

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
ANDRÉ APARECIDO DO ESPÍRITO SANTO
GUSTAVO HENRIQUE GUIMARÃES

UTILIZAÇÃO DE TURBOCOMPRESSOR EM
VEÍCULOS DA ATUALIDADE

Taubaté - SP

2019

**ANDRÉ APARECIDO DO ESPÍRITO SANTO
GUSTAVO HENRIQUE GUIMARÃES**

**UTILIZAÇÃO DE TURBOCOMPRESSOR EM
VEÍCULOS DA ATUALIDADE**

Trabalho de graduação apresentado para
obtenção do Certificado de Graduação do
curso de Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia Mecânica da
Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Me. Fernando Silva de
Araujo Porto

Taubaté - SP

2019

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

E77u Espírito Santo, André Aparecido do
Utilização de turbocompressor em veículos da atualidade / André
Aparecido do Espírito Santo, Fernando da Silva Elias. -- 2019.
38 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2019.

Orientação: Prof. Me. Fernando Silva de Araújo Porto, Departamento de
Engenharia Mecânica

1. Turbocompressor. 2. Downsizing. 3. Potência. I. Graduação em
Engenharia Mecânica. II. Guimarães, Gustavo Henrique. III. Título.

CDD – 621.4

ANDRÉ APARECIDO DO ESPÍRITO SANTO
GUSTAVO HENRIQUE GUIMARÃES

UTILIZAÇÃO DE TURBOCOMPRESSOR EM VEÍCULOS DA ATUALIDADE

Trabalho de graduação apresentado para obtenção do Certificado de Graduação do curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

DATA: 6/11/19

RESULTADO: APROVADO

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Me. Fernando Silva de Araujo Porto

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura: 

Prof. Me. Ivair Alves do Santos

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura: 

Dedicamos a Deus e a nossa família pela força e apoio durante toda esta longa caminhada.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ser essencial em nossa vida, autor do nosso destino, nosso guia, socorro presente na hora da angústia e dificuldades.

Aos nossos familiares nosso porto seguro.

Aos professores, que foram tão importantes em nossa vida acadêmica.

Ao nosso orientador por desde o começo não poupar esforços para nos ajudar e incentivar.

E a todos que de alguma forma fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigado.

RESUMO

Devido à alta competitividade das empresas automobilísticas ocorre a necessidade de constante inovação de suas técnicas no estudo de motores de combustão. Este trabalho é apresentar de modo sucinto como ocorre à utilização de turbocompressores em veículos da atualidade. Com esta tecnologia é possível verificar a otimização dos motores em relação ao número de cilindros com o incremento do sistema de turbo alimentadores que são compressores centrífugos impulsionados por uma turbina a gás de escape e empregados nos motores para aumentar a pressão do ar de admissão, e assim, um sistema de injeção de combustível diretamente na câmara de combustão. Através de estudos e pesquisas bibliográficas foi possível identificar o turbo como sendo uma alternativa eficaz no que diz respeito a eficiência energética. Com a pesquisa foi possível observar as principais diferenças entre o motor convencional e o motor com turbocompressor, e conclui-se que o motor equipado com o turbocompressor se mostrou mais eficiente que o motor aspirado convencionalmente e a perspectiva é que as montadoras cada vez mais introduzam essa tecnologia ao mercado.

Palavras-chave: Turbocompressor. *Downsizing*. Potência.

ABSTRACT

Accepting the high availability of automobile companies there is a constant need for innovation of their techniques in the study of combustion engines. This paper is briefly presented, as it occurs in the use of turbochargers in today's vehicles. With this technology, it is possible to check engine optimization in relation to the number of cylinders or to increase the system of turbochargers, which are centrifugal compressors driven by an exhaust gas turbine and used in engines to increase the intake pressure, and thus a direct fuel injection system into the fuel chamber. Through studies and bibliographic research it was possible to identify or turbo as an effective alternative with regard to energy efficiency. With a research it was possible to observe the main differences between the conventional engine and the turbocharged engine, and it is concluded that the engine equipped with the turbocharger is the most efficient than the conventionally aspirated engine and the perspective is how automakers increasingly introduce this technology to the market.

Keywords: Turbocharger. Downsizing. Power.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bloco do Motor VW Up 1.0 TSI 3cc 101 cv.....	12
Figura 2 - Bloco do motor VW Gol 1.0 4cc 72 cv.....	13
Figura 3 - Fiat UNO Turbo de 1994.....	14
Figura 4 - Ciclo de 4 tempos de operação do motor Otto.....	16
Figura 5 - Bloco do Motor.....	17
Figura 6 – Cabeçote.....	17
Figura 7 - Carter.....	18
Figura 8 - Válvulas.....	18
Figura 9 – Pistão.....	19
Figura 10 - Biela.....	19
Figura 11 - Virabrequim.....	20
Figura 12 - Consumo específico de combustível.....	23
Figura 13 - Kit Turbo Completo.....	24
Figura 14 - Turbina.....	25
Figura 15 - Esquema do fluxo do turbocompressor.....	26
Figura 16 - Esquema do motor sobrealimentado por turbocompressor.....	27
Figura 17 - Princípio geral da turbocompressão.....	29
Figura 18 - VW Gol.....	32
Figura 19 - VW Parati.....	32
Figura 20 - VW Polo 1.0 TSI.....	33
Figura 21 - VW GOLF.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre veículos sobrealimentados e aspirados VW UP	30
Tabela 2 - Comparativo entre veículos sobrealimentados e aspirados VW Gol.....	32
Tabela 3 - Comparativo entre veículos sobrealimentados e aspirados VW Parati	32
Tabela 4 - Comparativo entre veículos sobrealimentados e aspirados VW Polo	33
Tabela 5 - Comparativo entre veículos sobrealimentados e aspirados VW Golf.....	34

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

TSI	Turbo com Injeção Estratiflcada
VW	Volkswagen do Brasil
FIAT	Fábrica Italiana de Automóveis de Turim
UFPEL	Universidade Federal de Pelotas
MJ	MegaJoules
PME	Pressão Média Efetiva
RPM	Rotações por Minuto

LISTA DE SÍMBOLOS

cc	Cilindrada do Motor
cv	Potência do Motor
cm	Centímetro
kgfm	Quilograma - força / metro
ut	Volume Total
ud	Volume Deslocado Pelo Topo do Pistão
uc	Volume Morto
°C	Grau Celsius
rev / min	Revolução Por Minuto
l	Litro
v	Válvula
km/L	Litro Por Quilometro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO.....	13
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	Princípio de funcionamento do motor	15
2.1.1	Bloco do Motor	16
2.1.2	Cabeçote	17
2.1.3	Carter	18
2.1.4	Válvulas.....	18
2.1.5	Pistão	19
2.1.6	Biela	19
2.1.7	Virabrequim	20
3	METODOLOGIA.....	21
4	DESENVOLVIMENTO.....	22
4.1	Downsizing.....	22
4.2	Turbo Compressores.....	24
5	COMPARATIVO	30
6	RESULTADOS	35
7	CONCLUSÃO.....	36
	REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

Atualmente as indústrias automotivas observam a necessidade da redução na emissão de poluentes e do consumo de combustíveis, ocasionando maior eficiência energética, sem que ocorra diminuição do desempenho e da confiabilidade (RODRIGUES,2014).

Procurando atender exigências mercadológicas e governamentais a redução das dimensões dos motores se mostra como uma alternativa eficaz, sendo uma forma de executar de maneira eficiente o *downsizing* é adicionar ao motor um componente responsável por sua sobrealimentação. No estudo em questão será abordado o uso de turbocompressores (RODRIGUES,2014).

O uso de turbocompressores vem se tornando algo comum nos veículos atuais, sendo que de maneira geral pode-se dizer que o componente aumenta a quantidade de ar disponível para ser misturada ao combustível. Seu tamanho relativamente reduzido permite que seja acoplado de maneira simples ao motor do veículo. Para obter potência e desempenho sem o uso desse acessório seria necessário aumentar a área dos pistões ou até mesmo a sua quantidade, fatores que poderiam tornar o motor maior e mais pesado (RODRIGUES,2014).

Nas Figuras 1 e 2, podemos observar uma grande diferença entre os blocos de motor de veículos antigos e dos atuais.

Figura 1 - Bloco do Motor VW Up 1.0 TSI 3cc 101 cv



Fonte: OFICINA BRASIL (2016)

Figura 2 - Bloco do motor VW Gol 1.0 4cc 72 cv



Fonte: CONCESSIONÁRIA VW ITACUÃ (2019)

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é apresentar de modo sucinto como ocorre à utilização de turbocompressores em veículos da atualidade. Através de estudos e pesquisas bibliográficas foi possível identificar o turbo como sendo uma alternativa eficaz no que diz respeito a eficiência energética, sendo que o componente é capaz de regenerar parte da energia térmica e cinética que seria desperdiçada por gases de exaustão que seriam lançados na atmosfera.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para complementar o objetivo geral serão realizadas comparações entre veículos aspirados e veículos sobrealimentados. Objetivando evidenciar as vantagens e desvantagens do turbocompressor, com uma alternativa viável para a execução do *downsizing* (redução do tamanho dos motores), sem que a potência seja afetada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Visando atender as novas exigências do mercado automotivo e governamental as automobilísticas procuram diminuir o tamanho dos motores sem perder o desempenho e uma das alternativas viáveis é a utilização de turbocompressor, entretanto o ganho de eficiência energética não provém apenas da utilização do dispositivo, o que acontece na verdade é um redimensionamento total do motor podendo ocorrer a redução das cilindradas do motor (RODRIGUES, 2014).

A utilização de turbocompressores não é algo novo no mercado, sendo que o dispositivo foi elaborado pelo suíço Alfred Büchi em 1905, e o primeiro relato de uso foi em uma locomotiva em 1920, porém, se essa tecnologia é tão antiga e já era conhecida, porque começou a ser mais amplamente utilizada só agora? A resposta para essa pergunta está na legislação, que exige redução dos poluentes (HOFFMAN, 2015).

A primeira montadora nacional que trouxe um veículo que utilizava turbocompressor foi a FIAT, que em 1994 apresentava ao mercado seu mais novo motor que equipava o UNO TURBO, conforme Figura 3.

Figura 3 - Fiat UNO Turbo de 1994



Fonte: AUTOESPORTE (2014)

O carro trazia um motor de 1.372 cm^3 e oito válvulas, sobrealimentado com uma turbina Garrett T2 com 0.8 bar de pressão configuração que rendia ao modelo potência de 118cv e torque de 17,5 m/kgf, porém o veículo não atendia a legislação de emissão de poluentes vigente na época. Com isso a montadora FIAT encontrou

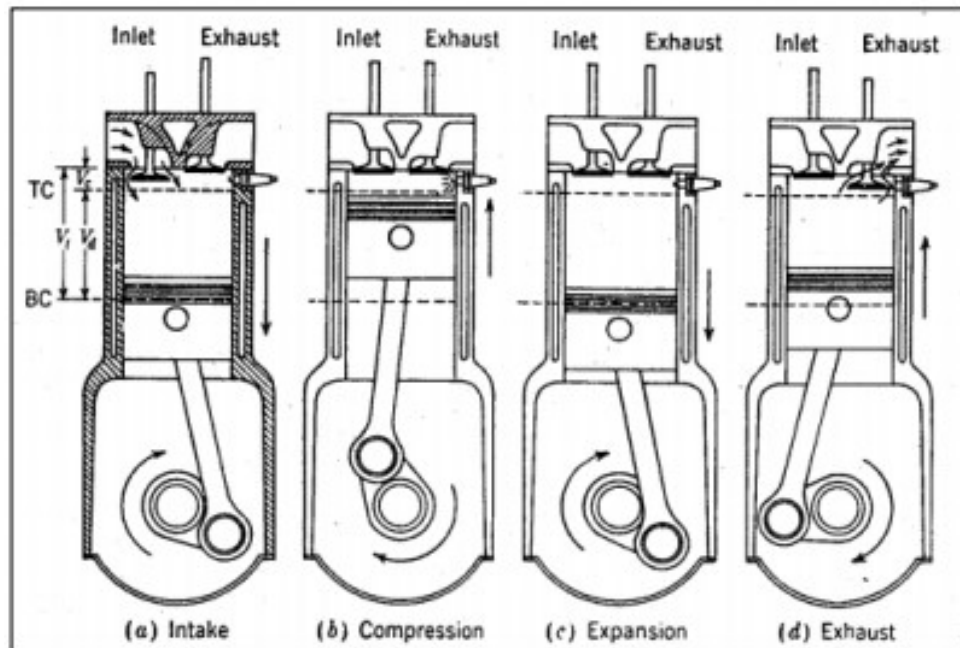
uma brecha na legislação que limitava o número máximo de 2000 veículos que poderiam ser produzidos ou importados. Devido aos fatos a montadora optou por encerrar a produção desse modelo em 1996, com um número de 1.081 unidades produzidas (REVISTA AUTOESPORTE, 2014).

O motor em sua configuração original conseguiu absorver grande parte dos esforços extras ocasionados pela utilização do turbocompressor, isso porque alguns dos coeficientes de segurança foram utilizados, porém, alguns componentes do motor tiveram que ser redimensionados, até mesmo alterando o tipo de material, como pistões, bronzinas, anéis, entre outros (REVISTA AUTOESPORTE, 2014).

2.1 Princípios de funcionamento do motor

O motor é o dispositivo que converte a energia química contida no combustível em energia mecânica que impulsiona o veículo. A energia do combustível é convertida em energia térmica pela queima do combustível em um processo conhecido como combustão, e é por isso que os motores dos veículos são frequentemente chamados de motores de combustão interna. O combustível é queimado dentro dos cilindros do motor na presença de ar; quando o ar é aquecido, sua pressão sobe e gera a força que opera o motor. A maioria dos motores usados em veículos motorizados utiliza o mecanismo de pistão e manivela que converte o movimento linear em movimento rotativo, o pistão se move para cima e para baixo no cilindro de maneira alternada, conforme Figura 4, ponto morto inferior (BC) e superior (TC) e também apresenta o volume total (v_t), volume deslocado pelo topo do pistão (v_d) e o volume morto (v_c) (HEYWOOD, 1988).

Figura 4 - Ciclo de 4 tempos de operação do motor Otto



Fonte: HEYWOOD (1988, p.10)

Os motores a combustão alvo deste estudo são constituídos basicamente por:

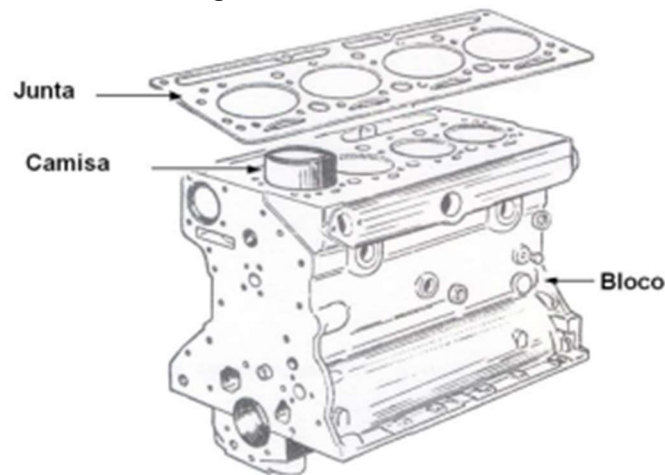
2.1.1 Bloco do Motor

O bloco é a principal parte do corpo do motor. Nele de forma direta ou indireta, são acoplados os componentes que formam o motor, conforme Figura 5.

No bloco são usinadas as passagens de óleo e de água que fazem parte do sistema de lubrificação e de arrefecimento, além de outras áreas que são utilizadas na montagem dos demais componentes que serão fixados a ele: virabrequim, cabeçote, cárter, etc (TILLMANN, 2013).

Os blocos de motores geralmente eram usinados em ferro fundido, com o advento da tecnologia os novos motores vêm sendo fabricados em ligas mais leves, como é o caso do alumínio, que além de diminuir o peso final do motor possibilita maior dissipação de calor (TILLMANN, 2013).

Figura 5 - Bloco do Motor

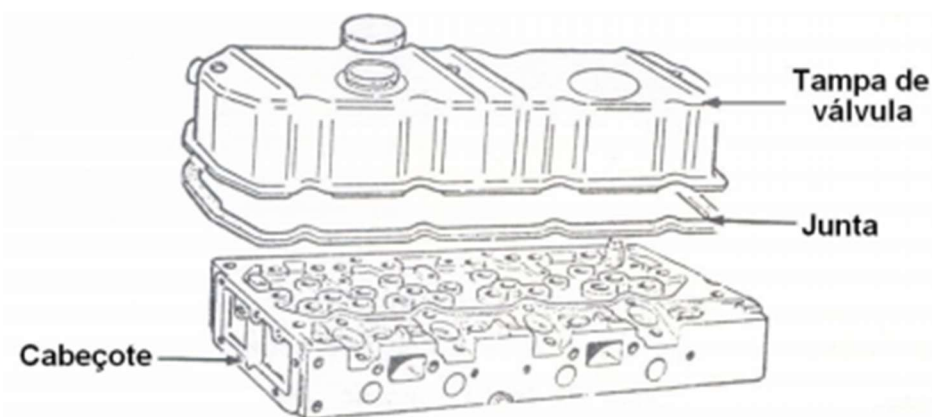


Fonte: UFPEL Apostila de Motores a Combustão interna (2013)

2.1.2 Cabeçote

O cabeçote tem o objetivo de formar a câmara de combustão na parte superior do bloco do motor. Neste local, ocorrem as explosões por causa da compressão devido a movimentação do pistão, mistura ar/combustível no caso do motor de ciclo Otto, ou o ar no caso do motor de ciclo Diesel. O cabeçote, possui furos com roscas onde são fixadas as velas de ignição, os bicos injetores, as válvulas de admissão e escape, conforme Figura 6. A junção do cabeçote ao bloco é feita por uma vedação de amianto revestida de metal. O cabeçote é geralmente confeccionado com o mesmo material do bloco (TILLMANN, 2013).

Figura 6 – Cabeçote

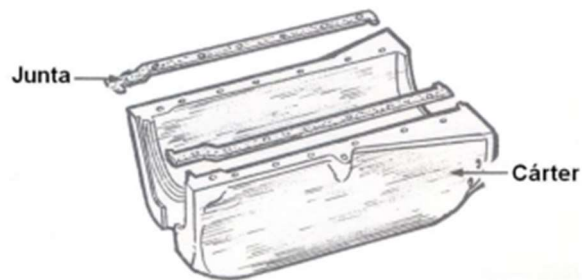


Fonte: UFPEL Apostila de Motores a Combustão interna (2013)

2.1.3 Carter

O carter é o reservatório de óleo do motor, sendo montado na parte inferior do bloco do motor onde estão localizados o virabrequim e a bomba de óleo, entre o cárter e o bloco existe uma junta para fazer a vedação do sistema, conforme Figura 7. Geralmente o cárter é confeccionado em aço ou alumínio (TILLMANN, 2013).

Figura 7 - Carter

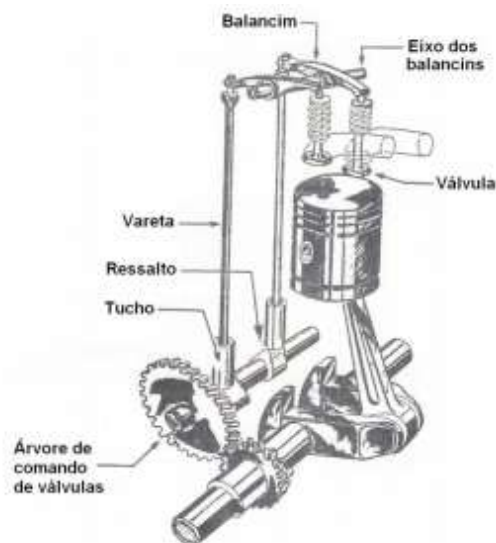


Fonte: UFPEL Apostila de Motores a Combustão interna (2013)

2.1.4 Válvulas

Existem dois tipos de válvulas no motor a combustão: válvulas de admissão, responsáveis por permitir a entrada da mistura ar/combustível dentro da câmara de combustão e válvulas de escape, responsáveis pela liberação dos gases provenientes da combustão, conforme Figura 8. As válvulas são acionadas pelo eixo comando de válvulas (TILLMANN, 2013).

Figura 8 - Válvulas

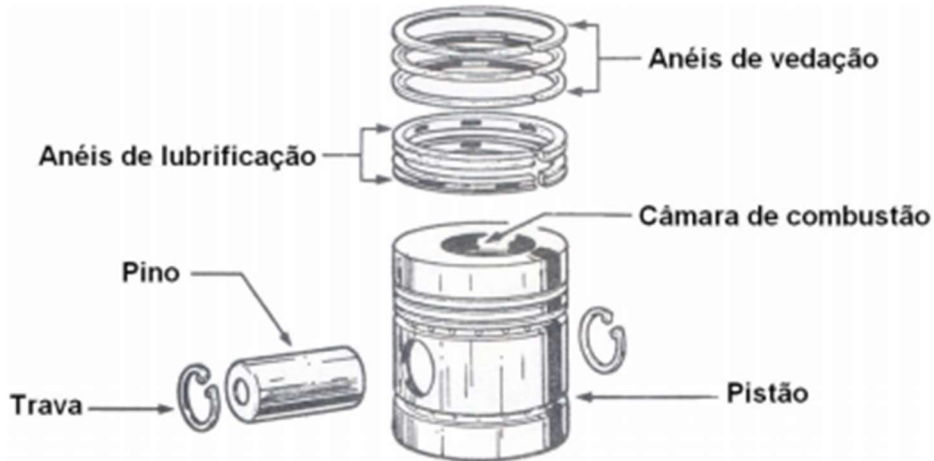


Fonte: UFPEL Apostila de Motores a Combustão interna (2013)

2.1.5 Pistão

É o componente responsável por receber a energia resultante da combustão, conforme Figura 9 (TILLMANN, 2013).

Figura 9 – Pistão

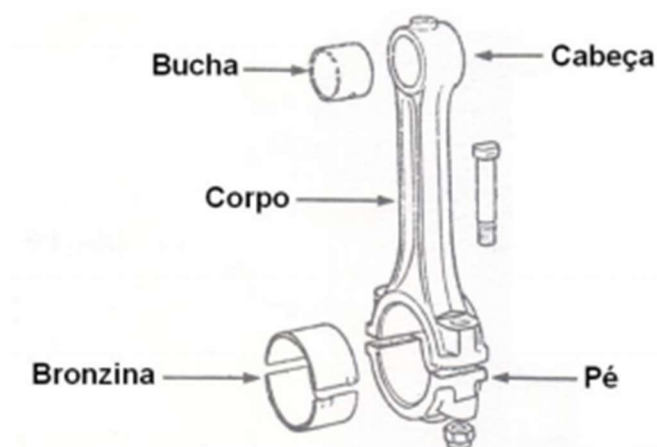


Fonte: UFPEL Apostila de Motores a Combustão interna (2013)

2.1.6 Biela

É o componente que faz a ligação entre os pistões e o virabrequim; recebem o impulso das explosões dos pistões, transmitindo-o ao virabrequim, conforme Figura 10. É importante ressaltar que a biela transforma o movimento retilíneo dos pistões em movimento rotativo do virabrequim (TILLMANN, 2013).

Figura 10 - Biela



Fonte: UFPEL Apostila de Motores a Combustão interna (2013)

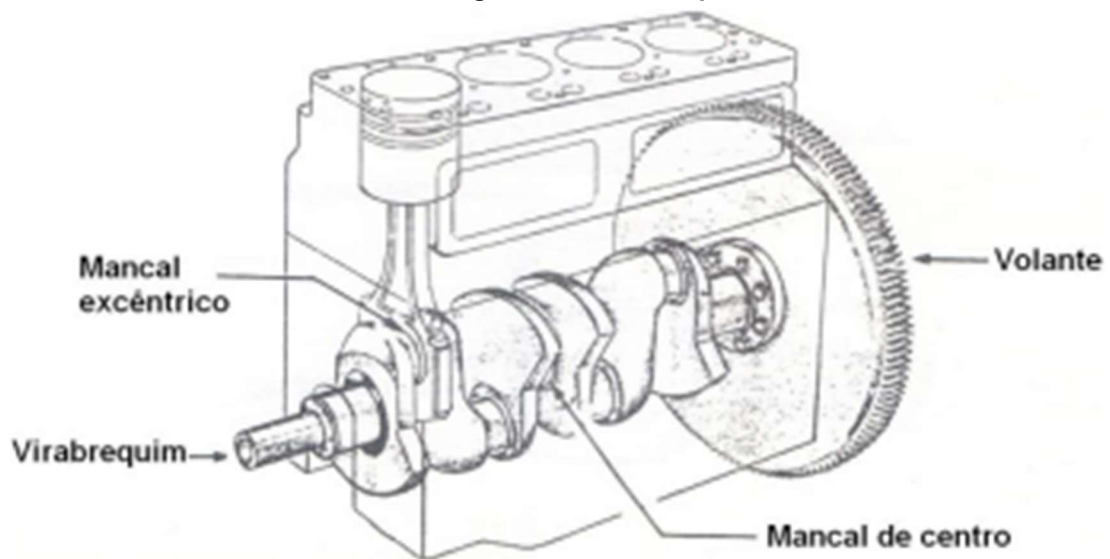
2.1.7 Virabrequim

O virabrequim é um elemento considerado o eixo motor propriamente dito, o qual, na maioria das vezes, é alojado na parte inferior do bloco, recebendo ainda as bielas que lhe transmitem movimento (TILLMANN, 2013).

A linha de centro do virabrequim é onde está localizado os munhões, que são fixados através de mancais no bloco. Os moentes são partes do virabrequim onde são fixadas as bielas (TILLMANN, 2013).

O interior do virabrequim contém ainda alguns canais especiais que ligam os munhões aos moentes, por onde circula o óleo de lubrificação necessário nas bronzinas para a diminuição do desgaste nos munhões, moentes e nas próprias bronzinas, conforme Figura 11 (TILLMANN, 2013).

Figura 11 - Virabrequim



Fonte: UFPEL Apostila de Motores a Combustão interna (2013)

3 METODOLOGIA

Segundo Gil (1991), a pesquisa pode ser definida como um método lógico e sistêmico, que tem como finalidade propiciar soluções aos problemas apresentados. É necessária a realização da pesquisa para se buscar informações ainda não obtidas, ou organizar informações já disponíveis tornando possível a análise da mesma, com a finalidade de solucionar os problemas apresentados.

A pesquisa é desenvolvida por meio de um processo que envolve diversas etapas, tendo início na formulação adequada do assunto a ser investigado até a apresentação dos resultados (SILVA; MENEZES, 2005).

A metodologia do trabalho é baseada em pesquisa bibliográficas, o longo do curso de graduação as informações foram coletadas em diversas plataformas, como plataforma Google, livros e trabalhos de graduação de turma anteriores disponíveis na biblioteca do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté. Além das plataformas citadas anteriormente em contato com nosso professor orientador nos foi disponibilizado uma grande quantidade de arquivos relacionados ao assunto.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Downsizing

Hoje em dia, a pressão por menor consumo vem de todos os lados. Seja por causa do crescente preço do petróleo nos últimos anos, seja por causa do aquecimento global, seja pelas ameaças do fim do petróleo, a ordem do dia é reduzir o consumo dos veículos. A Europa está encontrando a sua solução no diesel e, para os carros a gasolina, na utilização de motores menores equipados com turbo compressores, chamado de "*Downsizing*". A ideia no primeiro caso é aproveitar o melhor rendimento térmico inerente ao ciclo Diesel, enquanto que no segundo é aumentar o rendimento térmico fazendo o motor trabalhar em cargas mais altas por ter menor deslocamento volumétrico mantendo a reserva de torque e potência através do turbo compressor. Na prática, troca-se um motor de 2 litros de aspiração natural por um de 1.4 litros turbo comprimido (AUTOENTUSIASTA, 2013).

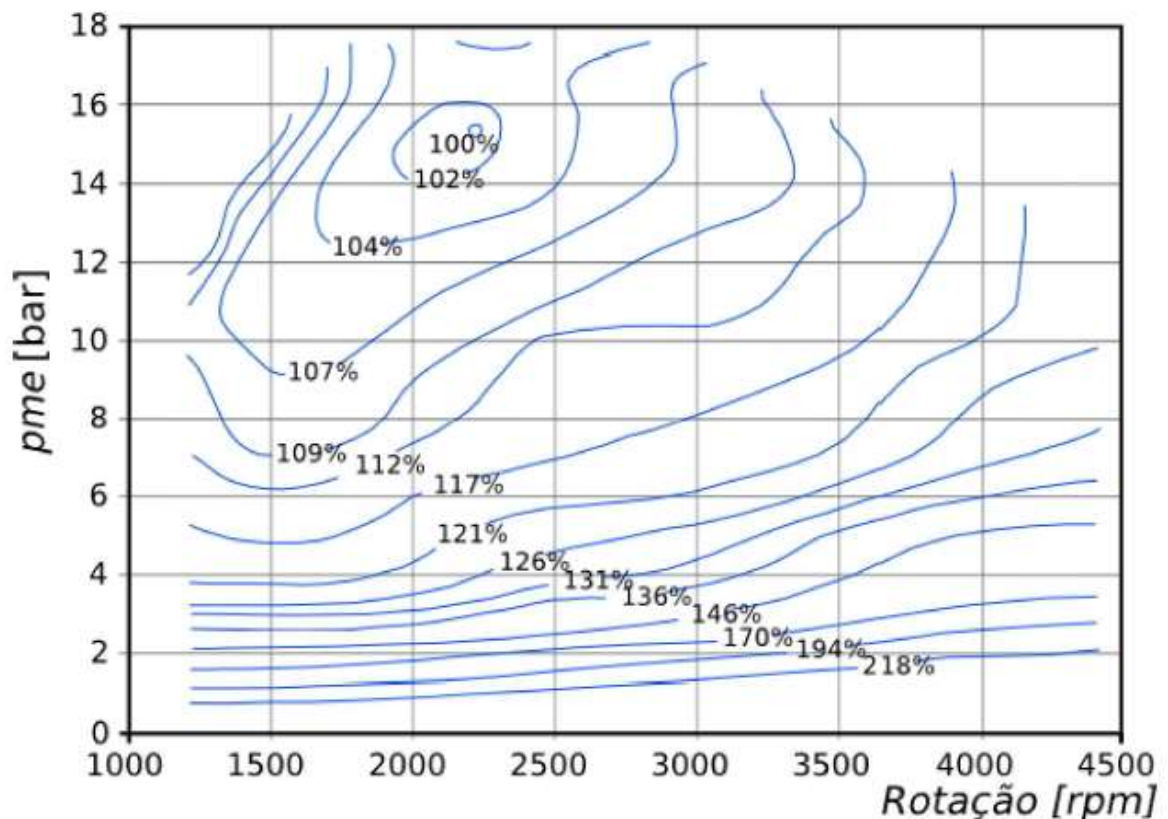
Durante o uso normal ele será econômico como um 1.4 litros, mas quando for necessária maior potência o turbocompressor lhe dá o desempenho digno de um 2 litros. Talvez convenha aqui uma pequena explicação sobre a expressão "rendimento térmico": Motores a combustão interna, como é o caso dos nossos conhecidos motores ciclo Otto (ignição por centelha, que caracteriza os atuais motores 4 – tempos movidos a gasolina e/ou etanol), são máquinas térmicas que extraem energia do calor e da expansão de gases produzidos pela queima do combustível. Ao queimar gasolina ou etanol, as moléculas são quebradas e uma grande quantidade de energia é liberada com esta queima, sobrando assim compostos de menor energia (gás carbônico e água). Grande parte desta energia é liberada sob a forma de calor, por isso os motores esquentam e precisam ser arrefecidos (AUTOENTUSIASTA, 2013).

O fato de se necessitar arrefecer um motor demonstra que parte da energia do combustível teve que ser jogada fora sob a forma de calor. Sendo assim, parte da energia do combustível é usada para mover o motor e o que mais estiver ligado a ele (o carro), enquanto que parte se perde. "Rendimento térmico" é a porcentagem da energia do combustível que efetivamente se transforma em movimento, que é o que queremos de um motor de automóvel. Num motor ciclo Otto, o rendimento máximo com a tecnologia que temos hoje gira na casa de 35%, ou seja, dos 27 MJ

contidos em 1 litro de gasolina, apenas 9,5 MJ chegam efetivamente ao volante do motor, os outros 17,5 MJ são jogados fora através do radiador e do escapamento (AUTOENTUSIASTA, 2013).

O rendimento térmico de um motor depende diretamente da *PME*. Com base na Figura 12, 100 representa a condição de máximo rendimento de um motor, enquanto que as outras linhas representam o aumento do consumo em % em relação ao máximo rendimento do motor. Por exemplo, a curva 131 indica que é consumido 31% a mais de combustível para se gerar a mesma quantidade de energia mecânica (de movimento) do que no ponto 100. Se, no ponto 100, o motor precisa de 1 litro de gasolina para gerar 9,5 MJ, em qualquer ponto da curva 131 este mesmo litro de gasolina gerará apenas 7,25 MJ, ou seja, o rendimento térmico do motor cairá de 35% para apenas 26,7%, sendo assim uma parcela maior do combustível estará sendo desperdiçada sob a forma de calor (AUTOENTUSIASTA,2013).

Figura 12 - Consumo específico de combustível



Fonte: AUTOENTUSIASTA (2013)

resultado sem comprometimento considerável do motor (NAKANO; PIMENTA, 2007).

O mecanismo em si consiste de uma turbina, que é acionada pelos gases de escape disponíveis em todo motor a combustão interna. O fluxo de gás que sai do motor e que normalmente vai para o coletor de descarga e para o escapamento, é direcionado através de uma turbina fazendo-a rodar com velocidades que podem atingir valores acima de 150000 rotações por minuto, ou seja, mas de 30 vezes acima do regime de funcionamento de muito motores, conforme figura 14. No Volkswagen Gol, a turbina trabalha em regime severo podendo chegar até 240.000 rpm e temperaturas de 550°C a 1050°C (NAKANO; PIMENTA, 2007).

Figura 14 - Turbina



Fonte: SPA TURBO (2019)

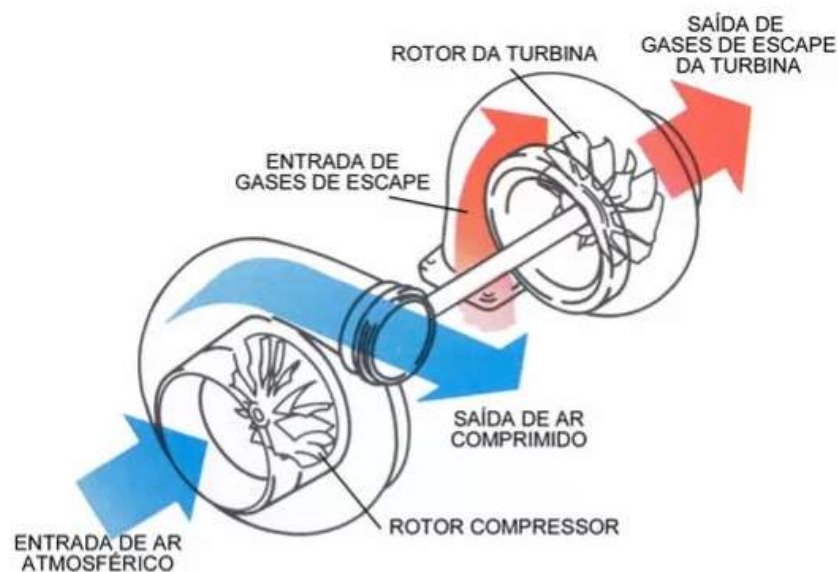
O gás de exaustão, que é restringido pela área da seção transversal de vazão da turbina, resulta em uma queda de pressão e de temperatura entre a admissão e escape. Esta pressão então é convertida pela turbina em energia cinética para mover o rotor. A transferência de energia cinética para o eixo ocorre no rotor da turbina, que foi projetada para que uma grande parte da energia cinética seja transformada quando o gás chegar na saída do rotor. Dessa maneira atinge-se uma boa eficiência na conversão ou na recuperação. O rendimento da turbina melhora quando a queda de pressão entre a admissão e o escape aumenta, ou seja, quanto mais gases são acumulados antes da turbina. A ação da turbina é determinada pela área específica da vazão, a seção transversal da garganta, na área de transição do canal de admissão até a voluta. Ao se reduzir a seção

transversal da garganta, mais gases de escape são bloqueados antes da turbina e seu rendimento aumenta como consequência do aumento na razão de pressão. Porém uma seção transversal de vazão menor consegue atingir pressões de alimentação maiores. A área da seção transversal da vazão pode ser facilmente modificada alterando-se a carcaça. Porém com o aumento da pressão antes da turbina, ocorre um problema para o motor, podendo causar danos à válvula de escape, devido ao aumento da temperatura na câmara (NAKANO; PIMENTA, 2007).

A primeira causa de baixa ineficiência da turbina vem do fato que o giro da turbina não é livre. O assentamento do eixo de transmissão para o compressor normalmente pode ser feito através de rolamentos hidráulicos (óleo) devido às altas temperaturas originadas pela rotação e pelo próprio calor dos gases de escape ou por rolamentos mecânicos (cerâmica e aços de alta resistência) de precisão e resistência, conforme Figura 15 (NAKANO; PIMENTA, 2007).

A segunda causa da baixa ineficiência vem justamente do próprio motor que encontra maior dificuldade para expelir os gases de escape através da turbina e, que portanto, perde parte de seu rendimento nesta operação. Naturalmente o processo de compressão do ar também significa resistência ao movimento da turbina e responde por parte da perda de eficiência do sistema (NAKANO; PIMENTA, 2007).

Figura 15 - Esquema do fluxo do turbocompressor

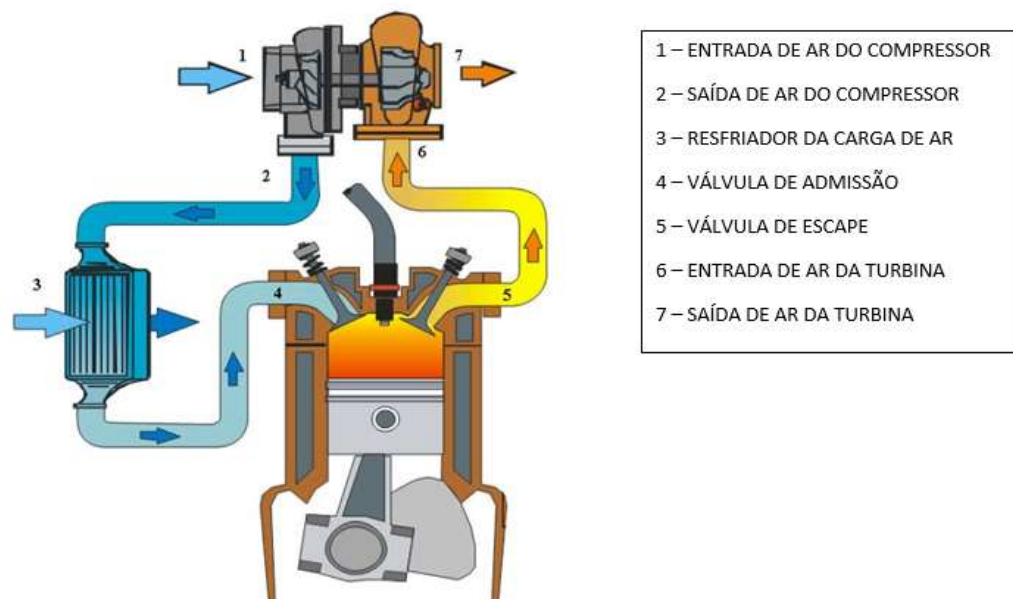


Fonte: AUTOESPORTE (2012)

A quantidade de ar extra que entra nos cilindros por intermédio do turbo, deve ser acompanhada de quantidade corresponde de combustível, que é feita pelo carburador ou no caso dos carros atuais pela injeção eletrônica. Em ambos os casos é um “problema” fácil de resolver, sendo que no caso da injeção não há necessidade de ajuste, já que o próprio módulo tem capacidade de providenciar combustível adicional para adequar-se ao fluxo maior de ar. Todavia quando o turbo operar com pressões muito elevadas, tanto o carburador quanto a injeção podem não ser capazes de fornecerem este suprimento extra, sendo necessária a troca do carburador ou re-mapeamento da injeção e até mesmo a troca do seu módulo (NAKANO; PIMENTA, 2007).

O Intercooler, outro mecanismo que normalmente costuma parecer associado nos turbos, tem a função de aumentar a eficiência do sistema. Sabe-se que o aumento de pressão em qualquer fluido significa aumento de temperatura, porem aumentar a temperatura do ar significa por outro lado diminuir a quantidade de moléculas de oxigênio (e de outros gases) pela expansão. Desta forma, o Intercooler, resfria o ar que entra comprimindo pela turbina nos cilindros, aumentando conseqüentemente a quantidade de oxigênio e otimizando a explosão dentro dos cilindros, conforme Figura 16 (NAKANO; PIMENTA, 2007).

Figura 16 - Esquema do motor sobrealimentado por turbocompressor



Fonte: GARRETT (2013)

A escolha de um turbo fica por conta do tamanho da turbina e do chamado turbo Lag, que nada mais é do que o tempo de resposta necessário até que o turbo possa “alimentar” o motor com mais mistura. Este fato vem da inércia da turbina e da sua capacidade volumétrica. Desta forma turbinas maiores e de maior capacidade, apesar de serem capazes de prover maior potência, respondem mais lentamente devido a inércia maior das lâminas da turbina e da maior quantidade de ar necessário a encher o compressor (NAKANO; PIMENTA, 2007).

Os motores com maior quantidade de cilindros necessitam também de mais ar, seria necessário utilizar turbinas maiores, que significariam maior Turbo Lag. A solução nestes casos utilizar dois turbos menores (NAKANO; PIMENTA, 2007).

Lembre-se que um motor turbo passará a trabalhar em regimes bem mais elevados do que de que costume e apesar do princípio de utilização dos turbos ser razoavelmente simples, sempre é adequado que sua instalação seja dimensionada e feita por um profissional capacitado e experiente, pois uma instalação inadequada pode ocorrer desgaste do motor, certamente trará graves consequências. É possível aumentar com segurança a potência do motor em até 40 a 50%, com pouco ou nenhuma mudança em seus componentes, sendo necessário uma correta seleção e/ou adequação do turbo. Falha na escolha pode levar a superaquecimento do motor, pressões e temperaturas excessivas na câmara de combustão que afetam a vida do motor causando falhas em componentes, tais como: pistões, camisas, válvulas, mancais, bronzinas, etc (NAKANO; PIMENTA, 2007).

O turbocompressor é subdividido basicamente em duas partes, sendo elas a câmara fria e a câmara quente, onde o ar do escape é utilizado para girar o rotor do turbo, nesse momento ocorre a compressão do ar atmosférico, respectivamente. Além do ar proveniente da admissão natural do veículo, é adicionado o volume de ar comprimido proveniente da parte fria do dispositivo, gerando mais potência e torque (MAGALHÃES,2016).

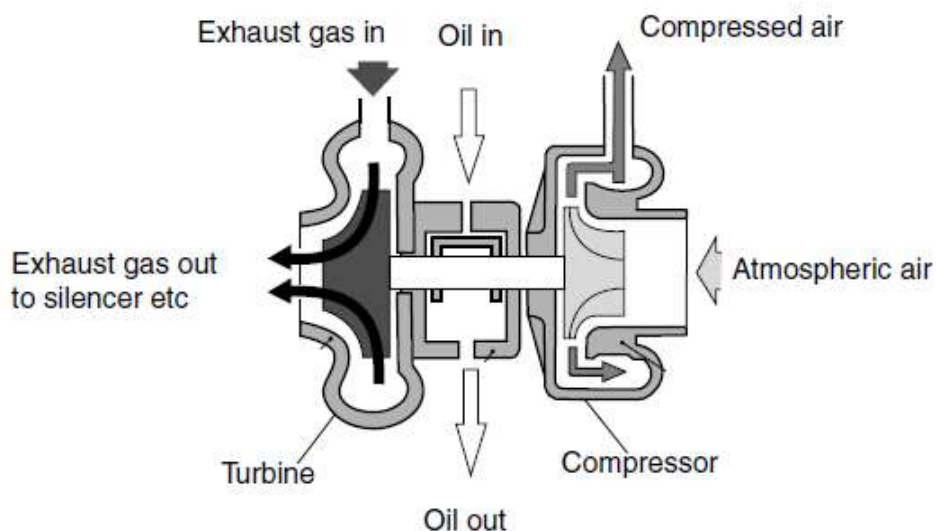
Motores que dependem da pressão do ar atmosférico para operação são conhecidos como motores naturalmente aspirados, já motores que utilizam algum tipo de equipamento para auxiliar a sua alimentação são denominados motores sobrealimentados. A potência de saída dos motores naturalmente aspirados é limitada pela quantidade de ar e combustível que pode ser admitida pelos cilindros.

A potência do motor pode ser aumentada se a mistura de ar e combustível for disponibilizada aos cilindros sob pressão (MAGALHÃES,2016).

O princípio geral da turbocompressor é mostrado na Figura 17. A energia dos gases de escape é direcionada para turbina, que é conectada ao compressor por meio de um eixo. O ar de admissão é puxado para o compressor através do filtro de ar. O compressor aumenta a pressão a aproximadamente 0,5 bar acima da pressão atmosférica. O turbocompressor, portanto, consiste em uma pequena turbina que aciona um pequeno compressor que está conectado para um eixo comum, conforme figura 17. A velocidade de rotação da turbina é muito alta, da ordem de 100 000 rev / min. A turbina tem que suportar temperaturas na região de 900°C e os componentes são feitos de materiais resistentes ao calor, como níquel-resistir, que é um ferro fundido que contém 14% níquel, 6% de cobre e 2% de cromo; o rotor da turbina pode ser feita a partir de Nimonic, que é uma liga de aproximadamente 80% de níquel e 20% de cromo. O eixo que liga a turbina ao compressor é apoiado em mancais de deslizamento que são lubrificados. O óleo que é circulado através do turbocompressor serve duas finalidades:

- Fornece a lubrificação dos mancais lisos.
- Ele atua como um agente de resfriamento para transmitir calor longe de a montagem (MAGALHÃES,2016).

Figura 17 - Princípio geral da turbocompressor



Fonte: BONNICK (2011)

5 COMPARATIVO

As principais diferenças entre os motores convencionais e os sobrealimentados podem ser observados analisando a Tabela 1.

Tabela 1 - Comparativo entre veículos sobrealimentados e aspirados VW UP

Especificação		VW Move UP TSI 1.0 2018	VW Move UP 1.0 2018
Potência		101/105 CV	75/82 CV
Torque		16,8 Kgfm	9,7/10,4 Kgfm
Consumo	Etanol	Cidade 10 km/L Estrada 11,5 km/l	Cidade 9,6 km/L Estrada 10,6 km/l
	Gasolina	Cidade 14,3 km/L Estrada 16,3 km/l	Cidade 14,2 km/L Estrada 15,3 km/l

Fonte: Elaborado pelos autores

Além do Volkswagen UP, podemos citar como exemplo o Chevrolet Cruze que em sua versão inicial apresentava um motor Ecotec de 1.8L que em seu ano de lançamento, 2011, gerou controvérsias devido á sua árdua missão de substituir o famoso 2.0 que vinha equipando os veículos Chevrolet Astra e Chevrolet Vectra desde o início dos anos 2000 com alguns pequenos ajustes ao longo do tempo, atingindo o seu ápice entregando a potência de 140cv quando abastecido com etanol. Inicialmente o motor de menor capacidade volumétrica foi subestimado pelos entusiastas da indústria automobilística, porem o resultado foi surpreendente, um motor de apenas 1.8L que rendia a potência de 144cv quando abastecido com etanol se mostrando mais potente que seu irmão mais velho.

Devido as novas demandas do mercado automotivo, em 2016 o motor Ecotec 1.8L da Chevrolet já havia se tornado obsoleto, dando lugar ao novo motor da montadora o 1.4 Turbo que apresentava a potencia de 153cv quando abastecido com etanol, sendo superior ao motor anterior.

A introdução dos turbocompressores nos veículos da atualidade se mostrou uma alternativa eficaz para se manter a potencia e diminuir o volume dos motores, se o motor apresenta um volume menor da câmara de combustão o consumo de combustível vai ser menor, uma vez que o consumo está ligado de maneira diretamente proporcional ao volume da câmara de combustão. Pode-se dizer que grande parte das montadoras apresenta ao menos um modelo de veículo que conte com o uso de um turbocompressor em sua powertrain.

Ainda na década de 90 a FIAT já havia empregado esforços para a introdução do turbocompressor no mercado nacional, como foi citado anteriormente, porém não obtendo o sucesso desejado a opção do turbo logo foi extinguida, ficando disponível ao público por apenas dois anos.

Pode-se dizer que um dos pioneiros de fato, na introdução do turbocompressor no mercado brasileiro foi a Volkswagen que em 2001 apresentava ao público o Gol 1000 16v Turbo, conforme Figura 18, sendo que poucos meses depois mais um modelo poderia ser equipado com tal motorização, sua irmã a VW Parati 1000 16v Turbo, em 2001, ano de lançamento do 16v Turbo a VW disponibilizava ao público quatro opções de motorização, sendo elas 1.0, 1.0 16V, 1.8 e 1.0 16V Turbo, conforme Figura 19. O motor apresentava um projeto inovador para o mercado nacional, contando com dois comandos de válvulas e 16v no total, a turbina pequena era capaz de entregar um resposta extremamente rápida, eliminando o efeito chamado turbo-lag, que seria a demora para o acionamento da turbina, o motor sobrealimentado apresentava desempenho muito superior a versão que não utilizava o componente, o turbo permitia que o pequeno 1.0 desenvolvesse uma potência de 112cv e torque de 15,8 kgfm, que ficaria muito a frente do 1.0 aspirado que apresentava 69,4cv de potência e torque de 9,4 kgfm. O consumo era muito semelhante, 7,2km/L na versão turbo e 8,1 km/L na versão aspirada, ambos aferidos em trecho de percurso urbano, tais dados podem ser melhor observados nas tabelas 2 e 3. Após tantas vantagens apresentadas você deve estar se perguntando o porque de um motor tão eficiente ter sido retirado da linha de produção em 2004, a resposta é que infelizmente o consumidor não estava preparado para tantas novidades, culturalmente o brasileiro não estava acostumado a realizar as manutenções periódicas em seus veículos, muitos confundiam o VW Gol turbo com um superesportivo, levando o carro ao extremo. Com o passar dos anos a falta de manutenção e o uso do veículo no seu limite fizeram com que o carro começasse a apresentar alguns defeitos, não que o veículo fosse ruim, muito pelo contrário. Com a má repercussão a VW opta por tirar o motor de linha em 2004.

Figura 18 - VW Gol



Fonte: Quatro Rodas (2015)

Figura 19 - VW Parati



Fonte: VOLKSPAGE (2000)

Tabela 2 - Comparativo entre veículos sobrealimentados e aspirados VW Gol

Especificação		Gol 1000 16v Turbo 2001	Gol 1000 16v Aspirado 2001	Gol 1.8 Aspirado 2001
Potência		112 CV	69,4 CV	99 CV
Torque		15,8 Kgfm 2.000 rpm	9,4 Kgfm 4.500 rpm	15,5 Kgfm 3.000 rpm
Consumo	Gasolina	Cidade 7,2 km/L Estrada 13,3 km/l	Cidade 10,8 km/L Estrada 15,4 km/l	Cidade 9,8 km/L Estrada 12,7 km/l

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 3 - Comparativo entre veículos sobrealimentados e aspirados VW Parati

Especificação		Parati 1.0 16v Turbo 2002	Parati 1.0 16v Aspirada 2002
Potência		112 CV	76 CV
Torque		15,8 Kgfm 2.000 rpm	9,6 Kgfm 3.500 rpm
Consumo	Gasolina	Cidade 6,5 km/L Estrada 12,9 km/l	Cidade 8,2 km/L Estrada 14,4 km/l

Fonte: Elaborado pelos autores

Ainda sobre a montadora alemã, vale citar o VW POLO 1.0 TSI 2018, conforme Figura 20, que em sua configuração apresenta um pequeno motor de três cilindros turbo que rende uma potência de 128cv e um incrível torque de 20,4kgfm, enquanto a versão 1.0 aspirada dispõem de modestos 84cv de potência e 10,4kgfm de torque, se for levado em conta o reduzido motor do veículo os 84cv seriam satisfatórios, porém a possibilidade de ter o “mesmo motor” com 128cv enche os olhos dos mais entusiastas. Quando o assunto é o consumo de combustível a diferença entre eles é pouca e nesse quesito o 1.0 aspirado leva a vantagem, fazendo 12,9km/L de gasolina em trecho urbano enquanto a versão turbo 11,4km/L de gasolina. Vale destacar que tamanha discrepância na potência e torque não saíam de graça, a versão turbinada é disponibilizada ao consumidor a um preço aproximado de R\$ 61.000,00 enquanto a versão aspirada R\$ 46.000,00. Os dados citados anteriormente podem ser melhor observados na tabela 4.

Figura 20 - VW Polo 1.0 TSI



Fonte: Quatro Rodas (2019)

Tabela 4 - Comparativo entre veículos sobrealimentados e aspirados VW Polo

Especificação		VW Polo TSI 1.0 2018	VW Polo 1.0 Aspirado 2018
Potência		128/115 CV	84/75 CV
Torque		20,4 Kgfm/20,4 Kgfm 2.000 rpm	10,4 Kgfm/9,7 Kgfm 3.000 rpm
Consumo	Etanol	Cidade 7,9 km/L Estrada 9,5 km/l	Cidade 8,8 km/L Estrada 10 km/l
	Gasolina	Cidade 11,4 km/L Estrada 13,9 km/l	Cidade 12,9 km/L Estrada 14,3 km/l
Valor de Mercado		R\$ 61.000,00	R\$ 46.000,00

Fonte: Elaborado pelos autores

Um bom exemplo a ser exposto é o VW GOLF 2016 1.6 aspirado, conforme Figura 21, que apresenta potência de 120cv e torque de 16,8 kgfm, seu consumo urbano é de aproximadamente 7km/L em trecho urbano quando abastecido com etanol. Em 2017 surge a primeira versão 1.0 do Golf, com três cilindros e uma turbina para sobrealimentar o veículo, o resultado foi surpreendente 125cv de potência e torque de 20,4kgfm, se não bastasse todas essas vantagens o consumo ainda surpreende 8,4km/L em trecho urbano quando abastecido com etanol. Os dados citados anteriormente podem ser melhor observados na tabela 5.

Figura 21 - VW GOLF



Fonte: Quatro Rodas (2016)

Tabela 5 - Comparativo entre veículos sobrealimentados e aspirados VW Golf

Especificação		VW Golf TSI 1.0 2016	VW Golf 1.6 Aspirado 2017
Potência		125/116 CV	120/110 CV
Torque		20,4 Kgfm/20,4 Kgfm 2.000 rpm	16,8 Kgfm/15,8 Kgfm 4.000 rpm
Consumo	Etanol	Cidade 8,4 km/L Estrada 10,1 km/l	Cidade 7 km/L Estrada 9,2 km/l
	Gasolina	Cidade 11,9 km/L Estrada 14,3 km/l	Cidade 10,1 km/L Estrada 13 km/l
Valor de Mercado		R\$ 67.000,00	R\$ 62.000,00

Fonte: Elaborado pelos autores

6 RESULTADOS

A aplicação do turbo alimentador torna-se possível a aplicação do *Downsizing* nos motores, aumentando a potência temos maior introdução de ar no cilindro, o motor automaticamente pode queimar um volume maior de combustível e ter um aumento significativo de potência, que varia em torno de aproximadamente 20%, conforme dados analisados anteriormente. Com Menor Consumo de Combustível, a quantidade de combustível consumida por um motor turbo alimentado é aproximadamente 10% menor a do naturalmente aspirado. Este fato ocorre devido ao motor turbo alimentado ter um aproveitamento total do combustível. Sua contribuição para a redução dos níveis de CO₂ é evidente e tem grandes vantagens por ser de rápida e fácil aplicação.

7 CONCLUSÃO

Com a pesquisa foi possível observar as principais diferenças entre o motor convencional e o motor com turbocompressor, analisando os dados obtidos conseguimos entender melhor o funcionamento dos motores a combustão interna e seus componentes. A execução do trabalho foi de grande importância para a consolidação dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso, pois no trabalho pudemos entender melhor a importância de cada componente do motor e como é possível aumentar a eficiência através de um equipamento relativamente simples.

A conclusão foi que o motor equipado com o turbocompressor se mostrou mais eficiente que o motor aspirado convencionalmente e a perspectiva é que as montadoras cada vez mais introduzam essa tecnologia ao mercado.

REFERÊNCIAS

- AUTO ENTUSIASTA, **Motores Grandes e Econômicos: Isso é Possível ?**. p. 02-29. Disponível em: <<http://www.autoentusiasta.blogspot.com.br>>. Acesso em: 19 de junho de 2019.
- AUTO ESPORTE: **Com turbinar seu carro 1.0**. Disponível em: <<https://revistaautoesporte.globo.com/Servico/noticia/2012/10/como-turbinar-seu-carro-10.html>>. Acesso em: 26 de outubro de 2019.
- AUTO ESPORTE: **Uno Turbo completa 20 Anos**. Disponível em: <<https://revistaautoesporte.globo.com/Servico/noticia/2012/10/como-turbinar-seu-carro-10.html>>. Acesso em: 26 de outubro de 2019.
- BONNICK, ALLAN W.M. **A Practical Approach To Motor Vehicle Engineering And Maintenance**. Ed. Taylor & Francis LTD, 2011.
- CONCESSONÁRIA VW ITACUÃ :**Bloco motor PGOL 1.0 o válvulas**. Disponível em: <http://itacuapeças.com.br/azn103011bd-bloco-motor-pgol-10-8-valvulas-196625.html?search_query=Bloco+do+motor+VW+Gol+&results=8/>. Acesso em: 26 de outubro de 2019.
- GARRETT, São Paulo, SP, Brasil. **HOW A TURBO SYSTEM WORKS**. Disponível em <<http://www.turbobygarrett.com>>. Acesso em: 10 de junho de 2019.
- HEYWOOD, John B. **Internal combustion engines fundamentals**. 1. ed. [United States of America]: McGraw-Hill Education, 1988.
- HOFFMAN, EDUARDO. **A História do Turbo, 2018**. Disponível em: <<http://motorsa.com.br/motor-turbo-a-historia-do-turbo-compressor/>>. Acesso em: 20 de julho de 2019.
- MAGALHÃES, ANTONIO. **Entenda os motores híbridos, 2016**. Disponível em: <<http://htesports.com.br/2016/01/hte-sobre-rodas-5-entenda-os-motores-hibridos-da-f1/>>. Acesso em: 20 de maio de 2019.
- NAKANO, DANILLO GABRIEL; PIMENTA, MARCOS DE MATTOS. **Estudo sobre Instalação de um Turbocompressor em Automóvel Nacional**. 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- OFICINA BRASIL: **VW Speed up! com motor EA11 TSI esbanja potência e torque com surpreendente economia**. Disponível em: <<https://www.oficinabrasil.com.br/noticia/em-breve-na-sua-oficina/vw-speed-up-com-motor-ea211-tsi-esbanja-potencia-e-torque-com-surpreendente-economia/>>. Acesso em: 26 de outubro de 2019.
- QUATRO RODAS: **Volkswagen Polo e Virtus têm aumentos de quase R\$3.000**. Disponível em: <<https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/volkswagen-polo-e-virtus-tem-aumentos-de-quase-r-3-000/>>. Acesso em: 26 de outubro de 2019.

QUATRO RODAS: **Golf 1.0 TSI x Golf 1.6 msi: dois pesos, duas medidas.**

Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/testes/golf-1-0-tsi-x-golf-1-6-msi-dois-pesos-duas-medidas/>. Acesso em: 26 de outubro de 2019.

RODRIGUES, THIAGO DE MATOS. **“Downsizing” em motores de combustão**

interna: Uma abordagem de inovação Tecnológica, 2014. Monografia apresenta ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Automotiva, da Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia para obtenção do título de Especialista, 2018.

SILVA E. L., MENEZES E. M., **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** 4ª edição revisada e atualizada, Florianópolis. UFSC, 2005.

SPA TURBO: **Kit Turbo VW 1.6 8V EA 111 Gol G3 e 4 – com Turbina SPA16 T2.**

Disponível em: < <https://www.spaturbo.com.br/kit-turbo-vw-1-0-e-1-6-8-valvulas-ea111-gol-parati-power-geracao-2-3-4-com-turbina-spa16/p/>>. Acesso em: 26 de outubro de 2019.

SPA TURBO: **Turbina completa para reposição VW Gol.** Disponível em: <

<https://www.spaturbo.com.br/turbina-completa-para-reposicao-vw-gol-parati-1-0-16v-turbo/p/>>. Acesso em: 26 de outubro de 2019.

Tabelas PBE Veicular. Disponível em:

<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas_pbe_veicular.asp?iacao=imprimir>. Acesso em: 03 de outubro de 2019.

TILLMANN, CARLOS ANTÔNIO DA COSTA. **Motores de combustão interna e seus sistemas.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Rede e-Tec Brasil, Pelotas, 2013.

UFPEL, **Apostila de Motores a Combustão Interna.** Disponível em:

<<https://wp.ufpel.edu.br/mlaura/files/2013/01/Apostila-de-Motores-a-Combust%C3%A3o-Interna.pdf>>. Acesso em: 24 de agosto de 2019.

VOLKSPAGE: **O Motor 1.0 16v Turbo.** Disponível em: <

<http://www.volkspage.net/artigos/1lturbo/>>. Acesso em: 26 de outubro de 2019.