

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA

DOUGLAS PEREIRA VASCONCELLOS

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO PELA
PRODUÇÃO DE UM MOTOR FLEX**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2015

DOUGLAS PEREIRA VASCONCELLOS

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO PELA
PRODUÇÃO DE UM MOTOR FLEX**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Coordenação de
Engenharia Mecânica (COEME), da
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná – UTFPR.

Orientador: Prof. Dr. José Tomadon
Júnior.

CORNÉLIO PROCÓPIO
2015

AGRADECIMENTO

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. José Tomadon Júnior, pela dedicação e pela sabedoria com que me guiou neste trabalho.

Aos meus amigos de longa data, tanto da Universidade, quanto da minha cidade natal.

A Secretaria do Curso de Engenharia mecânica, e todos os professores que ajudaram e me ensinaram durante o curso.

Agradeço também a minha família, pelas palavras de incentivo e conforto, pois foram importantes para vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

VASCONCELLOS, Douglas. **Avaliação do impacto ambiental causado pela produção de um motor Flex**. 2015. 45f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2015.

O planeta passa por um momento de muita discussão e preocupação, sobre mudanças climáticas, o uso de recursos naturais e a produção de produtos eco eficiente. A maioria dos veículos brasileiros utiliza o motor Flex em sua composição. Esta pesquisa apresenta uma abordagem teórico-conceitual da questão da produção de um motor Flex brasileiro, com foco na avaliação do ciclo de vida do motor. Já que os veículos estão totalmente presente no dia a dia da população e seu uso é indispensável, a importância de fazer um estudo sobre a produção de um motor Flex. Com uma entrevista feita a um funcionário de uma montadora, informações do motor foram coletadas, como peso das peças, materiais que compõem e processos de fabricação das peças, também foi adquirido através de um artigo o valor de energia gasto para produção de um motor. Com essas informações notou-se que o motor era composto por três materiais, ferro fundido, alumínio e latão. Assim foi simulado o processo de fabricação do motor, e conseqüentemente gerados os impactos ambientais causados pela fabricação do motor. Apresentou-se que o maior causador de impactos é a produção de alumínio.

Palavras-chave: Motor Flex. Avaliação do Ciclo de vida. Impacto ambiental.

ABSTRACT

VASCONCELLOS, Douglas. **Environmental impact assessment caused by the production of a Flex engine**. 2015. 45p. Completion of course work (graduation) – Mechanical Engineering, Technical University Federal of Parana. Cornélio Procópio, 2015.

The planet goes through a time of much discussion and concern about climate change, the use of natural resources and the production of eco efficient products. Most Brazilian vehicles use the Flex engine in its composition. This research presents a theoretical and conceptual approach to the production of a Brazilian Flex engine, focusing on appraisal engine life cycle. Since the vehicles are fully present in everyday life of the population and its use is indispensable, the importance of a study on the production of a Flex engine. In an interview to an employee of an automaker, engine information was collected, such as weight parts, materials composing and processes of production of details, was also acquired through an article spending power value to produce an engine. With this information it is noted that the engine was composed of three materials, cast iron, aluminum and brass. Thus it was simulated motor manufacturing process, and thus the environmental impacts generated by the motor manufacture. He introduced himself as the major cause of impact is the production of aluminum.

Keywords: Engine Flex. Life cycle assessment. Environmental impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estágio ciclo de vida.....	12
Figura 2 – Procedimentos ACV	14
Figura 3 – Fundição.....	18
Figura 4 – Substâncias emitidas pela produção do ferro fundido.....	27
Figura 5 – Substâncias emitidas pela produção do alumínio.....	29
Figura 6 – Principais substâncias promotoras da depleção abiótica.....	32
Figura 7 – Principais combustíveis fósseis promotores da depleção abiótica.....	33
Figura 8 – Principais substâncias promotoras da ecotoxicidade de água doce.....	35
Figura 9 – Principais substâncias promotoras da ecotoxicidade terrestre.....	36
Figura 10 – Principais elementos químicos promotores da toxicidade humana.....	38
Figura 11 – Principais gases promotores do aquecimento global.....	39
Figura 12 – Principais substâncias promotoras da depleção da camada de ozônio.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Componentes do motor.....	23
Tabela 2 – Energia consumida.....	24
Tabela 3 – Produção ferro fundido.....	25
Tabela 4 – Produção de alumínio.....	28
Tabela 5 – Produção latão.....	30
Tabela 6 – Depleção abiótica	31
Tabela 7 – Depleção abiótica combustíveis fósseis.....	33
Tabela 8 – Ecotoxicidade de água doce.....	34
Tabela 9 – Ecotoxicidade terrestre.....	36
Tabela 10 – Toxicidade humana.....	37
Tabela 11 – Aquecimento global.....	39
Tabela 12 – Depleção da camada de ozônio.....	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 OBJETIVO GERAL.....	10
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICO.....	10
3 JUSTIFICATIVA.....	11
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
4.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	12
4.2 IMPACTOS AMBIENTAIS.....	14
4.3 FUNDIÇÃO E MATERIAIS.....	17
4.4 EMISSÕES VEICULARES.....	19
5 METODOLOGIA.....	22
5.1 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
6 RESULTADOS.....	23
6.1 MOTOR FLEX.....	23
6.2 ENERGIA CONSUMIDA.....	24
6.3 PRODUÇÃO DOS MATERIAIS.....	25
6.3.1 Ferro fundido.....	25
6.3.2 Alumínio.....	27
6.3.3 Latão.....	30
6.4 IMPACTOS AMBIENTAIS.....	31
6.4.1 Depleção abiótica.....	31
6.4.2 Depleção abiótica combustíveis fósseis.....	32
6.4.3 Ecotoxicidade de água doce.....	34
6.4.4 Ecotoxicidade terrestre.....	35
6.4.5 Toxicidade humana.....	37
6.4.6 Aquecimento global.....	38
6.4.7 Depleção da camada de ozônio.....	40
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

Hoje o planeta passa por um momento de muita discussão e preocupação, sobre tecnologias e a produção de produtos eco eficientes (SAADE, 2013). Um meio que pode ser de ajuda nessa discussão é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Vários países já adotam regulamentos ambientais para o controle da poluição industrial e a necessidade de rotulagem ambiental ainda mais no caso de motores Flex, sendo que nos tempos de hoje é inevitável o uso de automóveis (TAKEDA, 2008).

Uma definição de ACV dada por Rissato (2012, p.21):

Avaliação do Ciclo de Vida é um instrumento de avaliação do impacto ambiental associado a um produto ou processo, compreendendo etapas que vão desde a retirada das matérias-primas elementares da natureza que entram no sistema produtivo (berço) à disposição do produto final, após uso (túmulo). O estudo inclui extração, processamento da matéria prima, manufatura, transporte, distribuição, uso, reuso, manutenção, reciclagem e disposição final. A ACV permite uma visão abrangente dos diversos impactos provocados ao meio ambiente, possibilitando a identificação das medidas mais adequadas do ponto de vista ambiental e econômico para sua minimização, constituindo-se assim numa técnica de gerenciamento ambiental e de desenvolvimento sustentável.

Assim a ACV, será utilizada para analisar a produção de um motor Flex, e suas emissões ao meio ambiente, já que os motores Flex hoje predominam no mercado automobilístico no Brasil.

Em metrópoles do país, da alta quantidade de compostos químicos emitida diariamente para a atmosfera, os veículos automotores têm uma grande parcela, sendo o principal fator de poluição nessas áreas (CAYRES, 2006).

No começo dos anos 2000, começaram a ser comercializados os primeiros veículos Flex no Brasil. Assim seriam a solução para a diminuição da poluição em metrópoles (LOIOLA et al., 2011).

O funcionamento do motor Flex é a partir de um ciclo termodinâmico chamado Ciclo Otto, que representa o funcionamento de motores de combustão interna, popularmente conhecidos como motores a explosão. O ciclo foi definido e patenteado pelo engenheiro francês Beaus de Rochas,

porém, o engenheiro alemão Nikolaus August Otto o implementou, sendo o primeiro a construir um motor com base nesse ciclo.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar através da Avaliação do Ciclo de Vida, os impactos ambientais causados pela produção de motores Flex.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as emissões causadas pelos diferentes materiais que compõem o motor Flex;
- Calcular o impacto da produção do motor Flex, utilizando o banco de dados e o software SimaPro.

3 JUSTIFICATIVA

A busca por processos de produção menos ofensivos ao planeta é cada vez mais importante, sendo que a maioria das matérias primas utilizadas nos processos de fabricação não são reaproveitadas. Assim, a importância de estudar a fabricação de um motor Flex é que sua composição envolve diferentes materiais, e atualmente a utilização de um automóvel por uma pessoa é quase indispensável. Sendo assim, a importância desse estudo também está relacionada às causas ao meio ambiente e a saúde humana, provenientes da produção do motor Flex.

A produção de veículos tende a aumentar com o crescimento populacional, influenciando na quantidade de produção do motor Flex. Isso acarretará o aumento da exploração de recursos naturais e dos gases emitidos, ampliando a emissão de diferentes tipos de poluentes atmosféricos, como: partículas ultrafinas e compostos orgânicos, que além de afetar o meio ambiente também afeta a saúde humana, que na maioria das vezes é comprometida pelas doenças respiratórias, causadas por essa poluição, como: asma, sinusite, amigdalite, otite média, faringite, laringite entre outras.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

No final da década de 1960, nos Estados Unidos, foram desenvolvidos as primeiras técnicas que envolvem a ACV ou em inglês LCA (*Life Cycle Assessment*), com o objetivo de avaliar os impactos ambientais de produtos (MONTEIRO, 2008).

O estudo mais conhecido desta fase inicial foi a análise que a Coca-Cola encomendou para o *Midwest Research Institute* – MRI, cujo relatório foi publicado em 1969, comparando diversas embalagens de bebida no que diz respeito a disposição de resíduos e consumo de recursos naturais (CHRISTIANSEN 1996 apud MONTEIRO, 2008).

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta de gestão ambiental que permite avaliar todos os possíveis efeitos ambientais ocorridos ao longo da trajetória do produto, desde a extração da matéria-prima, passando pela produção, até seu uso final (MONTEIRO, 2008).

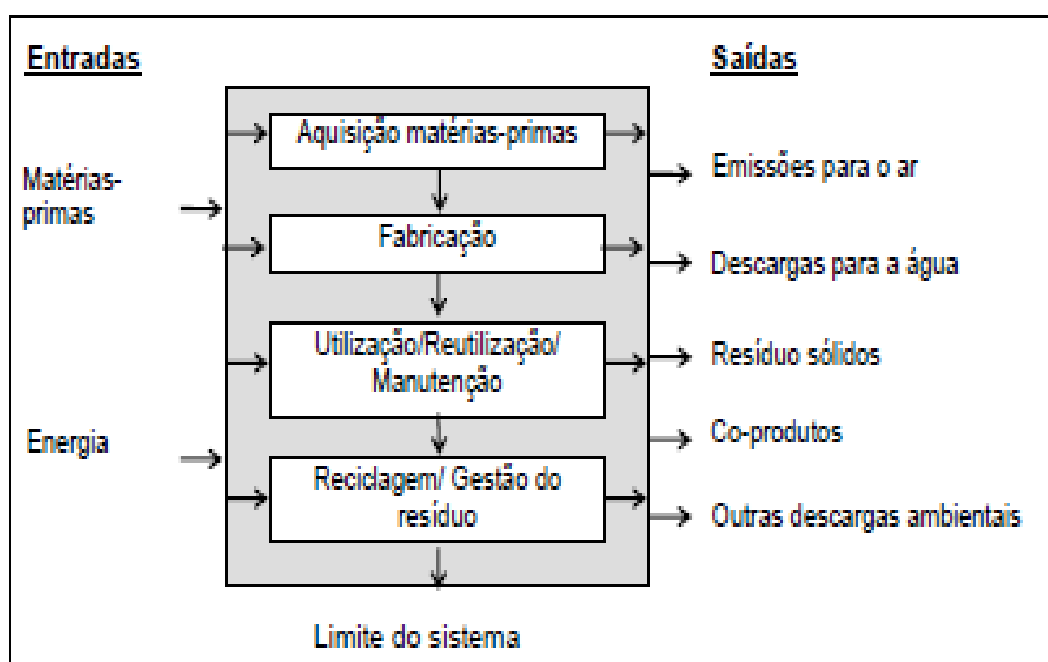


Figura 1 – Estágio do ciclo de vida
Fonte: (GÉRVASIO, Helena 2015).

A ACV, compreende sistematicamente um sistema industrial, identifica e avalia oportunidades para minimizar o uso de matérias primas e energia, e as consequências globais sobre o meio ambiente, referente ao uso de recursos naturais e as emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos (YAROS, 2013).

A ACV não irá determinar qual produto ou processo é melhor, apenas aquele que pode acarretar menor carga ambiental. O autor ressalta que a informação desenvolvida em uma ACV deve ser usada como um componente para uma decisão mais focada na análise do processo em relação a custo e performance (BENJAMIN 2002 apud MONTEIRO, 2008).

Para Marcio (2008), a utilização da ACV, como ferramenta da avaliação do impacto ambiental, ajuda a evitar a substituição de um problema por outro, no sentido de evitar um possível deslocamento de impacto ambiental de um estágio de um ciclo de vida para outro.

O processo de ACV é normalmente dividido em 4 fases, são elas: definição de objetivos e escopo, inventário, avaliação dos impactos e interpretação (FERREIRA, 2004).

A padronização dos procedimentos da ACV pela ISO se deu dentro da estrutura da ISO 14000 - Sistema de Gestão Ambiental. As normas relacionadas a ACV são:

- ISO 14040: ACV – Princípios Gerais e Estrutura
- ISO 14044: ACV – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações.

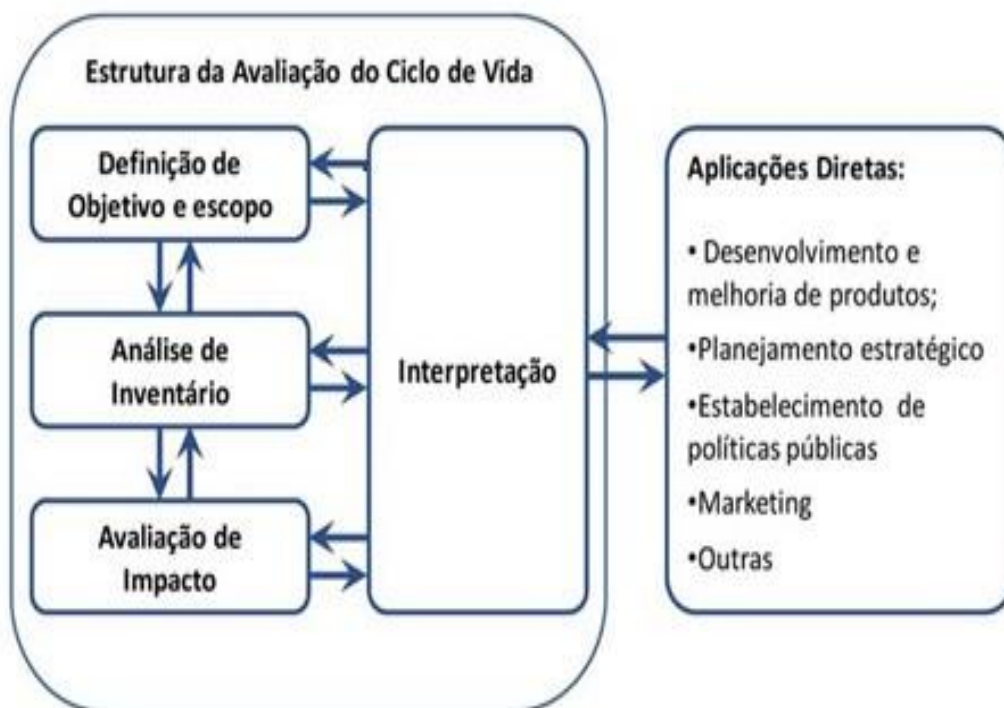


Figura 2 – Procedimentos ACV
Fonte: (ISO 14044, 2009).

Na ACV são avaliados os descartes gerados nas diferentes etapas do ciclo, como as emissões atmosféricas, a geração de efluentes líquidos e resíduos sólidos, o consumo de energia e de matérias-primas e os efeitos ambientais do uso e disposição do produto (MONTEIRO, 2008).

4.2 IMPACTOS AMBIENTAIS

Impactos ambientais evidenciam os danos causados ao meio ambiente pelo ser humano, o uso descontrolado de recursos naturais e combustíveis fósseis, além de levar ao esgotamento dos mesmos, são os principais fatores causadores desses impactos.

A ACV deve considerar os impactos ambientais em relação à saúde humana e ao ecossistema, levando em consideração a depreciação e degradação dos recursos naturais, não tendo o propósito de avaliar efeitos econômicos e sociais (LINDORFS 1995 apud MONTEIRO, 2008).

A avaliação de impacto, é uma etapa da ACV que visa identificar, caracterizar e avaliar, quantitativa e qualitativamente, impactos potenciais das intervenções ambientais identificadas na etapa de análise do inventário (MONTEIRO, 2008).

As categorias de impactos ambientais geralmente utilizadas em sistemas de Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida são depleção abiótica, depleção de combustíveis fósseis, aquecimento global, depleção da camada de ozônio, toxicidade humana e ecotoxicidade (CHEHEBE 1998 apud MONTEIRO, 2008).

Depleção abiótica: aborda o consumo dos recursos naturais não bióticos que são utilizados como insumos no ciclo de vida do produto (MONTEIRO, 2008).

Destaca entre eles, a extração de combustíveis fósseis e minérios (CHEHEBE 1998 apud MONTEIRO, 2008).

Esta categoria utiliza algoritmos relacionando a reserva do recurso natural com o seu uso (SANTOS 2006 apud MARCIO, 2008).

O resultado desta categoria é medida em relação à oferta global do recurso, Potencial de depleção abiótica (Kg SB eq) (CHEHEBE 1998 apud MONTEIRO, 2008).

Depleção de combustíveis fósseis: a intensa exploração de combustíveis fósseis, petróleo, gás natural, carvão entre outros, para a produção de energia. Esse consumo desenfreado pode levar ao esgotamento desses recursos naturais (ORLANDIN, 2013).

Aquecimento Global: o crescimento da radiação térmica próximo a superfície do globo eleva sua temperatura, causando desequilíbrios ecológicos como o degelo das calotas polares e conseqüentemente, a diminuição da área ocupada do planeta (KULAY 2000 apud MONTEIRO, 2008).

O aumento da temperatura ocorre principalmente por causa do aumento das emissões de gases como CO₂, N₂O, CH₄ e aerossóis na atmosfera terrestre, o que impede a dispersão dos raios solares que atingem o planeta (MONTEIRO, 2008).

Os fatores de conversão para transformação dos gases do efeito estufa em CO₂ equivalente são denominados Potenciais de Aquecimento Global - (PAG Kg CO₂ eq) (MONTEIRO, 2008).

O potencial de determinada substância é a taxa entre a contribuição à absorção do calor irradiado resultante da emissão instantânea de 1 kg de um gás de efeito estufa e uma emissão igual de CO₂ integrado em um dado tempo (SANTOS 2006 apud MONTEIRO, 2008).

Depleção da camada de ozônio: a destruição da camada de ozônio aumenta a quantidade de raios ultravioletas que atingem a superfície da Terra, o que pode causar o aumento de doenças e interferências no ecossistema (CHEHEBE 1998 apud MONTEIRO, 2008).

O uso de aerossóis a base de haletos orgânicos como o clorofluorcarbono (CFC-11) e seus derivados são os principais agentes de depleção da camada de ozônio (KULAY 2000 apud MONTEIRO, 2008).

O modelo de caracterização desse impacto é definido por Potencial de Depleção de Camada de Ozônio (PDCO) para os mais diferentes gases em termos de kg CFC-11 equivalente/kg emissão (KULAY 2004 apud MONTEIRO, 2008).

Toxicidade humana: a exposição do ser humano a substâncias tóxicas através do ar, da água ou do solo, principalmente por intermédio da cadeia alimentar, pode causar problemas à saúde humana (CHEHEBE 1998 apud MONTEIRO, 2008).

Os fatores que caracterizam a toxicidade humana, são descritos como Potencial de Toxicidade Humana (PTH-Kg 1,4 DB) (KULAY 2004 apud MONTEIRO, 2008).

O valor de PTH para uma dada substância, é medido como a massa do corpo humano que estaria exposta ao limite toxicológico aceitável por 1 Kg de substância (CHEHEBE 1998 apud MONTEIRO, 2008).

Ecotoxicidade: a exposição da fauna e da flora a substâncias tóxicas pode trazer consequências graves, entre as quais o desbalanceamento da cadeia alimentar, que poderá resultar inclusive na extinção de espécies, a ecotoxicidade pode ser aquática ou terrestre (KULAY 2000 apud MONTEIRO, 2008).

Os resultados do Potencial de Ecotoxicidade Águatica (PEA) referem-se ao volume de água poluída a um nível crítico por kg de substância, enquanto que os resultados do Potencial de Ecotoxicidade Terrestre (PET)

referem-se à massa de solo poluída a um nível crítico por kg de substância (CHEHEBE 1998 apud MONTEIRO, 2008).

Tais indicadores podem ser aplicados às escalas local, regional, continental e mesmo à escala global (KULAY 2004 apud MONTEIRO, 2008).

4.3 FUNDIÇÃO E MATERIAIS

O processo de fundição consiste na fabricação de peças e objetos variados, através do vazamento de metais ou ligas metálicas em estado líquido em um molde. Comparado com outros processos, em muitos casos a fundição se torna o processo mais viável por ser simples e econômico, principalmente quando se trata de peças de grande porte, de geometria intrincada ou canais internos e cavidades. A fundição pode fornecer produtos já em seu formato final, ou produtos que precisarão passar por outro processo para a obtenção do seu formato final, como: a conformação mecânica, ajustes dimensionais e acabamentos. Às vezes, quando necessário as peças passam pelo tratamento térmico, para que as suas propriedades mecânicas possam ser melhoradas, já que as peças fundidas apresentam menor resistência mecânica do que as produzidas por processos de conformação (FARIA, 2015).

Para o início do processo de fundição, é necessário a produção de moldes, nos quais serão usados para a formação do fundido, podendo ser permanente ou não. Existem vários processos diferentes para se produzir peças fundidas, os mais comuns são: fundição por gravidade, por centrifugação, sob pressão e de precisão. Cada um se ajusta a determinadas exigências de qualidade, custo e tempo (DEMARCHI, 2015).



Figura 3 – Fundição
Fonte: Fogaça (2015).

Definição de Ferro fundido: ferro fundido pode ser classificado como uma liga de ferro-carbono, onde o carbono possui teores maiores que 2%. O ferro fundido é uma liga ternária de Fe-C-Si, podendo aparecer o silício e o carbono em porcentagens parecidas ou superiores que o próprio carbono (PUC-RIO, p. 17).

Definição Alumínio: alumínio é um mineral pois é um composto químico sólido, homogêneo e cristalino, é um metal que possui número atômico igual a 13 e massa atômica ponderada 27 u. O alumínio é um metal não-nobre, já que não é encontrado puro na natureza, porém é o metal mais abundante da crosta terrestre (FOGAÇA, 2015).

O alumínio é considerável mais leve que o ferro fundido, já fez avanços fenomenais em blocos de motores, substituindo o ferro fundido e aços (WANG, 2013).

Definição Latão: é uma liga de metal, composta por cobre e zinco de grande utilização no setor industrial. Hoje o bronze ou o latão material é utilizado em quase todos os tipos de indústrias, tais como o aeroespacial, agricultura, marinha, fixação, pneumática, canalizações sanitárias, cabo acessórios, componentes elétricos, componentes eletrônicos, petróleo e gás,

montagem de peças, objetos decorativos, construção civil, mecânica, hardware e máquina a partes (CARDOSO, 2015).

4.4 EMISSÕES VEICULARES

Principais poluentes emitidos pelos veículos são provenientes do processo de combustão incompleta, quando o ar não é suficiente para o combustível injetado no cilindro, assim não obtendo a queima total da mistura (GUARIEIRO; VASCONCELLOS; SOLCI, 2011).

Por volta de 3000 diferentes compostos provenientes da ação humana já foram lançados no planeta, grande parte deles orgânicos. Essa complexidade de poluentes causa um alerta devido ao impacto que pode causar à saúde e ao ambiente durante os anos (GUARIEIRO, 2011).

Nas metrópoles do país, a quantidade de milhares de veículos gera toneladas de gases poluentes por dia, tornando-se o principal fator de degradação da qualidade do ar. Os principais poluentes emitidos na atmosfera pelos veículos automotores são provenientes de processos de combustão incompleta (CAYRES, 2006 apud LOIOLA et al., 2011).

No Brasil, a normas que regulamentam a emissão de poluentes é a NBR 6601 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005), sendo considerados poluentes os gases CO (monóxido de carbono), CH₄ (como o metano), NO_x (óxido de nitrogênio), RCHO (aldeídos) e o dióxido de carbono (CO₂) (LOIOLA et al., 2011).

Os efeitos de emissões podem ser caracterizados pela alteração de condições consideradas normais e pelo aumento de problemas já existentes, que podem ser sentidos na saúde, no bem estar da população, na vegetação, na fauna e sobre os materiais (GUARIEIRO, 2011).

A atenção das autoridades e dos pesquisadores não deve ser apenas aos padrões da qualidade do ar, os compostos orgânicos apesar de não serem regulamentados causam danos ao ambiente e principalmente, à saúde. Por isso, às emissões veiculares de compostos orgânicos voláteis (COV) e ao

material particulado devem ser estudadas com uma maior atenção (GUARIEIRO, 2011).

A importância de estudar as emissões, é que elas exercem um papel relevante para vida e envolvem vários domínios do conhecimento, assim as partículas: Agem como núcleo de condensação de nuvens, podendo modificar o clima em escala local e global, bem como afetar a visibilidade atmosférica, podendo absorver ou espalhar a radiação solar, com efeitos potencialmente significativos para o aquecimento global (GUARIEIRO, 2011).

As emissões são transportadoras de substâncias poluentes para ecossistemas terrestres e aquáticos, assim como realizam o transporte desses materiais a longas distâncias, tendo um papel importante no balanço geoquímico, na disseminação da poluição e na deposição efetiva de partículas sobre o solo e a água (GUARIEIRO, 2011).

Dependendo do seu tamanho, as partículas podem se instalar em diferentes regiões do sistema respiratório. As partículas inaláveis grossas (fração inalável) são as que possuem o diâmetro aerodinâmico médio (d_p) entre 2,5 e 10 μm ($\text{MP}_{2,5}$ e MP_{10}) e as partículas finas ou respiráveis (fração torácica) são as inferiores a 2,5 μm ($\text{MP}_{2,5}$). Estudos epidemiológicos associaram a exposição às partículas à incidência de mortes prematuras, asma crônica e aumento de internações hospitalares de crianças e pessoas idosas (GUARIEIRO, 2011).

A poluição atmosférica pode ser definida como a presença de substâncias estranhas na atmosfera, resultantes da atividade humana ou de processos naturais (ELSON, 1992 apud HOLANDA, 2010).

Diariamente, as emissões de gases poluentes lançados na atmosfera, aumentam a deterioração da qualidade do ar, causando um efeito danoso ao meio ambiente (HOLANDA, 2010).

As emissões veiculares tem sido o foco de uma política de controle cada vez mais rígida, que objetiva a minimização dos riscos à saúde humana (HOLANDA, 2010).

Os veículos Flex foram desenvolvidos para atender a uma demanda do mercado que tem se confirmado nos últimos anos, que é a utilização de diversos tipos de combustíveis em um mesmo motor (HOLANDA, 2010).

A tecnologia dos veículos equipados com o sistema Flex estão no sistema de injeção eletrônica, que gerencia uma mesma unidade de comando eletrônico (UCE) a utilização de combustíveis diferentes, o motor Flex possui bicos injetores que realizam a alimentação (HOLANDA, 2010).

Os motores Flex possuem apenas um tanque de armazenagem. Assim, no processo de combustão, ocorre a queima de qualquer um dos combustíveis. O motor Flex possui uma taxa de compressão (índice que mede o quanto a mistura de ar combustível é comprimida antes de explodir). Em geral, a Gasolina trabalha com uma taxa de compressão de 9:1 (o volume original é reduzido 9 vezes), enquanto o Etanol opera em 12:1. Os carros Flex usam uma taxa ao redor de 11:1. (CARROS NA WEB, 2015).

Veículos se tornaram a principal causa da crise global de energia e das emissões de gases do efeito estufa, 60,5% do consumo global de petróleo eram de veículos em 2006, e em 2020 essa proporção passará a ser de pelo menos 62% (LIN B, 2011).

Nos últimos 10 anos a emissão de CO₂ global foi aumentada em 13%, com 25% de aumento na produção de veículos, e para o ano de 2050 é esperado um aumento de 30% a 50% no aumento da emissão global de CO₂ (LIN B, 2011).

5 METODOLOGIA

Serão mostrados os materiais e métodos utilizados durante a pesquisa e os resultados obtidos quanto à produção do motor.

5.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada uma revisão bibliográfica em livros, revistas eletrônicas, artigos científicos divulgados no meio eletrônico e bibliotecas acadêmicas online, para levantar o conhecimento sobre motores Flex, processos de fabricação de peças e metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida.

Para realização desse trabalho, foi feita uma entrevista com um funcionário do setor de peças de uma montadora, para o conhecimento das peças que compõem um motor Flex, o devido material de cada peça, o processo de fabricação das peças e o peso de cada peça. O funcionário utilizou o software da montadora para passar as informações necessárias sobre o motor Flex.

Com as informações de quantidade de material do motor adquiridas, o dado de energia consumida em um processo de fabricação do motor, foi conhecido através de um artigo do banco de dados do SimaPro (base de dados Ecoinvent).

Em seguida foi utilizado o software SimaPro para modelar o processo de fabricação de cada material que compõem o motor Flex sendo eles o ferro fundido, alumínio e o latão, assim foram adquiridos os inventários da entrada e saída do motor Flex.

Foi utilizado o banco de dados EcoInvent 3 para a obtenção dos dados de entrada e saída do processo de fabricação do motor Flex.

Para a avaliação dos impactos, foi utilizado a metodologia CML-IA baseline V3.01/EU25.

6 RESULTADOS

6.1 MOTOR FLEX

Segundo o entrevistado, as peças que compõem o motor com seus respectivos pesos é mostrado na tabela 1. O peso do motor é líquido, o que não considera as partes de transmissão e embreagem do motor.

Peças	Peso (Kg)	Material
Bloco do motor	40	Ferro fundido
Cabeçote	12,2	Alumínio
Cárter	1,962	Latão
Pistão	0,8	Alumínio
Biela	1,724	Alumínio
Virabrequim	8,055	Ferro fundido
Bomba de óleo	0,85	Ferro fundido
Quantidade de óleo	3,5	Óleo de motor
Bronzinas, parafusos, velas e válvulas	0,9	Ferro fundido
Total	70	

Fonte: Montadora

Pela tabela nota-se que o motor é composto a partir de quatro materiais ferro fundido, alumínio, latão e óleo de motor que não será utilizado na avaliação do ciclo do motor.

Nota-se que a maior quantidade de material que compõem o motor é o ferro fundido, com 49,8 kg de material ou seja 71,15 % do total, já o alumínio compõe o motor com 14,724 kg o que é 21 % do total e o latão com 1,962 kg completa a quantidade de material do motor.

6.2 ENERGIA CONSUMIDA

A tabela 2 mostra a energia necessária para a fabricação de alguns motores.

Tabela 2 – Energia consumida

Utilização de energia por motor em um ciclo de vida (GJ)			
Motores	Linha de base	Reduzido	Leve
Fabricação	15	10	18

Fonte: (DHINGRA; SUJIT, 2014).

Na avaliação do ciclo do motor Flex foi utilizado o menor valor de energia o do motor Reduzido, pois é o que mais se assemelha ao motor Flex brasileiro por ser um motor de menor potência e peso.

Observa-se como essa quantidade de energia é alta, 1 tep (tonelada equivalente de petróleo), é a quantidade de energia liberada em mil toneladas de petróleo, que liberam 42 GJ. Sendo que utilizando 10 GJ na produção de um motor, utiliza-se 240000 mil quilos de petróleo (INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, 1994).

6.3 PRODUÇÃO DOS MATERIAIS

6.3.1 FERRO FUNDIDO

Abaixo o inventário do material ferro fundido o metal mais utilizado na produção do motor, o inventário mostra os meios de entrada e saída na produção de 1 kg de ferro fundido.

Tabela 3 - Produção ferro fundido

Correntes de entrada	Unidade	Quantidade
Recursos		
Água, refrigeração	m ³	0,010432
Materiais		
Ferro-gusa	Kg	1,4365
Ânodo, para eletrólise de alumínio	Kg	0,006
Oxigênio líquido	Kg	0,10146
Materiais refratários básicos	Kg	0,27
Cal em pedaços soltos	Kg	0,11
Resíduos inertes para disposição final	Kg	-0,01
Forno conversor arco elétrico	Kg	8E-11
Sucata de ferro classificada e pressionada	Kg	0,7735
Poeira de arco elétrico, a forno de aço não ligado	Kg	-0,0192
Escória de arco elétrico, a forno de aço não ligado	Kg	-0,1856
Combustíveis		
Gás Natural	m ³	0,05
Carvão de pedra	Kg	0,0285
Eletricidade		
Média tensão	KWh	0,847
Correntes de saída	Unidade	Quantidade
Emissões para o ar		
Partículas, > 2.5 um, e < 10 um	Kg	3,3192E-04
Níquel	Kg	1,401E-06

Tabela 3 – Produção ferro fundido

		(continuação)
Fluoreto de hidrogênio	Kg	4,7E-06
Crômio	Kg	2,508E-06
Dioxina de Seveso	Kg	9,07E-12
Hidrocarbonetos Aromáticos	Kg	1,54E-04
Bifenilos policlorados	Kg	4,65E-08
Benzeno	Kg	4,57E-06
Cloreto de hidrogênio	Kg	1,04E-05
Mercúrio	Kg	4,476E-06
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	Kg	7,45E-08
Zinco	Kg	4,588E-05
Cádmio	Kg	7,3E-08
Hexaclorobenzeno	Kg	4E-08
Partículas, < 2.5 um	Kg	3,32E-04
Chumbo	Kg	3,616E-06
Cobre	Kg	4,61E-07
Dióxido de enxofre	Kg	1,54E-04
Partículas, > 10 um	Kg	1,1715E-04
Monóxido de carbono	Kg	4,64E-03
Óxidos de nitrogênio	Kg	3,6E-04

Fonte: Base de dados SimaPro

Nota-se que para a produção de 1 Kg de ferro fundido, é utilizado um total de 2,48 Kg de materiais, sendo que 58% desse material é o ferro gusa, e 31,15% sucata de ferro classificada e prensada, proveniente da reciclagem do metal para a produção de ferro fundido.

Nota-se pelo inventário da produção do ferro fundido, que a única corrente de saída do processo é em relação as emissões para o ar. Com emissões de gases, metais pesados e outras substâncias.

Destaque para a variedade de metais pesados emitidos, sendo eles o crômio, mercúrio, cádmio, e chumbo, apesar da quantidade de cada metal emitido ser baixa, esses metais pesados em contato com o organismo humano, podem causar diversos danos à saúde, levando até o desenvolvimento de células cancerígenas.

A figura 4 mostra as quatro substâncias, em maior quantidade emitidas durante o processo de produção do ferro fundido.

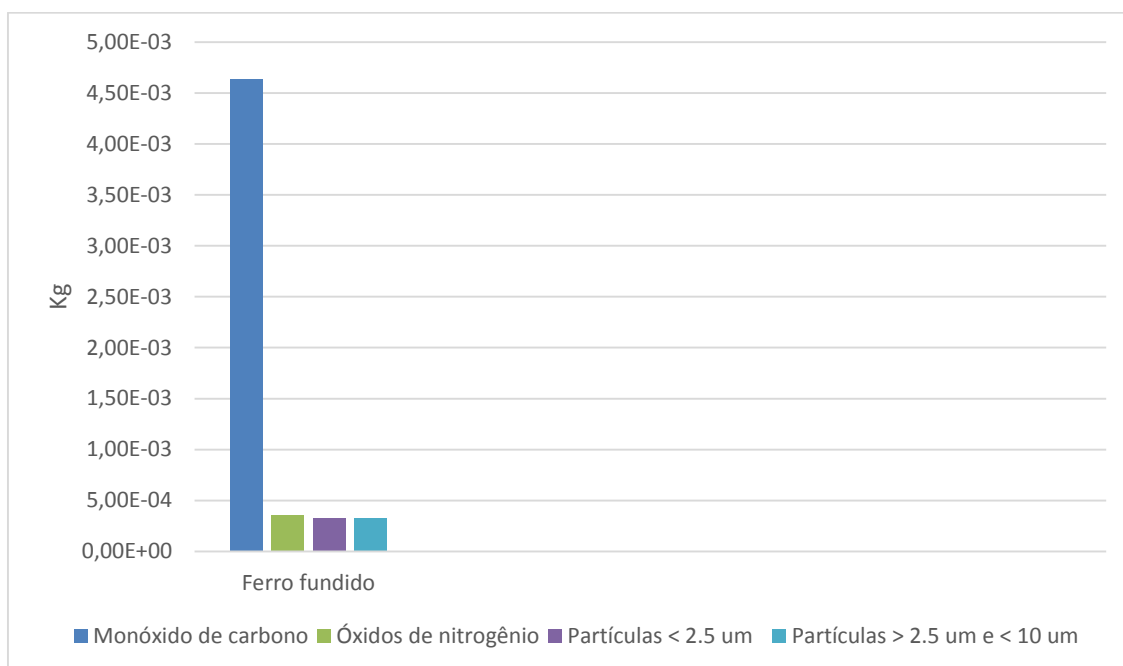


Figura 4 – Substâncias emitidas pela produção do ferro fundido.

Como a figura 4 mostra, na produção de ferro fundido a substância com maior emissão é o monóxido de carbono (CO), um gás incolor, inodoro e muito perigoso devido a sua grande toxicidade. O CO em reação com o oxigênio forma o dióxido de carbono, também chamado de gás carbônico, esse gás tem um grande efeito no impacto de aquecimento global.

6.3.2 ALUMÍNIO

Na composição do motor também é requerida uma grande quantidade de alumínio, sendo o segundo metal mais utilizado na produção do motor, abaixo está o inventário para a produção de 1 Kg desse material.

Tabela 4 – Produção de Alumínio

Correntes de entrada	Unidade	Quantidade
Recursos		
Água	m ³	0,0035
Materiais		
Caixa de papelão ondulado	Kg	0,0018
Alumínio, instalação de fundição	Kg	1,54E-10
Nitrogênio líquido	Kg	0,0006
Cloro, líquido	Kg	0,000036
Criólito	Kg	0,0004
Alumínio, primário, líquido	Kg	1,02
Poeira de eletrólise, filtro de Alumínio	Kg	-0,00196
Materiais refratários básicos	Kg	0,0007
Lã mineral	Kg	0,00011
Silício, grau metalúrgico	Kg	0,0108
Óleo de palma, bruto	Kg	0,00008
Escória de Alumínio, eletrólise	Kg	-0,0212
Argônio, líquido	Kg	0,0015
Os resíduos inertes, para disposição final	Kg	-0,00113
Eletricidade		
Calor, distrito ou industrial	MJ	0,98149
Média tensão	KWh	0,072
Correntes de saída	Unidade	Quantidade
Emissões para a água		
Sólidos em suspensão, não especificado	Kg	0,00014
Óleos, não especificado	Kg	0,000037
Emissões para a ar		
Partículas, > 10 um	Kg	0,000005
Partículas, > 2.5 um, e < 10 um	Kg	0,000011
Partículas, < 2,5 um	Kg	0,000009
Dióxido de enxofre	Kg	0,000061
Cloreto de hidrogênio	Kg	0,000024

Fonte: Base de dados SimaPro

Pode-se ver que para a produção do alumínio, praticamente 100% do material utilizado é o próprio alumínio primário líquido, e uma curiosidade para o ferro fundido é que não há a utilização de nenhum material de alumínio reciclável na produção. No processo de fabricação do alumínio a correntes de saída tanto para a água, quanto para o ar. Esses sólidos e óleos emitidos para a água, podem contaminar uma cadeia alimentar e um ecossistema inteiro. As partículas emitidas durante o processo de fabricação do alumínio, contaminam o ar o que afeta a saúde humana, causando principalmente doenças respiratórias.

A figura 5 mostra as três substâncias emitidas, em maior quantidade para o ar durante a produção do alumínio.

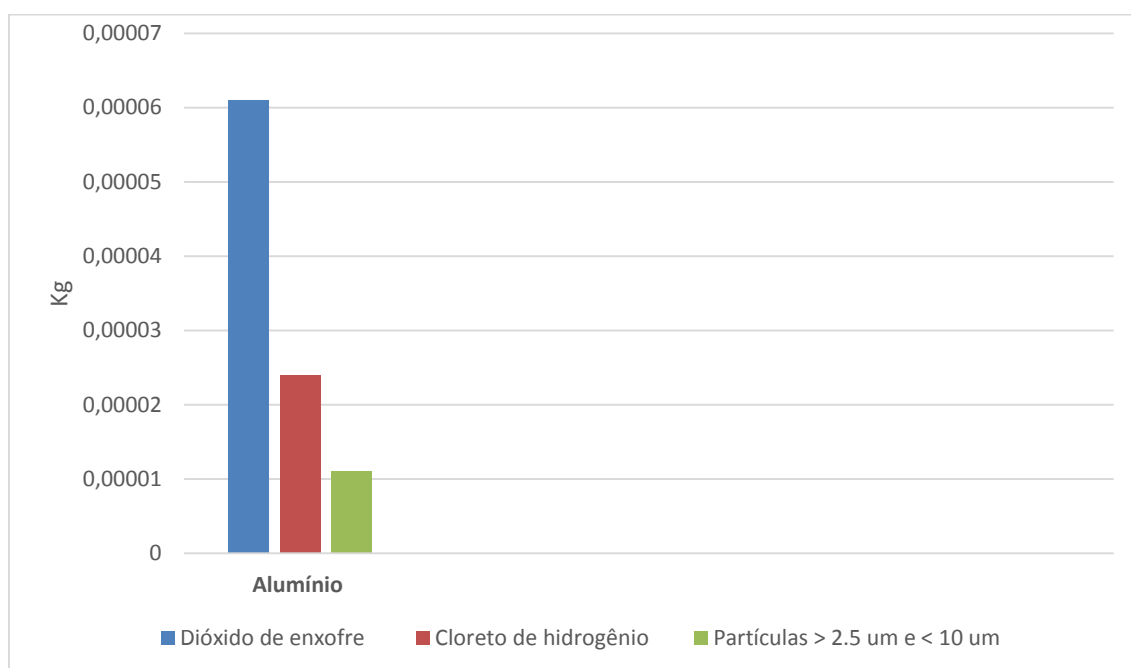


Figura 5 – Substâncias emitidas pela produção do alumínio.

Como mostra a figura acima as duas substâncias mais emitidas para o ar na produção do alumínio são o dióxido de enxofre, um gás altamente tóxico e o cloreto de hidrogênio um ácido corrosivo e irritante caso exposto a pele humana.

6.3.3 LATÃO

Um outro material utilizado na produção do motor é o latão, abaixo está o inventário para produção de 1 Kg do metal que compõem o motor.

Tabela 5 - Produção Latão

Correntes de entrada	Unidade	Quantidade
Materiais		
Cobre	Kg	1,414
Alumínio, instalação de fundição	Kg	9,8E-11
Zinco	Kg	0,606
Eletricidade		
Calor, distrito ou industrial	MJ	1,274
Média tensão	KWh	1,92E-02
Correntes de saída		
Emissões para o ar		
Zinco	Kg	6,06E-04

Fonte: Base de dados SimaPro

Na produção do latão é utilizado uma quantidade de 1,414 Kg de cobre, o metal compõem 70% do material utilizado na produção do latão, os outros 30% são composto pelo zinco 0,606 Kg. A única corrente de saída na produção do latão é o zinco através de emissões para o ar.

6.4 IMPACTOS AMBIENTAIS

6.4.1 DEPLEÇÃO ABIÓTICA

A tabela 6 mostra os impactos em depleção abiótica, com as cinco substâncias mais consumidas no processo de fabricação do motor.

Tabela 6 - Depleção abiótica

Substância	Total [kg Sb eq]
Cádmio	4,33E-05
Chumbo	2,93E-05
Cobre, com 0,99% em sulfureto, 0,36% de Cu e Mo 8.2E-3% em minério bruto	1,84E-05
Prata, 0,007% em sulfureto, 0,004% de Ag, Pb, Zn, Cd, In	7,92E-06
Molibdênio, 0,022% em sulfureto, Mo 8.2E-3% de Cu e 0,36% em minério bruto	4,62E-06
Total da categoria	0,000128

Fonte: Base de dados SimaPro

Como a depleção abiótica se refere ao consumo dos recursos naturais não bióticos que são utilizados como insumos no ciclo de vida do produto, o resultado total da categoria foi um consumo de 0,000128 Kg Sb eq de recursos naturais consumidos no processo de fabricação do motor.

A figura 6 mostra os cinco metais mais consumidos pela depleção abiótica, e cada processo responsável por esse consumo na produção do motor.

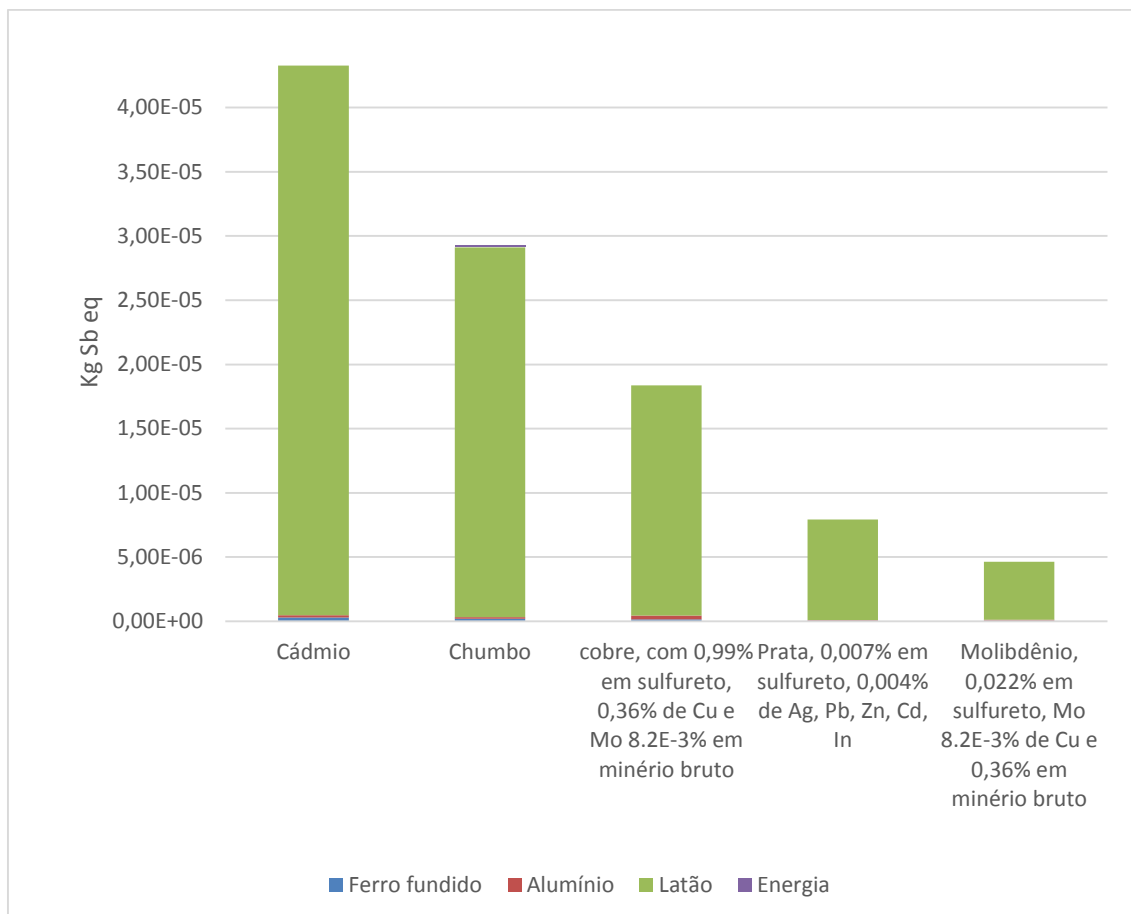


Figura 6 – Principais substâncias promotoras da depleção abiótica.

O cádmio com 33,828%, chumbo 22,89% e o cobre 14,375%, somam mais de 71% de todo esse consumo de recursos naturais, sendo os três metais mais consumidos no processo de fabricação do motor.

Pelo inventário da depleção abiótica do motor, notamos que a produção do latão é responsável direta por 96,875% da depleção abiótica.

6.4.2 DEPLEÇÃO ABIÓTICA COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

A tabela 7 mostra os três combustíveis mais consumidos durante a produção do motor.

Tabela 7 - Depleção abiótica combustíveis fósseis

Combustível	Total [MJ]
Carvão rígido	39,94154
Gás natural	37,93247
Petróleo em bruto	25,90427
Total da categoria	131,038

Fonte: Base de dados SimaPro

Os três combustíveis mais consumidos durante a produção do motor somam 78,72% do total de 131,038 MJ de toda depleção abiótica de combustíveis fósseis, o carvão rígido 30%, gás natural 28,95% e o petróleo em bruto 19,77% completam essa soma.

A figura 7 mostra os três combustíveis mais utilizados na produção do motor, com seus respectivos processos.

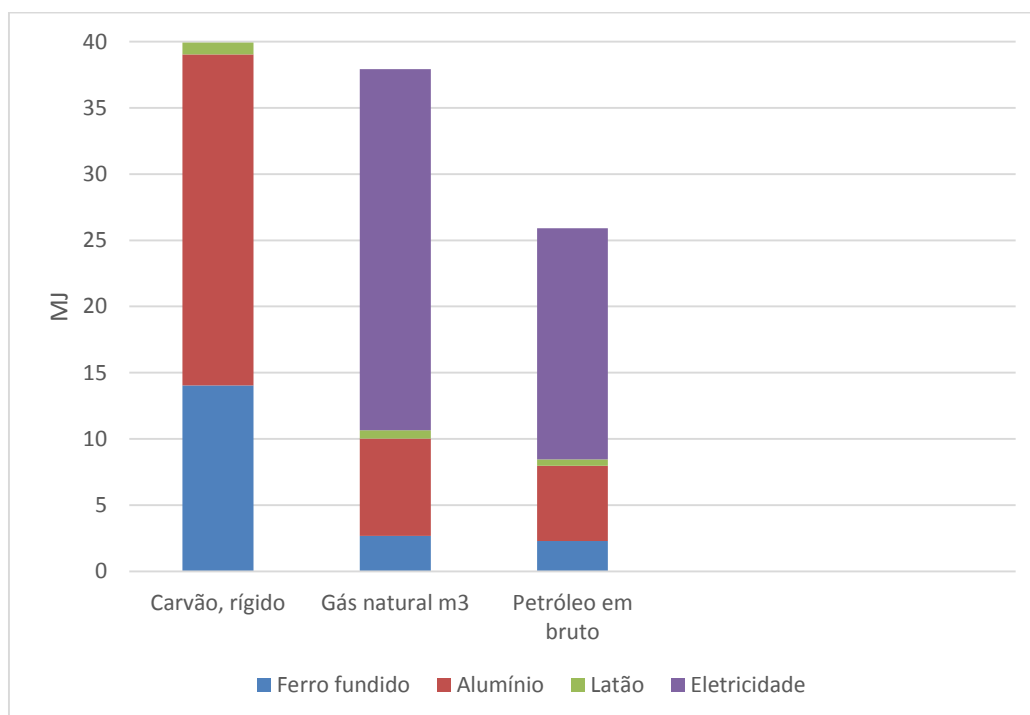


Figura 7 – Principais combustíveis fósseis promotores da depleção abiótica.

O processo de produção da eletricidade consome 49,56% de todos combustíveis fósseis durante o processo de fabricação do motor, a produção

de alumínio consome 33,9%, a produção de ferro fundido consome 14,9% e a produção do latão ficando com menos de 2% da parcela total da depleção abiótica de combustíveis fósseis do motor.

Com quase 50% da parcela desse impacto, a eletricidade tem como maiores combustíveis fósseis consumidos o gás natural 42% e o petróleo em bruto 26,9%.

A produção de alumínio segundo maior causador desse impacto, tem como combustível mais consumido o carvão rígido com 56% do consumo total de combustíveis.

6.4.3 ECOTOXICIDADE DE ÁGUA DOCE

A tabela 8 mostra as cinco principais substâncias da ecotoxicidade de água doce, no processo de fabricação do motor. Essas substâncias afetam a fauna e a flora a partir do momento que são depositadas nos rios.

Tabela 8 - Ecotoxicidade de água doce		
Substância	Compartimento	Total [kg 1,4-DB]
Vanádio	Água	2,277112
Níquel	Água	0,935268
Berílio	Água	0,865678
Bário	Água	0,611686
Cobalto	Água	0,441011
Total da categoria		5,885436

Fonte: Base de dados SimaPro

As cinco substâncias juntas são responsáveis por 87,2% do total de 5,88 Kg 1,4-DB desse impacto, com o vanádio tendo 38,7%, níquel 15,9%, berílio 14,7%, bário 10,4% e o cobalto 7,5% dessa soma.

A figura 8 mostra as cinco principais substâncias químicas causadoras do impacto e a parte de cada processo no impacto.

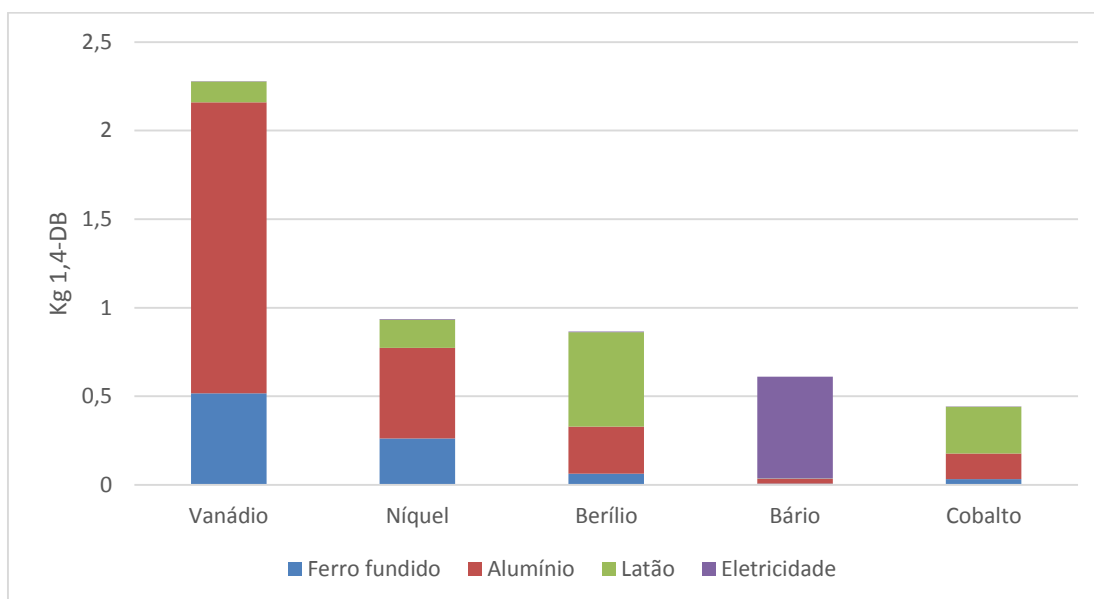


Figura 8 – Principais substâncias promotoras da ecotoxicidade de água doce.

A produção do alumínio possui a maior parte desse impacto com 2,71 Kg 1,4-DB, 46,1% da exposição, já a produção do latão 27,9%, ferro fundido 16% e eletricidade 10% completando a porcentagem de cada processo no impacto.

6.4.4 ECOTOXICIDADE TERRESTRE

A tabela 9 mostra as cinco principais substâncias da ecotoxicidade terrestre, na produção do motor.

Tabela 9 - Ecotoxicidade terrestre

Substância	Compartimento	Total [kg 1,4-DB]
Cromo VI	Solo	0,003561
Mercúrio	Água	0,00062
Cromo VI	Ar	0,000247
Cipermetrina	Solo	0,000128
Selênio	Ar	0,000109
Total da categoria		0,004949

Fonte: Base de dados SimaPro

A tabela 9 mostra as cinco maiores substâncias causadoras da ecotoxicidade terrestre, que diferente da ecotoxicidade de água doce, a ecotoxicidade terrestre expõe os ecossistemas por diferentes compartimentos.

O total desse impacto é 0,004949 Kg 1,4-DB, um elemento é o maior responsável pelo impacto o cromo VI com 71,95% do total, esse elemento químico é extremamente cancerígeno.

A figura 9 mostra as cinco substâncias tóxicas, e seus respectivos processos na produção do motor.

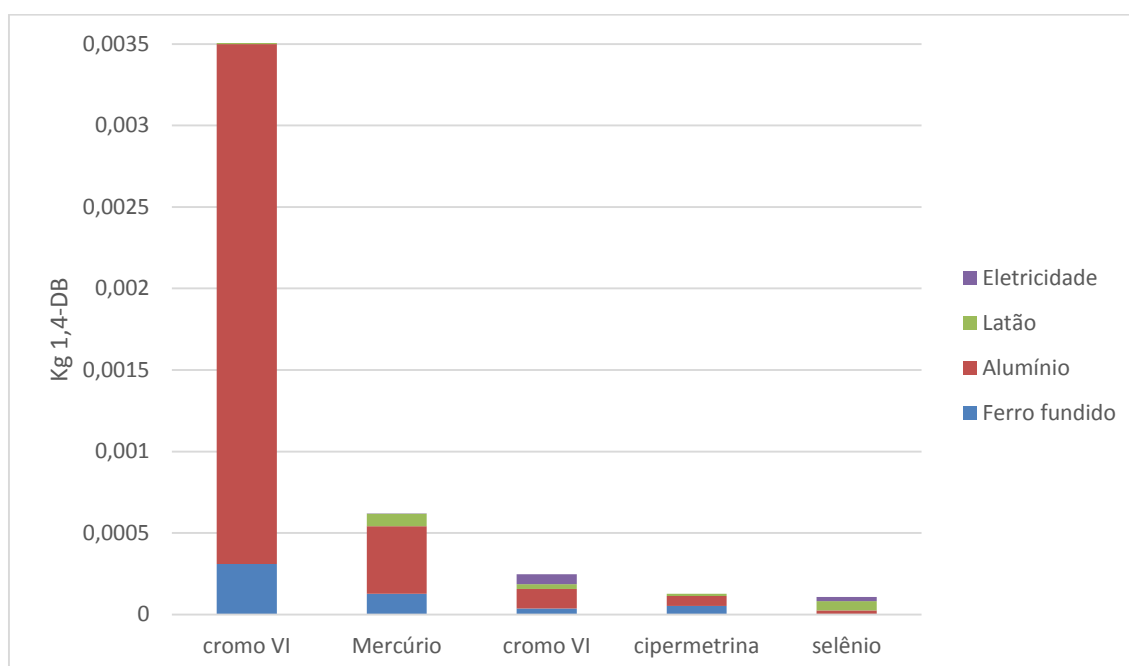


Figura 9 – Principais substâncias promotoras da ecotoxicidade terrestre.

A produção do alumínio com 78,6%, é o maior causador desse impacto. A figura 9 mostra como o elemento cromo VI e a produção do alumínio são os maiores responsáveis pelo impacto.

6.4.5 TOXICIDADE HUMANA

O impacto de toxicidade humana é a exposição do ser humano a substâncias tóxicas através do solo, ar ou água.

Tabela 10 - Toxicidade humana		
Substância	Compartimento	Total [kg 1,4-DB eq]
Fluoreto de hidrogênio	Ar	3,25347
Selênio	Água	1,72429
Bário	Água	1,69147
Total da categoria		9,694655

Fonte: Base de dados SimaPro

A tabela 10 mostra os três maiores elementos químicos lançados ao ar e a água, durante o processo de fabricação do motor. Destaque para o ácido fluoreto de hidrogênio, responsável por 33,56% de todas essas substâncias que causam mal à saúde humana.

A figura 10 mostra os três elementos e os processos responsáveis pelo impacto.

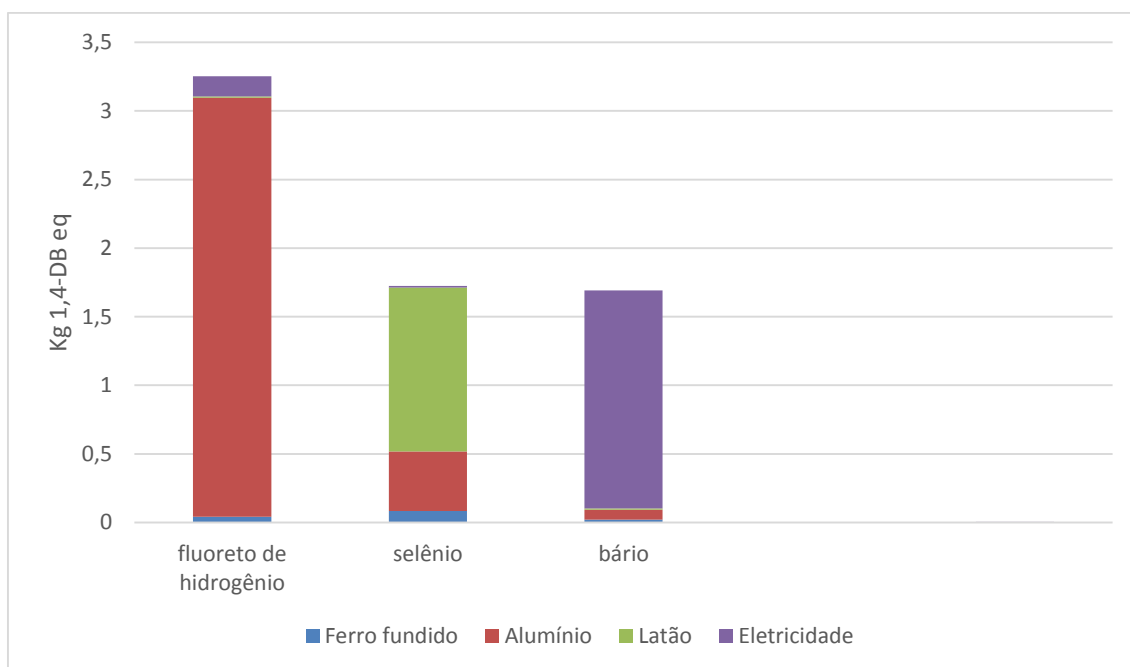


Figura 10 – Principais elementos químicos promotores da toxicidade humana.

A produção de alumínio com 47,23% do total do impacto, é o processo que mais lança essas substâncias ao ar e a água, que causam mal à saúde humana. A produção do latão é responsável por 24,12% desse impacto, a eletricidade 19,58% e o ferro fundido 9,07% completam a parcela do impacto.

6.4.6 AQUECIMENTO GLOBAL

O aquecimento global é o impacto que aumenta a temperatura média dos oceanos e do ar na superfície da Terra, pelas emissões humanas de gases do efeito estufa.

Tabela 11 - Aquecimento global

Substância	Compartimento	Total [kg CO2 eq]
Dióxido de carbono, fóssil	Ar	8,995279
Gás carbônico	Ar	0,967016
Metano, fóssil	Ar	0,288678
Total da categoria		10,67236

Fonte: Base de dados SimaPro

A tabela 11 mostra os maiores responsáveis pelo aquecimento global, durante o processo de fabricação do motor, especialmente o dióxido de carbono, responsável por 84,3% de toda emissão pro ar durante a fabricação do motor.

A figura 11 mostra os três principais gases causadores do aquecimento global.

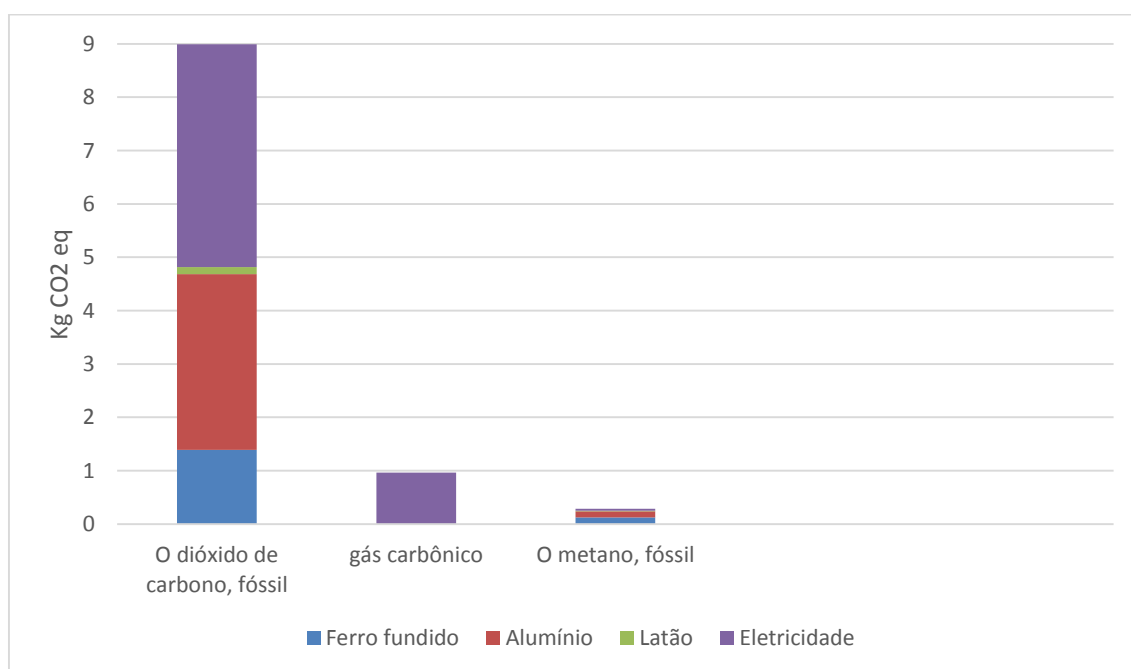


Figura 11 – Principais gases promotores do aquecimento global.

O maior processo responsável para o impacto em aquecimento global, é a produção de eletricidade responsável por 50,8% do total de todas as

emissões, já entre os materiais o processo que mais emite gases ao impacto, é a produção de alumínio responsável por 33,36% do total.

6.4.7 DEPLEÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO

O impacto de depleção da camada de ozônio, conduz a um crescimento na quantidade de raios ultravioletas que atingem a superfície da Terra.

Tabela 12 - Depleção da camada de ozônio

Substância	Compartimento	Total [kg CFC-11 eq]
Halon-1301	Ar	5,18E-08
CFC-12	Ar	4,35E-08
Halon-1211	Ar	3,76E-08
Total da categoria		2,21E-07

Fonte: Base de dados SimaPro

A tabela 12 mostra as três principais substâncias químicas causadoras da destruição da camada de ozônio, durante o processo de fabricação do motor, o Halon-1301, CFC-12 e o Halon-1211, são gases da família dos halogênios, utilizados em extintores de incêndios e refrigeradores, esses gases são altamente maléficos a camada de ozônio quando liberados, em alguns países a sua produção foi até proibida. O Halon-1301 com 23,43%, CFC-12 19,7%, e o Halon-1211 17%, somam mais da metade da quantidade de substâncias causadoras do impacto.

A figura 12 mostra os três principais gases causadores do impacto.

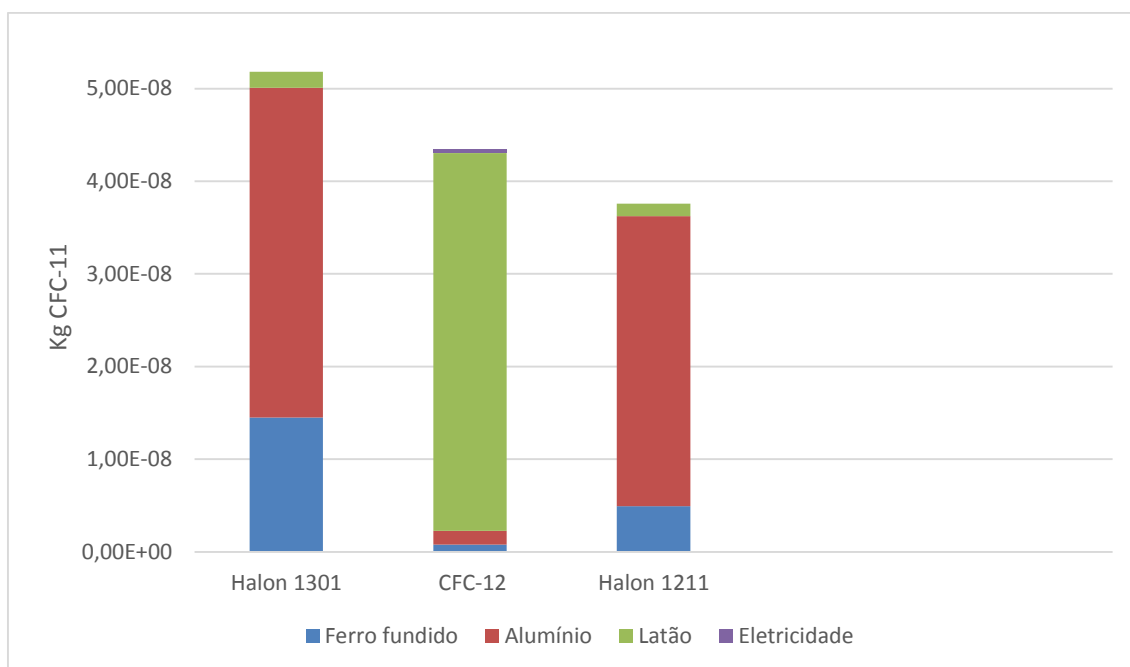


Figura 12 – Principais substâncias promotoras da depleção da camada de ozônio.

A produção de alumínio é responsável por 50% do total do impacto a camada de ozônio. Produção do ferro fundido com 25,8%, latão 21,76% e a eletricidade com 2,44% completam o impacto.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a pesquisa realizada notou-se que o material mais utilizado para a produção do motor, é o ferro fundido com 49,8 Kg. A produção de ferro fundido também é responsável, pelo maior número de emissões de substâncias ao ar.

A produção do alumínio e do latão ficam, respectivamente em segundo e terceiro lugar nessa comparação com o ferro fundido.

Já em relação aos diferentes tipos de impacto, percebe-se que o maior causador de impactos é a produção do alumínio ficando com a maior parte dos impactos ambientais. Ecotoxicidade de água doce, a ecotoxicidade terrestre, a toxicidade humana e a depleção da camada de ozônio, são os impactos causados pela produção do alumínio.

Na produção do alumínio são emitidos para o ar diferentes tamanhos de partículas, dióxido de enxofre e cloreto de hidrogênio e para a água são emitidos sólidos e óleos não especificados.

A eletricidade também tem uma grande parcela nos impactos ambientais, ficando à frente como maior causadora da depleção abiótica de combustíveis fósseis e aquecimento global. Esses dois impactos tem total ligação, pois para a produção de eletricidade são consumidos combustíveis fósseis, como petróleo, gás natural e carvão: e com a queima desses combustíveis são emitidos os principais gases causadores do aquecimento global do planeta.

A produção do latão fica como o maior causador da depleção abiótica.

Porém, a produção de ferro fundido, não fica à frente de nenhum impacto durante o processo de fabricação do motor.

Enfim, com essa pesquisa sobre a produção do motor Flex e os respectivos materiais que o compõem, torna-se possível uma produção mais sustentável e menos impactante ao meio ambiente. Sendo que pra isso, seja necessário à diminuição de alguns materiais ou mesmo a substituição de alguns materiais que compõem o motor Flex.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, ALEXANDRE PALMEIRA. **Ferro Fundido**. 2008.9-7. Artigo (Departamento de Mecânica) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

CAYRES, E. B.; YUKI, H. S. Inspeção veicular e conscientização da população. **Revista Ciências do Ambiente**, v. 2, n. 1, p. 47-52, fev. 2006.

CARROSNWEB. **Motor flex**. 2015. Disponível em: <<http://www.carrosnaweb.com.br/dicasFlex.asp>>. Acesso em: 03 jun. 2015.

CARDOSO, Mayara. **Latão**. 2015. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/quimica/latao/>>. Acesso em: 28 mai. 2015.

CHIAVERINI, Vicente. **Tratamento Térmico das Ligas Metálicas**. 2008, São Paulo.

DEMARCHI. **Processos de fabricação mecânica**. 2015. Disponível em: <<http://cursos.unisanta.br/mecanica/ciclo6/Fundicao.pdf>>. Acesso em: 29 mai. 2015.

DHINGRA, Rajive. Life cycle energy and environmental evaluation of downsized vs. lightweight material automotive engines, electric and fuel cell vehicles for China. **Journal of Cleaner Production**. 09 de set. 2014.

ELSON, D.M; Atmospheric pollution: a global problem. 2ed. **Oxford: Blackwell**, p. 3, 1992.

FARIA, Caroline. **Fundição**. 2015. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/quimica/fundicao/>>. Acesso em: 28 mai. 2015.

FERREIRA, Ângela. **Avaliação do ciclo de vida (ACV): Panorama mundial e perspectivas brasileiras**. Disponível em: <http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/publicacoes/pub_art28.pdf>. Acesso em 27 mai. 2015.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Produção de alumínio por eletrólise**. 2015. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/elementos/quimicos/aluminio/>>. Acesso em: 29 mai. 2015.

GÉRVASIO, Helena. **Metalica**. 2015. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/a-sustentabilidade-do-aco-e-das-estruturas-metalicas/>>. Acesso em: 18 mai. 2015.

GUARIEIRO, L. L. N.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis. **Rev. Virtual Quim.**, Niterói, v. 3, n. 5, p. 434-445, 2011.

HOLANDA, R. A. **Análise das emissões gasosas de um veículo flex funcionando com diferentes combustíveis**. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

INTERNATIONAL STANDART ORGANIZATION. **ISO 14040**: Environmental Management - Life Cycle Assessment: Principles and framework. 1997.

INTERNATIONAL STANDART ORGANIZATION. **ISO 14044**: Environmental Management - Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA. **1055 – TONELADA EQUIVALENTE DE PETRÓLEO**. 1994. Disponível em: <<http://smi.ine.pt/Conceito/Detalhes/1442>>, acesso em 28 mai. 2015.

LOIOLA, B. R. et al. Análise das emissões de poluentes de motores flex na saída do escapamento de automóveis. **Rev. Ciências do Ambiente On-line**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 01-06, jul. 2011.

MIRANDA, Flávio. **Inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil – Usina de Itaipu: primeira aproximação**. 2003. 243 f. Dissertação (Mestrado em Energia) –Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MONTEIRO, Marcio. **Avaliação do ciclo de vida do fertilizante superfosfato simples**. 2008. 177 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) –Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

ORLANDIN, Flávio. **Avaliação do ciclo de vida de unidade produtora de biodiesel a partir de óleo de fritura.** 2013. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

RISSATO, Leandro. **Análise do ciclo de vida em uma empresa do setor petroquímico.** 2012. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

TAKEDA, Adriane. **Levantamento de métodos de avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV) e análise comparativa dos métodos mais utilizados.** 2008. 387 f. Monografia (Graduação Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

WANG, Dawei. Life cycle analysis of internal combustion engine, electric and fuel cell vehicles for China. **Energy.**, 16 de ago. 2013.

YAROS, Bernard. **The Boustead Life Cycle Assessment.** 2013. Disponível em: <<http://www.bousteadusa.com/bousteadLCA.html>>. Acesso em: 21 de mai. 2015.