

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ESTUDO EXPERIMENTAL DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE AR DE UM MOTOR DE
COMBUSTÃO INTERNA

por

Victor de Oliveira Balaguer

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Abril de 2023

CIP - Catalogação na Publicação

Balaguer, Victor de Oliveira
Estudo experimental do sistema de captação de ar de
um motor de combustão interna / Victor de Oliveira
Balaguer. -- 2023.
28 f.
Orientador: Alexandre Vagtinski de Paula.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto
Alegre, BR-RS, 2023.

1. Escoamento. 2. Motor de combustão interna. 3.
Potência. 4. Sistema de Admissão. 5. Dinamômetro
Inercial. I. de Paula, Alexandre Vagtinski, orient.
II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Victor de Oliveira Balaguer

ESTUDO EXPERIMENTAL DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE AR DE UM MOTOR DE
COMBUSTÃO INTERNA

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Cirilo Seppi Bresolin
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Energia e Fenômenos de Transporte

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Vagtinski de Paula

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Alexandre Vagtinski de Paula (Presidente)

Prof. Dr. Fabiano Disconzi Wildner

Prof. Dr. Rodrigo Rossi

Porto Alegre, Abril de 2023

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha família, que sempre esteve ao meu lado, apoiando-me incondicionalmente em cada etapa da minha jornada. Ao meu pai, Vicente, sou grato por tudo que já fez por mim, e em especial, à minha mãe, Alexandra, que foi a minha principal inspiração e motivação. Sem o amor, a orientação e os ensinamentos dela, eu não teria chegado até aqui. Dedico este trabalho a vocês, com todo o meu coração e gratidão.

AGRADECIMENTOS

À minha namorada, Larissa, por estar junto comigo prestando todo o suporte, conforto e amor principalmente nessa fase final do curso de engenharia mecânica.

À oficina RC Racing por me fornecer todo o suporte necessário para a execução deste trabalho.

À empresa RCI por me fornecer todos os materiais necessários para a execução deste trabalho.

Ao Professor Dr. Alexandre Vagtinski de Paula pela orientação, além de toda a ajuda e apoio durante a construção deste trabalho.

de Oliveira Balaguer, Victor. **ESTUDO EXPERIMENTAL DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE AR DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA**. 2023. 28 páginas. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

RESUMO

O mercado de reposição de autopeças é importante na cadeia automotiva, pois é nele que ocorrem inovações e avanços tecnológicos em diversas peças. Os veículos produzidos em larga escala possuem muitas limitações em sua eficiência, principalmente causadas por questões econômicas para tornar o produto mais barato e ampliar os lucros do fabricante. Entre essas limitações, pode-se citar o filtro de ar, que é um dos elementos do sistema de admissão. O filtro de ar original geralmente é confeccionado de papel e pode gerar elevada perda de carga, além de ter exposição desnecessária ao calor devido ao posicionamento no cofre do motor. Com isso, abre-se uma grande área para as empresas de pós-venda criarem dispositivos e elementos de filtragem de ar de “alto desempenho”. O presente estudo busca avaliar a melhoria causada pelo emprego dos filtros esportivos automotivos na performance de um motor automotivo. Testes dinâmométricos foram realizados e mostram que é possível obter-se uma melhoria de potência na roda do veículo testado em até 7,92% com o uso de um sistema SRI (*Short Ram Intake*) em comparação com o filtro original.

PALAVRAS-CHAVE: filtro de ar esportivo, fluxo de ar, SRI - *Short Ram Intake*, perda de carga, potência.

de Oliveira Balaguer, Victor. **EXPERIMENTAL STUDY OF THE AIR CAPTURE SYSTEM OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE**. 2023. 28 pages. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

ABSTRACT

The aftermarket auto parts are important in the automotive chain, as it is where innovations and technological advances occur in various parts. Vehicles produced on a large scale have many limitations in their efficiency, mainly caused by economic issues to make the product cheaper and increase the manufacturer's profits. Among these limitations, we can mention the air filter, which is one of the elements of the intake system. The original air filter is usually made of paper and can generate a high pressure drop, in addition to having unnecessary exposure to heat due to its positioning in the engine bay. This opens up a large area for aftermarket companies to create “high performance” air filtration devices and elements. The present study seeks to evaluate the improvement caused by the use of automotive sports filters in the performance of an automotive engine. Dynamometric tests were carried out and show that it is possible to obtain a power improvement in the tested vehicle's wheel of up to 7.92% with the use of an SRI (Short Ram Intake) system in comparison with the original filter.

KEYWORDS: sports air filter, air flow, SRI - short ram intake, head loss, power.

NOMENCLATURA

Símbolos	Nomenclatura	Unidade
n_f	Rendimento de conversão do combustível	[adimensional]
m_a	Massa de ar	[kg]
\dot{m}_a	Vazão mássica de ar	[kg/s]
\dot{m}_c	Vazão mássica de combustível	[kg/s]
n	Velocidade rotacional da árvore de manivelas	[rpm]
Q_{HV}	Calor liberado pelo combustível	[MJ/kg]
C/A	Razão combustível/ar	[adimensional]
n_R	Número de revoluções da árvore de manivelas por número de ignições	[adimensional]
V_d	Volume deslocado do cilindro	[m ³]
η_v	Rendimento volumétrico	[adimensional]
T	Torque	[Nm]
K	Temperatura	[K]
P_a	Pressão	[Pa]
P	Potência	[W]
ρ_a	Massa específica do ar	[kg m ⁻³]

Abreviaturas e acrônimos

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SRI	<i>Short Ram Intake</i>
OBD	<i>On-Board Diagnostics</i>
MAF	<i>Mass Air Flow</i>
MAP	<i>Manifold Absolute Pressure</i>
ACT	<i>Active Control Technology</i>
DOHC	<i>Double Overhead Camshaft</i>
VTEC	<i>Variable Valve Timing and Lift Electronic Control</i>
VTC	<i>Variable Valve Timing and Lift Control</i>
I-VTEC	<i>Intelligent Variable Valve Timing and Lift Electronic Control</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JIS	<i>Japanese Industrial Standards</i>
JCGM	<i>Joint Committee for Guides in Metrology</i>
GUM	<i>Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement</i>
rpm	Rotação por minuto
pme	Pressão média efetiva
UWTSD	<i>University of Wales Trinity Saint David</i>
PMS	Ponto morto superior
PMI	Ponto morto inferior

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. MOTIVAÇÃO	1
3. OBJETIVOS	1
3.1 Objetivo geral	1
3.2 Objetivos Específicos	1
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
5.1 Ciclo Otto	3
5.2 Coletor de admissão	4
5.3 Torque	4
5.4 Potência	4
5.5 Pressão média efetiva	4
5.6 Rendimento de conversão do combustível	4
5.7 Relação combustível/ar	5
5.8 Rendimento volumétrico	5
5.9 Relações entre parâmetros de desempenho	6
5.10 Sensores MAF e MAP	6
6. CASO DE ESTUDO	7
6.1 Apresentação do aparato experimental	7
6.1.2 Veículo utilizado	7
6.1.3 Filtro inbox de papel	8
6.1.4 Filtro inbox de tecido	8
6.1.5 Filtros cônicos	9
6.1.6 Variações no sistema de admissão de ar	9
6.1.7 Dinamômetro de rolo	10
6.2 Procedimento experimental	11
7. RESULTADOS E ANÁLISE	12
8. CONCLUSÕES	15
8.1 Sugestões para trabalhos futuros	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
APÊNDICE	18
APÊNDICE A - Cálculo da incerteza de medições	18
ANEXO	19
ANEXO A - Comparação das curvas de torque e potência pela K&N.	19

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, hoje são mais de 59 milhões de veículos rodando pelo Brasil, sendo que uma parcela de seus proprietários são apaixonados pelo mundo automotivo e buscam melhorar o desempenho e customizar seus carros com as melhores e mais criativas peças do mercado de reposição, também chamado de peças *aftermarketing* (IBGE, 2021). Além disso, esse setor de autopeças é um importante elemento na cadeia automotiva, pois é dessas empresas que ocorrem avanços tecnológicos, inovações e aprimoramento em diversas peças. Sabe-se que os veículos produzidos em larga escala possuem muitas limitações quanto a sua eficiência, principalmente causadas por questões econômicas para tornar o produto mais barato, visando ampliar os lucros do fabricante. E entre elas pode-se citar as restrições no sistema de admissão e exaustão do motor, pois sendo um dos elementos desse sistema o filtro de ar, o elemento filtrante original atualmente é confeccionado de papel e é projetado para fornecer a filtragem do ar em qualquer tipo de ambiente, podendo ser extremo ou não. Isso resulta em filtros com uma restrição muito grande no escoamento, proporcionando elevada perda de carga, além de ter uma exposição desnecessária ao calor devido ao posicionamento no cofre do motor. Portanto, abre-se uma grande área para as empresas de pós-venda criarem dispositivos e elementos de filtragem de ar de “alto desempenho”. Brunetti (2012) afirma que a produção de potência de um motor de combustão interna é originada do fornecimento de calor resultante da queima da mistura ar-combustível, ou seja, quanto mais ar houver, mais energia será liberada e, conseqüentemente, mais força será produzida. Esta é uma relação direta e simples, mas que tem um impacto significativo no desempenho do veículo.

2. MOTIVAÇÃO

Devido à sua importância, os filtros de ar são objeto de diversos estudos que visam extrair a máxima eficiência possível do componente. Esses estudos são realizados principalmente de forma experimental, utilizando um equipamento capaz de medir a vazão de ar, chamado popularmente de “bancada de fluxo”. Existem diversas empresas no mercado que vendem esses produtos com a promessa de aumentar o torque e a potência dos motores, esses filtros esportivos são uma opção popular escolhida principalmente por entusiastas, e é importante investigar a veracidade dessas alegações. É nesse contexto que este trabalho se insere, buscando fornecer informações confiáveis e comprovadas experimentalmente sobre a performance dos filtros esportivos automotivos já instalados no veículo. Com isso, este estudo tem como principal motivação apresentar uma valiosa contribuição para aqueles que buscam informações sólidas e embasadas sobre as opções disponíveis no mercado de filtros.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho é verificar até que ponto os filtros de ar de motor do mercado de reposição influenciam no desempenho de um carro, agregando conhecimento teórico sobre o assunto no meio acadêmico, e esclarecendo dúvidas sobre a eficiência dos filtros, principalmente, os esportivos dos quais muitas marcas citam um ganho de torque e potência devido ao maior desempenho no escoamento de ar e menor temperatura do ar admitido.

3.2 Objetivos Específicos

Para cumprir objetivo geral do trabalho, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Revisar teoricamente o sistema de admissão de ar/combustível, eficiências e analisar as influências do seu dimensionamento;
- b) Diferenciar os modelos de filtros de ar disponíveis no mercado nacional;
- c) Realizar experimentos com o auxílio de um dinamômetro, de forma a determinar o ganho de torque e potência em todas as faixas de rotação do motor em cada modelo de filtro;
- d) Realizar a análise dos resultados.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Khaifullizan et al. (2021) realizaram um estudo experimental dos efeitos da temperatura do ar no sistema de admissão de um veículo Perodua Myvi com motor de 1300 cm³ de volume. Os testes de performance foram realizados por um dinamômetro da marca Mustang, onde o consumo de combustível foi mensurado por intermédio da rede veicular (OBD-II, *On Board Diagnostics*) e a temperatura do ar na entrada foi controlada por um aquecedor. Verificou-se que houve uma redução no consumo de combustível quando a temperatura de entrada de ar foi maior. Isso pode ser explicado pela diminuição da disponibilidade de oxigênio no ar quente em relação ao ar frio, devido à diminuição da massa específica do ar resultante da dilatação térmica. Como consequência, menos combustível foi necessário para realizar o processo de combustão. Isso resultou, também, em menor torque e potência produzidos pelo motor. O resultado geral mostrou que o desempenho do motor foi maior quando a temperatura do ar na entrada é menor.

Ratiu et al. (2013) realizaram testes de um dispositivo fabricado pelos próprios autores que tinha como finalidade captar o ar do sistema de admissão a uma temperatura menor. O dispositivo consistia em uma tubulação que captava o ar da parte frontal, na região mais externa possível do veículo, evitando o calor do interior do cofre do motor. As medições experimentais foram realizadas em diferentes veículos rodando em condições reais de tráfego. Os resultados experimentais foram processados e comparados com os obtidos durante a operação sem estes dispositivos. Concluiu-se que as temperaturas das superfícies externas dos filtros em combinação com o dispositivo eram menores do que as do filtro de ar original.

Birtok-Baneasa (2018) realizou um estudo da influência da dispersão do calor sobre um filtro de ar e o coletor de admissão. Os dados foram captados com o auxílio de câmera termográfica em diferentes regimes de funcionamento de um veículo FIAT Panda. Com o reposicionamento do filtros de ar e do coletor de admissão concluiu-se que a solução construtiva original escolhida para o FIAT Panda leva a um aquecimento adicional do ar destinado ao funcionamento do motor, promovendo desta forma o aparecimento desnecessário de sobreaquecimento do motor, de detonação e desgaste anormal, tendo algumas influências na redução do coeficiente de pressão do cilindro do motor, o que também provoca um efeito direto sobre o consumo de combustível e emissões de gases.

Dziubak (2021) teve como objetivo de estudo a verificação do desempenho dos filtros de ar plissados (sanfonados), formato este mais tradicional e utilizado no mercado. Foram analisados 44 filtros recomendados por montadoras em uma bancada de testes, e a velocidade de separação, que é definida como a velocidade média da corrente de ar que flui através da superfície do meio filtrante, ficou dentro da faixa exigida pelas montadoras em 62% das amostras. Concluiu-se também que quando utilizado o poliéster no elemento filtrante, o filtro se torna mais eficiente e preciso quando se observada a queda de pressão e a velocidade de

separação do que os filtros com materiais convencionais à base de celulose. Porém, a absorção de poeira desses filtros é menor que as de papel.

Cavalli et al. (2015) analisaram diversos modelos de filtro de ar do mercado de reposição, especialmente aqueles denominados esportivos. O objetivo era o de mostrar até que ponto esses componentes aumentavam o escoamento de ar em relação às unidades de produção padrão e qual design tinha menos influência no escoamento de ar para um motor. Para tanto, testes em uma bancada do escoamento de ar foram realizados nas instalações da UWTSD Swansea, além de análises microscópicas comparando os filtros. Os resultados forneceram uma visão interessante sobre a composição e as características do escoamento de ar das principais marcas no mercado de filtros de ar de desempenho. Foi destacado o elemento filtrante à prova d'água patenteado da Sprint Filter, que, apesar de ter perfurações menores, apresentava performance parecida aos melhores filtros de tecido de algodão e tinha escoamento com velocidade quase três vezes maior do que um filtro de esponja. Entre os filtros de algodão, o produto da K&N foi considerado o melhor

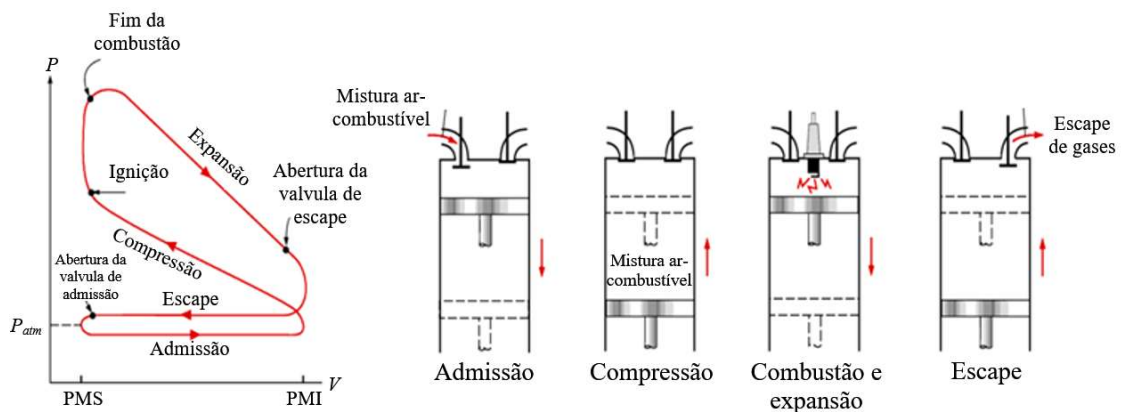
5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são apresentados conceitos fundamentais para a compreensão adequada do trabalho.

5.1 Ciclo Otto

Brunetti (2012) comenta que o ciclo Otto é o ciclo de potência que representa o processo de combustão utilizado em motores a combustão interna de quatro tempos de ignição por centelha. Ele foi desenvolvido pelo engenheiro alemão Nikolaus Otto no século XIX e é o mais comum em motores a gasolina. O ciclo Otto é composto por quatro etapas: admissão, compressão, combustão/expansão e escape. Durante a admissão, uma mistura de ar e combustível é admitido no cilindro através da válvula de admissão. Em seguida, durante a compressão, o êmbolo se movimenta e comprime a mistura admitida até o ponto morto superior (PMS). Na sequência, a centelha da vela de ignição provoca a combustão dessa mistura, produzindo a expansão dos gases, que empurra o êmbolo para o lado oposto, até o ponto morto inferior (PMI). Por fim, durante a etapa de escape, o êmbolo é elevado novamente e os gases residuais (chamados de gases produtos da combustão) são expelidos pelo escapamento. A Figura 1 exibe um desenho esquemático do ciclo real em motores a combustão interna de quatro tempos de ignição por centelha e dos tempos envolvidos.

Figura 1: Desenho esquemático do ciclo real em motores à explosão por centelha.



Fonte: Adaptado de Çengel et al., 2015.

5.2 Coletor de admissão

De acordo com Heywood (2018), o coletor de admissão é um componente do sistema de admissão de ar de um motor de combustão interna que é responsável por fornecer ar para mistura de ar e combustível para as câmaras de combustão dos cilindros do motor. O coletor de admissão é projetado para distribuir uniformemente o ar para cada cilindro do motor. Juntamente com o filtro de ar, o coletor de admissão restringe a quantidade de ar que um motor de determinada cilindrada pode induzir.

5.3 Torque

De acordo com Brunetti (2012), a força resultante no êmbolo, é transmitida à biela e, posteriormente, à manivela, gerando uma força tangencial e, conseqüentemente, um momento instantâneo no eixo do motor. Enquanto o motor está em funcionamento, é gerado um momento torçor médio positivo, que é comumente chamado de torque.

5.4 Potência

Brunetti (2012) descreve que a quantidade total de potência que um motor pode produzir é dado por:

$$P = \frac{2\pi nT}{60} \quad (1)$$

onde n é a velocidade rotacional da árvore de manivela (rpm), e T é torque gerado pelo motor (Nm).

5.5 Pressão média efetiva

De acordo com Martins (2006), um parâmetro importante na comparação entre motores é a chamada pressão média efetiva (pme), que é definida como o trabalho realizado por unidade de volume expandido nos cilindros do motor. Com a pme é possível comparar motores de diferentes cilindradas, para distinguir aquele em que a cilindrada foi melhor aproveitada para produção de trabalho, sendo dada na forma:

$$pme = \frac{P n_R}{V_d n} \quad (2)$$

onde P é a potência (W), n_R é número de revoluções da árvore de manivelas por número de ignições, V_d é o volume deslocado do cilindro (m^3) e n é a velocidade rotacional da árvore de manivela (rpm).

5.6 Rendimento de conversão do combustível

Martins (2006) afirma que esse rendimento nos indica a efetividade da combustão, ou seja, a relação entre o calor que teoricamente o combustível poderia fornecer e o calor que é efetivamente liberado na combustão, dado por:

$$\eta_c = \frac{P}{\dot{m}_c Q_{HV}} \quad (3)$$

onde P é a potência (W), \dot{m}_c é a vazão mássica de combustível (kg/s) e Q_{HV} o calor liberado pelo combustível (MJ/kg).

5.7 Relação combustível/ar

De acordo com Brunetti (2012), a relação combustível/ar, do ponto de vista da admissão, é simplesmente o quociente entre a massa de combustível e a massa de ar que entra no motor. Essa relação pode ser dividida em quatro tipos fundamentais: limite pobre, que é a mistura mais pobre possível em combustível que ainda permite manter o motor estável; mistura econômica, que é levemente pobre de forma que o excesso de ar provoque uma combustão completa e adequada do combustível admitido; mistura de máxima potência, que é uma mistura levemente rica de forma que o excesso de combustível provoque a combustão completa e adequada do ar que o motor pode admitir; e, por fim, limite rico, que é uma condição na qual o excesso de combustível dificulta a propagação da chama. A equação para a relação combustível/ar pode ser dada por:

$$C/A = \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_a} \quad (4)$$

onde \dot{m}_c é a vazão mássica de combustível (kg/s) e \dot{m}_a é a vazão mássica de ar (kg/s).

5.8 Rendimento volumétrico

Heywood (2018) diz que o rendimento volumétrico de um motor é a medida da quantidade de ar que ele é capaz de admitir e queimar de maneira eficiente. Pode ser obtido:

$$\eta_v = \frac{2\dot{m}_a}{\rho_{a,e} V_d n} \quad (5)$$

onde \dot{m}_a é a vazão mássica de ar (kg/s), $\rho_{a,e}$ é a massa específica do ar de entrada (kg m^{-3}), V_d é o volume deslocado do cilindro (m^3) e n é a velocidade rotacional da árvore de manivela (rpm).

O rendimento volumétrico é importante porque determina a quantidade de ar disponível para a combustão e, portanto, a potência produzida pelo motor. Quanto maior for o rendimento volumétrico, mais potência o motor será capaz de produzir. Ela é afetada pelas seguintes variáveis do combustível, projeto e operação do motor:

- Tipo de combustível, mistura de ar/combustível, fração de combustível vaporizado no sistema de admissão;
- Temperatura da mistura;
- Relação entre escape e pressão do coletor de admissão;
- Compressão;
- Velocidade do motor;
- Coletor de admissão e escape;
- Geometria, tamanho, levantamento e tempo das válvulas de admissão e de escape.

5.9 Relações entre parâmetros de desempenho

Heywood (2018) deixa claro a importância dos parâmetros definidos para o desempenho do motor, e se torna evidente quando a potência é expressa em termos desses parâmetros. A partir das definições de potência do motor, pressão média efetiva, eficiência de conversão de combustível, relação combustível-ar, e rendimento volumétrico, a seguinte relação entre os parâmetros de desempenho do motor pode ser desenvolvida, e mostra que a potência a uma determinada rotação de um motor de quatro cilindros é proporcional à massa de ar admitido no cilindro:

$$P = \frac{n_c \eta_v n V_d Q_{HV} \rho_{a,e} \left(\frac{C}{A}\right)}{2} \quad (6)$$

O motor precisa de um volume adequado de ar para queimar o combustível de maneira eficiente e produzir potência. Quanto maior a massa de ar admitida, mais combustível pode ser queimado e, portanto, mais torque e potência serão produzidos. A equação para o torque produzido é dada por:

$$T = \frac{n_c \eta_v n V_d Q_{HV} \rho_{a,e} \left(\frac{C}{A}\right)}{4\pi} \quad (7)$$

onde n_c é o rendimento de conversão do combustível, o η_v é o rendimento volumétrico, $\frac{C}{A}$ é a relação combustível/ar, Q_{HV} o calor liberado pelo combustível (MJ/kg), $\rho_{a,e}$ é a massa específica do ar de entrada (kg m³), V_d é o volume deslocado do cilindro (m³) e n é a velocidade rotacional da árvore de manivela (rpm).

5.10 Sensores MAF e MAP

Segundo Denso (2008), o sensor MAF (do inglês, *Mass Air Flow*) é o componente que mede a massa de ar que entra no motor, e essa informação é utilizada para controlar a quantidade de combustível injetada. O sensor MAF presente no veículo testado consiste de um anemômetro de fio quente. Quando o ar passa pelo sensor, ele resfria o elemento de medição, e essa variação na temperatura é utilizada para calcular a velocidade do escoamento de ar. Os sinais gerados pelo sensor MAF são enviados para a central eletrônica do veículo que utiliza essas informações para ajustar a quantidade de combustível injetado, garantindo assim que a relação combustível/ar esteja sempre dentro dos limites ideais para o bom funcionamento do motor. O sensor MAF presente no motor K20Z3, utilizado neste estudo, é o modelo 37980-RTA-003, e está equipado com um sensor de temperatura, chamado de ACT (do inglês, *Air Charge Temperature*), que monitora a temperatura do ar aspirado.

Segundo Brunetti (2012), o sensor MAP (do inglês, *Manifold Absolute Pressure*) mede a pressão absoluta no coletor de admissão, a qual varia conforme o escoamento de ar aspirado. Ele é composto por um material piezoresistivo, que muda sua resistência com a aplicação de pressão. Esse material é instalado em um diafragma, sendo que quando há mudança na pressão, o diafragma muda de forma e, conseqüentemente, altera a resistência do material. A medição de pressão é então enviada via sinais elétricos à central eletrônica do veículo. Essas informações auxiliam a calcular a carga do motor.

A Figura 2 apresenta os modelos dos sensores MAF e MAP utilizados no motor do veículo testado.

Figura 2: a) Sensor MAF Denso 37980-RTA-003 presente nos motores K20Z3; b) Sensor MAP Denso 079800-7240 presente nos motores K20Z3.



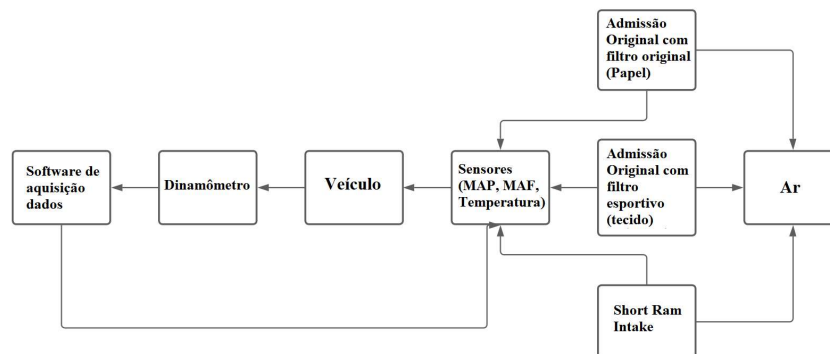
Fonte: a) Autor; b) Adaptado de Denso, 2007.

6. CASO DE ESTUDO

Este capítulo descreve como foram executadas as atividades com o objetivo de obtenção dos dados experimentais. O estudo foi realizado a partir de medições do torque e potência máximos, os quais foram obtidos através de testes realizados em um dinamômetro de rolo. É possível verificar na Figura 3 que foram realizadas as avaliações sob três circunstâncias diferentes:

- 1) Admissão original com filtro *inbox* original (papel);
- 2) Admissão original com filtro *inbox* esportivo (tecido);
- 3) Utilização do tubo de admissão de ar frio (SRI, do inglês *Short Ram Intake*).

Figura 3 - Diagrama de blocos do experimento



Fonte: Autor

6.1 Apresentação do aparato experimental

Essa seção descreve os equipamentos, ferramentas e instrumentos utilizados durante a realização dos experimentos. Ela inclui uma descrição detalhada dos equipamentos, suas características, incertezas, e métodos de utilização.

6.1.2 Veículo utilizado

O veículo utilizado para os testes experimentais é um Honda Civic Si de oitava geração que possui o motor K20Z3 de quatro cilindros em linha de volume total de 1998 cm³. De acordo com a Honda (2007), ele possui uma configuração DOHC I-VTEC, o que significa que possui dois comandos de válvulas sobre o cabeçote e sistema I-VTEC (*Intelligent Variable Valve Timing and Lift Electronic Control*), que é uma tecnologia de válvulas de variação de tempo e fluxo de admissão desenvolvida pela Honda. Ele combina características

de VTEC (*Variable Valve Timing and Lift Electronic Control*) com VTC (*Variable Valve Timing and Lift Control*), permitindo um melhor desempenho e rendimento do motor. Isso é alcançado através desses sistemas que variam a duração e o levante das válvulas de admissão e escape, aumentando a potência do motor. Ele foi projetado para produzir um torque máximo de 188,2 Nm e uma potência máxima de 141,2 kW, medidos no motor. A transmissão utilizada no Civic Si 2008 é uma transmissão manual de 6 velocidades, o que permite uma melhor relação de potência entre o motor e as rodas. Além disso, o motor K20Z3 é conhecido por sua durabilidade e facilidade de modificação, sendo relativamente popular entre os entusiastas de desempenho automotivo, o que o torna um ótimo veículo para realizar os testes.

6.1.3 Filtro *inbox* de papel

Um filtro de motor de carro é um dispositivo que filtra impurezas, como poeira, sujeira e outros contaminantes, da circulação de ar que entra no motor do veículo. Isso ajuda a garantir que o ar que será misturado ao combustível esteja limpo e livre de partículas que possam danificar o motor. Existem diversos modelos de filtros de ar, sendo que os modelos mais comuns encontrados no mercado nacional serão detalhados nas próximas seções.

Os filtros de ar de motor de papel são comumente utilizados em veículos de produção em massa, pois eles são fáceis de trocar, geralmente têm baixo custo de aquisição e são amplamente disponíveis. São projetados para serem substituídos regularmente, geralmente a cada 10.000 km ou a cada 12 meses. São chamados, também, de filtros *inbox* pois vão dentro da caixa do filtro de ar do sistema de admissão. Os fabricantes de automóveis levam em conta o rendimento do combustível, as emissões de poluentes e a segurança do motor ao projetar seus filtros de ar originais. Isso significa que eles têm um rendimento do escoamento de ar menor do que os filtros esportivos. Isso se deve, principalmente, à capacidade de filtrar a maior quantidade possível de partículas presentes no ar. São geralmente compostos por diversas camadas de papel, como mostrado na Figura 4. Esse formato plissado ou sanfonado garante o melhor rendimento e maior área de filtração.

Figura 4: Filtro *inbox* de papel recomendado pela Honda para um Civic Si 2008.



Fonte: Autor

6.1.4 Filtro *inbox* de tecido

Os filtros de ar de tecido são projetados com um tipo de malha fina, geralmente de poliéster ou algodão, ou às vezes a combinação desses dois materiais como o exemplar exposto na Figura 5. Esses tipos de filtros são geralmente mais caros do que os filtros de papel, mas oferecem um maior rendimento do escoamento de ar e podem ser limpos e reutilizados. Quando utilizada a combinação de poliéster e algodão, eles são fabricados utilizando-se um núcleo de poliéster, resistente à umidade, e é coberto com uma camada de algodão, eficiente na retenção de partículas. Esses tipos de filtros podem economizar dinheiro a longo prazo devido à capacidade de poderem ser limpos e reutilizáveis. No entanto, devido ao maior escoamento de ar, esses filtros apresentam menor eficiência na retenção de partículas

de sujeira presentes no ar, o que pode comprometer a vida útil do motor do veículo a longo prazo.

Figura 5: Filtro *inbox* de dupla camada filtrante à base de poliéster e algodão.



Fonte: Autor

6.1.5 Filtros cônicos

Os filtros cônicos são instalados no sistema de admissão de ar dos motores de veículos esportivos para aumentar o rendimento do escoamento de ar e, conseqüentemente, melhorar o desempenho do motor. São projetados para permitir que o ar entre no motor com o menor atrito possível e, devido ao sistema de adaptação utilizado, o ar captado geralmente tem uma temperatura menor, o que contribui para aumentar o torque e potência produzidos pelo motor. São geralmente fabricados com materiais de malha fina, como poliéster ou algodão, ou uma combinação desses dois materiais. Um dos principais problemas desse tipo de filtro é que, para utilizá-lo, é necessário realizar uma adaptação que pode deixá-lo exposto no cofre do motor, fora da caixa de ar do sistema de captação de ar. Além disso, como ele é confeccionado de tecido, apresenta menor eficiência na retenção de partículas de sujeira presentes no ar, o que pode comprometer a vida útil do motor. O modelo utilizado nos testes é chamado de fluxo duplo, onde a parte superior da forma cônica é aberta, como mostra a Figura 6, resultando em uma área de entrada de ar maior do que um filtro cônico chamada de “mono fluxo”, onde essa área é fechada.

Figura 6: Filtro cônico de poliéster e algodão.



Fonte: Autor

6.1.6 Variações no sistema de admissão de ar

O sistema de captação de ar de um motor é responsável por fornecer ar limpo para o motor, que é misturado com combustível e queimado para produzir torque e potência. Ele é composto por uma variedade de componentes, incluindo o filtro de ar, os tubos de admissão e o bocal de entrada de ar. Os tubos de admissão conduzem o ar que passa pelo filtro para o motor, eles podem ser confeccionados de diferentes materiais, como plástico ou metal, e podem ser curtos ou longos, dependendo do projeto desse sistema. O bocal de entrada de ar, onde vai instalado o filtro, pode ser localizado em diferentes lugares dependendo do veículo e do sistema, como na grade dianteira, no para-choque ou no meio do cofre do motor.

Existem algumas variações desse sistema, como o *Short Ram Intake*, que será testado no presente trabalho. Ele geralmente inclui um tubo de admissão mais curto que fica posicionado dentro do cofre do motor, mas em uma região geralmente submetida a menores temperaturas que o sistema original. Aliado com um filtro cônico com alto escoamento de ar com um defletor de calor, tem o objetivo de aumentar a quantidade de ar que entra nos cilindros, permitindo aumento da potência e do torque produzidos.

A Figura 7 apresenta o sistema de admissão de ar original e o sistema *Short Ram Intake* completo utilizado para efetuar os testes no presente estudo.

Figura 7: a) Sistema de admissão de ar original de um Civic Si 2008; b) Short Ram Intake de um Civic Si 2008.



Fonte: a) Autor; b) Autor

6.1.7 Dinamômetro de rolo

É um equipamento utilizado para medir o torque e a potência nas rodas de um veículo. O dinamômetro utilizado no presente trabalho é da marca Dynotron, modelo R2020, que é um do tipo inercial. A escolha deste dinamômetro foi devido a vantagem de permitir testar o veículo até a sua capacidade máxima de desempenho de maneira segura e precisa. O sistema consiste em rolos de momento de inércia conhecidos, cujas rodas de tração do veículo giram os rolos. Esses rolos exercem forças de resistência, e um sensor mede a velocidade dos rolos e a força exercida sobre eles. Essas informações são enviadas para um computador para calcular o torque e a potência produzidos pelo motor durante toda a rotação de funcionamento. Segundo Dynotron (2022), as medições são coletadas e padronizadas de acordo com as normas DIN 70020, ISO 1585, SAE J1349 e JIS D1001. Nos testes realizados foram utilizadas as correções da norma SAE-J1349, que estabelece os procedimentos e as condições para medir e corrigir o torque e a potência de um motor em condições padronizadas de laboratório. Esta norma leva em consideração a temperatura, a umidade do ar, a pressão barométrica e a perda de potência mecânica do motor devido a vários fatores de funcionamento. O objetivo dessa correção é fornecer uma medição padronizada e precisa da potência. Conforme a norma SAE-J1349, a incerteza para o torque é de 0,5% e a incerteza para a rotação do motor é de 1%, dentre as grandezas de interesse. O modelo de dinamômetro utilizado está ilustrado na Figura 8.

Figura 8: Dinamômetro de rolo da marca Dynotron.



Fonte: Adaptado de Dynotron (2023)

6.2 Procedimento experimental

Para a execução dos testes foi realizada uma verificação minuciosa das condições mecânicas do motor, assegurando-se que todas as manutenções necessárias foram efetuadas e que o veículo estava em perfeitas condições para o teste. Antes de posicionar o veículo no dinamômetro, é importante seguir algumas indicações para garantir a segurança e a exatidão das medições, tais como fixá-lo firmemente com as cintas de segurança e posicionar corretamente o ventilador, que é fundamental para manter constante o escoamento do ar contra o cofre do motor para evitar seu superaquecimento, dois fatores estes que poderiam influenciar nos resultados. Com o objetivo de garantir a exatidão dos resultados, todos os testes foram conduzidos no mesmo dinamômetro previamente calibrado, com intervalos padrão de 2 minutos entre cada passada no dinamômetro. O dinamômetro foi sincronizado com a relação de marcha do veículo, garantindo a correta relação de rotação do motor e dos rolos. Além disso, o motor do veículo foi aquecido até atingir sua temperatura padrão de operação, que segundo a Honda (2007), para o motor K20Z3, fica entre 349 K e 363 K, assegurando-se a estabilidade das condições de teste. Para isso, a primeira passagem do total de seis (para cada variação) foi descartada. Para minimizar as influências de fatores externos, todos os testes foram realizados no mesmo dia e horário, com todas as variáveis cuidadosamente monitoradas e registradas, incluindo a temperatura ambiente, pressão atmosférica e umidade relativa do ar.

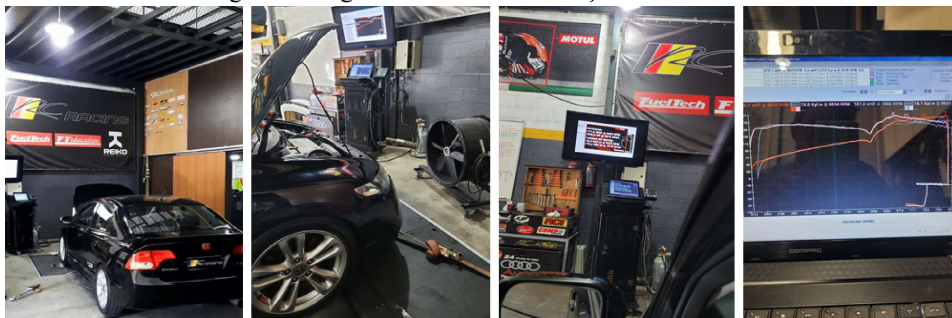
Inicialmente, os testes foram conduzidos utilizando o filtro de ar *inbox* de papel, para obter dados de referência. O veículo foi posicionado no dinamômetro e acelerado da rotação de 2500 rpm até o corte eletrônico da rotação em 8300 rpm, sempre na quinta marcha. Essa escolha se deve ao fato de que, nessa marcha, a relação é a mais próxima de 1:1 no caso do veículo testado. Recomenda-se sempre realizar os testes utilizando a relação de marcha mais próxima de 1:1, a fim de obter resultados sem perdas ou ganhos decorrentes da relação de marcha

Posteriormente, foram realizadas mais seis passagens no dinamômetro em toda a faixa de rotação do veículo com o filtro de ar esportivo no sistema de admissão original. O modelo utilizado foi um filtro *inbox* de poliéster e algodão.

Para a última variação testada, foi realizada uma mudança completa no sistema de admissão. O modelo original foi retirado e foi então instalado o SRI (*Short Ram Intake*) com o filtro cônico de duplo fluxo e o defletor que isola a captação de ar a temperatura mais elevada do cofre do motor. Novamente, foram aferidas mais seis vezes o torque e a potência em toda a faixa original de rotação de trabalho do motor.

A Figura 9 apresenta, da esquerda para a direita, o veículo utilizado nos testes já posicionado no dinamômetro, posicionamento do ventilador, a estação de captação e visualização dos dados, e a tela do computador que faz parte da estação e é utilizado para processar os dados obtidos durante os testes.

Figura 9: Registros durante a execução dos testes.



Fonte: Autor

7. RESULTADOS E ANÁLISE

Como o presente estudo tem natureza experimental, é imprescindível realizar a avaliação das incertezas das medições efetuadas, de modo a examinar com rigor se as alterações introduzidas no veículo resultam em melhorias (ou não) nos resultados do sistema estudado. Nesse sentido, todas as incertezas individuais do equipamento e das medições foram levadas em consideração e sua propagação foi calculada para se chegar à potência produzida na roda.

Utilizando esses dados juntamente com a leitura dos testes e a equação geral de propagação de incertezas descrita em JCGM 100:2008 (2008) conforme está explicitado no Apêndice A, como um processo matemático que permite determinar a incerteza associada a uma grandeza calculada a partir de outras grandezas que possuem incertezas, é possível calcular a incerteza propagada da medição da potência. Realizados os testes, obtiveram-se os valores exibidos nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1 - Resultados obtidos com o filtro *inbox* de papel.

Hora	Temperatura do Ar (K)	Pressão (kPa)	Umidade relativa do ar (%)	Potência (kW)	Torque (Nm)
09:14	301,8	101,5	70,8	132,29	177,51
09:16	302,0	101,5	69,7	132,88	180,45
09:18	302,2	101,5	69,1	135,12	187,31
09:20	302,3	101,5	68,6	137,13	188,29
09:22	302,4	101,5	67,7	135,57	187,31

Fonte: Autor

Para a primeira bateria de testes com o veículo ainda original (com o filtro indicado pelo fabricante), os valores de temperatura do ar variaram entre 301,8 K e 302,4 K. A pressão atmosférica se manteve constante em 101,5 kPa em todos os testes realizados neste estudo, e a umidade relativa do ar variou entre 67,7% e 70,8%. A potência variou entre 132,29 kW e 137,13 kW, sendo que o torque variou entre 177,51 Nm e 188,29 Nm. A média da potência é de 134,60 kW e a média do torque é de 184,18 Nm, com incertezas de 1,50 kW e 1,84 Nm, respectivamente.

Tabela 2 - Resultados obtidos com o filtro *inbox* esportivo de poliéster e algodão.

Hora	Temperatura do Ar (K)	Pressão (kPa)	Umidade relativa do ar (%)	Potência (kW)	Torque (Nm)
09:36	302,7	101,5	66,2	132,59	180,45
09:38	302,8	101,5	64,3	134,45	184,37
09:40	302,9	101,5	64,2	136,15	187,94
09:42	303,1	101,5	62,4	133,44	188,29
09:44	303,1	101,5	62,1	134,03	184,37

Fonte: Autor

Quando instalado o filtro esportivo *inbox* e realizados os testes, a temperatura do ar variou dentro de um intervalo estreito de 302,7 K e 303,1 K. A umidade relativa do ar variou entre 62,1% e 66,2%. Em relação às medidas de torque e potência, observou-se que a potência variou entre 132,59 kW e 136,15 kW, enquanto o torque variou entre 180,45 Nm e 188,29 Nm. Embora tenham sido observadas, novamente, variações nos valores medidos, a variação

da potência foi relativamente pequena, com uma média de 134,13 kW e uma incerteza de 1,49 kW. Já o torque apresentou uma média de 185,08 Nm e uma incerteza de 1,85 Nm.

Tabela 3 - Resultados obtidos com sistema SRI (*Short Ram Intake*).

Hora	Temperatura do Ar (K)	Pressão (kPa)	Umidade relativa do ar (%)	Potência (kW)	Torque (Nm)
10:07	303,4	101,5	58,5	145,04	187,31
10:09	303,6	101,5	58,1	143,47	190,26
10:11	303,8	101,5	57,3	147,35	188,29
10:13	303,9	101,5	56,9	144,96	192,22
10:15	303,9	101,5	56,4	145,49	192,48

Fonte: Autor

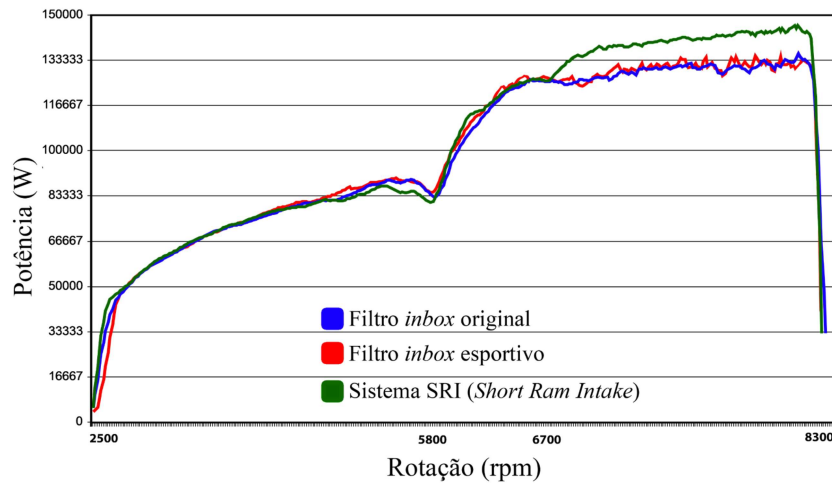
Durante a última bateria de testes realizados no dinamômetro, a temperatura do ar variou entre 303,4 K e 303,9 K. A umidade relativa do ar apresentou uma leve queda, variando entre 58,5% e 56,4%. A potência medida apresentou uma variação intermediária, comparando-se com os nos testes anteriores, variando entre 143,47 kW e 147,35 kW, com uma média de 145,26 kW com incerteza de 1,62 kW. O torque apresentou-se de maneira semelhante, com variação menor que o primeiro teste, porém maior que o segundo, com média de 190,11 Nm e incerteza de 1,85 Nm. Observou-se que, apesar da variação na potência, os valores medidos se mantiveram próximos, o que indica uma boa estabilidade nos testes.

Ao analisar-se as três tabelas contendo os resultados dos testes realizados, fica evidente que a variação da potência é baixa, comparando-se as Tabelas 1 e 2. A variação ocorre devido à constante adaptação da central eletrônica, que vai ajustando a mistura combustível/ar a cada condição que é exposta. Com essa informação e analisando a média das aferições, não é possível ver vantagem significativa em termos de torque e potência nos números absolutos com o uso do filtro *inbox* esportivo frente ao filtro de papel, pois a variação está dentro da incerteza de medição, ou seja, ambos os filtros se mantiveram estáveis e não houve ajustes adicionais pela central eletrônica quando colocado o filtro *inbox* esportivo, o que indica que não teve alteração suficiente no escoamento de ar.

No entanto, o sistema SRI apresentou aumento de desempenho, com um incremento de potência média de 10,66 kW, o que representa um acréscimo de 7,92% em relação à média de referência, sendo que o torque aumentou 5,94 Nm, um acréscimo de 3,19%. Esses ganhos superaram as expectativas e podem ser atribuídos a vários fatores. Em primeiro lugar, o sistema SRI possui um design e material que proporcionam maior escoamento de ar a menor temperatura chegue ao motor. Aliado a isso, têm-se as características esportivas de desempenho do motor do automóvel utilizado nos testes.

O software de leitura de dados do dinamômetro é capaz de produzir gráficos de torque e potência em toda a faixa de rotação. Para cada tipo de filtro, foram obtidas cinco curvas e realizada uma média entre os pontos obtidos. A análise dessas curvas ao longo de toda a faixa de rotação do motor permite uma avaliação mais detalhada do desempenho do carro. Enquanto os valores absolutos de torque e potência podem fornecer uma indicação limitada do desempenho, as curvas mostram como esses valores variam em diferentes faixas de rotação. Essa informação é fundamental para entender como o sistema se comporta em diferentes situações, e ajuda a verificar se realmente houve alteração desses parâmetros (aumento ou diminuição). Por exemplo, uma curva de potência com um pico estreito em uma faixa de rotação específica não é interessante. Na Figura 10, é possível comparar as curvas de potência para todos os testes realizados na faixa de rotação entre 2500 rpm e 8300 rpm.

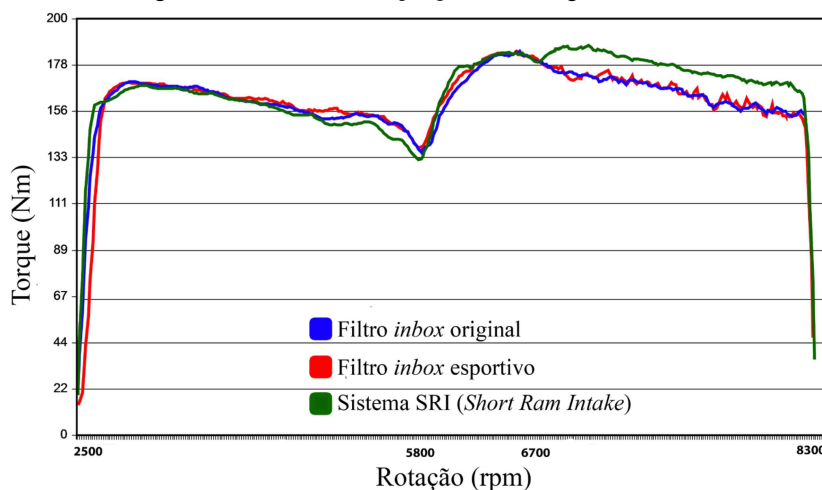
Figura 10: Curvas de potência para cada regime do teste.



Fonte: Autor

Figura 10, observa-se quando o I-VTEC é acionado a 5800 rpm, e ocorrem as alterações nos parâmetros de abertura das válvulas de admissão e no perfil do duplo comando de válvulas, resultando em uma subida acentuada da curva de potência. As diferenças entre os sistemas de filtro de ar são pouco perceptíveis em rotações baixas, com as curvas apresentando comportamento semelhante nessa faixa de rotação. No entanto, em altas rotações, é possível observar um distanciamento das curvas, indicando que as diferenças se tornam mais significativas. Esse resultado é importante, já que a potência em altas rotações é fundamental para a performance esportiva de um veículo. O ponto de destaque é o sistema SRI, que apresentou um aumento considerável de desempenho em regimes de alta rotação. Na Figura 11, é possível observar que a curva de torque apresenta um comportamento semelhante ao da curva de potência.

Figura 11: Curvas de torque para cada regime do teste.



Fonte: Autor

Em rotações mais elevadas, a partir dos 6700 rpm, há um notável aumento no torque gerado pelo motor equipado com o sistema SRI quando comparado com os filtros *inbox*. As curvas e os ganhos de desempenho com o *Short Ram Intake* deste estudo apresentaram resultados semelhantes aos testes divulgados pela empresa internacional de filtros K&N, os quais estão disponíveis no Anexo A (K&N, 2023). Vale ressaltar que ambos os testes foram

realizados com o mesmo tipo de produto, ou seja, um sistema *Short Ram Intake*, porém com filtros cônicos de duplo fluxo de marcas diferentes.

A semelhança das curvas em baixas rotações é justificada pelo fato da central eletrônica ser programada para otimizar as curvas de torque e potência para uso geral, e priorizar a economia de combustível em baixas rotações. O que ajuda a entender a queda de desempenho ao analisar a curva do SRI anterior à ativação do I-VTEC em 5800 rpm, onde é possível observar que a mistura ar/combustível, provavelmente, ficou ligeiramente empobrecida devido à entrada excessiva de ar, sem uma compensação com mais combustível.

Importante destacar que o distanciamento das curvas e os grandes ganhos de torque e potência nos testes realizados pode ter sido acentuado devido às particularidades do motor do veículo testado, pois trata-se de um motor com um limite de rotação alta, o que exige uma alta quantidade de ar admitido, possuindo uma central eletrônica mais atuante nesse quesito, efetuando um bom ajuste de mistura combustível/ar nessa faixa de rotação.

8. CONCLUSÕES

No presente trabalho foi realizado um estudo da melhoria de performance em um motor automotivo efetuando alterações no sistema de captação de ar. Verificou-se que a instalação do sistema SRI resultou em uma melhoria significativa no desempenho do veículo, enquanto a troca do filtro de ar *inbox* para um modelo esportivo, também *inbox*, não teve um efeito significativo.

Durante os ensaios realizados, verificou-se uma melhoria significativa no desempenho do veículo testado após a instalação do SRI. No entanto, a troca para o filtro *inbox* esportivo não resultou em vantagens em termos de torque e potência. Isso sugere que apenas a troca no filtro *inbox* não afetou significativamente o escoamento de ar. É importante notar que os parâmetros de torque e potência aumentaram durante os testes no dinamômetro, apesar de manter o mesmo filtro de ar. Esse resultado se deve às otimizações realizadas pela central eletrônica com base nos dados coletados pelos sensores MAF e MAP do ar admitido.

Conclui-se que a modificação realizada no sistema de filtragem de ar é uma solução viável para quem busca uma melhor performance em altas rotações de um veículo e um aumento de desempenho com baixo custo, podendo esse ganho ser mais expressivo em certos veículos com apelo mais esportivo ou, também, efetuando-se uma reprogramação da central eletrônica do carro. Também é vantajoso do ponto de vista econômico o uso de filtros de tecido, uma vez que estes são reutilizáveis e permitem um uso prolongado. Com base nos resultados obtidos, foi possível confirmar a veracidade em parte das afirmações feitas pelos fabricantes de filtros esportivos para automóveis, que prometem um aumento de torque e potência nos veículos. O presente estudo contribui para quem busca informações sobre as opções disponíveis no mercado de filtros esportivos, oferecendo uma base teórica e experimental.

8.1 Sugestões para trabalhos futuros

Sugerem-se estudos futuros na busca por informações sobre o impacto da troca dos filtros na performance de motores visando:

- Analisar os parâmetros de massa de ar e temperatura de ar admitida pelo motor em cada modelo de filtro;
- Verificar através de instrumento de medição adequado o impacto dessas alterações na razão de mistura de ar/combustível;
- Realizar testes sem o filtro de ar com o objetivo de avaliar o impacto da sua ausência no sistema de captação de ar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 1585 Veículos Rodoviários – Código de Ensaio de Motores – Potência Efetiva Líquida**. Rio de Janeiro, 1996.
- BIRTOK-BĂNEASĂ, C.; RAȚIU, S.; PINCA-BRETOTEAN, C. The dispersion of heat flow in the engine compartment. **Case study: drift engines. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 393, p. 012074, 10 ago. 2018.
- BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna: Volume 2**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2012.
- CAVALLI, F.; DOUGLAS, G.; SHREEVES, C. **Air Filter Element Flow Analysis Comparison of Aftermarket Air Filter Flow Rates**, 2015, 15, UWTSD Swansea, Reino Unido, 2015.
- ÇENGEL, Yunus A.; CIMBALA, John M.. **Mecânica dos fluídos: fundamentos e aplicações**. 3. ed. Porto Alegre: McGraw Hill, 2015.
- DENSO. **DAP-0106 PRESSURE switches & sensors for HONDA**. Disponível em: <https://www.denso-am.eu/catalog/pv/18063/part/DAP-0106>. Acesso em: 07 jan. 2023.
- DENSO. **DMA-0104 MASS air flow sensors for HONDA**. Disponível em: <https://www.denso-am.eu/catalog/pv/26588/part/DMA-0104>. Acesso em: 07 jan. 2023.
- DYNOTRON MOTRONIX. **4x2 – 2 rolos com freio eletromagnético**. Disponível em: <https://www.dynotron.com.br/dinamometro-4-2-com-freio-eletromagnetico>. Acesso em: 2 mar. 2023.
- DZIUBAK, T.; BAŃKAŁA, L. **Problems of selecting filter partition in passenger car engine intake air filters**. *Combustion Engines*, v. 185, n. 2, p. 44-58, 2021. DOI: 10.19206/CE-139629.
- HEYWOOD, J.B.; **“Internal Combustion Engine Fundamentals”**, New York, 2a edição, 2018.
- HONDA. **Manual do Proprietário: Honda Civic Si**. São Paulo: Honda South America, 2007.
- HONDA. **Manual de Serviços: Honda Civic Si - Manutenção, Reparação e Construção**. São Paulo: Honda South America, 2007.
- HONDA THE OTHER SIDE. **Honda K20Z3 Engine Specs and Performance**. Disponível em: <https://hondatheotherside.com/k20z3/>. Acesso em: 13 mar. 2023.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **“Frota de Veículos”**, <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 07 jan. 2023.

JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY. **JCGM 100:2008: Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement**. Sèvres, France, 2008.

KLEINE, S. J.; MCCLINTOCK, F. A. **Describing Uncertainties in Single Sample Experiments**. Mechanical Engineering, Vol. 75. 3-8, Jan. 1953.

KHAIFULLIZAN, M. N. N.; JAAT, N.; ZAINAL ABIDIN, S. F.; DARLIS, N.; ZAHARI, I. Effect of Intake Air Temperature on Engine Performance and Fuel Consumption of Passenger Car. **Fuel, Mixture Formation and Combustion Process**, v. 3, n. 2, 26 ago. 2021.

K&N ENGINEERING. **Dyno Chart - 2007 Honda Civic Si 2.0L - 7.01HP Increase**. Disponível em: <www.knfilters.com/honda/civic-si/2.0l-14-gas/2008/>. Acesso em: 19 mar. 2023.

MARTINS, J. **Motores de combustão interna**. 2. ed. Porto. Publindústria, 2006.

RATIU, Sorin; BIRTOK-BANEASA, Corneliu; ALEXA, Vasile. Dynamic air transfer device for internal combustion engines. **Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering**, v. 6, n. 3, p. 59-62, 2013.

SAE INTERNATIONAL. **SAE J1349: Engine Power Test Code – Spark Ignition and Compression Ignition – Gross Power Rating**. Warrendale, PA, USA, 2004.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Cálculo da incerteza de medições

A medida de potência em um dinamômetro não é realizada de maneira direta, mas sim por meio de medições secundárias que, após cálculos apropriados, podem ser empregadas para a determinação da potência. As medições diretas realizadas no dinamômetro são a rotação do motor e o torque. A partir desses valores, é possível obter os valores para a potência.

Inicialmente, é necessário verificar as incertezas do instrumento de medição. O dinamômetro da Dynotron modelo R2020 utiliza correções de acordo com a norma SAE J1349, e a incerteza de medição para o torque é de 0,5%, enquanto que para a rotação é de 1% conforme SAE J1349 (2004).

Uma vez que as incertezas de medições foram determinadas, é possível empregar a equação geral de propagação de incertezas descrita em JCGM 100:2008 (2008):

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial z} \Delta z\right)^2} \quad (\text{A.1})$$

em que Δf é a incerteza que depende das variáveis de x a z , que são independentes e aleatórias. É importante mencionar que o torque é medido diretamente pelo dinamômetro com uma incerteza de 0,5%. Entretanto, para determinar a incerteza da potência, é preciso recorrer à Equação A.1, proposta por Kleine e McClintock (1953). A potência pode ser dada por:

$$P = \frac{2\pi}{60} T n \quad (\text{A.2})$$

A incerteza da potência depende da incerteza da rotação e da incerteza do torque, e segue a fórmula de propagação de incertezas na forma:

$$\Delta P = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial T} \Delta T\right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial n} \Delta n\right)^2} \quad (\text{A.3})$$

Derivando a Equação (A.3), chega-se:

$$\Delta P = \sqrt{\left(\frac{2\pi}{60} T \Delta n\right)^2 + \left(\frac{2\pi}{60} n \Delta T\right)^2} \quad (\text{A.4})$$

Onde as incertezas de medição para o torque (em Nm) e para a rotação (em rpm) são representadas por ΔT e Δn , respectivamente. A Equação (A.4) é utilizada para os cálculos das incertezas das medições da potência de roda nos testes realizados no presente estudo.

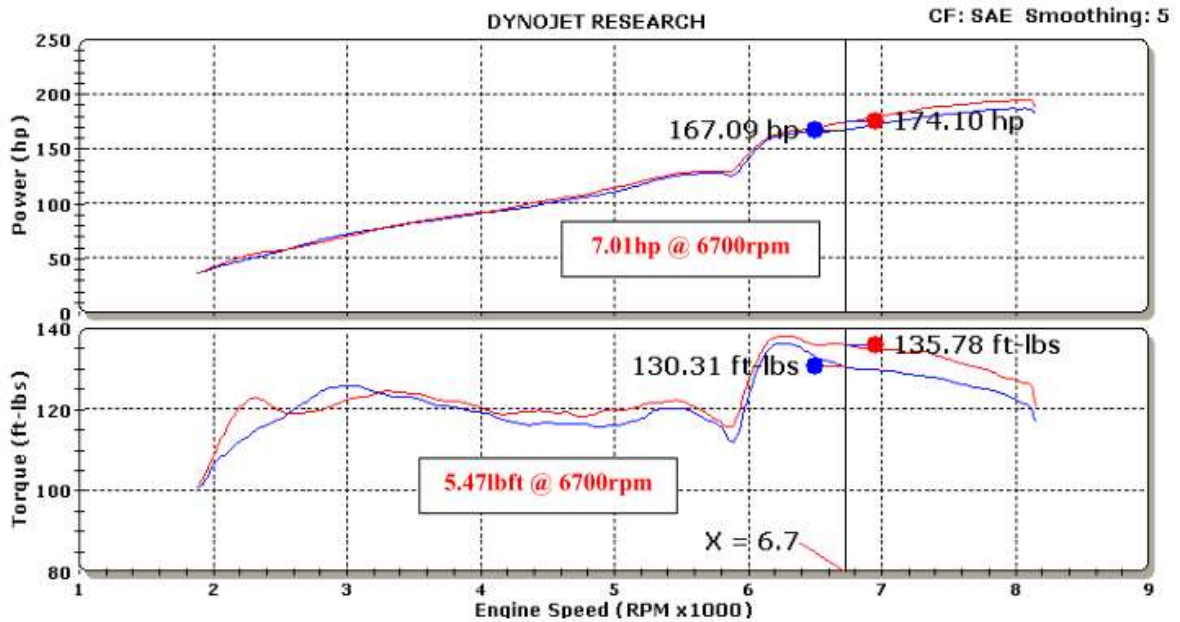
ANEXO

ANEXO A - Comparação das curvas de torque e potência pela K&N.

Figura 12 - Gráfico das curvas de torque e potência realizadas em um dinamômetro pela fabricante.



K&N Engineering Inc.



Run Title: Stock 2007 Honda Civic SI 2.0L 3g
 Run Notes: Baseline stock run. 15553 miles. 3rd gear run.
 Run Date: 10/4/2007 7:45:32 AM
 Stock.001: 83.63 °F, 28.96 in-Hg, SAE: 1.03

Run Title: K&N 2007 Honda Civic SI 2.0L 3g
 Run Notes: K&N intake kit #69-1014 installed. 15553 miles. 3rd gear run.
 Run Date: 10/4/2007 8:52:23 AM
 K&N.002: 84.64 °F, 28.95 in-Hg, SAE: 1.03

Horsepower gains based on specific or similar vehicle dynamometer test. Results will vary. For more information, lookup vehicle and/or testing protocols at KNFilters.com

691014

Fonte: K&N Engineering (2007)