
MOTORES TÉRMICOS

AULA 27: MCI - SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO DE AR E EXAUSTÃO

PROF.: KAIO DUTRA



Sistema de Alimentação de Ar

- O sistema de alimentação de ar possui o objetivo de **suprir o motor de ar limpo** em quantidade adequada.
- Este sistema envolve a admissão do ar, filtragem, condução do ar e participação na combustão.



Sistema de Alimentação de Ar

Filtro de Ar

- O ar aspirado pelo motor deve ser limpo. Desta forma, o ar deve passar por filtros que garantam a total retenção das impurezas que o acompanham.



Sistema de Alimentação de Ar

Filtro de Ar

- O elemento do **filtro do ar** tem como função principal **reter os contaminantes, como poeira, fuligem, areia e demais impurezas** presentes no ar, assegurando que só o ar limpo chegue aos sistemas do motor na quantidade ideal para mistura ar/combustível, evitando desgaste nas partes móveis do motor, prolongando a sua vida útil.
- Os filtros de ar podem ser de dois tipos:
 - **Filtros em banho de óleo;**
 - **Filtro seco.**



Sistema de Alimentação de Ar

Filtro de Ar Em Banho de Óleo

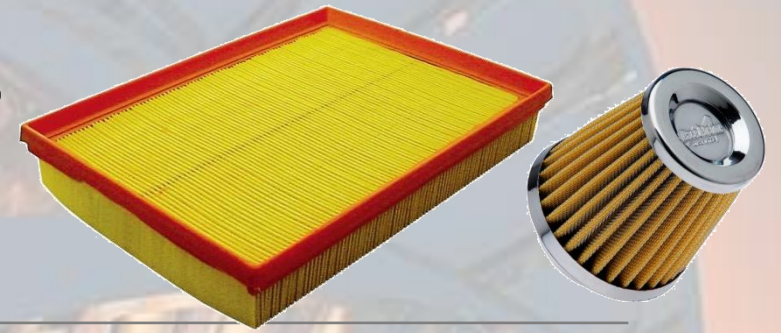
- O ar segue por um tubo até a cuba de óleo, entrando em contato com o mesmo, fazendo com que as partículas menores de poeira fiquem retidas nele.
- O ar acompanhado de gotículas de óleo segue até os elementos filtrantes, os quais retêm esse óleo juntamente com partículas ainda contidas nele.



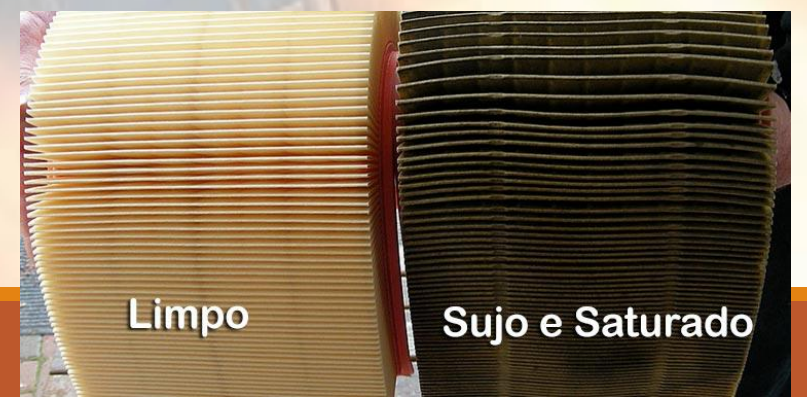
Sistema de Alimentação de Ar

Filtro Seco

- Os **filtros secos** possuem **bloqueadores** de impurezas e são fabricados em papel ou feltro que realizam a filtragem **através da passagem do ar pelo bloqueio**.
- Existem **sistemas** que utilizam dois elementos (**primário e secundário**). O primário é confeccionado de papel microporoso e o secundário de feltro. Cerca de 99,9% das partículas sólidas em suspensão são retidas no sistema o ar, então, é conduzido ao motor. A diferença do sistema a óleo é que ele consegue alta eficiência mesmo em rotações baixas.



Filtro de Ar Secundário Filtro de Ar Primário



Sistema de Alimentação de Ar Pré-Filtro

- Antes do ar passar pelo filtro de ar para admissão no motor, este passa pelo pré-filtro. O **pré-filtro tem a função de reter grandes partículas contidas no ar** (folhas, partículas maiores de terra, etc).
- Em alguns modelos as impurezas são separadas por movimento inercial em um tipo ciclone, no qual o ar admitido adquire um movimento circular. A força centrífuga faz com que as impurezas maiores sejam depositadas num reservatório.



Sistema de Alimentação de Ar Coletor de Admissão



- Os elementos de ligação entre o corpo de borboleta e o motor propriamente dito são os tubos de admissão, comumente chamados de **coletores de admissão** dentro da indústria automotiva. É o componente responsável por **transportar o ar do exterior do motor até os dutos de alimentação do cabeçote do motor.**



Sistema de Alimentação de Ar Sobrealimentação

- O potencial de produção de potência de um motor é proporcional ao seu consumo de ar, isto é:
- pode-se então aumentar a potência do motor, aumentando a densidade do ar na entrada.

$$N_e = \dot{m}_a F P_{Ci} \eta_g \text{ ou } N_e \propto \dot{m}_a$$

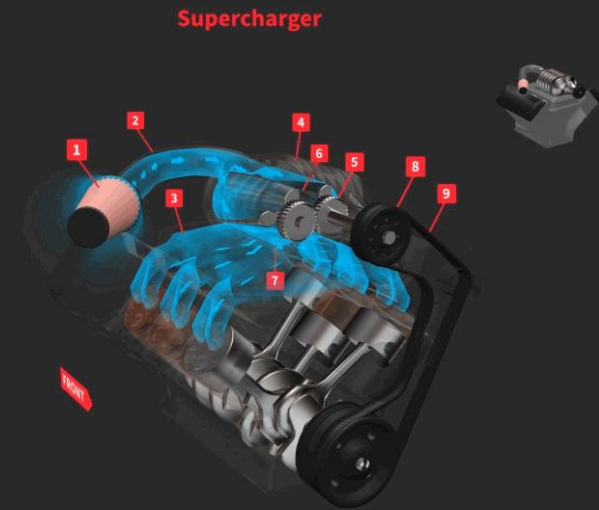
- Como:
$$\rho_e = \frac{p_e}{RT_e}$$

- Logo, fixada a cilindrada e a rotação e supondo-se um mesmo rendimento volumétrico,

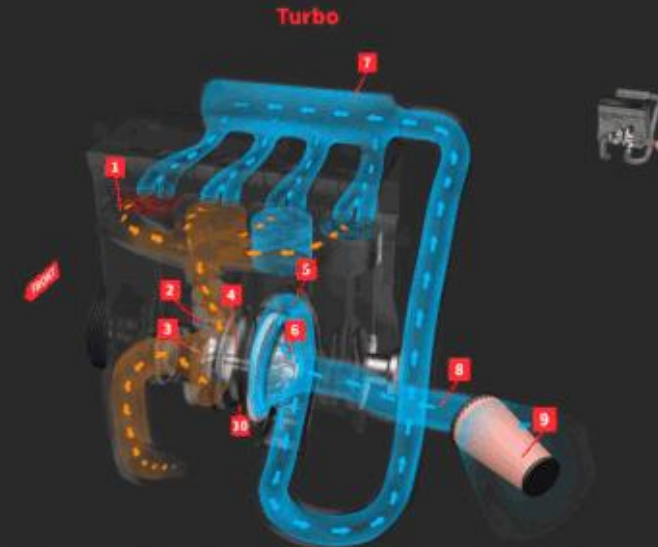
a densidade pode ser aumentada pelo aumento da pressão e/ou redução da temperatura.

Sistema de Alimentação de Ar Sobrealimentação

- É possível se obterem motores de **alta potência**, mantida a cilindrada, substituindo-se o método de aspiração natural por uma **sobrealimentação**. Neste caso a **massa de ar** é admitida no cilindro com **maior densidade**.
- A sobrealimentação pode ser efetuada de duas maneiras diferentes:
 - **Sobrealimentação Mecânica;**
 - **Turbocompressor.**



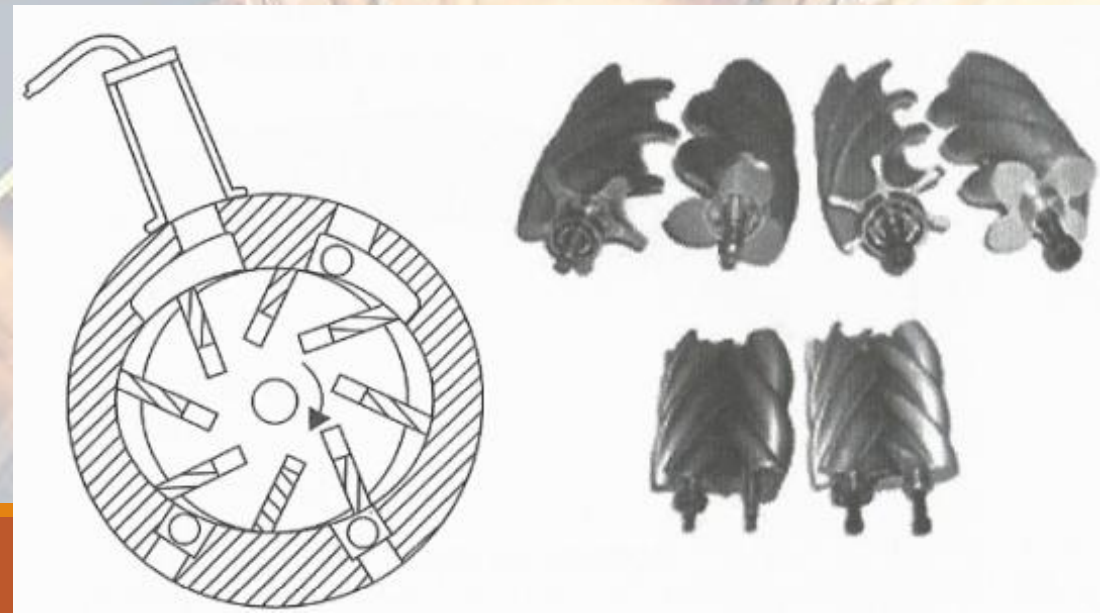
- 1 Air filter**
- 2 Air intake pipe**
- 3 Intake manifold**
The supercharger sits atop the intake manifold. The intake manifold channels air from the supercharger unit to individual cylinders.
- 4 Supercharger housing**
- 5 Gear drive system**
Opposing gears translate power to the rotors.
- 6 Rotor & lobes**
Spinning rotors pump air through the supercharger. The long fins or ridges that span the length of the rotor shaft are called lobes.
- 7 Discharge port**
Air exits the supercharger through a specially shaped discharge port at the bottom of the housing.
- 8 Pulley**
Pulley diameter and construction is an easily accessible way to alter supercharger performance characteristics.
- 9 Drive belt**
The drive belt supplies power to the supercharger from the crankshaft.



- 1 Exhaust manifold**
A turbo system often requires a specially designed exhaust manifold to handle exhaust heat and pressure, and to properly deliver exhaust gas to the turbine.
- 2 Turbine wheel**
Energy from exhaust heat and pressure spins a turbine called the exhaust wheel.
- 3 Compressor wheel**
Incoming air is pushed through the compressor section of the turbo.
- 4 Air intake pipe**
- 5 Compressor housing & scroll design**
The turbine and compressor chambers have a scroll shape like a rolled-up scroll, though the term "scroll" is associated with turbo. Also refer to the exhaust chamber (i.e., Fall 12210).
- 6 Discharge port**
The spinning compressor wheel draws air into the compressor chamber and builds pressure.
- 7 Shaft**
A shaft connects and supports the exhaust and compressor wheels.
- 8 Bearing**
The turbine and compressor wheels are supported by bearings.
- 9 Turbine housing**
The turbine housing is connected to the exhaust manifold.
- 10 Compressor housing**
The compressor housing is connected to the intake pipe.
- 11 Bearing housing**

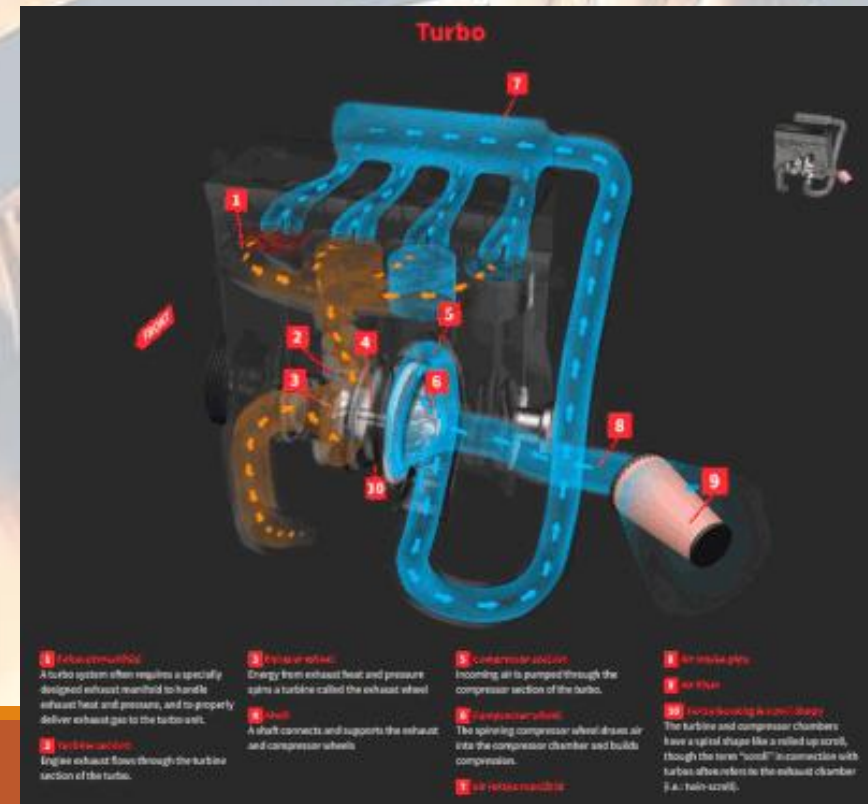
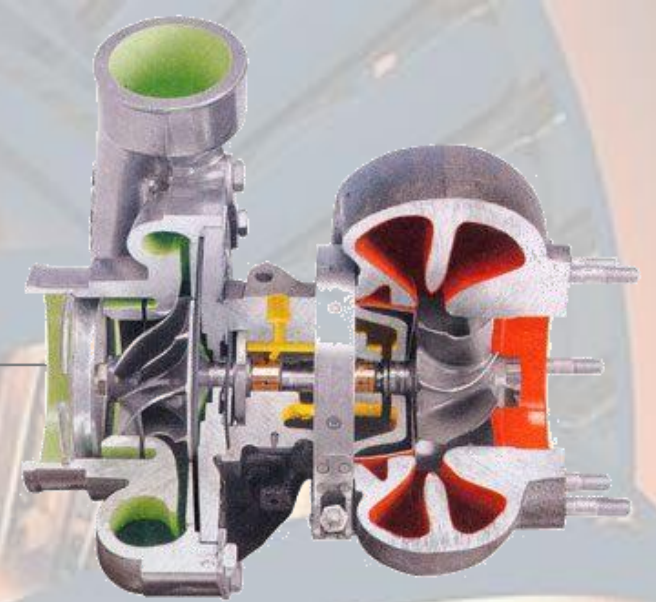
Sistema de Alimentação de Ar Sobrealimentação Mecânica

- O compressor é acionado mecanicamente pelo próprio motor, do qual **consome** uma parte da potência.
- Esse efeito parasita é a maior desvantagem desse método. Com referência, a potência consumida pelo compressor pode chegar a aproximadamente **15% da potência efetiva** em aplicações automotivas, variando de modo significativo em função da eficiência do compressor utilizado.
- Os principais tipos de compressores para essa aplicação são os de **palheta e parafuso**.



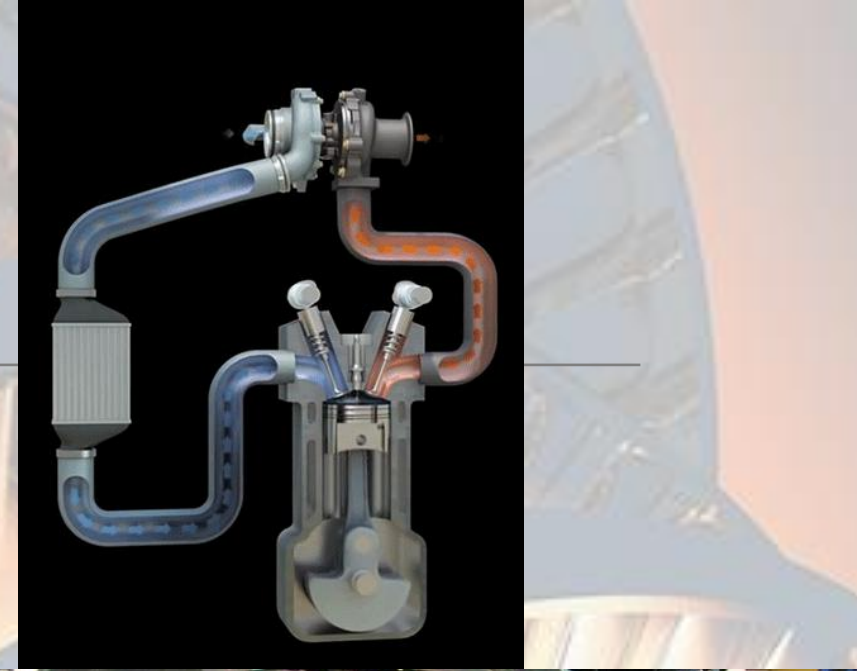
Sistema de Alimentação de Ar Turbocompressor

- O turbocompressor é constituído basicamente por um compressor centrífugo, responsável por fornecer ar com maior densidade ao motor, acionado por uma turbina radial, que é acionada pelos gases de escape do motor. As energia presente nos gases de escape não é aproveitada em um motor naturalmente aspirado, ou que utiliza sobrealimentação mecânica, sendo desperdiçada.
- Neste caso **o compressor não tem ligações mecânicas com o motor, não consumindo potência** de seu eixo. Tem como maior desvantagem o fato de que tanto o compressor quanto a turbina normalmente possuem uma faixa de operação com altas eficiências, ligeiramente mais restrita que a faixa de operação do motor, isto é, o turbocompressor opera de maneira mais efetiva em médias e altas rotações e cargas do motor.



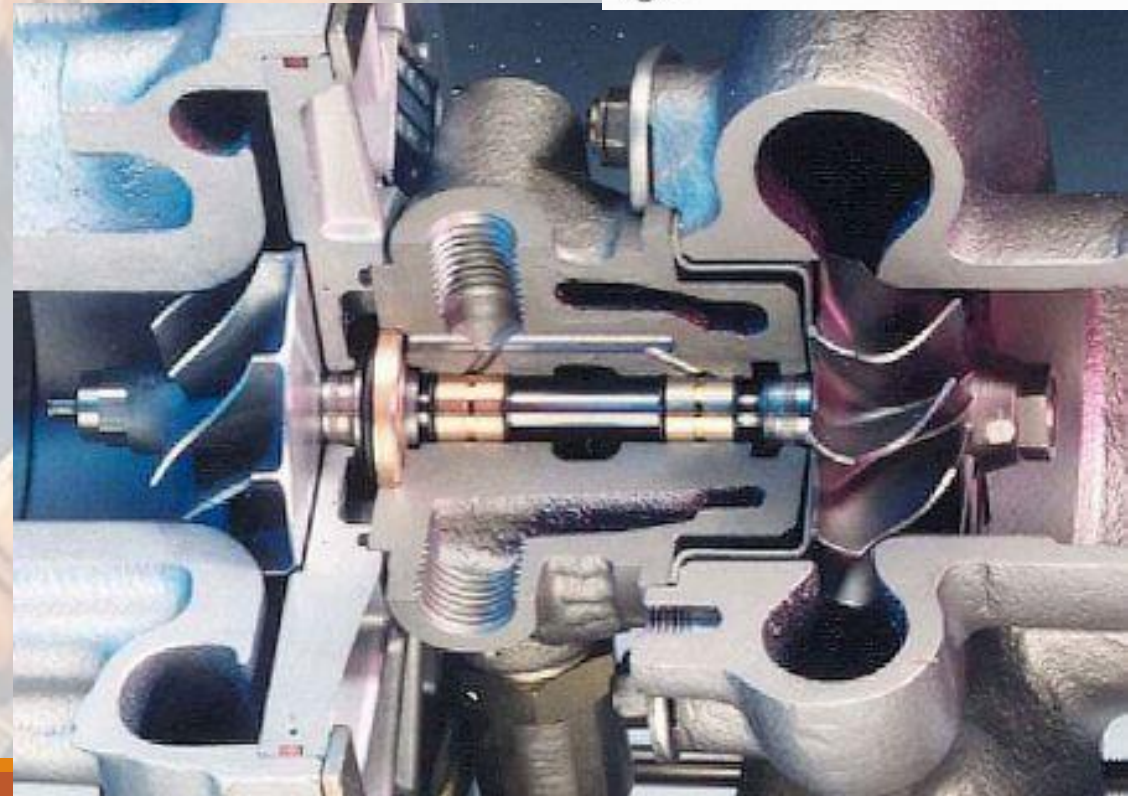
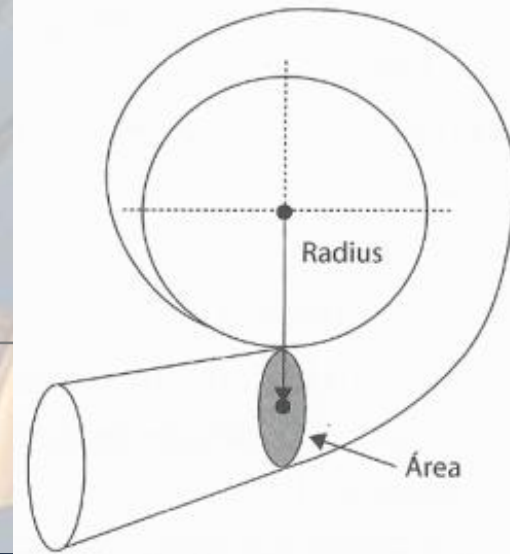
Sistema de Alimentação de Ar Turbocompressor

- De maneira independente do método de sobrealimentação considerado, é comum possuir um **resfriador de ar** de admissão (**intercooler** ou aftercooler).
- Durante o trabalho de compressão, ocorre um aumento de temperatura do ar, assim o trocador de calor reduz a temperatura do ar em relação aos valores observado na saída do compressor, ou seja, ele viabiliza um **aumento de densidade** de ar no coletor de admissão do motor e, como consequência, um **aumento de sua potência**.



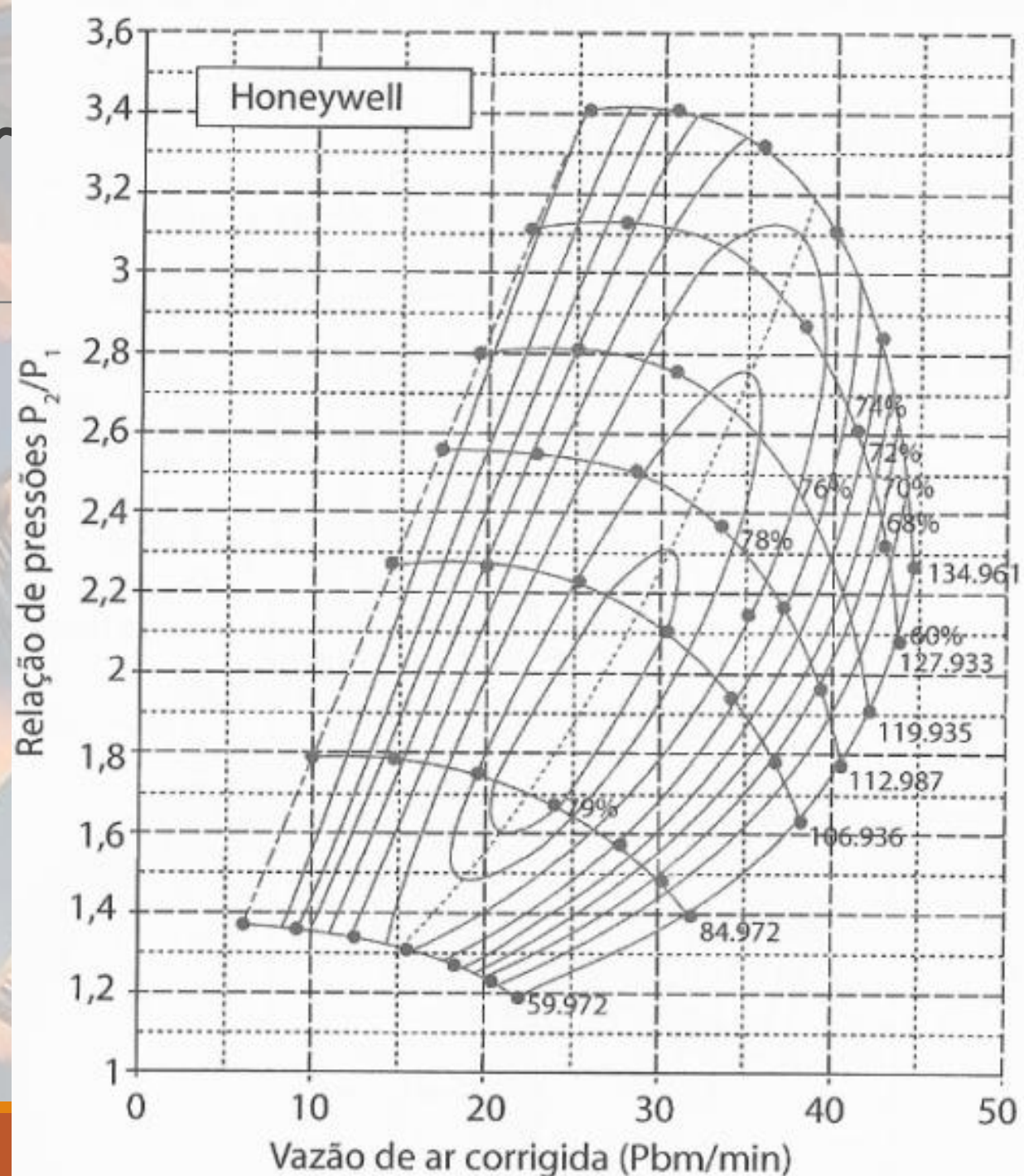
Sistema de Alimentação de Ar Turbocompressor

- O estágio do **compressor**, ou **estágio frio**, é constituído por um rotor, por um difusor e por uma carcaça em forma de voluta. O compressor adiciona energia ao fluido, resultado do trabalho de compressão.
- Os compressores centrífugos são basicamente os únicos utilizados atualmente em aplicações automotivas.
- O **ar entra** no compressor na **direção axial**, é acelerado pelas pás e **deixa** o rotor na **direção radial**. Em seguida, passa pelo difusor, formado pela própria carcaça e pelo prato do compressor, onde é desacelerado suavemente, **transformando a energia cinética em pressão**.



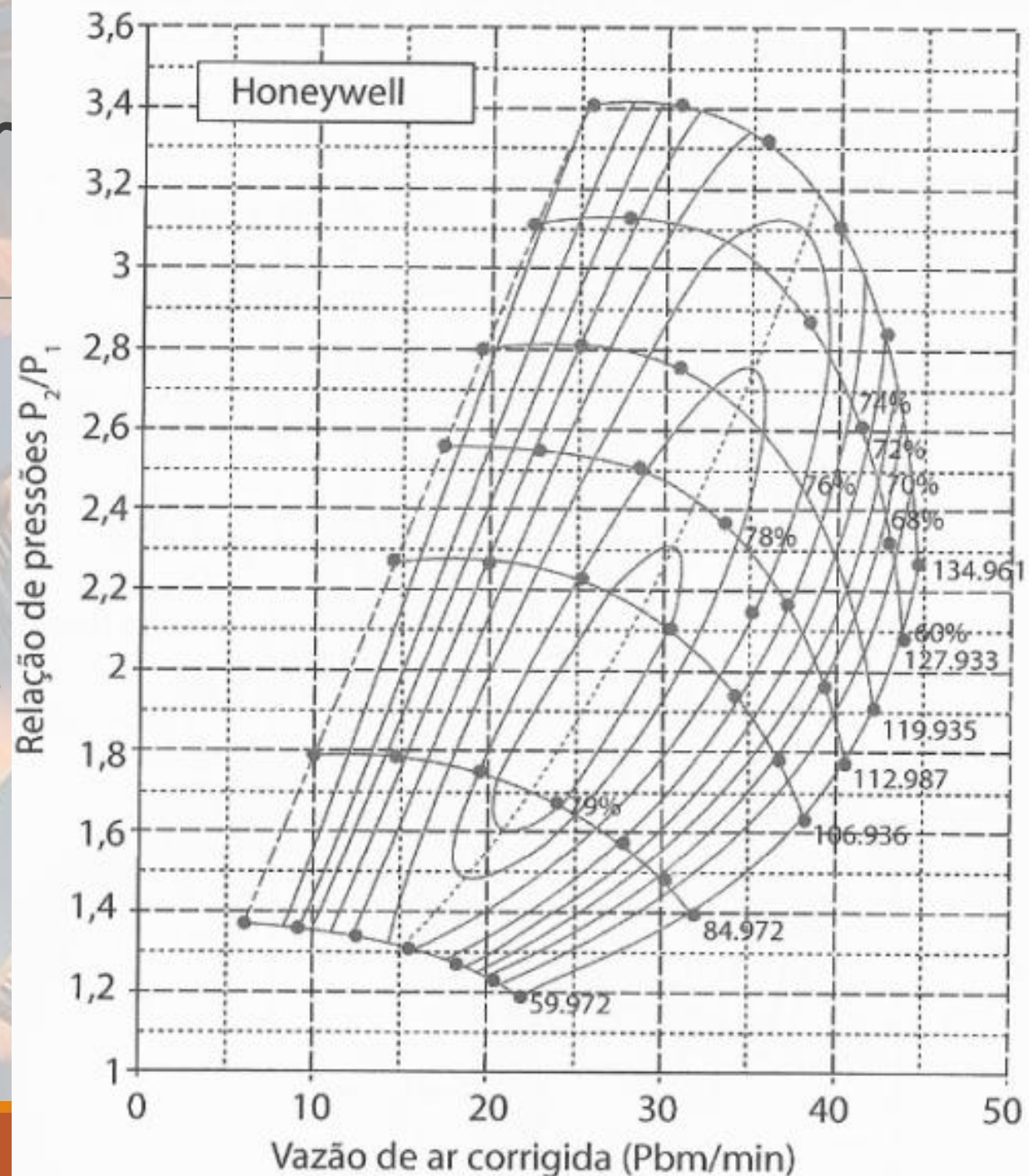
Sistema de Alimentação de Ar Turbocompressor

- O gráfico mostra os limites de aplicação de um dado **compressor**.
- Na **parte superior**, o compressor é limitado pelas resistências dos materiais, pois a elevada rotação (**overspeed**) impõe grandes forças centrífugas no rotor.
- O **lado direito** é limitado pelo bloqueio (**choke**), isto é, **atinge-se $M=1$** na seção mínima da máquina, não se conseguindo ulteriores aumentos na pressão e vazão.



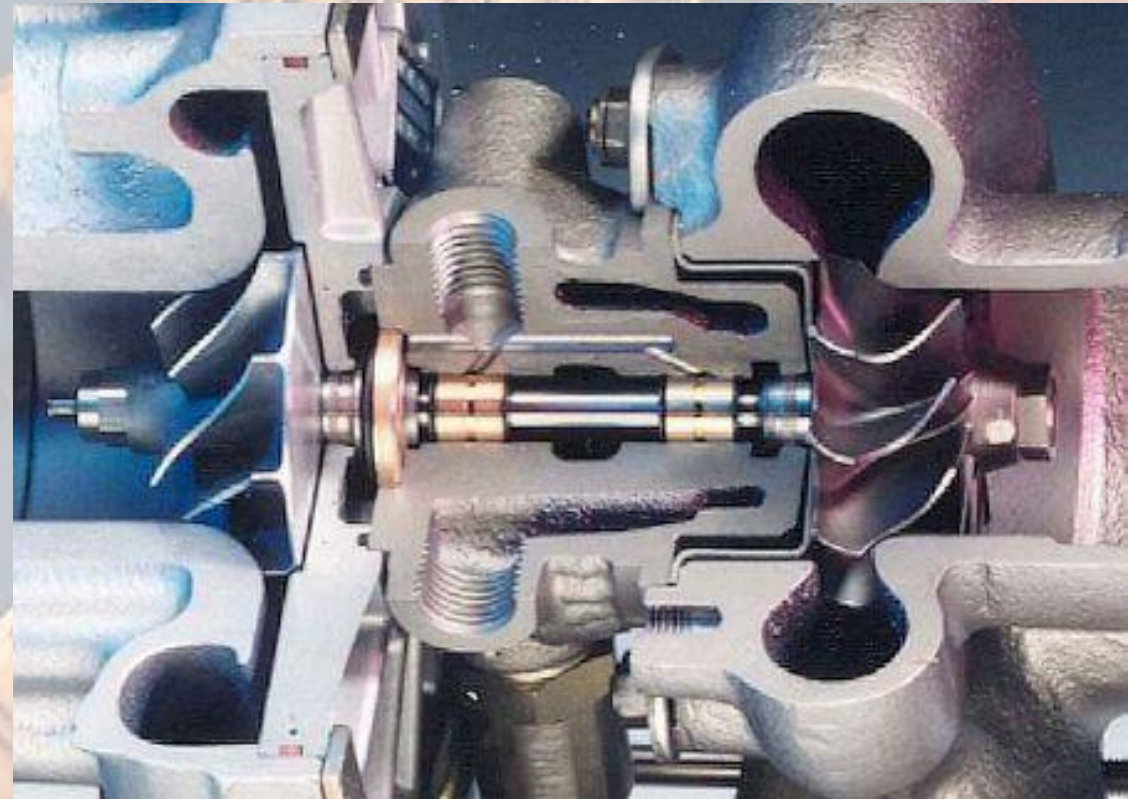
Sistema de Alimentação de Ar Turbocompressor

- A linha à esquerda do mapa define o limite de bombeamento, de instabilidade (**Surge**). Nessa região o escoamento de ar fornecido pelo compressor se caracteriza por acentuada instabilidade e por variação de pressão.
- No centro do mapa, encontra-se ilhas ou contornos de eficiência isentrópica de compressão.



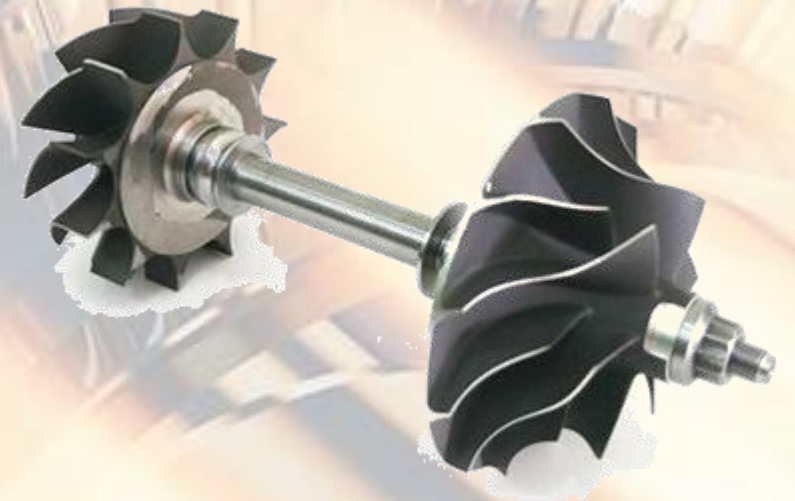
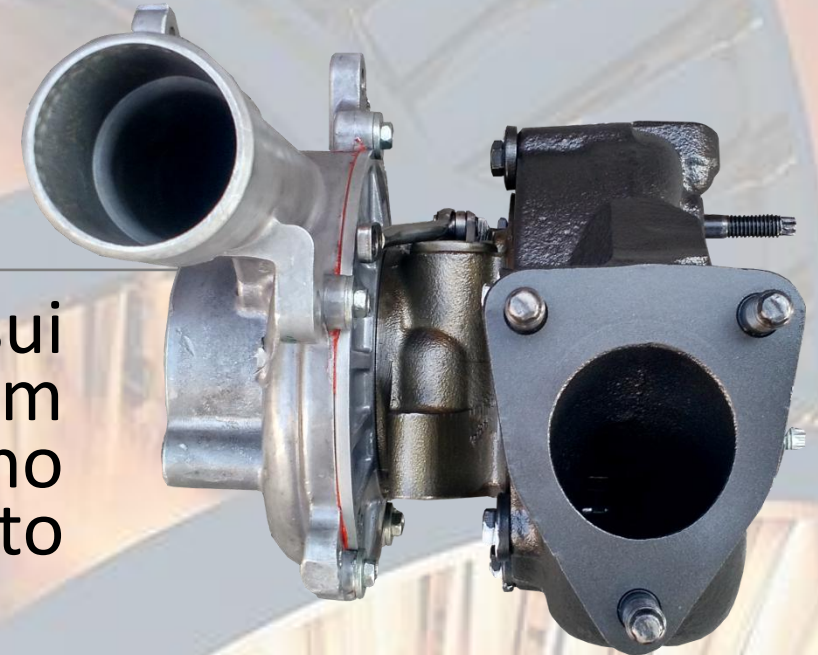
Sistema de Alimentação de Ar Turbocompressor

- A turbina usada em turbocompressores para aplicações automotivas é geralmente radial. O estudo é, portanto, muito semelhante ao estudo do compressor.
- A função da turbina é fornecer ao eixo do compressor a potência necessária para que este possa executar o trabalho de compressão na zona de melhor rendimento atendendo a característica de consumo de ar de um dado motor, ainda assim impondo a menor restrição possível à exaustão dos gases de escape do motor.



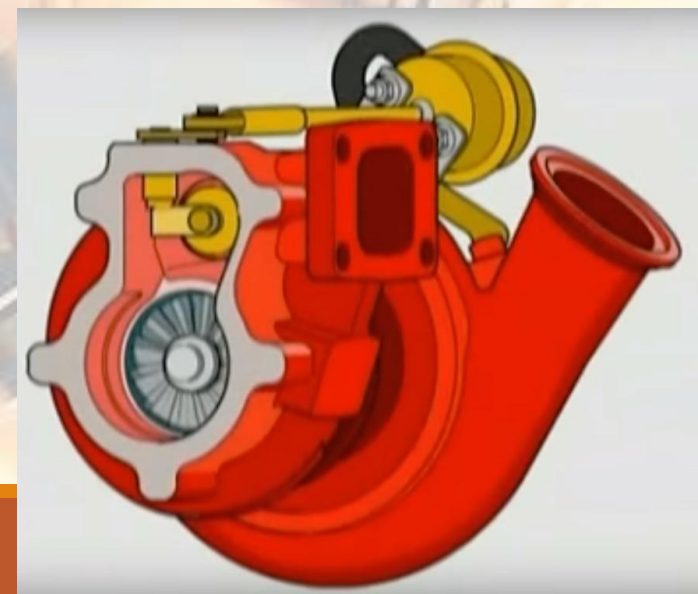
Sistema de Alimentação de Ar Turbocompressor

- Para atingir esse objetivo, o fabricante possui diversos modelos de rotores e carcaças, em diversas escalas podendo variá-los, como no compressor, para chegar ao ajuste ideal tanto com o compressor quanto com o motor.
- A adequação do turbocompressor ao motor se inicia pela seleção de um compressor que atenda às necessidades de consumo de ar e pressões de sobrealimentação do motor, atingindo os objetivos de potência, toque, consumo de combustível e emissões, entre outros.



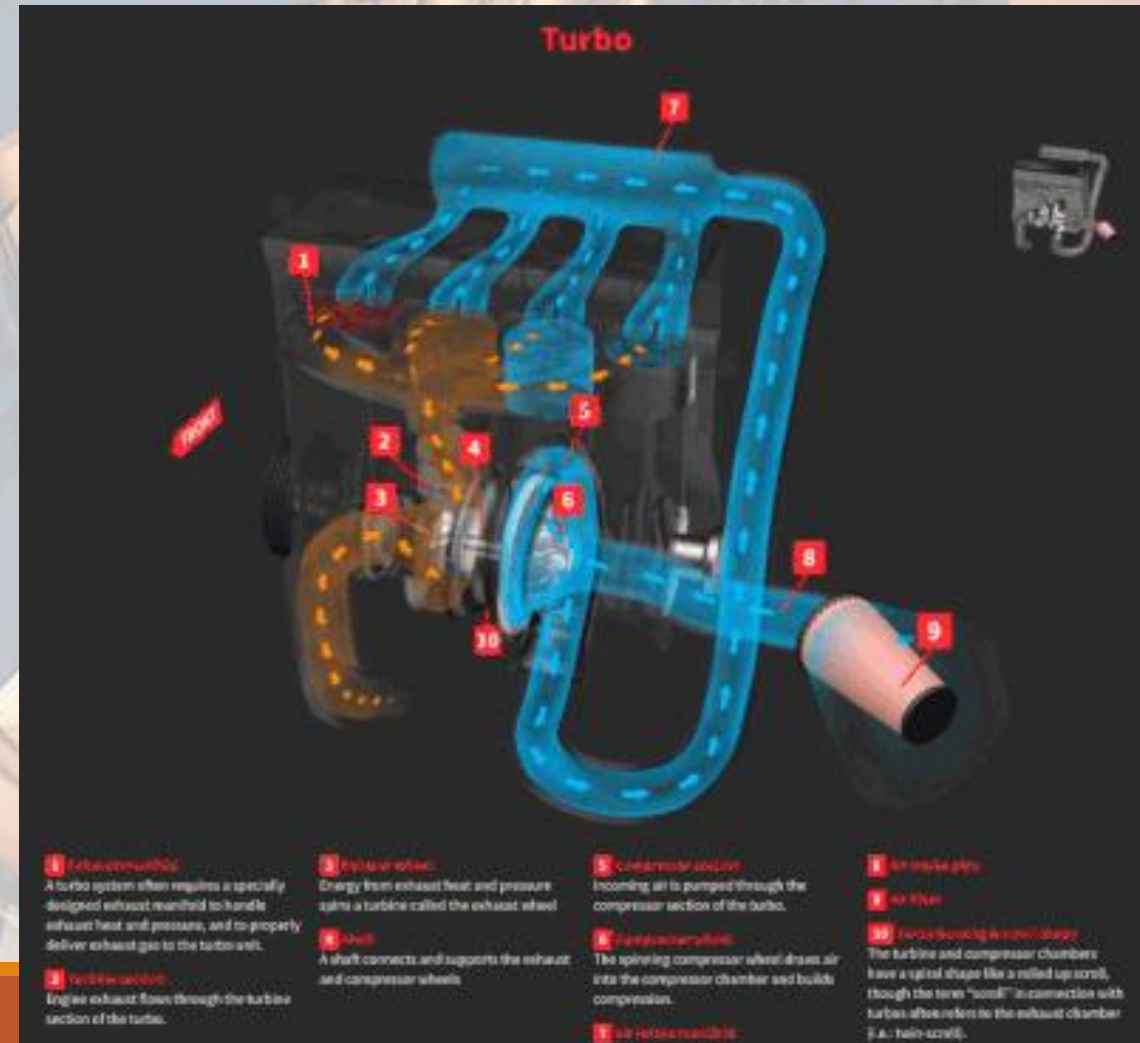
Sistema de Alimentação de Ar Turbocompressor

- Para evitar-se que nas altas cargas e rotações seja ultrapassada a parte superior do mapa do compressor ou que as pressões no motor sejam muito altas, costuma-se usar uma válvula limitadora de pressão denominada **wastegate** que, ao atingir o limite desejado, **desvia** uma parte dos **gases de escapamento** para que o turbo compressor tenha a sua **rotação limitada**. O desvio de parte da vazão de gases **modula a potência** que esta gera, limitando assim a potência disponível para o compressor.



Sistemas de Exaustão

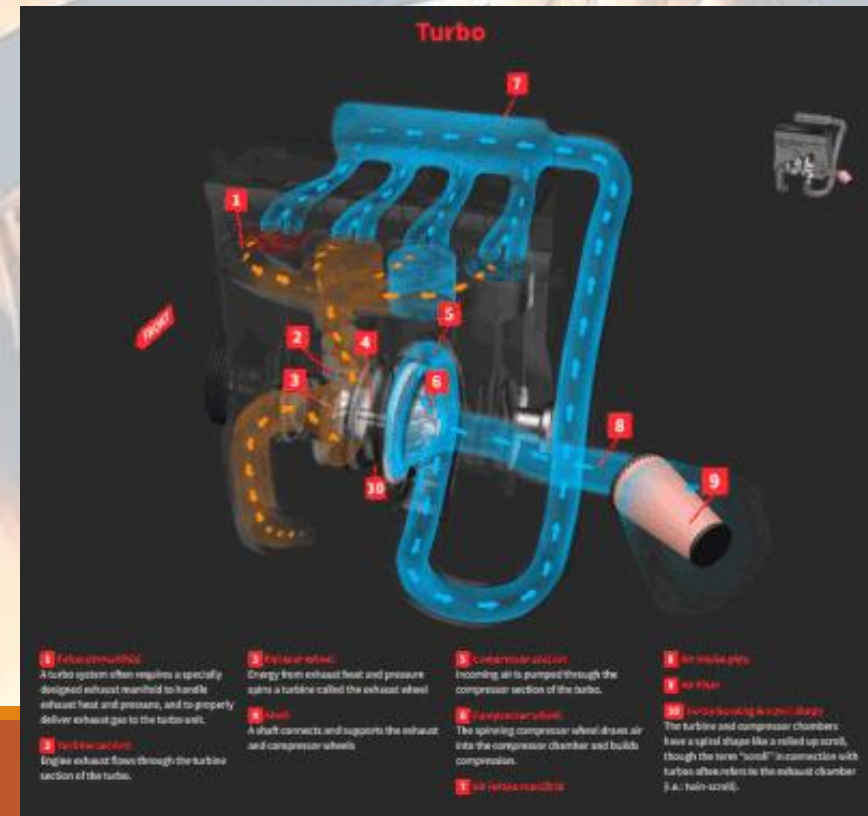
- Qualquer que seja a aplicação do MCI é necessário dispor de um **sistema que colete e descarregue os gases de combustão** de forma adequada, seguindo os requisitos a seguir:
 - **reduzir o ruído** causado pelo motor no ambiente;
 - **causar perda mínima** de potência do motor;
 - **satisfazer exigências** operacionais como durabilidade, nível de vibração etc.;
 - geometria externa **compacta**;
 - **baixo custo**.



Sistemas de Exaustão

Processo de Descarga

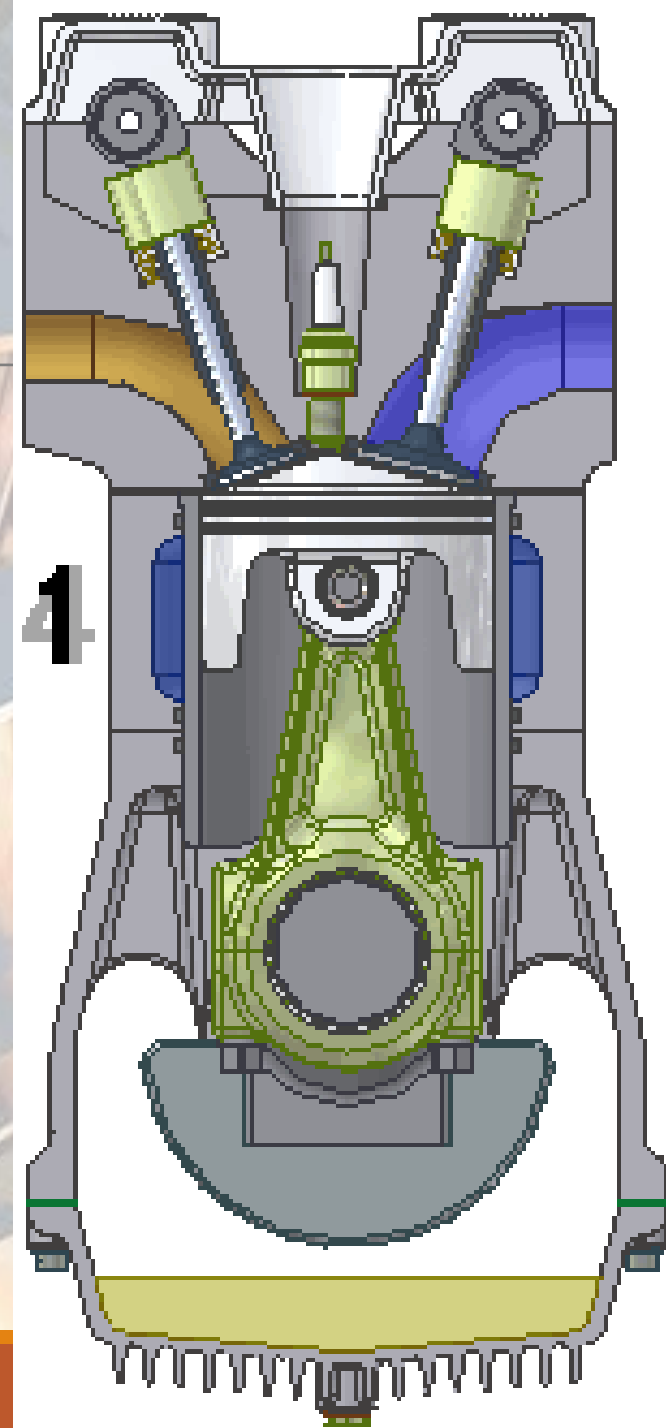
- De maneira idealizada, pode-se separar o processo de descarga em duas fases. **Na primeira, ocorre a liberação dos gases de combustão, que se expandem para o coletor de descarga** (pois quando a válvula de descarga é aberta, a pressão no cilindro está muito maior do que a pressão no coletor). Já **na segunda fase, o pistão expulsa os gases queimados por meio de seu movimento.**



Sistemas de Exaustão

Processo de Descarga

- O processo de liberação ideal ocorre assumido-se o pistão estacionário no PMI, ao final do curso. Os **gases que escapam** do cilindro sofrem uma **expansão livre**, sendo este um processo termodinamicamente irreversível. Os gases que permanecem no cilindro sofrem uma **expansão adiabática** e reversível até a pressão atmosférica, antes que o pistão inicie o curso de exaustão.



Sistemas de Exaustão

Coletor de Descarga

- Os dutos que **conduzem as gases de escape para fora do cilindro** são denominados coletores de descarga.
- Os sistemas de escapamento são projetados para que se tenha a **mínima contrapressão** de escapamento durante o período de descarga para reduzir o trabalho necessário para expulsar os gases e melhorar a lavagem dos cilindros. Assim, a descarga de **vários cilindros em um mesmo coletor** pode provocar interferência e **aumento da contrapressão** em momentos críticos, como, por exemplo, durante o cruzamento das válvulas.



Sistemas de Exaustão

Coletor de Descarga

- Desta maneira, o coletor de **descarga ideal deverá ter ramos separados para cada cilindro**; ramos esses que podem se ajuntar de maneira suave em um único tubo ou em grupo de tubos de descarga a alguma distância do bloco do motor.
- Supondo em ordem de preferência, seria utilizado um sistema de descarga que dividisse o coletor em vários ramos, de **modo a impedir que dois cilindros descarregassem simultaneamente no mesmo ramo**. Esse tipo de solução complica o projeto de coletores para motores de quatro cilindros, mas pode ser aplicado facilmente em motores de seis cilindros em linha, uma vez que os primeiros três cilindros podem ser conectados a um dos ramos e os outros três últimos a outro ramos, e se juntam em um mesmo tubo, a alguma distância do motor.



Sistemas de Exaustão Recirculação de

- Através da **mistura de gases de escape com os de admissão**, a percentagem de oxigênio na mistura ar-combustível é reduzida e, desta forma, a temperatura de combustão nos cilindros diminui. Uma vez que os óxidos de nitrogênio nocivos (NOx) se formam principalmente com temperaturas e pressões elevadas, torna-se assim possível **reduzir as concentrações de NOx** emitidas para o ambiente em até 50%. No caso dos motores diesel, a formação de partículas de fuligem é também reduzida em aprox. 10 %.

