

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

RAPHAEL TAVARES CALLADO

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO CICLO DE VIDA DE MATERIAIS  
USADOS EM BLOCOS DE MOTOR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO I

CORNÉLIO PROCÓPIO

2016

RAPHAEL TAVARES CALLADO

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO CICLO DE VIDA DE MATERIAIS  
USADOS EM BLOCOS DE MOTOR**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica — COEME — da Universidade Tecnológica Federal do Paraná — UTFPR, Campus Cornélio Procópio, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. José Tomadon Júnior

CORNÉLIO PROCÓPIO

2016

## RESUMO

As decisões inerentes ao desenvolvimento de novos produtos são de grande responsabilidade. Com mercados cada vez mais exigentes em relação à performance e sustentabilidade, as empresas buscam alternativas para manter a competitividade de seus produtos, portanto a análise de materiais e processos é indispensável para a obtenção de seus objetivos. Este trabalho questiona, a partir destas premissas, o desenvolvimento sustentável da indústria automobilística brasileira, mais especificamente no campo dos motores de combustão interna, propondo a utilização da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como ferramenta comparativa de impactos ambientais. Dentro desta análise, dados de dois blocos de motores, um constituído em sua maior parte de ferro fundido e o outro de alumínio, foram coletados e confrontados. Dentre as fases possíveis de estudo, selecionou-se a fase de extração e produção das matérias-primas necessárias para a produção dos blocos. A metodologia do estudo ACV baseou-se em diretrizes de órgãos de padronização, como a ISO 14040. Os dados referentes ao peso do bloco do motor de ferro fundido foram encontrados na literatura, já para o bloco de alumínio foi utilizado o banco de dados Ecoinvent 3. Para a avaliação de impacto, foi escolhido o método ReCiPe, ponto médio. Observou-se nos resultados que o bloco de alumínio obteve impactos menores quando comparado com o bloco de ferro fundido, devido ao modo de extração de matérias-primas e o processo de fabricação do metal. Quanto às categorias de impacto, o indicador ecotoxicidade marinha representou as maiores emissões para ambos os blocos. Outros indicadores de grande discrepância foram ecotoxicidade de água-doce e toxicidade humana, todas favorecendo o alumínio. Concluiu-se que o bloco de motor de alumínio em questão tem grandes vantagens ambientais e possivelmente econômicas quando comparado com o bloco de motor de ferro fundido. O resultado do presente trabalho ilustrou o potencial do alumínio como material automotivo, trazendo benefícios para a indústria e aplicando o desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chave:** Avaliação do ciclo de vida. Comparação de motores. Alumínio. Ferro fundido. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

Inherent decisions to the development of new products are of great responsibility. With markets more demanding about performance and sustainability, companies look for alternatives to keep their product's competitiveness, hence analysis of materials and processes is essential to their objective's achievements. This paper questions, from these premises, the sustainable development in the Brazilian automotive industry, particularly in the internal combustion engines field, proposing the use of the Life Cycle Assessment as a comparative tool for environmental impacts. Inside this analysis, data from two cylinder blocks, one made of cast iron, and other of aluminum, were collected and compared. Among the possible phases of study, the phase of extraction and production of raw materials needed for the block's production was selected. LCA methodology is based on policies from standardization agencies, like ISO 14040. Data referring to the weight of the cast iron block were found in the literature, and for the aluminum block, the Ecoinvent 3 database was used. For the impact assessment the method chosen was the ReCiPe, middle point. The observed results have shown the aluminum block had minor impacts when compared to the cast iron block, due to the extraction type of raw materials and metal making. Regarding the impact categories, the indicator marine ecotoxicity stood for the highest emissions to both of the blocks. Other indicators of great discrepancy were freshwater ecotoxicity and human toxicity, all favoring aluminum. It was concluded that the aluminum engine block has great environmental advantages and possibly economical ones when compared to the cast iron engine block. The result of this paper illustrated the potential of aluminum as automotive material, bringing benefits to industry and applying sustainable development.

**Keywords:** Life cycle assessment. Engine comparison. Aluminum. Cast iron. Sustainability.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>3</b>
1.1	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA .....	3
1.2	OBJETIVOS .....	4
1.2.1	Objetivo Geral.....	4
1.2.2	Objetivos Específicos.....	4
1.3	JUSTIFICATIVA .....	4
1.4	REVISÃO DA LITERATURA .....	5
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>6</b>
2.1	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	6
2.2	BENEFÍCIOS DE UM ESTUDO ACV.....	6
2.3	FASES DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA .....	7
2.3.1	Definição do escopo e dos objetivos .....	8
2.3.1.1	<i>Unidade funcional</i> .....	9
2.3.2	Análise de inventário do ciclo de vida .....	9
2.3.3	Avaliação de impacto.....	10
2.3.3.1	<i>Seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e de modelos de caracterização</i> .....	11
2.3.3.2	<i>Classificação</i> .....	12
2.3.3.3	<i>Caracterização</i> .....	13
2.3.4	Interpretação.....	14
<b>3</b>	<b>FERRO FUNDIDO.....</b>	<b>15</b>
3.1	DEFINIÇÃO.....	15
3.2	FASES .....	15
3.3	PROCESSO DE PRODUÇÃO DO FERRO FUNDIDO.....	17
3.3.1	Processamento das matérias-primas.....	17
3.3.1.1	<i>Minério de ferro</i> .....	17
3.3.1.2	<i>Carvão</i> .....	18
3.3.1.3	<i>Calcário</i> .....	19
3.3.2	Fundição.....	19
3.4	FERRO FUNDIDO E SUAS LIGAS .....	21
<b>4</b>	<b>ALUMÍNIO .....</b>	<b>23</b>
4.1	DEFINIÇÃO.....	23
4.2	PROCESSO DE PRODUÇÃO DO ALUMÍNIO .....	23
4.3	RECICLAGEM .....	26
4.4	ALUMÍNIO E SUAS LIGAS .....	27
<b>5</b>	<b>BLOCO DE MOTOR.....</b>	<b>29</b>
5.1	DEFINIÇÃO.....	29
5.2	ESTRUTURA.....	29

<b>6</b>	<b>APLICAÇÃO DA ACV</b> .....	<b>31</b>
6.1	DEFINIÇÃO DO ESCOPO E DOS OBJETIVOS .....	31
6.2	ANÁLISE DE INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA.....	33
6.3	AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA .....	34
6.4	INTERPRETAÇÃO.....	35
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>38</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>399</b>
	<b>APÊNDICE A</b> .....	<b>42</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A redução de emissões de CO<sub>2</sub> no meio ambiente tornou-se um objetivo constante na agenda mundial. Metas de redução são firmadas regularmente em conferências mundiais por vários países, num esforço mútuo em direção à preservação ambiental. Com isso, as empresas tiveram que se adaptar às novas metas, introduzindo essa esfera ambiental às tomadas de decisões (FUNDAÇÃO DOM CABRAL, 2003).

A indústria automotiva, como todos os outros ramos, viu-se obrigada a investir em tecnologias para adequar-se às regulamentações e assim reduzir o impacto de seus produtos ao meio ambiente. Uma alternativa coerente foi a diminuição do peso do veículo, mais especificamente o peso do motor, que deve contribuir para a economia de combustível e redução de emissões. Analisando os componentes do motor, o bloco tem uma massa considerável, por ser constituído de ferro fundido, material que é usado na maioria da frota brasileira, portanto, é razoável escolhê-lo como objeto de estudo (CASSIANO, 2014).

Assim, o ferro fundido será comparado com outro material por meio de uma técnica de análise ambiental denominada Avaliação do Ciclo de Vida. O material escolhido para comparação foi o alumínio, por possuir características semelhantes ao ferro fundido, além de ser mais leve e ter uma alta taxa de reciclagem.

Este trabalho, portanto, propõe a realização de uma análise comparativa de materiais na fabricação de blocos de motor, utilizando a ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida para obter os resultados almejados.

## 1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O uso de materiais leves nos blocos de motor vem se concretizando nos principais polos industriais mundiais e, com isso, o uso de ferro fundido está tornando-se obsoleto no mercado. Assim, surge-se esta nova tendência de redução de peso nos motores (EXAME, 2015). No Brasil, predomina-se ainda a utilização do ferro fundido, portanto, estudos sobre o tema, que possam elucidar sobre a viabilidade desta tecnologia, são de grande importância.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

- Comparar o impacto ambiental causado pela produção dos materiais usados na fabricação de blocos de motor.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Empregar a ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida para quantificar o potencial impacto ambiental causado pelo processo de produção do alumínio e do ferro fundido;
- Apresentar o inventário de produção do alumínio e do ferro fundido;
- Identificar o material com menor carga ambiental.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Além dos ganhos individuais possíveis, espera-se que o conhecimento adquirido influencie a indústria automotiva nacional, de modo que a transição de motores com blocos de alumínio seja mais rápida, estimulando a criação de novas tecnologias no ramo, ideais que certamente fortaleceriam a indústria brasileira.

A avaliação ambiental transforma-se em um novo parâmetro para tomada de decisões, ou seja, os resultados obtidos podem ajudar na seleção de um produto que cause um menor impacto ambiental.

De fato, um produto com melhores índices ambientais torna-se mais atrativo estrategicamente, possibilitando ações de marketing para diferenciação de seu produto com os demais. Com tantas vantagens, o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis - que é o caso do estudo em questão - justifica-se.



## 1.4 REVISÃO DA LITERATURA

Seguindo o caminho de diminuição de peso de componentes automotivos, Alcoa (2012) comparou, através de ACVs, os impactos causados pela produção e uso de conjuntos de rodas de caminhão distintos: um de alumínio forjado, de fabricação própria, e a outra, de aço. Seus resultados mostraram que, apesar da roda de aço emitir 3,8 toneladas de CO<sub>2</sub>-equivalente a menos do que a de alumínio, em uma análise parcial *cradle-to-gate* ("do berço ao portão"), as rodas de alumínio reverteram o resultado na análise completa, notadamente nas fases de uso e descarte, totalizando uma redução de 15,3 toneladas de CO<sub>2eq</sub>, quando comparado com as rodas de aço. O desempenho em outras categorias mostrou-se semelhante, demonstrando a superioridade ambiental do alumínio em relação ao aço. A superioridade do alumínio também foi presente no trabalho de Teksid (2006), que realizou a comparação de blocos de motor de ferro fundido com blocos de alumínio, através de ACVs *cradle-to-grave* mensuradas pelo método *Eco-Indicator 99* de avaliação de impacto. Os indicadores mostraram uma carga de 41,3 pontos para o bloco de ferro fundido, e 28,9 pontos para o bloco de alumínio. Evidenciou-se a larga participação da categoria de impacto "Combustíveis Fósseis" em ambos os materiais e na maioria das fases analisadas, e a diminuição de cargas ambientais de acordo com o aumento da participação do alumínio secundário na fase de produção.

Tao (2013) avaliou, através de uma ACV, as cargas energéticas e ambientais de motores chineses movidos à diesel, amplamente utilizados por caminhões, concluindo que a fase de uso do motor foi a que apresentou maiores gastos energéticos e, conseqüentemente, maiores impactos ambientais. Dentro dessa análise, foi possível ver os impactos da produção de alumínio e ferro fundido, ambas matérias-primas para a produção dos motores à diesel. Observou-se que o ferro fundido obteve impactos ambientais relativamente maiores do que o alumínio, principalmente no indicador de energia (Demanda de energia primária - PED).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

O aumento da conscientização com a proteção do meio ambiente, e os possíveis impactos associados com produtos, criaram um maior interesse em desenvolver métodos que pudessem avaliar estes impactos. Uma das ferramentas criadas foi a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (ABNT, 2001).

A Avaliação do Ciclo de Vida pode ser definida como a avaliação de entradas e saídas de um processo de produção de um produto, avaliação esta que irá quantificar os dados em questão de maneira padronizada, ao mesmo tempo em que há também um tratamento qualitativo dos mesmos (SAIC, 2006).

### 2.2 BENEFÍCIOS DE UM ESTUDO ACV

"A metodologia ACV é a única que permite identificar a transferência de impactos ambientais de um meio para outro [...] e/ou de um estágio de ciclo de vida para outro." (FERREIRA, 2004, p. 13). Portanto, um produto usar uma quantidade menor de matérias-primas do que outro não significa que ele vai desenvolver um menor impacto ambiental. Sem um estudo ACV, estas informações não serão visíveis. Segundo SAIC (2006), os métodos mais tradicionais não consideram alguns impactos que são abordados em um estudo ACV, como os de extração de matérias-primas, transporte e descarte. Assim, o estudo ACV revela-se de grande importância para uma real análise de processos/produtos.

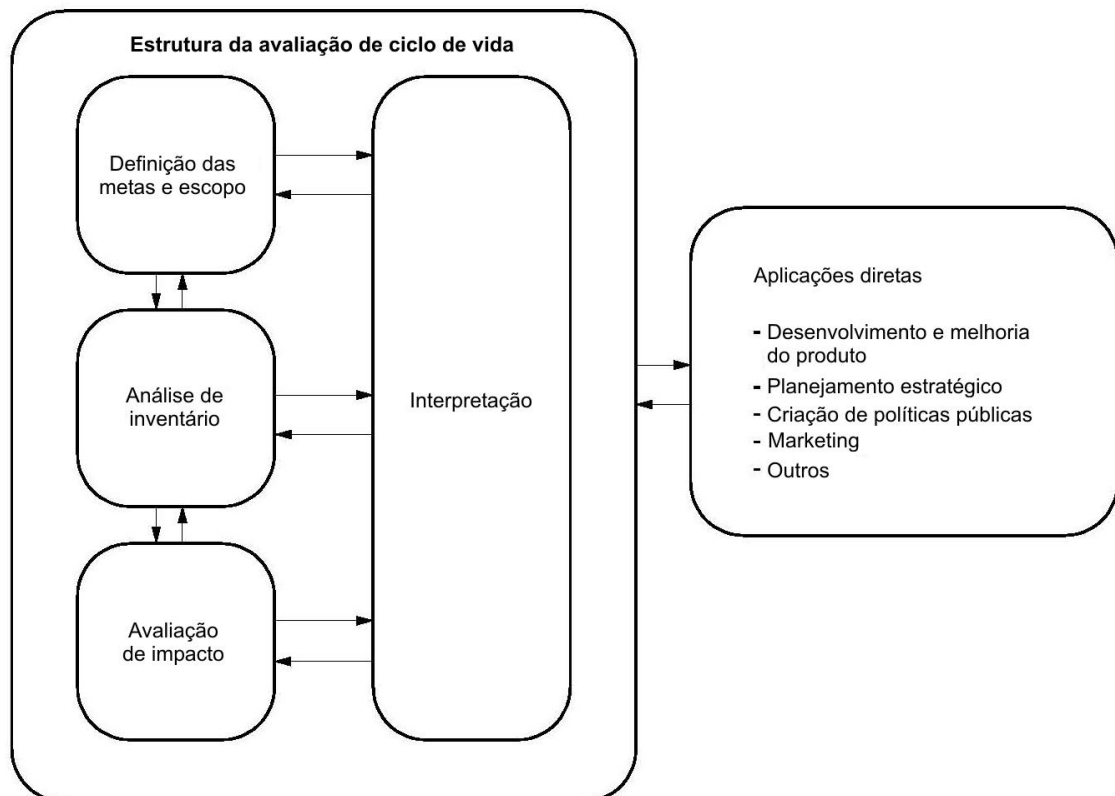
## 2.3 FASES DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida é padronizada pelas normas ISO (*Internacional Organization for Standardization*) 14040-44, e no Brasil, tem sua respectiva equivalência feita pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

O procedimento de Avaliação do Ciclo de Vida é dividido em quatro fases (ABNT, 2001):

- Definição do escopo e dos objetivos;
- Análise de inventário;
- Avaliação de impacto;
- Interpretação.

A relação entre as fases está descrita na Figura 1:



**Figura 1 - Fluxograma simplificado das etapas da ACV.**  
Fonte: ABNT (2001)

A partir do fluxograma, pode-se perceber a interdependência das fases de uma ACV: a interpretação está presente em todas as etapas, assim como em cada etapa mudanças no escopo podem ser feitas para manter as metas iniciais.

### 2.3.1 Definição do escopo e dos objetivos

Segundo Muñoz (2006), esta é a etapa mais importante da avaliação do ciclo de vida, pois os elementos definidos aqui, como propósito, escopo e hipótese principal considerada são as chaves para o estudo.

Primeiramente, é definida a meta do estudo, que é formada pelas razões da realização do trabalho, pelas decisões que serão feitas acerca dos resultados obtidos, e pelo público a quem o estudo é dirigido.

O escopo é definido após a definição dos objetivos, devendo então ser um campo de trabalho coerente à meta estabelecida. Conforme a NBR ISO 14040, o escopo deve incluir os seguintes itens (ABNT, 2001):

- o sistema do produto a ser estudado, bem como suas funções;
- a unidade funcional;
- os limites do sistemas;
- os procedimentos de alocação;
- as categorias de impacto selecionadas e metodologia da avaliação de impacto, e posterior interpretação;
- requisitos dos dados, limitações e pressupostos;
- tipo de revisão crítica, se necessário;
- tipo e formato do relatório requerido para o estudo.

### 2.3.1.1 *Unidade funcional*

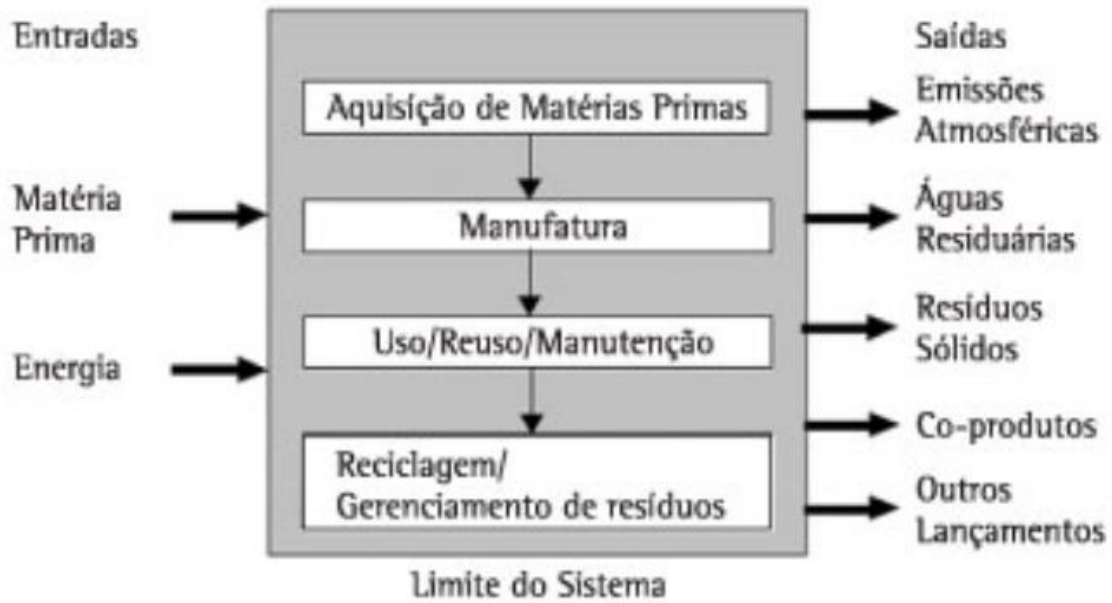
Quesito essencial dentro do escopo, a unidade funcional é a unidade do produto no qual a performance ambiental é avaliada. Segundo (Ferreira, 2004), "esta referência é necessária para assegurar que a comparabilidade dos resultados ACV é feita numa base comum, sendo particularmente crítica quando diferentes sistemas estão a ser avaliados."

Em trabalhos comparativos, a norma ISO 14040 define que a equivalência dos sistemas estudados deve ser avaliada antes da fase de interpretação de resultados. Com isso, a unidade funcional e a metodologia utilizada em uma análise comparativa têm importância considerável, pois definirão as partes equivalentes dentro do sistema, evitando redundâncias e facilitando a posterior interpretação (FERREIRA, 2004).

### 2.3.2 *Análise de inventário do ciclo de vida*

Após serem definidos as metas e escopo do estudo, é realizada a etapa de análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV), que é o processo baseado em dados que identifica e quantifica as entradas e saídas do ciclo de vida do produto (EPA, 1993).

Primeiramente, definem-se os limites do(s) sistema(s), caracterizando todos os fluxos do ciclo de vida do produto ou processo. Através desta descrição, definem-se os fluxos dos materiais utilizados em cada processo, bem como as emissões existentes. Este esquema, como mostrado na Figura 2, é feito para uma melhor visualização do processo e para possibilitar a quantificação dos recursos utilizados bem como as emissões existentes. Seguem-se então os procedimentos para coleta de dados, que podem variar dependendo do escopo ou da aplicação do trabalho. Após esta análise, convem eliminar dos limites os processos cuja contribuição é desprezível para o sistema (EPA, 1993).

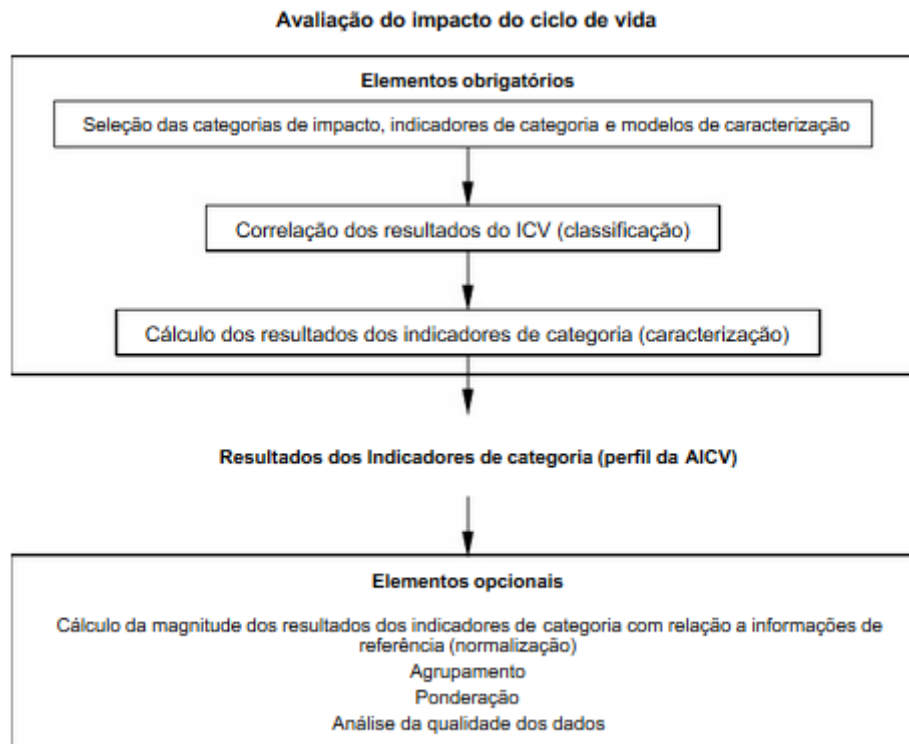


**Figura 2 - Estágios de ciclo de vida.**  
**Fonte: EPA (1993) apud WILLERS et al. (2012)**

De acordo com a ISO (2006), é permitido desconsiderar processos, estágios de ciclo de vida, entradas e saídas uma vez que as mesmas não mudem a conclusão do estudo, desde que sejam devidamente declarados e explicados os motivos de tais desconsiderações.

### 2.3.3 Avaliação de impacto

Após quantificados, os dados reunidos na análise de inventário são tratados qualitativamente na Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV). Esta fase consiste inicialmente na seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e de modelos de caracterização. Em seguida, os dados de inventário são classificados segundo as categorias de impacto selecionadas, para então ser calculados os resultados dos indicadores de categoria. Estes passos têm caráter obrigatório na AICV, existindo, porém, etapas opcionais que podem ser utilizadas, que são a normalização, agrupamento, ponderação e análise da qualidade dos dados, como mostra a Figura 3 (EPA, 1995):



**Figura 3 - Etapas da fase de AICV.**  
**Fonte: ABNT (2004)**

Portanto, a avaliação de impacto requer cautela nos procedimentos para não haver interpretações e correlações errôneas, para não comprometer os resultados do trabalho.

### 2.3.3.1 Seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e de modelos de caracterização

A etapa de seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e de modelos de caracterização segue requisitos determinados pela norma NBR ISO 14042, que são os seguintes (ABNT, 2004):

- a seleção de categorias de impacto, de indicadores de categoria e de modelos de caracterização deve ser consistente com o objetivo e escopo do estudo de ACV;
- as fontes para categorias de impacto, de indicadores de categoria e de modelos de caracterização devem ser referenciadas;

- a seleção de categorias de impacto, de indicadores de categoria e de modelos de caracterização deve ser justificada;
- nomes exatos e descritivos devem ser atribuídos às categorias de impacto e indicadores de categoria;
- a seleção das categorias de impacto deve refletir um grupo abrangente das questões ambientais relativas ao sistema de produto em estudo, levando em consideração o objetivo e o escopo;
- o mecanismo ambiental e o modelo de caracterização que correlacionam os resultados do ICV ao indicador de categoria e fornecem uma base para a descrição dos fatores de caracterização devem ser descritos;
- a adequação do modelo de caracterização usado para obter o indicador de categoria no contexto do objetivo e escopo do estudo deve ser descrita.

#### 2.3.3.2 *Classificação*

A classificação dos dados de inventário é usada para agregar os dados nas categorias de impacto selecionadas. Quando dados de ICV contribuem para somente uma categoria, eles são atribuídos diretamente (ex: emissões de carbono alocadas na categoria de aquecimento global). Mas, quando estes dados estão relacionados a mais de uma categoria, a seguinte distinção é feita (ABNT, 2004):

- Mecanismos paralelo: Em casos onde os efeitos são dependentes uns dos outros, aloca-se porções representativas dos dados de ICV nas categorias de impacto que elas contribuem(ex: o SO<sub>2</sub> é alocado entre as categorias de impacto saúde humana e acidificação);
- Mecanismos série: Em casos onde os efeitos são independentes uns dos outros, atribui-se todos os dados de ICV em todas as categorias que elas contribuem(ex: NO<sub>2</sub> pode afetar ao mesmo tempo a formação de ozônio no nível do solo como a acidificação).



### 2.3.3.3 Caracterização

A caracterização usa fatores de conversão chamados fatores de caracterização (ou fatores de equivalência) para transformar os resultados de inventário em indicadores de impacto em uma unidade comum. Basicamente, cada resultado ocorre da multiplicação dos dados de inventário pelos fatores correspondentes. Por exemplo, dióxido de nitrogênio, clorofluorcarbonetos e gás metano são exemplos de dados de inventário que são agrupados na subfase de classificação na categoria de impacto Aquecimento Global. Através de um fator de caracterização, denominado Potencial de Aquecimento Global, os dados de ICV são convertidos em equivalentes de dióxido de carbono (SAIC, 2006). Estes resultados podem ser então agrupados nos indicadores de impacto, possibilitando resultados homogêneos que podem ser então mensurados.

Exemplos de algumas categorias de impacto normalmente utilizadas e dos dados de inventário e fatores de caracterização associados são mostradas abaixo no Quadro 1:

Categoria de impacto	Escala	Exemplos de dados de ICV	Fator de caracterização em comum possível	Descrição do fator de caracterização
Aquecimento Global	Global	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Potencial de Aquecimento Global	Converte dados de ICV para equivalentes em dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
		Dióxido de nitrogênio (NO <sub>2</sub> )		
		Metano (CH <sub>4</sub> )		
		Clorofluorcarbonos (CFC)		
		Bromometano(CH <sub>3</sub> Br)		
Diminuição da Camada de Ozônio	Global	Clorofluorcarbonos (CFC)	Potencial de Diminuição da Camada de Ozônio	Converte dados de ICV para equivalentes em triclourofluorometano(CFC-11)
		Hidroclorofluorcarbonos (HCFC)		
		Bromometano(CH <sub>3</sub> Br)		
Acidificação	Regional Local	Óxido de enxofre(SO <sub>2</sub> )	Potencial de Acidificação	Converte dados de ICV para equivalentes em íon hidrogênio (H <sup>+</sup> )
		Óxido de nitrogênio(NO <sub>2</sub> )		
		Ácido clorídrico (HCl)		
		Ácido hidrófluorídrico (HF)		
		Amônia (NH <sub>4</sub> )		

**Quadro 1 - Exemplos de categorias de impacto e os fatores de caracterização relacionados**

Fonte: Adaptada de SAIC (2006)

### 2.3.4 Interpretação

A fase de interpretação reúne todos os resultados obtidos pela análise de inventário e pela avaliação de impacto para, de acordo com as metas e escopo, traduzi-los em conclusões e recomendações (ABNT, 2001).

A interpretação final de uma ACV pode ser usada para auxiliar decisões e criar ações subsequentes, uma vez que a análise de ciclo de vida cria resultados de características ambientais que não são visíveis em outras análises. Entretanto, estas decisões "ficam além do escopo do estudo da ACV, uma vez que outros fatores, como desempenho técnico, aspectos econômicos e sociais, também são considerados" (ABNT, 2001).

A interpretação do ciclo de vida é formada pelos seguintes passos (ABNT, 2005):

- Identificação dos pontos significativos baseados nas escolhas de métodos e nos resultados das fases de ICV ou AICV do estudo ACV (ex.: categorias de impacto e dados de inventário);
- avaliação do estudo, incluindo verificações de completeza, sensibilidade e consistência;
- conclusões, recomendações e relatório.

Após a normatização da ACV ser explicada nesta seção, nas seções seguintes serão abordados os materiais utilizados na fabricação dos dois blocos estudados: ferro fundido e alumínio.

### 3 FERRO FUNDIDO

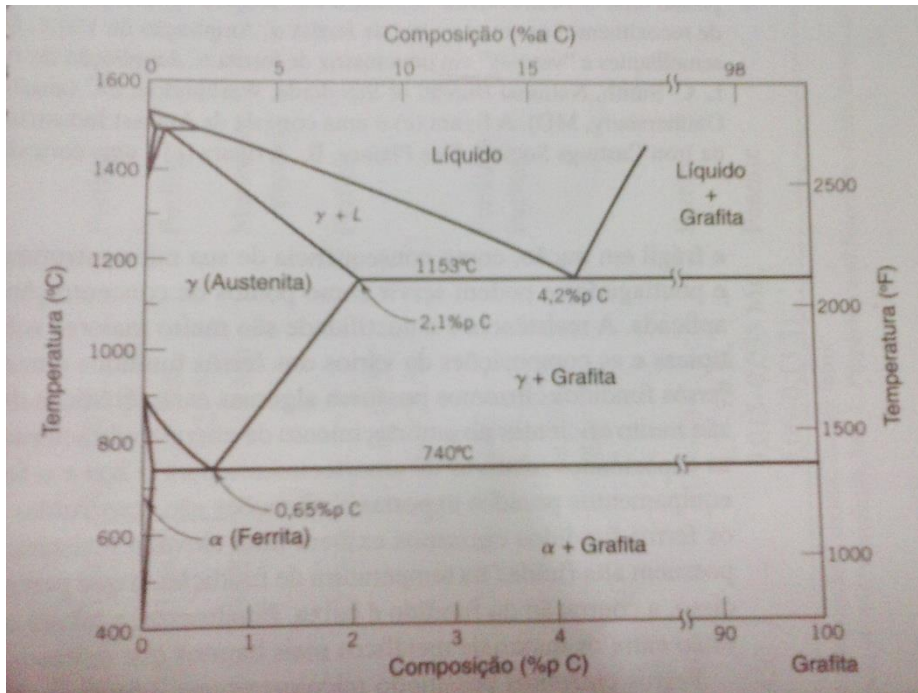
#### 3.1 DEFINIÇÃO

Os ferros fundidos são ligas ferrosas que, juntamente com os aços, são amplamente utilizadas e produzidas, mais do que qualquer outro tipo de metal. Isso se deve a alguns fatores, tais quais: os compostos de ferro são encontrados em farta quantidade em nosso planeta; seus processos de extração, refinamento e produção são acessíveis economicamente; possuem uma grande variedade de usos, devido às suas propriedades (CALLISTER, 2008).

Uma definição mais técnica também é feita por Chiaverini (2008), que define o ferro fundido como "a liga ferro-carbono-silício, de teores de carbono geralmente acima e 2,0%, em quantidade superior à que ser retida em solução sólida na austenita, de modo a resultar carbono parcialmente livre, na forma de veios ou lamelas de grafita".

#### 3.2 FASES

Para entender o comportamento dos ferros fundidos, é interessante entender o comportamento das fases do ferro puro, pois este muda sua forma e estrutura de acordo com a temperatura e a porcentagem de carbono existente, e é análogo aos diagramas dos ferros fundidos, como podemos observar na Figura 4, que mostra o diagrama Ferro-Carbono (CALLISTER, 2008):



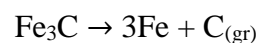
**Figura 4 - Diagrama de fases Ferro-Carbono.**  
**Fonte: CALLISTER (2008)**

A seguir, são apresentadas as fases do ferro existentes (CHIAVERINI, 2008):

- Austenita - Solução sólida de carbono no ferro gama, tem como características boa resistência mecânica e tenacidade;
- Ferrita - Ferro no estado alfa com carbono em solução, possui baixa dureza e resistência à tração, e alto alongamento e resistência ao choque;
- Cementita - Nome dado ao carboneto de ferro  $Fe_3C$  com 6,67% de carbono, possui elevada dureza e baixa ductilidade;
- Perlita - É a mistura de ferrita(88,5%) com cementita(11,5%) disposta alternadamente em forma de lâminas. Por tratar-se de uma mistura, possui propriedades mecânicas intermediárias às da perlita e da cementita.

É conveniente lembrar que o silício e os tratamentos térmicos têm papel fundamental na viabilização da maioria dos ferro fundidos, pois aceleram muito a decomposição da cementita em grafita (VAN VLACK, 2000).

Isso ocorre segundo a equação:



Esta dissociação é interessante, porque o carbono grafita é mais estável do que os carbetos, que se encontram na forma metaestável, ou seja, têm uma taxa muito baixa de aproximação do equilíbrio termodinâmico (CALLISTER, 2008).

### 3.3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO FERRO FUNDIDO

#### 3.3.1 Processamento das matérias-primas

Na siderurgia, três recursos são considerados essenciais para utilização: minério de ferro, carvão e calcário (CHIAVERINI, 1986a).

##### 3.3.1.1 *Minério de ferro*

Óxidos, carbonatos, sulfetos e silicatos são os principais minerais que contêm o ferro em quantidade relevante. Dentre os citados, os óxidos são os mais importantes, e dentre eles, os principais são (CHIAVERINI, 1986a):

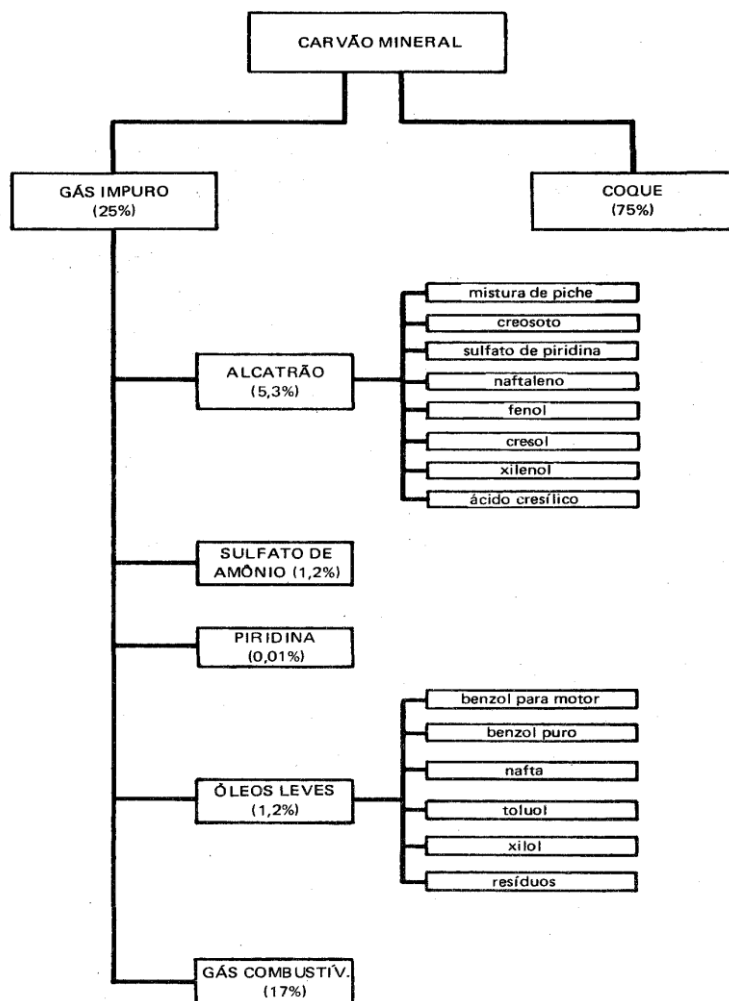
- Magnetita (óxido ferroso-férrico) -  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  - 72,4% de Fe;
- Hematita (óxido férrico) -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 69,9% de Fe;
- Limonita (óxido hidratado de ferro) -  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  - 48,3% de Fe.

Os minérios de ferro, após serem extraídos, passam por um processo de beneficiamento, onde, por meio de variadas técnicas, têm suas características físico-químicas alteradas para serem melhor aproveitados nos altos-fornos (CHIAVERINI, 1986a).

### 3.3.1.2 Carvão

O carvão é o combustível utilizado nos altos-fornos. Tem como outras funções fornecer calor para combustão, e carbono para a formação do ferro-gusa e para a redução do óxido de ferro. Os tipos mais utilizados são o carvão coque e o vegetal, por serem menos inflamáveis do que outros tipos de carvão, possibilitando maiores temperaturas no forno (CHIAVERINI, 1986a).

Diferentemente da produção do carvão vegetal (ou de madeira), onde há perda de subprodutos no processo de pirólise da madeira, a produção do carvão coque possui um melhor aproveitamento de seus derivados. Este tipo de carvão é fabricado pelo processo de aquecimento do carvão mineral à altas temperaturas em câmaras hermeticamente fechadas, denominado coqueificação. Ilustrado na Figura 5, o coque é um dos resíduos desta transformação, um composto poroso e heterogêneo (CHIAVERINI, 1986a):

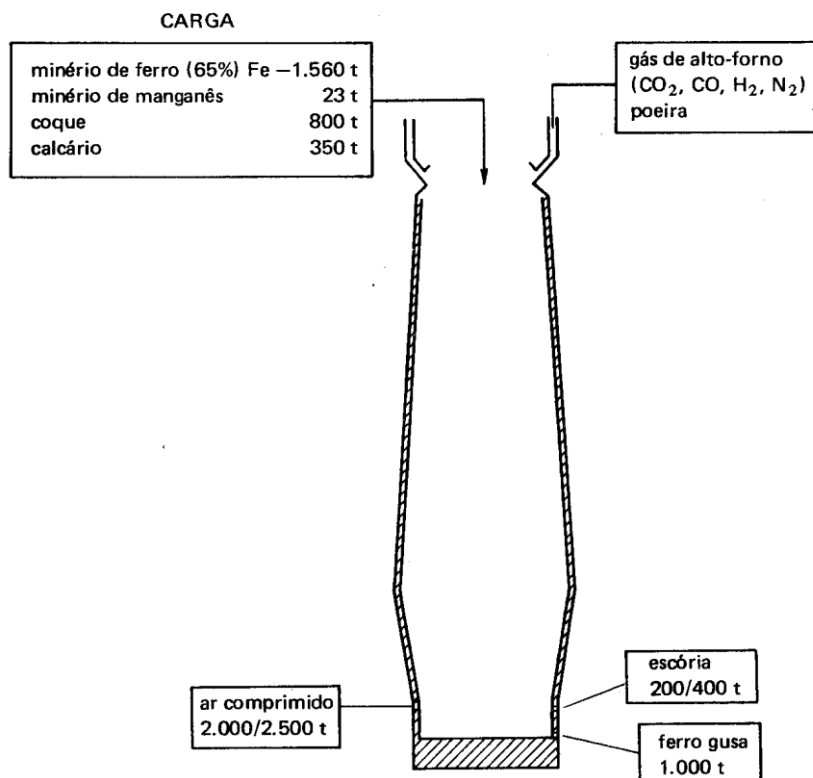


**Figura 5 - Produtos obtidos do carvão mineral.**  
Fonte: CHIAVERINI(1986a)

### 3.3.1.3 Calcário

O calcário ( $\text{CaCO}_3$ ) atua como o principal fundente na siderurgia, combinando-se com as impurezas do minério de ferro e com as cinzas do carvão, chamadas escórias (CHIAVERINI, 1986a).

A Figura 6 mostra os recursos necessários e as saídas da produção de 1000 toneladas de ferro-gusa em um alto-forno:



**Figura 6 - Entradas e saídas da produção de ferro-gusa em alto-forno.**  
 Fonte: CHIAVERINI (1986a)

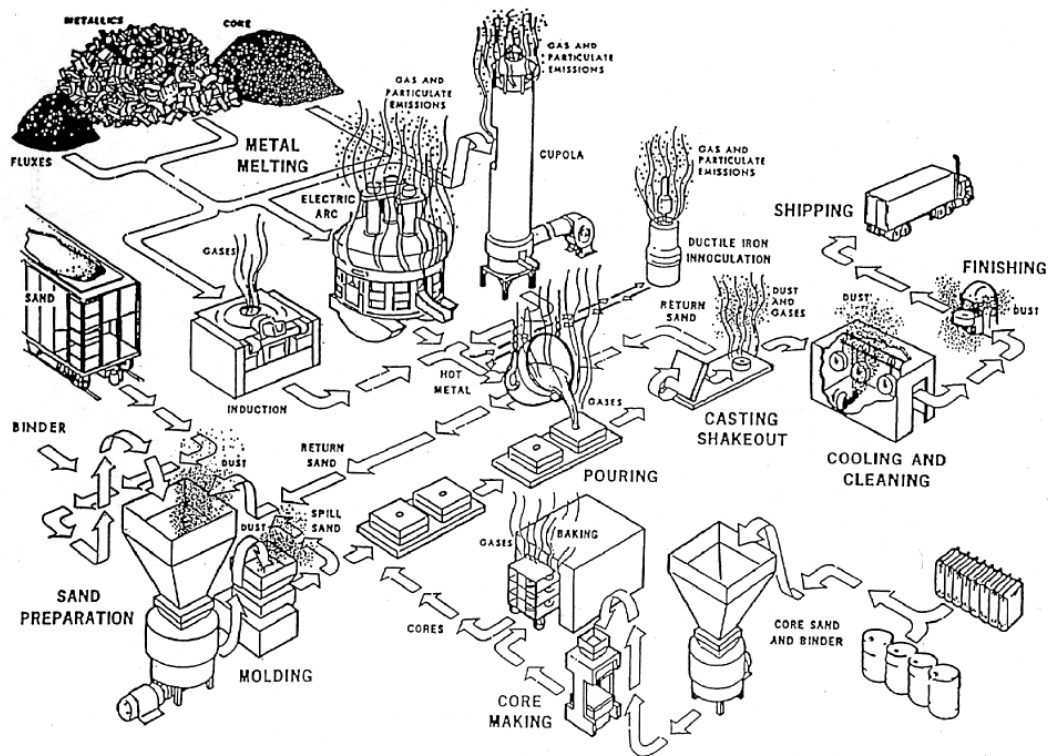
### 3.3.2 Fundição

Dá-se o nome de fundição ao processamento das ligas metálicas em peças de uso industrial. O processo pode ser descrito pelo derretimento das matérias-primas para o estado líquido através de fornos, para posteriormente serem derramados em moldes, cujo formato é o negativo das dimensões da peça a ser produzida. Eventuais orifícios da peça são modelados

por machos, que têm a função de preencher o volume dos furos de modo que o metal não penetre esta região, deixando um vazio no lugar. Após essa etapa, a peça é retirada do molde para passar por processos de acabamento (CHIAVERINI, 1986b).

A fundição funciona como um processo inicial da maioria dos processos, porque faz com que as peças tenham formas praticamente definitivas, e também porque é o processo usado na fabricação de lingotes, que são utilizados nos processos de conformação mecânica para posterior definição de formato. Portanto, a fundição possui uma grande empregabilidade devido à variedade de formas e à alta complexidade em que as peças podem ser fabricadas (CHIAVERINI, 1986b).

No nível do metal, isto é, entre a entrada da matéria-prima e o produto parcialmente finalizado, a fundição resume-se apenas às fases de fusão e solidificação, tendo as partes finais do processo de produção realizadas por outros processos de conformação, como laminação, forjamento e estampagem (SENAI, 1987). Um esquema da produção do ferro fundido através das etapas descritas pode ser observado na Figura 7:



**Figura 7 - Processo de produção do ferro fundido.**  
Fonte: EPA(1998)



A escolha do melhor processo de fabricação de um produto inclui o questionamento de vários parâmetros, como é descrito por Nascimento (2009):

O melhor processo para desenvolvimento de uma determinada peça, além de seu custo é claro, é o peso da mesma, o metal envolvido, a liga de determinado metal, as características metal-mecânicas exigidas, o acabamento desejado, as espessuras mínimas e máximas de cada parte ou parede, as tolerâncias dimensionais exigidas, os ângulos desejados, as matrizes e/ou modelos necessários, o tamanho da peça e o formato da peça. Além disso, deve-se levar em conta, a quantidade de peças que serão produzidas, ou seja, a capacidade de repetibilidade das peças e os custos operacionais envolvidos no processo escolhido.

### 3.4 FERRO FUNDIDO E SUAS LIGAS

A velocidade de resfriamento e a adição de elementos de liga promovem a diferenciação das ligas de ferro fundido, de modo que, para cada função desejada, exista um tipo específico de ferro fundido a ser utilizado, com propriedades apropriadas e otimizadas para a função desejada, outrora somente exercida pelos aços (CHIAVERINI, 2008).

A velocidade de resfriamento é a relação entre o resfriamento e a espessura da peça. Secções com alta espessura requerem baixas velocidades, enquanto que secções menos espessas podem ser resfriadas em velocidades elevadas. Deste modo, a grafitação é favorecida, já que as relações descritas acima promovem a decomposição da cementita (CHIAVERINI, 2008).

Os principais elementos de ligas têm as seguintes funções (CHIAVERINI, 2008):

- Si, Al, Ni: Atuam como decompositores de carbonetos, favorecendo a formação de grafita;
- Mn, Mo, V, Cr: Em contraste aos elementos grafitizantes, estes elementos são estabilizadores de cementita. O manganês atua também como dessulfurante;
- P, S: Caracterizados como impurezas, são encontrados em baixas quantidades. O fósforo tem participação como formador do carboneto denominado steadita.

Segundo Callister (2008), existem cinco tipos principais de ferro fundido que podem ser obtidos através de tais processos, sendo eles: branco, maleável, nodular, de grafita compactada e cinzento, e suas composições podem ser vista na Tabela 1:

Tabela 1 - Composição química dos tipos de ferro fundido.

Tipo	Composição química, %				
	C	Si	Mn	S	P
Branco	1,8/3,6	0,5/1,9	0,25/0,80	0,06/0,20	0,06/0,20
Maleável	2,2/2,9	0,9/1,9	0,15/1,20	0,02/0,20	0,02/0,20
Cinzento	2,5/4,0	1,0/3,0	0,20/1,00	0,02/0,25	0,02/1,00
Nodular	3,0/4,0	1,8/2,8	0,10/1,00	0,01/0,03	0,01/0,10
Grafita compactada	2,5/4,0	1,0/3,0	0,20/1,00	0,01/0,03	0,01/0,10

Fonte: CHIAVERINI(2008)

## 4 ALUMÍNIO

### 4.1 DEFINIÇÃO

O alumínio é um metal não-ferroso de crescente popularidade, devido às suas atraentes características físico-químicas, como o baixo peso específico, resistência à corrosão, alta condutibilidade elétrica e térmica, e praticamente infinita taxa de reciclagem. Estes atributos, somados à sua facilidade de uso em processos industriais, permitem sua aplicação em diversas áreas da engenharia (ABAL, 2012).

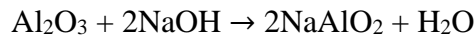
### 4.2 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO ALUMÍNIO

Para a produção de alumínio, é necessário extrair os minérios do alumínio, onde a bauxita é o principal minério. É constituída de vários óxidos, principalmente  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (óxido hidratado). O processo metalúrgico do alumínio compreende a obtenção e a eletrólise da alumina (CHIAVERINI, 1986a).



**Figura 8 - Bauxita, alumina e liga de alumínio.**  
Fonte: World Aluminum (2015)

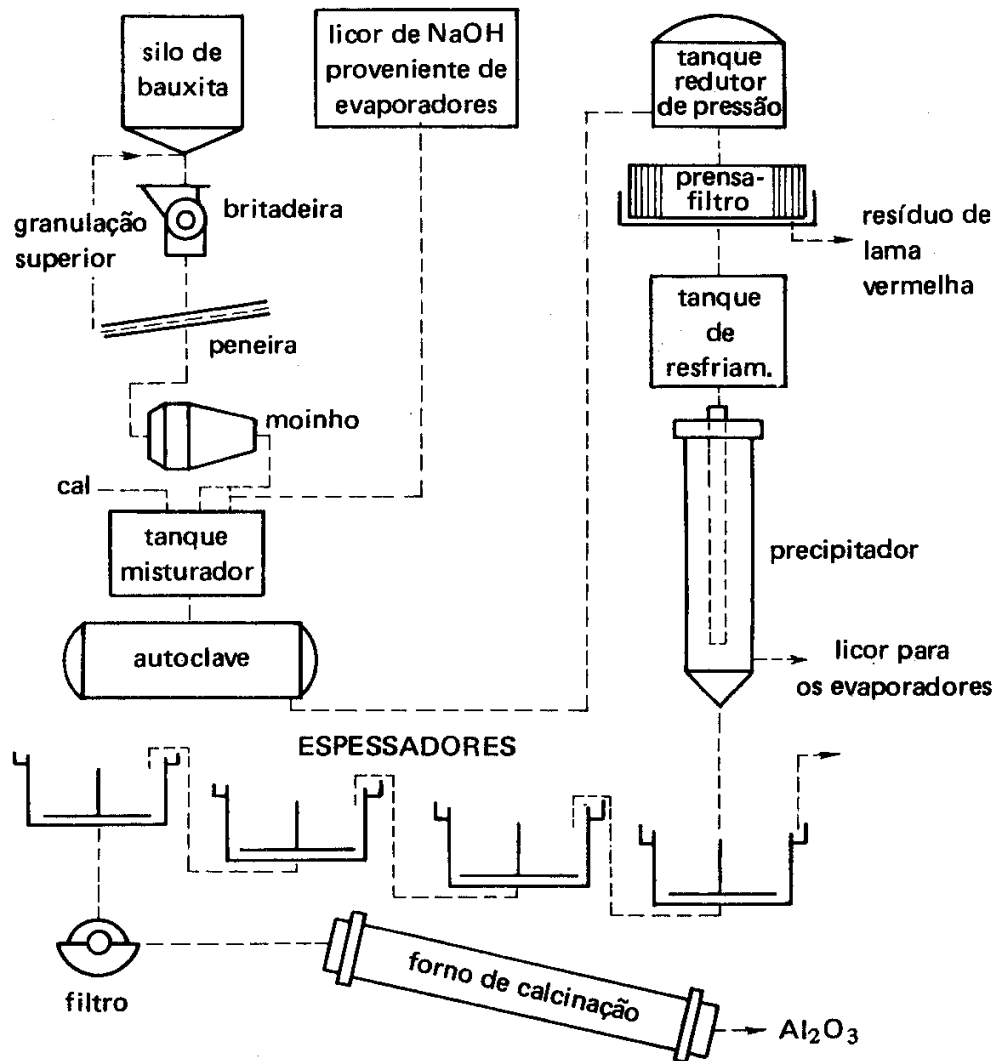
A bauxita é obtida das minas, e também passam por processos de beneficiamento, como a moagem, lavagem e secagem, com o intuito de retirar possíveis impurezas (BNDES, 2011). A extração da alumina é feita através do processo Bayer. A bauxita primeiramente é britada e moída. O pó resultante é misturado em um tanque com hidróxido de sódio, e posteriormente bombeado em uma autoclave, à alta pressão e temperatura, formando aluminato de sódio solúvel (CHIAVERINI, 1986a):



Esta solução passa então por processos de sedimentação, decantação e filtração sob pressão, para retirar possíveis compostos indesejados, como o hidróxido de ferro. Possíveis quantidades de alumina contidas em licor de soda podem ser retiradas também, mas são convenientemente recuperadas em evaporadores. A seguir, o aluminato passa por um tanque de resfriamento e por precipitação, formando a alumina hidratada (CHIAVERINI, 1986a):



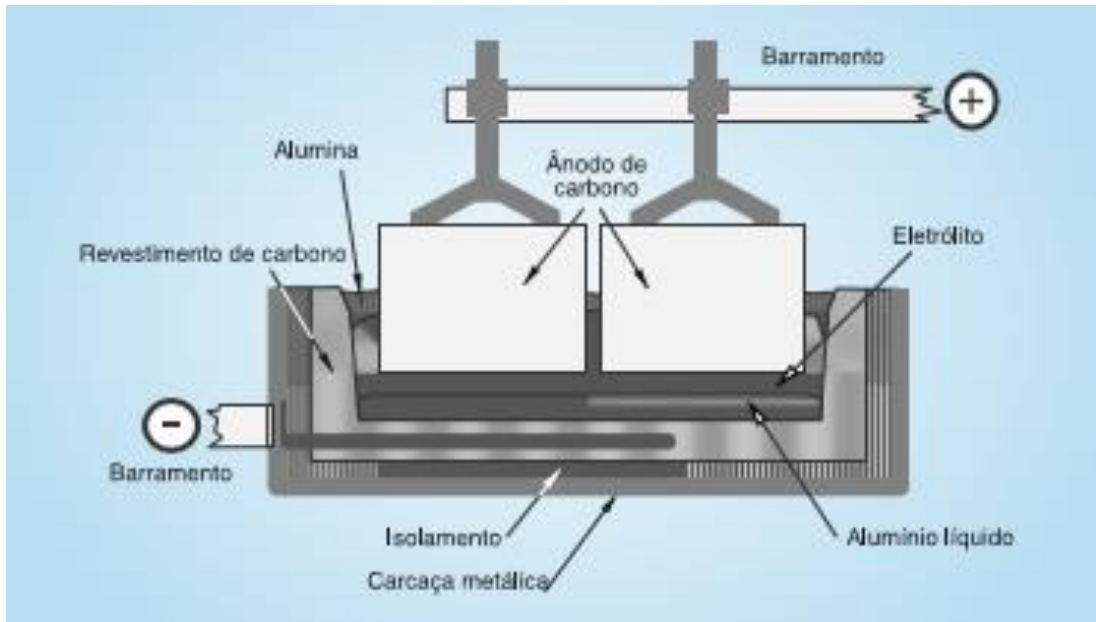
A alumina hidratada passa por espessadores, filtros e por fornos de calcinação, onde a alumina pura finalmente é obtida, com teores de 99,5 a 100% de pureza. O conjunto das operações descritas é mostrado na Figura 9 (CHIAVERINI, 1986a):



**Figura 9 - Processo de Obtenção da alumina.**  
 Fonte: CHIAVERINI(1986a)

A eletrólise consiste no processo de separação dos componentes químicos de um composto. Esta separação ocorre através da ionização ou dissociação, que resulta na formação de íons. Em seguida, através de uma corrente elétrica, estes íons em solução são separados (BNDES, 2011).

Em uma cuba, uma solução de fluoreto de sódio e alumínio chamada criolita recebe a alumina. O cátodo corresponde ao fundo da cuba eletrolítica e o ânodo, aos eletrodos de carbono. Dessa forma, os íons de alumínio puro são depositados e recolhidos periodicamente no cátodo, como mostra a Figura 10 (BNDES, 2011):

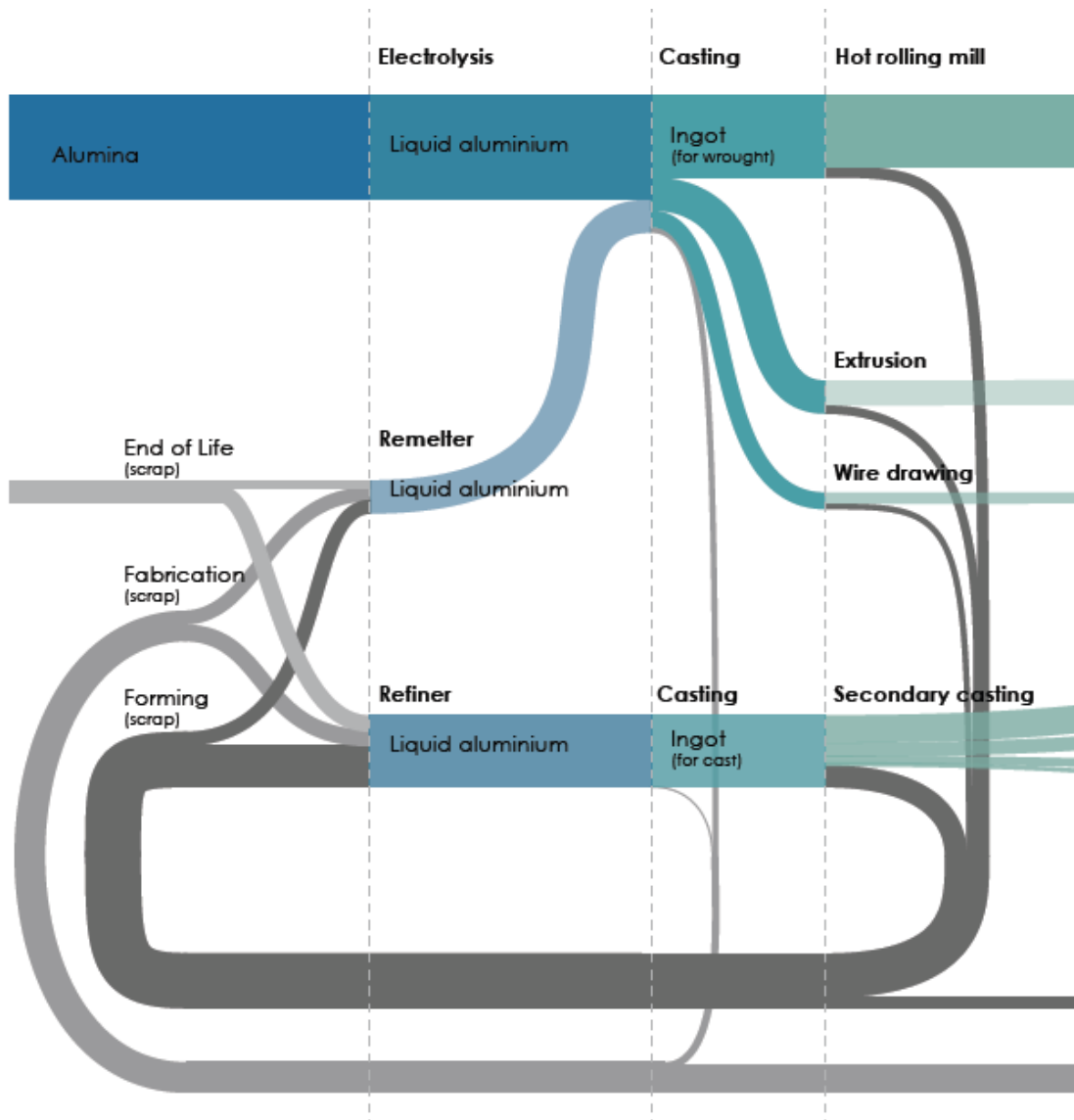


**Figura 10 - Eletrólise da alumina.**  
**Fonte: ABAL(2007)**

O alumínio líquido resultante(alumínio primário) avança para a etapa de fundição, onde é resfriado em fornos de espera e refundidos com os elementos de liga selecionados. Segue-se então para processamentos que irão resfriar a liga em formas de lingotes, tarugos, e placas e barras. Os metais formados finalmente são conformados por processos como extrusão, laminação e forjamento (BNDES, 2011).

#### 4.3 RECICLAGEM

Também chamado de alumínio secundário, é uma das grandes vantagens do alumínio. Todas as sobras de material durante processos industriais e os materiais em fase final de vida(sucata) são reaproveitadas para um segundo processamento, idêntico ao do alumínio primário, mas com a vantagem de usar apenas cerca de 5% da energia requerida (WORLD ALUMINUM, 2015). A Figura 11 ilustra as etapas de produção do alumínio descritas:



**Figura 11 - Fases da produção e processamento do alumínio.**  
**Fonte: Adaptado de World Aluminum (2015)**

#### 4.4 ALUMÍNIO E SUAS LIGAS

Os elementos de liga atuam na variabilidade das ligas de alumínio, de modo que sua composição é fundamental para adquirir as propriedades mecânicas desejadas para determinada aplicação, possibilitando o uso em diversas atividades. Portanto, as limitações das ligas de alumínio são sobremaneira minimizadas por esse fator (ABAL, 2012).

As ligas de alumínio podem ter como elementos de liga principalmente silício, cobre, magnésio e zinco. Algumas de suas propriedades são descritas na Tabela 2 (SENAI, 1987):

**Tabela 2 - Propriedades de algumas ligas de alumínio.**

Liga	Temp. de fusão (C°)	Coef. De contração linear (%)	Peso específico (kgf/dm <sup>3</sup> )	LR (MPa)	%A
Al-Si	650 – 700	1,1 – 1,3	2,6 – 2,7	100 – 200	0,5 – 4
Al-Cu	600 – 650	1,2 – 1,4	2,8 – 2,9	150 – 300	0,2 – 5
Al-Mg	600 – 650	1,1 – 1,4	2,6 – 2,7	150 – 200	4 – 7
Al-Zn	660	1,5	2,8	200	4

**Fonte: SENAI (1987)**

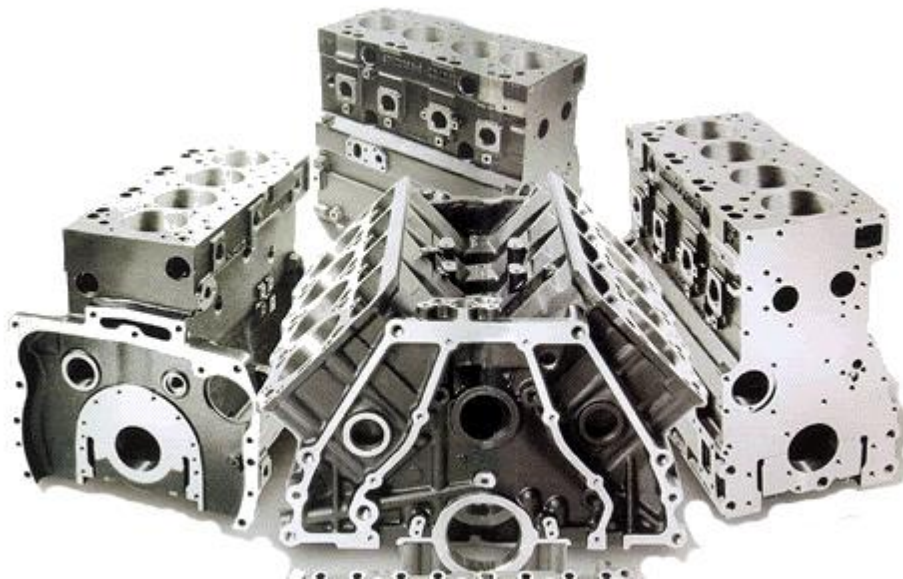
Encerra-se assim a descrição dos materiais utilizados neste estudo. A seção a seguir explora brevemente a constituição de um bloco de motor, sua estrutura, funções e características.



## 5 BLOCO DE MOTOR

### 5.1 DEFINIÇÃO

Para Boff (2003), o bloco é considerado o elemento mais importante do motor, pois os componentes protegidos são fundamentais para o funcionamento do mesmo. É nos cilindros que ocorre as fases de compressão e explosão do combustível misturado com oxigênio. Tal processo promove o deslocamento dos pistões, transformando energia térmica em energia mecânica, que será manejado pelas bielas e pelo virabrequim. Alguns modelos de blocos de motor são ilustrados na Figura 12:

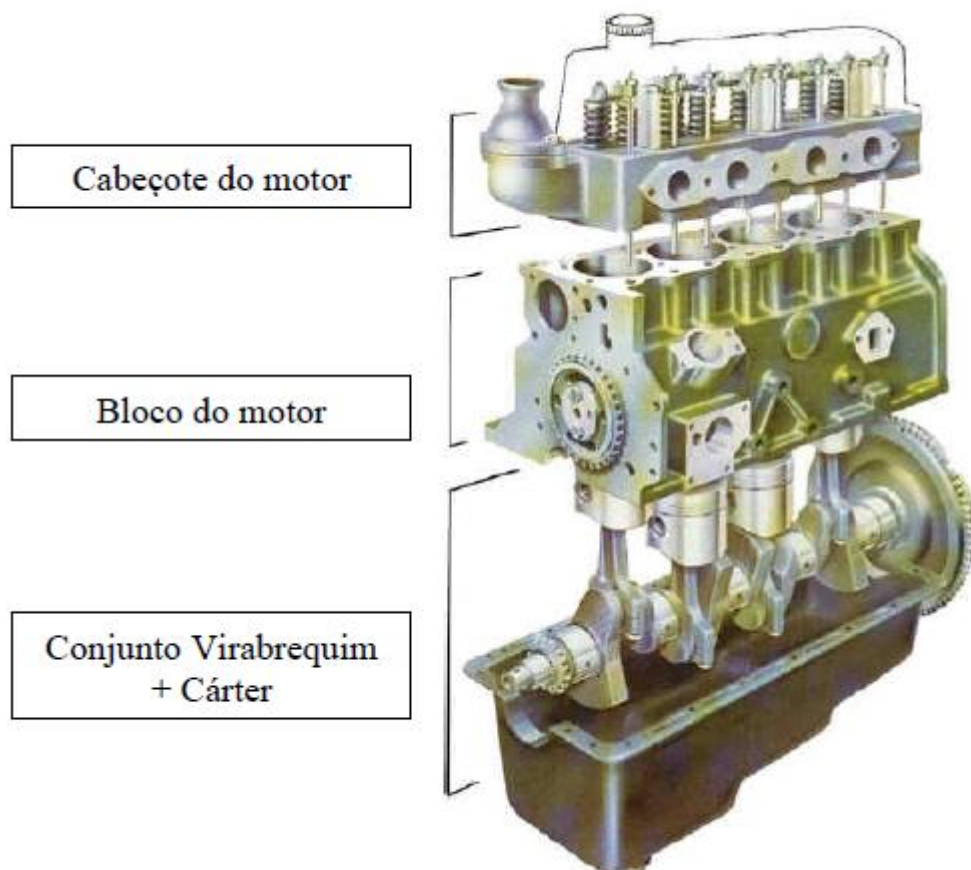


**Figura 12 - Modelos de blocos de motor.**  
**Fonte: BOFF(2003)**

### 5.2 ESTRUTURA

Dentro da composição do motor, os blocos estão localizados entre o cárter e o cabeçote, revestindo partes do motor, como mostra a Figura 13. Na parte superior, o bloco atua como suporte para o cabeçote, que tem como função controlar a alimentação do motor

através de seu conjunto de válvulas. Na parte inferior, o bloco também atua como suporte, mas do cárter, componente que atua como reservatório de óleo. Ao longo do bloco, pode-se observar diversas outras funções: a alocação de vários componentes do motor, como o conjunto pistão-biela- virabrequim, coletores de admissão e escape, motor de arranque, válvulas, sensores e elementos de transmissão; a garantia de estanqueidade ideal para as juntas e anéis de pistão; o transporte de fluidos para arrefecimento e lubrificação, como água e óleo; e o suporte das cargas inerentes ao funcionamento do motor, como as cargas dos parafusos acoplados (SANTOS, 2013).



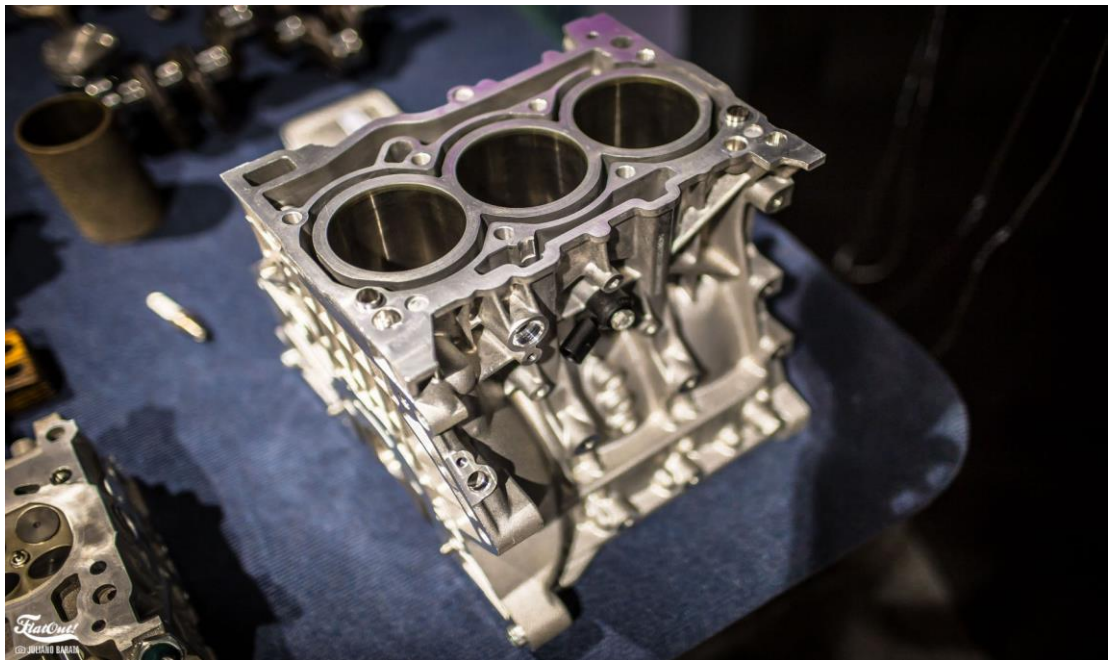
**Figura 13 - Principais elementos de um motor.**  
Fonte: MARTINS(2012)

## 6 APLICAÇÃO DA ACV

Após toda a fundamentação teórica ser apresentada, neste capítulo será realizada a ACV de fato, seguindo todos os procedimentos das normas de aplicação de uma ACV.

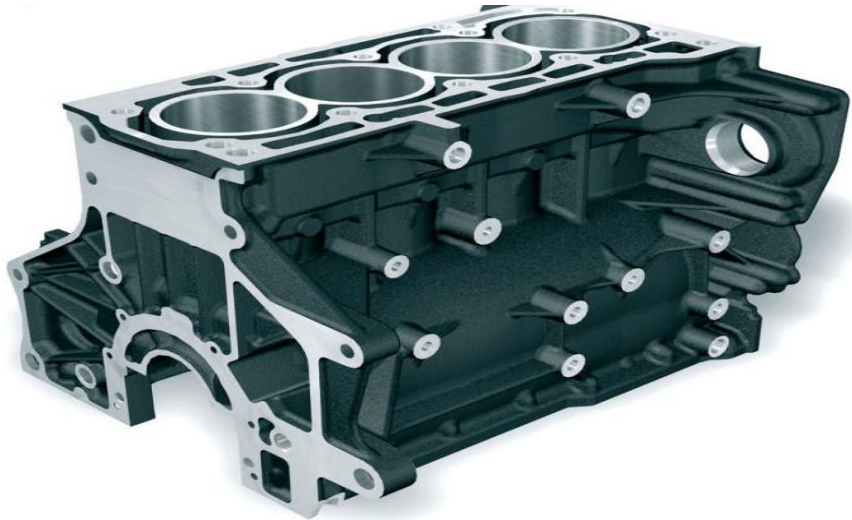
### 6.1 DEFINIÇÃO DO ESCOPO E DOS OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo é calcular e comparar o impacto ambiental causado pela obtenção de matéria-prima para produção de dois blocos de motores: um feito em ferro fundido e com 4 cavidades para abrigo dos cilindros, e o outro, em alumínio, com 3 cavidades.



**Figura 14 - Bloco de 3 cilindros de alumínio.**  
**Fonte: BARATA(2015)**

Os blocos diferem-se principalmente pelo material utilizado e pela arquitetura, como pode ser visto nas Figuras 14 e 15, mas como desempenham a mesma função, a unidade funcional é o " funcionamento de um motor de combustão interna ".



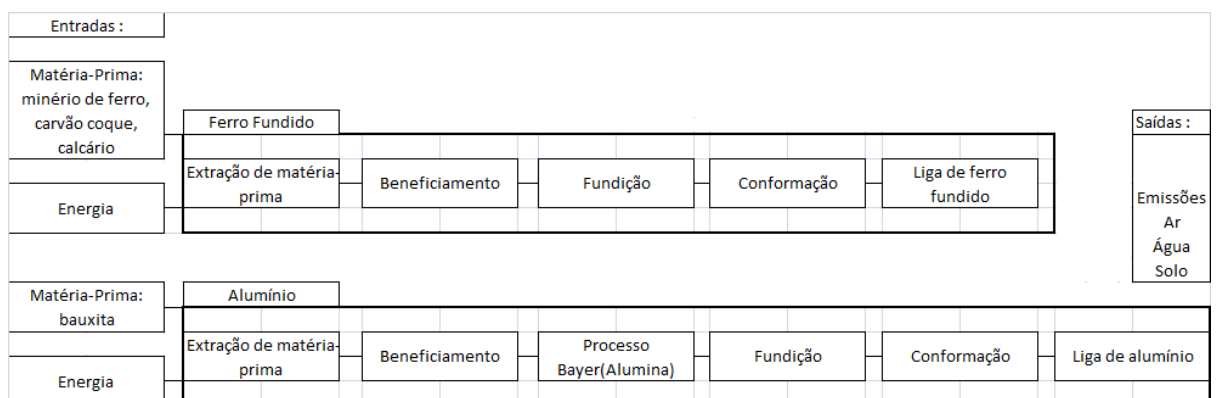
**Figura 15 - Bloco de 4 cilindros de ferro fundido.**  
**Fonte: VOLKSPAGE(2006)**

O escopo do trabalho ficou limitado à extração e produção de matéria-prima pela falta de dados correspondentes às fases de uso e descarte dos blocos. Também foi decidido pela não inclusão da fase de transporte, supondo-os equivalentes.

Acerca das composições das ligas metálicas constituintes do bloco, será avaliado apenas o material proeminente da liga para o estudo, que corresponde praticamente à totalidade na liga, ou seja, alumínio e ferro fundido, respectivamente. Elimina-se assim, a necessidade de escolha de ligas, e são consideradas as mais otimizadas para as necessidades do bloco.

Quanto aos procedimentos de alocação, foi utilizado a modelagem *default, unit system*, existente no *software* SimaPro 8.

A Figura 16 mostra, de forma simplificada, os limites dos sistemas estudados:



**Figura 16: Limites dos sistemas de extração e produção dos materiais dos blocos.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Para a avaliação de impacto, o método ReCiPe, desenvolvido por Goedkoop *et al.* (2008) foi utilizado para avaliar os possíveis impactos ambientais em 18 categorias, que são as seguintes:

- Ocupação de terra para agricultura;
- Mudança climática;
- Depleção de recursos fósseis;
- Ecotoxicidade de água-doce;
- Eutrofização de água-doce;
- Toxicidade humana;
- Radiação ionizante;
- Ecotoxicidade marinha;
- Eutrofização marinha;
- Depleção de metais;
- Transformação de terra natural;
- Depleção de ozônio;
- Formação de matéria particulada;
- Formação de oxidante fotoquímico;
- Acidificação terrestre;
- Ecotoxicidade terrestre;
- Ocupação de terra urbana;
- Depleção de água.

## 6.2 ANÁLISE DE INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

Definidas as metas e escopo do estudo, é realizada a etapa de análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV), que é o processo baseado em dados que identifica e quantifica as entradas e saídas do ciclo de vida do produto (EPA, 1993).

Os inventários do ciclo de vida foram calculados predominantemente por dados secundários, obtidos através da base de dados EcoInvent 3, e foram tratados e compilados no *software* SimaPro 8. O bloco de motor de ferro fundido, pesquisado por Vasconcellos (2015) tem peso (40 kg) e será utilizado como base para o inventário do bloco de ferro fundido; já o bloco de alumínio avaliado teve seu peso (13,3 kg) encontrado após pesquisas na internet, por meio de sites especializados em automóveis.

Foi usada bases de dados globais no *software*, devido à falta de dados nacionais. Elas representam a produção mundial de ambos os metais, desde a extração dos minérios até sua

conformação, tendo características de produção pré-definidas. Para 1 kg de ferro fundido produzido, sua composição é de 65% de ferro-gusa e 35% de ferro reciclado; para 1 kg de alumínio, 48% da entradas é composta de alumínio primário, e 52% de alumínio secundário (reciclado).

As tabelas relativas aos inventários podem ser vistas dentro do Apêndice A. É importante saber que os inventários mostrados no apêndice mostram valores relativos a 1 kg de material para ambos os blocos. Entretanto, as operações para cálculo dos impactos foram feitas normalmente com os pesos dos blocos pesquisados.

### 6.3 AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA

Após quantificados, os dados reunidos na análise de inventário foram tratados na Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV). Através dos resultados dos indicadores mediante classificação e posterior caracterização, os resultados podem ser então normalizados, expressando os impactos comparados com valores de referência. Foi utilizado um *cut-off* de 0,1 com o intuito de filtrar os resultados.

Os impactos caracterizados e normalizados, bem como suas principais emissões podem ser vistos na Tabela 3. É interessante notar que o alumínio não teve nenhuma contribuição em alguns indicadores, como *depleção de metais*, *radiação ionizante e ocupação de terra urbana e para agricultura*.



Tabela 3: Caracterização e normalização dos inventários dos blocos de alumínio e ferro fundido.

	Material/ Categoria de Impacto	Ocupação de terra para agricultura (m <sup>2</sup> a)	Mudança climática (kg CO <sub>2</sub> eq)	Depleção de recursos fósseis (kg oil eq)	Ecotoxicid e de água- doce (kg 1,4-DB eq)	Eutrofizaç ão de água- doce (kg P eq)	Toxicidade humana (kg 1,4- DB eq)	Radiação ionizante (kBq U235 eq)	Ecotoxicid e marinha (kg 1,4- DB eq)	Eutrofizaç ão marinha (kg N eq)
Caracterização (total)	Alumínio	0	95,367885	22,706845	0,0928296	2,663E-08	2,9408235	0	0,1028219	0,0088539
	Ferro fundido	0,9950986	96,744563	18,862251	1,1720037	0,0270285	48,146701	3,6902921	0,9951529	0,0136805
Normalização (total)	Alumínio	0	0,0100136	0,0176205	0,0216298	9,189E-08	0,0139101	0	0,0489432	0,0012041
	Ferro fundido	0,0001831	0,0101582	0,0146371	0,2730769	0,0932482	0,2277339	0,0085246	0,4736928	0,0018605
	Principais emissões	Ocupação	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , CH <sub>4</sub> , HFC,	Carvão, óleo, gás natural	Cobre, Zinco, Níquel, Bário	Fosfatos	HF, Mercúrio, Bário	Césio-137, Carbono- 14, Radon- 222	Cobre, Mercúrio, Pb, Bário	Cianetos, Amônia, Nitrogênio
	Material/ Categoria de Impacto	Depleção de metais (kg Fe eq)	Transfor mação de terra natural (m <sup>2</sup> )	Depleção de ozônio (kg CFC- 11 eq)	Formação de matéria particula da (kg PM10 eq)	Formação de oxidante fotoquím ico (kg NMVOC)	Acidificaç ão terrestre (kg SO <sub>2</sub> eq)	Ecotoxicid e terrestre (kg 1,4- DB eq)	Ocupação de terra urbana (m <sup>2</sup> a)	Depleção de água(m <sup>3</sup> )
Caracterização (total)	Alumínio	0	0	1,15E-07	0,1560573	0,3090807	0,6230116	0,0015819	0	0
	Ferro fundido	35,665711	0,0089699	3,095E-06	0,2812082	0,3810326	0,3431006	0,0156462	0,9526393	106,98339
Normalização (total)	Alumínio	0	0	3,059E-06	0,0110957	0,0054398	0,0174443	0,0002673	0	0
	Ferro fundido	0,0802478	0,0007454	8,232E-05	0,0199939	0,0067062	0,0096068	0,0026442	0,0012289	0
	Principais emissões	Cobre, Cromo, Ferro, Manganês	Transfor mação de florestas	Hidrocarb onetos	Óxidos de enxofre e nitrogênio, Amônia	Óxidos de enxofre e nitrogênio, Hidrocarb	Óxidos de enxofre e nitrogênio	Zinco, Vanádio, Cobre, Selênio	Ocupação para indústrias, mineração	Água para uso em turbinas

Fonte: Autoria própria.

## 6.4 INTERPRETAÇÃO

Os impactos ambientais normalizados comparativos dos blocos de motor selecionados são mostrados no Gráfico 1. Embora alguns indicadores obtiveram resultados praticamente insignificantes, pode-se visualizar no gráfico que há indicadores de impacto elevados relacionados ao bloco de ferro fundido, notadamente *ecotoxicidade marinha*, *ecotoxicidade de água-doce*, *eutrofização de água-doce*, *depleção de metais* e *toxicidade humana*. Esses resultados mostram-se mais discrepantes quando comparados aos respectivos indicadores do bloco de alumínio, que atingiram valores predominantemente baixos. Até mesmo o indicador mais alto de alumínio, *ecotoxicidade marinha*, aparenta-se reduzido frente ao indicador de ferro fundido correspondente.

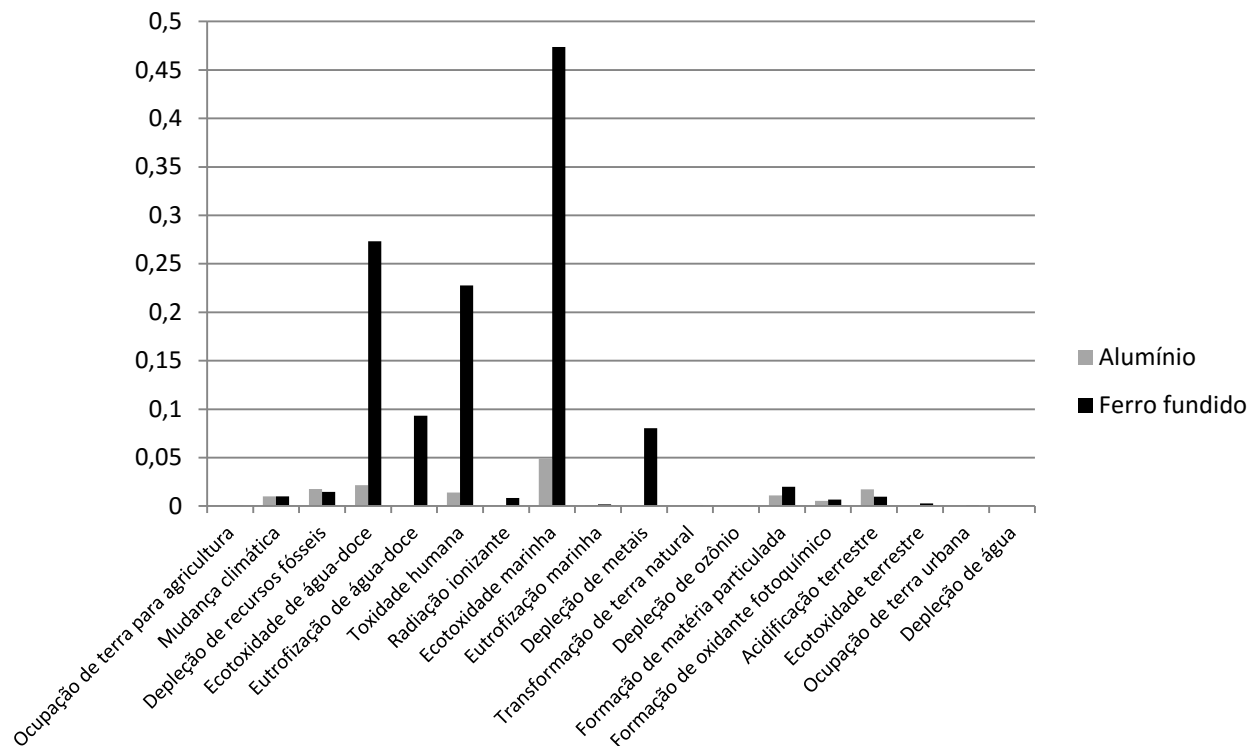


Gráfico 1 : Resultados normalizados dos indicadores de impacto.  
Fonte: Autoria própria.

O valor mais alto foi o do indicador de *ecotoxicidade marinha* relativo ao bloco de motor de ferro fundido, 0,47. As principais substâncias responsáveis por este indicador são a prata, cianeto de hidrogênio, cobre, mercúrio e bário, resíduos provavelmente oriundos dos metais reciclados filtrados nos processos de produção.

Os resultados na fase de extração e produção são correspondentes com os da literatura, quanto a comparação com outras fases de uma ACV *cradle-to-grave* (do berço ao túmulo). Usando alumínio secundário, Teksid (2006) conseguiu diminuir os impactos das fases de extração e produção do alumínio à medida que aumentava as porcentagens de alumínio secundário em sua composição, inclusive chegando a valores menores que o ferro fundido. Já Alcoa (2012) utilizou alumínio 100% primário para realizar sua ACV, resultando em maiores cargas ambientais do alumínio em relação ao ferro fundido, também na fase de extração e produção.

Apesar de representar uma pequena parcela do total, a fase de extração e produção é sem dúvida essencial, pois o desempenho dos impactos ambientais relacionados às fases restantes é dependente desta fase inicial. Portanto, os resultados atingidos não devem ser interpretados de maneira convencional, e sim de uma forma mais ampla.



O Gráfico 2 ilustra os indicadores normalizados de impacto em porcentagens, possibilitando assim a análise dos indicadores quando comparados entre si, mesmo os de baixa contribuição. Nestes resultados percentuais, nota-se o predomínio do alumínio nos indicadores *acidificação terrestre* e *depleção de recursos fósseis*. Entretanto, é demasiadamente menor sua participação se comparada ao ferro fundido.

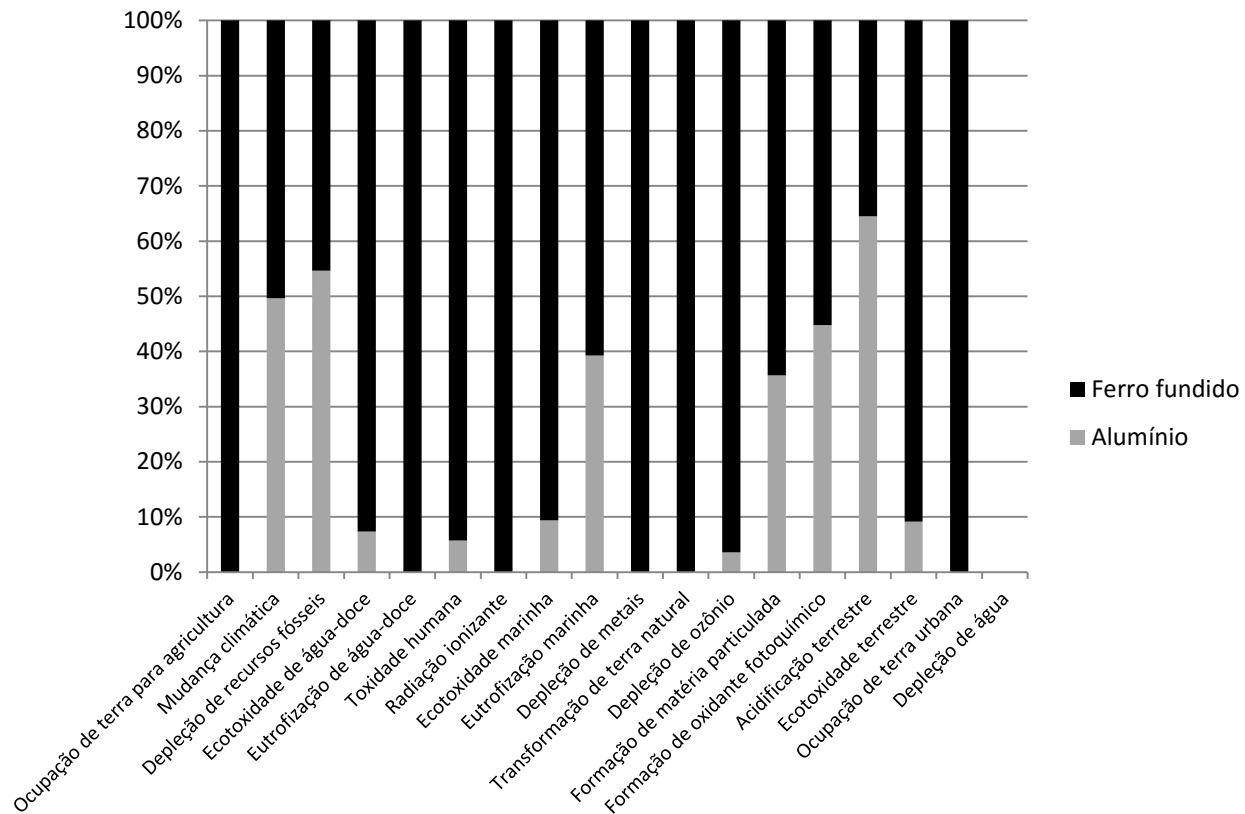


Gráfico 2: Resultados percentuais normalizados dos indicadores de impacto.  
Fonte: Autoria própria.

## 7 CONCLUSÃO

Por meio do presente trabalho, foi possível avaliar as cargas ambientais relativas à extração e produção dos materiais necessários para a produção de blocos de motor. Observou-se impactos maiores relacionados ao ferro fundido. Dentre os impactos analisados, houve grande disparidade entre os blocos, principalmente nos indicadores de *ecotoxicidade marinha*, *ecotoxicidade de água-doce*, *eutrofização de água-doce*, *depleção de metais e toxicidade humana*. Os maiores valores obtidos do ferro fundido (0,47) e do alumínio(0,049), ambos relativos ao indicador de *ecotoxicidade marinha*, denotam essa diferença. As principais substâncias causadoras deste índice foram o cobre e mercúrio para o ferro fundido, e prata e bário para o alumínio. Apesar de ter um processo mais sofisticado, o alumínio possui as vantagens de ser mais leve e ter uma alta taxa de reciclagem, quando comparado com o ferro fundido. Estes fatores mostraram-se determinantes para seu sucesso. O resultado, apesar de suas restrições, mostra não só o potencial do alumínio como material, mas também atesta o uso de ferramentas como a avaliação do ciclo de vida como meio para elucidar questões de difícil abordagem e compreensão. Uma redução significativa no peso de um veículo, por exemplo, certamente pode traduzir-se em menor quantidade de combustível, que provocará uma diminuição dos impactos ambientais atrelados às outras fases de uma ACV. Este efeito exponencial causado pelos materiais usados gera grandes possibilidades para o desenvolvimento de motores, ao mesmo tempo em que diminui seus impactos ao ambiente, comprovando sua sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

ABAL. **Fundamentos e aplicações do alumínio**. São Paulo, 2007.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14042**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida - Avaliação do impacto do ciclo de vida. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14043**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Interpretação do ciclo de vida. Rio de Janeiro, 2005.

BARATA, Juliano. **Flatout**. Up TSI é lançado como opção de R\$ 3.100 para toda a linha. Disponível em < <http://www.flatout.com.br/up-tsi-e-lancado-como-opcao-de-r-3-100-para-toda-a-linha-saiba-tudo-sobre-o-motor-turbo-e-conheca-o-speed-up/>>. Acesso em: 10 mai 2016

BNDES Setorial. **A indústria do alumínio**: estruturas e tendências.2011.

BOFF, Cristiano R. **Metodologia de análise de blocos de motores**. Aplicação a blocos de motores diesel em ferro fundido vermicular. 2003. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CASSIANO, Carolina. Olho no futuro. **Revista Alumínio**, São Paulo: Cecom, Julho, set. 2014. Disponível em: <<http://www.revistaaluminio.com.br/recicla-inovacao/40/artigo334078-1.asp>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

CALLISTER, William D. Jr. **Ciência e engenharia dos materiais**: Uma introdução. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia mecânica**, Volume II. 2. ed. McGraw-Hill, São Paulo, 1986a.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia mecânica**: Volume III. 2. ed. McGraw-Hill, São Paulo, 1986b.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**. 7. ed. ABM, São Paulo, 2012.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Life cycle assessment**: Inventory guidelines and principles. Washington, DC, 1993.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Life cycle impact assessment: A conceptual framework, key issues, and summary of existing methods.** Research Triangle Park, 1995.

EXAME. **7 tendências para o setor automotivo na próxima década.** Maio 2015.  
Disponível em: <<http://www.revistaaluminio.com.br/recicla-inovacao/40/artigo334078-1.asp>>. Acesso em: 15 set. 2015.

FERREIRA, José Vicente Rodrigues. **Análise de ciclo de vida dos produtos.** 2004. Instituto Politécnico de Viseu.

FUNDAÇÃO DOM CABRAL. **Sustentabilidade e poder nas organizações: Temas Emergentes.** 2003. Disponível em:  
<[http://www.fdc.org.br/hotsites/mail/livro\\_sustentabilidade\\_poder/temas-emergentes/dimensao-meio-ambiente/metas-de-reducao-de-CO2-na-cadeia-produtiva.html](http://www.fdc.org.br/hotsites/mail/livro_sustentabilidade_poder/temas-emergentes/dimensao-meio-ambiente/metas-de-reducao-de-CO2-na-cadeia-produtiva.html)>. Acesso em: 20 abr. 2015.

ISO. INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14044: Environmental management — Life cycle assessment — requirements and guidelines.** Rio de Janeiro, 2006.

MUÑOZ, Ivan Ortiz. **Life cycle assessment as a tool for green chemistry: application to different advanced oxidation processes for wastewater treatment.** 2006. 258f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais). Universitat Autònoma de Barcelona, Belaterra, 2006. Disponível em:  
<[http://www.psa.es/webesp/areas/tsa/docs/Tesis\\_Ivan\\_Munoz.pdf](http://www.psa.es/webesp/areas/tsa/docs/Tesis_Ivan_Munoz.pdf)>. Acesso em: 9 mai. 2015.

NASCIMENTO, Fábio Renato Rossi. **Processos produtivos I: Fundição.** São Carlos, 2009.

TAO, Li et al. **Environmental emissions and energy consumptions assessment of a diesel engine from the life cycle perspective.** Journal of Cleaner Production 53, 2013.

SAIC. SCIENTIFIC APPLICATIONS INTERNATIONAL CORPORATION. **Life cycle assessment: principles and practice.** Cincinnati, 2006.

SANTOS, Dinécio Filho. **Alterações metalúrgicas e topográficas do cilindro de bloco de motor de combustão interna flex-fuel.** 2003. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SENAI. **Iniciação à fundição.** 1987.

VAN VLACK, Lawrence H. **Princípios de ciência dos materiais.** 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

VOLKSPAGE. **TSI** – Injeção direta de gasolina e dupla sobrealimentação. 2006. Disponível em < <http://www.volkspage.net/technik/tsi/>>. Acesso em: 10 mai 2016.

WILLERS, Camila Daniele et al. **Avaliação do ciclo de vida no Brasil**: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. São Paulo, 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-65132013000200016](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132013000200016)>. Acesso em: 18 mai. 2015.

WORLD ALUMINUM. **Aluminium and life cycle thinking**. Towards sustainable cities. Philadelphia, 2015.

## APÊNDICE A - Inventários de ciclo de vida para o ferro fundido e alumínio

Cast iron {RER}   production   Alloc Def, U				
Recursos	Water, cooling, unspecified natural origin, RER	0,005216373 m3		
	Pig iron {GLO}   market for   Alloc Def, U	0,71825 kg		
	Anode, for aluminium electrolysis {GLO}   market for   Alloc Def, U	0,003 kg		
	Oxygen, liquid {GLO}   market for   Alloc Def, U	0,05073 kg		
	Refractory, basic, packed {GLO}   market for   Alloc Def, U	0,0135 kg		
	Quicklime, in pieces, loose {GLO}   market for   Alloc Def, U	0,055 kg		
	Inert waste, for final disposal {GLO}   market for   Alloc Def, U	-0,005 kg		
	Electric arc furnace converter {GLO}   market for   Alloc Def, U	4E-11 p		
	Iron scrap, sorted, pressed {GLO}   market for   Alloc Def, U	0,38675 kg		
	Dust, unalloyed electric arc furnace steel {GLO}   market for   Alloc Def, U	-0,0096 kg		
	Materiais/ combustíveis	Slag, unalloyed electric arc furnace steel {GLO}   market for   Alloc Def, U	-0,0928 kg	
		Hard coal {PL}   market for   Alloc Def, U	0,011804079 kg	
		Hard coal {WEU}   market for   Alloc Def, U	0,002195921 kg	
		Natural gas, high pressure {SK}   market for   Alloc Def, U	0,000470789 m3	
		Natural gas, high pressure {IE}   market for   Alloc Def, U	0,000154943 m3	
		Natural gas, high pressure {AT}   market for   Alloc Def, U	0,000352794 m3	
		Natural gas, high pressure {DE}   market for   Alloc Def, U	0,00536623 m3	
		Natural gas, high pressure {SE}   market for   Alloc Def, U	6,5553E-05 m3	
		Natural gas, high pressure {ES}   market for   Alloc Def, U	0,000753263 m3	
		Natural gas, high pressure {FR}   market for   Alloc Def, U	0,002533324 m3	
		Natural gas, high pressure {HU}   market for   Alloc Def, U	0,000548857 m3	
		Natural gas, high pressure {FI}   market for   Alloc Def, U	0,000256253 m3	
		Natural gas, high pressure {GR}   market for   Alloc Def, U	0,00046483 m3	
		Natural gas, high pressure {IT}   market for   Alloc Def, U	0,003295526 m3	
		Natural gas, high pressure {BE}   market for   Alloc Def, U	0,00069069 m3	
		Natural gas, high pressure {CH}   market for   Alloc Def, U	0,000173 m3	
		Natural gas, high pressure {CZ}   market for   Alloc Def, U	0,000507738 m3	
		Natural gas, high pressure {NL}   market for   Alloc Def, U	0,003579669 m3	
		Natural gas, high pressure {GB}   market for   Alloc Def, U	0,005494531 m3	
		Natural gas, high pressure {DK}   market for   Alloc Def, U	0,000292009 m3	
		Eletricidade/ calor	Electricity, medium voltage {SK}   market for   Alloc Def, U	0,003243502 kWh
			Electricity, medium voltage {BA}   market for   Alloc Def, U	0,00111961 kWh
			Electricity, medium voltage {PL}   market for   Alloc Def, U	0,016547166 kWh
			Electricity, medium voltage {IE}   market for   Alloc Def, U	0,003353728 kWh
Electricity, medium voltage {AT}   market for   Alloc Def, U			0,007713778 kWh	
Electricity, medium voltage {DE}   market for   Alloc Def, U			0,067853917 kWh	
Electricity, medium voltage {BG}   market for   Alloc Def, U			0,003997733 kWh	
Electricity, medium voltage {SE}   market for   Alloc Def, U	0,016891112 kWh			
Electricity, medium voltage {ES}   market for   Alloc Def, U	0,034064933 kWh			
Electricity, medium voltage {NO}   market for   Alloc Def, U	0,014862137 kWh			
Electricity, medium voltage {FR}   market for   Alloc Def, U	0,058957634 kWh			
Electricity, medium voltage {RO}   market for   Alloc Def, U	0,006478838 kWh			
Electricity, medium voltage {HU}   market for   Alloc Def, U	0,004859129 kWh			
Electricity, medium voltage {MK}   market for   Alloc Def, U	0,00096958 kWh			
Electricity, medium voltage {SI}   market for   Alloc Def, U	0,001649307 kWh			
Electricity, medium voltage {FI}   market for   Alloc Def, U	0,010499025 kWh			
Electricity, medium voltage {GR}   market for   Alloc Def, U	0,007553542 kWh			
Electricity, medium voltage {PT}   market for   Alloc Def, U	0,006325747 kWh			
Electricity, medium voltage {HR}   market for   Alloc Def, U	0,002142262 kWh			
Electricity, medium voltage {UA}   market for   Alloc Def, U	0,019738616 kWh			
Electricity, medium voltage {RS}   market for   Alloc Def, U	0,003850765 kWh			
Electricity, medium voltage {LU}   market for   Alloc Def, U	0,000815468 kWh			
Electricity, medium voltage {IT}   market for   Alloc Def, U	0,040538668 kWh			
Electricity, medium voltage {BE}   market for   Alloc Def, U	0,010827662 kWh			
Electricity, medium voltage {CH}   market for   Alloc Def, U	0,007350114 kWh			
Electricity, medium voltage {CZ}   market for   Alloc Def, U	0,007733169 kWh			
Electricity, medium voltage {NL}   market for   Alloc Def, U	0,014358976 kWh			
Electricity, medium voltage {GB}   market for   Alloc Def, U	0,044941584 kWh			
Electricity, medium voltage {DK}   market for   Alloc Def, U	0,004372297 kWh			

Emissões para o ar	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	0,00016596 kg
	Nickel	7,005E-07 kg
	Hydrogen fluoride	0,00000235 kg
	Water/m3	0,002021344 m3
	Chromium	0,000001254 kg
	Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	4,535E-12 kg
	Hydrocarbons, aromatic	0,000077008 kg
	Polychlorinated biphenyls	2,325E-08 kg
	Benzene	0,000002285 kg
	Hydrogen chloride	0,0000052 kg
	Mercury	0,000002238 kg
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	3,725E-08 kg
	Zinc	0,00002294 kg
	Cadmium	3,65E-08 kg
	Benzene, hexachloro-	0,00000002 kg
	Particulates, < 2.5 um	0,00016596 kg
	Lead	0,000001808 kg
	Copper	2,305E-07 kg
	Sulfur dioxide	0,000077 kg
	Particulates, > 10 um	0,000058575 kg
Carbon monoxide, fossil	0,00232 kg	
Nitrogen oxides	0,00018 kg	
Emissões para a água	Water, RER	0,003195028 m3

	Cast iron {RoW}  production   Alloc Def, U	
Recursos	Water, cooling, unspecified natural origin, RoW	0,005216373 m3
Materiais/ combustíveis	Iron scrap, sorted, pressed {GLO}  market for   Alloc Def, U	0,38675 kg
	Pig iron {GLO}  market for   Alloc Def, U	0,71825 kg
	Oxygen, liquid {GLO}  market for   Alloc Def, U	0,05073 kg
	Slag, unalloyed electric arc furnace steel {GLO}  market for   Alloc Def, U	-0,0928 kg
	Anode, for aluminium electrolysis {GLO}  market for   Alloc Def, U	0,003 kg
	Quicklime, in pieces, loose {GLO}  market for   Alloc Def, U	0,055 kg
	Inert waste, for final disposal {GLO}  market for   Alloc Def, U	-0,005 kg
	Refractory, basic, packed {GLO}  market for   Alloc Def, U	0,0135 kg
	Electric arc furnace converter {GLO}  market for   Alloc Def, U	4E-11 p
	Dust, unalloyed electric arc furnace steel {GLO}  market for   Alloc Def, U	-0,0096 kg
	Natural gas, high pressure {JP}  market for   Alloc Def, U	0,000659728 m3
	Natural gas, high pressure {RNA}  market for   Alloc Def, U	0,004787776 m3
	Natural gas, high pressure {RoW}  market for   Alloc Def, U	0,019552496 m3
	Hard coal {AU}  market for   Alloc Def, U	0,000766614 kg
	Hard coal {CN}  market for   Alloc Def, U	0,005669377 kg
	Hard coal {ID}  market for   Alloc Def, U	0,000677959 kg
	Hard coal {RLA}  market for   Alloc Def, U	0,000168095 kg
	Hard coal {RNA}  market for   Alloc Def, U	0,002422092 kg
	Hard coal {RU}  market for   Alloc Def, U	0,00056541 kg
	Hard coal {ZA}  market for   Alloc Def, U	0,000611254 kg
Hard coal {RoW}  market for   Alloc Def, U	0,003119199 kg	



Eletricidade/ calor	Electricity, medium voltage {ASCC}  market for   Alloc Def, U	0,00018129 kWh	
	Electricity, medium voltage {AU}  market for   Alloc Def, U	0,006116435 kWh	
	Electricity, medium voltage {BR}  market for   Alloc Def, U	0,01195121 kWh	
	Electricity, medium voltage {CA-AB}  market for   Alloc Def, U	0,00086446 kWh	
	Electricity, medium voltage {CA-BC}  market for   Alloc Def, U	0,001909471 kWh	
	Electricity, medium voltage {CA-MB}  market for   Alloc Def, U	0,001107931 kWh	
	Electricity, medium voltage {CA-NB}  market for   Alloc Def, U	0,000648345 kWh	
	Electricity, medium voltage {CA-NF}  market for   Alloc Def, U	0,001302161 kWh	
	Electricity, medium voltage {CA-NS}  market for   Alloc Def, U	0,000796069 kWh	
	Electricity, medium voltage {CA-NT}  market for   Alloc Def, U	1,22009E-05 kWh	
	Electricity, medium voltage {CA-NU}  market for   Alloc Def, U	5,08828E-06 kWh	
	Electricity, medium voltage {CA-ON}  market for   Alloc Def, U	0,004787356 kWh	
	Electricity, medium voltage {CA-PE}  market for   Alloc Def, U	1,50733E-06 kWh	
	Electricity, medium voltage {CA-SK}  market for   Alloc Def, U	0,000328276 kWh	
	Electricity, medium voltage {CA-YK}  market for   Alloc Def, U	1,16538E-05 kWh	
	Electricity, medium voltage {CL}  market for   Alloc Def, U	0,001498907 kWh	
	Electricity, medium voltage {CN}  market for   Alloc Def, U	0,081346205 kWh	
	Electricity, medium voltage {FRCC}  market for   Alloc Def, U	0,005553751 kWh	
	Electricity, medium voltage {HICC}  market for   Alloc Def, U	0,000287224 kWh	
	Electricity, medium voltage {ID}  market for   Alloc Def, U	0,003620226 kWh	
	Electricity, medium voltage {IN}  market for   Alloc Def, U	0,019373242 kWh	
	Electricity, medium voltage {IR}  market for   Alloc Def, U	0,004941646 kWh	
	Electricity, medium voltage {JP}  market for   Alloc Def, U	0,026435944 kWh	
	Electricity, medium voltage {KR}  market for   Alloc Def, U	0,010998335 kWh	
	Electricity, medium voltage {MRO, US only}  market for   Alloc Def, U	0,005942286 kWh	
	Electricity, medium voltage {MX}  market for   Alloc Def, U	0,006108119 kWh	
	Electricity, medium voltage {MY}  market for   Alloc Def, U	0,002685515 kWh	
	Electricity, medium voltage {NPCC, US only}  market for   Alloc Def, U	0,006947106 kWh	
	Electricity, medium voltage {PE}  market for   Alloc Def, U	0,000808215 kWh	
	Electricity, medium voltage {Quebec}  market for   Alloc Def, U	0,004158161 kWh	
	Electricity, medium voltage {RFC}  market for   Alloc Def, U	0,024505213 kWh	
	Electricity, medium voltage {RU}  market for   Alloc Def, U	0,023822321 kWh	
	Electricity, medium voltage {SA}  market for   Alloc Def, U	0,005029405 kWh	
	Electricity, medium voltage {SERC}  market for   Alloc Def, U	0,028636251 kWh	
	Electricity, medium voltage {SPP}  market for   Alloc Def, U	0,005548292 kWh	
	Electricity, medium voltage {TH}  market for   Alloc Def, U	0,00369376 kWh	
	Electricity, medium voltage {TR}  market for   Alloc Def, U	0,004673116 kWh	
	Electricity, medium voltage {TRE}  market for   Alloc Def, U	0,009096799 kWh	
	Electricity, medium voltage {TW}  market for   Alloc Def, U	0,005759709 kWh	
	Electricity, medium voltage {TZ}  market for   Alloc Def, U	0,000105705 kWh	
	Electricity, medium voltage {WECC, US only}  market for   Alloc Def, U	0,019706711 kWh	
	Electricity, medium voltage {ZA}  market for   Alloc Def, U	0,005949015 kWh	
	Electricity, medium voltage {RoW}  market for   Alloc Def, U	0,076355371 kWh	
	Emissões para o ar	Sulfur dioxide	0,000077 kg
		Benzene	0,000002285 kg
		Zinc	0,00002294 kg
		Nitrogen oxides	0,00018 kg
		Chromium	0,000001254 kg
		Particulates, > 10 um	0,000058575 kg
		Hydrogen fluoride	0,00000235 kg
Mercury		0,000002238 kg	
Lead		0,000001808 kg	
Benzene, hexachloro-		0,00000002 kg	
Carbon monoxide, fossil		0,00232 kg	
Particulates, > 2.5 um, and < 10um		0,00016596 kg	
Particulates, < 2.5 um		0,00016596 kg	
Hydrocarbons, aromatic		0,000077008 kg	
Nickel		7,005E-07 kg	
Copper		2,305E-07 kg	
Water/m3		0,002021344 m3	
Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-		4,535E-12 kg	
Cadmium		3,65E-08 kg	
Hydrogen chloride		0,0000052 kg	
Polychlorinated biphenyls	2,325E-08 kg		
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	3,725E-08 kg		
Emissões para a água	Water, RoW	0,003195028 m3	

	Aluminum, primary, ingot, at plant/RNA	
Materiais/ combustíveis	Residual fuel oil, combusted in industrial boiler/US	0,01861 l
	Gasoline, combusted in equipment/US	0,00007344 l
	Diesel, combusted in industrial boiler/US	0,0001836 l
	Natural gas, combusted in industrial boiler/US	0,051815 m3
	Liquefied petroleum gas, combusted in industrial boiler/US	0,0015022 l
	Electricity, aluminum smelting and ingot casting regions/RNA	0,2112 kWh
	Aluminum, primary, smelt, at plant/RNA	1 kg
Emissões para o ar	Carbon dioxide, fossil	0,00093 kg
	Carbon monoxide	0,000006 kg
	Chlorine	0,000018 kg
	Fluorine	0,000019 kg
	Hydrogen chloride	0,000053 kg
	Hydrogen fluoride	0,0000023 kg
	Lead	9,4E-09 kg
	Metals, unspecified	0,0000016 kg
	Nitrogen oxides	0,000026 kg
	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	0,0000038 kg
	Organic substances, unspecified	0,000011 kg
	Particulates, unspecified	0,000058 kg
	Sulfur monoxide	0,000011 kg
Emissões para a água	Ammonium, ion	0,00000036 kg
	BOD5, Biological Oxygen Demand	0,000041 kg
	Chloride	0,000007888 kg
	COD, Chemical Oxygen Demand	0,00021 kg
	Cyanide	1,7E-09 kg
	Detergents, unspecified	0,000000015 kg
	DOC, Dissolved Organic Carbon	0,000013 kg
	Suspended solids, unspecified	0,00018 kg
	Fluoride	0,0000027 kg
	Iron	0,00000086 kg
	Lead	3,2E-09 kg
	Mercury	1,4E-11 kg
	Metallic ions, unspecified	0,0000026 kg
	Oils, unspecified	0,000023 kg
	Phenol	1,2E-09 kg
	Sulfur	0,00000057 kg
Suspended solids, unspecified	0,000067 kg	
Desperdício para tratamento	Dummy_Disposal, solid waste, unspecified, to unspecified treatment/US	0,02123 kg

	Aluminum, secondary, ingot, at plant/RNA	
Materiais/ combustíveis	Aluminum recovery, transport, to plant/RNA	1,053 kg
	Natural gas, combusted in industrial boiler/US	0,21613 m3
	Electricity, at grid, US/US	0,21826 kWh
Emissões para o ar	Particulates, unspecified	0,000000174 kg
	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	0,000047 kg
	Lead	0,000000216 kg
	Acids, unspecified	0,000431 kg
Emissões para a água	BOD5, Biological Oxygen Demand	1,35E-09 kg
	COD, Chemical Oxygen Demand	0,00000083 kg
	Metallic ions, unspecified	0,0000225 kg
	Organic substances, unspecified	0,00000129 kg
	Suspended solids, unspecified	0,0000256 kg
	Suspended solids, unspecified	2,38E-08 kg
Desperdício para tratamento	Dummy_Disposal, solid waste, unspecified, to sanitary landfill/US	0,0842 kg