojamentos onde serão montados/instalados os componentes de articulação, como as buchas de borracha e o pivô de suspensão ou *Ball-joint*.

Algumas etapas e características associadas ao processo de manufatura são muito semelhantes e/ou idênticas às encontradas no processo de remanufatura e por motivos já anteriormente justificados não serão registrados.

4.1.4. Caracterização do processo de fabricação por Remanufatura

Como uma alternativa em termos de processo de fabricação, efetuou-se a caracterização de um possível processo de remanufatura do objeto de estudo.

Sendo fundamental ressaltar apenas que o referido processo de remanufatura dentro do ambiente da empresa em estudo encontra-se em estágio de concepção e projeto, já sendo praticado de forma experimental e caracterizando-se na ocasião do desenvolvimento deste trabalho como um processo que não se encontra em escala industrial, sendo justamente o levantamento destas características inerentes a remanufatura e a comparação paritária com o processo atual de manufatura um dos principais motivadores deste estudo.

No processo de remanufatura tem-se como principal diferenciação o fato do reaproveitamento do respectivo componente, este já confeccionado pelo processo convencional de manufatura, e uma vez em seu final do ciclo de vida, o mesmo agora é reutilizado como *core* ou carcaça para o processo de remanufatura.

Este reaproveitamento propicia relevantes diferenças em termos de custos e principalmente de impactos ambientais como será evidenciado durante a análise a ser executada durante o desenvolvimento deste trabalho.

Entretanto, destaca-se durante a caracterização do processo de fabricação pelo método de remanufatura que existe uma etapa de limpeza adicional, em relação ao processo de manufatura, a etapa aqui classificada como Tipo 2 e esta associada a um processo de limpeza pesada para remoção de sujeiras da peça usada e também associada a um processo de remoção da tinta do componente original. Além da etapa em comum com o processo de manufatura, a etapa de limpeza do Tipo 1, necessária como preparação para pintura.

Evidencia-se desta forma, conforme encontrado na literatura e anteriormente justificado no decorrer deste trabalho, que a etapa de limpeza dos componentes usados e utilizados no processo de remanufatura, é relevante e deve ser pontualmente observada.

A pintura é um processo em comum em ambos os processos de fabricação, entretanto há uma etapa final distinta de usinagem para alocação dos sub-componentes novos. Sendo a etapa de logística reversa presente no processo de remanufatura, relacionada ao processo de retroalimentação do componente usado, talvez a etapa mais relevante em termos de transporte e tempo em relação ao respectivo processo de fabricação por manufatura.

4.1.5. Análise dos Impactos do Ciclo de Vida – AICV

A Análise dos Impactos do Ciclo de Vida é uma etapa fundamental da Análise do Ciclo de Vida, em determinadas situações é preponderante para a tomada de decisão entre dois processos distintos de fabricação, e sendo assim, foi executada durante o desenvolvimento deste trabalho através da aplicação do método de Eco-indicadores conhecido como *Eco-Indicator'99* ou *EI'99*. A principal justificativa para escolha do método *Eco-Indicator'99* é o fato de a ferramenta oferecer a possibilidade de coletar, analisar e monitorar informações ambientais para produtos e serviços incluindo a caracterização, análise de danos, normalização e avaliação.

O método permite modelar e analisar ciclos de vida complexos de uma forma clara e transparente, seguindo as recomendações da série ABNT NBR ISO 14040. A sua primeira versão foi lançada em 2001, sendo atualmente uma ferramenta comprovada pelas principais indústrias, consultorias e universidades, segundo BARBOZA *et al.*, (2001).

Fez-se o levantamento das características relacionadas a cada uma das etapas do ciclo de vida, comparando-se paritariamente os valores relacionados a cada um dos distintos processos de fabricação, a manufatura e a remanufatura. Para registros e visualização estes valores serão demonstrados na Tabela 6 e Tabela 7, onde constam todas as informações significantes e seus respectivos ECO-Pontos, com base na aplicação do método *EI'99* e tendo como referência os valores e unidades dos Indicadores segundo o *Manual for Designers* do referido método.

Tabela 6 – ECO-Pontos referentes à AICV - Processo de Manufatura.

Processo de fabricação			MANUFATURA			
Etapa	Componente	Processo/Material	Quantidade	Unidade	Indicador	Resultado
Produção	Braço de Controle	Fofo - Fundido	4,3	kg	240	1032,00
		Usinagem	0,058	dm ³	800	46,4
	Bucha 1 - Central	Vulcanização Borracha	0,38	kg	360	136,8
	Bucha 2 - Extremo	Vulcanização Borracha	0,24	kg	360	86,4
	Pino esférico	Aço	0,2	kg	110	22
		Forjamento	0,2	kg	23	4,6
		Usinagem	0,0064	dm ³	800	5,12
	Alojamento/Copo	Aço	0,3	kg	110	33
		Forjamento	0,3	kg	23	6,9
		Usinagem	0,0064	dm ³	800	5,13
	Embalagem	Plástico	0,08	kg	240	19,2
		Papelão	0,4	kg	69	27,60
		Braço de Controle	Limpeza/Desplacamento	0	kg	3,9
Transporte	Produto completo	Logística Direta / Reversa	0,645	tkm	34	21,93
Descarte	Embalagem	Reciclagem plástico	0,08	kg	170	-13,6
		Reciclagem Papelão	0,4	kg	1,2	-0,48
	Braço de Controle	Reciclagem	3,9	kg	70	-273
TOTAL (mPt)						1160,00

Com base na análise dos valores mensurados na Tabela 6 e expressou-se por meio de ECO-pontos, um montante de 1160 *mPt* em termos de impacto ambiental para o processo de manufatura. Evidencia-se que apesar das etapas relacionadas à reciclagem tanto dos elementos da embalagem quanto em função do reaproveitamento do braço de controle e de sua reciclagem, estes respectivos valores são significativamente inferiores aos danos oriundos das demais etapas.

Para o processo de remanufatura foram calculados os valores de ECO-Pontos e demonstrados a seguir na Tabela 7.

Tabela 7 – ECO-Pontos referentes à AICV - Processo de Remanufatura.

Processo de fabricação			REMANUFATURA				
Etapa	Componente	Processo/Material	Quantidade	Unidade	Indicador	Resultado	
Produção	Braço de Controle	Fofo - Fundido	3,9	kg	240	0	
		Usinagem	0,0073	dm ³	800	5,84	
	Bucha 1 - Central	Vulcanização Borracha		0,38	kg	360	136,8
				0,24	kg	360	86,4
	Pino esférico	Aço	0,2	kg	110	22	
		Forjamento	0,2	kg	23	4,6	
	Alojamento/Copo	Usinagem	0,0064	dm ³	800	5,12	
		Aço	0,3	kg	110	33	
		Forjamento	0,3	kg	23	6,9	
	Embalagem	Usinagem	0,0064	dm ³	800	5,13	
		Plástico	0,08	kg	240	19,2	
Papelão		0,4	kg	69	27,6		
	Braço de Controle	Limpeza/Desplacamento	0,25	kg	22	5,5	
Transporte	Produto completo	Logística Direta / Reversa	5,07	tkm	34	172,38	
Descarte	Embalagem	Reciclagem plástico	0,08	kg	170	-13,6	
		Reciclagem Papelão	0,4	kg	1,2	-0,48	
	Braço de Controle	Reciclagem	3,85	kg	70	-269,5	
TOTAL (mPt)						246,89	

Com base na análise dos valores apresentados na Tabela 7 e pelo fato dos mesmos expressarem os ECO-Pontos relacionados aos impactos ambientais do ciclo de vida do produto confeccionado por remanufatura, evidencia-se que o montante de apenas 246,89 *mPt* é significativamente inferior ao respectivo valor dos impactos ambientais do processo de manufatura, anteriores estes citados como sendo 1160 *mPt*.

Com o intuito da mais adequada interpretação das relevantes diferenças de valores de ECO-Pontos, em relação à comparação entre os dois processos de fabricação, elaborou-se um fluxograma contemplando as distintas etapas do ciclo de vida do componente do sistema de suspensão.

Com base nas Tabelas 6 e 7, apresentadas anteriormente, e analisando-se o fluxograma demonstrado a seguir, na Figura 19, evidencia-se que os valores relacionados aos impactos ambientais, inerentes ao processo de fabricação por remanufatura do objeto de estudo, apresenta valores de Eco-Pontos segundo o método *Eco-Indicator'99* utilizado, significativamente

inferiores, aos impactos ambientais relativos à análise através do mesmo método e nas mesmas etapas do ciclo de vida, do produto quando fabricado pelo processo de manufatura.

Foram agrupadas as etapas com características de impactos ambientais semelhantes e/ou iguais, desta forma destacam-se apenas as diferenças significativas associadas a cada uma das etapas do ciclo, conforme demonstrado na Figura 19 a seguir.

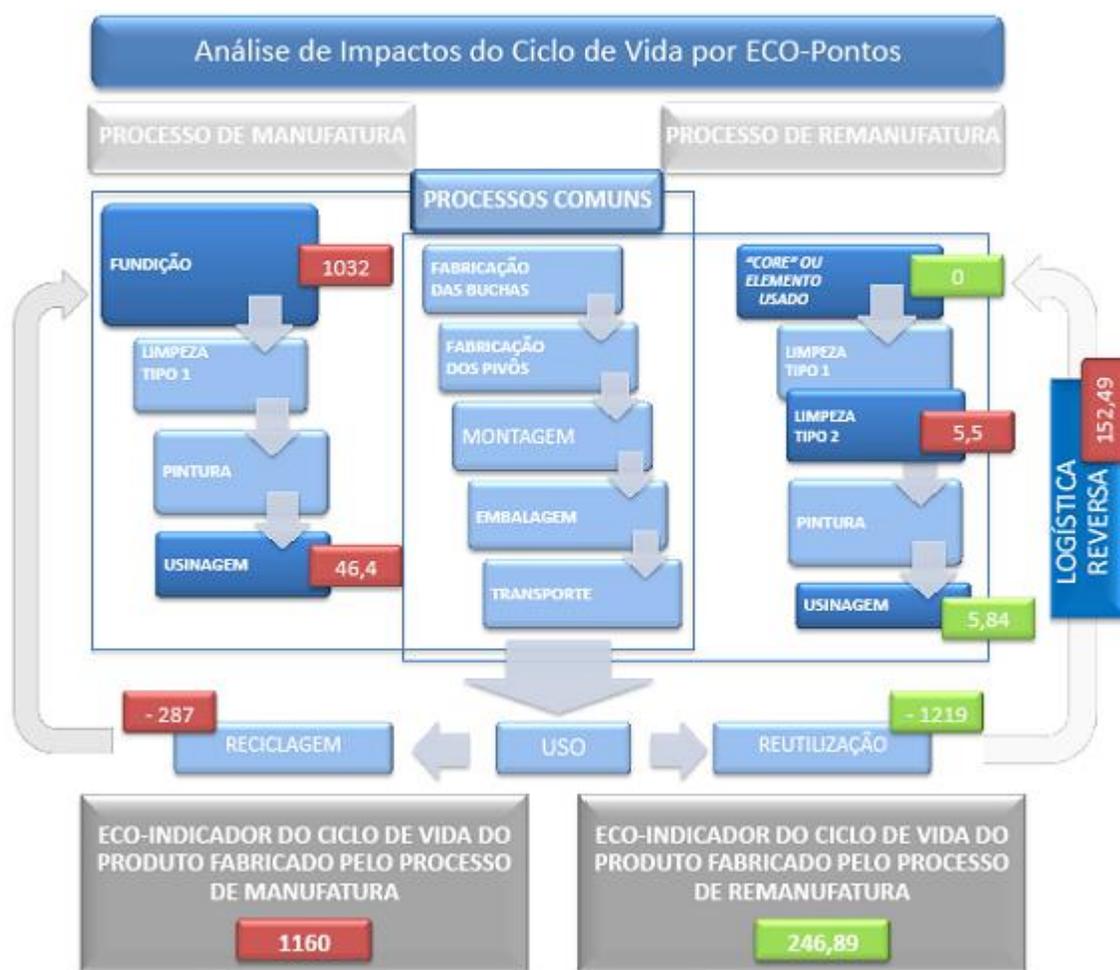


Figura 20 – Análise de Impactos do Ciclo de Vida por ECO-Pontos.

A Análise dos Impactos do Ciclo de Vida, com base fluxograma proposto na (Figura 19), destaca-se a apresentação dos valores de Eco-Pontos de aproximadamente 246,89 *mPt* para Análise do Ciclo de Vida do componente fabricado por remanufatura, um Eco-Indicador que

representa apenas 21% do valor total da mesma análise de impactos ambientais para a fabricação por manufatura, sendo que esta, apresenta um valor aproximado de 1160 *mPt*. Evidenciando-se a grande vantagem em termos de minimização dos impactos ambientais em função das características inerentes ao processo de remanufatura.

Deve-se ressaltar que o processo de fabricação por fundição de material ferro fundido nodular do componente braço de controle pelo processo de manufatura convencional, trata-se da etapa mais expressiva em termos de impacto ambiental totalizando um valor expressivo de 1032 *mPt*. Assim conforme esperado, como esta etapa é suprimida durante o processo de remanufatura, uma vez que este componente é reaproveitado, fecha-se o ciclo de vida do componente remanufaturado com a reutilização do componente usado ou também conhecido como *core*. Desta forma fica clara a contribuição em termos de minimização de impactos ambientais relacionados a esta reutilização, bem como a possibilidade adicional de reciclagem quando em seu final do ciclo de vida.

Entretanto tem-se um valor de aproximadamente 152,49 *mPt* relacionado aos impactos relativos ao processo de retroalimentação destes elementos usados para a remanufatura dos mesmos, etapa classificada como processo de logística reversa. Tal situação está diretamente relacionada com as distâncias entre o ponto de coleta principal, a cidade de São Paulo – SP em função de sua frota relativa de veículo muito mais expressiva em relação ao resto do país, até a localização da fábrica em Porto Alegre – RS, já descontando os valores comuns entre os dois processos.

Nota-se que existe uma grande oportunidade de minimização deste valor de impacto ambiental, uma vez que fossem revistos os formatos de transporte das peças. Transporte que, na data de desenvolvimento deste trabalho, ocorre por meio de caminhões de pequeno porte entre dois pontos principais de coleta e descarga, contemplando-se as etapas de tratamento intermediários em fornecedores externos (para limpeza e pintura), distantes aproximadamente um total de 1300 km entre a coleta em SP e a chegada na unidade fabril no RS.

Uma mudança significativa poderia ser sugerida e estudada, a proposta de desenvolvimento de fornecedores locais mais próximos da unidade fabril ou até mesmo a descentralização da unidade fabril para regiões mais próximas dos clientes finais dos produtos novos, elaborados por remanufatura e conseqüentemente uma maior proximidade dos fornecedores de produtos usados.

O valor relacionado com a etapa de usinagem, do processo de fabricação por manufatura, na ordem de aproximadamente 46,4 *mPt*, comparativamente a mesma etapa do processo de remanufatura com valor de 5,84 *mPt* é algo que tem-se a oportunidade de ser estudado e reavaliado para uma redução expressiva. Valor que na data do estudo representa algo na ordem de oito vezes maior pelo processo de manufatura e pode ser reavaliado de forma que fosse minimizado, talvez por meio de algum processo com base na concepção de *near net shaping*, ou seja, algum processo produtivo que possibilite a redução do sobre-metal e conseqüentemente a redução do processo e resíduos de usinagem, por meio de um componente o mais próximo possível da forma final da peça acabada.

Com base na bibliografia consultada e referenciada no decorrer do trabalho, percebe-se que as etapas relacionadas aos processos de limpeza dos componentes usados durante o processo de remanufatura são difíceis e relevantes em termos de impactos ambientais.

De fato confirmou-se que esta etapa de limpeza do componente usado, classificada como Limpeza do Tipo 2 no fluxograma apresentado anteriormente na Figura 19, serve para remoção de resíduos e está particularmente relacionada à remoção da pintura original usada. Este processo de remoção da pintura antiga, para aplicação da pintura nova, ocorre por meio da aplicação de elementos químicos como ácido sulfúrico e tem conseqüências dramáticas para o meio ambiente, caso não sejam estes elementos devidamente tratados.

Esta etapa pode apresentar valores de ECO-Pontos expressivos, e conforme demonstrado comparativamente é uma etapa que merece a devida atenção em prol da redução destes impactos ambientais mencionados. Redução esta, que pode ser obtida teoricamente por meio de conceitos e técnicas relacionadas a um produto que seja concebido para minimização de aderência por sujidades e a conseqüente facilitação do processo de limpeza, bem como a utilização de processos e agentes químicos que apresentem impactos ambientais mais amenos.

4.1.6. Aplicação do Método CCV – Custo do Ciclo de Vida

Sendo a minimização de custos em termos de processos de fabricação uma das principais metas de empresas produtoras de bens duráveis e bens de consumo, fez-se necessária a aplicação

do método de análise dos Custos do Ciclo de Vida como etapa fundamental da Análise do Ciclo de Vida, sendo esta, de suma importância para uma adequada tomada de decisão em prol de um processo produtivo e/ou toda e qualquer reformulação de uma etapa deste referido ciclo.

SEITZ (2007) *apud* ZANETTE (2008) salientam que existe uma grande competitividade entre fabricantes originais (OEM) e remanufaturadores independentes, o que tem motivado estes fabricantes originais a entrar no mercado de peças remanufaturadas. Também no setor automotivo, os produtores ingressam na remanufatura entre outros fatores comerciais, para proteger suas marcas de remanufatura por terceiros, garantindo o controle sobre a qualidade dos produtos remanufaturados.

Sendo assim, uma análise econômica constante é necessária para adequação dos custos e valores relacionados não apenas aos processos de fabricação, mas também as demais etapas do ciclo de vida de um determinado produto.

Com o intuito de uma adequada análise do Custo do Ciclo de Vida serão apresentadas, na Figura 20 a seguir, as etapas e suas principais características em termos de valores econômicos com base em um fluxograma contemplando estes referidos aspectos.

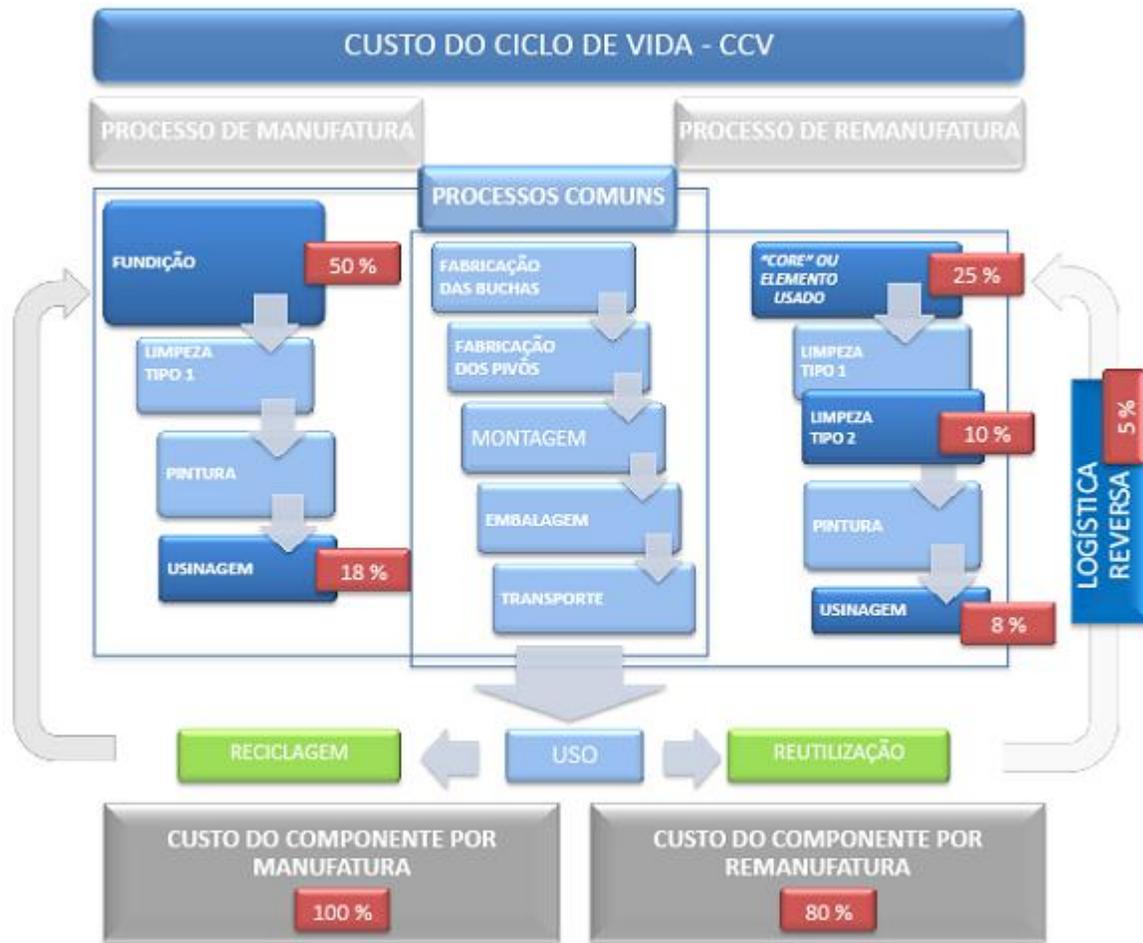


Figura 21 – Fluxograma para Análise do Custo do Ciclo de Vida (CCV).

Com base no fluxograma apresentado na Figura 20, evidencia-se a diferença econômica entre as distintas etapas do ciclo de vida, assim como possibilita uma comparação paritária entre os diferentes processos de fabricação, por manufatura e por remanufatura, entretanto deve estar registrado que apesar da análise ter acontecido de forma completa e ampla no ciclo de vida total, registrou-se e fora ilustrado neste apenas as etapas que apresentam diferenças, com o intuito de preservação de aspectos estratégicos para empresa em questão e por este mesmo motivo serão apresentados os valores de forma percentual.

Para um adequado entendimento e a facilitação do método de comparação, atribui-se um valor nominal de 100% para o custo total do componente novo concebido e fabricado pelo processo de manufatura convencional. Conseqüentemente foram atribuídos valores relativos a

este, em percentual para os demais valores relacionados a cada uma das etapas que demonstram diferenças em termos econômicos.

Destaca-se o custo do componente principal do produto objeto de estudo, o elemento caracterizado como braço de controle confeccionado pelo processo de fundição, e assim como demonstrado anteriormente em termos de impactos ambientais a análise dos custos envolvendo esta etapa do ciclo de vida, evidencia a sua importância colocando-o como elemento de destaque. O custo relacionado apenas com esta etapa de fabricação por fundição representa aproximadamente 50% do custo de um produto novo confeccionado por manufatura.

De forma comparativa destaca-se que, na etapa equivalente, mas agora pelo processo de remanufatura, tem-se um valor equivalente de apenas 25% do custo da peça nova pelo processo de manufatura, em função do reaproveitamento da respectiva peça neste ponto usada e conhecida como *core*.

Entretanto como etapa característica e fundamental do processo de remanufatura, conforme já citado ao longo deste texto e com base na bibliografia, percebe-se a relevância da etapa de limpeza deste componente usado e impregnado de impurezas e sujeiras oriundas da utilização. A etapa de Limpeza do Tipo 2 como foi classificada e esta, diretamente relacionada com o processo de remoção de impurezas e remoção da tinta original, assim como já demonstrado na análise de ECO-Pontos, é uma etapa importante também em termos de custos e representa agora no processo de remanufatura um valor estimado equivalente de aproximadamente 10 % do custo de um produto pelo processo de manufatura.

Etapa esta, que não agrega valor algum ao produto e tem como intenção a preparação do mesmo para aplicação da nova cobertura de tinta no produto usado agora remanufaturado a ser vendido como novo.

O processo de usinagem, conforme já é de conhecimento dos fabricantes de componentes automotivos e de forma mais ampla, de componentes metal-mecânicos, é uma etapa de relevante importância para a funcionalidade e acabamento superficial dos produtos finais. Não diferente neste objeto de estudo, estes são aspectos que impactam de forma significativa não apenas no custo de produtos novos pelo processo de manufatura com um valor de aproximadamente 18% do custo total, mas também no processo de remanufatura de forma também significativa com 8% do custo em relação à peça nova manufaturada.

Os custos finais associados à usinagem na remanufatura podem ser ainda menores em função de um aumento volume, ou seja, da produção em escala, uma vez que em função dos baixos volumes iniciais projetados para este processo de remanufatura tem-se um processo quase artesanal.

Custo este que pode ser avaliado e revisto com o intuito de sua minimização através da evolução das técnicas de usinagem e da melhoria contínua dos parâmetros de usinagem, entre outros aspectos através de um controle apurado de vida útil de ferramentas, relacionadas e aplicadas neste processo.

Em termos de logística e transporte não foram contemplados os aspectos relacionados ao uso e a venda, dos produtos novos ou remanufaturados. Em função da complexidade envolvendo os diferentes formatos da cadeia de distribuição dos produtos novos e os diferentes formatos de mercados, com respectivas formas de distribuição de produtos remanufaturados. Entretanto registra-se a oportunidade de desenvolvimento de futuros estudos contemplando estas características, particularidades e custos envolvidos.

De toda forma, fez-se a análise da etapa relacionada à logística reversa envolvendo o retorno dos produtos fabricados por remanufatura e que, uma vez em seu final de vida, fecham o ciclo e retornam como matéria prima ou *core* para o processo de remanufatura. Esta etapa tem papel fundamental em termos de competitividade do processo de remanufatura dos componentes, pois devem ser levados em consideração os custos diretos envolvidos com transporte, algo na ordem de 5% do valor total de um produto novo.

Este processo de logística reversa contempla levar um produto usado deste o principal ponto de coleta na cidade de São Paulo – SP, em função de seu grande número de veículos e respectivo elevado consumo deste tipo de componente, até o seu destino final no RS para a unidade fabril. Mas além deste custo direto com o transporte especificado, devem ser considerados os tempos envolvidos no processo, as etapas de manipulação, controles e custos com armazenagens intermediárias.

Segundo GOLDSBY e CLOSS (2000) *apud* HORI (2010), o verdadeiro custo econômico e ambiental das atividades de Logística Reversa permanece um mistério para a maioria das empresas, em razão do desconhecimento das atividades inerentes a este processo, de seus respectivos custos diretos e indiretos, e do desinteresse por parte dos gestores. Estudos preliminares ratificam a percepção dos autores citados, da existência de uma lacuna na literatura

no que tange à apuração e gestão dos custos da Logística Reversa de resíduos e de produtos de pós-consumo.

Sendo desta forma, o processo de logística reversa e a avaliação de suas características e peculiaridades um assunto relativamente complexo e de grande importância no escopo do processo de remanufatura, podendo ser objeto de estudo de trabalhos futuros.

Em uma análise mais ampla e voltada para uma adequada estratégia comercial, percebe-se a oportunidade de redução de custos em termos de logística, em função da alteração da localização dos fornecedores do *core* ou componentes usados.

Destaca-se o fato de que, em função da premissa de elevados requisitos técnicos e estando estes relacionados aos processos de fabricação, tanto na manufatura quanto na remanufatura, torna-se evidente a demanda por capacitação técnica e significativo conhecimento específico, necessário para atendimento destes requisitos técnicos, o que resulta em elevados custos com pessoal. Entretanto fora contemplado neste escopo por ser algo intangível neste ponto de análise e concepção de um projeto futuro de remanufatura, mas conforme citado anteriormente durante o texto deste trabalho, este conhecimento e expertise pode ser um importante fator de sucesso da implantação de um sistema de remanufatura.

Ainda no caso da remanufatura, pode-se evidenciar que a falta de *know-how* ou suporte de uma estrutura técnica de concepção e fabricação, será decisivo para o sucesso da continuidade de longo prazo, deste tipo de processo produtivo alternativo. Tendo como impacto principal a alteração da qualidade dos produtos finais remanufaturados.

Em resumo, como demonstrado na literatura em estudos desenvolvidos por JACOBSSON (2000), por exemplo, a estrutura de remanufatura deve ser diretamente e constantemente ligada com a matriz, para uma troca de informações, tecnologias e principalmente a viabilização econômica de um processo tecnicamente adequado.

No modelo analisado e proposto justificam-se os elevados valores associados ao processo de remanufatura, em função da substituição em um primeiro momento de todos os componentes de articulação por componentes novos, como buchas e pivôs, sempre. Conferindo a peça remanufaturada um atendimento de todos os requisitos técnicos propostos e características muito semelhantes e por vezes iguais a uma peça nova confeccionada por manufatura.

Tendo como fator fundamental ainda no processo de remanufatura proposto a aderência às regras, a padronização nos processos e o atendimento a todos os requisitos técnicos estipulados e elencados como significativos para uma maior durabilidade do produto em questão.

Percebe-se a oportunidade de diferenciação significativa do processo de manufatura em função dos crescentes volumes de peças novas e conseqüentemente o aumento da escala de fabricação, possibilitando um maior poder de barganha junto aos fornecedores de componentes, algo não diferente e possível de acontecer no processo de remanufatura.

Por tratar-se de um aspecto tangível e fundamental, relacionado à industrialização, ou seja, a manufatura convencional, a fabricação em larga escala sempre terá um papel preponderante e atua de forma expressiva como fator de vantagem competitiva em relação ao processo quase “artesanal” da remanufatura ou re-industrialização.

A remanufatura também proporciona novas oportunidades ao produtor, como o ganho de informações sobre as necessidades do consumidor – no ato da troca e por meio da análise das condições e características de uso das peças usadas retornadas. O retorno de produtos em fim de vida para a empresa é uma fonte para obtenção de informações sobre o funcionamento das peças durante seu uso, fornecendo ferramentas para o re-projeto e o projeto de novos produtos, ou seja, a remanufatura permite que o produtor perceba o comportamento de seus produtos no seu fim de vida, oferecendo vantagens competitivas no melhoramento dos produtos por meio deste re-projeto (ÖSTLIN, SUNDIN e BJÖRKMAN, 2008 *apud* ZANETTE, 2008).

Tais oportunidades e informações não poderiam deixar de serem citadas, entretanto não foram analisadas e contempladas durante a análise do Custo do Ciclo de Vida. Pois apesar de serem muito significativas, possuem um valor intangível em termos econômicos.

4.2. Aplicação do método QFD

Com o auxílio da equipe multidisciplinar envolvida, composta por membros do departamento comercial, qualidade, engenharia de produto e engenharia de pós-venda. Em função da experiência dos membros e do contato direto desta equipe com os clientes e usuários dos referidos produtos objeto de estudo, foram determinados os atributos de Qualidade

Demandada ou Atributos do Produto, como sendo a Voz do Cliente e caracterizados como “O QUE” o produto deve contemplar para satisfazer as necessidades destes clientes mencionados.

Assim como foram determinadas as respectivas Características da Qualidade como sendo a Voz do Especialista ou os Requisitos do Projeto e tratando-se de “COMO” tecnicamente as necessidades do cliente serão atendidas pela empresa.

Com base na premissa de que o produto remanufatura deve atender os mesmos níveis de exigência e aos mesmos requisitos técnicos de um produto novo confeccionado pelo processo de manufatura convencional, convencionou-se que fossem determinados todos estes requisitos tendo como objetivo o produto final, independentemente do seu respectivo tipo de processo produtivo.

As Tabelas 8 e 9 apresentam as versões iniciais dos atributos e requisitos, elaboradas pelo time de trabalho, apresentadas com a intenção de demonstrar como foi a etapa inicial e sua evolução na estruturação do método.

Tabela 8 - Voz do cliente – Versão inicial.

Voz do cliente = Requisitos do consumidor = Atributos do Produto = "O QUE"	
Características Mecânicas	Fácil instalação do produto no veículo Durabilidade Possibilidade de substituição de componentes danificados ou gastos Segurança - Resistência ao impacto (buracos e/ou colisões)
Acabamento/Visual	Textura superficial e centralização de massa do fundido Pintura “Não machuca as mãos durante a manipulação” - Livre de rebarbas e arestas Identificação da peça e rastreabilidade (fácil leitura e posicionamento)
Funcionalidade	Fácil instalação/remoção no veículo Funcionalidade conforme especificação da respectiva aplicação (ângulos de trabalho) Componentes de borracha resistentes a fatores externos Livre de ruídos no funcionamento Prazo de garantia e durabilidade Fácil transporte e armazenamento

Tabela 9 - Voz do especialista - Versão inicial.

Voz do especialista = Requisitos projeto = Características de Engenharia = "COMO"	
Características Mecânicas	Dimensões e forma conforme especificação do produto original Interferência dimensional no processo de montagem dos componentes Controle dimensional da furação/alojamento dos componentes Material especificado - Análise metalográfica Material especificado - Avaliação e Laudo dos componentes
Acabamento/Visual	Avaliação visual Avaliação da pintura especificada - proteção/camada Inspeção visual de rebarbas e cantos Controle de identificação do componente fundido
Funcionalidade	Comprovação do dimensional de posicionamento de montagem dos componentes Controle dimensional nos processos de fabricação dos componentes Ensaios dinâmicos - comprovação de funcionalidade e resistência Carga de arrancamento dos componentes - simulação de danos

Ainda durante o processo de estruturação, foram determinados os atributos mais relevantes escolhidos pela equipe multidisciplinar envolvida, apresentados na Tabela 10 a seguir:

Tabela 10 - Voz do cliente e Voz do Especialista – Versão para Casa da Qualidade.

Voz do cliente = "O QUE"	
Características Mecânicas	Montagem adequada da peça no veículo Funcionalidade (ângulos de trabalho) Livre de ruídos no funcionamento Durabilidade Segurança - Resistência ao impacto (buracos e/ou colisões)
Acabamento/Visual	Textura superficial (arestas e rebarbas) Pintura Peça e componentes livres de oxidação/corrosão Componentes poliméricos (buchas e coifas) livres de danos Identificação da peça e rastreabilidade (fácil leitura e posicionamento) Centralização de massa dos componentes na peça fundida
Custos/Transporte	Reduzido custo da peça Transporte e armazenamento
Voz do Especialista = Característica da Qualidade = "COMO"	
Características Mecânicas	Dimensões e forma da peça completa Torque especificado Posicionamento adequado dos componentes Controle dimensional dos componentes Materiais especificados
Acabamento/Visual	Avaliação visual Avaliação da pintura especificada - proteção/camada Gravação dos códigos para identificação da peça e dos componentes Embalagem padrão

A respectiva evolução das Tabelas 8 e 9 para uma tabela única caracterizada como Tabela 10 teve como principal motivador a otimização dos dados em prol da evidenciação das informações mais significativas, assim como a intenção de demonstração das reais demandas dos clientes traduzidas em atributos técnicos do produto.

Os requisitos do consumidor ou qualidade demandada são satisfeitos através dos atributos técnicos do produto, características da qualidade ou ainda conhecidos como características de engenharia.

4.2.1. Resultados do método QFD

Como resultado da análise da aplicação do método QFD para ambos os processos de fabricação, a Matriz I de Makabe ou Casa da Qualidade propiciou a determinação dos respectivos atributos técnicos. Entretanto, deve-se registrar que por questões estratégicas em termos comerciais para empresa objeto de estudo, não serão demonstrados no escopo deste trabalho os pesos específicos de cada um dos referidos atributos.

Com base na Casa da Qualidade foi possível a definição dos atributos técnicos relevantes, sendo que todos eles apresentaram-se relacionados às características mecânicas da peça objeto de estudo. As referidas matrizes determinaram que estes atributos ou características de engenharia tanto para o processo de fabricação convencional, como pelo processo de remanufatura são:

- Posicionamento adequado dos componentes;
- Dimensional dos componentes;
- Materiais especificados.

Decorrentes ainda da utilização apenas da primeira matriz relacionada ao uso do método, a matriz conhecida como Casa da Qualidade ou *HOQ – House of Quality* e em função do contato direto da equipe multidisciplinar envolvida com os clientes de ambos os processos de fabricação, foi possível a determinação dos principais requisitos dos clientes ou atributos do consumidor, sendo eles:

- Durabilidade;
- Livre de ruídos no funcionamento;
- Funcionalidade.

Uma vez evidenciados os mais significativos requisitos técnicos, tendo como ferramenta de auxílio o método QFD, destaca-se a importância destes e o atendimento dos mesmos, durante as várias etapas iniciais do ciclo de vida do produto, deste a concepção e o projeto até o desenvolvimento e a respectiva fabricação, independente do método escolhido, seja a manufatura convencional ou a remanufatura. O fundamental é que os requisitos técnicos devem apresentar este referido alto grau de atendimento.

Sendo assim e no caso da escolha em prol do processo de remanufatura, por exemplo, o fato de o produto apresentar os mesmos requisitos técnicos de um produto novo, poderá ser uma significativa vantagem competitiva em relação aos seus principais concorrentes comerciais no nicho de mercado ao qual o mesmo destina-se.

A escolha por este elevado nível de desempenho, caracterizado como ótimo para ambos os processos, atua como uma premissa em termos de qualidade e serve como um sistema de garantia de aderência às regras e aos procedimentos pré-determinados, sempre com o intuito do mais adequado desempenho.

4.3. Aplicação do Método AHP

Uma vez expostas as características e por conseqüência as vantagens e desvantagens em relação ao uso do método AHP estipuladas pela bibliografia consultada, faz-se necessária a exposição dos aspectos relevantes para a escolha em prol deste método matemático específico.

Segundo AKAO (1996), durante o processo de caracterização e definição dos clientes e seus respectivos requisitos, quando este número de clientes é pequeno e estatisticamente não permite a pesquisa por enquete no modelo convencional de pesquisa para estruturação do método QFD, a equipe multidisciplinar que constitui a equipe de trabalho do QFD deve usar o método AHP para determinar, ela própria, a importância dos requisitos dos clientes. Essa técnica sistematiza a comparação entre os requisitos, estabelecendo um meio eficaz para determinar a importância relativa destes.

Outros fatores fundamentais foram as características do método que possibilitam a estruturação hierárquica e por conseqüência uma análise paritária e direta, estando esta análise e ponderação dos valores das relações diretamente ligada a intuição, experiência e envolvimento da equipe de trabalho multidisciplinar do AHP.

Uma vez determinados os atributos técnicos, econômicos e ambientais escolhidos teoricamente, por meio da aplicação das ferramentas de apoio e com base no conhecimento e ampla experiência dos especialistas envolvidos, foi elaborada a hierarquia dos processos segundo o método AHP (Figura 22).

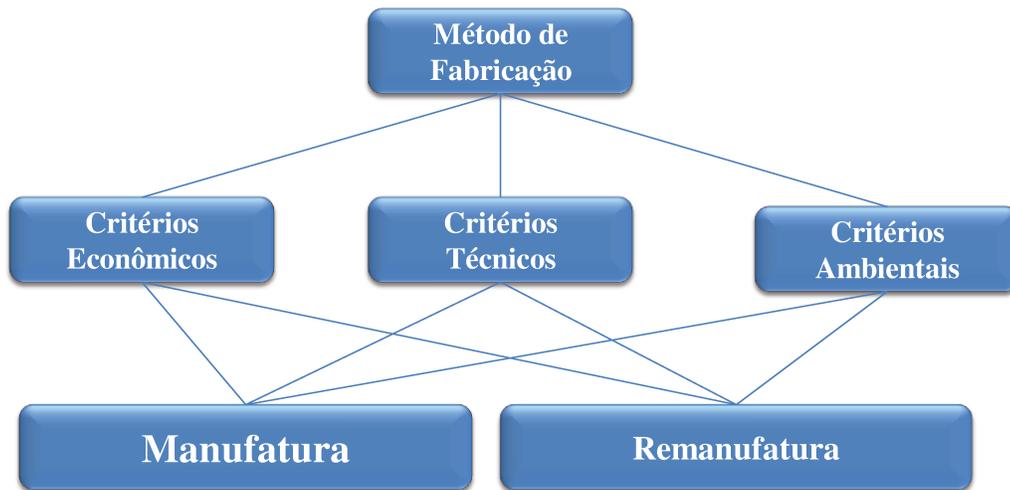


Figura 22 - Estrutura Hierárquica para o Estudo de Caso.

Com base na Figura 22 apresentada, evidencia-se desta forma que o método AHP é o compilador de todos os atributos supracitados, assim como o fato do referido método atuar como catalisador e em função de suas características pode ser utilizado pelo tomador de decisão como ferramenta final no processo decisório, entre prol de apenas um dos distintos processos de fabricação, a manufatura ou a remanufatura.

5. RESULTADOS

5.1. Resultados do método AHP e processo de tomada de decisão

Com o intuito de compilação dos resultados obtidos com a aplicação dos demais métodos de análise utilizados, como ACV, CCV e QFD, com base nas características do método AHP relacionadas à possibilidade de estruturação de forma hierárquica de um processo de tomada de decisão, em prol de uma alternativa somente, fez-se o uso do respectivo método.

Levando-se em conta os diversos critérios técnicos, econômicos e ambientais no caso deste estudo e tendo como objetivo a escolha de um dos dois métodos de fabricação, a manufatura ou a remanufatura, fez-se uma estruturação primária contemplando as mais distintas variáveis e seus equivalentes sub-critérios, conforme demonstrado a seguir na Figura 23.

Sendo importante registrar que durante o desenvolvimento deste trabalho, um grande esforço foi investido no levantamento de dados inerentes a cada um dos processos produtivos e por consequência uma complexa tarefa de determinação e mensuração de determinados atributos foi constatada.

Com base nestas constatações, percebeu-se durante o desenvolvimento do trabalho a oportunidade de avaliação pontual de específicos sub-critérios, objetivando-se um resultado mais direto em relação à comparação paritária dos processos. Tal situação sendo relacionada à dificuldade de mensuração das características e dos atributos associados a processos complexos, como por exemplo, a determinação de um investimento completo para criação de uma estrutura fabril complexa, com todas as suas características e particularidades, como às requeridas para um processo de remanufatura.

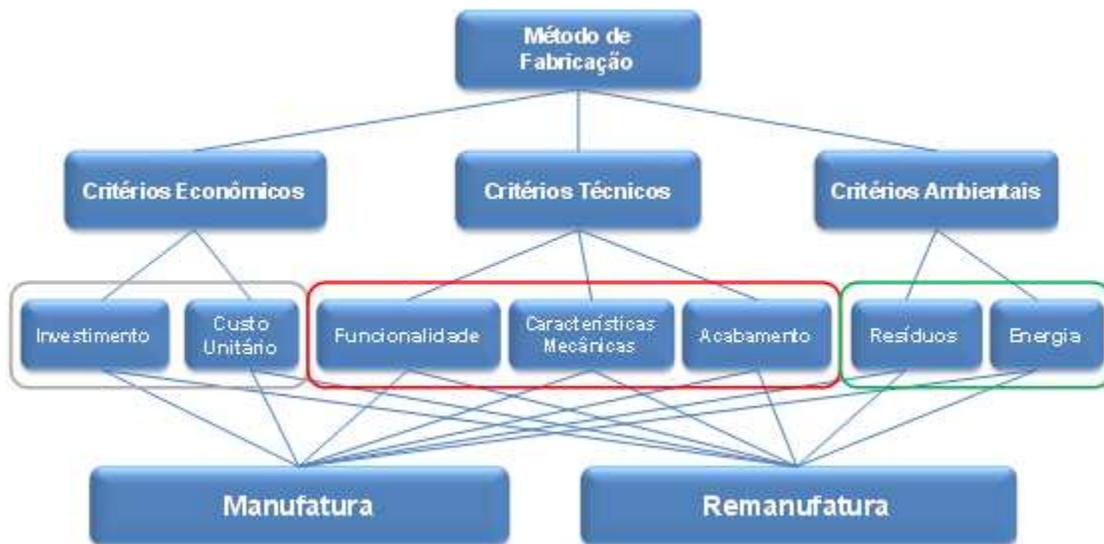


Figura 23 - Estrutura Hierárquica Primária Método AHP para o estudo de caso.

Em contrapartida, com base nas informações já conhecidas relacionadas ao processo de manufatura, evidenciou-se as principais diferenças entre os processos produtivos oriundas desta análise hierárquica. Para tanto, fez-se uma nova estruturação hierárquica a ser ilustrada como uma estruturação secundária na Figura 24 a seguir. Estruturação esta, que demonstra claramente de que forma cada uma das ferramentas matemáticas e conceitos associados foram aplicados e compilados com o uso do método AHP.

Uma vez determinados os atributos técnicos com base no uso do método QFD e na análise da matriz fundamental conhecida como Casa da Qualidade, estes atributos técnicos foram indexados no processo de análise hierárquica do método AHP. Assim como foram indexados na estrutura hierárquica os resultados da mensuração de valores econômicos no que tangem os custos, valores estes, relacionados a cada uma das etapas do ciclo de vida do produto pelos dois distintos processos de fabricação, através do método de CCV.

Também foram indexados os valores relacionados aos Impactos Ambientais, em termos de percentuais oriundos da comparação paritária dos processos de fabricação e tendo sido utilizada a ferramenta de Eco-Indicadores com base no método *EI'99*.

Esta estruturação secundária/final que possibilitou a análise final do tomador de decisão e será apresentada a seguir na Figura 24, tem como objetivo a demonstração de como um método

particular que associa diferentes ferramentas/conceitos tem a capacidade de contribuir para um processo de decisão mais simples e direto.

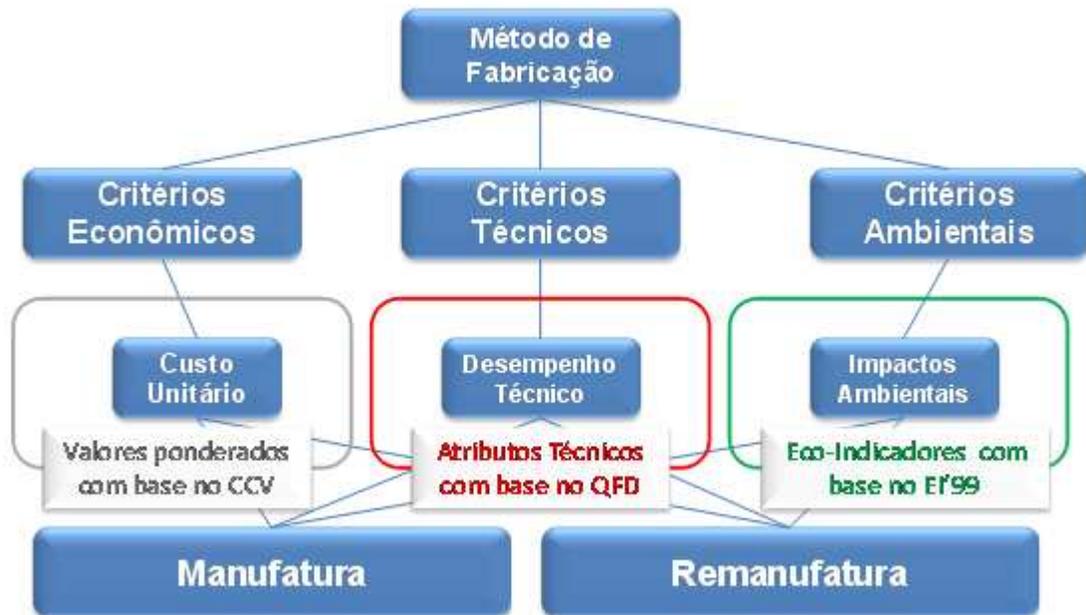


Figura 24 - Estrutura Hierárquica Final do Método AHP para o estudo de caso, interface com os demais métodos aplicados.

Uma vez definida a estrutura hierárquica final (Figura 24), com base nos atributos e sub-critérios estipulados por meio do QFD sendo estes caracterizados como o desempenho técnico do produto originado por cada um dos processos de fabricação, sendo conhecidos os valores oriundos das análises por meio dos métodos de CCV e Eco-Indicadores, caracterizados como o custo unitário de fabricação e os impactos ambientais associados a cada um dos processos de fabricação, respectivamente, podem ser evidenciadas as diferenças entre os processos de fabricação (Tabela 11).

Tabela 11 - Comparação paritária dos processos de fabricação.

<i>Critérios/Alternativas</i>	Manufatura	Remanufatura
Custo unitário	100%	80%
Impacto Ambiental	100%	21%
Desempenho Técnico	ÓTIMO	ÓTIMO

Conforme a Tabela 11 apresentada, evidencia-se que, conforme os critérios aplicados tem-se o custo unitário referencial como sendo o custo para fabricação de um produto pelo processo de manufatura convencional. Conseqüentemente sendo este, caracterizado como 100%, para uma adequada comparação paritária sem a necessidade de mensuração dos valores econômicos reais. Sendo utilizado o conceito de comparação para o custo de menor é melhor.

Para os valores associados aos Impactos Ambientais, fora utilizado o conceito para tomada de decisão de que “menor é melhor”, onde temos conforme registro anterior e por meio da ferramenta de Eco-Indicadores a informação de que a confecção do produto, pelo processo de Remanufatura representa apenas 21% dos impactos ambientais do mesmo processo por Manufatura.

Conforme definido como fator determinante para o sucesso da venda dos produtos remanufaturados, atribui-se o fator de desempenho técnico ótimo, igual para os dois processos de fabricação, a Manufatura e a Remanufatura.

Por conseqüência este desempenho técnico ótimo requerido para ambos os processos tem impacto direto sob todos os requisitos técnicos determinados pelo método de QFD. Sendo assim, este não é um critério capaz de diferenciar os dois processos de fabricação, entretanto, na visão da empresa objeto de estudo, trata-se de uma premissa para a continuidade e sucesso de um projeto como o desenvolvimento de um processo de fabricação de componentes de segurança prioritários, como são os componentes de suspensão veiculares automotivos. Desta forma não foi tão pouco cogitada, a possibilidade de um desempenho técnico diferente e/ou inferior para o produto remanufaturado em relação ao manufaturado convencionalmente.

Uma vez que, os cálculos para tomada de decisão foram efetuados por meio do programa *SuperDecisions* e os índices de inconsistência ficaram dentro dos parâmetros sugeridos pelo

modelo, finalmente definiu-se a alternativa escolhida. Escolha esta, de acordo com o julgamento efetuado e por meio do método AHP, sob a luz dos critérios definidos. Sendo assim, o processo de fabricação que se configura como a melhor alternativa para confecção de um componente de suspensão veicular automotivo, especificamente o objeto de estudo deste trabalho, trata-se do processo por remanufatura.

O resultado alcançado pelo modelo e com base nos julgamentos do decisor, expressa as suas preferências e valores, sendo que estes são claramente compreensíveis uma vez que foi evidenciada que quantitativamente, um custo menor é melhor, assim como um impacto ambiental menor é melhor da mesma forma. Ambas, situações obtidas pelo processo de remanufatura.

6. DISCUSSÕES

O método multicriterial AHP utilizado demonstrou ser uma ferramenta especialmente indicada para o processo de compilação das informações oriundas de outros métodos de análise e inclusive para o tratamento de dados oriundos de outra ferramenta de análise multicriterial.

O processo de compilação dos dados e o processo de estruturação hierárquica exigem certo grau de envolvimento por parte do decisor, entretanto o fato das informações oriundas dos demais métodos e ferramentas já estarem tratados e comparados paritariamente, contribui de forma expressiva para uma análise direta e simplificada por parte deste decisor. Características estas evidenciadas, percebe-se a oportunidade de utilização do método particular proposto com a utilização de várias ferramentas associadas, em situações distintas, relacionadas ao processo de tomada de decisão. Não estando este método proposto apenas associado à análise de processos de fabricação e tão pouco restrito à avaliação de componentes de suspensão de veículos automotores, podendo o referido método ser aplicado às situações com um número ainda maior de variáveis e por conseqüência processos de tomada de decisão ainda mais complexos.

Por meio da Análise do Ciclo de Vida efetuada e com base nos valores obtidos pela ferramenta de ECO-Indicadores *EI'99*, que existe a oportunidade de uma busca por novos processos de fabricação como a remanufatura sugerida, em prol da imagem da empresa em termos de sustentabilidade. Dentro de uma ótica cada vez mais em voga de preocupação ambiental, as empresas podem se creditar socialmente junto ao mercado, como empresas amigas do meio ambiente, amigas da sociedade, destacam-se por uma fabricação mais verde ou também conhecida como *Green Manufacturing*, com aspectos menos danosos ambientalmente.

Assim no estágio de alta competitividade atual, podem estas empresas se destacar, e fortalecer as suas marcas ou *brands* partindo para os aspectos intangíveis de uma marca, por meio de processos simples e ecologicamente mais adequados como a remanufatura.

Baseado na análise das informações oriundas dos diferentes métodos, todas as informações foram compiladas e estruturadas por meio método AHP, onde os requisitos específicos, técnicos, econômicos e ambientais relacionados a cada uma dos processos produtivos, a Manufatura e a Remanufatura foram comparados paritariamente, e então fez-se a respectiva escolha entre um

destes referidos processos com base no método proposto, neste caso como melhor alternativa a Remanufatura.

Com o intuito de um mais adequado entendimento e de forma a ilustrar em um formato diferenciado, para os trabalhos consultados na área de fabricação automotiva, evidenciaram-se os resultados em um diagrama ternário conforme a Figura 25 a seguir.

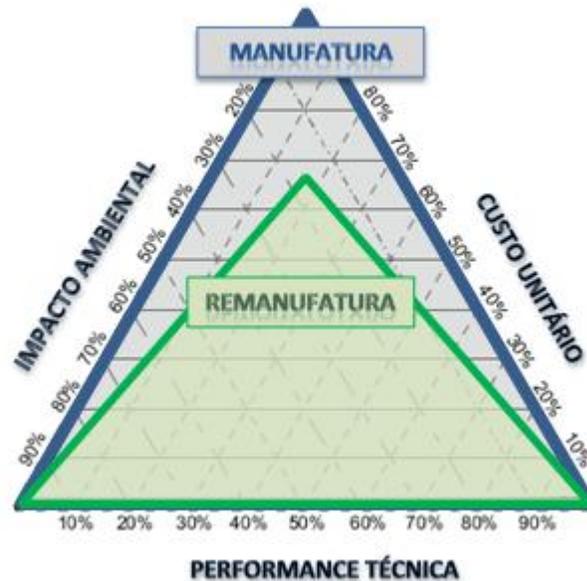


Figura 25 – Diagrama ternário dos resultados da análise Técnica, Econômica e Ambiental.

Com base na Figura 25 que representa o diagrama ternário onde estão representados os valores característicos de cada um dos processos de fabricação, a manufatura e a remanufatura, evidencia-se que ambos tem o mesmo desempenho técnico. Entretanto, o processo de manufatura apresenta um custo unitário superior e maiores impactos ambientais. Sendo assim, percebe-se a vantagem significativa do processo de remanufatura em função destes aspectos citados.

Nota-se que existe uma grande oportunidade de auxílio no processo de tomada de decisão entre os dois sistemas de fabricação, com base no emprego e utilização do modelo proposto.

Sendo possível a determinação de qual o processo de fabricação que mais se adéqua, em função da demonstração de performances particulares de cada um dos requisitos técnicos,

econômicos e ambientais. Percebe-se que o método elaborado pode ser utilizado em análises distintas, com componentes e condições de contorno diferentes.

7. CONCLUSÕES

No decorrer deste trabalho que teve como objetivo a elaboração de um método para auxílio no processo de tomada de decisão, por meio da aplicação do conceito de Engenharia do Ciclo de Vida (ECV) para um componente de um sistema de suspensão veicular automotivo e com base no auxílio dos métodos multicriteriais como o QFD e o AHP, além destes referidos métodos foram também utilizadas outras ferramentas inerentes a Análise do Ciclo de Vida (ACV).

Pode-se afirmar que durante as primeiras fases deste projeto foram identificados quais são os fatores fundamentais para utilização dos métodos multicriteriais a serem usados como artifícios. Tornando-se evidente a dificuldade na escolha, desde os atributos até o estabelecimento de pesos no processo de comparação entre estes.

Pode-se concluir que as dificuldades em termos de caracterização de cada um dos processos de fabricação serão relevantes para uma análise quantitativa mais apurada. Uma vez que esta dificuldade está relacionada à mensuração de valores absolutos e individuais de processos ainda em etapa de concepção e projeto, principalmente em termos econômicos e ambientais, em termos do processo de remanufatura.

Evidencia-se no decorrer do referido trabalho que todas estas dificuldades e por conseqüência todos os avanços em termos de organização, controle e mensuração dos processos podem ser vistos como uma grande oportunidade para a empresa em questão e principalmente como o cumprimento da proposta e objetivo deste presente trabalho. Uma vez que, este trabalho tem como escopo a elaboração de um método particular, baseados na análise de requisitos técnicos, econômicos e ambientais dos dois processos de fabricação estudados, a manufatura e a remanufatura de componentes dos sistemas de suspensão veicular.

A questão ligada aos requisitos técnicos de alto desempenho, classificados no mínimo como desempenho técnico ótimo para ambos os processos de fabricação, pode ser tratado como fator preponderante para que o processo de remanufatura projetado e cogitado destaque-se em relação aos seus futuros respectivos concorrentes comercialmente.

Nota-se o quão necessário é um suporte (com alto investimento e conhecimento técnico) de uma empresa matriz para todo o processo inicial do ciclo de vida, desde a concepção, projeto e desenvolvimento de produto e de processos, assim como os aspectos tangíveis e intangíveis relacionados à experiência das pessoas diretamente envolvidas com a remanufatura. Empresas de pequeno e/ou distanciamento de uma matriz, por parte de uma equipe de remanufatura, em diferentes contextos não tem como arcar com estes referidos altos custos econômicos e conseqüentemente não conseguem obter as margens de contribuição e o atendimento destes mais altos requisitos técnicos estipulados.

Os custos relacionados com a manufatura convencional, geralmente são regidos pelos aspectos relacionados à alta escala de produção, nem sempre levando-se em conta os aspectos e impactos ambientais.

Além de o referido método ter evidenciado que o processo de remanufatura pode ser interpretado como uma solução atual para os aspectos principalmente ambientais associados à fabricação de componentes automotivos.

Tendo como referência a dificuldade relacionada com o levantamento das características de custos, diretamente relacionadas com os aspectos tangíveis do processo de fabricação e a sua respectiva distribuição para venda, percebe-se a oportunidade de um estudo futuro mais amplo e profundo em termos econômicos com o intuito de um maior detalhamento das etapas de logística, por exemplo. Assim como a oportunidade de desenvolvimento de um estudo futuro relacionado aos impactos ambientais, em função de cada uma das etapas e variações dos processos produtivos, como a otimização do processo de limpeza e o quanto produtos concebidos pelo o conceito de *Design for Remanufacturing* (DFR) podem apresentar vantagens e minimização dos impactos ambientais nestes quesitos

Como conclusão, podemos afirmar que o trabalho vem a contribuir para que os tomadores de decisão façam uso do método proposto e conseqüentemente tenham a oportunidade de optar durante um processo de decisão, em prol daquele referido processo que apresentar simultaneamente e não individualmente, a melhor relação de benefício/custo, o adequado atendimento aos requisitos técnicos estipulados e os menores impactos ambientais em um cenário sustentável, em todas as etapas do ciclo de vida do produto em questão.

7.1. Desenvolvimentos futuros

Com base nas informações evidenciadas durante este trabalho percebe-se que existe a possibilidade de desenvolvimento de estudos futuros, como por exemplo, avaliações de impactos ambientais e econômicos relacionados à processos de remanufatura de produtos ou componentes com materiais distintos, como alumínio, materiais compósitos e polímeros.

A questão da logística complexa e onerosa relativa ao processo de distribuição convencional de um produto elaborado por manufatura e vendido posteriormente, é algo que pode ser mais um fator de diferenciação do processo de remanufatura, em função do perfil de seus respectivos clientes. Esta diferenciação poderá ser analisada em um estudo mais profundo futuramente, talvez se caracterizando inclusive como mais uma vantagem competitiva do processo de remanufatura.

Uma avaliação futura das informações inerentes à retroalimentação dos projetistas poderá originar uma base de dados no que tange a evolução de projetos e quem sabe desta forma, evidenciar cada vez mais as vantagens de um processo de remanufatura suportado tecnicamente por uma empresa matriz. Sendo assim, percebe-se a oportunidade de desenvolvimento de estudos futuros relacionados à evolução de projetos com base na referida retroalimentação oriunda da remanufatura, em busca da sustentação de conceitos como o DFR ou *Design for Remanufacturing*.

Assim como nota-se a possibilidade de desenvolvimento de estudos futuros para aplicação do método particular proposto em distintos processos de tomada de decisão, como por exemplo, a tomada de decisão entre a manufatura convencional ou a remanufatura de motores automotivos e de seus componentes de maior valor agregado.

8. REFERÊNCIAS

ABREU, L. M.; GRANEMANN, S. R.; GARTNER, I.; BERNARDES, R. S. *Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do método AHP*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, n. 2, pp. 257 – 262, 2000.

ALMEIDA JR, V.. *Parametrização dos valores de geometria do sistema de suspensão de veículos de passageiros*. 2007. Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo - SP.

AKAO, Y.. “*Quality Function Deployment: integrating customer requirements into product design*”. Cambridge: Productivity Press. 1990.

AKAO, Y.. *Introdução ao Desdobramento da Qualidade*. Tradução de Zelinda Tomie Fujikawa e Seiichiro Takahashi. Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, MG. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: *Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Estrutura*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009, 21p.

BARBOZA, E. M. F. *Rotulagem ambiental: rótulos ambientais e análise do ciclo de vida (ACV)*. Ibicit, São Paulo, SP. 2001.

BARQUET, A.P.. *Aspectos críticos na consolidação do sistema de remanufatura*. 2009. Artigo ISSN 1676 – 1901/VOL.IX/NUM.IV/2009. Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO. Revista Produção On-Line.

BIRAES, A., BELFIORE, P.P. e ROTONDARO, R. G. *A logística ambiental no setor automotivo brasileiro*. Anais do XXVI ENEGEP - Fortaleza, CE, Brasil, 9 a 11 de Outubro de 2006.

BOAS, C.L.V.. *Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD) para as decisões relacionadas ao uso múltiplo de reservatórios: Analytic Hierarchy Process (AHP)*. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>. Acesso em: Setembro 2010.

BORCHARDT, M.; CALLIARI, L.A.P.; SELLITTO, M.A.; MEDEIROS, G.P.; *Considerações sobre eco-design: um estudo de caso na indústria eletrônica automotiva*. Ambiente & Sociedade, Vol. XI, Núm. 2, Julho-Dezembro, 2008, pp. 341-353. Campinas – SP.

BORCHARDT, M.. *Motivação para o emprego do eco-design: um estudo de caso na indústria automotiva*. International Workshop Advances in Cleaner Production, 2007. São Paulo, SP. Publicação disponível para acesso em 02 de Maio de 2011, através do site: <http://www.advancesincleanerproduction.net/first/ptbr/Site/datahora2211.htm>.

BOUZON, M.. *Remanufatura de Bens de Consumo Duráveis: um método de diagnóstico e análise de problemas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, SC, 2010.

BOUZON, M.; CARDOZO, C.L.; RODRIGUEZ, C.M.T.; GONTIJO, L.A.; QUEIROZ, A.A.. *Final de vida dos produtos, Remanufatura e Mercado de Reuso: Tendências, Barreiras e Desafios em um estudo de caso*. 3 rd International Workshop Advances in Cleaner Production, 2011. São Paulo, SP.

BRAGA, M. F.. *O Eco-Design na Marcenaria da ASMARE-BH: Um estudo de caso*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, MG, 2010.

CHEHEBE, J. B. *Análise do ciclo de vida de produtos*. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 1997. 120p.

CHENG, L.C.. *QFD: Planejamento da Qualidade*. Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, MG.1995.

CHEN, J.; CHEN, C. J.. “*QFD - based Technical Textbook Evaluation – Procedure and a Case Study*”. **Journal of Industrial Technology**, Vol. 18, n.1. 2002.

COUNCIL LOGISTIC MANAGEMENT (CLM), Documento disponível para consulta através do site: < <http://www.clm1.org/>>. Acesso efetuado em 21/12/2010.

CHINNAM, R.B.; SUBRAMOMIAM, R.; HUISINGH, D.. Remanufacturing for the automotive aftermarket-strategic factors: literature review and future research needs. **Journal of Cleaner Production**. N° 17, 2009. 1163 – 1174.

EUGÊNIO, M.L.. *Contribuição ao Desenvolvimento de uma Bucha Elastomérica para Bandeja inferior de um veículo compacto*. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2006.

GERALDINO, G.C.L.. O Método QFD/SQD em Projetos Distribuídos de Software. Artigo publicado na *Revista Campo Digital*, Campo Mourão, v.4, n.1, p. 111-121, jan/dez 2009.

GILLESPIE, T.D. “*Fundamental of Vehicle Dynamics*”, Society of Automotive Engineers-SAE, 1st Edition, USA, 1992.

HORI, M.. *Custos da Logística Reversa de Pós-consumo: um estudo de caso dos aparelhos e das baterias de telefonia celular descartados pelos consumidores*. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis), Departamento de Contabilidade e Atuária da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2010.

GOEDKOOP, M., EFFTING, S., COLLIGNON, M.. *The Eco-Indicator 99 - A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Manual for Designers*. PRé-Consultants. Publication: MHSPE (Ministry of Housing Spatial Planning and the Environment), October 2000. Netherlands.

GIANNETTI, E.; ALMEIDA, C. “*Ecologia Industrial – Conceitos, Ferramentas e Aplicações*”. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2006.

FARIAS, A.T.O.. *Desdobramento da Função Qualidade na prestação de serviços em uma empresa de remanufatura de autopeças*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção),

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Faculdade de Engenharia Mecânica. Porto Alegre, RS, 2004.

FORMAN, E., SELLY, M.. “*Decisions by objectives*”. Expert Choice, Inc. 2001. Artigo disponível em: <<http://www.expertchoice.com>>. Acesso em: Junho de 2010.

FREIXO, O.M.; TOLEDO, J.C.. *Gestão dos Custos do Ciclo de Vida do Produto durante seu Processo de Desenvolvimento*. IV Congresso Brasileiro de Gestão e Desenvolvimento de Produtos. Gramado, RS, Brasil, 6 a 8 de outubro de 2003.

HAUSER, J.R., CLAUSING, D.. “*The House of Quality*”. *Harvard Business Review*, Vol. No. 3, (May-June), p.63-73.1988.

HERRMANN, C., THIEDE, S., LUGER, T., ZEIN, A., STEHR, J., HALUBEK, P., TORNEY, M., “*Automotive Life Cycle Engineering*”, 16th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Cairo, Egypt, 4 a 6 de Maio de 2009.

IJOMAH, W. L.; CHILDE, S.; MCMAHON, C. “*Remanufacturing: A Key Strategy for Sustainable Development*”. 2004.

KIPERSTOK A.. *Tendências Ambientais do Setor Automotivo, Prevenção da Poluição e Oportunidades de Negócios*, artigo publicado em *Nexus Econômicos*, Revista do CME-UFBa, Outubro, 2000 – V.II – Nº 1. p.101-113.

KRUMENAUER, F.Z.. *Engenharia simultânea e projeto orientado para manufaturabilidade e montagem de portas automotivas*. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 2007.

LJUNGBERG, L. *Responsible products: selecting design and materials*. *Design Management Review*, v.16, n. 3, p. 64-73, 2005.

LUZ, S.; SELBITTO, M.; GOMES, L. Medição de desempenho ambiental baseada em método multicriterial de apoio à decisão: estudo de caso na indústria automotiva. *Gestão & Produção*, v. 13, n. 3, p. 557-570, 2006.

MARTINS, S.M.. *Aplicação da DSM no processo de análise de segurança no desenvolvimento de aeronaves comerciais*. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas, SP. 2010.

MEDINA, H.V., GOMES, D.E.B. *A indústria automobilística projetando para a reciclagem*. 5º Congresso Nacional de P&D em Design, ministrado na Universidade de Brasília - UNB, Pavilhão Anísio Teixeira, entre 10 e 13 de Outubro de 2002.

MEDINA, H.V.. *Eco-Design: Integrando a reciclabilidade no desenvolvimento de projetos*. 3º Congresso Internacional de Pesquisa de Design, 12 a 15 de outubro de 2005. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MIRANDA, J.B.de. *Busca da satisfação dos clientes externos por meio da análise dos resultados dos atributos da qualidade: uma aplicação na indústria de autopeças*. 2005. Dissertação (Mestrado profissional). Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP.

MOURA, E.C.. *As sete ferramentas gerenciais da qualidade: implementando a melhoria contínua com maior eficácia*. São Paulo-SP. Makron Books. 1994.

OHNO, T.. *O Sistema Toyota de Produção: Além da produção em larga escala*. Tradução Cristina Schumacher. Porto Alegre, Editora Bookman, 1997.

OKABE, E.P., *Metodologia de projeto para desenvolvimento de suspensão veicular*. 2003. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

PEÇAS, P., RIBEIRO, I., HENRIQUES, E.. “*A Roadmap to the Implementation of Life Cycle Approach in the Design of Plastic Injection Moulds*”. 16th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, (p. 353). Cairo – Egypt, May 2009.

POUSA, C.A.P.. *Desenvolvimento de modelos simplificados de análise do ciclo de vida de moldes de injeção de plástico*. Dissertação (Mestrado), Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico. Lisboa, Portugal. 2008.

PUGLIERI, F.N.. *Proposição de um método para remanufatura baseado em QFD*. Second International Workshop Advances in Cleaner Production - Key elements for sustainable World: Energy, Water and Climate change. São Paulo, SP, Brasil. Maio de 2009.

REIMPELL, J.. “**The Automotive Chassis: Engineering Principles**”, 2° Edition. 2001.

REIS, A.C.; CARMO, L.F.R.R. S do ; NISHIOKA, I.. *Logística Reversa e práticas correntes no setor de reciclagem*. IV Congresso Nacional de excelência em gestão. 31 de Julho a 02 de Agosto de 2008. Niterói, RJ.

RIBEIRO, J.L.D., ECHEVESTE, M.E., DANILEVICZ, A.M.F., *A utilização do QFD na otimização de produtos, processos e serviços*. Série Monográfica Qualidade. Porto Alegre, RS: FEENG/UFRGS, 2001.

SAATY, T.L.. *Método de Análise Hierárquica*. São Paulo, SP. McGraw-Hill, Makron, 1991.

SEITZ, M. A.; PEATTIE, K. “*Meeting the closed-loop challenge: the case of remanufacturing*”. California Management Review, v. 46, n. 2, 2004.

SEITZ, M. A. A critical assessment of motives for product recovery: the case of engine remanufacturing. **Journal of Cleaner Production**, 15, 2007, p 1147-1157.

SELLITTO, M.A.; BORCHARD, M.; PEREIRA, G.M.. *Avaliação de desempenho ambiental em duas operações de manufatura*. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 13 a 16 de Outubro de 2008.

SCHMIDT, A.M.A.. *Processo de apoio à tomada de decisão – Abordagens: AHP e MACBETH*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, SC, 1995. Disponível em: <www.eps.ufsc.br/disserta/engait95.html>. Acesso em: 07 de Agosto de 2010.

SILVA, R.C.. *Proposta de Método para Priorização de Alternativas por Múltiplos Critérios*. 2006. Dissertação (Mestrado). ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, SP.

TAKAHASHI, S.. *Avaliação ambiental do setor de transporte de cargas: comparação de métodos*. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, PR.

UGAYA, C.M.L.. *Análise do ciclo de vida: estudo de caso para materiais e componentes automotivos no Brasil*. 2001. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP.

VIEIRA, S.R.B.. *Um sistema de gerenciamento da qualidade para fábricas montadoras com ênfase no método Taguchi e QFD*. 1996. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.

YÜKSEL, H.. *Design of automobile engines for remanufacture with quality function deployment*. International Journal of Sustainable Engineering, 170-180 pgs, First published on: 21 May 2010 (iFirst).

ZANETTE, E. T. *A Remanufatura no Brasil e no Mundo: Conceitos e Condicionantes*. 2008. Monografia. (Graduação em Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.