

GUSTAVO JOSÉ SUTO DE SOUZA

**Análise do ciclo de vida de uma motocicleta 125cc na
cidade de São Paulo utilizando o *software* CES EduPack
2011**

SÃO PAULO
2011

Departamento de Engenharia
Metalúrgica e de Materiais da
Escola Politécnica da USP

GUSTAVO JOSÉ SUTO DE SOUZA

**Análise do ciclo de vida de uma motocicleta 125cc na
cidade de São Paulo utilizando o *software* CES EduPack
2011**

Trabalho de Formatura
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Área de Concentração:
Engenharia Metalúrgica

Orientador:
Professor Doutor Cesar R. F. Azevedo

SÃO PAULO
2011

RESUMO

As crescentes preocupações com os impactos ambientais gerados pela atividade humana criaram termos como reciclagem, reuso, esgotamento dos recursos naturais, emissão de gases entre outros. E com as novas definições, ferramentas têm sido criadas para analisar e/ou prever o impacto de determinado serviço ou produto sobre o meio ambiente. Uma dessas ferramentas é a Análise do Ciclo de vida (*Life-cycle Assesment - LCA*) aplicado ao produto. A Análise do Ciclo de vida (LCA) aplicado no projeto de produtos auxilia nas decisões de usos, processos, materiais e distribuição do item em questão buscando alternativas com menor impacto ambiental. O objetivo do presente trabalho é aplicar a uma forma simplificada da Análise do Ciclo de vida às motocicletas 125cc no mercado brasileiro, verificar qual é a fase crítica quanto ao impacto ambiental e, por fim, sugerir meios para a diminuição do impacto ambiental deste produto. Foram investigados os efeitos da matriz de energia elétrica e o tipo de combustível usado durante a etapa de uso do ciclo de vida da motocicleta.

ABSTRACT

The increasing concerns over the environmental impacts generated by human activity created terms as recycling, reuse, resources depletion, gas emissions and so on. Along with these terms, tools have been developed intending to analyze/forecast the environmental impact of a service or product. One of these tools is the Life-cycle assessment (LCA) applied to product design. The Life-cycle assessment applied to product design helps at the decisions about applications, process, materials and distribution of the product seeking for alternatives with lower impact. The objective of this work is applying the LCA on the 125cc motorcycles of the Brazilian market, finding out the critical step and, finally, suggesting ways for decreasing the environmental impact of this product.

Lista de Figuras

FIGURA 1 - GRÁFICO MOSTRANDO O DESENVOLVIMENTO DO CONSUMO DE PRODUTOS SÓCIO-AMBIENTALMENTE AMIGÁVEIS. NO DETALHE É POSSÍVEL OBSERVAR QUE APESAR DA APARENTE ESTAGNAÇÃO DO CONJUNTO "VIAGEM E TRANSPORTE", O CONSUMO DE VEÍCULOS "VERDES" NÃO PAROU DE CRESCER. ADAPTADO DE (CO-OPERATIVE BANK, 2010).....	3
FIGURA 2 - GRÁFICO MOSTRANDO A EVOLUÇÃO DA SEGMENTAÇÃO DOS CONSUMIDORES DE ACORDO COM A ASSIMILAÇÃO DO CONSUMO CONSCIENTE. AO CONTRÁRIO DO QUE VEMOS NOS PAÍSES DESENVOLVIDOS, HOUVE UM ACRÉSCIMO NA PARCELA DA POPULAÇÃO CLASSIFICADA COMO "INDIFERENTE". ADAPTADO DE (INSTITUO AKATU, 2010).....	4
FIGURA 3 - PRODUÇÃO ANUAL DE MOTOCICLETAS NO BRASIL DE 2001 A 2010 E RESPECTIVO CRESCIMENTO ANUAL DA PRODUÇÃO. É POSSÍVEL OBSERVAR QUE O CRESCIMENTO DA PRODUÇÃO ESTÁ SEMPRE SUPERIOR AO CRESCIMENTO MÉDIO ANUAL DA INDÚSTRIA BRASILEIRA. ADAPTADO DE (ABRACICLO, 2011).....	6
FIGURA 4 - GRÁFICOS REPRESENTANDO A DISTRIBUIÇÃO DA FROTA DE MOTOCICLETAS POR REGIÃO. NO GRÁFICO A DIREITA, VEMOS QUE O SUDESTE POSSUI A MAIOR FROTA; PORÉM, NO GRÁFICO A ESQUERDA, VEMOS QUE A TAXA DE CRESCIMENTO DA FROTA NO NORDESTE É MAIOR. (IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010).....	6
FIGURA 5 – GRÁFICOS ILUSTRANDO ALGUNS ASPECTOS DO PERFIL DO CONSUMIDOR DE MOTOCICLETAS. EM TONS DE VERMELHO, SÃO DESTACADOS AS PARCELAS DOMINANTES. (ABRACICLO, 2011).....	7
FIGURA 6 - ESQUEMA DOS ESTÁGIOS DO CICLO DE VIDA DE UM PRODUTO, OS LIMITES DO SISTEMA, SUAS ENTRADAS E SAÍDAS. EM "ENTRADAS" FOI INSERIDO "TRANPORTE" POIS NO SOFTWARE UTILIZADO NESTE TRABALHO, DISCRIMINA ESTA FONTE DE ENERGIA. ADAPTADO DE (CURRAN, 1996).....	9
FIGURA 7 - FASES DE UMA ACV E SUAS APLICAÇÕES DIRETAS. NORMA TÉCNICA NBR ISO 14040. (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001).....	10
FIGURA 8 - PROCESSO UNITÁRIO GENÉRICO E SUAS ENTRADAS E SAÍDAS. AS ENTRADAS E SAÍDAS DEPENDEM DO ESCOPO DO ESTUDO. ADAPTADO DE (SCIENTIFIC APPLICATIONS INTERNATIONAL CORPORATION (SAIC), 2006).....	11
FIGURA 9 - SUBFASES CONTIDAS NA ETAPA DE AICV. ADAPTADO DE ISO 14042 (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2000).....	14
FIGURA 10 - TELA MOSTRANDO A INSERÇÃO DE INFORMAÇÕES RELATIVAS AOS MATERIAIS DE FABRICAÇÃO DO COMPONENTE ENTRE OUTRAS INFORMAÇÕES.	17

FIGURA 11 - TELA MOSTRANDO A INSERÇÃO DE INFORMAÇÕES RELATIVAS AO TRANSLADO DOS COMPONENTES E/OU PRODUTO FINAL ATÉ O PONTO DE VENDA DO PRODUTO FINAL.....	18
FIGURA 12 - TELA REFERENTE A INSERÇÃO DE DADOS DA ETAPA "USO" E DETALHE DAS OPÇÕES DISPONÍVEIS PARA A MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA E COMBUSTÍVEL.....	19
FIGURA 13 - MOTOCICLETA YAMAHA YBR 125 K MODELO 2010. YAMAHA MOTOR DA AMAZÔNIA LTDA.....	20
FIGURA 14 - ILUSTRAÇÃO REPRESENTANDO SIMPLIFICADAMENTE O FLUXOGRAMA DA OBTENÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS USADA NESTE TRABALHO.....	22
FIGURA 15 - VALOR TÍPICO DE FRAÇÃO RECICLADA MUNDIAL. FONTE: DOCUMENTOS DO CES EDUPACK 2011.	25
FIGURA 16 - TELA DE INSERÇÃO DE DADOS. GRUPO DE MATERIAIS REFERENTES A ORIGEM ÁSIA.....	28
FIGURA 17 - TELA DE INSERÇÃO DE DADOS. GRUPO DE MATERIAIS REFERENTES A ORIGEM SUL.....	28
FIGURA 18 - TELA DE INSERÇÃO DE DADOS. GRUPO DE MATERIAIS REFERENTES A ORIGEM MANAUS.....	29
FIGURA 19 - TELA DE INSERÇÃO DE DADOS. MODALIDADES DE TRANSPORTE UTILIZADAS REFERENTES A ORIGEM ÁSIA.	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
FIGURA 20 - TELA DE INSERÇÃO DE DADOS. MODALIDADES DE TRANSPORTE UTILIZADAS REFERENTES A ORIGEM SUL.	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
FIGURA 21 - TELA DE INSERÇÃO DE DADOS. MODALIDADES DE TRANSPORTE UTILIZADAS REFERENTES A ORIGEM MANAUS.	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
FIGURA 22 - GRÁFICO DE BARRAS MOSTRANDO O GASTO ENERGÉTICO EM CADA ETAPA DO CICLO DE VIDA. É POSSÍVEL OBSERVAR QUE O MAIOR GASTO ENERGÉTICO ENCONTRA-SE NA ETAPA DE "USO".....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
FIGURA 23 - GRÁFICO DE BARRAS MOSTRANDO A PEGADA DE CARBONO EM CADA ETAPA DO CICLO DE VIDA NO CENÁRIO PROPOSTO 1. É POSSÍVEL OBSERVAR QUE A MAIOR PEGADA DE CARBONO ENCONTRA-SE NA ETAPA DE "USO"......	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
FIGURA 24 - GRÁFICO DE BARRAS MOSTRANDO A PEGADA DE CARBONO EM CADA ETAPA DO CICLO DE VIDA NO CENÁRIO PROPOSTO 2. É POSSÍVEL OBSERVAR QUE O MAIOR PEGADA DE CARBONO AINDA ENCONTRA-SE NA ETAPA DE "USO".	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
FIGURA 25 - GRÁFICO DE BARRAS MOSTRANDO A PEGADA DE CARBONO EM CADA ETAPA DO CICLO DE VIDA NO CENÁRIO PROPOSTO 3. NESTE CENÁRIO, O FATOR DE USO DE ETANOL "ZERA" A PEGADA DE CARBONO DA ETAPA "USO".	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

FIGURA 26 - GRÁFICO MOSTRANDO A CONTRIBUIÇÃO NPEGADA DE CARBONO DE CADA MATERIAL. NESSE GRÁFICO OS AÇOS BAIXO, MÉDIO E ALTO CARBONO FORAM AGRUPADOS EM "AÇO CARBONO". **ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.**

Lista de Tabelas

TABELA 1 - ESTUDOS SOBRE O IMPACTO DAS ATIVIDADES HUMANAS SOBRE O MEIO AMBIENTE. (ASHBY, 2009).	2
TABELA 2 - NORMAS DA ISO REFERENTES À DESCRIÇÃO DE ACVS E SUAS ETAPAS. (INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2000)	3
TABELA 3 - ESTA TABELA MOSTRA ALGUMAS PEÇAS E SUAS ESPECIFICAÇÕES DE ACORDO COM A LISTA DE MATERIAIS E A CLASSIFICAÇÃO CORRESPONDENTE NO SOFTWARE CES EDUPACK. AS PEÇAS FORAM AGRUPADAS DE ACORDO COM A CLASSIFICAÇÃO DISPONÍVEL NO SOFTWARE.	24
TABELA 4 - DIVISÃO DOS GRUPOS DE PEÇAS CONFORME ORIGEM E DISTÂNCIA DOS PONTOS DE ORIGEM ATRIBUÍDOS ATÉ A PLANTA PRODUTIVA.	26
TABELA 6 - DESIGNAÇÃO DE CADA CONJUNTO DE ITENS OBTIDO ATRAVÉS DAS CLASSIFICAÇÕES REALIZADAS.	27
TABELA 7 - PARÂMETROS USADOS PARA A ETAPA USO. ... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
TABELA 8 - FATORES DE CORRELAÇÃO PARA PEGADA DE CARBONO DE CADA TIPO DE COMBUSTÍVEL E MATRIZ ENERGÉTICA. DOCUMENTOS DO SOFTWARE CES EDUPACK 2011.	32
TABELA 9 - DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS USADOS PARA CADA CENÁRIOS AVALIADO. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
TABELA 10 - VALORES ABSOLUTOS E PERCENTUAIS DOS IMPACTOS AMBIENTAIS ANALISADOS PARA CADA FASE DO CICLO DE VIDA. ... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
TABELA 11 - TABELA MOSTRANDO A DIFERENÇA ENTRE O CENÁRIO 1 E CENÁRIO 2.... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
TABELA 12 - TABELA MOSTRANDO A DIFERENÇA ENTRE O CENÁRIO 2 E CENÁRIO 3.... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
TABELA 13 - CONTRIBUIÇÃO DE CADA CLASSE DE MATERIAL COM A PEGADA DE CO2. ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
TABELA 14 - PEGADA DE CARBONO POR MATERIAL POR ORIGEM..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
TABELA 15 - PEGADA DE CARBONO POR UNIDADE DE MATERIAL PRODUZIDA EM CADA UMS DAS TRÊS ORIGENS DE PEÇAS..... ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	

Lista de Abreviaturas

ACV	Análise do Ciclo de Vida
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
ABRACICLO	Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares.
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
EPA	Environmental Protection Agency
PIM	Polo Industrial de Manaus

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - Introdução.....	1
1.1 Objetivos	1
1.2 Análise de Ciclo de vida.....	4
1.3 O Mercado Brasileiro de Motocicletas.....	5
CAPÍTULO 2 - Revisão Bibliográfica.....	8
2.1 Análise do Ciclo de vida.....	8
CAPÍTULO 3 - Metodologia	15
3.1 ACV usando o CES 2011 Edupack.....	15
3.1.1 Material.....	16
3.1.2 Transporte	17
3.1.3 Uso.....	18
3.2 Obtenção dos dados e tratamento dos dados.....	19
3.2.1 Tratamento dos dados.....	23
3.2.2 Primeira Etapa: Material	23
3.2.3 Segunda Etapa: Transporte	25
3.2.4 Terceira Etapa: Uso	30
3.3 Impactos em cada Etapa do Ciclo de vida da Motocicleta	32
CAPÍTULO 4 - Resultados	33
4.1 Cenário 1 - Matriz de energia elétrica: 75% gás natural e diesel / Combustível: Gasolina com 25% etanol	34
4.2 Cenário 2 - Matriz de energia elétrica: 100% Hidrelétrica / Combustível: Gasolina com 25% etanol.....	36
4.3 Cenário 3 - Matriz de energia elétrica: 100% Hidrelétrica / Combustível: Gasolina pura	37

4.4 Cenário 4 - Matriz de energia elétrica: 100% hidrelétrica / Combustível: Etanol puro	38
CAPÍTULO 5 - Discussão	39
5.1 Fase crítica.....	39
5.2 Efeito da matriz de energia elétrica	41
5.3 Efeito do tipo de combustível	42
CAPÍTULO 6 - Conclusões	44
6.1 Sugestões para Trabalhos Futuros	45
CAPÍTULO 7 - Referências Bibliográficas	46

CAPÍTULO 1 - Introdução

1.1 OBJETIVOS

Devido à crescente preocupação com os impactos ambientais envolvidos nas atividades produtivas, este trabalho visa avaliar os impactos ambientais nas diversas etapas do ciclo de vida de um produto complexo (construído com materiais de diversas classes e de diferentes origens) através de um software que possibilite uma rápida análise deste impacto ambiental. O produto a ser avaliado neste trabalho é motocicleta de baixa cilindrada (125cc) produzida no Polo Industrial de Manaus (PIM) e utilizada na cidade de São Paulo. Os objetivos deste trabalho são:

- Avaliar o ciclo de vida de uma motocicleta em função da matriz de energia elétrica do país e do combustível usado;
- Identificar a etapa crítica; ou seja, a fase do ciclo de vida que tenha maior impacto ambiental;
- Indicar meios de minimizar o impacto observado através de seleção de material e de processos de fabricação para cada situação estudada.

A preocupação com o crescente consumo de recursos naturais e com o impacto causado pela atividade industrial e uso de produtos industrializados faz parte da história recente. Porém a percepção acerca do esgotamento dos recursos naturais foi apontada em 1798 por Thomas Malthus, que em seu trabalho “An Essay on the Principle of Population” mostrou a relação entre a diferença no crescimento populacional e dos meios de subsistência. Em seu ensaio, aponta que o crescimento populacional segue uma progressão geométrica, enquanto que os meios de subsistência seguem uma progressão aritmética (Malthus, 1798). Além do esgotamento de recursos naturais, outros estudos mostraram a necessidade da sociedade avaliar o impacto de suas atividades sobre o meio ambiente. A Tabela 1 mostra uma relação desses estudos. Esse tipo de estudo tem guiado a criação de instrumentos como regulamentações e incentivos econômicos para atenuar ou impedir os impactos ambientais (Ashby, 2009).

Tabela 1 - Estudos sobre o Impacto das Atividades Humanas sobre o meio ambiente. (Ashby, 2009).

Ano	Autor	Título	Tema
1962	Rachel Carson	Silent Springs	Avaliação do uso do pesticida DDT e do impacto da tecnologia no meio ambiente.
1972	Club of Rome	Limits to Growth	Relatório que iniciou os debates no século XX sobre os limites impostos pelo esgotamento dos recursos naturais.
1972	The Earth Summit in Srockholm		Conferência das Nações Unidas para discussão do impacto da tecnologia no meio ambiente.
1987	The UN World Commission on Enviroment and Development (WCED)	Our Common Future	Definiu o princípio de sustentabilidade como "Desenvolvimento que supre as necessidades da geração presente sem afetar a possibilidade das gerações futuras de suprir as suas".
1987	Montreal Protocol		Protocolo Internacional para eliminar o uso de compostos que agredem a camada de ozônio.
1992	Rio Declaration		Homologação dos princípios de sustentabilidade construídos na Stockholm Earth Summit em 1972.
1998	Kyoto Protocol		Tratado Internacional para redução das emissões de gases causadores do efeito estufa.
2001	Stockholm Convection		Reunião para construção de um cronograma para o controle e eliminação de poluentes orgânicos persistentes (POPs).
2007	IPCC Fourth Assesment Report	Climate Change 2007: The Physical Basis	Relatório que estabelece uma correlação entre carbono na atmosfera e a mudança climática.

Tendo em vista que os impactos ambientais não conhecem fronteiras e que é extremamente difícil a criação de uma legislação que abranja todas as peculiaridades das diferentes nações e, mesmo, de suas regiões; a comunidade internacional tem criado instrumentos que guiem a construção de regulamentações e leis locais. Esses instrumentos são chamados de Declarações, Protocolos, Tratados etc e criam parâmetros para as decisões locais baseado no alinhamento global. Para auxiliar esses instrumentos, normas internacionais, como a série ISO 14000, ou locais, como a ABNT, foram criadas para normatizar o modo como a análise deve ser conduzida e avaliada (Ashby, 2009). A Tabela 2 mostra o conjunto de normas da série 14000, que são responsáveis por normatizar a condução de um ACV. Além das regulamentações e incentivos econômicos, outra força crescente é a mudança no perfil do consumidor que está cada vez mais “conscientemente verde” como é possível observar na Figura 1, que mostra o crescimento do consumo responsável (do inglês, *ethical consumerism*) no Reino Unido.

Tabela 2 - Normas da ISO referentes à descrição de ACVs e suas etapas. (Internacional Organization for Standardization, 2000)

Norma	Título
ISO 14040:1997	Environmental Management - Life cycle assessment - Principles and Framework
ISO 14041:2000	Environmental Management - Life cycle assessment - Goal and Scope Definition and Inventory analysis
ISO 14042:2000	Environmental Management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment
ISO 14043:2000	Environmental Management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation

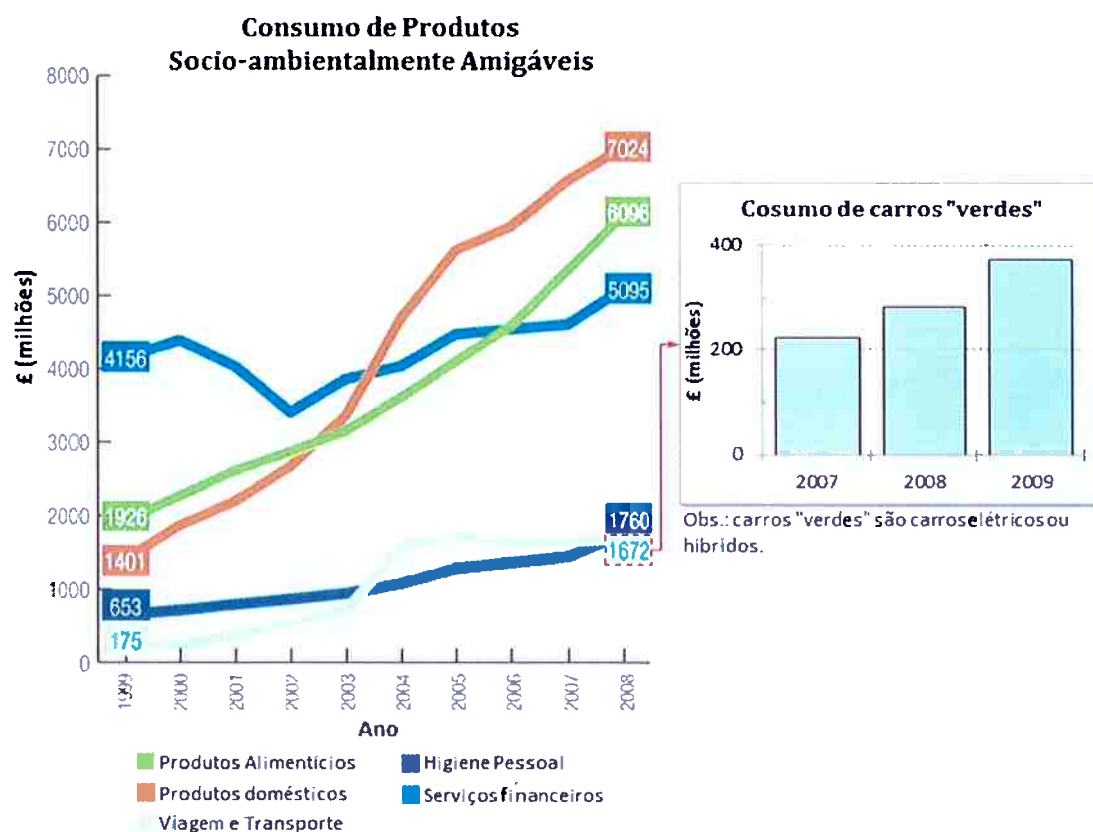


Figura 1 - Gráfico mostrando o desenvolvimento do consumo de produtos sócio-ambientalmente amigáveis. No detalhe é possível observar que apesar da aparente estagnação do conjunto "Viagem e Transporte", o consumo de veículos "verdes" não parou de crescer. Adaptado de (Co-operative Bank, 2010).

Uma das formas do mercado utilizar o crescimento do consumo responsável é a criação de "selos verdes", que são certificações de instituições governamentais ou não governamentais atestando para produto, serviços ou empresas

ambientalmente amigáveis (Co-operative Bank, 2010). Quanto ao Brasil, o perfil mostra-se diferente. Segundo o Instituto Akatu, houve um aumento da parcela da população classificada como “indiferente” ao comportamento das empresas, a Figura 2 mostra essa evolução de 2006 para 2010. Ainda segundo o mesmo relatório, isto deve-se ao aumento da distribuição da renda e consequente aumento do consumo, este fato leva no princípio a uma “festa do consumo” em que é mais difícil a “incorporação de comportamentos ligados a um consumo mais consciente e sustentável”; porém, a medida que o Brasil galga os passos para melhores posições econômicas, a tendência é que esse comportamento cresça como ocorrem nas primeiras economias. (Instituto Akatu, 2010) (Grande, 2007)

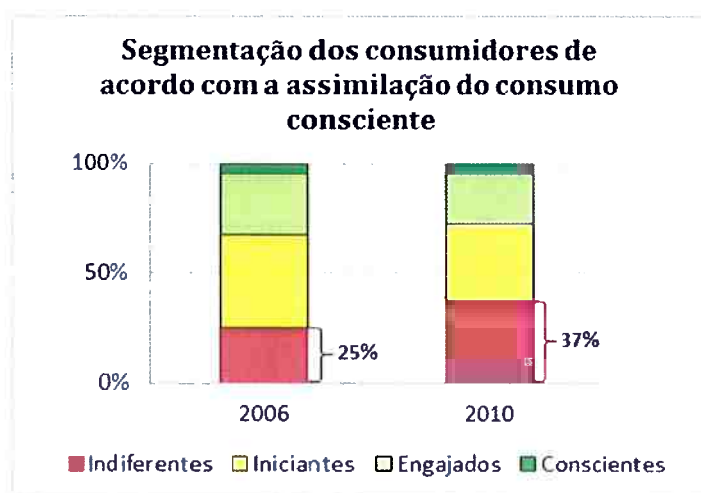


Figura 2 - Gráfico mostrando a evolução da segmentação dos consumidores de acordo com a assimilação do consumo consciente. Ao contrário do que vemos nos países Desenvolvidos, houve um acréscimo na parcela da população classificada como "indiferente". **Adaptado de (Instituto Akatu, 2010)**

1.2 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

Atualmente, o número de empresas e seguimentos que usam regularmente ou aplicam a Análise de Ciclo de vida em seus produtos ou serviços é inexpressivo no Brasil. Esse fato é observado através de selos, chamados de *eco-labelling*, usados em cada país para certificar o desempenho sócio-ambiental de determinado produto ou segmento de produtos. Para certificar um determinado produto existem regras determinadas por cada órgão responsável pelo selo em questão; porém o

princípio destas certificações reside na avaliação do impacto ambiental de determinado produto/serviço ao longo de seu ciclo de vida ou em alguma fase específica desta. O mercado globalizado, principalmente o europeu, começou a exigir na última década algumas obrigações dos fabricantes/fornecedores de serviços quanto ao desempenho ambiental de seus produtos/serviços e isso pode se tornar uma barreira internacional para a exportação de produtos/serviços (Ometto, 2005).

1.3 O MERCADO BRASILEIRO DE MOTOCICLETAS

A história da comercialização da motocicleta no Brasil iniciou-se por volta da década de 60 com a importação de motocicletas europeias, mas só se tornaram economicamente relevantes na última década desse século com a "liberação econômica" (Vasconcellos, 2008). A produção de motocicletas em território nacional começou em 1975, com a implantação da YAMAHA Motor do Brasil LTDA em Guarulhos (SP) e no ano seguinte com a Moto HONDA da Amazônia LTDA, os dois maiores fabricantes do país e detentores de 84,9% do mercado - Emplacamentos no Ano de 2010 (ABRACICLO, 2011).

Em 1990, o Brasil tinha 20,6 milhões de automóveis e apenas 1,5 milhões de motocicletas, ou seja, a motocicleta compunha 6,8% dos veículos automotores. Porém, na última década o mercado cresceu vertiginosamente seguindo o crescimento econômico do Brasil. Atualmente a produção de motocicletas no Brasil está próxima dos dois milhões de unidades anuais, em 2010 foram produzidas 1.830.614 unidades; a Figura 3 mostra o crescimento da produção de motocicletas de 2001 a 2010. E com o crescimento da produção da motocicleta, vêm crescendo a pressão governamental através de portarias para que peças e processos sejam executados dentro do território nacional. Em 2010 cerca de 74,59% dos insumos usados nas montadoras tinham origem nacional; enquanto que em 2000, os insumos nacionais somavam 68,87%. (ABRACICLO, 2011)

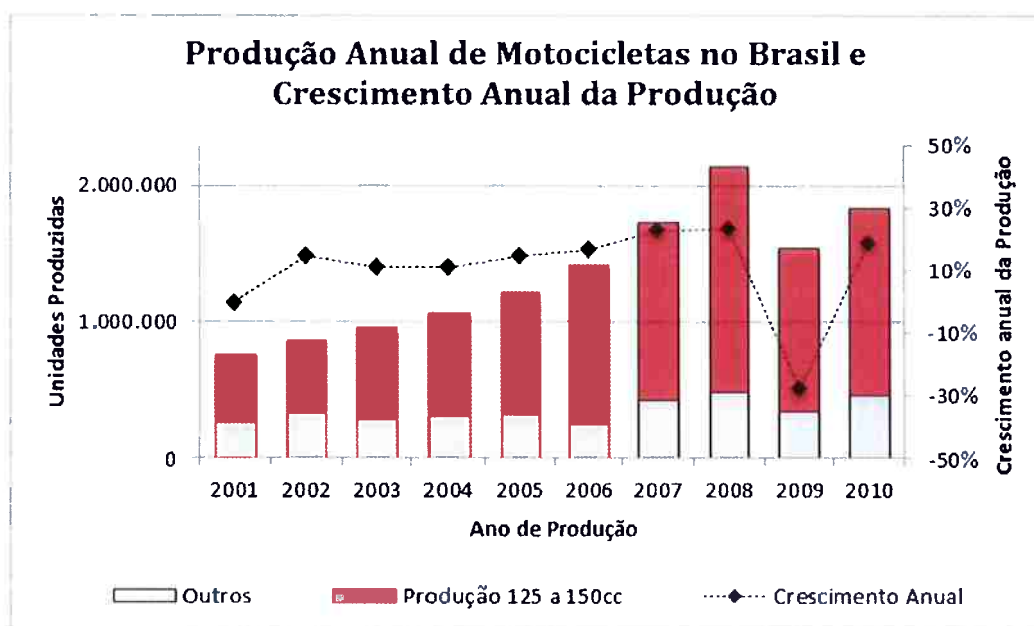


Figura 3 - Produção Anual de Motocicletas no Brasil de 2001 a 2010 e respectivo crescimento anual da produção. É possível observar que o crescimento da produção está sempre superior ao crescimento médio anual da indústria Brasileira. Adaptado de (ABRACICLO, 2011).

A Figura 3 destaca também que as motocicletas de 125 a 150 cilindradas são a base do mercado brasileiro e constituem cerca de 75% das motocicletas produzidas no Brasil. A distribuição da frota de motocicletas no Brasil é dada pela Figura 4, que mostra que a região Sudeste é dominante neste aspecto, seguida da região Nordeste. Porém, esta última possuiu um crescimento de 19,7% contra 10,0% da região Sudeste.

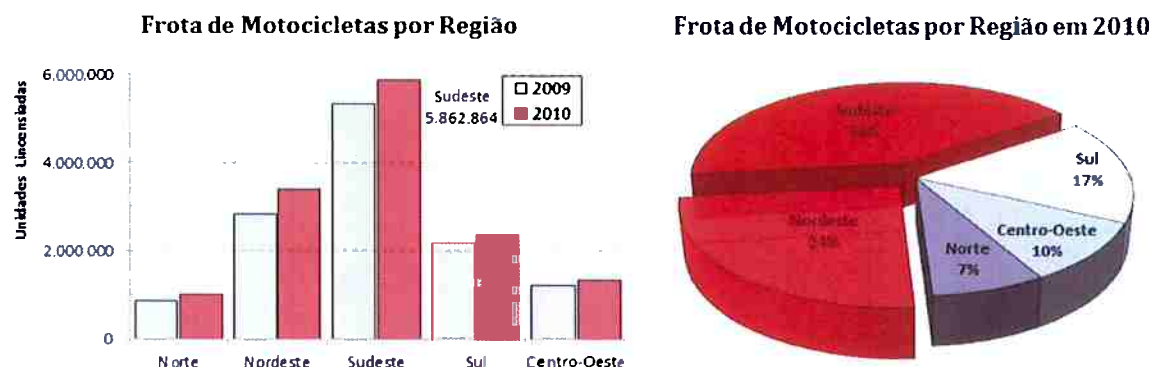


Figura 4 - Gráficos representando a distribuição da frota de motocicletas por região. No gráfico a direita, vemos que o Sudeste possui a maior frota; porém, no gráfico a esquerda, vemos que a taxa de crescimento da frota no Nordeste é maior. (IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010)

O mercado consumidor da concentra-se principalmente nas regiões Sudeste Nordeste e seu uso vai desde lazer até atividade profissional. A Figura 5 representa alguns aspectos do perfil do usuário da motocicleta.

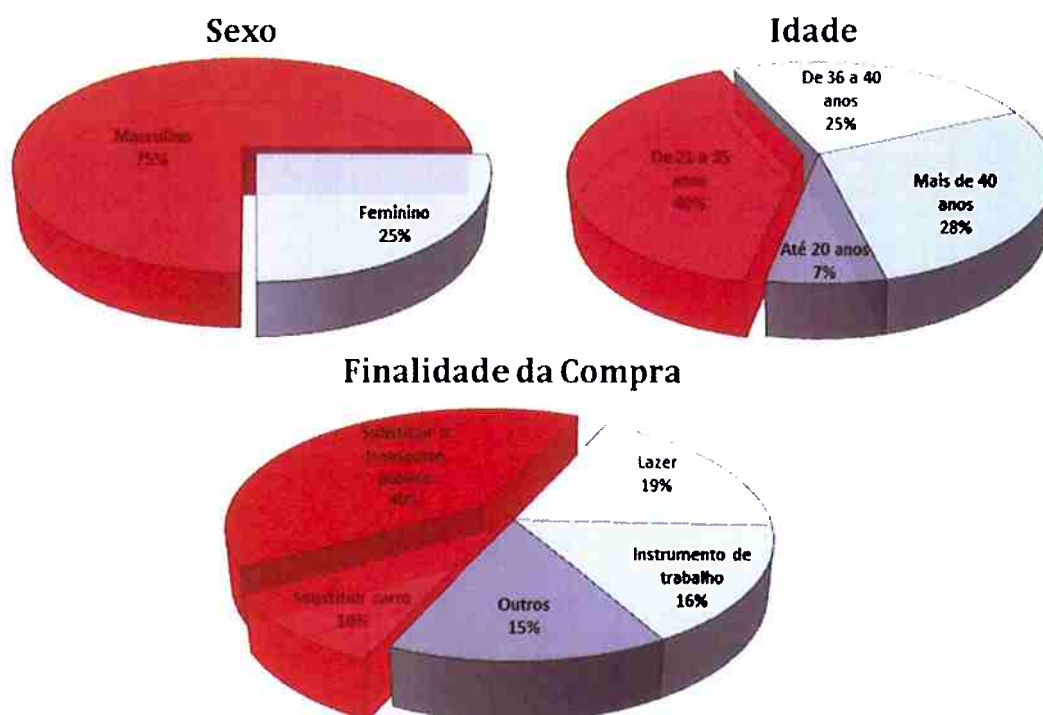


Figura 5 – Gráficos ilustrando alguns aspectos do perfil do consumidor de motocicletas. Em tons de vermelho, são destacadas as parcelas dominantes. (ABRACICLO, 2011).

Como é possível observar na Figura 5, os aspectos dominantes do perfil de usuário são sexo masculino; de 21 a 35 anos de idade e a finalidade da compra é Substituir o transporte público (40%).

A finalidade “substitui carro” pode ser somada a “substituir o transporte público”, pois em ambos os casos, a motocicleta está sendo um meio de transporte que será utilizado principalmente para o deslocamento da residência para o trabalho. Com isso, podemos supor que a maioria dos usuários, que usam a motocicleta para “substitui carro” ou “substituir o transporte público”, rodam cerca de **40km por dia**; enquanto que um usuário cuja finalidade seja “instrumento de trabalho” rode entre 150 e 350km diariamente (Xavier, et al., 2011).

CAPÍTULO 2 - Revisão Bibliográfica

Segundo Ashby, a ideia de ciclo de vida tem suas raízes nas ciências biológicas. Organismos vivos nascem, crescem, reproduzem-se, envelhecem e morrem; este é o ciclo de vida de um organismo. Estudos de ciclo de vida exploram a interação desse organismo com o meio em que vive durante o seu ciclo de vida. Esta é a ideia central da Análise de Ciclo de vida aplicado a produtos, processos e serviços: Analisar a interação de sistemas industriais/de serviço com o meio ambiente através das entradas (energia, recursos naturais etc.) e saídas (emissões, rejeitos etc.) (Ashby, 2009).

Estudos envolvendo ACVs têm origem na década de 60 com preocupações sobre o esgotamento de recursos naturais e energéticos. Em um dos manuais de aplicação de ACV do EPA (*Environmental Protection Agency*), Agência de Proteção Ambiental dos EUA, há um breve histórico desde estes primeiros estudos da década de 60 até os dias atuais, passando pela década de 80, quando a gestão de resíduos sólidos tornou-se um tema de discussão global. Foi na década de 80 que o ACV surgiu como uma ferramenta para a análise de problemas ambientais. Na década seguinte, o SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*), organização sem fins lucrativos cuja missão é estudar e analisar problemas ambientais, liderou estudos que desenvolveram os termos e a base das metodologias dos ACVs usados hoje em dia. E, ainda na década de 90, preocupações com o uso inapropriado de ACVs com o intuito de promover produtos levaram a criação de normas técnicas para a uniformização deste tipo de análise através da ISO série 14000 (Scientific Applications International Corporation (SAIC), 2006) (Curran, 1996).

2.1 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

Segundo a norma técnica NBR ISO 14040, a ACV “é uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto” através da compilação de um inventário de entradas e saídas do sistema. O sistema a ser analisado pela ACV pode ser desde uma fase do ciclo de vida, todo o ciclo de vida

ou mesmo algum sub-processo, isso dependerá do objetivo e do escopo da análise como será discutido posteriormente (ABNT - Associação brasileira de Normas Técnicas, 2001).

As etapas do ciclo de vida de um produto geralmente são: Aquisição da matéria-prima, produção, uso e descarte. Quando um ACV é aplicado ao longo de todas as etapas citadas, ou seja, é avaliado o impacto de um determinado produto desde a aquisição de sua matéria-prima até sua disposição final, comumente é utilizado o termo “do berço ao túmulo” (do inglês, *Cradle to Grave*). A Figura 6 ilustra de modo simplificado as etapas que constituem a vida do produto, além das possíveis entradas e saídas de um ACV:

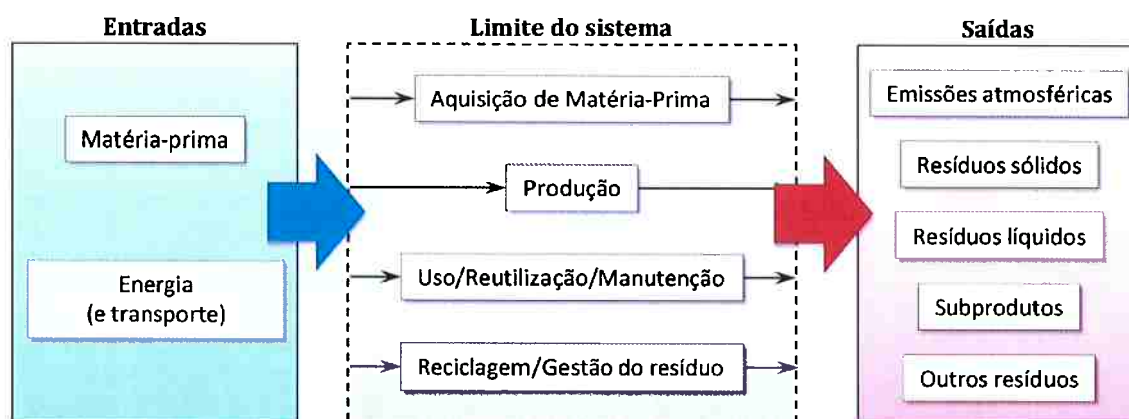


Figura 6 - Esquema dos estágios do ciclo de vida de um produto, os limites do sistema, suas entradas e saídas. Em “Entradas” foi inserido “Transporte” pois no software utilizado neste trabalho, discrimina esta fonte de energia. Adaptado de (Curran, 1996).

Ainda segundo a NBR ISO 14040, a ACV é uma ferramenta que pode ter como objetivos auxiliar:

- na identificação de oportunidades para melhorar os aspectos ambientais dos produtos em vários pontos do seu ciclo de vida;
- na tomada de decisões na indústria, organizações governamentais ou não-governamentais (por exemplo, planejamento estratégico, definição de prioridades, projeto ou reprojeito de produtos ou processos);
- na seleção de indicadores pertinentes de desempenho ambiental incluindo técnicas de medição; e

- no *marketing* (por exemplo, uma declaração ambiental, um programa de rotulagem ecológica ou uma declaração ambiental de produto).

É possível observar que os objetivos da ACV vão além de avaliar o impacto de um sistema sobre o meio ambiente, seu uso pode ir desde uma simples análise de custo de um processo ou mesmo acarretar em uma melhora na imagem socioambiental da empresa. Neste trabalho especificamente, o objetivo visado com o ACV foi minimizar o impacto ambiental através da seleção de materiais e processos.

A Figura 7 mostra esquematicamente as etapas de uma análise de ciclo de vida aplicado a um produto. As etapas de um ACV formal, ou seja, conduzido conforme a norma ISO 14040 são descritas brevemente a seguir.

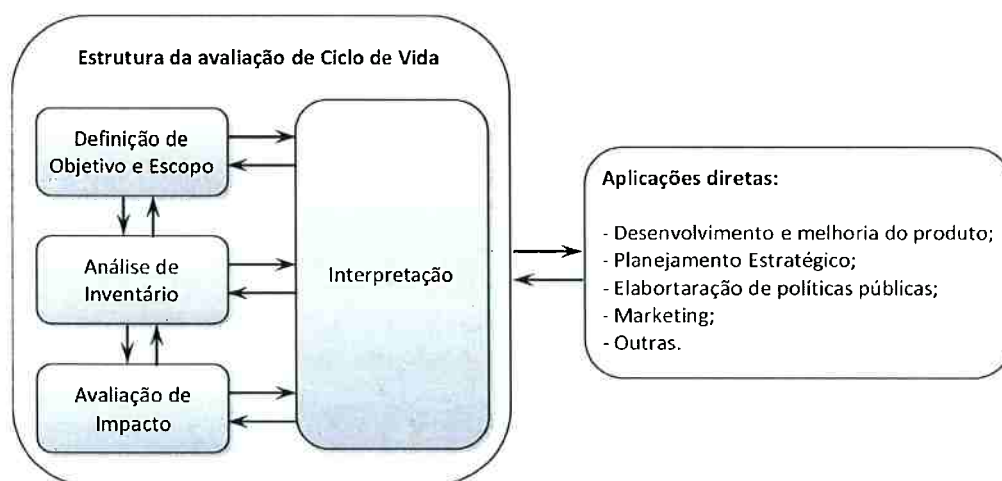


Figura 7 - Fases de uma ACV e suas aplicações diretas. Norma Técnica NBR ISO 14040. (ABNT - Associação brasileira de Normas Técnicas, 2001)

A **definição do objetivo e escopo** é a primeira fase do ACV, aqui é definido e descrito o produto, processo ou atividade que será alvo da avaliação. Segundo Curran, ACV e ICV são realizados para responder questões específicas e a natureza dessas questões definem os objetivos e o escopo do estudo. Com a definição do objetivo e escopo, é possível delimitar o sistema e definir quais entradas e saídas deveremos escolher para concluir nosso objetivo (Curran, 1996). De acordo com o manual da EPA, a agência de proteção ambiental dos EUA, o principal objetivo de um ACV é escolher o melhor produto, processo ou serviço com o menor efeito sobre a saúde humana e o meio ambiente (Scientific Applications International Corporation

(SAIC), 2006). A definição do escopo estabelece as questões temporais, geográficas e tecnológicas, o modo de análise empregado e o nível de detalhamento empregado (Guineé, 2004). Ou seja, nesta etapa definimos, de acordo com o objetivo escolhido, quais estágios do ciclo de vida do produto serão analisados, qual período de tempo será usado, a localidade que será avaliada entre outros detalhes. A **análise de inventário** é a parte “grossa” do trabalho. Esta etapa consiste na quantificação das entradas e saídas que serão consideradas de acordo com o objetivo e escopo do estudo. A Figura 8 representa um processo genérico e mostra suas entradas e saídas.

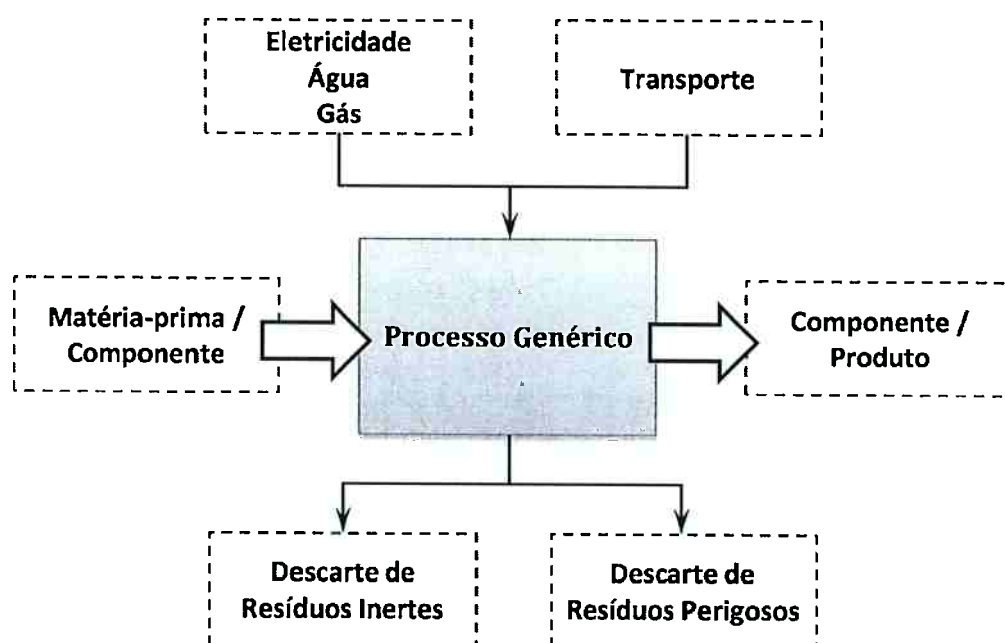


Figura 8 - Processo unitário genérico e suas entradas e saídas. As entradas e saídas dependem do escopo do estudo. Adaptado de (Scientific Applications International Corporation (SAIC), 2006).

Por exigir uma série de dados, esta etapa tem recebido atenção de diversos órgãos e empresas interessados em diminuir o tempo desta atividade e a confiabilidade dos dados através da compilação dos dados em bancos de dados. No Brasil, existem grupos industriais e acadêmicos criando seus próprios bancos de dados e, segundo Curran et al., existem projetos de ICV para metais sendo conduzidos no Brasil e na América do Sul, o que levará a uma maior velocidade e confiabilidade das ACV conduzidas com esses dados (Curran, et al., 2006).

Atualmente, existem softwares destinados para ACVs que possuem interface com alguns bancos de dados ou que já vem com um banco de dados proprietário, que é o caso do software que será utilizado neste trabalho, o CES Edupack 2011. O banco de dados deste *software* é resultado da compilação de dados de diversas normas técnicas e dados experimentais obtidos de fabricantes listados na descrição de cada matéria-prima (Ashby, 2009). Durante as análises feitas no presente trabalho, foi possível observar que os dados disponibilizados no software são simplificados e não levam em consideração as especificidades regionais como exemplo podemos citar a produção de aço em uma usina integrada; que pode usar como uma das fontes de energia o carvão metalúrgico ou o carvão vegetal o que implica valores de pegada de carbono diferentes. As simplificações não afetaram o presente estudo, porém para outros estudos deve-se analisar a influência dessas simplificações no resultado final da avaliação.

O **inventário de ciclo de vida** gera uma grande quantidade de dados na saída; são obtidas saídas desde emissões atmosféricas simples como CO₂ até compostos complexos que podem recombinar na atmosfera e/ou corpos d'água e causar danos de diferentes classificações. A terceira etapa do ACV tem como objetivo de reunir essas saídas na forma de grupos que representem uma determinada classificação dos danos causados por esse conjunto, ou seja, esta etapa é responsável por estabelecer uma ligação entre o sistema avaliado e seus potenciais impactos ambientais, à saúde humana e, em algumas situações, o esgotamento dos recursos naturais; além de criar parâmetros simples para a comparação entre produtos/processos/serviços (Guineé, 2004).

Segundo Curran, o SETAC e o EPA moldaram o AICV usado na norma técnica ISO 14042. Esta norma divide o AICV em sete etapas, sendo quatro delas mandatórias e as restantes são usadas de acordo com o objetivo e escopo do estudo. O fluxo das etapas é mostrado na Figura 9 e a descrição das etapas mandatórias é dada em seguida (Curran, 1996). A **seleção** é a primeira etapa do **AICV** define as categorias de impacto que serão adotadas. Esta etapa deve ser alinhada logo no início do **ACV**, a definição do objetivo e escopo, pois dessa forma a própria aquisição de dados é orientada e não se perde tempo em medições ou análises de entradas ou saídas que não estão de acordo com o escopo do estudo. Seguem alguns exemplos de categorias: Aquecimento Global, Eutrofização, Saúde

Humana etc. A **classificação** é simplesmente o agrupamento das saídas do ICV nas categorias selecionadas. A **caracterização** usa fatores obtidos através de estudos científicos para converter e combinar as diversas entradas do ICV em indicadores para cada categoria; possibilitando uma interpretação mais simples. Por fim, a **interpretação** é a etapa de conclusão do ACV; o resultado do ACV é analisado e interpretado; neste ponto, inclusive, o impacto das escolhas e hipóteses levadas em conta são ponderadas e verificam-se os pontos fracos e limitações do estudo realizado.

É importante salientar que o *software* utilizado não é uma ferramenta de ACV formal, ou seja, a análise não é conduzida conforme as normas ISO da família 14040. O CES permite através de sua ferramenta de auditoria ambiental avaliar produtos industrializados através de dois índices de impacto ambiental (gasto energético e pegada de carbono) e, portanto, a análise não segue as etapas descritas anteriormente neste capítulo.

Análise do impacto do Ciclo de Vida

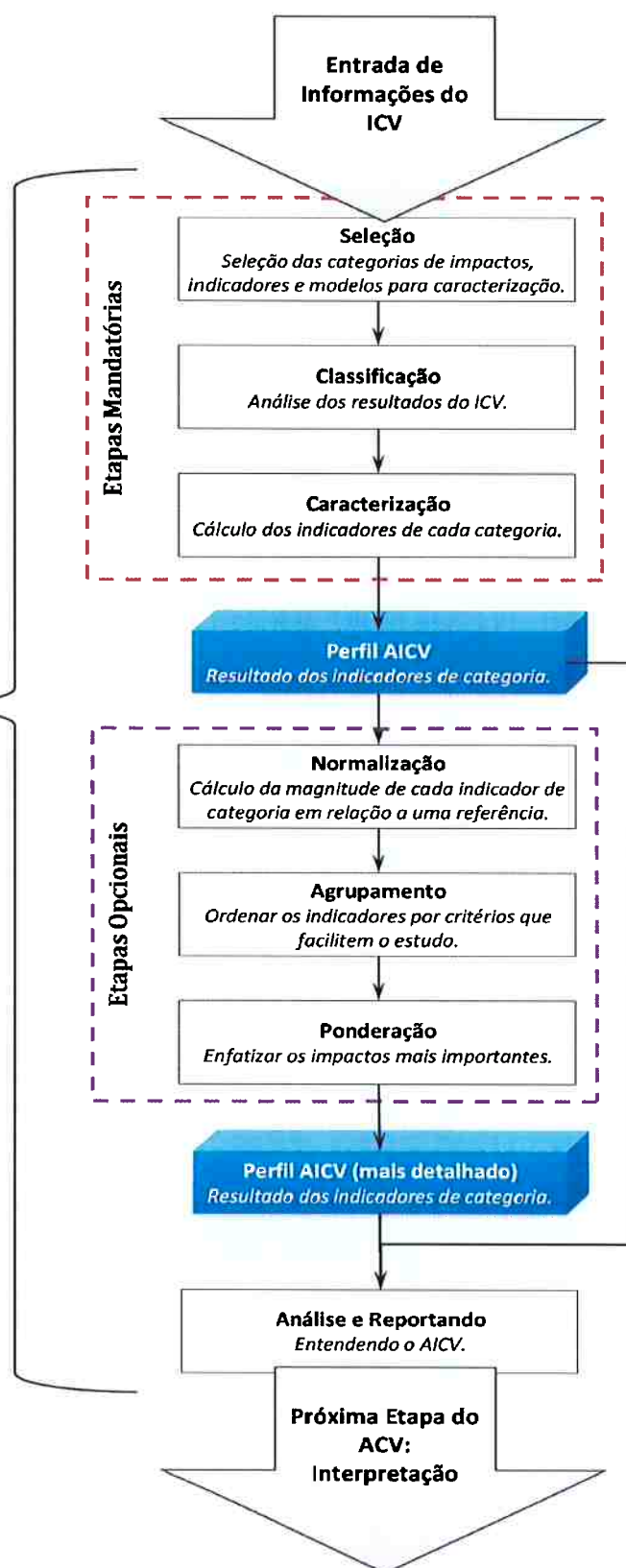


Figura 9 - Subfases contidas na Etapa de AICV. Adaptado de ISO 14042 (Internacional Organization for Standardization, 2000).

CAPÍTULO 3 - Metodologia

Realizar um ACV completo, “do berço ao túmulo”, é uma atividade que demanda várias horas de análises e dados de diversas naturezas. Algumas análises não necessitam de informações detalhadas de todas as entradas e saídas; isso acontece com análises cujo objetivo não visa caracterizar todos os possíveis indicadores de impacto ambiental ou mesmo somente um aspecto ou indicador é importante para a tomada de decisão. Para essas análises, é possível usar softwares que simplificam o ACV e permitem obter respostas rápidas e com certo grau de precisão para alguns componentes. Um desses programas é o CES EduPack que possui uma ferramenta para auditoria ambiental que permite rápidas avaliações do impacto ambiental de produtos industrializados através de dois indicadores: Gasto energético e pegada de carbono (Ashby, 2009). O programa usado para este trabalho foi o CES EduPack 2011 versão 7.0.0 instalado no Laboratório de Metalografia Humbertus Colpaert do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Foi utilizado o banco de dados *EduLevel 2*.

3.1 ACV USANDO O CES 2011 EDUPACK

O CES EduPack é um *software* de seleção de materiais com uma ferramenta de auditoria ambiental “rápida” e, portanto, existem diversas simplificações na estrutura de inserção de dados em relação a um ACV formal. A simplificação consiste na entrada de dados que o usuário precisa fornecer ao *software*; na ferramenta de auditoria ambiental do CES são necessários somente matéria-prima, processo de fabricação primário, massa do componente, tipo de descarte, transporte do componente, matriz elétrica ou combustível usado e perfil de uso. O *software* possui uma série de fatores multiplicativos que transformam os dados de entrada em dois indicadores de impacto: Gasto energético e pegada de carbono. A ferramenta em sua versão “educacional” não permite avaliar processos de fabricação secundários como junção de materiais, tratamentos térmicos, tratamentos superficiais etc; essa limitação impediu a avaliação de produtos

complexos que demandam desses processos secundários. No presente trabalho não foi possível avaliar a etapa da montagem final da motocicleta na linha de montagem; processos como a soldagem do chassi, tratamento térmico de eixos, galvanização de peças de aço, pintura de componentes etc. Essa limitação foi levada em consideração na análise.

A inserção de dados no Eco-audit é feita através de três grupos de informações agrupadas em abas, são elas: Material, Transporte e Uso e é possível inserir em torno de 95% em massa dos materiais usados na montagem do produto para realizar a análise (Ashby, 2009). A seguir são descritas as informações necessárias.

3.1.1 Material

Neste primeiro grupo, são inseridos os seguintes dados:

- Quantidade;
- Nome do componente;
- Material: escolhido através de um banco de dados estruturado na forma de um diagrama em árvore;
- Fração de reciclado (por material): o banco de dados possui valores de teor de reciclado obtidos da média mundial. Existem duas opções selecionáveis: Típico, cujo valor é a média mundial, e Virgem, em que toda a massa do componente é proveniente diretamente dos recursos naturais.
- Massa (por componente);
- Processo Primário (de fabricação): são apresentadas opções para os processos de fabricação primários de acordo com cada material.
- Descarte (por tipo de material ou peça): as opções deste item variam de acordo com o tipo de material e podem ser:
 - a) Aterro: simples descarte em aterros sanitários. Selecionável para todos os materiais não-tóxicos.
 - b) Incineração: selecionável para todos os materiais orgânicos com energia de combustão superior a 5MJ/kg.
 - c) Cominuição (*Downcycle*): Material retorna para a cadeia de suprimentos através de processos de cominuição de peças

- usadas. Usado tipicamente para cerâmicas, vidros, materiais naturais, termofixos e elastômeros.
- d) Reciclagem: Todos os metais não compósitos, vidros, termoplásticos, termoplásticos elastômeros, metais particulados e *whisker*.
- e) Re-processamento: Materiais são processados a partir de peças descartadas e retornam à cadeia de suprimentos com uma menor performance e menor gasto energético incorporado. Seleccionável para todos os materiais.
- f) Reuso: Todos os materiais.

A Figura 10 ilustra a aba de informação Material.

Qty.	Component name	Material	Recycled content	Mass (kg)	Primary process	End of life
1	Componentes de ABS (Injetados)	Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)	Virgin (0%)	1,65	Polymer molding	Landfill
1	Componentes de Ligas de Alumínio (Fundidos)	Cast Al-alloys	Typical %	7,05	Casting	Recycle

Browse

- MaterialUniverse
 - Ceramics and glasses
 - Electrical components (Eco audit only)
 - Hybrids: composites, foams, natural materials
 - Metals and alloys
 - Ferrous
 - Non-ferrous
 - Aluminum alloys
 - Aluminum and alloys
 - Age-hardening wrought Al-alloys
 - Cast Al-alloys**
 - Non age-hardening wrought Al-alloys
 - Copper alloys
 - Copper and alloys
 - Lead alloys
 - Lead and alloys
 - Magnesium alloys
 - Magnesium and alloys
 - Nickel alloys

OK Cancel

Recycled content: Typical %

Primary process: Casting

End of life: Recycle

Teor de material reciclado usado na produção da matéria-prima. Dependendo do material é possível escolher entre material virgem e teor de reciclado típico.

Processo primário utilizados na produção do componente. As opções variam de acordo com a matéria-prima usada.

Fim de vida define qual a destinação final do componente no final de seu ciclo de vida.

Materiais disponíveis para seleção usando o banco de dados nível 2 do software.

Figura 10 - Tela mostrando a inserção de informações relativas aos materiais de fabricação do componente entre outras informações.

3.1.2 Transporte

A aba Transporte representa o traslado dos componentes e do produto final até o ponto de transferência para o usuário final. Aqui é possível detalhar as diversas modalidades de transporte utilizadas e a distância em quilômetros coberta por cada modalidade. As modalidades de transportes disponíveis para seleção são

frete marítimo, frete fluvial, frete ferroviário, rodoviário com caminhão de 32 toneladas, rodoviário com caminhão de 14 toneladas, veículos urbanos comerciais e frete aéreo. Apesar da variedade de modalidades de transporte disponíveis, uma grande limitação do *software* é a impossibilidade de indicar diferentes origens para diferentes componentes, além da impossibilidade de escolher o combustível utilizado na frota. A Figura 11 ilustra essa tela e as opções disponíveis.

Name	Transport type	Distance (km)
Transporte Rodoviário (Distrito Industrial-Planta)	32 tonne truck	20
Transporte Fluvial Manaus-SP	River/canal freight	11
Transporte Rodoviário Manaus-SP	32 tonne truck	3960

Existem nove tipos de transporte disponíveis para seleção. Apesar da variedade de modalidades de transporte disponíveis no *software*, uma outra limitação da ferramenta é a impossibilidade de selecionar diferentes origens para diferentes componentes.

Transporte Rodoviário (Distrito Industrial-Planta)

32 tonne truck

Sea freight

River/canal freight

Rail freight

32 tonne truck

14 tonne truck

Light goods vehicle

Air freight - long haul

Air freight - short haul

Helicopter - Eurocopter AS 350

Figura 11 - Tela mostrando a inserção de informações relativas ao traslado dos componentes e/ou produto final até o ponto de venda do produto final.

3.1.3 Uso

Esta é a última aba de informações e, nela, o primeiro passo é informar se o produto que se está avaliando é de uso dinâmico (veículos ou itens que devem ser usados em veículos) ou estático. A partir dessa decisão, a inserção de dados segue rumos diferentes: se a análise se tratar de um produto de uso estático como um carpete ou lâmpada, as características de consumo de energia deste produto deverão ser inseridas; caso o alvo da análise seja um produto de consumo móvel como algum meio de transporte, é necessário inserir as informações referentes ao perfil de uso. A Figura 12 ilustra a inserção de dados dessa etapa e mostra as opções disponíveis para a matriz de energia elétrica e combustível. Não estão listados a matriz de energia elétrica brasileira nem os combustíveis mais usados no Brasil para veículos comerciais (gasolina com 25% etanol e etanol); e, portanto, foi necessário usar alguns fatores para a correção dos resultados como será mostrado a seguir.

3. Use

Product life: 3 Years

Country electricity mode: Europe

Static mode

Product uses the following energy:

Energy input and output: Electric to thermal

Power rating: 0 W

Usage: 0 days per year

Usage: 0 hours per day

Mobile mode

Product is part of or carried in a vehicle

Fuel and mobility type: Diesel - family car

Usage: 300 days per year

Distance: 40 km per day

Na etapa de inserção de dados "uso", são inseridas as características regionais do produto (matriz de energia elétrica e combustível), é definido se trata-se de um produto de uso estático ou móvel e são informadas as características de consumo, no caso estático, ou perfil de uso, no caso móvel.

Características de Consumo.

Perfil de uso.

Country electricity mode: Europe

Fuel and mobility type: Diesel - family car

Diesel - ocean shipping

Diesel - coastal shipping

Diesel - rail

Diesel - heavy goods vehicle

Diesel - light goods vehicle

Diesel - family car

Electric - family car

Electric - rail

Gasoline - hybrid family car

Gasoline - family car

Gasoline - super sports and SUV

Kerosene - long haul aircraft

Kerosene - short haul aircraft

Kerosene - helicopter (Eurocopter AS 350)

LPG - family car

Figura 12 - Tela referente a inserção de dados da etapa "uso" e detalhe das opções disponíveis para a matriz de energia elétrica e combustível.

3.2 O'4% K>/ \$/ 3\$! \$/ 3%42! 4! - % 4/ \$/ 3\$! \$OS

O mercado brasileiro de motocicletas tem como base as motocicletas de baixa cilindrada, sendo que as de 125 a 150cc constituem cerca de 75% da produção anual e constituem, desta forma, a categoria com maior peso no impacto ambiental das motocicletas. Sendo assim, o presente trabalho escolheu um dos principais produtos da categoria, a YAMAHA YBR125 (Figura 13) como alvo da análise. Devido aos incentivos fiscais, todas as montadoras do segmento de duas rodas alocaram-se no Polo Industrial de Manaus (PIM) e com elas vieram seus fornecedores. O número de fornecedores para o segmento duas rodas cresce a passos largos, de 2000 a 2010 o fornecimento regional cresceu cerca de 500% (ABRACICLO, 2011). Esse aumento do fornecimento regional juntamente com os incentivos fiscais para o aumento de processos industriais no PIM faz com que, para

essa faixa de potência, as motocicletas produzidas no Brasil possuam um alto índice de nacionalização, atualmente próximo de 93% levando em conta componentes e processos (ABRACICLO, 2011). Tendo em vista os fatores citados, temos que a presente análise pode ser generalizada para outras motocicletas de baixa cilindrada desde que tenham um grau de nacionalização das peças próximo da usada neste estudo.



Figura 13 - Motocicleta YAMAHA YBR 125 K modelo 2010. YAMAHA Motor da Amazônia LTDA.

De posse da lista de materiais, a etapa seguinte consistiu em avaliar em qual grupo de material do banco de dados do CES EduPack cada especificação da lista se encaixava. Neste ponto, obviamente, não teremos os valores exatos da energia utilizada na obtenção de determinada matéria-prima e no processo de fabricação primário; mas sim faixas de valores obtidas através de referências em literatura e através de dados de empresas participantes. Isto não tira o valor desta análise, pois como dito antes, esta ferramenta nos ajuda a mostrar qual é a etapa crítica e, assim, auxiliar nas tomadas de decisões da etapa de projeto do produto. A partir deste ponto as peças foram agrupadas de acordo com seu fornecimento para facilitar a inserção dos dados no Eco-Audit conforme ilustra a Figura 14.

Por fim, foi realizada uma análise dos perfis de usuários de motocicletas na cidade de São Paulo com base nos dados do ano de 2010 da entidade que representa o setor de fabricantes de motocicletas, a ABRACICLO, para a inserção do modo de uso através dos seguintes parâmetros:

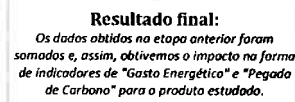
- **Vida do Produto** (*Product Life*): tempo de vida do produto, ou seja, período em que o produto fica em poder do usuário desde a compra até a destinação final.

- **Combustível e tipo de mobilidade** (*Fuel and Mobility Type*): indicam o tipo de combustível (diesel, gasolina, fontes híbridas etc.) e a finalidade do transporte (carro, utilitários automotivos, caminhões, helicópteros etc.).

- **Uso** (*Usage*): quantos dias por ano esse produto é acionado.

- **Distância** (*Distance*): quantos quilômetros são percorridos por dia.

Em resumo, a metodologia da obtenção e tratamento de dados do presente trabalho é ilustrada no fluxograma da Figura 14.



São Paulo - **2011**

3.2.1 Tratamento dos dados

Uma motocicleta contém componentes de diversas naturezas, diferentes processos de fabricação e diversas origens. Devido a esta complexidade do produto estudado e à estrutura de inserção de dados do software utilizado, houve a necessidade de reunir os componentes em grupos e, dessa forma, gerar um relatório de impacto que para cada grupo. Por fim, os relatórios gerados pelo *software* foram exportados para o formato de planilhas e somados para a obtenção do cenário completo. A seguir serão apresentadas as etapas de inserção de dados no *Eco-Audit*.

3.2.2 Primeira Etapa: Material

Conforme mostrado anteriormente, cada componente teve sua especificação e processo de fabricação analisados e comparados com as classificações disponíveis no software. Ao final desta comparação, os componentes estavam agrupados de acordo com classe de material e processo de fabricação. A Tabela 3 mostra alguns exemplos de como foi feita essa divisão. Juntamente com a informação **material**, deve ser adicionado o teor de material reciclado usado em cada um. No Brasil, não há um teor estipulado de material reciclado que deve compor a produção de determinado bem; porém há iniciativas dentro da própria indústria estipulando teores ou estimulando o uso de material reciclado (Associação Brasileira do Alumínio - ABAL, 2011) (Instituto Aço Brasil, 2010). No Brasil, em 2008 foram reciclados 27,9% de aço (Instituto Aço Brasil, 2010), 36,6% de alumínio (Associação Brasileira do Alumínio - ABAL, 2011) e cerca de 30% de Zinco (Instituto de Metais Não-Ferrosos - ICZ, 2011). A Figura 15 mostra os valores típicos de fração reciclada utilizada mundialmente; é possível observar que os valores brasileiros ainda estão aquém da média mundial. Por simplificação, foram utilizados os valores presentes no *software*, ou seja, a média mundial. Não foram encontrados dados precisos sobre a reciclagem de materiais poliméricos no Brasil e como os valores típicos mundiais são baixos em comparação com os metais, não foi considerado que os materiais poliméricos são virgens, ou seja, 0% de teor de reciclados (Ashby, 2009).

Assim como o teor de reciclado usado, é necessário apontar qual será o tipo de descarte de cada componente, "*End of Life*". Como no Brasil não existe uma

política de reciclagem para os componentes automotivos, excluindo-se componentes com metais pesados, e não existem dados confiáveis disponíveis sobre a disposição final da motocicleta, considerou-se que componentes que possuem material com algum teor de material reciclado, têm como disposição final a reciclagem.

Tabela 3 - Esta tabela mostra algumas peças e suas especificações de acordo com a lista de materiais e a classificação correspondente no software CES EduPack. As peças foram agrupadas de acordo com a classificação disponível no software.

Peça	Especificação de acordo com a Lista de Materiais			Especificação similar disponível no CES EduPack	
	Formato da Matéria-prima	Material	Condição da Matéria-prima	Material	Processo Primário (Primary Process)
PRESILHA	Arame de Aço	AISI 1020	Trefilado	Aço Baixo Carbono	Arame Trefilado
FIXADOR DO CABO	Arame de Aço	AISI 1020	Trefilado		
SUPORTE	Chapa de Aço	AISI 1020	Laminado	Aço Baixo Carbono	Laminado
ARO DA RODA DIANTEIRA	Chapa de Aço	AISI 1020	Laminado		
VARETA DE FREIO	Arame de Aço	AISI 1040	Trefilado	Aço Médio Carbono	Arame Trefilado
PINHAO	Barra de Aço	AISI 1040	Laminado		
PEDAL DE FREIO	Barra de Aço	AISI 1040	Laminado	Aço Médio Carbono	Laminado
COROA DA RODA TRASEIRA	Chapa de Aço	AISI 1040	Laminado		
PLACA	Chapa de Aço	AISI 1050	Laminado		
CORRENTE DE TRAÇÃO	Chapa de Aço	AISI 1050	Laminado		
CORRENTE DE COMANDO	Chapa de Aço	AISI 1050	Laminado	Aço Médio Carbono	Arame Trefilado
MOLA DE TORCAO	Arame de Aço	AISI 1060	Trefilado		
MOLA DE COMPRESSAO	Arame de Aço	AISI 1060	Trefilado	Aço Alto Carbono	Laminado
ROLAMENTO	Barra de Aço	AISI 1095	Laminado		
PISTA DE ESFERAS	Barra de Aço	AISI 1095	Laminado	Aço Inoxidável	Laminado
SILENCIADOR COMPLETO	Chapa de Aço	AISI 410	Laminado		
CHAVETA MEIA LUA	Barra de Aço	AISI 4130	Laminado	Aço Ligado	Laminado
ENGRENAGEM LOUCA	Barra de Aço	AISI 4130	Laminado		
ENGRENAGEM MOTORA	Barra de Aço	AISI 4130	Laminado		
EIXO PRINCIPAL	Barra de Aço	AISI 4130	Laminado		



Após o agrupamento das peças de acordo com suas especificações, esses conjuntos foram novamente agrupados, mas agora, de acordo com a origem de seu fornecimento e, para simplificação desta classificação, foram eleitos apenas três pontos de origem conforme indica a Tabela 4. O agrupamento de componentes por local de origem do componente foi a maneira encontrada por este trabalho para lidar com outra grande limitação deste *software*: a impossibilidade de lidar com componentes provenientes de diferentes origens na mesma análise. A Tabela 5 mostra o resultado das classificações citadas acima sobre a lista de materiais inicial e as massas resultantes para cada conjunto de itens.

Tabela 4 - Divisão dos grupos de peças conforme origem e distância dos pontos de origem atribuídos até a planta produtiva.

Grupo	Descrição	Massa [%]	Distância até a planta
<i>Ásia</i>	Como a maioria das peças de origem asiática tem origem em fábricas na China. O ponto de origem das peças deste grupo foi o porto de Shenzhen (Shanghai).	8,76	29971 km
<i>Manaus</i>	Os fornecedores que estão localizados em Manaus encontram-se no Pólo Industrial de Manaus, ou seja, estão próximos da planta e, portanto, assumiu-se a distância de 20km para as peças deste grupo.	54,95	20 km
<i>Sul</i>	As peças fabricadas nos fornecedores localizados em São Paulo são concentradas em um centro de logística e partem para a planta produtiva em caminhões.	36,29	3971 km

Tabela 5 - Designação de cada conjunto de itens obtido através das classificações realizadas.

Designação após Classificação	Material	Processo Primário	Origem	Massa (kg)
Componentes de Aço Alto Carbono (Estampados/Usinados)	Aço Alto Carbono	Laminação ou Forjamento	Ásia	0,12
Componentes de Aço Baixa Liga (Estampados/Usinados)	Aço Ligado	Laminação ou Forjamento		0,10
Componentes de Aço Baixo Carbono (Estampados/Usinados)	Aço Baixo Carbono	Laminação ou Forjamento		1,39
Componentes de Aço Baixo Carbono (Arame)	Aço Baixo Carbono	Trefilação		0,02
Componentes de Aço Médio Carbono (Estampados/Usinados)	Aço Médio Carbono	Laminação ou Forjamento		2,20
Componentes de Borracha Natural (Injetados)	Borracha Natural	Injeção		6,00
Componentes de Borracha de Silicone (Injetados)	Borracha de Silicone	Injeção		0,03
Componentes de PA (Injetados)	PA	Injeção		0,03
Componentes de Liga de Zinco (Fundidos)	Liga de Zinco	Fundição		0,40
Componentes de ABS (Injetados)	ABS	Injetado		1,65
Componentes de Ligas de Alumínio (Fundidos)	Liga de Alumínio para Fundição	Fundição	Manaus	7,05
Componentes de IIR (Injetados)	IIR	Injeção		0,21
Componentes de Aço Baixo Carbono (Estampados/Usinados)	Aço Baixo Carbono	Laminação ou Forjamento		29,21
Componentes de Aço Baixo Carbono (Aramas)	Aço Baixo Carbono	Trefilação		0,64
Componentes de Aço Baixa Liga (Estampados/Usinados)	Aço Ligado	Laminação ou Forjamento		18,20
Componentes de Aço Médio Carbono (Estampados/Usinados)	Aço Médio Carbono	Laminação ou Forjamento		0,90
Componentes de PA (Injetados)	PA	Injeção		0,24
Componentes de PP (Injetados)	PP	Injeção		0,01
Componentes de PVC (Injetados)	PVC	Injeção		0,20
Componentes de SBR (Injetados)	SBR	Injeção		0,25
Componentes de Aço Inoxidável (Estampados/Usinados)	Aço Inoxidável	Laminação ou Forjamento	Sul	6,00
Componentes Cerâmicos	Alumina	*		0,05
Componentes de Ligas de Alumínio (Fundidos)	Liga de Alumínio para Fundição	Fundição		1,25
Componentes de Ligas de Cobre (Metalurgia do pó)	Liga de Cobre	Metalurgia do pó		0,08
Componentes de Ligas de Cobre (Estampados)	Cobre	Laminação		0,04
Componentes de Espuma Flexível	Espuma polimérica (Média Densidade)	Injeção		0,20
Componentes de Aço Alto Carbono (Estampados/Usinados)	Aço Alto Carbono	Laminação ou Forjamento		3,90
Componentes de Aço Baixa Liga (Estampados/Usinados)	Aço Ligado	Laminação ou Forjamento		13,83
Componentes de Aço Baixa Liga (Arame)	Aço Ligado	Trefilação		0,30
Componentes de Aço Médio Carbono (Estampados/Usinados)	Aço Médio Carbono	Laminação ou Forjamento		0,75
Componentes de Aço Médio Carbono (Aramas)	Aço Médio Carbono	Trefilação	Sul	0,40
Componentes de PA (Injetados)	PA	Injeção		0,33
Componentes de Borracha de Silicone (Injetados)	Borracha de Silicone	Injeção		0,10
Componentes de Aço Inoxidável (Estampados/Usinados)	Aço Inoxidável	Laminação ou Forjamento		0,10
Componentes de Ligas de Zinco (Fundidos)	Liga de Zinco	Fundição		0,25
Componentes de Baixo Carbono (Estampados/Usinados)	Aço Baixo Carbono	Laminação ou Forjamento		21,05
Total				117,48

* : Para Alumina não existem opções de processo. O gasto energético e a pegada de carbono já estão incluídas.

Como explicado anteriormente, no final do tratamento dos dados de material, processo primário e origem da peça, foram gerados três grupos de listas de material para inserção na ferramenta de auditoria ambiental do *software*. A Figura 16, Figura 17 e Figura 18 mostram essa inserção no programa na aba **material**.

1. Material, manufacture and end of life ?

Qty.	Component name	Material	Recycled content	Mass (kg)	Primary process	End of life
1	Componentes de Aço Alto Carbono (Estampados/Usinados)	High carbon steel	Typical %	0,12	Rough rolling, forging	Recycle
1	Componentes de Aço Baixa Liga (Estampados/Usinados)	Low alloy steel	Typical %	0,1	Rough rolling, forging	Recycle
1	Componentes de Aço Baixo Carbono (Estampados/Usinados)	Low carbon steel	Typical %	1,39	Rough rolling, forging	Recycle
1	Componentes de Aço Baixo Carbono (Arame)	Low carbon steel	Typical %	0,02	Wire drawing	Recycle
1	Componentes de Aço Médio Carbono (Estampados/Usinados)	Medium carbon steel	Typical %	2,2	Rough rolling, forging	Recycle
1	Componentes de Borracha Natural (Injetados)	Natural rubber (NR)	Virgin (0%)	6	Polymer molding	Landfill
1	Componentes de Borracha de Silicone (Injetados)	Silicone elastomers (SI)	Virgin (0%)	0,03	Polymer molding	Landfill
1	Componentes de PA (Injetados)	Polyamides (Nylons, PA)	Virgin (0%)	0,03	Polymer extrusion	Landfill
1	Componentes de Liga de Zinco (Fundidos)	Zinc die-casting alloys	Typical %	0,4	Casting	Landfill

Figura 16 - Tela de inserção de dados. Grupo de materiais referentes a componentes com origem Ásia. Este agrupamento totaliza 10,29kg.

1. Material, manufacture and end of life ?

Qty.	Component name	Material	Recycled content	Mass (kg)	Primary process	End of life
1	Componentes Cerâmicos	Alumina	Virgin (0%)	0,05	Ind. in material value	Landfill
1	Componentes de Ligas de Alumínio (Fundidos)	Cast Al-alloys	Typical %	1,25	Casting	Recycle
1	Componentes de Ligas de Cobre (Metalurgia do pó)	Copper	Typical %	0,08	Metal powder forming	Recycle
1	Componentes de Ligas de Cobre (Estampados)	Copper	Typical %	0,04	Rough rolling, forging	Recycle
1	Componentes de Espuma Flexível	Flexible Polymer Foam	Virgin (0%)	0,2	Polymer molding	Landfill
1	Componentes de Aço Alto Carbono (Estampados/Usinados)	High carbon steel	Typical %	3,9	Rough rolling, forging	Recycle
1	Componentes de Aço Baixa Liga (Estampados/Usinados)	Low alloy steel	Typical %	13,83	Rough rolling, forging	Recycle
1	Componentes de Aço Baixa Liga (Arame)	Low alloy steel	Typical %	0,3	Wire drawing	Recycle
1	Componentes de Aço Médio Carbono (Estampados/Usinados)	Medium carbon steel	Typical %	0,75	Rough rolling, forging	Recycle
1	Componentes de Aço Médio Carbono (Arame)	Medium carbon steel	Typical %	0,4	Wire drawing	Recycle
1	Componentes de PA (Injetados)	Polyamides (Nylons, PA)	Virgin (0%)	0,33	Polymer molding	Landfill
1	Componentes de Borracha de Silicone (Injetados)	Silicone elastomers (SI)	Virgin (0%)	0,1	Polymer molding	Landfill
1	Componentes de Aço Inoxidável (Estampados/Usinados)	Stainless steel	Typical %	0,1	Rough rolling, forging	Recycle
1	Componentes de Ligas de Zinco (Fundidos)	Zinc die-casting alloys	Typical %	0,25	Casting	Recycle
1	Componentes de Baixo Carbono (Estampados/Usinados)	Low carbon steel	Typical %	21,05	Rough rolling, forging	Recycle

Figura 17 - Tela de inserção de dados. Grupo de materiais referentes a componentes com origem Sul do Brasil. Este agrupamento totaliza 42,63kg.

1. Material, manufacture and end of life ?

Qty.	Component name	Material	Recycled content	Mass (kg)	Primary process	End of life
1	Componentes de ABS (Injetados)	■ Acrylonitrile butadiene	Virgin (0%)	1,65	Polymer molding	Landfill
1	Componentes de Ligas de Alumínio (Fundidos)	■ Cast Al-alloys	Typical %	7,05	Casting	Recycle
1	Componentes de IIR (Injetados)	■ Butyl rubber (IIR)	Virgin (0%)	0,21	Polymer molding	Landfill
1	Componentes de Aço Baixo Carbono (Estampados/Usinados)	■ Low carbon steel	Typical %	29,21	Rough rolling, forging	Recycle
1	Componentes de Aço Baixo Carbono (Aramas)	■ Low carbon steel	Typical %	0,64	Wire drawing	Recycle
1	Componentes de Aço Baixa Liga (Estampados/Usinados)	■ Low alloy steel	Typical %	18,2	Rough rolling, forging	Recycle
1	Componentes de Aço Médio Carbono (Estampados/Usinados)	■ Medium carbon steel	Typical %	0,9	Rough rolling, forging	Recycle
1	Componentes de PA (Injetados)	■ Polyamides (Nylons, PA	Virgin (0%)	0,24	Polymer extrusion	Landfill
1	Componentes de PP (Injetados)	■ Polypropylene (PP)	Virgin (0%)	0,005	Polymer molding	Landfill
1	Componentes de PVC (Injetados)	■ Polyvinylchloride (tpPVC	Virgin (0%)	0,2	Polymer molding	Landfill
1	Componentes de SBR (Injetados)	■ Carbon black reinforcec	Virgin (0%)	0,25	Polymer molding	Landfill
1	Componentes de Aço Inoxidável (Estampados/Usinados)	■ Stainless steel	Typical %	6	Rough rolling, forging	Recycle

Figura 18 - Tela de inserção de dados. Grupo de materiais referentes a componentes com origem Manaus. Este agrupamento totaliza 64,56kg.

Para simplificação desta análise, os agrupamentos de peças foram classificados conforme sua origem, a Tabela 4 ilustra isso. Para a inserção desta etapa na aba *Transport* no *software*, é necessário escolher as modalidades de transporte utilizadas para o traslado de cada etapa. A Figura 19, Figura 20 e Figura 21 ilustram essa etapa de inserção de dados.

Transporte de componentes vindos da Ásia.
(Massa total=10,29kg)

2. Transport ?

Name	Transport type	Distance (km)
Transporte Ásia-SP	Sea freight	2,6e+04
Transporte Rodoviário SP-Manaus	32 tonne truck	3960
Transporte Fluvial SP-Manaus	River/canal freight	11
Transporte Fluvial Manaus-SP	River/canal freight	11
Transporte Rodoviário Manaus-SP	32 tonne truck	3960

Figura 19 - Tela de inserção de dados. Modalidades de transporte utilizadas referentes a origem Ásia.

Transporte de componentes vindos do Sul do Brasil. (Massa total=42,63kg)		
2. Transport		
Name	Transport type	Distance (km)
Transporte Rodoviário SP-Manaus	14 tonne truck	3960
Transporte Fluvial SP-Manaus	River/canal freight	11
Transporte Fluvial Manaus-SP	River/canal freight	11
Transporte Rodoviário Manaus-SP	32 tonne truck	3960

Figura 20 - Tela de inserção de dados. Modalidades de transporte utilizadas referentes a origem Sul.

Transporte de componentes vindos do Distrito Industrial de Manaus. (Massa total=64,56kg)		
2. Transport		
Name	Transport type	Distance (km)
Transporte Rodoviário (Distrito Industrial-Planta)	32 tonne truck	20
Transporte Fluvial Manaus-SP	River/canal freight	11
Transporte Rodoviário Manaus-SP	32 tonne truck	3960

Figura 21 - Tela de inserção de dados. Modalidades de transporte utilizadas referentes a origem Manaus.

3.2.4 Terceira Etapa: Uso

A última etapa de inserção de dados leva em conta o perfil de usuário escolhido e algumas características regionais como a matriz de energia elétrica e o tipo de combustível usado, além de algumas considerações acerca do mercado brasileiro de motocicletas. Usando os dados contidos na Figura 5 sobre a finalidade de uso, podemos supor que uma motocicleta com a finalidade de "Substituir o carro e o transporte coletivo" deva ser usada cerca de 300 dias por ano. Devido à indisponibilidade de dados, foram tomadas suposições para os valores de distância percorrida diariamente e o tempo de vida médio, sendo 40km e 10 anos, respectivamente. Como se deseja verificar a influência da matriz de energia elétrica e do tipo de combustível sobre o ciclo de vida da motocicleta, serão usados os parâmetros e combinações conforme indicados na Figura 22.

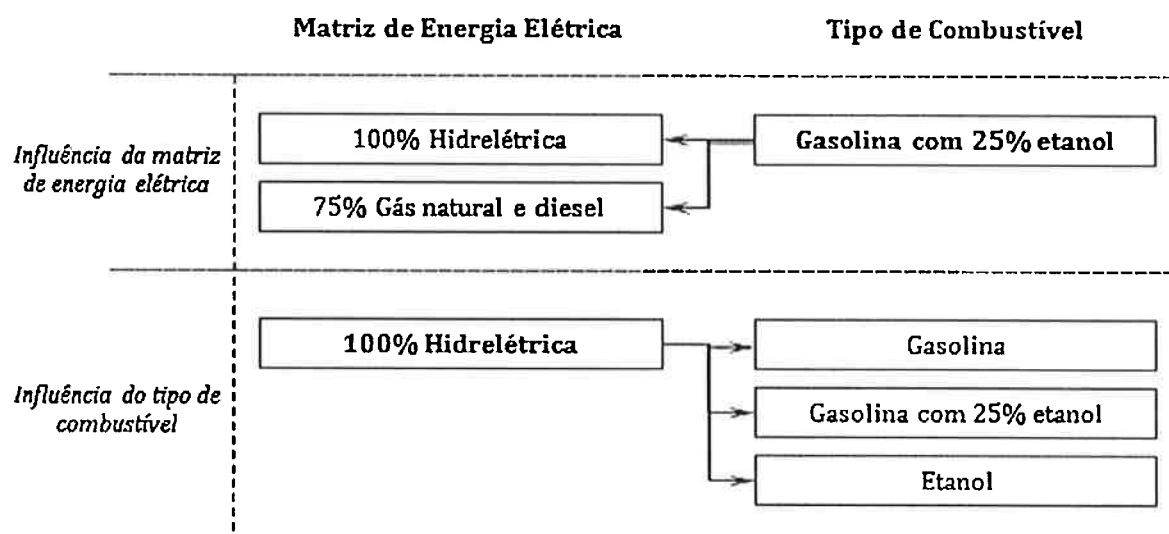


Figura 22 - Esquema mostrando os parâmetros para matriz de energia elétrica e tipo de combustível usados nas avaliações deste trabalho e as combinações desses.

No Brasil, os tipos de combustíveis mais usados para frota não comercial são a gasolina E25 (gasolina com teor de 25% de etanol e etanol puro); quando se trata de motocicletas, o uso de etanol é recente, essa tecnologia foi lançada pela Honda Motor da Amazônia LTDA em 2010, e a aquisição deste tipo de motocicleta tem crescido rapidamente (Ghigonetto, 2010). Com a inserção destes dados, foi concluída a etapa de obtenção, tratamento e inserção de dados na ferramenta de auditoria ambiental. A Tabela 6 traz os parâmetros escolhidos.

Tabela 6 - Parâmetros usados para a etapa Uso.

Tempo de Vida	10 anos
Matriz de energia elétrica	100% hidrelétrica e 75% gás natural e diesel
Combustível	Gasolina, gasolina E25 e etanol.
Tipo de mobilidade	"Carro de família"
Uso	300 dias/ano
Distância	40 km/dia

A escolha do tipo de combustível é ligada ao tipo de veículo (utilitário esportivo, carro de família, helicóptero etc). O tipo de veículo influenciará no consumo de combustível e, conseqüentemente, no gasto energético e na pegada de carbono. No presente trabalho, optou-se pelo tipo de veículo "carro de família" pois é o mais próximo de uma motocicleta de baixa cilindrada, porém a motocicleta possui

um consumo de combustível por quilometro cerca de 60% inferior (ABRACICLO, 2011).

3.3 IMPACTOS EM CADA ETAPA DO CICLO DE VIDA DA MOTOCICLETA

No Brasil, temos algumas diferenças quanto a matriz energética e o combustível, e essas diferenças ainda não foram contempladas na versão utilizada do software. A matriz energética Brasileira é baseada em hidrelétricas e os principais combustíveis usados em carro de passeio são a Gasolina E25 (gasolina com teor de 25% de etanol) e o E100 (100% etanol). Essas diferenças implicam na utilização de um fator multiplicativo para as fases de Material, Manufatura e Uso. A equipe desenvolvedora do software disponibilizou os fatores multiplicativos e estes se encontram na Tabela 7.

Tabela 7 - Fatores de correlação para Pegada de Carbono de cada tipo de combustível e matriz energética. (Prof. Ashby, 2011, comunicação pessoal).

Combustível	Fator de Correlação para Pegada de Carbono	Matriz Energética	Fator de Correlação para Pegada de Carbono
100% diesel	1,00	75% gás	1,00
100% querosene	0,96	100% carvão	2,00
100% gasolina	0,92	100% nuclear	0,06
100% gás natural	0,77	100% solar	0,20
100% bio-diesel	0,00	100% eólica	0,08
100% etanol	0,00	100% hidrelétrica	0,06
100% hidrogênio	0,10	100% geotérmica	0,05

Na tabela, o fator de correlação para a pegada de carbono dos combustíveis 100% bio-diesel e 100% etanol é zero, ou seja, a etapa “uso” de produto de modo de utilização dinâmico não gera carbono. Esse fator é outra das simplificações com a qual se deve lidar com cautela, uma vez que mesmo que o uso de etanol proveniente de cana-de-açúcar diminua drasticamente a pegada de carbono da fase uso, ela não é zerada. (Macedo, et al., 2007)

CAPÍTULO 4 - Resultados

Foi gerado um relatório de impacto ambiental para cada um dos três grupos formados de acordo com a origem dos componentes (Ásia, Manaus e Sul). Posteriormente, o relatório referente a cada origem foi compilado para mostrar o somatório dos impactos gerados pelos três grupos de componentes divididos pela origem. Para avaliar a influência da matriz de energia elétrica e do combustível utilizado, foram feitas análises de alguns cenários hipotéticos alterando a matriz de energia elétrica e o combustível conforme indicado na Figura 22; como o software não possui valores selecionáveis para gasolina com teor de 25% de etanol nem etanol puro, os relatórios foram gerados para combustível diesel e os fatores da Tabela 7 foram usados para obtermos os valores corrigidos para esses combustíveis. Os resultados encontram-se abaixo na forma de pegada de carbono, uma vez que o gasto energético não se altera pois o *software* não considera a possibilidade de processos (tanto obtenção de matéria-prima quanto processos de fabricação primários) com eficiências diferentes, além de não possibilitar a alteração dos valores destes processos. A Tabela 8 esquematiza os cenários analisados.

Tabela 8 - Designação e descrição dos cenários e seus parâmetros de matriz de energia elétrica e tipo de combustível.

	Matriz de energia elétrica	Tipo de Combustível
Cenário 1	75% gás natural e diesel	Gasolina com 25% etanol
Cenário 2	100% hidrelétrica	Gasolina com 25% etanol
Cenário 3	100% hidrelétrica	Gasolina pura
Cenário 4	100% hidrelétrica	Etanol puro

4.1 CENÁRIO 1 - MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA: 75% GÁS NATURAL E DIESEL / COMBUSTÍVEL: GASOLINA COM 25% ETANOL

Os resultados deste cenário são dados pela Tabela 9, Figura 23 e Figura 24. A Figura 23 representa o gasto energético e ele é o mesmo independente do cenário, isto se deve à limitação do *software* que não permite a alteração dos valores do processamento da matéria-prima e do processo de fabricação primário. No cenário 1, a fase crítica do ciclo de vida da motocicleta é o "uso" que corresponde a cerca de 80% da energia empregada para fabricação da motocicleta ou utilizada por ela e é responsável por 76% da pegada de carbono gerada por essa motocicleta.

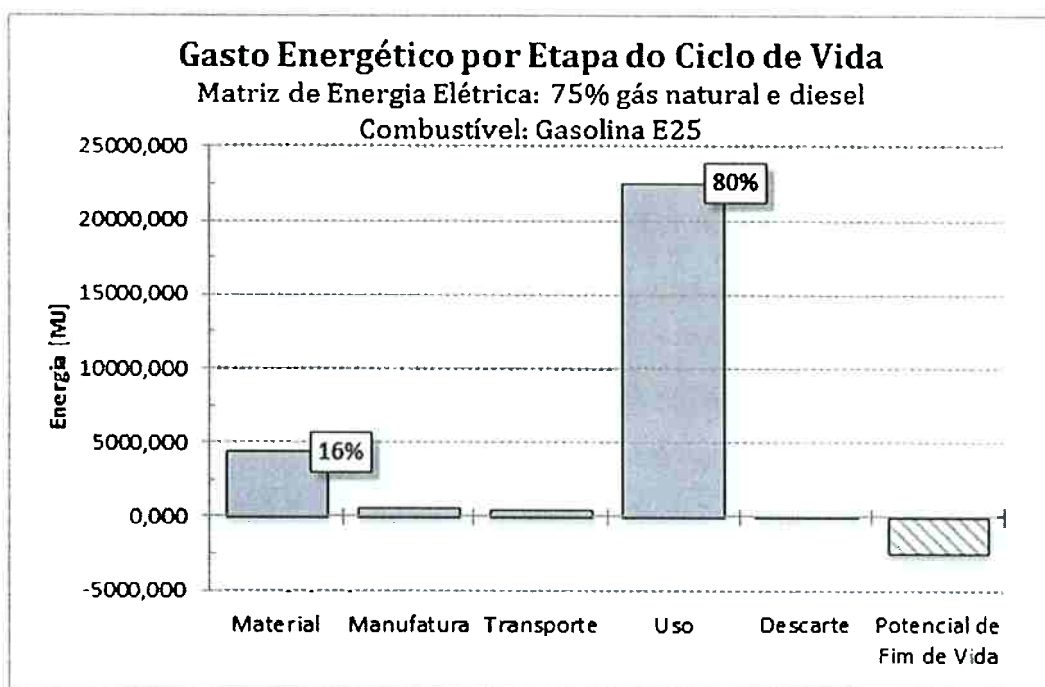


Figura 23 - Gráfico de barras representando o gasto energético do cenário 1. O maior gasto energético está na etapa "uso".

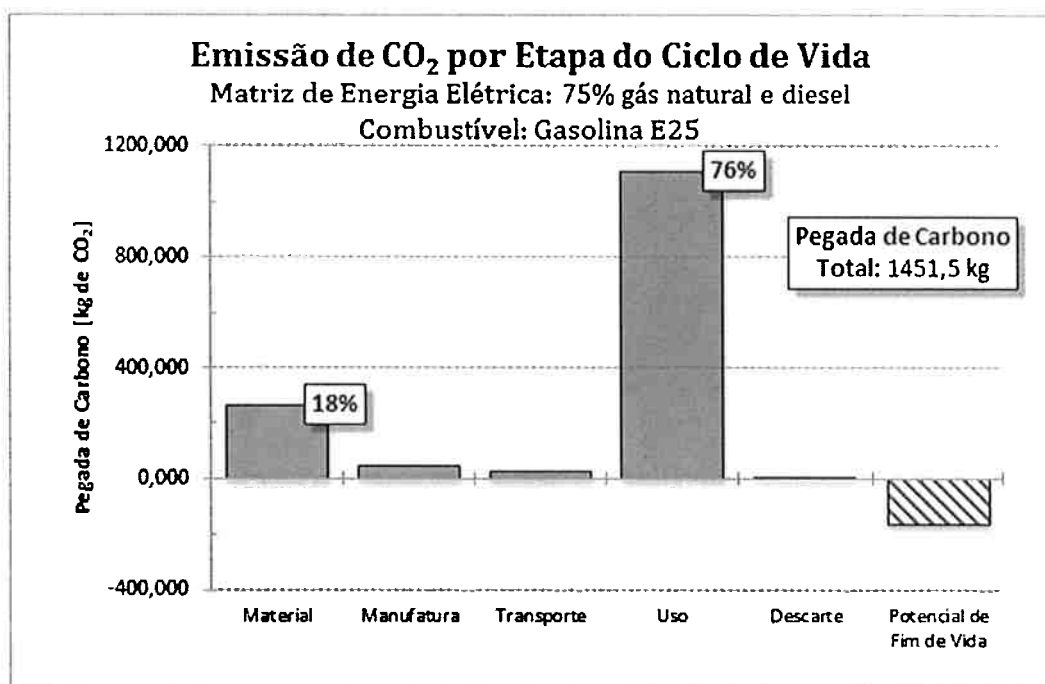


Figura 24 - Gráfico de barras representando a pegada de carbono do cenário 1. O maior gasto energético está na etapa "uso".

Tabela 9 - Tabela discriminando o gasto energético e a pegada de carbono do cenário 1.

	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 (kg)	CO2 (%)
Material	4398,287	16%	265,155	18%
Manufatura	606,813	2%	46,077	3%
Transporte	420,136	1%	29,830	2%
Uso	22555,200	80%	1104,979	76%
Descarte	77,385	0%	5,417	0%
Total (1.ª Vida)	28057,821	100%	1451,457	100%
Potencial de Fim de Vida	-2470,407		-160,822	

4.2 CENÁRIO 2 - MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA: 100% HIDRELÉTRICA / COMBUSTÍVEL: GASOLINA COM 25% ETANOL

Os resultados deste cenário são dados pela Tabela 10 e Figura 25. No cenário 2, a fase crítica do ciclo de vida da motocicleta continua sendo o “uso” e este é responsável por 95% da pegada de carbono gerada por essa motocicleta neste cenário.

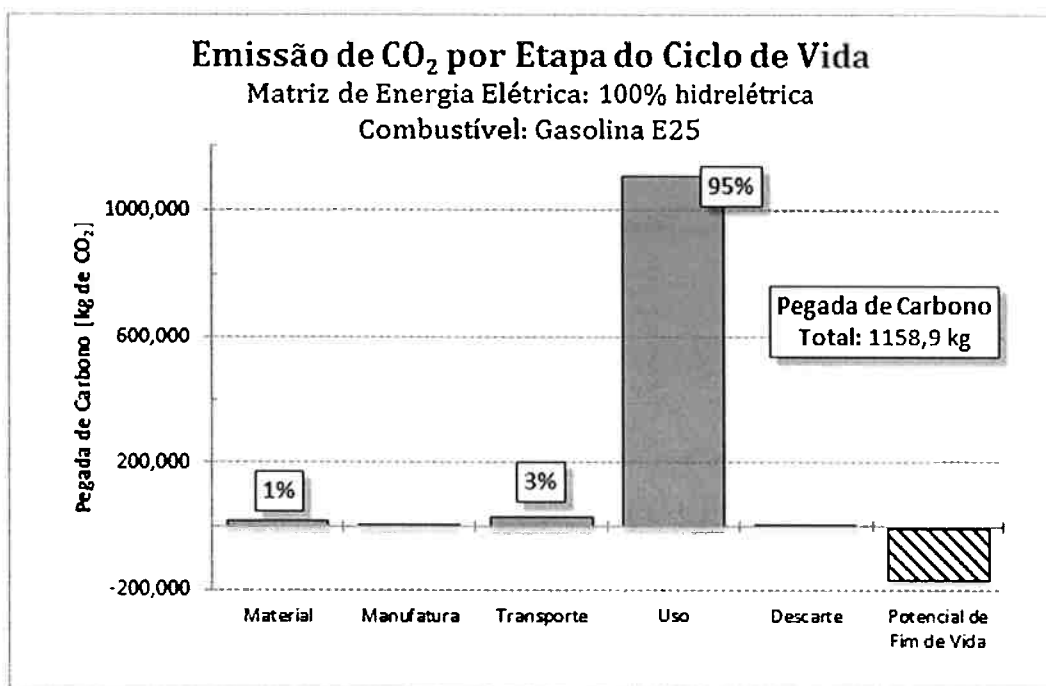


Figura 25 - Gráfico de barras representando a pegada de carbono do cenário 2. A maior pegada de carbono está na etapa "uso".

Tabela 10 - Tabela discriminando o gasto energético e a pegada de carbono do cenário 2.

	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 (kg)	CO2 (%)
Material	4398,287	16%	15,909	1%
Manufatura	606,813	2%	2,765	0%
Transporte	420,136	1%	29,830	3%
Uso	22555,200	80%	1104,979	95%
Descarte	77,385	0%	5,417	0%
Total (1.ª Vida)	28057,821	100%	1158,900	100%
Potencial de Fim de Vida	-2470,407		-160,822	

4.3 CENÁRIO 3 - MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA: 100% HIDRELÉTRICA / COMBUSTÍVEL: GASOLINA PURA

Os resultados deste cenário são dados pela Tabela 11 e Figura 26. No cenário 3, a fase crítica do ciclo de vida da motocicleta continua sendo o “uso” e este é responsável por 96% da pegada de carbono gerada por essa motocicleta neste cenário.

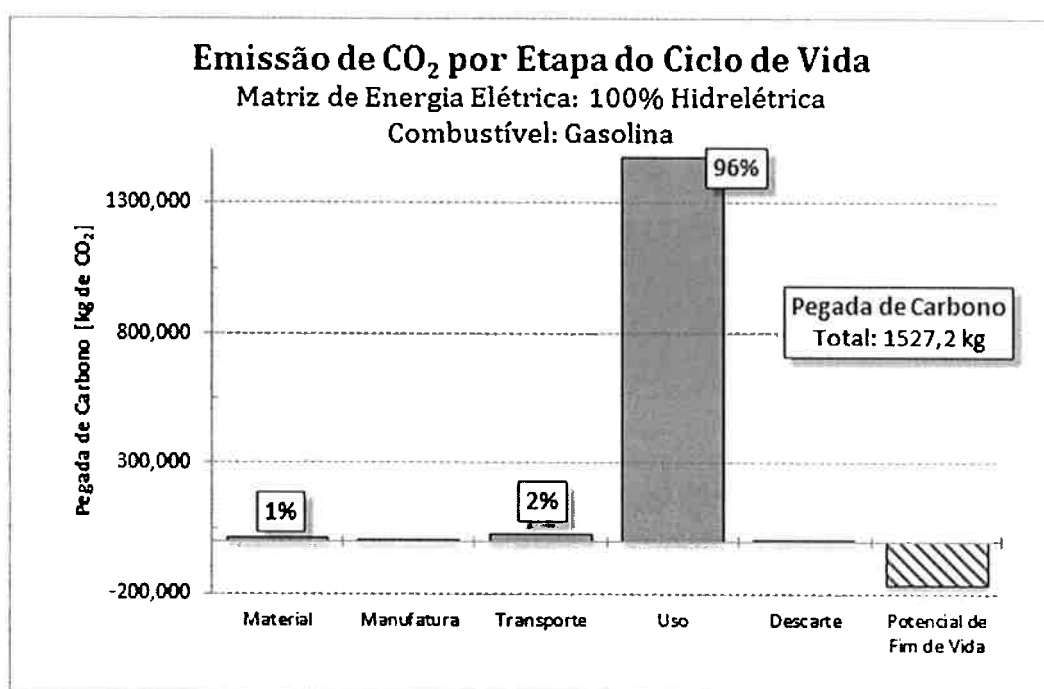


Figura 26 - Gráfico de barras representando a pegada de carbono do cenário 3. A maior pegada de carbono está na etapa “uso”.

Tabela 11 - Tabela discriminando o gasto energético e a pegada de carbono do cenário 3.

	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 (kg)	CO2 (%)
Material	4398,287	16%	15,909	1%
Manufatura	606,813	2%	2,765	0%
Transporte	420,136	1%	29,830	2%
Uso	22555,200	80%	1473,306	96%
Descarte	77,385	0%	5,417	0%
Total (1.ª Vida)	28057,821	100%	1527,226	100%
Potencial de Fim de Vida	-2470,407		-160,822	

4.4 CENÁRIO 4 - MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA: 100% HIDRELÉTRICA / COMBUSTÍVEL: ETANOL PURO

Os resultados deste cenário são dados pela Tabela 12 e Figura 27. No cenário 4, a fase crítica do ciclo de vida da motocicleta passa a ser a fase de transporte seguida pela fase de material, cada uma é responsável por 55% e 30%, respectivamente, da pegada de carbono gerada por essa motocicleta neste cenário.

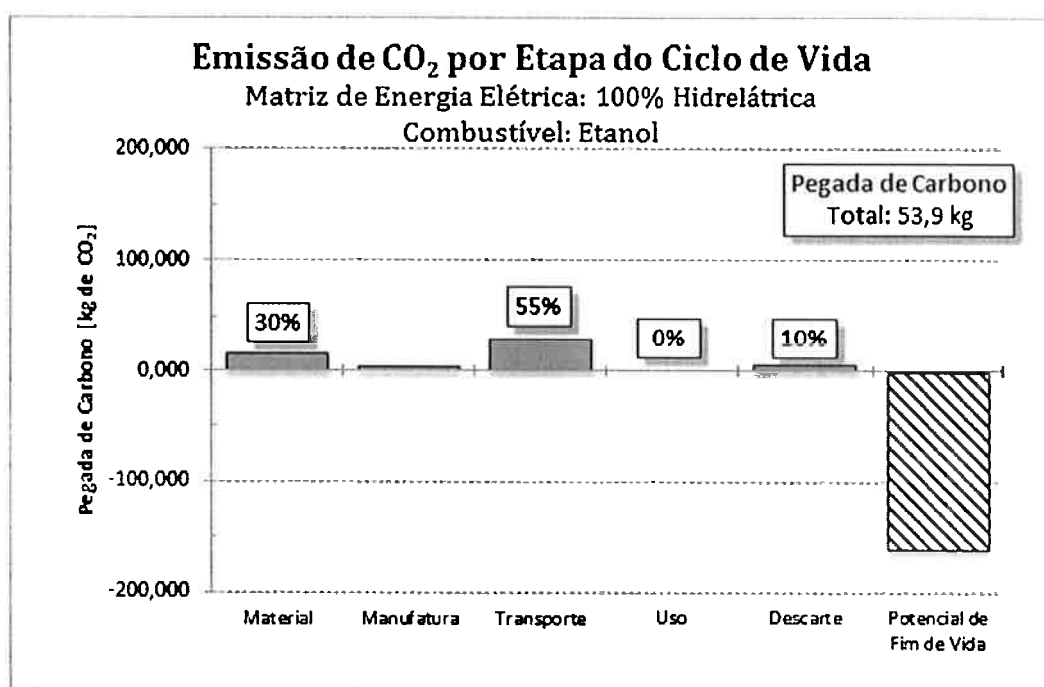


Figura 27 - Gráfico de barras representando a pegada de carbono do cenário 4. A maior pegada de carbono está na etapa "transporte".

Tabela 12 - Tabela discriminando o gasto energético e a pegada de carbono do cenário 4.

	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 (kg)	CO2 (%)
Material	4398,287	16%	15,909	30%
Manufatura	606,813	2%	2,765	5%
Transporte	420,136	1%	29,830	55%
Uso	22555,200	80%	0,000	0%
Descarte	77,385	0%	5,417	10%
Total (1.ª Vida)	28057,821	100%	53,920	100%
Potencial de Fim de Vida	-2470,407		-160,822	

CAPÍTULO 5 - Discussão

A discussão dos resultados será feita comparando-se os cenários para se verificar a influência da matriz de energia elétrica e do tipo de combustível.

5.1 FASE CRÍTICA

Os cenários 1, 2 e 3 compartilham da mesma fase crítica. A fase de “uso” chega a ser responsável por 96% da pegada de carbono no cenário 2. Já no cenário 4, com o uso do etanol, a pegada de carbono da fase “uso” é zerada devido ao fator multiplicativo indicado pelo fabricante do *software*. A fase crítica no cenário 4 é o “transporte” que responde por 55% da pegada de carbono total do ciclo de vida da motocicleta; ainda no cenário 4, temos que a segunda fase com maior impacto sobre a pegada de carbono é a fase “material” que responde por 30% da pegada de carbono total.

Para os cenários 1, 2 e 3, que possuem a fase “uso” como a fase crítica de seu ciclo de vida, estratégias para minimizar o impacto ambiental dessa fase devem basear-se em duas “frentes”:

- aumentar a eficiência do produto: usar motores mais eficientes e reduzir a massa do veículo. Nesse último ponto, o uso de materiais mais resistentes implica em uma redução na seção resistente e, conseqüentemente, na redução da massa. A Tabela 13 mostra que aços baixa liga são uma opção ambientalmente mais “amigáveis” que aços carbono, ou seja, em uma substituição de aços carbono, os aços baixa liga diminuiriam a pegada de carbono da fase “uso” pela redução de massa e da fase “material” devido a pegada de carbono ligada a sua produção.

- incentivar o uso de combustíveis provenientes de fontes renováveis: o benefício de combustíveis provenientes de fontes renováveis fica claro quando comparamos os cenários 1, 2 e 3 com o cenário 4, que teve sua fase “uso” “zerada” pelo fator multiplicativo .

Tabela 13 - Pegada de carbono referente a cada material usando os parâmetros do cenário 1 (matriz de energia elétrica 75% gás natural e diesel e combustível gasolina pura).

Componente	Massa Total [kg]	Pegada de carbono [kg]	Pegada de CO ₂ /massa de matéria-prima produzida [kg CO ₂ /kg]
Componentes de Borracha de Silicone (Injetados)	0,13	1,12	8,59
Componentes de Ligas de Alumínio (Fundidos)	8,30	63,72	7,68
Componentes de SBR (Injetados)	0,25	1,58	6,32
Componentes de PA (Injetados)	0,60	3,33	5,55
Componentes de Espuma Flexível	0,20	0,88	4,38
Componentes de IIR (Injetados)	0,21	0,82	3,89
Componentes de Aço Inoxidável (Estampados/Usinados)	6,10	22,77	3,73
Componentes de Ligas de Cobre (Metalurgia do pó)	0,08	0,28	3,55
Componentes de Ligas de Cobre (Estampados)	0,04	0,14	3,55
Componentes de ABS (Injetados)	1,65	5,68	3,44
Componentes de Liga de Zinco (Fundidos)	0,40	1,26	3,14
Componentes de Ligas de Zinco (Fundidos)	0,25	0,79	3,14
Componentes Cerâmicos	0,05	0,14	2,81
Componentes de PP (Injetados)	0,01	0,01	2,70
Componentes de PVC (Injetados)	0,20	0,48	2,39
Componentes de Aço Médio Carbono (Estampados/Usinados)	3,85	6,67	1,73
Componentes de Aço Baixo Carbono (Estampados/Usinados)	30,60	53,01	1,73
Componentes de Baixo Carbono (Estampados/Usinados)	21,05	36,46	1,73
Componentes de Aço Alto Carbono (Estampados/Usinados)	4,02	6,96	1,73
Componentes de Aço Baixo Carbono (Arame)	0,64	1,11	1,73
Componentes de Aço Médio Carbono (Arame)	0,40	0,69	1,73
Componentes de Aço Baixo Carbono (Arame)	0,02	0,03	1,73
Componentes de Borracha Natural (Injetados)	6,00	9,30	1,55
Componentes de Aço Baixa Liga (Estampados/Usinados)	32,13	47,49	1,48
Componentes de Aço Baixa Liga (Arame)	0,30	0,44	1,48
	117,48	265,15	

Segundo dados do *software*, aços baixa liga têm pegada de carbono cerca de 14% inferior a aços carbonos, ou seja, são ambientalmente mais amigáveis.

Quanto ao cenário 4; como este possui a fase “transporte” como a fase crítica do ciclo de vida, a estratégia para minimizar o impacto ambiental desta fase deve basear-se em três “frentes”:

- usar modalidades de transporte que possuam menor pegada de carbono.
- incentivar o uso de combustíveis provenientes de fontes renováveis como o etanol e o biodiesel, que segundo a Tabela 7 levaria ao cancelamento da pegada de

carbono desta fase. Vale salientar, que os fatores multiplicativos são uma simplificação do fabricante para os combustíveis de fontes renováveis e, portanto, devem ser usados com cautela.

- priorizar o fornecimento local: isso acarretaria em uma diminuição da distância que os componentes devem percorrer até a planta em Manaus e, consequentemente, diminuiria o consumo de combustíveis pela frota vinda de outras regiões. Outro benefício que viria do fornecimento local é a diminuição da pegada de carbono ligada às fases de "material" e "manufatura", uma vez que a matriz de energia elétrica brasileira possui cerca de 65% de sua matriz baseada em hidrelétricas enquanto que a China, principal exportador de peças importadas, tem 83% de sua matriz baseada em energia térmica.

5.2 EFEITO

A Figura 28 evidencia a influência da matriz de energia elétrica no ciclo de vida da motocicleta em duas fases: "material" e "manufatura".

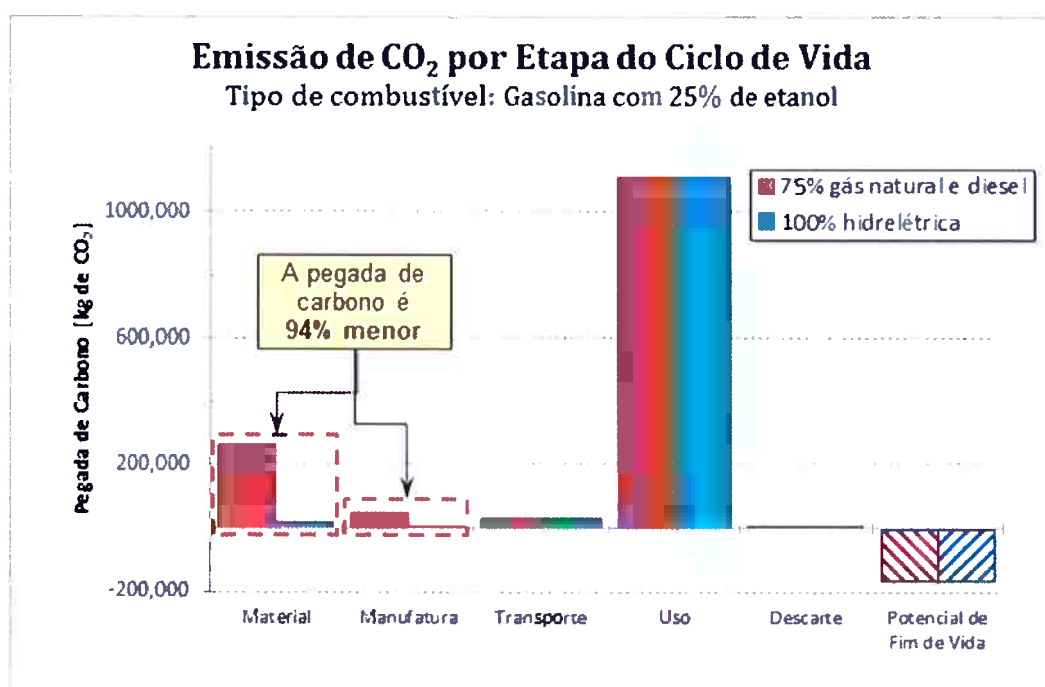


Figura 28 - Gráfico comparando o ciclo de vida de motocicletas produzidas em uma região cuja matriz de energia elétrica seja 75% gás natural e diesel e outra baseada em hidrelétricas. A

redução da pegada de carbono chega a 94% nas etapas diretamente dependentes da matriz de energia.

Tabela 14 - Tabela com os valores de pegada de carbono para cada fase do ciclo de vida de motocicletas usando como combustível gasolina com 25% de etanol, porém com matrizes de energia elétrica diferentes: Cenário 1 utiliza 75% gás natural e diesel enquanto cenário 2 utiliza 100% hidrelétricas.

	Pegada de carbono [kg]	
	Cenário 1	Cenário 2
Material	265.155	15.909
Manufatura	46.077	2.765
Transporte	29.830	29.830
Uso	1104.979	1104.979
Descarte	5.417	5.417
Total (1.ª Vida)	1451.457	1158.900
Potencial de Fim de Vida	-160.822	-160.822

A pegada de carbono é 94% menor nas fases diretamente dependentes da matriz de energia elétrica.

5.3 EFEITO DO TIPO DE COMBUSTÍVEL NA PEGADA DE CARBONO

O tipo de combustível tem influência somente na fase “uso”

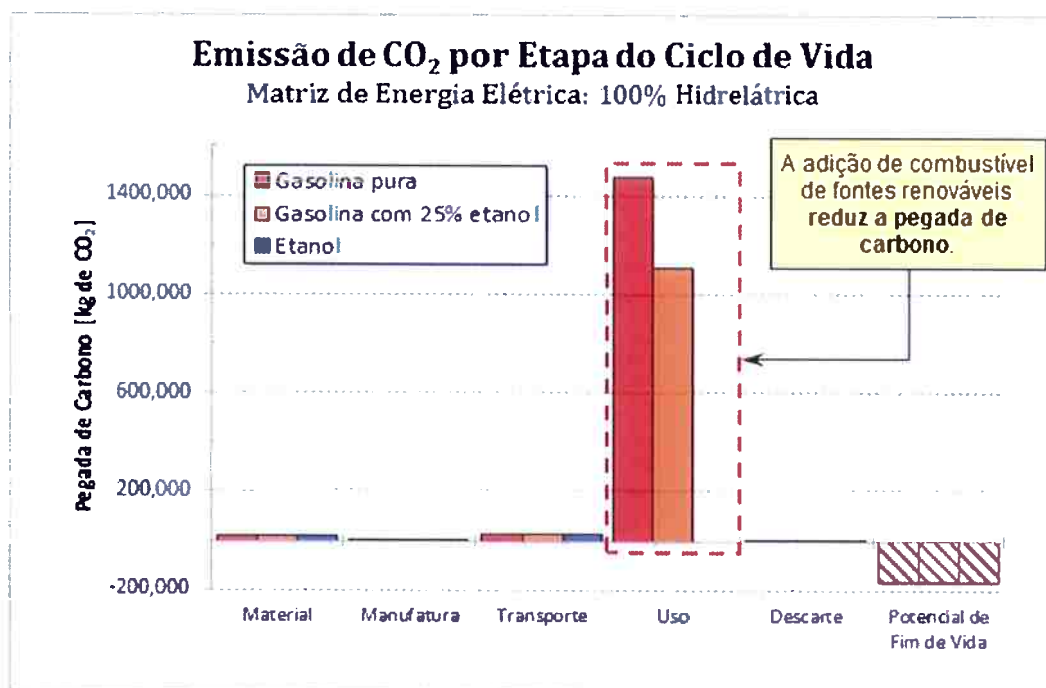


Figura 29 - Gráfico comparando o efeito do tipo de combustível usado na motocicleta. O aumento do uso de combustíveis provenientes de fontes renováveis diminui a pegada de carbono.

Tabela 15 - Tabela mostrando os valores de pegada de carbono para motocicletas produzidas em uma região cuja matriz de energia elétrica é constituída de 100% de hidrelétricas; porém que utilizam diferentes tipos de combustível: a motocicleta do cenário 3 usa gasolina pura; a do cenário 2, gasolina com 25% de etanol e a do cenário 4 usa etanol.

	Pegada de carbono [kg]		
	Cenário 3	Cenário 2	Cenário 4
Material	15,909	15,909	15,909
Manufatura	2,765	2,765	2,765
Transporte	29,830	29,830	29,830
Uso	1473,306	1104,979	0,000
Descarte	5,417	5,417	5,417
Total (1.ª Vida)	1527,226	1158,900	53,920
Potencial de Fim de Vida	-160,822	-160,822	-160,822

A redução da pegada de carbono com o aumento do teor de combustíveis provenientes de fontes renováveis é linear e é "zerada" quando o teor é 100% devido ao fator multiplicativo determinado pelo fabricante do *software*.

O item "potencial de fim de vida" é uma característica que mede, segundo a coleção de dados do fabricante do *software*, a característica de retornar energia ao processo de obtenção de matéria-prima através de processos de reciclagem, reuso, incineração e cominuição (Documentos do CES EduPack 2011). No Brasil, ainda não existe uma legislação sobre a responsabilidade sobre a gestão dos resíduos de veículos, porém isso já é uma realidade em muitos países da União Européia e Japão. (Holz, et al., 2009)

CAPÍTULO 6 - Conclusões

- A ferramenta de auditoria ambiental do *software* CES EduPack é uma possui diversas simplificações em relação a programas voltados para a análise de ciclo de vida; as principais simplificações são: inflexibilidade na alteração dos dados de gasto energético e pegada de carbono dos processos de obtenção e conformação, não considerar processos secundários (junção de materiais, tratamentos térmicos e superficiais etc.) e não poder selecionar origens diferentes para componentes que pertencem a mesma peça.
- Essas limitações do *software*, dependendo do escopo da análise, inviabilizam o uso desta ferramenta para avaliação do ciclo de vida de um produto. No presente trabalho; apesar de não ser possível avaliar o impacto dos processos de fabricação secundários (junção de materiais, tratamentos térmicos e tratamentos superficiais etc.), foi possível obter qual a fase crítica do ciclo de vida de uma motocicleta através do indicador ambiental de pegada de carbono e sugerir meios de minimizar o impacto ambiental dessas fases.
- A análise de ciclo de vida mostrou que, para os cenários 1, 2 e 3, a fase crítica é o “uso”; enquanto que para o cenário 4, a fase crítica é o “transporte”. Nos primeiros três cenários, a pegada de carbono é maior para a fase de “uso” e ela é diretamente proporcional à distância percorrida durante a vida útil. Já no cenário 4, a pegada de carbono da etapa “uso” é “zerada” devido ao fator de multiplicação enviado pelo Prof. Ashby em correspondência pessoal. Esse fator deve ser usado com cautela, pois apesar da pegada de carbono do etanol ser bem inferior ao da gasolina e outros combustíveis fósseis, ela não é zero.
- A matriz elétrica influencia diretamente as fases de “material” e “manufatura” do ciclo de vida de uma motocicleta. Países com matrizes de energia elétrica baseadas em energia hidrelétrica chegam a valores de pegada de carbono cerca de 94% menores que matrizes de energia elétrica baseadas em energia térmica (gás natural e diesel).
- O tipo de combustível influencia somente a fase “uso” da motocicleta e a utilização de combustíveis provenientes de fontes renováveis como o etanol podem reduzir drasticamente a pegada de carbono desta fase. Para veículos que usam combustíveis fósseis, a fase “uso” é a etapa crítica de seu ciclo de vida e

as estratégias para minimizar o impacto da fase devem basear-se em duas “frentes”: aumento da eficiência do motor e redução da massa do veículo usando materiais mais resistentes e que permitam uma redução da seção resistente levando à diminuição da massa.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Usar softwares mais voltados para análise de ciclo de vida como o GaBi (<http://www.gabi-software.com>), que, segundo o fabricante, é um dos *softwares* líderes para avaliação de ciclo de vida.
- Tentar avaliar os processos secundários como a soldagem, tratamento térmico, tratamentos superficial etc. com o auxílio de outros bancos de dados.
- Avaliar o impacto do tipo de transporte na pegada de carbono do ciclo de vida de motocicletas ou qualquer outro produto complexo.
- Realizar uma pesquisa sobre quais as ações mais comuns nas indústrias automobilísticas para a diminuição da pegada de carbono de seus produtos.

CAPÍTULO 7 - Referências Bibliográficas

[ABNT - Associação brasileira de Normas Técnicas]. 2001. *NBR ISO 14040 - Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil : s.n., 31 de Dezembro de 2001.

[ABRACICLO. 2011]. Dados do Setor. *ABRACICLO*. [Online] 20 de 8 de 2011. <http://www.abraciclo.com.br/>.

[Ashby, Michael F. 2009]. *Materials and the Enviroment: Eco-Informed Material Choice*. Burlington : Elsevier, 2009.

[Ashby, Michael, Shercliff, Hugh e Cebon, David. 2007]. *Materials - Engineering, Science, Processing and Design*. Cambridge : Butterworth-Heinemann, 2007.

[Associação Brasileira do Alumínio - ABAL. 2011]. Reciclagem: Números da Reciclagem. *Associação Brasileira do Alumínio*. [Online] Associação Brasileira do Alumínio, 2011. [Citado em: 03 de Novembro de 2011.] <http://www.abal.org.br>.

[Co-operative Bank. 2010]. Ethical Consumerism Report 2010. *Site do The Co-operative Bank*. [Online] 2010. [Citado em: 11 de Agosto de 2010.] <http://www.goodwithmoney.co.uk/ethical-consumerism-report-2010>.

[Curran, Mary Ann. 1996]. *Enviromental Life-Cycle Assesment*. New York : McGraw-Hill, 1996.

[Curran, Mary Ann, et al. 2006]. *SUMMARY OF GLOBAL LIFE CYCLE INVENTORY DATA RESOURCES*. Maio de 2006.

[Ghigonetto, Ricardo. 2010]. CG 150 Fan ganha o sistema Flex. *Honda*. [Online] 30 de Outubro de 2010. [Citado em: 03 de Novembro de 2011.] <http://www.honda.com.br/imprensa/noticias/Paginas/CG150FanganhaosistemaFlex.aspx>.

[Grande, Carlos. 2007]. Ethical consumption makes mark on branding. *European companies*. [Online] 20 de Fevereiro de 2007. [Citado em: 11 de Agosto

de 2011.] <http://www.ft.com/cms/s/2/d54c45ec-c086-11db-995a-000b5df10621.html#axzz1dyeBrylY>.

[Guineé, Jeroen B. 2004]. *Handbook on Life Cycle Assessment*. New York : Kluwer Academic Publishers, 2004.

[Holz, Raquel da Fonseca e Lindau, Luis Antonio. 2009]. *Panorama Internacional do Uso e Operação de Motocicletas*. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil : s.n., 2009.

[IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010]. Frota por UF. *Site do IBGE*. [Online] 2010. [Citado em: 02 de Outubro de 2011.] <http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm>.

[Instituto Akatu. 2010]. *Responsabilidade Social das Empresas: Percepção do Consumidor - Pesquisa 2010*. [Documento Digital formato PDF] São Paulo : Instituto Akatu, 2010.

[Instituto Aço Brasil]. 2010]. <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/relatorio.asp>. *Relatório de Sustentabilidade*. [Online] 2010. [Citado em: 03 de Novembro de 2011.] <http://www.acobrasil.org.br/>.

[Instituto de Metais Não-Ferrosos - ICZ. 2011]. O ZINCO E O MEIO AMBIENTE. <http://www.icz.org.br/zinco-meio-ambiente.php>. [Online] Instituto de Metais Não-Ferrosos, 2011. [Citado em: 03 de Novembro de 2011.] <http://www.icz.org.br>.

[Internacional Organization for Standardization. 2000]. *Environmental Management - Life cycle assesment - Life cycle impact assesment*. [Norma Técnica] Geneva : ISO, 2000. ISO 14042:2000.

[Macedo, Isaias C., Seabra, Joaquim E.A. e Silva, João E.A.R. 2007]. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass & Energy*. 2007.

[Malthus, Thomas. 1798]. An Essay on the Principle of Population. *Eletronic Scholarly Publishing*. [Online] 1798. <http://www.esp.org/books/malthus/population/malthus.pdf>.

[Ometto, Aldo Roberto. 2005]. Avaliação do Ciclo de Vida do Álcool Etílico Hidratado combustível pelos Métodos EDIP, Exergia e Emergia. *Tese de Doutorado*. São Carlos, SP, Brasil : s.n., 2005.

[Scientific Applications International Corporation (SAIC). 2006]. Life Cycle Assesment: Principles and Practice. *Enviromental Protection Agency*. [Online] 2006. <http://www.epa.gov>.

[Vasconcellos, Eduardo A. 2008]. O custo social da motocicleta no Brasil. *Revista dos Transportes Públicos - ANTP*. 3.º e 4.º Trimestres de 2008, pp. 127-142.

[Xavier, Mauricio , Zaccar, Nathalia e Monteiro, Flora. 2011]. Trabalho dos motoboys ganha regulamentação. *Veja SP*. [Online] Editora Abril, 7 de Dezembro de 2011. <http://vejasp.abril.com.br/revista/edicao-2246/motoboys-regulamentacao>.