

**CENTRO PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
FATEC SANTO ANDRÉ**

**TECNOLOGIA EM MECÂNICA AUTOMOBILÍSTICA**

**MARCOS ROGERIO AMBROSIUS FILHO  
RAFAEL DIAS DE MORAES FERREIRA**

**SANTO ANDRÉ  
2018**

**CENTRO PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
FATEC SANTO ANDRÉ**

**TECNOLOGIA EM MECÂNICA AUTOMOBILÍSTICA**

**MARCOS ROGERIO AMBROSIUS FILHO  
RAFAEL DIAS DE MORAES FERREIRA**

**INFLUÊNCIA DOS ESCAPAMENTOS ESPORTIVOS NO  
DESEMPENHO DOS VEÍCULOS**

Trabalho de Conclusão de Curso entregue à Fatec Santo André como requisito final para obtenção do título de Tecnólogo em Mecânica Automobilística.

Orientador: Prof. Marco Aurélio Fróes

SANTO ANDRÉ  
2018

A496i

Ambrosius Filho, Marcos Rogério  
Influência dos escapamentos esportivos no desempenho dos  
veículos / Marcos Rogério Ambrosius Filho, Rafael Dias de  
Moraes Ferreira. - Santo André, 2018. – 48f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.  
Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística, 2018.

Orientador: Prof. Marco Aurélio Fróes

1. Mecânica. 2. Motores. 3. Motor de Combustão Interna. 4.  
Escapamentos esportivos. 5. Torque. 6. Potência. 7. Sistemas.  
8. Veículos. I. Ferreira, Rafael Dias de Moraes II. Influências  
dos escapamentos esportivos no desempenho dos veículos.

629.2

**LISTA DE PRESENÇA**

SANTO ANDRÉ, 15 DE DEZEMBRO DE 2018

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA  
"INFLUÊNCIA DOS ESCAPAMENTOS ESPORTIVOS NO  
DESEMPENHO DOS VEÍCULOS" DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE  
DESTA U.E.

**BANCA**PRESIDENTE:  
PROF. MARCO AURÉLIO FRÓES \_\_\_\_\_MEMBROS:  
PROF. FERNANDO GARUP DALBO \_\_\_\_\_

PROF. CLEBER WILLIAM GOMES \_\_\_\_\_

**ALUNOS:**

MARCOS ROGERIO AMBROSIUS FILHO \_\_\_\_\_

RAFAEL DIAS DE MORAES FERREIRA \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a nossa família, professores e amigos que nos apoiaram, sem os quais nada do que realizamos até hoje seria possível.

## RESUMO

A história do automóvel se iniciou por volta de 1769, com o desenvolvimento do motor a vapor introduzidos em veículos capazes de transportar humanos. Em 1807, os primeiros carros movidos por um motor de combustão interna a gás combustível apareceram, o que levou à introdução em 1885 do motor a gasolina.

Com a introdução do combustível na movimentação dos veículos, houve a necessidade de se introduzir também o escapamento para direcionar os gases de escape que eram gerados no motor.

No desenvolvimento da tecnologia em confecção de veículos, houve a necessidade do aprimoramento de várias peças, que influenciavam no desempenho dos mesmos, incluindo o escapamento, que tem grande influência no funcionamento e desempenho nos motores.

O mercado atual disponibiliza uma série de escapamentos, originais e esportivos, e o intuito deste trabalho é mostrar a influência dos escapamentos esportivos no desempenho dos veículos.

Palavras chaves: Automóvel, combustão interna, gases de escape, escapamento, esportivo.

## **ABSTRACT**

The history of the automobile began around 1769, with the creation of a car engine for cars capable of transporting humans. In 1807, the first cars powered by an internal gas-fueled internal combustion engine appeared, which led to the introduction in 1885 of gasoline engine.

With the introduction of fuel in the movement of vehicles, it was necessary to introduce the exhaust to direct the exhaust gases that were generated in the engine.

In the development of vehicle manufacturing technology, there was a need for improvement of several parts that influenced their performance, including exhaust, which has a great influence on engine performance and performance.

The current market offers a series of original and sporty exhausts, and the purpose of this work is to show the influence that these sports exhausts perform in the performance of the vehicles.

**Keywords:** Automobile, internal combustion, exhaust gas, exhaust, sport.

## LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 – Sistema Macro de composição dos veículos	12
Imagem 2 - Principais componentes do motor de combustão interna	13
Imagem 3 - Funcionamento dos 4 tempos dos motores de combustão interna	14
Imagem 4 – Combustão interna dentro de um motor	16
Imagem 5 – Explicação da Taxa de Compressão	17
Imagem 6 - Abertura das válvulas	19
Imagem 7 - Gráfico de rotações do motor de combustão interna	20
Imagem 8 - Sistema de escapamento em relação a um automóvel	21
Imagem 9 – Estrutura do sistema de escape do motor	22
Imagem 10 – Coletor de escape	23
Imagem 11 – Explicação do funcionamento do catalisador	25
Imagem 12 - Explicação do fluxo de gases de escape no silenciador	26
Imagem 13 – Silenciador escapamento	27
Imagem 14 – Tubo de Venturi	28
Imagem 15 - Escapamento esportivo	34
Imagem 16 – Ficha técnica Fiat Punto 1.4 Attractive 2011	35
Imagem 17 – Relação de transmissão Fiat Punto 1.4 Attractive 2011	36
Imagem 18 – Cálculo de velocidade de parametrização	36
Imagem 19 – Anotações dos parâmetros analisados no teste dia 29/09/2018	37
Imagem 20 – Anotações dos parâmetros analisados no teste dia 20/10/2018	38
Imagem 21 – Gráfico de torque e potência do teste 4 do sistema de escape esportivo	39
Imagem 22 – Componentes do sistema de escape original do veículo	41
Imagem 23 – Componentes do sistema de escape esportivo	42



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Descritivo dos dados obtidos no teste dia 29/09/2018	37
Tabela 2 – Descritivo dos dados obtidos no teste dia 20/10/2018	38
Tabela 3 – Descritivo comparativo dos dados obtidos	40

## LISTA DE SIGLAS

PMS	PONTO MORTO SUPERIOR
PMI	PONTO MORTO INFERIOR
MIC	MOTORES DE IGNIÇÃO A CENTELHA
IVC	VÁLVULA DE ADMISSÃO FECHADA
IVO	VÁLVULA DE ADMISSÃO ABERTA
EVC	VÁLVULA DE ESCAPE FECHADA
EVO	VÁLVULA DE ESCAPE ABERTA
POT	POTÊNCIA
FC	FATOR DE CORREÇÃO
PA	PRESSÃO ATMOSFÉRICA
PP	POTÊNCIA DE PERDA

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	11
1.1 Funcionamento do motor de combustão interna	12
1.2 Cilindrada	14
1.3 Taxa de compressão	16
1.4 Influência das válvulas	18
<b>2 DESENVOLVIMENTO</b>	20
2.1 O sistema de escape	21
2.2 Componentes do sistema de escape	22
2.2.1 Coletor de escape	23
2.2.2 Catalisador	23
2.2.3 Silenciador	25
2.3 Princípio de Venturi	28
2.4 Influências do sistema de escape no motor	29
2.5 Escapamentos esportivos	34
2.6 Teste com sistema de escape original	35
2.7 Teste com o sistema de escape esportivo	37
2.8 Comparativo dos testes	39
2.9 Volume de gás	40
2.9.1 Volume de gás no sistema de escape original	40
2.9.2 Volume de gás no sistema de escape esportivo	41
<b>3 CONCLUSÃO</b>	43
<b>4 PROPOSTA FUTURA</b>	44
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	45

## 1 INTRODUÇÃO

“O primeiro meio de transporte a fazer uso de um motor a gasolina para se locomover foi um automóvel que continha somente três rodas e foi criado no ano de 1885 por um alemão de nome Karl Benz.” (ILZA, 2008)

Com o passar do tempo foram desenvolvidos outros exemplares, muitos com o chamado “motor de dois tempos”, confeccionado em 1884 por Gottlieb Daimler. Juntamente a ele o visionário e engenheiro Karl Benz criou o primeiro veículo movido a gasolina como conhecemos atualmente.

A partir deste ponto, teve início a corrida pela produção e venda de automóveis, iniciada por uma empresa francesa conhecida pelo nome de Panhard et Levassor. No ano de 1892, o conhecido Henry Ford fabricou, na América do Norte, o seu primeiro carro de produção em linha, o Ford Model T.

“Os ingleses entraram na concorrência um pouco mais tarde, se comparado aos outros países europeus, devido a uma lei vigente na época, conhecida como “bandeira vermelha” – o automóvel não poderia ultrapassar os 10 km por hora e deveria levar na frente uma pessoa segurando uma bandeira vermelha para sinalizar aos pedestres que o automóvel estava passando, a pelo menos 60 metros de distância, a noite costumava-se utilizar uma lanterna.” (ILZA, 2008)

Com o desenvolvimento da tecnologia, e das indústrias automotivas, acabou-se por criar uma composição padrão de automóveis, cuja distribuição está apresentada na imagem 1.

-Motor: (composto de um conjunto de peças fixas e móveis que formam um sistema mecânico de força e sistemas de alimentação, ignição, arrefecimento, lubrificação, etc.) que transforma energia térmica (queima do combustível) em energia mecânica (movimento do carro);

-Transmissão: transmite a força do motor até as rodas (Embreagem, caixa de marchas, cardan);

-Direção: transmite os comandos do condutor ao veículo;

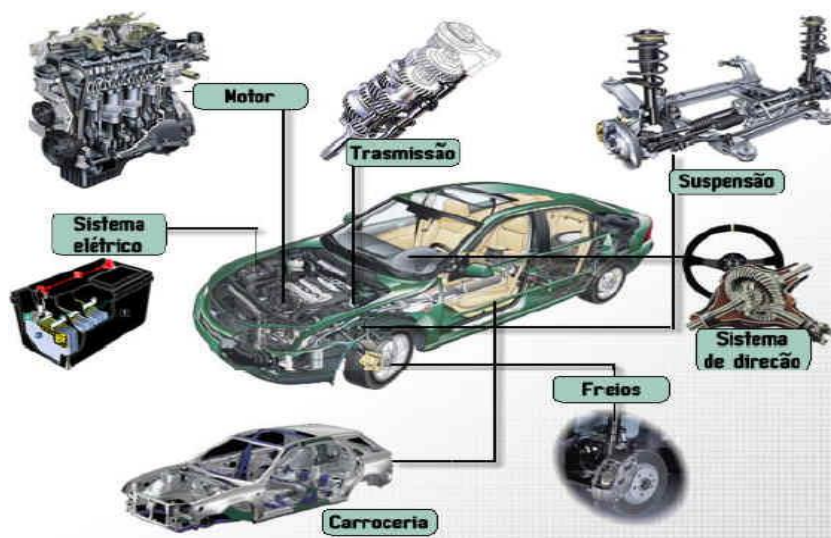
-Freios: dividido em 3 sistemas, freio de serviço (pedal do carro), freio de estacionamento (freio de “mão”) e freio motor (redução de marchas do veículo);

-Chassi: estrutura veicular;

-Sistema Elétrico: têm a função de gerar/armazenar/distribuir energia para todas as funções do carro;

- Sistema de Arrefecimento: reduz o calor produzido em excesso pelo motor através de água ou ar (carros mais antigos e motos);
- Carroceria: dividida em motor, local de passageiros e carga (porta-malas);
- Sistema de Rodagem: dividido em rodas e pneus.
- Sistema de Escape: tubos, catalisadores e silenciadores responsáveis por guiar os gases de escape para fora do veículo.

Imagem 1 – Sistema Macro de composição dos veículos



Disponível em <[http://www.fazerfacil.com.br/carros/carros\\_master.htm](http://www.fazerfacil.com.br/carros/carros_master.htm)>

### 1.1 Funcionamento do motor de combustão interna

“As máquinas térmicas são dispositivos que permitem transformar calor em trabalho. O calor pode ser obtido de diferentes fontes: combustão, energia elétrica, energia atômica, etc. É verificado no decorrer do estudo, onde o calor é obtido pela queima do combustível, isto é, energia química transformada em trabalho mecânico.” (BRUNETI, 2013)

O combustível mais utilizado atualmente no mundo inteiro é a gasolina. O motor que normalmente equipa os automóveis movidos a gasolina é o motor de combustão interna de quatro tempos.

O termo “combustão” é usado no nome desse motor porque o seu princípio de funcionamento baseia-se no aproveitamento da energia liberada na reação de combustão de

uma mistura de ar e combustível que ocorre dentro do cilindro do veículo. Esse motor também é chamado de “motor de quatro tempos” porque seu funcionamento ocorre em quatro estágios ou tempos diferentes.

Conhecer como esses estágios do funcionamento do motor de combustão interna ocorrem, auxilia na compreensão do por que é importante usar gasolinas de qualidade com alto índice de octanagem. Antes, porém, veja quais são os nomes das principais partes do motor:

Imagem 2 - Principais componentes do motor de combustão interna



Disponível em <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combustao-interna.htm>>

O motor de combustão interna atualmente funciona com 4 tempos de funcionamento que são explicados abaixo:

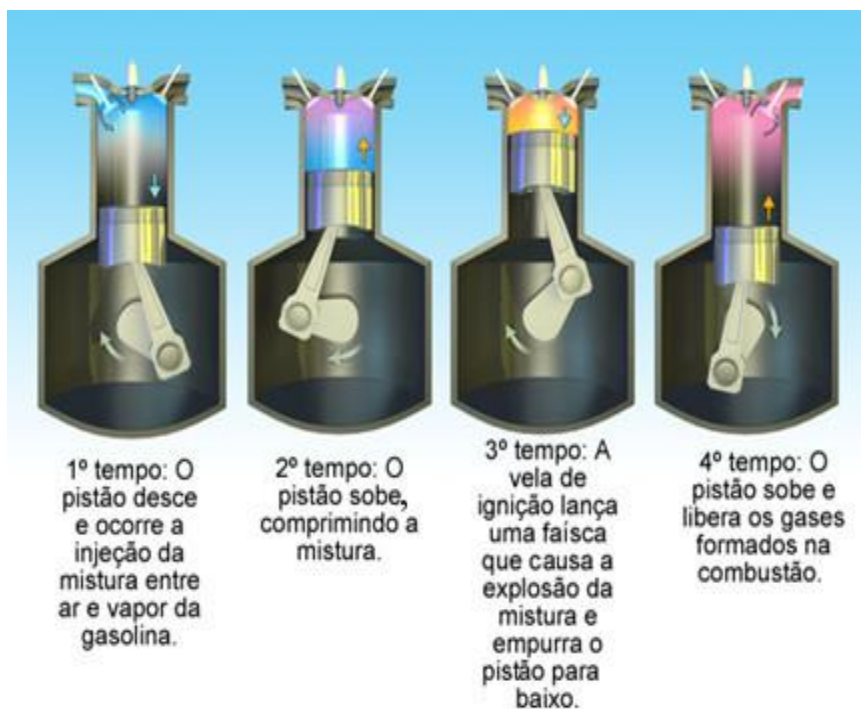
**1º tempo: Admissão** — No início, o pistão está em cima, isto é, no chamado ponto morto superior. Nesse primeiro estágio, a válvula de admissão abre e o pistão desce, sendo puxado pelo eixo virabrequim. Uma mistura de ar e vapor de gasolina entra pela válvula para ser “aspirada” para dentro da câmara de combustão, que está a baixa pressão. O pistão chega ao ponto morto inferior, e a válvula de admissão fecha, completando o primeiro tempo do motor.

**2º tempo: Compressão** — O pistão sobe e comprime a mistura de ar e vapor de gasolina. O tempo de compressão fecha quando o pistão sobe totalmente

**3º tempo: Combustão •** — Para dar início à combustão da mistura combustível que está comprimida, solta-se uma descarga elétrica entre dois pontos da vela de ignição. Essa faísca da vela detona a mistura e empurra o pistão para baixo, fazendo com que ele atinja o ponto morto inferior.

**4º tempo: Escape** — A mistura de ar e combustível foi queimada, mas ficaram alguns resíduos dessa combustão que precisam ser retirados de dentro do motor. Isso é feito quando o pistão sobe, a válvula de escape abre, e os gases residuais são expulsos. (BRUNETI, 2013)

Imagem 3 - Funcionamento dos 4 tempos dos motores de combustão interna



Disponível em <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combustao-interna.htm>>

## 1.2 Cilindrada

O termo “cilindrada” vem de cilindro e é originalmente conhecido como o volume de deslocamento do motor, isto é, a capacidade em volume da câmara de um pistão. Os motores à combustão possuem cilindros (câmaras), onde ocorrem a explosão (ar + combustível + centelha) que movimentam os pistões, os quais estão ligados pela biela ao virabrequim, que recebe toda a força do movimento dos pistões, transmitindo a energia

mecânica para o volante do motor que está conectada à caixa de velocidades (marchas), cuja a força motriz será transmitida ou não. “Na outra extremidade do virabrequim encontra-se uma polia, responsável por colocar em movimento através de uma correia outros equipamentos como a bomba de água, o motor do ar condicionado, a bomba da direção hidráulica e etc.”(SILVA, 2018)

“Para que se entenda melhor o que vem a ser volume de um cilindro, segue o exemplo de um carro 1.0. No carro 1.0, isto é, 1000 cilindradas, temos quatro cilindros (quatro pistões e quatro bielas). Uma cilindrada corresponde a 1000 cm<sup>3</sup>, que equivalem a 1 litro. Como o carro possui 1000 cilindradas e quatro cilindros, cada cilindro comporta 250 ml de gás, e ele aspira e expira um litro de gás por cada volta completa do virabrequim.” (SILVA, 2018)

As cilindradas de um motor são calculadas de acordo com o diâmetro e o curso de um pistão, sempre dados em milímetros (mm).

Utiliza-se a seguinte expressão matemática na determinação da cilindrada de um motor a explosão:

$$V_{\text{cilindrada}} = N * \left( \pi * \frac{d^2}{4} \right) * C$$

(SILVA, 2018)

Onde:

N = Número de cilindros do motor

$\pi = 3,14$

d = diâmetro do cilindro (cm)

C = curso do pistão no interior do cilindro (cm)

O diâmetro e o curso do pistão costumam ser informados em milímetros, por isso deve-se transformar para centímetros, para isso basta dividir por 10.

### Exemplo 1

Determine as cilindradas de um motor com as seguintes especificações técnicas:



Número de cilindros: 04

Diâmetro do cilindro: 82,07 mm  $\rightarrow$  82,07/10 = 8,207 cm

Curso do pistão: 75,50 mm  $\rightarrow$  75,50/10 = 7,550 cm

$\pi = 3,14$

$$\text{Cilindrada} = 4 * \left( 3,14 * \frac{8,207^2}{4} \right) * 7,550$$

$$\text{Cilindrada} \cong 1597 \text{ cm}^3$$

(SILVA, 2018)

Este motor possui 1597 cilindradas, que correspondem a um motor 1.6.

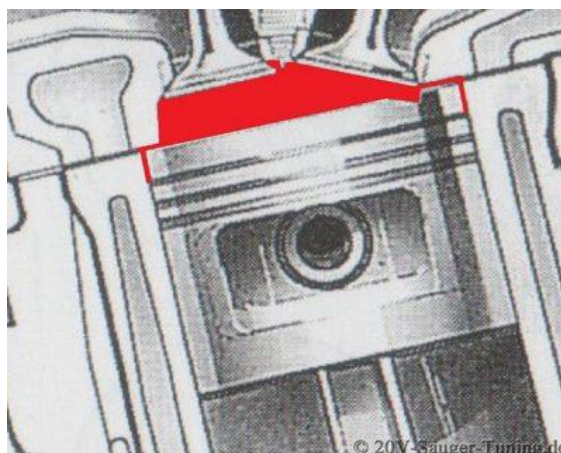
### 1.3 Taxa de Compressão

A taxa de compressão é um termo muito utilizado no processo de desenvolvimento de um motor, e principalmente quando falamos de motores de alta performance. Para que se possa entender o conceito de taxa de compressão, é necessário conhecer o que é a câmara de combustão e de como é composta.

A câmara de combustão é o volume encontrado no momento o qual o pistão atinge o PMS (Ponto Morto Superior). Neste momento, é quando ocorre a centelha nos MIC (Motores de Ignição a Centelha) onde então o combustível é inflamado, ocorrendo a combustão.

Como mostra a imagem 4, o volume da câmara de combustão não corresponde somente ao volume encontrado no cabeçote, mas sim à soma dos volumes da folga do pistão, anéis e volume da junta de cabeçote já esmagada, subtraído então pelo volume da vela de ignição e o volume da coroa (domo) do pistão caso este seja convexo.

Imagem 4 – Combustão interna dentro de um motor

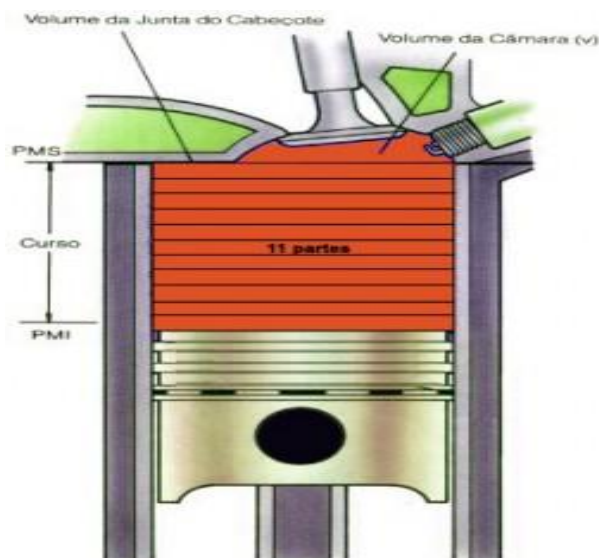


Disponível em material do Professor Marco Aurélio Fróes - Volkswagen

A taxa de compressão é definida pelo número de vezes o qual o volume total somado ao da câmara de combustão, é comprimido. Ou seja, É um valor numérico adimensional representando a proporção entre o volume aspirado em relação ao volume da câmara de combustão.

Pode-se entender melhor através da imagem5 :

Imagem 5 – Explicação da Taxa de Compressão



Disponível em <<https://autocarup.com.br/taxa-de-compressao/>>

Na foto representada na imagem 5, observa-se que o curso do pistão foi dividido em 11 partes, isto significa que cada parte representa o volume total da câmara de combustão. Supondo que o volume da câmara de combustão é de  $50\text{cm}^3$ , temos então o volume total do deslocamento do pistão de  $550\text{cm}^3$ . Por fim obtemos a taxa de compressão de 11:1, onde as 11 partes que representam o volume da câmara de combustão ( $550\text{cm}^3$ ) são comprimidas a um volume de  $50\text{cm}^3$ .

Uma alta razão de compressão é o ideal para qualquer motor a combustão, 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.

Essa maior temperatura faz com que a velocidade de propagação de chama no momento da faísca 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. Podemos então concluir que quanto maior for a razão de compressão, mais eficiente

será o motor e maior será a sua potência para um determinado consumo de combustível obtendo um melhor aproveitamento energético.

Porém para cada motor, existe um limite para a taxa de compressão, onde o fator principal a ser levado em consideração para definição deste limite, é o combustível utilizado.

Com o aumento da pressão, ocorre juntamente o aumento da temperatura, e esta última não pode ser elevada demasiadamente, porque se houver elevada temperatura, poderá ocorrer então a autoignição.

A autoignição é o momento onde o combustível entra em combustão antes mesmo da faísca inicial. Sendo a autoignição prejudicial para o rendimento do motor, como também para os componentes internos, como cabeça de pistão, válvulas e velas.

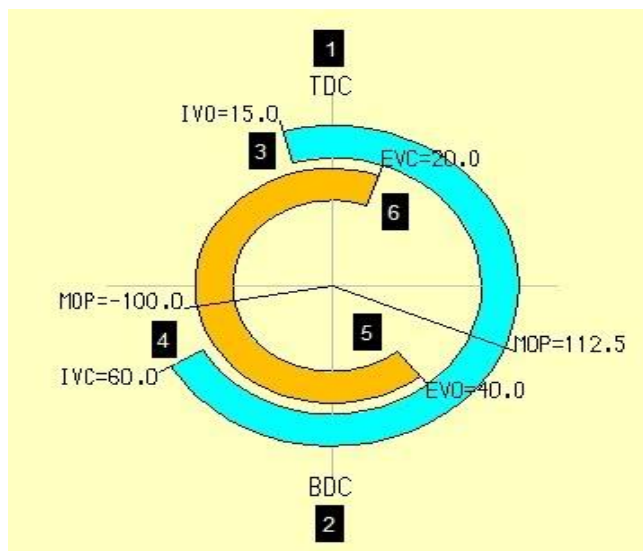
#### **1.4 Influência das válvulas**

“A abertura e fechamento das válvulas são usualmente realizados pelo eixo comando de válvulas, assim acaba gerando uma classificação relativa à posição desse no sistema. O trem que movimenta as válvulas é formado por tucho, hastes e balancins. Esse sistema além de complexo, permite folgas que acabam por interferir no desempenho do motor.”(BRUNETI, 2013)

Neste estudo, é visto qual a influência que a abertura da válvula de admissão tem sobre a potência do motor. Para começar, é estudado o comportamento de um motor cuja válvula de admissão abre 15 graus antes do ponto morto superior e fecha 60 graus depois do ponto morto superior.

A imagem 6 mostra um diagrama com a abertura e fechamento das válvulas. A faixa azul representa o período angular em que a válvula de admissão fica aberta e a faixa laranja representa o período angular de abertura da válvula de escape. Pode-se notar que a válvula de admissão já está aberta no ponto morto superior (1) e que continua aberta no ponto morto inferior (2). Na realidade, a válvula de admissão abre 15 graus antes do ponto morto superior (3) e fecha 60 graus depois do ponto morto inferior (4). Pode ser visto ainda que a válvula de descarga abre 40 graus antes do ponto morto inferior (5) e fecha 20 graus depois do ponto morto superior (6). Isso significa que há um período de 35 graus em que as duas válvulas estão abertas simultaneamente, período conhecido como “valve overlap”

Imagem 6 - Abertura das válvulas



Disponível em material do Professor Marco Aurélio Fróes - Volkswagen

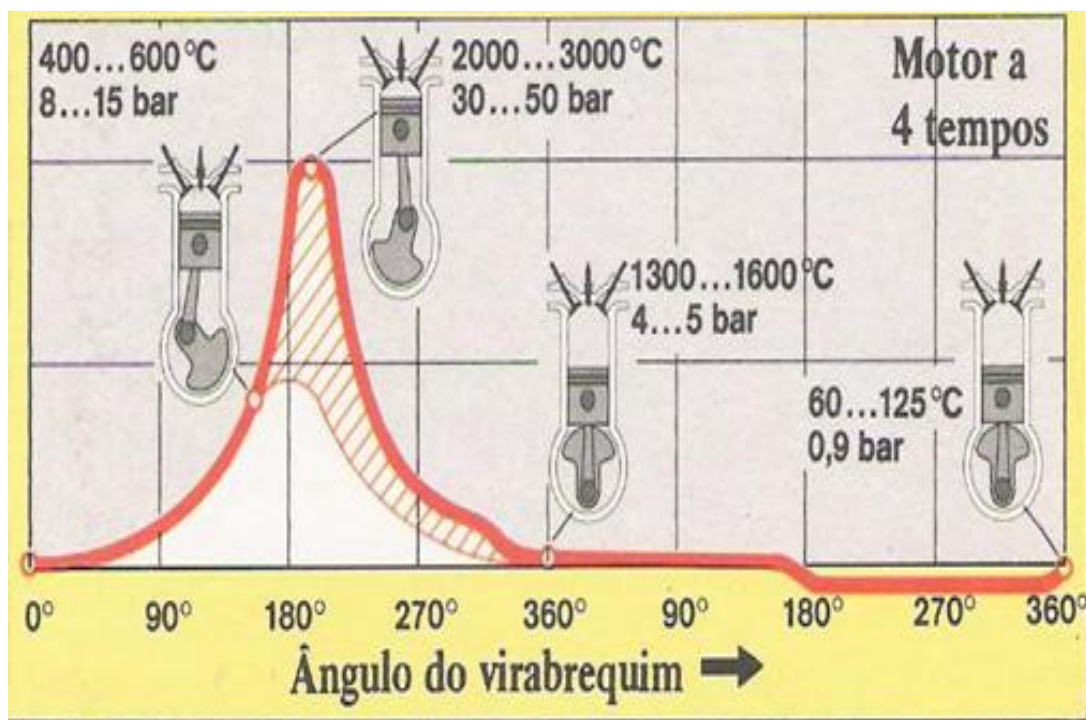
A sobreposição da válvula é a soma dos ângulos de abertura da válvula de admissão antes do ponto morto superior e o fechamento da válvula de escape após o ponto morto superior. Se o pistão estiver posicionado entre o 4º curso (escape) e o 1º curso (entrada) no PMS, ambas as válvulas estão abertas. O gás de exaustão e o gás fresco podem trocar suas energias cinéticas. Neste processo, o gás antigo deixa o cilindro mais completamente, e o gás fresco ocupa seu espaço. Por estarmos falando, neste caso, de uma troca aberta de gases por um curto período de tempo, ela funciona apenas otimamente na faixa de velocidade do maior torque. Quanto maior a velocidade nominal de um motor, maior a sobreposição da válvula. Pode atingir o ponto de referência do virabrequim até  $180^\circ$  para os motores de corrida.

Uma mudança no tempo de abertura da válvula de admissão pode aumentar ou diminuir a potência do motor. Mas nem sempre é desejável aumentar a potência do motor, pois uma diminuição na potência máxima pode significar uma faixa mais ampla de potência útil. A decisão final depende da característica que o projetista quer dar ao seu veículo.

Na imagem 7 nota-se na fase do trabalho entre  $180^\circ$  e  $360^\circ$  que, a pressão no final desta fase tem uma queda de suave para acentuada. Isto acontece porque entre  $270^\circ$  e  $360^\circ$ , ocorre o início da abertura da válvula de escape. Considerando que o trabalho não está mais presente mas tem-se pressão no interior do cilindro, utiliza-se esta pressão residual para dar início a limpeza dos cilindros. Um diagrama de válvulas esportivo combinado com um escapamento esportivo promove ganhos de potências nestas condições. Essa queda pode ser

originada pela sobreposição da válvula, verificado na imagem 7, no momento em que as duas se encontram abertas em um ângulo de abertura de 35 graus com dito no gráfico anterior.

Imagem 7 - Gráfico de rotações do motor de combustão interna



Disponível em material do Professor Marco Aurélio Fróes - Volkswagen

## 2 DESENVOLVIMENTO

O carro evoluiu muito nas últimas décadas de forma que foram criados sistemas mais inteligentes e eficientes (injeção eletrônica) em detrimento dos menos eficientes (carburador). A preocupação ambiental está iminente também em peças como o catalisador que busca diminuir a emissão de gases poluentes à atmosfera.

Até meados da década de 90 os veículos possuíam somente um duto direto, que vinha das saídas de exaustão do motor, e seguem para a traseira do veículo com um silenciador na ponta desse cano, para abafar o barulho que o sistema de escape produzia. Após a inicialização dos estudos ambientais e a preocupação com a emissão de poluentes e ruídos, foram adicionado aos veículos, os catalisadores com o intuito de diminuir a emissão de poluentes e reduzir o ruído.

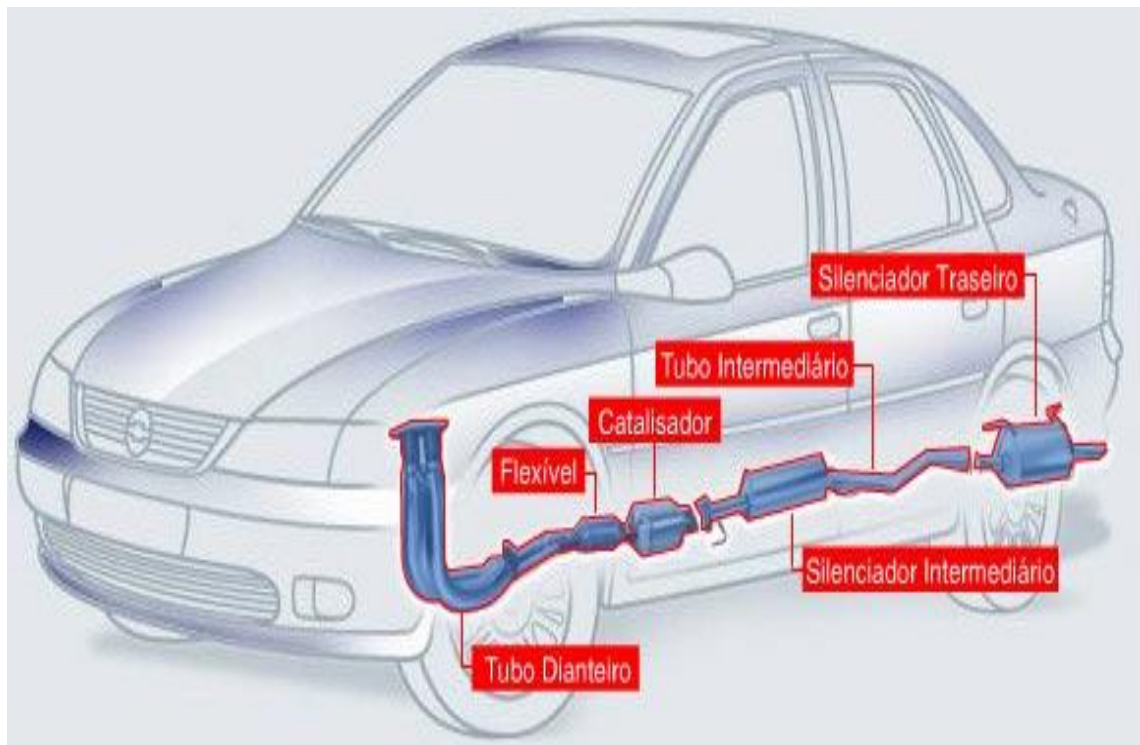
O catalisador faz parte do sistema de exaustão do automóvel. Sua função é imprescindível para o bom funcionamento do veículo, inclusive para o meio ambiente.

Realizando a conversão de mais de 98% dos gases poluentes emitidos pelo motor em gases inofensivos para o ar e para a saúde da população.

O escapamento é um condutor que possibilita ao automóvel encaminhar os gases do resultado da explosão para fora do ambiente do motor, além de influenciar no desenvolvimento do motor. Geralmente são produzidos com materiais inoxidáveis devido a forte corrosão causada pelos gases, além de materiais filtrantes. Sua aplicação é mais conhecida em automóveis, mas se dá em uso de qualquer Motor a explosão, além de geradores, embarcações e trens.

O escapamento influencia diretamente no desempenho e potência do motor, pois é ele que é responsável pela liberação dos gases, se os gases tiverem dificuldade para sair, o motor trabalhará com menor desempenho, porém se as saídas estiverem muito liberadas, o motor causará esforço desnecessário.

Imagem 8 - Sistema de escapamento em relação a um automóvel



Disponível em <<http://autos.culturamix.com/mecanica/funcao-do-catalizador-do-carro>>

## 2.1 O Sistema de Escape

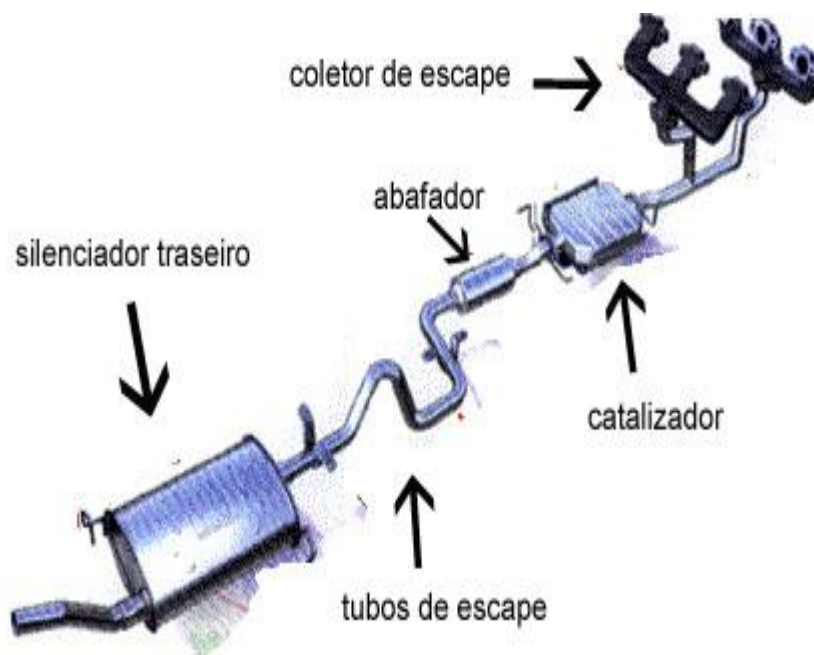
O sistema de escapamento tem uma função decisiva dentro de três condições específicas:

- Proteção do meio ambiente, contribuindo com a redução dos poluentes nocivos nos veículos com catalisadores.
- Conforto acústico, reduzindo os prejuízos sonoros internos e externos.
- Atuação do motor, contribuindo com a melhora da potência, torque e consumo.

Trata-se de um produto de alta tecnologia, que obedece a rigorosas normas em matéria de legislação sobre o meio ambiente e acústica e que responde precisamente ao manual de especificações estabelecido por seus construtores.

A linha do escapamento vai do motor até a traseira do veículo, sem estar visível. Juntos, os elementos que constituem a linha de escapamento têm cerca de 3 metros conforme é verificado na imagem 9. Sua forma varia em função da motorização e do tipo do veículo.

Imagem 9 – Estrutura do sistema de escape do motor



Disponível em <<http://oficinariiviera.com.br/site/dicas/87-sistema-de-exaustao>>

## 2.2 Componentes do sistema de escape

O sistema de escape dos veículos atuais é composto por vários componentes, que possuem como função levar os gases provenientes da queima da mistura ar/combustível para fora da câmara de combustão.

### 2.2.1 Coletor de escape

O coletor de escape agrupa as várias saídas dos cilindros do motor que ligam ao escapamento, que por sua vez, elimina os gases resultantes da explosão. Após a deflagração do combustível no interior abre-se a válvula de escape quando a subida do pistão e a pressão obrigam os gases queimados a saírem, sendo conduzidos pelo coletor de escape até o escapamento do motor.

Os coletores de escape como na imagem 10 costumam ser feitos de ferro fundido e, atingindo temperaturas de centenas de graus, são sensíveis ao derramamento de água proveniente de outros pontos do motor, podendo esta provocar o estalar do mesmo.

Imagem 10 – Coletor de escape



Disponível em <<https://www.flatout.com.br/project-cars-88-o-trabalho-de-cabecote-do-meu-gol-gts-e-uma-surpresa-no-final/>>

### 2.2.2 Catalisador

O catalisador é posto dentro de uma cápsula de aço inox, mais conhecido como conversor catalítico. A localização no sistema de escape é a mais próxima possível da saída dos gases do motor. Em veículos produzidos antes de 2004, era mais comum a utilização do conversor catalítico no assoalho do veículo.



A projeção do catalisador de oxidação aconteceu para converter o monóxido de carbono e os hidrocarbonetos em gases não prejudiciais a atmosfera e principalmente a população.

“O catalisador é um produto com tecnologia embarcada, responsável por converter até 98% dos gases nocivos emitidos pelo motor do veículo.” (TEIXEIRA, 2012)

“Na década de 1990, a maioria dos carros começaram a sair de fábrica equipados com o catalisador. Dentro deste contexto, a Umicore lançou dois tipos de catalisadores TWC específicos para o mercado brasileiro. O TWC se destacou pela resistência do teor de enxofre, enquanto o TWC para etanol desenvolveu alta atividade para os componentes de gás de escape formado.” (TEIXEIRA, 2012)

A combustão incompleta da gasolina tem como produto o monóxido de carbono e vários compostos orgânicos voláteis. Este problema é pior quando o carro está na marcha lenta ou desacelerando. O monóxido de carbono é venenoso e é um dos gases responsáveis pelo efeito estufa. Compostos orgânicos voláteis são prejudiciais à saúde e alguns estão ligados ao câncer. As temperaturas muito altas no motor fazem com que o nitrogênio do ar reaja com o oxigênio do ar para formar óxidos nitrosos. Estes causam vários problemas, como por exemplo a formação de um ácido que reage com a água na atmosfera e que origina a chuva ácida. A ação de a luz solar sobre esta mistura de poluentes dá origem a nuvens de poluição e à formação de outros poluentes, tais como o ozônio.

Algumas das reações químicas que ocorrem no conversor catalítico são mostradas abaixo:

Monóxido de Carbono + Oxigênio → Dióxido de Carbono (TEIXEIRA, 2012)

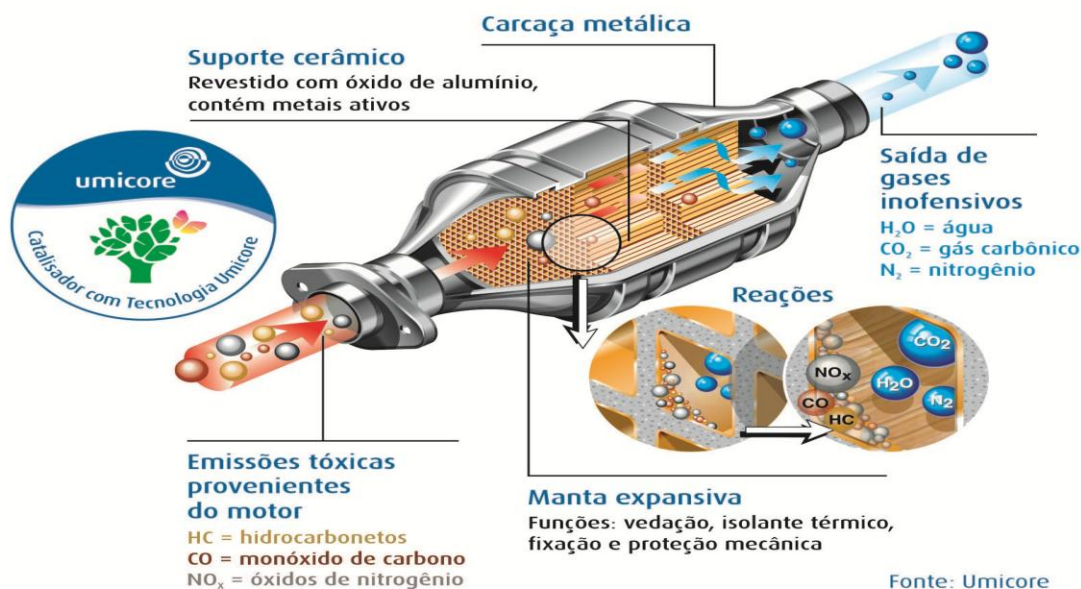
Compostos orgânicos voláteis (gasolina parcialmente queimada) + Oxigênio → Dióxido de Carbono + Água (TEIXEIRA, 2012)

Monóxido de nitrogênio + Monóxido de Carbono → Dióxido de Carbono + Nitrogênio (TEIXEIRA, 2012)

Em um catalisador padrão como na imagem 11, a colméia de compostos que provocam essa transformação é muito mais densa, restringindo o fluxo de gases do escapamento. Em um catalisador esportivo, a colméia é menos densa, permitindo os gases para fluírem melhor e aumentando a potência do motor. Porém, geralmente, isso aumenta a

quantidade de poluentes que o carro emite, o que torna necessário uma verificação dos gases para garantir que o veículo está dentro dos padrões e normas brasileiras.

Imagem 11 – Explicação do funcionamento do catalisador



Disponível em <<http://www.autoentusiastasclassic.com.br/2011/04/durabilidade-do-catalisador-e-revisao.html>>

### 2.2.3 Silenciador

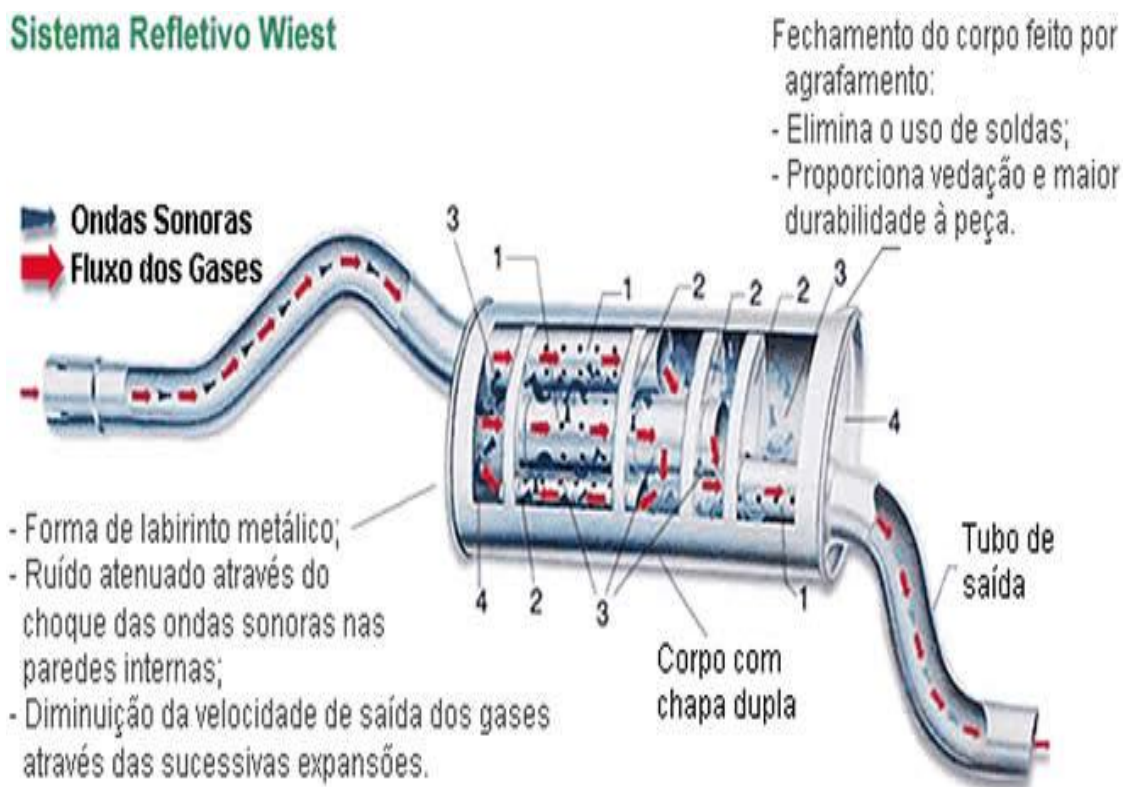
Uma das partes fundamentais do motor de um carro é o silenciador, para evitar o ruído desagradável do escapamento, provocado pela pressão derivada da expulsão do ar no momento da queima do combustível. É um dos componentes principais do sistema de escapamento.

O silenciador é um equipamento constituído por um conjunto de tubos e câmaras, que tem por objetivo amenizar o máximo possível do som desagradável. Tem formato cilíndrico e começa pelo tubo de entrada, em seguida há a câmara ressonadora, depois o tubo de perfurações e, por último, o tubo de saída.

Funciona da seguinte maneira: os gases produzidos no escapamento do veículo passam pelo tubo central do silenciador, batem em sua parede de trás sendo refletidos por um furo que há no corpo do equipamento. Depois disso, os gases passam por um conjunto de furos que existem em outra câmara para depois deixar o silenciador conforme imagem 12.

Imagem 12 - Explicação do fluxo de gases de escape no silenciador

### Sistema Refletivo Wiest



Disponível em

<<http://www.wiest.com.br/index.php?idioma=1&empresa=20&conteudo=210&sub=2002>>

A câmara ressonadora (uma das partes que formam o silenciador) possui tamanho e volume de ar específicos para anular uma determinada frequência de som, sendo pensada para atuar na faixa de frequência em que o motor produz mais barulho.

Para entender melhor a ação do silenciador, podemos pensar nas explosões que ocorrem no motor do veículo como sendo o estouro de um balão, levando em conta que são milhares de explosões acontecendo a cada minuto. Se você estourar o balão, o ar que está lá dentro sairá de uma só vez, abruptamente, fazendo um barulho significativo.

Porém, se soltar o ar aos poucos, o ruído provocado é praticamente insignificante. É basicamente assim que o silenciador opera: fazendo com que o ar da explosão do combustível no motor seja liberado para o ambiente vagarosamente.

Imagem 13 – Silenciador escapamento



Disponível em <<https://www.industriahoje.com.br/como-funciona-o-silenciador-de-um-carro>>

Uma característica fundamental dos silenciadores é a quantidade de contrapressão que eles são capazes de produzir. Com todas as curvas e orifícios pelos quais o ar deve passar, a maioria dos silenciadores produzem uma contrapressão alta, o que pode reduzir um pouco a potência do motor. Porém, é exatamente aí que está o princípio de trabalho do silenciador, pois as ondas sonoras devem exatamente perder a pressão para que o barulho gerado pelo funcionamento do motor possa ser reduzido.

Além do modelo mais tradicional de silenciador, existem outros tipos, como o abafador. Mais simples do que o explicado anteriormente, o abafador ou embalagem de vidro (como também é chamado) constitui-se apenas por um tubo perfurado, por onde os gases deverão passar diretamente, sem fazer as voltas, ou seja, utiliza somente o sistema de absorção como forma de remover os ruídos que tanto incomodam! É como se fosse um silenciador auxiliar, que fica em volta do escapamento.

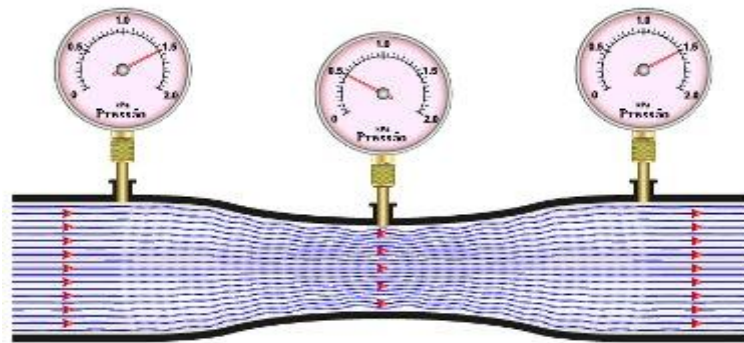
Existem tipos diversos de silenciadores: os de absorção, de expansão, de interferência e os ressonadores. A classificação leva em conta principalmente o modo como o equipamento ameniza o som do motor.

Nos carros mais modernos, os silenciadores são ainda mais potentes, principalmente nos veículos de luxo. Neles, uma das marcas registradas é justamente o fato de não produzir sons desagradáveis, ainda mais se comparados a automóveis antigos.

### 2.3 Princípio de Venturi

“Idealizado por Giovanni Battista Venturi, o chamado tubo de Venturi é um equipamento que indica a variação da pressão de um fluido em escoamento em regiões com áreas transversais diferentes. Onde a área é menor, haverá maior velocidade, assim a pressão será maior.”(SILAS, 2018).

Imagem 14 – Tubo de Venturi



Disponível em <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/tubo-venturi.htm>>

A Figura 14 mostra um fluido em escoamento por um tubo que apresenta áreas de secção transversal diferentes, a região central possui área menor. A passagem do líquido gera uma determinada pressão sobre as paredes do tubo. Observa-se que há três manômetros que fazem a determinação da pressão do líquido, na parte central, onde a área de secção transversal é menor, a pressão indicada é menor.

#### Explicação para a variação de pressão no tubo de Venturi

A explicação do porquê ocorre diferença de pressão inicia-se pela equação de Bernoulli, que pode ser escrita da seguinte forma:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^2 = \text{constante}$$

Os termos dessa equação são:

- $p$  = Pressão exercida pelo fluido (pa);
- $\rho$  = densidade do fluido ( $\text{kg/m}^3$ );
- $v$  = Velocidade de escoamento (m/s).

Aplicando essa equação para duas regiões distintas de um tubo, por onde escoar um fluido, teremos:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^2$$

“A chamada equação da continuidade nos mostra que quanto menor for a área de escoamento de um fluido maior será a sua velocidade, isso irá garantir uma taxa de vazão constante do fluido, ou seja, o mesmo volume de fluido por segundo fluindo em todos os pontos de um tubo.” (SILAS, 2018).

Em meio a todo esse conceito é possível chegar na parte em que este princípio do tubo de Venturi vem de encontro aos sistemas de escapamentos. Isso acontece pelo fato de que esse estreitamento na região do tubo pode ser utilizado no tubo de escape dos gases providos da combustão com o intuito de acelerar a saída dos gases e garantir uma maior taxa de continuidade na saída desses gases.

## **2.4 Influências do sistema de escape no motor**

O escapamento influencia diretamente no desempenho e potência do motor, pois é ele que é responsável pela liberação dos gases. Se os gases tiverem dificuldade para sair, o motor trabalhará com menor desempenho, porém se as saídas estiverem muito liberadas, o motor fará esforço desnecessário.

Sabe-se que atualmente quase todos os motores produzidos para equipar carros possuem quatro tempos de operação. Admissão, compressão, combustão e exaustão. Porém, com o avanço no desenvolvimento dos motores a interação entre o fim e o início do ciclo ficou bem maior – onde os tempos de escape e admissão se cruzam. Esta interação começou a ser tratada como um quinto tempo do ciclo, pois é neste tempo que os gases de escape induzem a admissão da mistura fresca antes mesmo que o pistão alcance o ponto morto superior (PMS). É uma extremidade puxando a outra.

Os gases resultantes da combustão estão contidos dentro do cilindro em temperatura e pressão bastante altas. Quando a válvula se abre, um pulso supersônico percorre todo o duto e arrasta consigo a massa de gases que tem velocidade muito menor, mas que ainda assim carrega uma quantidade enorme de energia. Então se for ajustado o comprimento e o diâmetro do coletor para aproveitar estas características de escoamento, é possível haver ganhos significativos de eficiência volumétrica.

O efeito de arraste se baseia na primeira lei de Newton. Todo corpo possui uma massa – neste caso o gás de combustão, e toda massa que inicia ou cessa um movimento tende a se manter parada ou em movimento, respectivamente. É o fenômeno que chamamos de inércia. Esta inércia é a responsável por grande parte do vácuo gerado pelos gases no instante em que eles deixam o cilindro. E esse vácuo literalmente suga a mistura fresca que está no coletor de admissão no momento em que ocorre o cruzamento do comando de válvulas — aquele curto momento em que as válvulas de admissão estão começando a abrir e as de escape ainda não se fecharam.

“Quanto maior for a velocidade de saída dos gases maior será a inércia destes e maior será o vácuo formado. Porém deve-se atentar aos limites, pois grandes velocidades em qualquer fluxo geram muita turbulência, e ela cria uma resistência ao fluxo que é proporcional ao quadrado da velocidade de deslocamento. Por isso, com o aumento da resistência crescem também as perdas por bombeamento, pois o motor gasta mais energia para conseguir expulsar os gases.” (PASSOS, 2015)

Observando o diâmetro do duto, e somando ele ao comprimento do duto, é determinado um volume de gás que fica contido ali. Quanto maior for o diâmetro ou o comprimento, maior será o volume de gás daquele trecho e conseqüentemente maior será a sua inércia. Então maior será a quantidade de energia gasta inicialmente para tirar aquela massa da inércia. Assim também se têm um aumento da perda por bombeamento se o diâmetro do duto for muito grande. É importante lembrar que o fluxo de um motor não é contínuo, mas sim pulsátil.

“Cada cilindro tem seu ciclo que se inicia e finaliza em um determinado momento. Por tanto a massa de gás contida no duto se move e para também em ciclos, de forma intermitente. Não é algo contínuo.” (PASSOS, 2015)

Dessa forma é necessário buscar uma medida para o diâmetro dos dutos primários, com a finalidade de fazer o coletor operar da forma mais eficiente. Vários estudos práticos revelaram que as velocidades de escoamento ideais para que seja possível aproveitar bem o arraste dos gases ficam entre 85 e 91 m/s (306 e 327 km/h). Então o diâmetro do duto deve ser tal que a velocidade mínima seja alcançada na rotação alvo para o pico de torque que se deseja no projeto.

Segue abaixo um exemplo passo a passo de cálculos usando dados de um motor para facilitar o entendimento de como tudo isso acontece.

Utilizando um motor com quatro cilindros, diâmetro de 87,5 mm, curso de 83,1 mm e 1.999 cm<sup>3</sup> de deslocamento. É estabelecido a rotação-alvo do pico de torque a 5.500 RPM.

A essa rotação o motor tem uma vazão de 95 litros por segundo ou 0,095 m<sup>3</sup>/s. Para se encontrar a área da secção transversal do duto é preciso dividir a vazão pela velocidade.

Então:

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,95}{85} = 0,001114m^2$$

Q – vazão (Litros/segundo)

V – Velocidade (km/h)

Desta forma descobrimos que a área de secção transversal do duto é de 0,001114 m<sup>2</sup> ou 11,14 cm<sup>2</sup>. Agora precisamos encontrar o diâmetro a partir da área. Então:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 11,14}{\pi}} = 3,76 \text{ cm}$$

É encontrado um diâmetro interno de 3,76 cm ou 37,6 mm. O tubo comercial com diâmetro mais próximo é o de 38 mm com paredes de 1 mm. Assim o diâmetro interno final é de 36 mm o que dá uma área efetiva de 0,0010 m<sup>2</sup>. (PASSOS, 2015)

O pulso de escape, que também é conhecido por *blowdownexhaust*, tem velocidade que varia entre 580 e 642 m/s. A velocidade de deslocamento está relacionada diretamente à temperatura de saída dos gases: quanto maior for a temperatura maior será a velocidade do pulso. (PASSOS, 2015)

Se o intuito for aproveitar o efeito do pulso de deslocamento é necessário conhecer um pouco mais sobre ondas e ressonadores. De forma simples, uma onda é uma sequência de pulsos. Quando uma sequência de pulsos se desloca através de um duto a massa contida nele apresenta uma resistência ao deslocamento. Essa resistência é chamada de impedância acústica e ela muda de acordo com o volume contido num determinado trecho de duto que mantenha a mesma secção transversal. (PASSOS, 2015)

Porém os dutos, assim como qualquer outro elemento acústico, apresentam uma frequência natural na qual a massa de gás que está dentro deles oscila juntamente com a fonte



geradora de sinal, trazendo ganhos de energia para a onda. (PASSOS, 2015). Essa frequência natural de oscilação é chamada de frequência de ressonância.

“Um dos modelos de cálculo mais precisos para se encontrar o comprimento dos dutos é aquele baseado no ressonador de Helmholtz. Aplicando o conceito do ressonador a um motor de combustão: a câmara seria o cilindro e o pescoço o duto de escape. Sendo assim, precisa-se determinar o comprimento do pescoço para que o sistema entre em ressonância numa determinada frequência. Que, neste caso, é a rotação-alvo do pico de torque. A fórmula de cálculo do ressonador é apresentada abaixo.” (PASSOS, 2015)

$$L = \frac{1}{\left(\frac{c}{k \cdot N}\right)^2} \cdot \frac{A}{V}$$

Onde:

L → Comprimento do duto (cm);

C → Velocidade do som no duto; (m/s)

k → Constante da frequência de ressonância do duto ;

A → Área da secção transversal do duto; (cm<sup>2</sup>)

V → Volume do cilindro (cm<sup>3</sup>)

Desta forma precisa-se dos seguintes dados para determinar o comprimento do duto: o volume do cilindro (0,000499 m<sup>3</sup>), a área da secção transversal do duto (0,0010 m<sup>2</sup>), a velocidade do som no duto (627 m/s), a rotação alvo (5.500 RPM), e a constante de ressonância, que deve ser de 4,65 para rotações abaixo dos 2500 RPM e de 2,1 para rotações acima desse regime.

Então:

$$L = \frac{1}{\left(\frac{627}{2,1 \cdot 5500}\right)^2 \cdot \frac{0,0010}{0,000499}} = \frac{1}{0,060} \therefore L = 166$$

É encontrado por tanto o comprimento dos dutos primários. São 166 centímetros que se unem aos 36 cm de diâmetro interno para formarmos os dutos primários. É importante saber que este valor encontrado equivale ao comprimento total do duto primário, que inclui o trecho do duto do próprio cabeçote. Por isso, para sabermos o comprimento dos dutos a serem fabricados usando tubos temos que subtrair o comprimento do duto no cabeçote do comprimento total. Por exemplo, se o duto medido da sede da válvula até o flange do cabeçote tem 10 centímetros de comprimento, subtraímos esse valor dos 166 centímetros e teremos um coletor com dutos primários de 156 cm. (PASSOS, 2015)

Com o avanço das pesquisas na área de sintonia de ondas descobriu-se que mudanças de diâmetro nos dutos primários também causam a reflexão de parte da energia do pulso original e desta forma os ganhos se estendem por uma faixa de rotações maior. Estes tipos de coletores são chamados de *steppedheaders* – coletor em degraus, numa tradução livre. (PASSOS, 2015)

Outra configuração de coletor que utiliza o mesmo princípio de múltiplos diâmetros é o chamado “triplo Y”. Este tipo de coletor se vale de múltiplas junções para criar pontos de reflexão estendendo a faixa de ganhos para baixo, ao contrário dos *steppedhead* que ampliam a faixa de torque para cima. (PASSOS, 2015)

“O diâmetro tanto do degrau de um coletor do tipo *stepped* quanto dos dutos secundários de um *triple y* deve ser o equivalente ao dobro da área de um duto primário. A partir daí deve-se seguir a mesma sequência de cálculos aplicada para se determinar os dutos primários. Entretanto, o comprimento dos dutos secundários deve ser preferencialmente de 1/3 do comprimento calculado. Desta forma aproveita-se o terceiro harmônico da onda fundamental, pois ele é o harmônico que apresenta as menores perdas em relação à onda fundamental. Aplica-se essa regra por questões de dimensionamento, porque fabricar um coletor com mais de quatro metros de comprimento seria inviável.” (PASSOS, 2015)

## 2.5 Escapamentos esportivos

O abafador esportivo, que também é conhecido como silenciador ou silencioso traseiro é capaz de melhorar a liberação de gases do motor e até influenciar na potência do carro. É muito procurado pelos motoristas por alterar o ruído do veículo.

O abafador é indispensável, sem ele, o nível do ruído fica mais alto, causando barulhos que não são agradáveis, por esse motivo alguns motoristas trocam seu abafador original por esportivo, devido o abafador esportivo permitir que o fluxo de ar seja otimizado, tendo como resultado a mudança do ruído do veículo e se dimensionado de forma correta, pode gerar um ganho de potência.

Atualmente o sistema de escape esportivo é composto por um cano direto que se origina ao término do coletor de escape e segue até o final do veículo, onde é conectado a um abafador esportivo, fornecido por diversas marcas, e com características dimensionais e composição diferente, que tornam os ruídos diferentes em cada tipo de abafador. Conforme imagem 15.

Imagem 15 – Escapamento esportivo



Disponível em <<https://www.canaldapeca.com.br/blog/defeito-no-catalisador-afeta-meio-ambiente-e-seu-bolso/>>

## 2.6 Teste com o sistema de escape original

Em busca da comprovação que os escapamentos esportivos influenciam de forma direta no desempenho dos veículos, foi utilizado um Fiat Punto 1.4 Attractive 2011 para realização de testes de torque e potência em um dinamômetro de inércia (disponibilizado pela FATEC Santo André).

A ficha técnica do veículo Fiat Punto 1.4 Attractive2011 disponibilizado pelo fabricante segue a baixo:

Imagem 16 – Ficha técnica Fiat Punto 1.4 Attractive 2011

### FICHA TÉCNICA

#### MOTOR

Dianteiro, transversal, 1.4 litros, 4 cilindros em linha; 8 válvulas; flex	gasolina e/ou álcool; acelerador eletrônico (drive by wire)
Número de válvulas por cilindro	2
Eixo de comando de válvulas	Um no cabeçote
Diâmetro x curso	72 x 84 mm
Cilindrada	1.368 cm <sup>3</sup>
Potência máxima (ABNT) / regime	85 cv / 5.750 rpm (gasolina)
	86 cv / 5.750 rpm (álcool)
Torque máximo (ABNT) / regime	12,4 kgfm / 3.500 rpm (gasolina)
	12,5 kgfm / 3.500 (álcool)
Taxa de compressão	10,35
Sistema de alimentação	Injeção eletrônica Magneti Marelli, multiponto, semi-sequencial
Ignição	Eletrônica digital incorporada ao sistema de injeção IAW 4 DF

Disponível em <<https://estadodeminas.vrum.com.br/fichatecnica/fiat/punto/2010/001248-3>>

Os dados do sistema de transmissão para realização dos cálculos necessários para verificar as relações de rolagem entre o Dinamômetro de Inércia e o veículo seguem a baixo:

Imagem 17 – Relação de transmissão Fiat Punto 1.4 Attractive 2011

### TRANSMISSÃO

Câmbio manual de 5 marchas (5 à frente e uma à ré); tração dianteira com juntas homocinéticas

Relação das marchas

1a marcha - 4,273

2a marcha - 2,238

3a marcha - 1,444

4a marcha - 1,029

5a marcha - 0,838

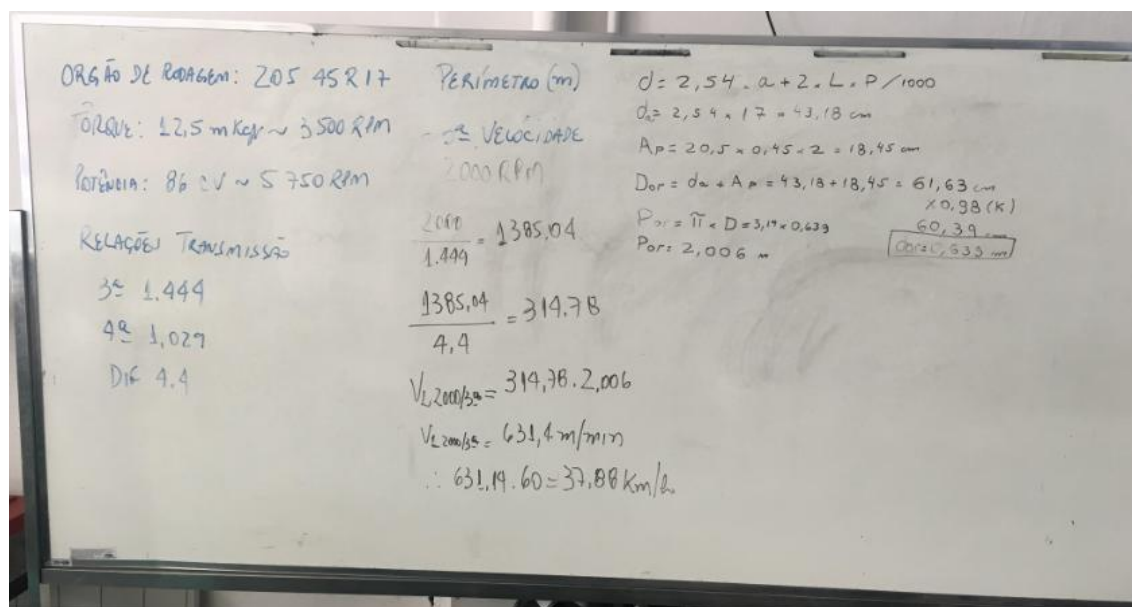
Ré - 3,909

Redução do diferencial 4,400

Disponível em <<https://estadodeminas.vrum.com.br/fichatecnica/ fiat/punto/2010/001248-3>>

Com esses dados foi realizado o cálculo da velocidade de parametrização entre o órgãos de rolagem (roda do veículo) e o rolo do dinamômetro, parametrizando assim a velocidade de ambos para garantir a parametrização dos testes:

Imagem 18 – Cálculo de velocidade de parametrização



Fonte: Autoria própria

Teste 29/09/2018:

Imagem 19 – Anotações dos parâmetros analisados no teste dia 29/09/2018

Ensaio	Vent	TempAmb	TempAdm	Temp motor	Pa	Pot	RPM	Torque	RPM	Pot de Perda	RPM	%PP	Aceleração	FC	Pot FC	RPM FC
1	30%	26.6	30°	85°	727	71.89	4950	12.00	2850	15.17	5800	20.53	584.1	1.0638	78.60	5265
2	30%	26.5	31°	83°	727	71.95	5100	12.02	2875	14.89	5825	20.27	587.6	1.0622	78.01	5417
3	30%	26.6	32°	85°	727	73.96	4875	12.05	2875	14.62	5900	19.76	595.5	1.0638	78.67	5186
4	30%	26.6	32°	86°	727	73.89	5125	12.06	2925	14.39	5850	19.47	595.5	1.0638	78.60	5451
5	30%	26.7	32°	86°	727	74.22	5000	12.04	2950	13.92	5750	18.75	591.4	1.064	78.97	5320
6	30%	26.7	32°	87°	727	73.52	5225	12.06	2875	13.90	5800	18.80	583.2	1.064	78.68	5318

DATA 29/09/18  
Estado: 100%  
Unidade: 60%  
Unidade: 1-1.5%

Fonte: Autoria própria

Tabela 1 – Descritivo dos dados obtidos no teste dia 29/09/2018

Ensaio	Vent	TempAmb	TempAdm	Temp motor	Pa	Pot	RPM	Torque	RPM	Pot de Perda	RPM
1	30%	26.6°C	30°C	85°C	727	71.89 CV	4950	12.00mkgf	2850	15.17 CV	5800
2	30%	26.5°C	31°C	83°C	727	71.95 CV	5100	12.02mkgf	2875	14.89 CV	5825
3	30%	26.6°C	32°C	85°C	727	73.96 CV	4875	12.05mkgf	2875	14.62 CV	5900
4	30%	26.6°C	32°C	86°C	727	73.89 CV	5125	12.06mkgf	2925	14.39 CV	5850
5	30%	26.7°C	32°C	86°C	727	74.22 CV	5000	12.04mkgf	2950	13.92 CV	5750

Ensaio	%PP	Aceleração	FC	Pot FC	RPM FC	Torque FC	RPM FC
1	20.53%	584.1 m	1.0638	78.60 CV	5265	12.76mkgf	3031
2	20.27%	587.6 m	1.0622	78.01 CV	5417	12.46mkgf	3053
3	19.76%	595.5 m	1.0638	78.67 CV	5186	12.81mkgf	3058
4	19.47%	595.5 m	1.0638	78.60 CV	5451	12.82mkgf	3111
5	18.75%	591.4 m	1.064	78.97 cv	5320	12.81mkgf	3138

Fonte: Autoria própria

## 2.7 Teste com o sistema de escape esportivo

Com a utilização dos mesmos parâmetros relacionados aos dados do sistema de transmissão, para realização dos cálculos necessários, para verificar as relações de rolagem

entre o Dinamômetro de Inércia e as rodas do veículo, foi tudo parametrizado para obter os resultados fiéis as proporções do primeiro teste e comprovar o real estudo prático.

Teste 20/10/2018:

Imagem 20 – Anotações dos parâmetros analisados no teste dia 20/10/2018

ENSAIO	Vent	TempAmb	TempAdm	Temp motor	Pa	Pot	RPM	Torque	RPM	Potência de perda	RPM	% PP	Aceleração	FC	Pot Fo	torque Fo
1	30	22°C	35°C	89°C	727	75.53	5025	11.76	2950	14.30	5875	18.93%	559.5	1.0453	78.95	12.29
2	30	22.1°C	30°C	82°C	727	76.28	5150	11.94	2900	15.04	5875	15.65%	553.3	1.0455	79.75	12.48
3	30	22.4°C	30°C	83°C	727	76.26	5525	12.09	2900	14.56	5850	15.85%	552.4	1.046	79.76	12.64
4	30	22.6°C	30°C	83°C	727	76.47	5600	12.11	2875	14.31	5600	15.83%	550.7	1.0461	80.01	12.67
5	30	22.7°C	29°C	84°C	727	76.54	5675	12.11	2925	14.07	5875	15.82%	545.4	1.0467	80.11	12.67

20/10/2018  
 Ethanol 100%  
 Pressão 72.7 mmHg  
 - 40% 90%

Fonte: Autoria própria

No segundo teste, realizado no dia 20/10/2018, foi utilizado o escapamento esportivo. Os resultados adquiridos nesse teste podem ser observados na tabela 2 a baixo.

Tabela 2 – Descritivo dos dados obtidos no teste dia 20/10/2018

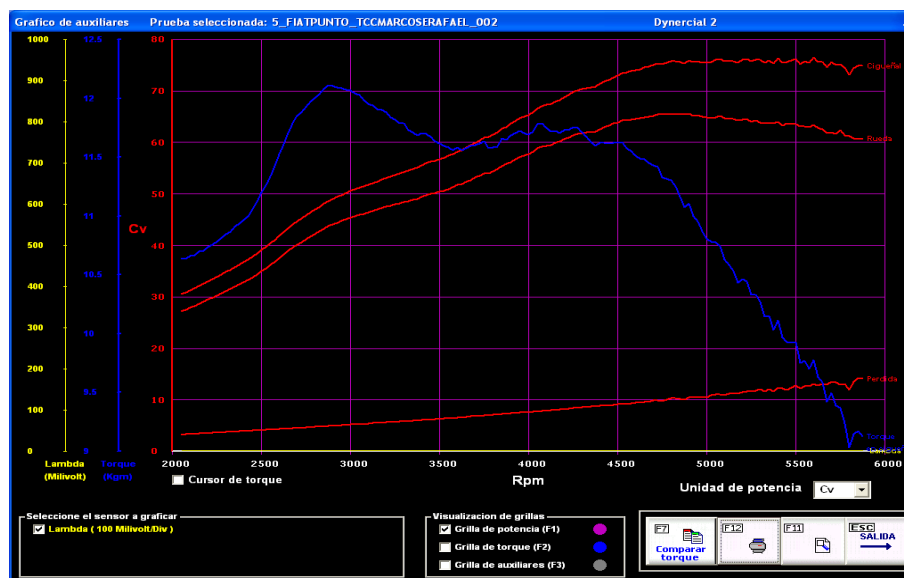
Ensaio	Vent	TempAmb	TempAdm	Temp motor	Pa	Pot	RPM	Torque	RPM	Pot de Perda	RPM
1	30%	22°C	35°C	89°C	727	75.53 CV	5025	11.76mkgf	2950	14.30 CV	5875
2	30%	22.1°C	30°C	82°C	727	76.28 CV	5150	11.94mkgf	2900	15.04 CV	5875
3	30%	22.4°C	30°C	83°C	727	76.26 CV	5525	12.09mkgf	2900	14.56 CV	5850
4	30%	22.6°C	30°C	83°C	727	76.47 CV	5600	12.11mkgf	2875	14.31 CV	5600
5	30%	22.7°C	29°C	84°C	727	76.54 CV	5675	12.11mkgf	2925	14.07 CV	5875

Ensaio	%PP	Aceleração	FC	PotFc	RPM FC	Torque FC	RPM FC
1	18.93%	559.5 m	1.0453	78.95 CV	5252	12.29mkgf	3083
2	15.56%	553.3 m	1.0455	79.75 CV	5384	12.48mkgf	3031
3	15.85%	552.4 m	1.046	79.76 CV	5779	12.64mkgf	3033
4	15.83%	550.7 m	1.0464	80.01 CV	5859	12.67mkgf	3008
5	15.82%	545.4 m	1.0467	80.11 CV	5940	12.67mkgf	3061

Fonte: Autoria própria

Como o teste de número 4 apresenta a maior repetibilidade de valores, na imagem 21 apresentado o gráfico relacionado ao torque e potência obtidos nesse teste.

Imagem 21 – Gráfico de torque e potência do teste 4 do sistema de escape esportivo



Fonte: Autoria própria

## 2.8 Comparativo dos testes

No primeiro teste, realizado no dia 29/09/2018, foi utilizado o escapamento normal de fábrica do Fiat Punto 1.4 Attractive 2011. Os resultados adquiridos nos testes podem ser observados na tabela a baixo. Esses resultados foram encontrados através de testes no dinamômetro disponibilizado pela Fatec Santo André, e com a orientação do professor responsável pelo acompanhamento dos testes Marco Aurélio Fróes. Neles podemos encontrar valores ligados à eficiência do carro, como destaques torque, potência e suas respectivas rotações.

Ao finalizarmos os testes de eficiência do Fiat Punto 1.4 Attractive 2011, chegamos no momento de realizar as comparações de valores, tanto no sistema de escape esportivo, quanto no sistema de escape original de fábrica. Para a comparação destes dois, utilizamos os valores mais constantes já com o fator de correção de potência, torque e rotações, utilizando o ensaio de número 4 encontrados nas tabelas 1 e 2, e os colocamos em evidência na tabela 3.



Tabela 3 – Descritivo comparativo dos dados obtidos

Ensaio 4	Potência FC	Rotação FC	Torque FC	Rotação FC
Teste 1	78.60 CV	5451	12.82mkgf	3111
Teste 2	80.01 CV	5859	12.67mkgf	3008

Fonte: Autoria própria

Após avaliação dos resultados, foi possível observar que no teste 1 relacionado a utilização do sistema de escape original do veículo, a potência e rotações já com o fator de correção se manteve inferior que no teste 2 relacionado ao sistema de escape esportivo, porém o torque e rotações do teste 1 apareceu maior em relação ao teste 2.

Com os dados acima e os estudos realizados podemos observar que devido o volume de ar dentro do sistema de escape original ser maior que o volume de ar dentro do sistema de escape esportivo, o motor trabalha de forma mais livre no sistema de escape esportivo obtendo um ganho de 1,41 CV ou 1,76%, porém devido à ausência de contrapressão já conhecida devido ao princípio de Venturi, o torque “escorrega” no sistema de escape esportivo, por não haver grandes restrições para gerar a contrapressão, gerando um torque menor no veículo com o sistema esportivo de 0,15 mkgf ou 1,17%.

Também foi avaliado o nível de ruído gerado pelo sistema de escape esportivo, onde o mesmo alcançou a faixa de 103,4 dB na máxima e 68,8 dB. Conforme o conselho nacional de trânsito CONTRAN, (Art. 2º Todos os veículos automotores, nacionais ou importados, produzidos a partir de 1º de janeiro de 2002, deverão obedecer o nível mínimo permissível de pressão sonora emitida por buzina ou equipamento similar, de 93 decibéis - dB(A), conforme determinado no Anexo.). Desta maneira o sistema de escape esportivo está em desacordo com as normas regulamentadoras do CONTRAN, porque o veículo utilizado foi confeccionado em 2011 e apresentou 103,4 dB na máxima de ruído gerado, e de acordo com a norma, veículos de 2002 em diante devem produzir ruído máximo de 93 dB.

## 2.9 Volume de gás

Para verificar a capacidade volumétrica de gás de escape resultante da queima da mistura ar/combustível, teve-se como proposta a realização de cálculos de volume para verificar o volume de gás total suportado pelo sistema de escape original e o sistema de escape esportivo.

### 2.9.1 Volume de gás no sistema de escape original

O sistema de escape original do veículo Fiat Punto 1.4 Attractive 2011 possui um sistema de escape composto por silencioso intermediário, silencioso traseiro e dutos de escape. Através da inserção de água como método de medição do volume de ar que cabe dentro desses sistemas foram encontrados os seguintes dados:

-Volume interno do silencioso traseiro =  $0,008748 \text{ m}^3$

-Volume interno do silencioso intermediário =  $0,002609 \text{ m}^3$

-Volume interno dos dutos de escape =  $0,008164 \text{ m}^3$

Deste modo, realizando a somatória dos valores chegamos a um volume de ar total admissível no sistema de escape original de  $0,019521 \text{ m}^3$ .

Imagem 22 – Componentes do sistema de escape original do veículo



Fonte: Autoria própria

### 2.9.2 Volume de gás no sistema de escape esportivo

Com a introdução do sistema de escape esportivo disponível no mercado, é notado que primeiramente os dutos de escape originais são mantidos, após são retirados o silencioso traseiro e o silencioso intermediário. No lugar do silencioso traseiro, é inserida uma ponteira esportiva com dimensões menores que a original e com um sistema interno modificado, que gera uma sonoridade diferenciada e um volume interno menor, em comparativo com o original, e no local do silencioso intermediário é inserido um duto de escape de mesmo diâmetro dos dutos originais do veículo.

Os volumes obtidos através da inserção de água nos componentes como método de medição do volume de ar que os mesmos podem suportar aparecem a baixo:

- Volume interno da ponteira esportiva =  $0,002375 \text{ m}^3$
- Volume interno dos dutos de escape original =  $0,008164 \text{ m}^3$
- Volume interno do duto de escape inserido =  $0,000739 \text{ m}^3$

Com essas informações é possível observar que o volume de ar admissível no sistema de escape esportivo é de  $0,011278 \text{ m}^3$ . Se subtrairmos do volume de ar admissível no sistema de escape original, o volume de ar admissível no sistema de escape esportivo é obtido como resultado uma diminuição de  $0,008243 \text{ m}^3$  de ar do sistema de escape.

Imagem 23 – Componentes do sistema de escape esportivo



Fonte: Autoria própria

### 3 CONCLUSÃO

Ao longo deste trabalho, foi verificado que os veículos movidos à combustão interna possuem vários componentes, e um desses componentes é o sistema de escape, que canaliza para fora do veículo, os gases gerados dentro do motor. O sistema de escape é composto por diversos componentes e cada um tem sua função, como o catalisador, que possui a principal função de transformar os gases tóxicos, gerados através da queima do combustível dentro da câmara de combustão, em gases menos poluentes e nocivos.

Através do estudo, foi verificado que o sistema de escape tem real influencia sobre o desempenho dos veículos, pois é ele que é responsável pela liberação dos gases. Se os gases tiverem dificuldade para sair, o motor trabalhará com menor desempenho, porém se as saídas estiverem muito liberadas, o motor fará esforço desnecessário..

Com os testes realizados, foi possível verificar que devido o volume de ar dentro do sistema de escape original ser maior que o volume de ar dentro do sistema de escape esportivo, o motor trabalha de forma mais livre no sistema de escape esportivo obtendo um ganho de 1,41 CV ou 1,76%, porém devido à ausência de contrapressão já conhecida devido ao princípio de Venturi, o torque “escorrega” no sistema de escape esportivo, por não haver grandes restrições para gerar a contrapressão, gerando um torque menor no veículo com o sistema esportivo de 0,15 mkgf ou 1,17%.

Realizando a comparação com a literatura, o sistema de escape esportivo está em desacordo com as normas regulamentadoras do CONTRAN, porque o veículo utilizado foi confeccionado em 2011 e apresentou 103,4 dB na máxima de ruído gerado, e de acordo com a norma, veículos de 2002 em diante devem produzir ruído máximo de 93 dB.

Com relação à massa de ar admissível no sistema de escape esportivo em relação ao sistema de escape original, foi observado como resultado uma diminuição de  $0,008243 \text{ m}^3$  de ar do sistema de escape.

Chegando a um veredicto final, podemos concluir que a utilização de um sistema de escape esportivo desenvolve uma maior potência nos veículos, porém o torque tende a diminuir e o ruído aumenta acima do nível permitido pelo CONTRAN.

#### **4 PROPOSTA FUTURA**

Como proposta futura, tem-se como objetivo o estudo da influência dos escapamentos esportivos nos veículos com o sistema de comando de válvulas variado. (VVT)

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**. Volume 1. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2013.

BARBOSA,Roberto Ribas. **Mecânica de automóveis, Motores de combustão interna – Alcool e Gasolina**. Rio Grande do Sul: Santa Maria, 2003.

Como funciona e para que serve o catalisador automotivo? Carro de garagem, São Bernardo do Campo. Disponível em <<https://www.carrodegaragem.com/como-funciona-serve-catalisador-automotivo>>. Acesso em: 28 mai. 2018.

Como funciona um silenciador de carro? Industria Hoje, São Bernardo do Campo. Disponível em <<https://www.industriahoje.com.br/como-funciona-o-silenciador-de-um-carro>>. Acesso em 04 jul. 2018.

Defeito no catalisador afeta o meio ambiente e seu bolso. Canal da Peça, São Bernardo do Campo. Disponível em <<https://www.canaldapeca.com.br/blog/defeito-no-catalisador-afeta-meio-ambiente-e-seu-bolso/>>. Acesso em: 02 jul. 2018.

Durabilidade do catalisador. AE Classic, São Bernardo do Campo. Disponível em <<http://www.autoentusiastasclassic.com.br/2011/04/durabilidade-do-catalisador-e-revisao.html>>. Acesso em 04 jul. 2018.

Escapamento. Portal São Francisco, São Bernardo do Campo. Disponível em <<https://www.portalsaofrancisco.com.br/mecanica/escapamento>>. Acesso em: 25 mai. 2018.

Ficha técnica Fiat Punto motor 1.4 Fire. São Bernardo do Campo. Disponível em <<https://estadodeminas.vrum.com.br/fichatecnica/fiat/punto/2010/001248-3>>. Acesso em 18 nov. 2018

Função do catalisador no carro. Cultura Mix, São Bernardo do Campo. Disponível em<<http://autos.culturamix.com/mecanica/funcao-do-catalizador-do-carro>>. Acesso em 04 jul. 2018.

Funcionamento do motor de combustão interna. Mundo Educação, São Bernardo do Campo. Disponível em <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combustao-interna.htm>>. Acesso em: 02 jun. 2018.

Ilza, Miriam Santana. História do automóvel. Infoescola, São Bernardo do Campo. Disponível em <<https://www.infoescola.com/curiosidades/historia-do-automovel/>>. Acesso em: 25 mai. 2018.

SANTOS, Juliano Viali dos. Ruídos de veículos e som automotivo. JUS, São Bernardo do Campo. Disponível em <<https://jus.com.br/artigos/8556/ruidos-de-veiculos-e-som-automotivo>>. Acesso em 07 nov. 2018.

SILVA, Marcos Noé Pedro da. "Cilindradas de um Motor a Combustão"; *Brasil Escola*. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/matematica/cilindradas-um-motor-combustao.htm>>. Acesso em: 02 jul. 2018.

Sistema de Escape: Coletores, Dutos e Emissões. Flatout, São Bernardo do Campo. Disponível em <<https://www.flatout.com.br/sistemas-de-escape-coletores-dutos-e-emissoes-parte-1/>>. Acesso em: 02 jun. 2018.

Sistema de Exaustão. Oficina Riviera, São Bernardo do Campo. Disponível em <<http://oficinariviera.com.br/site/dicas/87-sistema-de-exaustao/>>. Acesso em 04 jul. 2018.

Sistema refletivo wiest. Wiest, São Bernardo do Campo. Disponível em <<http://www.wiest.com.br/index.php?idioma=1&empresa=20&conteudo=210&sub=2002>>. Acesso em 04 jul. 2018.

Taxa de compressão. Carup, São Bernardo do Campo. Disponível em <<https://autocarup.com.br/taxa-de-compressao/>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

Tubo de Venturi, Mundo Educação, São Bernardo do Campo. Disponível em <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/tubo-venturi.htm>>. Acesso em 04 jul. 2018.