

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Giorgio Artencio Nazari**

**APLICAÇÃO DE LIGAS DE ALUMÍNIO EM  
MOTORES À COMBUSTÃO INTERNA**

**Taubaté – SP**

**2017**

**Giorgio Artencio Nazari**

**APLICAÇÃO DE LIGAS DE ALUMÍNIO EM  
MOTORES À COMBUSTÃO INTERNA**

Trabalho de Graduação, modalidade de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté para obtenção do Título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof.º Me Leandro Maia Nogueira

**Taubaté – SP**

**2017**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado  
de Bibliotecas / UNITAU - Biblioteca das Engenharias**

Nazari, Giorgio Artencio

N335a      Aplicação de ligas de alumínio em motores à combustão  
             interna. / Giorgio Artencio Nazari. - 2017.

41f. : il; 30 cm.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) –  
Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia  
Mecânica e Elétrica, 2017

Orientador: Prof. Esp. Leandro Maia Nogueira,  
Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.

1. Motores à combustão interna. 2. Alumínio. 3.

**Giorgio Artencio Nazari**

**APLICAÇÃO DE LIGAS DE ALUMÍNIO EM MOTORES À COMUSTÃO  
INTERNA**

Trabalho de Graduação, modalidade de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté para obtenção do Título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof.º Me Leandro Maia Nogueira

Data: \_\_\_\_\_

Resultado: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. \_\_\_\_\_ Universidade de  
Taubaté  
Assinatura

\_\_\_\_\_

Prof. \_\_\_\_\_ Universidade de  
Taubaté  
Assinatura

\_\_\_\_\_

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao professor e orientador Leandro Maia Nogueira por caminhar junto conosco nesse período de trabalho intenso de construção de conhecimento. Muito obrigado pela paciência, compreensão, confiança e amizade;

Ao Prof.º Msc Fabio Santejani;

Ao Prof.º Msc Ivair Alves dos Santos;

Aos professores que participaram da banca, pelas importantes sugestões que muito acrescentaram na conclusão deste trabalho;

A minha mãe e padrasto Luciane Maria Artencio e Luiz Antonio dos Santos pelo apoio constante;

A todos os amigos da faculdade e de fora que de qualquer forma me auxiliaram, mas não foram citados nominalmente no momento. Vocês também foram muito importantes! Obrigado!

## RESUMO

Muita coisa mudou desde o patenteamento do primeiro motor à combustão interna na Itália pelos engenheiros Eugenio Barsanti e Felice Matteucci, que era um projeto simples, mas que efetivamente usava a energia de expansão liberada pela combustão controlada de uma mistura de ar e combustível, mas o conceito do motor basicamente se manteve o mesmo. Com as crescentes demandas ambientais e do mercado para motores mais eficientes, com maior potência, menor consumo e menor emissão de CO<sub>2</sub>, novas tecnologias tiveram que ser adotadas. Neste trabalho discorre-se sobre uma dessas tecnologias, que vem se tornando tendência mundial, que é justamente o uso de ligas de alumínio na construção de motores à combustão interna, se valendo de uma pesquisa bibliográfica para descrever as potencialidades dessa tecnologia, seus benefícios, desafios a serem enfrentados e tendências. Ao final da pesquisa concluiu-se que o alumínio apresenta características desejáveis para que as metas de emissão de poluentes sejam cumpridas, sendo um favorito dentre os materiais disponíveis, e que sua utilização nos motores à combustão interna seja cada vez mais aprofundada.

**Palavras-chave:** Motores à combustão interna, alumínio, emissão de gases.

## **ABSTRACT**

Much has changed since the patenting of the first internal combustion engine in Italy by the engineers Eugenio Barsanti and Felice Matteucci, which was a simple, but effectively used the energy liberated by the controlled combustion of fuel and air mixture, but the concept of this simple engine has remained almost unchanged. With the crescent environmental and market demands for more efficient, more powerful, less fuel consuming and lower emission engines, new technologies had to be adopted. In this work we discuss one of these technologies, which is becoming a worldwide trend, which is precisely the use of aluminum alloys in the construction of internal combustion engines, using a bibliographical research to describe the potentialities of this technology, its benefits, challenges to be faced and trends. At the end of the research it was concluded that aluminum presents desirable characteristics so that the pollutant emission targets are met, being a favorite among the available materials, and that its use in internal combustion engines is increasingly deepened.

**Keywords:** Internal combustion engines, aluminum, gas emissions.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”  
(Arthur Schopenhauer)

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Media de quilos de alumínio por carro na Europa Ocidental.....	11
<b>Figura 2</b> – Motor rotativo – Wankel.....	13
<b>Figura 3</b> – Esquema do bloco do motor.....	14
<b>Figura 4</b> – Esquema do cabeçote do motor.....	15
<b>Figura 5</b> – Esquema de cárter.....	15
<b>Figura 6</b> – Esquema de pistão.....	16
<b>Figura 7</b> – Esquema de biela.....	17
<b>Figura 8</b> – Esquema de virabrequim.....	18
<b>Figura 9</b> – Esquema de volante.....	18
<b>Figura 10</b> – Esquema de válvula.....	19
<b>Figura 11</b> – Números de produção de blocos de motor na Europa Ocidental (ferro cinzento – cinza e ligas de alumínio – rosa).....	22
<b>Figura 12</b> – Cabeçote de alumínio.....	23
<b>Figura 13</b> – Bloco de motor de ferro fundido e bloco de motor de alumínio.....	24
<b>Figura 14</b> – Emissão de hidrocarbonetos (HC) em partes por milhão.....	26
<b>Figura 15</b> – Emissão de monóxido de carbono (CO) em percentagem de volume total amostrado.....	26
<b>Figura 16</b> – Gráfico eco-indicador de um motor com bloco em ferro e de um bloco em alumínio.....	27
<b>Figura 17</b> – Gráfico comparativo do eco-indicador de um motor usando bloco de alumínio com percentagem de alumínio secundário com um motor usando bloco de ferro fundido.....	29
<b>Figura 18</b> – Tipos de camisas utilizadas nos motores.....	31
<b>Figura 19</b> – Conteúdo de alumínio total para veículos leves – America do Norte.....	32
<b>Figura 20</b> – Conteúdo médio de alumínio por veículo – America do Norte.....	33
<b>Figura 21</b> – Participação do alumínio no peso dos veículos em ordem de marcha – America do Norte.....	33
<b>Figura 22</b> – Conteúdo médio de alumínio por veículo – America do Norte.....	34

## SUMÁRIO

<b>1.0</b>	INTRODUÇÃO.....	10
<b>1.1</b>	JUSTIFICATIVA DO TEMA.....	12
<b>1.2</b>	OBJETIVO DO TRABALHO.....	12
<b>2.</b>	REVISÃO DE LITERATURA.....	13
<b>2.1</b>	MOTORES À COMBUSTÃO INTERNA.....	13
<b>2.1.1</b>	PRINCIPAIS COMPONENTES.....	14
<b>2.2</b>	FERRO FUNDIDO.....	19
<b>2.3</b>	ALUMÍNIO.....	20
<b>2.4</b>	APLICAÇÕES.....	22
<b>2.5</b>	VANTAGENS.....	24
<b>2.6</b>	DIFICULDADES.....	29
<b>2.7</b>	TENDÊNCIAS.....	31
<b>3</b>	METODOLOGIA.....	35
<b>4</b>	CONCLUSÕES.....	37
	REFERÊNCIAS .....	38

## 1 INTRODUÇÃO

A tendência da indústria automotiva é utilizar cada vez mais alumínio na fabricação de todo o motor (cabeçote, bloco e cárter), uma vez que o metal mais leve ajuda a reduzir o peso do veículo, que a cada dia passa a agregar mais conteúdo, seja por questões de segurança, ou por motivos de conforto. Redução de peso garante economia de combustível e menor índice de emissões de CO<sub>2</sub>, e favorece a performance do torque e a potência dos veículos, mas a leveza do alumínio não é a única vantagem do metal na fabricação de componentes automotivos (AKASHI, 2012).

Com o alumínio nos motores, em substituição ao ferro fundido, o comportamento acústico e térmico é superior (uma vez que possui maior capacidade de absorção de ruídos e vibrações, e de dissipação do calor), e há ganhos de agilidade e de melhoria nos processos produtivos, pois é possível produzir peças de maior complexidade construtiva, precisão dimensional e melhor usinabilidade, não havendo a necessidade de pintura ou outros tratamentos de superfície, gerando economia e permitindo melhor acabamento superficial com excelente resistência à corrosão (AKASHI, 2012).

Outro benefício do alumínio é o fato de ser 100% reciclável, infinitas vezes e a baixo custo, apresentando ainda elevado valor residual. Assim, blocos de motor fabricados em alumínio oferecem menor impacto ambiental que os produzidos com ferro fundido (AKASHI, 2012).

Para Marcio Ishikawa (2016), O alumínio é um material fundamental no processo de melhoria da eficiência energética dos carros através do downsizing dos motores. A força da lei tem sido o grande catalisador da eficiência energética no mundo todo através de regulamentações como o CAFE (*Corporate Average Fuel Economy*) nos Estados Unidos e a norma EURO na Europa. O mesmo acontece no Brasil, onde em outubro de 2016 passará a vigorar a inédita legislação de eficiência energética ditada pelo programa Inovar-Auto. E na corrida por melhores índices de quilômetros rodados por litro de combustível e da redução nas emissões de poluentes e de gases causadores do efeito estufa, uma expressão se destaca em todas as marcas de automóveis e regiões do planeta: o *downsizing* de motores.

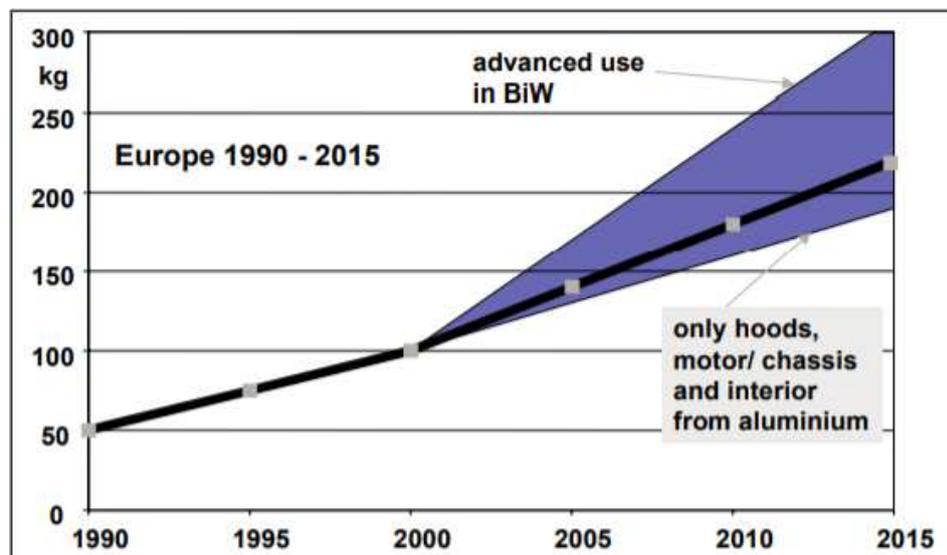
De acordo com Marcos Clemente (2016), diretor da Associação Brasileira de Engenharia Automotiva (AEA), apesar do que a palavra em inglês possa sugerir inicialmente, essa tendência mundial não deve ser associada tão somente com a produção de motores de menor cilindrada ou com menor número de cilindros. “A ideia por trás do downsizing é produzir um motor menor, mais leve e que seja mais eficiente do ponto de vista do consumo

de combustível. Mas que também entregue o mesmo nível de performance de unidades maiores”.

Vários recursos tecnológicos ajudam a resolver essa equação, como injeção direta de combustível, comando de válvulas variável, adoção de turbocompressores, além disso, o motor menor será mais leve, fator importantíssimo para a eficiência energética, que será potencializada caso o bloco de ferro fundido seja substituído por um de alumínio, que ainda permite integração de funções e redução do número de componentes do sistema. “O alumínio ainda oferece a vantagem de ser produzido em geometrias complexas”, diz Clemente. “Isso permite a criação de suportes embutidos para periféricos, como o alternador, por exemplo. Já no ferro fundido, é necessário criar toda uma estrutura de fixação.” (ISHIKAWA, 2016).

Durante a última década, a indústria automobilística Europeia mais do que dobrou a quantidade de alumínio usada em carros de passeio, e vai usar mais ainda nos próximos anos, como mostra a tendência da redução de peso. No ano de 1990, cerca de 50 kg de alumínio eram usados ao todo na fabricação de um carro de passeio, já no ano de 2000, apenas dez anos depois, esse numero pulou para 102 kg, sendo 59 kg apenas de peças do motor. De acordo com a Figura 1 e baseado nos novos modelos com conceitos inovativos de alumínio, é possível estimar que esse numero vai mais do que dobrar na próxima década (HIRSCH, 2004).

**Figura 1** Media de quilos de alumínio por carro na Europa Ocidental



Fonte: Hirsch (2004)

### 1.1 JUSTIFICATIVA DO TEMA

No cenário atual, as indústrias automobilísticas são pressionadas a corresponder as demandas ambientais e do mercado a fim de se manterem competitivas, produzindo automóveis com cada vez menor consumo e emissão de gases. Visando satisfazer estas necessidades, é imprescindível que novas tecnologias de redução de peso sejam adotadas, sendo a substituição do ferro fundido por alumínio uma mudança crucial para atingir esses objetivos.

### 1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é abordar os conceitos relacionados ao emprego de alumínio nos motores à combustão interna, que vem conquistando destaque no mercado. Apresentaremos uma revisão bibliográfica, identificando as melhorias que essa tecnologia traz para o funcionamento de um motor, indicando quais peças podem se beneficiar do uso do alumínio, bem como os desafios encontrados na produção do mesmo e as técnicas utilizadas para contorná-los, com um foco nas tendências do mercado para utilização do alumínio como substituto do ferro fundido em motores de automóveis de passeio.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 MOTORES À COMBUSTÃO INTERNA

São considerados como máquinas térmicas nas quais para o processo de combustão, o fluido de trabalho é convertido em energia mecânica. Os produtos resultantes da combustão, inseridos na mistura de ar/combustível, são confinados internamente em uma câmara de combustão. Podem ser:

#### a) De pistão:

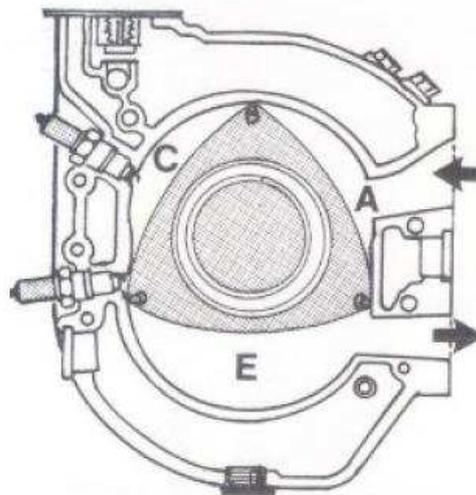
- Ciclo Otto – utilizam combustíveis como a gasolina e o álcool. É utilizada uma centelha produzida pelo sistema elétrico para ignição.
- Ciclo Diesel – utilizam o óleo diesel como combustível. O combustível é injetado sob pressão na câmara de combustão, que já contém ar a altíssima pressão e temperatura, o que causa sua inflamação.

Os motores a combustão interna de pistão podem ser de 2 ou 4 tempos.

Os motores a combustão interna de pistão - ciclo Diesel - podem ser de injeção direta ou indireta (JONES, GOMES, LEIROZ, ÁVILA, 2015).

#### b) De êmbolo rotativo: Wankel (Figura 2)

Figura 2 Motor rotativo – Wankel



Fonte: Apostila

Motores a

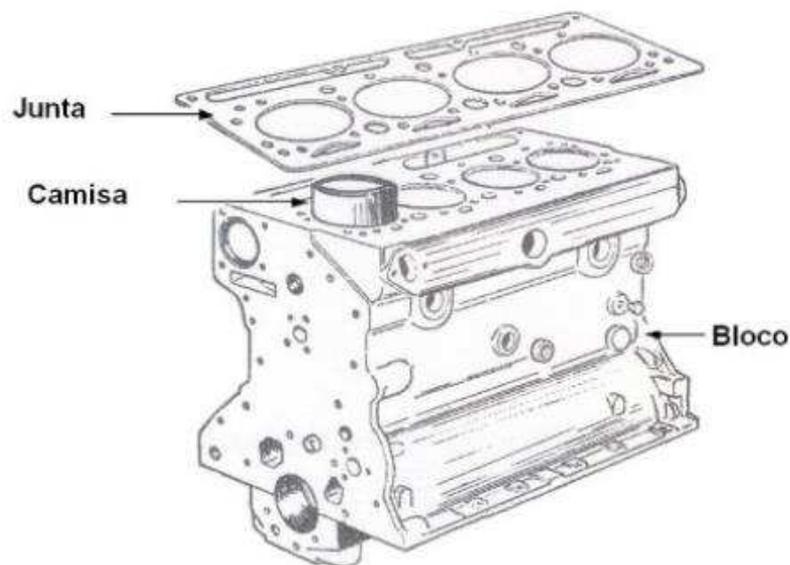
Combustão Interna – Ufpel (2013)

### 2.1.1 PRINCIPAIS COMPONENTES

#### a) Bloco

É a principal estrutura, também considerado como o corpo do motor. Nele são acoplados os outros componentes que compõem o motor e é onde estão contidos os cilindros. São geralmente construídos de ferro fundido, mas eventualmente podem ser adicionados outros materiais para melhorar suas propriedades, como é feito em motores mais modernos e eficientes, que usam o alumínio e ligas no lugar do ferro fundido, obtendo como principais resultados redução de peso e melhor dissipação de calor (JONES, GOMES, LEIROZ, ÁVILA, 2015).

**Figura 3 Esquema do bloco do motor**



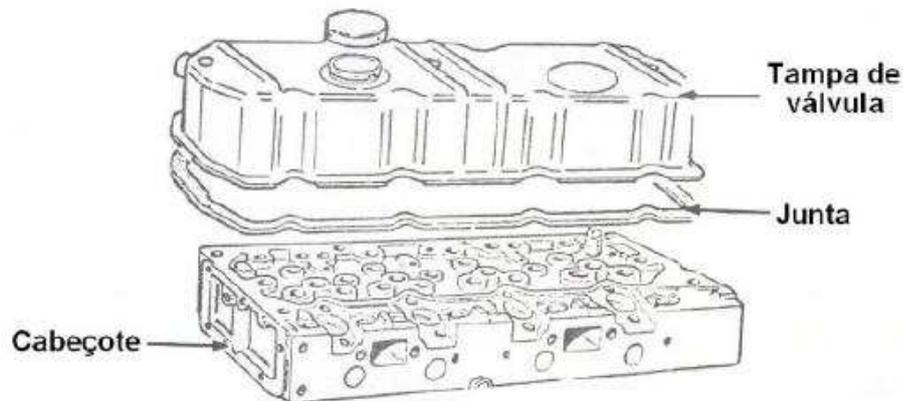
**Fonte: Apostila Motores a Combustão Interna – Ufpel (2013)**

#### b) Cabeçote

O cabeçote tem função de tampar os cilindros, conforme se vê na Figura 4, formando a câmara de combustão na parte superior do bloco do motor. Esse componente precisa aguentar altas pressões, formadas quando o pistão comprime a mistura, no caso do ciclo Otto, ou quando comprime o ar, no caso dos motores de ciclo Diesel (JONES, GOMES, LEIROZ, ÁVILA, 2015).

Geralmente possui orifícios roscados para que sejam fixadas as velas de ignição e os bicos injetores, e é nele que ficam alojadas as válvulas de admissão e escape. Para assegurar que não haverá fuga de compressão, usa-se uma junta de vedação na união do bloco com o cabeçote (JONES, GOMES, LEIROZ, ÁVILA, 2015).

**Figura 4 Esquema do cabeçote do motor**

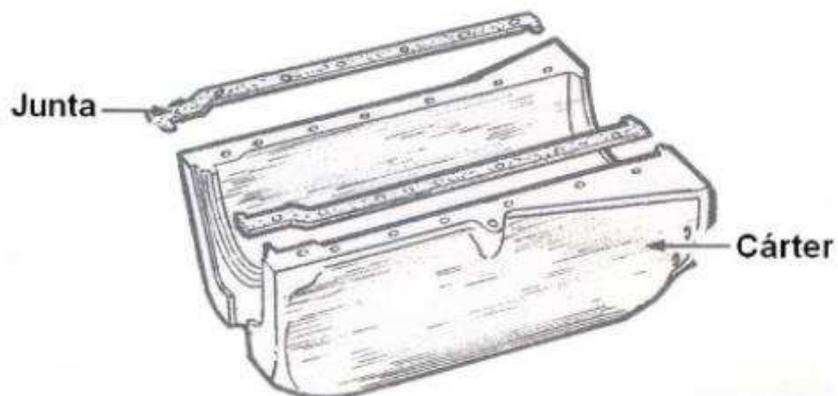


**Fonte: Apostila Motores a Combustão Interna – Ufpel (2013)**

### c) Cárter

É a parte de baixo do bloco. O cárter cobre os componentes da parte inferior do motor, como o virabrequim, as bielas que estão ligadas no virabrequim e pescador de óleo. O óleo do motor desce pelos canais de lubrificação, ficando depositado no cárter, que por esse motivo também serve de reservatório para o óleo lubrificante. O cárter de um motor é geralmente construído de ferro fundido ou alumínio. O cárter também tem função estrutural no motor, sendo que em suas extremidades existem suportes para fixação do motor na carroceria do automóvel e as paredes externas e as divisórias internas suportam os mancais do virabrequim (Figura 5) (JONES, GOMES, LEIROZ, ÁVILA, 2015).

**Figura 5 Esquema de cárter**



**Fonte: Apostila Motores a Combustão Interna – Ufpel (2013)**

#### d) Pistão

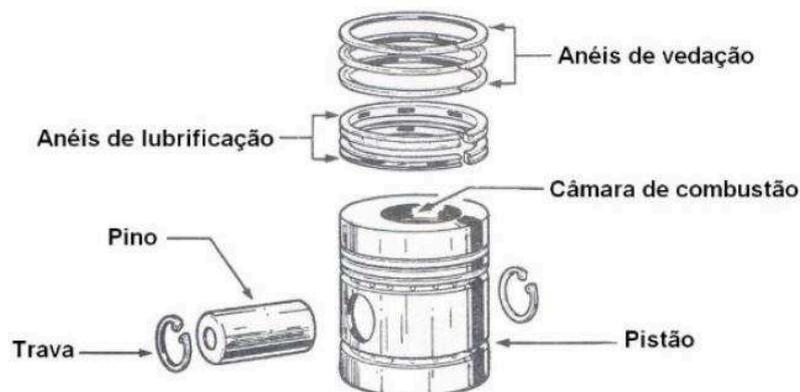
É função do pistão receber a força de expansão dos gases resultante da explosão dentro do cilindro. Esse componente tem formato cilíndrico e é na maioria das vezes feito de ligas de alumínio. No pistão encontram-se dois tipos de anéis:

- Anéis de vedação: ficam mais próximos da “cabeça” do pistão, que é sua parte mais superior, próximo à face que recebe a energia da explosão. Servem para segurar a compressão gerada pela expansão dos gases e movimento dos pistões (JONES, GOMES, LEIROZ, ÁVILA, 2015);

- Anéis de lubrificação: são geralmente dois e estão localizados nas laterais, na parte inferior do pistão. O primeiro anel de lubrificação, que fica abaixo do anel de vedação, tem duas funções, uma de ajudar a reter a compressão como o anel de vedação e outra de criar uma película de óleo quando o mesmo raspa as paredes internas do cilindro. O segundo anel de lubrificação tem a função de raspar o excesso de óleo e criar uma fina película de lubrificação para que os outros anéis tenham o mínimo de atrito, evitando o desgaste entre anéis e cilindro (ROCHA, 2009).

O pistão se liga à biela através de um pino, normalmente fabricado de aço cimentado, conforme a Figura 6 abaixo (JONES, GOMES, LEIROZ, ÁVILA, 2015).

Figura 6 Esquema de pistão



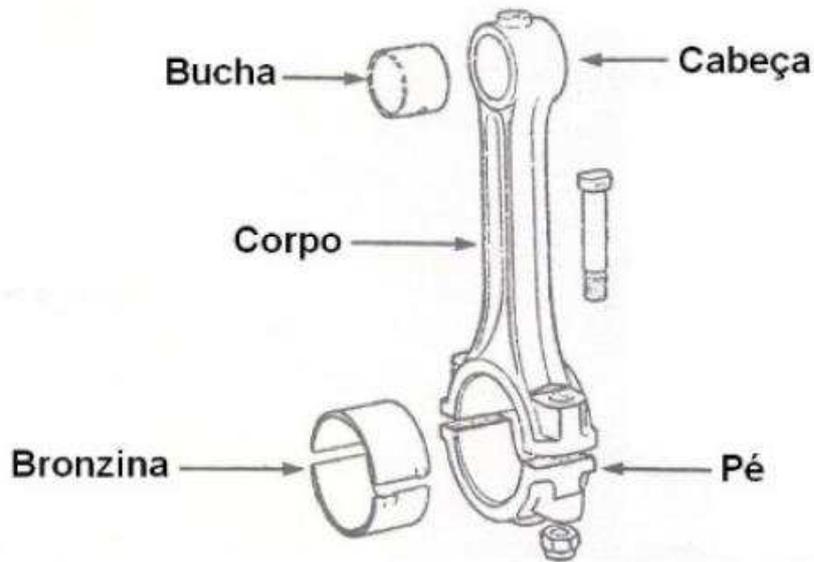
Fonte: Apostila Motores a Combustão Interna – Ufpel (2013)

#### e) Biela

É função da biela ligar o pistão ao virabrequim. Ele geralmente é fabricado de aço forjado e pode ser dividido em três partes: cabeça, corpo e pé, conforme Figura 7. A cabeça é

presa ao pistão por um pino e o pé está ligado ao virabrequim, com um material antifricção chamado bronzina ou casquilho entre eles (JONES, GOMES, LEIROZ, ÁVILA, 2015).

**Figura 7 Esquema de biela**



**Fonte: Apostila Motores a Combustão Interna – Ufpel (2013)**

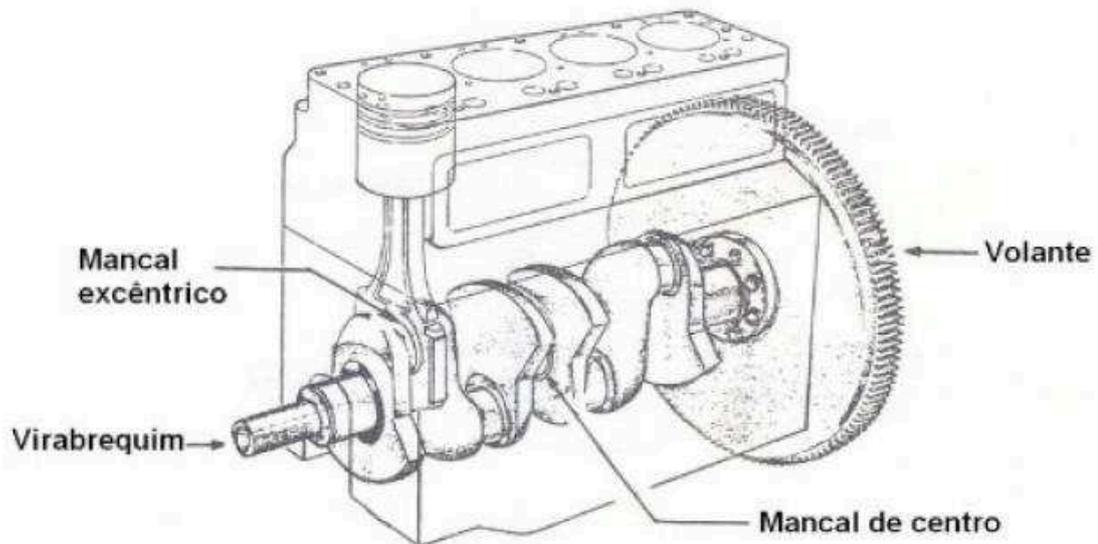
#### **f) Virabrequim**

Também chamado de girabrequim ou árvore de manivelas (Figura 8), tem a função de receber a energia recíproca dos pistões e transformá-la em energia rotativa. Geralmente é fabricado em aço forjado ou fundido. Possui mancais de dois tipos:

- Excêntricos: ligados aos pés das bielas – esses mancais são as “alavancas” que transformam o movimento de subida e descida dos pistões em movimento rotativo do virabrequim;

- De centro: onde ocorre o encaixe com os mancais do bloco, sustentando o virabrequim (JONES, GOMES, LEIROZ, ÁVILA, 2015).

**Figura 8 Esquema de virabrequim**

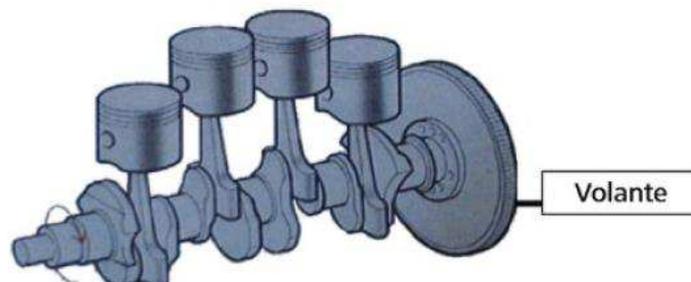


Fonte: Apostila Motores a Combustão Interna – Ufpel (2013)

#### **g) Volante**

É basicamente uma massa de ferro fundido que é fixada no virabrequim, como demonstra a Figura 8. Tem a função de acumular a energia cinética de rotação, proporcionando uma velocidade angular uniforme no eixo de transmissão do motor. Sua função é absorver energia durante a fase de explosão de cada pistão, liberando-a nos outros tempos de ciclo quando o pistão não está gerando potência, isso faz com que os efeitos de variação do tempo do motor sejam reduzidos (JONES, GOMES, LEIROZ, ÁVILA, 2015).

**Figura 9 Esquema de volante**



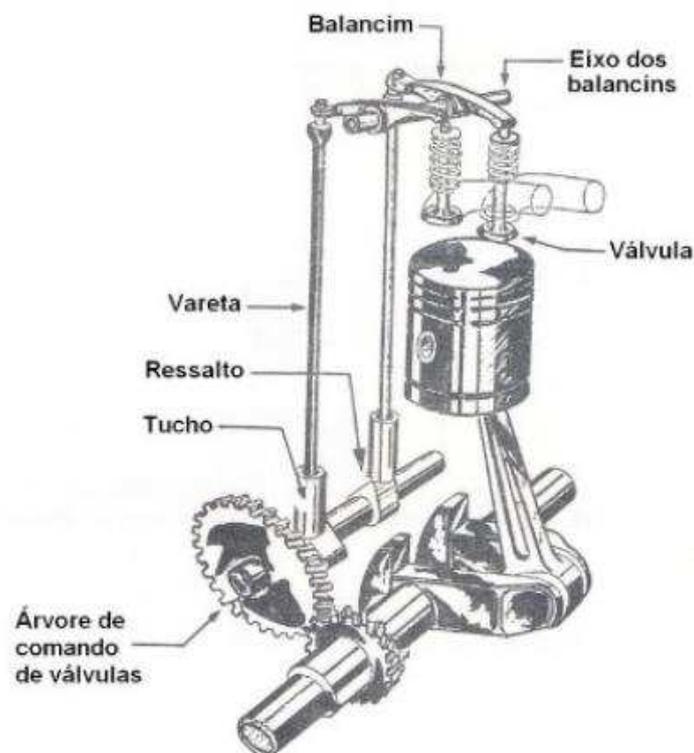
Fonte: Apostila Motores a Combustão Interna – Ufpel (2013)

### g) Válvulas

Existem dois tipos de válvulas em um motor: as de admissão e as de escape. São acionadas por um sistema de comando de válvulas, onde o movimento do virabrequim é transmitido para o eixo de comando de válvulas por intermédio de correia dentada, corrente de comando ou engrenagens, que por sua vez faz o acionamento do mecanismo de abertura das válvulas (Figura 10) (JONES, GOMES, LEIROZ, ÁVILA, 2015).

A abertura e fechamento das válvulas está relacionada com o movimento dos pistões e com o ponto de injeção, de modo a possibilitar o perfeito funcionamento do motor, respeitando as características do fluido que está sendo admitido para dentro do cilindro. As engrenagens da distribuição podem ter uma relação de 1:2, o que significa que a cada duas rotações da árvore de manivelas, o comando de válvulas realiza uma rotação (JONES, GOMES, LEIROZ, ÁVILA, 2015).

**Figura 10** Esquema de válvula



**Fonte:** Apostila Motores a Combustão Interna – Ufpel (2013)

## 2.2 FERRO FUNDIDO

O ferro fundido é uma liga de ferro em mistura eutética com elementos à base de carbono e silício. Sua diferença para o aço é que este também é uma liga metálica formada

essencialmente por ferro e carbono, mas com percentagens entre 0,008 e 2,11% (DUARTE, 2012)

Entre os ferros fundidos, o cinzento é o mais comum, devido às suas características como baixo custo (em geral é fabricado a partir de sucata); elevada usinabilidade, devida à presença de grafite livre em sua microestrutura; alta fluidez na fundição, permitindo a fundição de peças com paredes finas e complexas; e facilidade de fabricação, já que não exige equipamentos complexos para controle de fusão e solidificação (DUARTE, 2012).

Este tipo de material é utilizado em larga escala pela indústria de máquinas e equipamentos, indústria automobilística, ferroviária, naval e outra. A grafite, entrecortando a matriz metálica, absorve vibrações, facilita a usinagem e confere ao ferro fundido uma melhor estabilidade dimensional (DUARTE, 2012).

### 2.3 ALUMÍNIO

O alumínio é um metal leve, macio e resistente. Possui um aspecto cinza prateado e fosco, devido à fina camada de óxidos que se forma rapidamente quando exposto ao ar. O alumínio não é tóxico como metal, não magnético, e não cria faíscas quando exposto a atrito (NEVES, 2012).

O alumínio puro possui tensão de cerca de 19 megapascais (MPa) e 400 MPa se inserido dentro de uma liga. Sua densidade é aproximadamente de um terço do aço ou cobre (Tabela 1). É muito maleável, muito dúctil, apto para a mecanização e fundição, além de ter uma excelente resistência à corrosão e durabilidade devido à camada protetora de óxido. É o segundo metal mais maleável, sendo o primeiro o ouro, e o sexto mais dúctil (NEVES, 2012).

Tabela 1 – Dados do alumínio e do ferro fundido

Substância	FERRO FUNDIDO	ALUMÍNIO
Condutividade térmica ( <i>k</i> )	80 W/ m°K	237 W/ m°K
Calor específico	450 j/Kg°K	900 j/Kg°K
Massa específica	7,20g/cm <sup>3</sup>	2,70g/cm <sup>3</sup>
Ponto de fusão °C	1200	660,3
Estado da matéria	Sólido	Sólido
Eletronegatividade (Pauling)	1,83	1,61
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	7,3	2,7

Fonte: DUARTE (2012)

Considerando a quantidade e o valor do metal empregado, o uso do alumínio excede o de qualquer outro metal, exceto o aço. É um material importante em múltiplas atividades econômicas (NEVES, 2012).

Apesar de não aparecer na natureza na sua forma elementar (Al<sub>0</sub>), o alumínio é encontrado na forma combinada em rochas e minerais, sendo o elemento metálico mais abundante na crosta terrestre (8%). Quando outros elementos químicos que não são metais são levados em consideração, ele é o terceiro mais abundante, correspondendo a 8,3% em massa; ficando atrás somente do oxigênio (45,5%) e do silício (25,7%) (FOGAÇA, 2012).

A reciclagem no Brasil tem despertado o interesse das indústrias, porque os materiais reciclados proporcionam grande economia de custos de produção, principalmente em relação a insumos como energia elétrica, matéria-prima e mão-de-obra. O exemplo mais evidente é o do alumínio que é 100% reciclável e pode ser reciclado infinitas vezes. Conforme apresentou a ABAL, 96,2% das latinhas de bebidas são recolhidas e recicladas, dado que deixa o Brasil no topo do ranking mundial de reciclagem de latas de alumínio (COSTA, PIRES, 2007).

A cada quilo de alumínio reciclado, cinco quilos de bauxita (minério de onde se produz o alumínio) são poupados. Para se reciclar uma tonelada de alumínio, gasta-se somente 5% da energia que seria necessária para se produzir a mesma quantidade de alumínio primário, ou seja, a reciclagem do alumínio proporciona uma economia de 95% de energia elétrica. Para se ter uma idéia, a reciclagem de uma única latinha de alumínio economiza suficiente energia para manter um aparelho de TV ligado durante três horas (COSTA, PIRES, 2007).

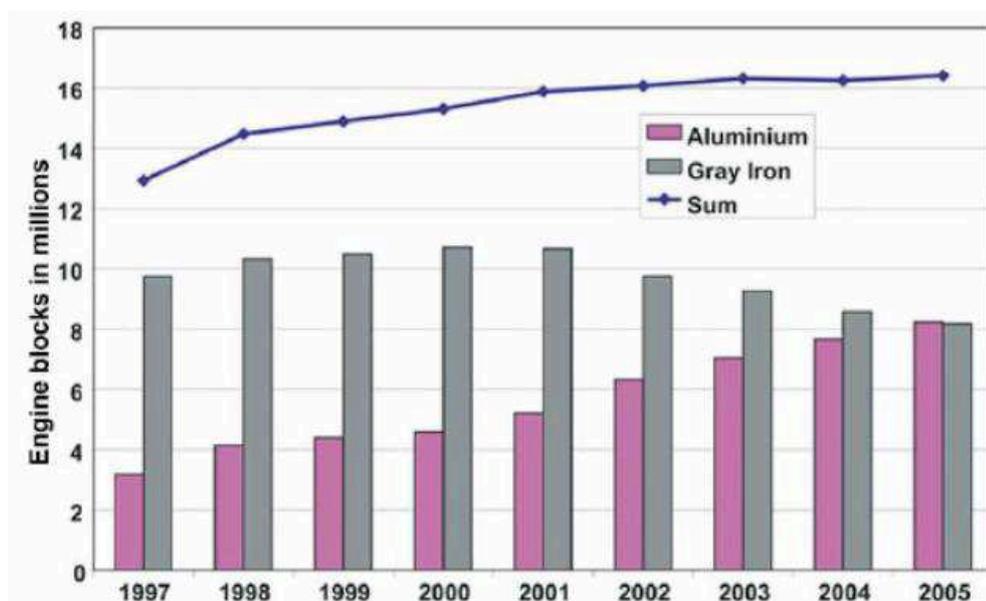
## 2.4 APLICAÇÕES

Como observado na tabela apresentada anteriormente, o alumínio apresenta massa específica cerca de três vezes menor que a do ferro fundido, sendo esse um dos principais motivos pelos quais ele representa um substituto para o ferro fundido em motores à combustão interna. Ao olharmos para os principais componentes que compõe um motor desse tipo, fica nítido que o bloco do motor, o principal componente de um motor, apresentaria grande redução de peso caso fosse feito de alumínio.

O bloco do motor por si só representa entre 3 a 4% do peso total do veículo médio. Ligas de fundição de alumínio como substituto para o ferro fundido tradicional pode ocasionar uma redução do peso do bloco na ordem de 40% a 55% (PAIVA, 2015).

Na década de 1970 começou a aplicação de alumínio em blocos de motor à gasolina, porém, devido ao maior esforço de utilização dos motores Diesel, a aplicação de alumínio nesses motores era muito limitada até a década de 1990. Somente com a crescente frota de veículos movidos a diesel que surgiu a necessidade de utilizar critérios de projetos mais leves, a fim de aumentar sua eficiência (Figura 11). Hoje, com os desenvolvimentos na área de ligas de alumínio em curso, a sua aplicação também está em forte crescimento nos blocos de motor a diesel (PAIVA, 2015).

**Figura 11** Números de produção de blocos de motor na Europa Ocidental (ferro cinzento – cinza e ligas de alumínio – rosa)

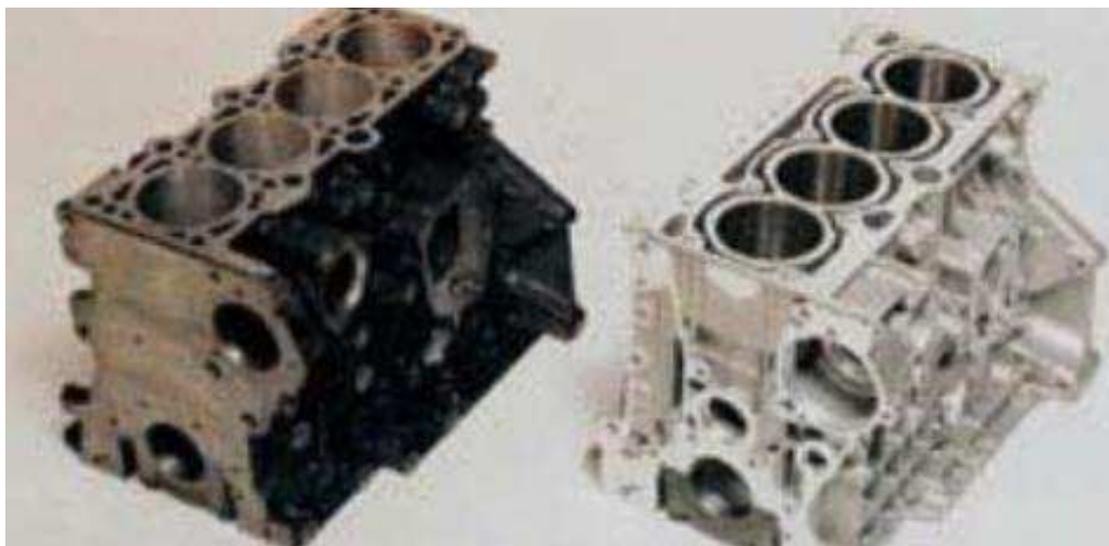


Fonte: PAIVA (2015)

De acordo com Paiva (2015), além da leveza do alumínio, ainda há o benefício da maior dissipação térmica em comparação com o ferro fundido, e tendo em conta que praticamente todos os pistões e a maioria dos cabeçotes já são fabricados em alumínio, a

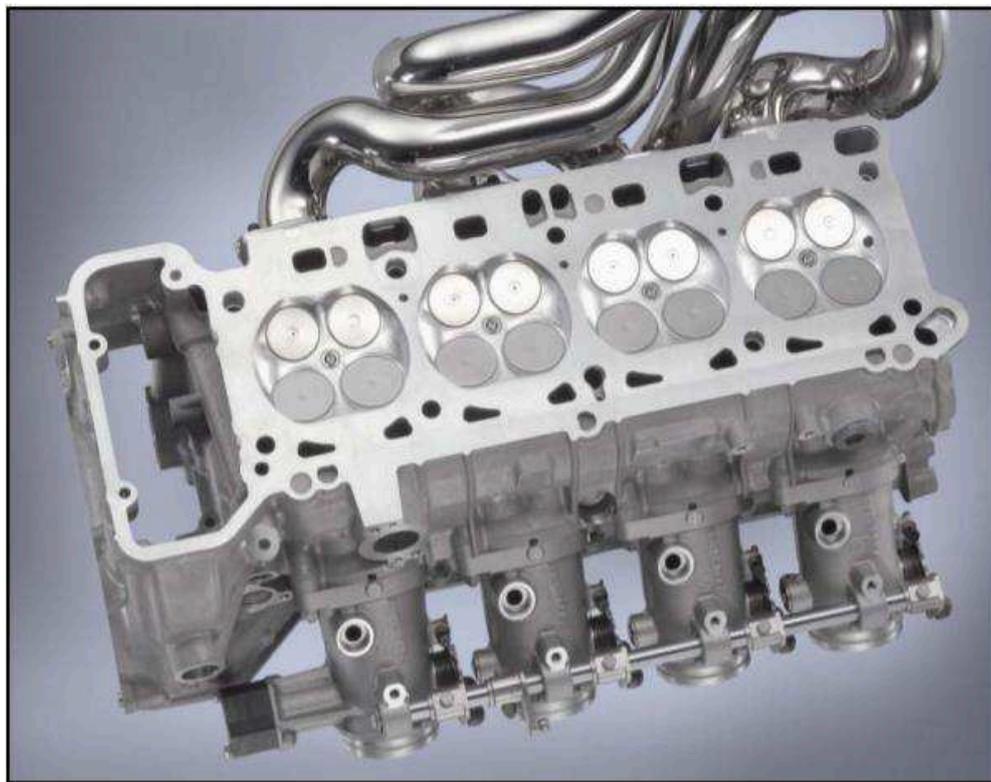
utilização de um material similar nos blocos do motor (Figura 12) elimina problemas de compatibilidade térmica entre ferro fundido cinzento e alumínio, como por exemplo, o acúmulo de tensões térmicas durante o arranque e após a parada do motor, devido à expansão térmica diferente dos materiais.

**Figura 12 Bloco de motor de ferro fundido e bloco de motor de alumínio**



**Fonte: PAIVA (2015)**

Se os blocos de motor estão sofrendo uma transição de fabricação de ferro fundido para alumínio, as vantagens dessa troca já foram observadas e aplicadas muitos anos atrás nos cabeçotes (Figura 13). Até mesmo em motores mais antigos com bloco de ferro fundido já utilizavam cabeçotes feitos de alumínio, pois assim permite maior dissipação do calor gerado na combustão dentro da câmara, graças à condutividade térmica cerca de três vezes maior do alumínio em comparação com o ferro fundido (EUROPEAN ALUMINIUM ASSOCIATION, 2011).

**Figura 13 Cabeçote de alumínio**

**Fonte: European Aluminium Association (2011)**

## 2.5 VANTAGENS

De acordo com Ayrton Filetti (2013), coordenador da Comissão Técnica e do Comitê de Transportes da Abal - Associação Brasileira do Alumínio, como tem apenas um terço do peso do aço, o alumínio pode ser um grande aliado das montadoras para atender aos requisitos do Inovar-Auto, que estabelece metas de emissões de poluentes para veículos, especialmente no que se refere à redução do consumo de combustíveis, com a consequente diminuição da emissão de poluentes. Ayrton afirma que 10% de redução de peso em um automóvel representa aumento de 5 a 7% em eficiência de combustível.

“A cada 100 kg de redução de peso de um automóvel, cerca de 300 a 900 litros de combustível podem ser economizados durante todo o ciclo de vida do veículo”, informa Filetti (2013), lembrando que, no caso de táxis e ônibus urbanos, a economia é significativamente superior, podendo chegar a 2.500 litros.

Em média, cada quilo de alumínio aplicado em substituição a um material pesado pode evitar a emissão de até 20 kg de CO<sub>2</sub> durante a vida útil de um automóvel; 28 kg de CO<sub>2</sub>, de caminhões, e 40 kg a 45 kg de CO<sub>2</sub>, de ônibus. A aplicação do alumínio para reduzir o peso dos veículos do setor de

transportes no mundo pode evitar a emissão de 660 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> ao ano - 9% das emissões do gás de efeito estufa relacionadas ao segmento (FILETTI, 2013).

E não é só isso, a utilização de alumínio na fabricação de componentes de motores à combustão interna traz diversos benefícios além da redução de peso. Outras características do alumínio são extremamente desejáveis, como a dissipação térmica cerca de três vezes maior que a do ferro fundido, que contribui para a redução das emissões de outras formas (DIAS, 2012).

Para um motor à combustão interna, uma alta razão de compressão é ideal, pois ela permite uma maior temperatura final de combustão para uma determinada quantidade de combustível: a temperatura final de compressão será mais alta quanto maior for a razão de compressão (BARATA, 2015).

Essa maior temperatura faz com que a velocidade de reação seja maior, o que implica num maior curso útil, pois a força motriz da expansão dos gases acontece mais cedo e com isso o período de trabalho deste cilindro é maior. Trocando em miúdos, quanto maior for a razão de compressão, mais eficiente será o motor e maior será a sua potência para um determinado consumo de combustível. Melhor aproveitamento energético. Porém, quanto maior a razão de compressão, maior será a temperatura na câmara de combustão. É aí onde todos os problemas começam (BARATA, 2015).

“A pré-ignição é um fenômeno que ocorre dentro da câmara de combustão de uma máquina de ignição por centelha. É um acendimento do motor antes do tempo correto, e pode acarretar a perfuração do êmbolo. Em casos extremos, gera a quebra do motor” informa Terao (2007). O surgimento da pré-ignição está associado intimamente com a temperatura dentro da câmara de combustão (SOARES, ZUCCOLOTTO, 2010).

Ou seja, essa mesma temperatura que auxilia a combustão se torna vilã assim que a câmara atinge a temperatura de autoignição do combustível. Além do risco de pré-detonação, a maior eficiência termomecânica traz automaticamente uma maior pressão efetiva de combustão – por isso componentes mais robustos e/ou materiais mais nobres são necessários, como por exemplo o alumínio (BARATA, 2015).

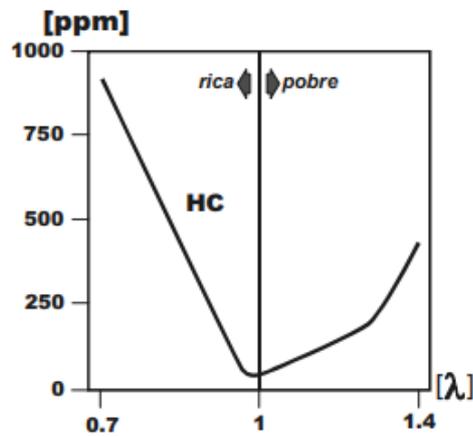
De acordo com Dias (2012), para o funcionamento ideal de um motor à combustão interna, ele deve estar em uma faixa de temperatura específica, que gira em torno de 70°C a 105°C, faixa essa que assegura o fio de óleo entre os componentes móveis, diminuindo o atrito entre as peças móveis e aumentando a eficiência do motor.

Por esse motivo, a partida a frio é o momento mais crítico de funcionamento de um motor, pois os componentes estão a temperaturas bem abaixo das ideais e se movendo em

altas velocidades entre si, gerando atrito, que gera um desgaste acentuado do motor (DIAS, 2012).

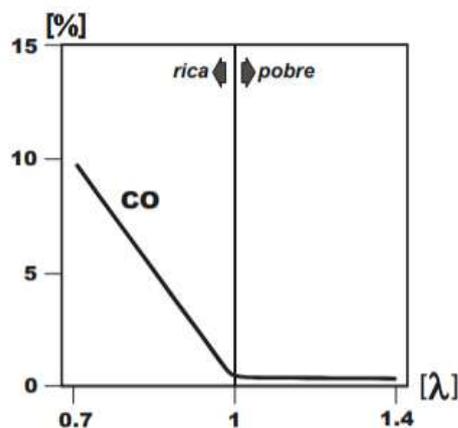
De acordo com Dias (2012), para contornar isso, nos carros mais modernos dotados de injeção eletrônica, a ECU comanda um maior tempo de abertura dos bicos injetores, resultando numa mistura rica de combustível dentro do motor, ou seja, mais combustível que ar em relação a uma mistura estequiométrica. A ECU faz isso a fim de que o motor atinja a temperatura ideal de funcionamento o mais rápido possível, mas, em contrapartida, esse artifício gera uma queima incompleta do combustível, que gera uma grande quantidade de gases poluentes, como pode ser observado nas Figuras 14 e 15 a seguir.

**Figura 14 Emissão de hidrocarbonetos (HC) em partes por milhão**



Fonte: HM Autotrônica (2012)

**Figura 15 Emissão de monóxido de carbono (CO) em porcentagem de volume total amostrado**



Fonte: HM Autotrônica (2012)

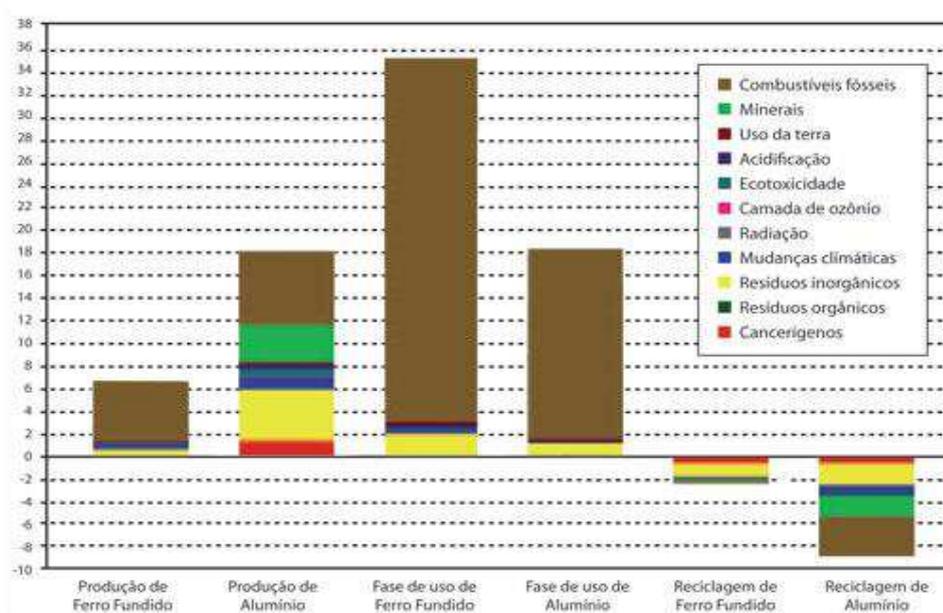
Consequentemente, um motor de alumínio, cuja dissipação térmica é superior a de um motor de ferro fundido, atinge a temperatura ideal de funcionamento bem mais rápido,

diminuindo o tempo de injeção prolongada comandada pela ECU, diminuindo assim o consumo de combustível e principalmente a emissão de gases poluentes.

De acordo com o estudo *Life Cycle Assessment in the automotive industry: comparison between aluminium and cast iron culinder blocks* de autoria dos pesquisadores italianos F. Bonollo, I. Carturan, G. Cupitò e R. Molina, blocos de motor fabricados em alumínio oferecem menor impacto ambiental que os produzidos com ferro fundido.

A análise feita pelos pesquisadores italianos comparou blocos de motor com deslocamento igual a 1600 cilindradas, geralmente empregados em veículos da classe C (de aproximadamente 1.250 kg), com potência de 75 kw a 6.000 rpm, e torque de 145 Nm a 4.000 rpm. A única diferença entre os motores comparados foi a matéria-prima, sendo um deles de ferro fundido cinzento e o outro de uma liga de alumínio com 9% de silício e 3% de cobre. O gráfico da Figura 16 exhibe os principais resultados obtidos, estabelecendo como medida única um eco-indicador mensurado em pontos (BLANCO, 2010).

**Figura 16 Gráfico eco-indicador de um motor com bloco em ferro e de um bloco em alumínio**



**Fonte: Aluauto (2010)**

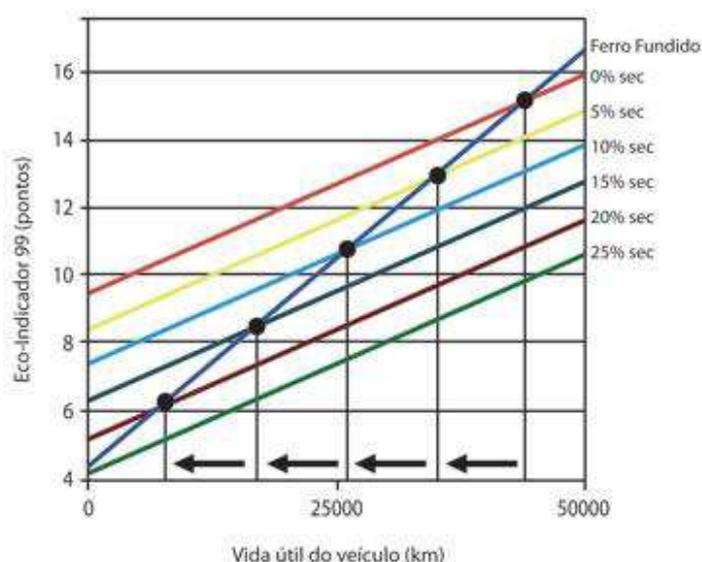
Somando-se os pontos das diferentes fases do ciclo de vida de cada motor, foi obtido um prejuízo ambiental para o bloco de ferro fundido de 41,3 pontos e para o bloco de alumínio apenas 28,9. Apesar da fase de produção dos blocos de ferro fundido apresentar impacto ambiental menor (com o eco-indicador em 6,23 pontos) que a do alumínio (19 pontos), na fase de uso o alumínio apresenta vantagens, dada sua menor densidade, reduzindo

muito a elevada carga ambiental no momento da produção do alumínio primário. Isso fica nítido ao se analisar o gráfico acima da Figura 16: enquanto o bloco de ferro fundido marca prejuízo ambiental de 37 pontos, o bloco de alumínio não ultrapassa a marca de 19,3 pontos. Durante a fase de utilização, 90% da pontuação do eco-indicador do ferro fundido é referente ao consumo de combustível e às emissões de gases poluentes. A explicação para essa diferença é o menor peso da segunda solução (16,4 kg para o bloco de alumínio e 31 kg para o bloco de ferro fundido), que permite uma redução importante em termos de consumo de combustível e emissões (BLANCO, 2010).

Mas é no uso do alumínio reciclado que surge a grande vantagem ecológica. Como a reciclagem de alumínio consome apenas 5% da energia que seria necessária para extração de minério e produção de alumínio, fabricar componentes feitos de alumínio reciclado evita emissões na fase mais poluente de seu ciclo. Com isso em mente, foi avaliado o impacto de diversas porcentagens de alumínio secundário na produção de blocos de alumínio – 0%, 25%, 50%, 75% e 100% (BLANCO, 2010).

O ganho ambiental da sucata de alumínio é tão grande que, para níveis de uso acima de 25% de alumínio secundário, o eco-indicador da solução em alumínio é menor que o do bloco de ferro fundido mesmo antes da fase de utilização, como pode ser visto na Figura 17 (BLANCO, 2010).

**Figura 17** Gráfico comparativo do eco-indicador de um motor usando bloco de alumínio com porcentagem de alumínio secundário com um motor usando bloco de ferro fundido



**Fonte: Aluauto (2010)**

## 2.6 DIFICULDADES

O cabeçote tem a importante função de tampar os cilindros para formar a câmara de combustão, portanto tem que suportar as pressões da compressão e explosão da mistura ar combustível. É também por ele que a maior parte do calor gerado na combustão é dissipado. Em um motor com o cabeçote feito de alumínio, o cuidado com a refrigeração e lubrificação deve ser redobrado, pois esse material apresenta baixo ponto de fusão ( $660^{\circ}\text{C}$ ) comparado com o ferro fundido ( $1200^{\circ}\text{C}$ ), podendo empenar caso as temperaturas fiquem muito altas. Por esse motivo é comum vermos motores com bloco em ferro fundido e cabeçote de alumínio que superaqueceram e ocorreu o empenamento do cabeçote, sendo que o bloco, com maior ponto de fusão, não sofre distorção com o superaquecimento (TILLMANN, 2013).

O alumínio é um material menos duro que o ferro fundido, fato que deve ser observado no projeto de um bloco de motor, pois as paredes do cilindro estão em constante contato com os pistões e seus anéis de vedação, que ficam reciprocando dentro das camisas em altas velocidades, e por isso precisam apresentar características mínimas de dureza para suportar esse tipo de trabalho. A solução encontrada pelas montadoras foi a utilização de cilindros removíveis em formato de tubos os quais formam as paredes do cilindro no bloco propriamente dito, denominados “camisas” (TILLMANN, 2013)

De acordo com o manual “Revisão de motores de alumínio” da MSI *Motor Service International GmbH*, a montagem das camisas de aço no bloco pode ser feita de mais de uma forma:

- Montagem com gelo seco: esse método utiliza cilindros de CO<sub>2</sub> pressurizados. Ao sair da garrafa, o gás transforma-se em gelo seco devido à rápida expansão, podendo resfriar as camisas de cilindro a até -80° centígrados.

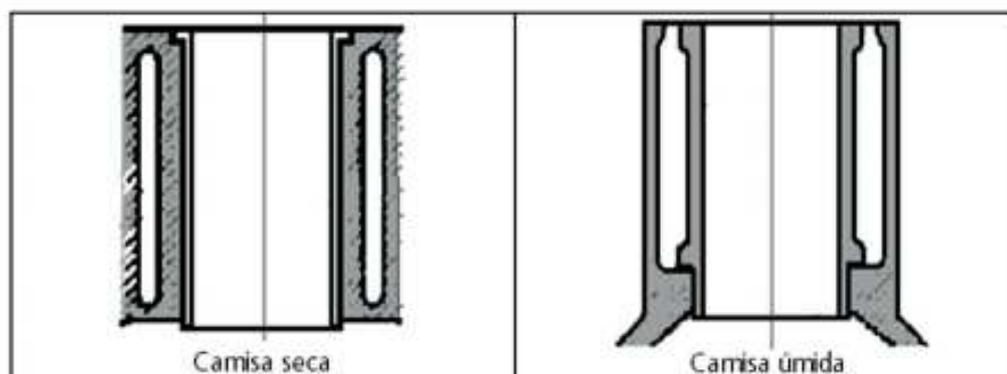
- Montagem com nitrogênio líquido: a camisa do cilindro é colocada em um recipiente com nitrogênio líquido, atingindo a temperatura de até -180° centígrados.

- Aquecimento do bloco do motor: o bloco do motor é colocado em um forno de pré-aquecimento durante cerca de 30 minutos, tornando-o apto a receber as camisas de cilindro. Na montagem com gelo seco, é necessário que o bloco seja aquecido a uma temperatura de 160° centígrados, sendo essa etapa dispensável na montagem com nitrogênio líquido. Para garantir uma montagem considerada segura, é necessário haver uma diferença de 200° centígrados entre o bloco e a camisa de cilindro.

Quando um bloco de motor encamisado vai para a retífica, o primeiro passo é medir os cilindros e se for o caso, recuperá-los para deixá-los com uma medida imediatamente superior ou, em alguns casos, passando-os, por intermédio de encamisamento, para a medida Standard, com as folgas exatas para o funcionamento correto de pistões e anéis. Essas medidas são indicadas pelo fabricante (SILVA, 2012).

O bloco do motor encamisado tem duas versões: o de camisa seca e o de camisa molhada ou úmida (Figura 18). Os procedimentos para sua recuperação são diferentes. Camisa seca: Nesse modelo, os cilindros são partes integrantes do bloco e, quando se desgastam, permitem a usinagem das paredes dos cilindros para uma sobremedida imediatamente superior ou a abertura completa desses diâmetros para seu encamisamento, recuperando-se a medida original (SILVA, 2012).

**Figura 18 Tipos de camisas utilizadas nos motores**



**Fonte: Oficina Expert (2016)**

Camisa molhada ou úmida: Nesses casos, os blocos são internamente vazados e os cilindros fazem parte de uma camisa avulsa ao motor que fica em contato direto com o líquido do sistema refrigerante, que por ocasião do condicionamento, são substituídas por medidas Standard. Sua vedação do líquido de arrefecimento é conseguida com a montagem de retentores de borracha nas partes superiores e inferiores das camisas, montados em canaletas próprias, existentes tanto nas camisas como nos blocos, garantindo sua total vedação (SILVA, 2012).

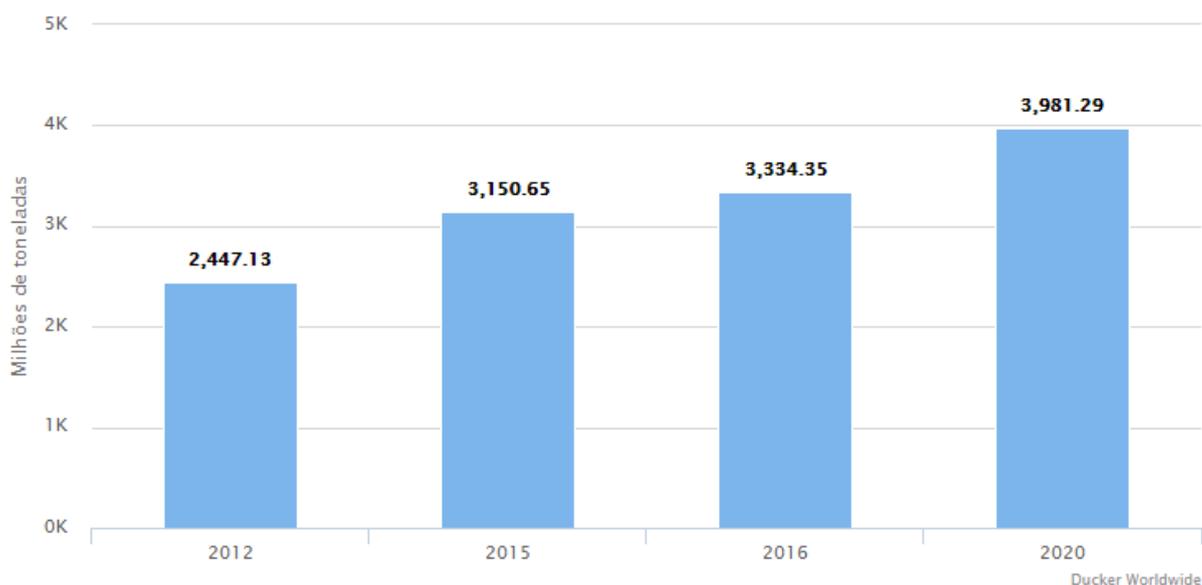
## 2.7 TENDENCIAS

A tendência que pode ser observada é que o uso de alumínio na construção de carros de passeio e picapes continuará crescendo cada vez mais. O volume total por veículo de 180 quilos de alumínio em 2015 subirá em 2020 para mais de 211 quilos, representando em média um total de 13% do peso total do veículo. Esta é a principal conclusão do mais recente estudo da Ducker Worldwide, encomendada pelo Grupo de Transporte de Alumínio (ATG – Aluminum Transportation Group) da Aluminum Association (ISHIKAWA, 2017).

Abey Abraham, diretor de automóveis e materiais da Ducker Worldwide afirma que “O alumínio permanece como o material automotivo cuja participação mais cresceu desde que estamos acompanhando o mix de materiais automotivos”. O estudo ainda aponta que, para a redução de peso, a substituição dos materiais usados hoje é essencial, sendo a redução do peso dos veículos crucial perante os desafios impostos para a indústria automobilística a fim de atender as rígidas legislações de emissões de poluentes e gases do efeito estufa. “Nessa visão, o material mais adequado é o escolhido para cada aplicação e esta evolução é que está direcionando para o aumento da penetração do alumínio.” (ISHIKAWA, 2017).

É esperado que o conteúdo total de alumínio nos veículos da categoria leve produzidos nos países Norte Americanos atinja mais de quatro milhões de toneladas em 2020. Como pode ser observado na Figura 19, entre 2012 e 2015, um aumento de 29% foi registrado e, segundo avaliação da Ducker Worldwide, em apenas um ano (entre 2015 e 2016) o volume total de alumínio aumentou mais 6% (ISHIKAWA, 2017).

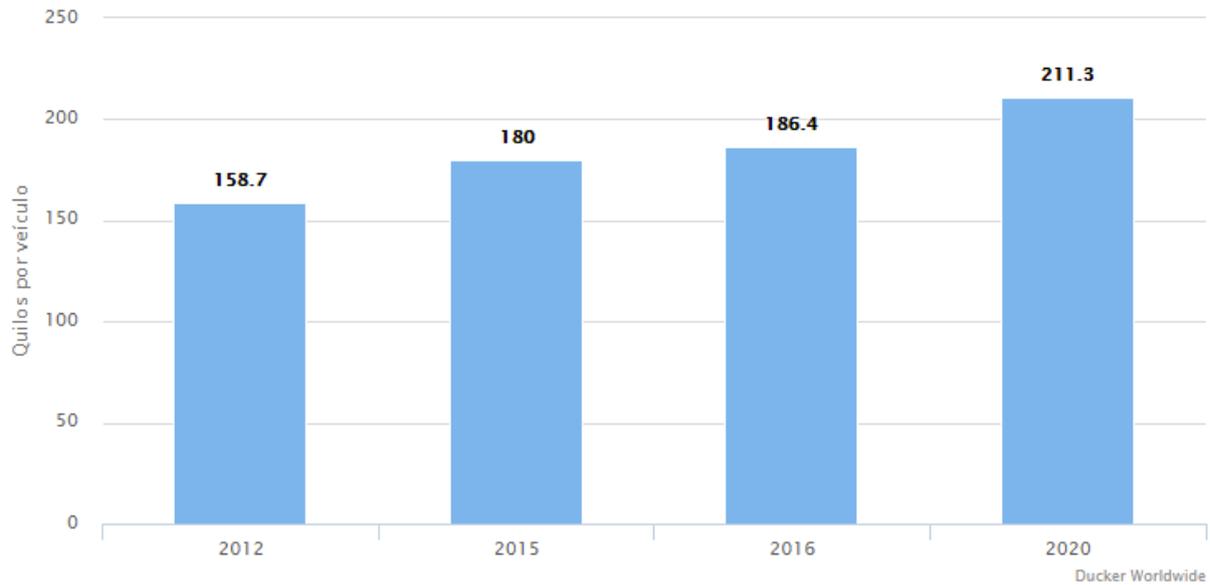
**Figura 19 Conteúdo de alumínio total para veículos leves – America do Norte**



**Fonte: Ducker Worldwide (2016)**

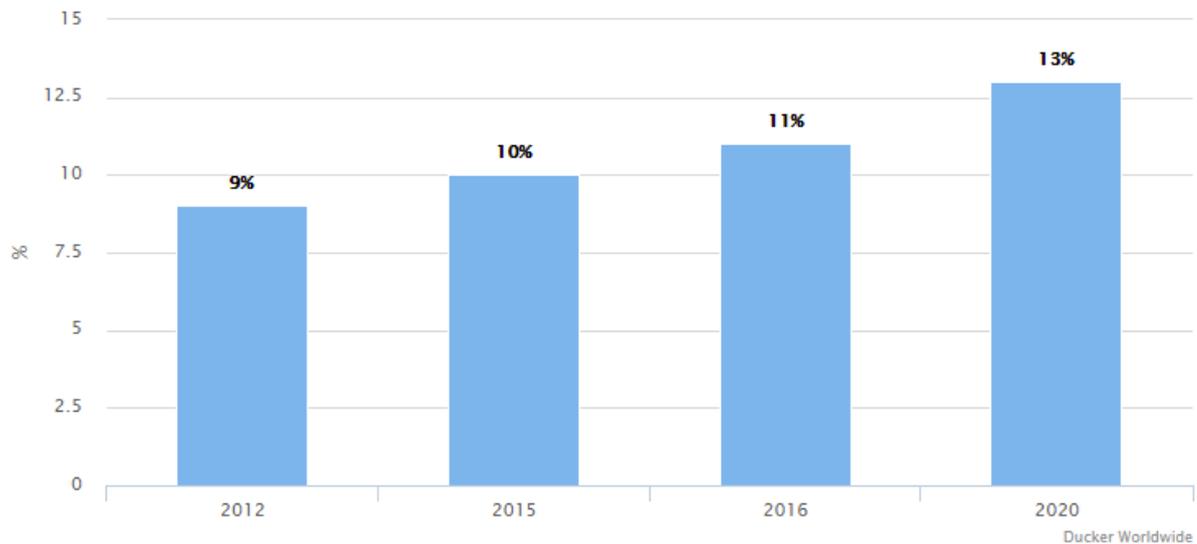
Mais impactante que o volume total de alumínio, que sofre influencia do aumento na produção de veículos prevista, é o fato de que, em apenas cinco anos, a média de conteúdo de alumínio aumentará mais de 31 quilos por veículo, superando a casa dos 211 quilos (Figura 20) – e a média da participação do alumínio no peso dos veículos em ordem de marcha subirá 3%, de 10% para 13% (Figura 21) (ISHIKAWA, 2017).

**Figura 20 Conteúdo médio de alumínio por veículo – America do Norte**



Fonte: Ducker Worldwide (2016)

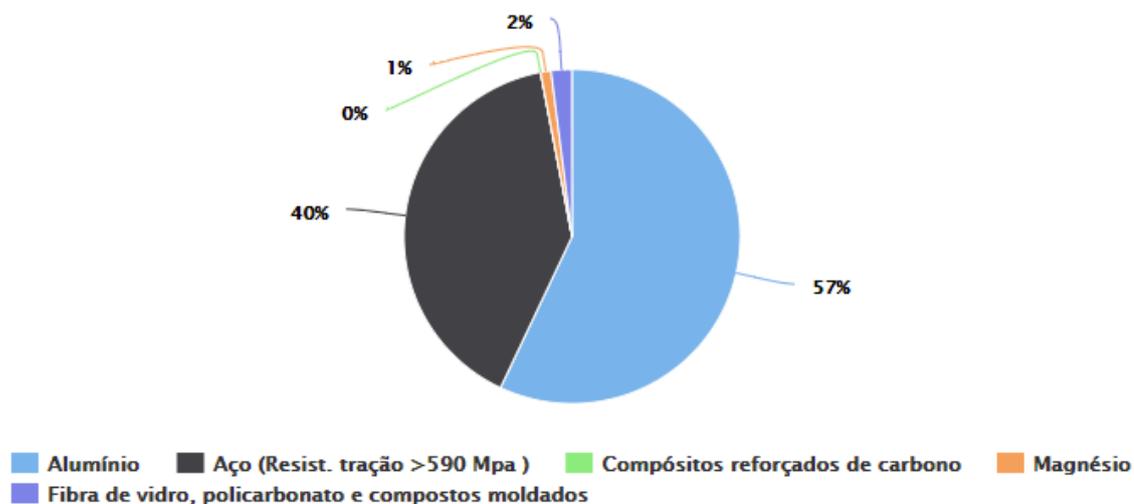
**Figura 21 Participação do alumínio no peso dos veículos em ordem de marcha – America do Norte**



Fonte: Ducker Worldwide (2016)

Até 2020, a indústria automobilística norte-americana deverá alcançar uma redução de 45,35 kg (2,6%) em relação ao peso total médio do veículo (1739,5 kg em 2015), sendo o alumínio sozinho o maior responsável por cerca de 25,85 quilos dessa redução, mais do que a metade do peso reduzido (Figura 22) (ISHIKAWA, 2017).

**Figura 22 Conteúdo médio de alumínio por veículo – America do Norte**



Ducker Worldwide

**Fonte: Ducker Worldwide (2016)**

Em meio à retomada de produção e vendas no setor automotivo brasileiro, montadoras e governo definem os detalhes do Rota 2030, plano que direciona o futuro da fabricação de veículos no Brasil, sucedendo o programa Inovar-Auto, condenado pela OMC por desrespeitar regras internacionais de comércio. Segundo reportagem publicada no "Valor Econômico", governos e montadoras devem fechar um acordo que fica entre o que há hoje e o que é considerado ideal do ponto de vista técnico. De acordo com montadoras ouvidas pela reportagem, o Rota 2030 deverá seguir o padrão do Inovar-Auto quanto às metas: primeiro haverá um patamar mais baixo a ser atingido, depois uma segunda fase com exigências maiores. A primeira etapa deverá ser dividida por cilindrada do motor, como ocorre hoje, mas com penalidades para os menos eficientes. Por exemplo: um carro com motor 1.0 que apresente dados de consumo e emissões de poluentes ou CO maiores que as médias exigidas pelo Rota 2030 não terá os mesmos benefícios fiscais que um outro veículo também 1.0 que atenda ou supere os requisitos considerados ótimos. Por esse motivo, para se adequar às novas exigências, as montadoras deverão continuar investindo em novas tecnologias para aumentar a eficiência e diminuir o consumo de seus veículos, sendo o alumínio um ponto crucial nessa empreitada (KUTNEY, 2017).

### 3 METODOLOGIA

Conforme define Gil (2002) as formas clássicas de definição dos métodos de pesquisa são: quanto à natureza (básica ou aplicada); quanto à forma de abordagem do problema (quantitativa ou qualitativa); quanto aos objetivos (exploratória, descritiva ou explicativa), e quanto aos procedimentos técnicos (bibliográfica, documental, experimental, levantamento e estudo de caso).

Já Moresi (2003), classifica as pesquisas também de forma clássica, mas, apresenta-as de outra maneira:

- Pesquisa básica: Objetiva gerar conhecimentos novos úteis para o avanço da ciência sem aplicação prática prevista. Envolve verdades e interesses locais;
- Pesquisa aplicada: Objetiva gerar conhecimento para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais.

Gil (1996) destaca que o experimento representa o melhor exemplo de pesquisa científica.

Conforme destaca Cervo, Bervian Silva (2007) a pesquisa pode assumir diversas formas:

- Pesquisa quantitativa: nesse tipo de abordagem, os pesquisadores buscam exprimir as relações de dependência funcional entre variáveis para tratá-las como fenômenos. Eles procuram identificar os elementos constituintes do objeto estudado, estabelecendo a estrutura e a evolução das relações entre os elementos. Seus dados são métricos (medidas, comparação/padrão/metro) e as abordagens são experimental, hipotético-dedutiva, verificatória. Os pesquisadores têm como base as metateorias formalizantes e descritivas;

A pesquisa quantitativa traduz em números as opiniões e informações para serem classificadas e analisadas. Utiliza-se de técnicas estatísticas;

- Pesquisa qualitativa: tem historicamente sido mais utilizada em alguns campos específicos de investigação nas ciências sociais, notadamente na antropologia, na histórica e na ciência política. Tem aplicação em disciplinas básicas a aplicadas como administração em geral. Pode ser definida como a que se fundamenta principalmente em análises qualitativas, caracterizando-se, em princípio, pela não utilização da estatística na análise de dados;

- Pesquisa exploratória: procura proporcionar maior familiaridade com o problema e é realizada por meio de levantamento bibliográfico ou entrevistas, pesquisa bibliográficas e ou estudo de caso;
- Pesquisa descritiva: é utilizada quando fatos são observados, registrados, analisados, classificados e interpretados, sem interferência do pesquisador. Também para este método é realizado uso de técnicas padronizadas de coleta de dados, com questionários e observação sistemática;
- Pesquisa explicativa: neste tipo de pesquisa identificam-se fatores determinantes para a ocorrência dos fenômenos. Também utilizada nas pesquisas direcionadas a ciências naturais e sociais, métodos experimentais e observacionais;
- Pesquisa documental: é realizada uma investigação, por meio de documentos, com o objetivo de descrever e comparar os costumes, comportamentos, diferenças e outras características, tanto da realidade presente, como do passado;
- Pesquisa experimental: Ocorre quando se manipula as variáveis relacionadas com o objeto de estudo. A manipulação de variáveis proporciona o estudo da relação entre as causas e os efeitos de determinado fenômeno;
- Pesquisa exploratória: Esta pesquisa não requer a formulação de hipóteses a serem testadas. Ela se restringe por definir objetivos e buscar mais informações sobre determinado assunto de estudo, portanto ela seria um passo inicial para o projeto de pesquisa. A pesquisa exploratória é recomendada quando há pouco conhecimento sobre o problema a ser estudado.

De acordo com a Natureza e os Objetivos, a pesquisa deste trabalho classifica-se como descritiva. Sua conceituação é 'bibliográfica'. Expõe um problema e a sua solução por meio da descrição de uma conceituação teórica, obtidas em publicações relevantes, que pode ser aplicada em qualquer ambiente que guarde condições semelhantes. A abordagem é qualitativa como comprovação do objetivo geral proposto.

## 4 CONCLUSÕES

Podem ser observadas as vantagens do uso do alumínio nos diversos componentes de um motor à combustão interna. É um metal mais leve que o ferro fundido, com maior dissipação térmica e características que o tornam apto à fundição e usinagem, é o metal mais abundante no planeta terra, que custa caro para ser obtido, mas que pode ser 100% reciclado, infinitas vezes, por uma fração do preço de extração do mesmo, tornando sua reciclagem um processo mais economicamente viável que sua extração, o que acaba por influenciar a reciclagem desse material.

Para se ter uma noção, o motor 1.4 16V turbo que equipa o Linea e o Punto T-Jet consegue extrair 152 cv e 21,1 kgfm de torque e pesa 133,5 kg. O peso do motor é 16,5% menor que o 1.9 16V que impulsiona o mesmo Linea, feito de ferro fundido, que tem 147 kg e gera 130/132 cv e 18,1/18,6 kgfm, com gasolina e álcool, respectivamente. A utilização de alumínio também responde por um peso menor, como no 1.8 16V do Honda Civic, feito em alumínio, por exemplo, com baixos 116 kg e 138/140 cv e 17,5/17,7 kgfm. Mesmo entre propulsores do mesmo fabricante, ocorre uma defasagem em peso, como o Ecotec 2.4 16V que move o Captiva Sport de entrada, com bloco e cabeçote em alumínio, 171 cv e 22,2 kgfm e um peso de 124 kg. Como comparação, o 2.4 16V Família II que equipava o Vectra Elite, com bloco em ferro, pesava 147 kg e gerava 146 cv e 23,1 kgfm de torque (CABRAL, 2009).

A ordem de redução de peso quando se substitui o ferro fundido pelo alumínio é na ordem de 50%, e sendo os motores um dos componentes mais pesados de um veículo, estes apresentam enorme potencial para diminuir o peso total do conjunto.

Concluimos que com as crescentes demandas ambientais e pressão dos governos para que as metas de emissão de poluentes sejam atingidas, o alumínio apresenta uma alternativa viável para o atendimento dessas metas, abrindo espaço para desenvolvimento ainda maior desses motores no futuro.

## REFERÊNCIAS

- Apostila Motores a Combustão Interna** – UFPEL, 2013.  
<<http://wp.ufpel.edu.br/mlaura/files/2013/01/Apostila-de-Motores-a-Combust%C3%A3o-Interna.pdf>> Acesso em 20 de outubro de 2017.
- AKASHI, A. **Aumentam as apostas no uso do alumínio** – Outubro, 2012.  
<<http://aluauto.com.br/aumentam-as-apostas-no-uso-do-aluminio/>> Acesso em 20 de outubro de 2017.
- AMORIM, R. S. **Partes Componentes do Motor** – Blog Oficina Expert, Fevereiro, 2016 <<http://oficinaexpert.blogspot.com.br/2016/>> Acesso em 22 de outubro de 2017.
- BARATA, J. **Taxa de compressão: qual a sua importância para os motores?** – Abril, 2015. <<https://www.flatout.com.br/taxa-de-compressao-qual-a-sua-importancia-para-os-motores/>>. Acesso em 01 de outubro de 2017.
- BLANCO, M. **Estudo compara impactos ambientais da aplicação de ferro fundido e alumínio na produção de blocos de motor** – Dezembro, 2010.  
<<http://aluauto.com.br/estudo-compara-impactos-ambientais-da-aplicacao-de-ferro-fundido-e-aluminio-na-producao-de-blocos-de-motor/>> Acesso em 01 de outubro de 2017.
- CABRAL, J. **Fabricantes se desdobram em soluções para obter carros mais leves** – Junho, 2009. <<https://carros.uol.com.br/ultnot/2009/06/28/ult634u3548.jhtm>>. Acesso em 01 de outubro de 2017.
- Carros Online. **As desvantagens do motor de blocos de alumínio**  
<<http://www.carro-carros.com/carros/auto-repair/auto-brakes/62297.html>> Acesso em 01 de outubro de 2017.
- CERVO, A. L; BERVIAN, A; SILVA,R. **Metodologia científica**. São Paulo: editora Atlas, 2007.
- DIAS, A. **Injeção Eletrônica: Por dentro do Sensor de Temperatura do Motor** – Julho, 2012. <<http://www.carrosinfoco.com.br/carros/2012/07/injecao-eletronica-por-dentro-do-sensor-de-temperatura-do-motor/>> Acesso em 01 de outubro de 2017.
- DUARTE, D. F. - Outubro, 2012. **Estudo, comparação e análise econômica da transferência de calor em aletas de motores elétricos fabricados com alumínio e ferro fundido**. <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012\\_TN\\_STO\\_157\\_913\\_21094.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_TN_STO_157_913_21094.pdf)> Acesso em 20 de outubro de 2017.

DUCKER WORLDWIDE. **Ducker Worldwide study: Aluminium content in cars (public summary)** - Setembro, 2016. <<http://www.ducker.com/news-insights/ducker-worldwide-study-aluminum-content-cars-public-summary#file-download-notice>> Acesso em 22 de outubro de 2017.

EUROPEAN ALUMINIUM ASSOCIATION. **The Aluminium Automotive Manual** – 2011. <<https://european-aluminium.eu/media/1580/aam-applications-power-train-4-cylinder-head.pdf>> Acesso em 26 de agosto de 2017.

FOGAÇA, J. R. V. Alumínio – 2011. <<http://alunosonline.uol.com.br/quimica/aluminio.html>> Acesso em 01 de outubro de 2017.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4 ed. São Paulo: Editora SP Atlas, 2002.

GIL, A. C. **Projetos de pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, 1996.

HIRSCH, J. R. **Automotive Trends in Aluminium – The European Perspective** - Janeiro, 2004

ISHIKAWA, M. **alumínio nos automóveis: crescimento sem precedentes** - Agosto, 2017. <<http://aluauto.com.br/alumino-nos-automoveis-crescimento-sem-precedentes/>>. Acesso em 01 de outubro de 2017.

ISHIKAWA, M. **O alumínio é um material fundamental no processo de melhoria da eficiência energética dos carros através do downsizing dos motores** – Abril, 2016. <<http://aluauto.com.br/quando-menos-e-mais/>>. Acesso em 26 de agosto de 2017.

JONES, B. C. M; GOMES, D. M; LEIROZ, F. O; ÁVILA, T. J. D. Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda – 2015.

KUTNEY, P. **Montadoras superam meta de economia de combustível do Inovar-Auto** – Agosto, 2017. <<http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/26208/montadoras-superam-meta-de-economia-de-combustivel-do-inovar-auto>>. Acesso em 01 de outubro de 2017.

MARTINS, T. **Indústria de alumínio está pronta para atender Inovar-Auto** – Setembro, 2013. <<http://www.usinagem-brasil.com.br/7790-industria-de-aluminio-esta-pronta-para-atender-inovar-auto/pa-1/>> Acesso em 01 de outubro de 2017.

MORESI, E. **Metodologia da pesquisa**. Brasília: Editora Universidade Católica de Brasília, 2003.

MSI Motor Service International GmbH, **Revisão de motores de alumínio**. Disponível em:

<[https://www.msmotorservice.com.br/fileadmin/media/MAM/PDF\\_Assets/Revis%C3%A3o-de-motores-de-alum%C3%ADnio\\_51705.pdf](https://www.msmotorservice.com.br/fileadmin/media/MAM/PDF_Assets/Revis%C3%A3o-de-motores-de-alum%C3%ADnio_51705.pdf)> Acesso em 10 de julho de 2017.

NEVES, F. **Alumínio** - Junho, 2012

<<https://planetamecanica.wordpress.com/2012/06/02/aluminio/>> Acesso em 20 de outubro de 2017.

PAIVA, N. **Trabalho de fundição: Bloco de Alumínio** – Abril, 2015.

<<https://www.passeidireto.com/arquivo/6078069/bloco-de-motor-em-aluminio>> Acesso em 26 de agosto de 2017.

COSTA, L. G; PIRES, H. **A contribuição da reciclagem do alumínio para o alcance do desenvolvimento sustentável**. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2007.

<[https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos07/1262\\_artigo%20aluminio\\_Seget\\_2007\\_Prof.pdf](https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos07/1262_artigo%20aluminio_Seget_2007_Prof.pdf)> Acesso em 22 de outubro de 2017.

ROCHA, G. **Anéis de Segmento do Pistão** – Fevereiro, 2009.

<<http://www.infomotor.com.br/site/2009/02/aneis-de-degmento-do-pistao/>> Acesso em 20 de agosto de 2017.

SILVA, L. C. R. **Física do motor de trator a diesel**. Uberlândia – MG, 2012

SOARES, F. G. K; ZUCCOLOTTO, M. **Detector de pré-ignição**. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 11, n. 15, p. 1-88, jan./jun, 2010.

TILLMAN, C. A. C. **Motores de Combustão Interna e seus Sistemas**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense. Pelotas – RS, 2013