

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ
CURSO DE MECÂNICA AUTOMOBILÍSTICA**

Daniel de Carvalho Batista

Henrique Clemente Castro

Renan Roncoleta Santos

**PERFORMANCE DOS MOTORES DE CICLO OTTO COM TURBO E
INTERCOOLER**

**Santo André
2022**

Daniel de Carvalho Batista
Henrique Clemente Castro
Renan Roncoleta Santos

**PERFORMANCE DOS MOTORES DE CICLO OTTO COM TURBO E
INTERCOOLER**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística da Fatec Santo André, orientado pelo Prof. Marco Aurélio Fróes, como requisito parcial para a obtenção do título de tecnólogo em Mecânica Automobilística.

Santo André
2022

FICHA CATALOGRÁFICA

B333p

Batista, Daniel de Carvalho
Performance dos motores de ciclo otto com turbo e intercooler / Daniel de
Carvalho Batista, Henrique Clemente Castro, Renan Roncoleta Santos. -
Santo André, 2022. – 70f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística, 2022.

Orientador: Prof.º Marco Aurélio Fróes

1. Mecânica. 2. Motores de combustão interna. 3. Motores Ciclo Otto. 4.
Veículo. 5. Performance de torque. 6. Tecnologia. 7. Instalação. 8. Turbo
compressor. 9. Intercooler. 10. Temperatura. 11. Ensaio. 12. Ar. I. Castro,
Henrique Clemente. II. Santos, Renan Roncoleta. III. Performance dos
motores de ciclo otto com turbo e intercooler.

629.2

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 13 de dezembro de 2022.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:
“PERFORMANCE DOS MOTORES DE CICLO OTTO COM
TURBO E INTERCOOLER” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE
DESTA U.E.

BANCA

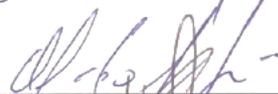
PRESIDENTE:

PROFº MARCO AURÉLIO FRÓES

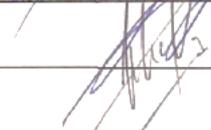


MEMBROS:

PROF. ORLANDO DE SALVO JUNIOR



PROF. FERNANDO GARUP DALBO

**ALUNO:**

DANIEL DE CARVALHO BATISTA



HENRIQUE CLEMENTE CASTRO



RENAN RONCOLETA SANTOS



Dedicamos esse trabalho a nós mesmos que seguimos firmes e fortes nessa árdua jornada e chegamos mais fortes do que nunca nesse momento.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a todos amigos e familiares que ao longo dessa jornada, mesmo com todas as turbulências atuais, sempre estiveram ao nosso lado acreditando e incentivando o nosso projeto, e aos professores da Fatec Santo André que mesmo com as dificuldades mantiveram um nível de excelência no ensino.

*“O passado serve para evidenciar as
nossas falhas e dar-nos indicações para o
progresso do futuro”*

Henry Ford

RESUMO

A densidade tem um impacto muito grande sobre os motores de combustão interna, seja ele naturalmente aspirado ou sobrealimentado, afetando sua eficiência volumétrica, e por sua vez, seu rendimento. Este trabalho tem por objetivo demonstrar a performance de torque, potência e custos após a instalação de turbocompressor e intercooler em um motor Ciclo Otto. Dito isto, foi implementado ao motor um turbocompressor e posteriormente, um intercooler, para a redução da temperatura do ar, conseqüentemente, aumentando a densidade do ar. Na montagem, foram feitos ajustes em relação a mapas de injeção, acomodação e acerto de peças. Após a montagem, foram feitos ensaios dinamométricos para corroborar a teoria. Primeiro, foram feitos ensaios com o veículo totalmente original, sempre analisando a temperatura do ar e o regime de carga. Então, foi instalado o turbocompressor e realizado uma nova bateria de ensaios, notando os aumentos de regime de carga, mas de temperatura também, e por fim, foi instalado o intercooler, para os ensaios finais. Houve ganhos expressivos em potência, torque, regime de carga, e o principal, a redução da temperatura do ar admitida, provando a eficácia do intercooler.

Palavras-chaves: Temperatura. Ar. Turbocompressor. Intercooler.

ABSTRACT

Density has a very large impact on internal combustion engines, whether naturally aspirated or supercharged, affecting their volumetric efficiency, and in turn, their output. This work aims to demonstrate the performance of torque, power and costs after installing a turbocharger and intercooler in an Otto Cycle engine. That said, a turbocharger was implemented in the engine and later, an intercooler, to reduce the air temperature, consequently increasing the air density. During assembly, adjustments were made in relation to injection maps, accommodation and adjustment of parts. After assembly, dynamometric tests were performed to corroborate the theory. First, tests were carried out with the completely original vehicle, always analyzing the air temperature and the load regime. Then, the turbocharger was installed and a new battery of tests was carried out, noting the increases in load regime, but also in temperature, and finally, the intercooler was installed, for the final tests. There were expressive gains in power, torque, load regime, and the main thing, the reduction of admitted air temperature, proving the efficiency of the intercooler.

Keywords: Temperature. Air. Turbocharger. Intercooler.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Nikolaus August Otto	16
Figura 2 – Ciclo Otto	17
Figura 3 – Bloco do Motor	18
Figura 4 – Cabeçote	19
Figura 5 – Cáster	19
Figura 6 – Árvore de Manivelas	20
Figura 7 – Êmbolo	20
Figura 8 – Biela	21
Figura 9 – Válvulas	21
Figura 10 - Ciclo Miller / Ciclo Atkinson	22
Figura 11 – Ciclo Budak	23
Figura 12 – Turbo em corte	24
Figura 13 – Oldsmobile Jetfire – Primeiro carro turbo	26
Figura 14 – Seção transversal de um sobrealimentador roots	27
Figura 15 – Seção transversal de um sobrealimentador com pá deslizante	28
Figura 16 – Seção transversal de um sobrealimentador tipo espiral	28
Figura 17 – Seção transversal de um sobrealimentador com pistão rotativo ...	29
Figura 18 – Sobrealimentador por onda de pressão	30
Figura 19 – Percentuais de Veículos Produzidos Turboalimentados	31
Figura 20 – Exemplo dos Componentes de um Turbocompressor para Caminhão com Carcaça da Turbina com Fluxo Duplo	32
Figura 21 – Intercooler padrão	34
Figura 22 – Condutividade térmica dos materiais	34

Figura 23 – Intercooler Ar/Ar	36
Figura 24 – Intercooler do tipo ar/água do veículo Up! TSI	37
Figura 25 – Composição do ar	38
Figura 26 – Tabela densidade do ar x temperatura	39
Figura 27 – Veículo utilizado	40
Figura 28 – Dados técnicos do veículo	40
Figura 29 – Carro sobre cavaletes	44
Figura 30 – Cárter	44
Figura 31 – Flauta de combustível	45
Figura 32 – Manômetros	45
Figura 33 – Espaço da carcaça	46
Figura 34 – Wideband	46
Figura 35 – Bomba de óleo	47
Figura 36 – Adaptador de distribuição de óleo	48
Figura 37 – Injeção programável	48
Figura 38 – Compartimento do motor turbo	48
Figura 39 – Tubulação intercooler	50
Figura 40 – Kit Embreagem	51
Figura 41 – Radiador de óleo/grade frontal	51
Figura 42 – Tubulação danificada	52
Figura 43 – Frontal finalizado	52
Figura 44 – Compartimento do motor finalizado	53
Figura 45 – Resultados Carro aspirado	54
Figura 46 – Tabela carro aspirado	55

Figura 47 – Gráfico regime de carga carro aspirado.....	56
Figura 48 – Resultados turbo	57
Figura 49 – Tabela turbo	57
Figura 50 – Gráfico regime de carga turbo	58
Figura 51 – Resultados turbo/intercooler.....	59
Figura 52 – Tabela turbo/intercooler	59
Figura 53 – Gráfico regime de carga turbo/intercooler	60
Figura 54 – Tela primeiro teste.....	61
Figura 55 – Tela segundo teste	61
Figura 56 – Tela terceiro teste.....	62
Figura 57 – Gráfico comparativo.....	63
Figura 58 – Gráfico comparativo de potência.....	63
Figura 59 – Gráfico comparativo de temperatura.....	64
Figura 60 – Gráfico comparativo de torque	64
Figura 61 – Orçamento	65

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Objetivo.....	14
1.2. Motivação.....	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. Motores de Ciclo Otto	16
2.1.1. Componentes do Motor de Combustão Interna	18
2.1.2. Variações do Motor de Combustão Interna	21
2.2. Turbocompressores.....	23
2.2.1. História da Indução Forçada.....	24
2.2.2. Tipos de Turboalimentadores e Sobrealimentadores	26
2.3. Intercooler.....	33
2.3.1. Funcionamento	34
2.3.2. Tipos de Intercooler	35
2.4. Densidade	37
2.4.1. Ar atmosférico.....	38
2.4.2. Eficiência volumétrica e a densidade (Ou Massa específica de entrada)	
38	
3. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	40
3.1. Veículo	40
3.2. Turbocompressor.....	41
3.3. Intercooler.....	41
3.4. Injeção Programável	41
3.5. Wideband O2	41
3.6. Sonda banda larga	42
3.7. Válvula de prioridade (blow off).....	42

3.8. Válvula de alívio (wastegate).....	42
3.9. Dosador de combustível.....	42
3.10. Válvulas injetoras.....	42
3.11. Radiador de Óleo.....	43
3.12. Mangueiras de alimentação	43
3.13. Periféricos.....	43
4. DESENVOLVIMENTO PRÁTICO.....	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5.1. Primeiro teste	54
5.2. Segundo Teste	56
5.3. Terceiro Teste.....	58
5.4. Comparativo	60
6. CUSTOS.....	65
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
8. CONCLUSÃO.....	68
9. REFERÊNCIAS	69

1. INTRODUÇÃO

Com a necessidade de se aumentar a potência e rendimento dos motores de combustão interna, é necessário recorrer a equipamentos para tal. Os mais utilizados para tal fim são os turbocompressores e compressores mecânicos, porém iremos se ater a somente ao primeiro neste projeto.

Com isto, iremos analisar a performance do motor com sua aspiração natural com o auxílio de um dinamômetro de rolos.

Após a aferição, será introduzido o turbocompressor a este motor, além de componentes de injeção programável, para assim podermos determinar seu rendimento com a adição deste, analisando o que acontece com o regime de carga a medida que a temperatura varia.

Após a instalação do turbocompressor, iremos em seguida adicionar mais um componente ao motor, o intercooler, responsável por arrefecer o ar antes de sua entrada na câmara de combustão. Em seguida, serão feitos novos testes e será analisado o impacto que a densidade do ar tem no regime de carga e no rendimento do motor, e após será feito fazer um comparativo de performance dos três casos.

Com isto, queremos comprovar na prática os benefícios em questões de performance e rendimento do motor de combustão interna com a adição dos novos componentes.

Neste projeto será explanado sobre o motor de combustão interna, conhecido como motor de ciclo Otto ou motor de quatro tempos, seus principais componentes e suas funções, será explicado uma breve história, funcionamento e principais tipos de turbocompressores, e por fim, das funções e tipos de intercooler.

1.1. Objetivo

Será apresentado uma breve história sobre o turbo e intercooler e como sua utilização aumenta a eficiência volumétrica do motor de combustão interna. Além disso, será apresentado um comparativo com os dados originais do veículo e após a instalação do kit turbo.

1.2. Motivação

O objetivo de desenvolvimento do projeto, foi para conseguirmos avaliar os diferentes modos de funcionamento de um motor, naturalmente aspirado, turboalimentado e turbo/intercooler avaliando sua eficiência em cada etapa do projeto.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico será abordado um breve histórico do motor de ciclo Otto, seu funcionamento, seus componentes fixos e móveis, as variações de ciclos. Será apresentado um resumo da história do turbocompressor, seu funcionamento, seus tipos e características e sobre o intercooler, seus modelos e funcionamento, bem como a densidade do ar, e seus impactos em relação a temperatura.

2.1. Motores de Ciclo Otto

O motor de ciclo Otto, ou Motor de combustão interna, foi idealizado pelo engenheiro alemão Nikolaus August Otto (figura 1). Nascido em *Holzhausen an der Haide*, foi ele que inventou e construiu o primeiro motor de combustão interna de quatro tempos, em 1876, e determinou o ciclo teórico, sob o qual trabalha.

Figura 1 – Nikolaus August Otto



Fonte: Find a Grave (2009)

Então, esse motor, mostrou várias vantagens em relação aos motores a vapor, que eram utilizados na época. Uma delas era seu peso, já que os motores a vapor necessitavam de imensos reservatórios de água e combustível para aquecer essa água, que poderia ser carvão ou lenha. Também apresentava uma maior eficiência, já que era mais econômico e rendia uma maior potência em relação a proporção de seu tamanho. Embora muito tempo tenha se passado, o princípio de funcionamento dos motores de combustão interna permanece inalterado, sempre obedecendo aos 4 tempos criados por Otto. (CAR UP, 2017)

Como já citado, o funcionamento do motor de combustão interna se dá por meio de 4 tempos: Admissão, Compressão, Combustão e Escape.

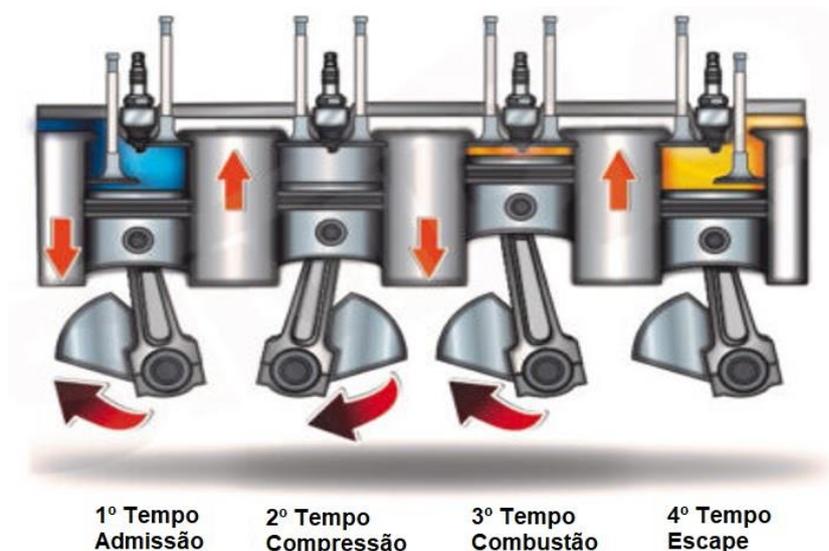
No processo de admissão, as válvulas de admissão se abrem, permitindo que haja a captação de ar pelo cilindro, pelo movimento descendente do pistão até o Ponto morto inferior (PMI). Junto a esse ar, também é admitido o combustível, que, graças ao desenho das paredes internas do cilindro, haja um turbilhonamento do ar e do combustível, ocorrendo a perfeita mistura e atomização do combustível ao ar.

Na etapa da compressão, com as válvulas de admissão e escape fechadas, a mistura ar/combustível é comprimida ao máximo pelo movimento ascendente do pistão até o Ponto morto superior (PMS). Ao realizar esse processo, a temperatura e pressão da câmara de combustão aumentam muito, a fim de facilitar na etapa seguinte, a combustão, e para assegurar que haja uma queima de qualidade.

Já no processo de combustão, é onde o trabalho efetivo ocorre. Quando o pistão atinge o PMS, e as válvulas de admissão e escape continuam fechadas, há a centelha da vela, fazendo com que a mistura ar/combustível se inflame, fazendo com que a pressão na cabeça do pistão aumente consideravelmente, fazendo com que retorne ao PMI e produza o movimento linear, do qual será transformado em rotativo pela árvore de manivelas ou virabrequim.

E por último, ocorre o escape, onde as válvulas de escapamento se abrem, permitindo que os gases resultantes da combustão limpem e saiam da câmara, para assim se iniciar novamente os 4 tempos do motor, conforme figura 2. (BRUNETTI, pg. 27, 2012)

Figura 2 – Ciclo Otto



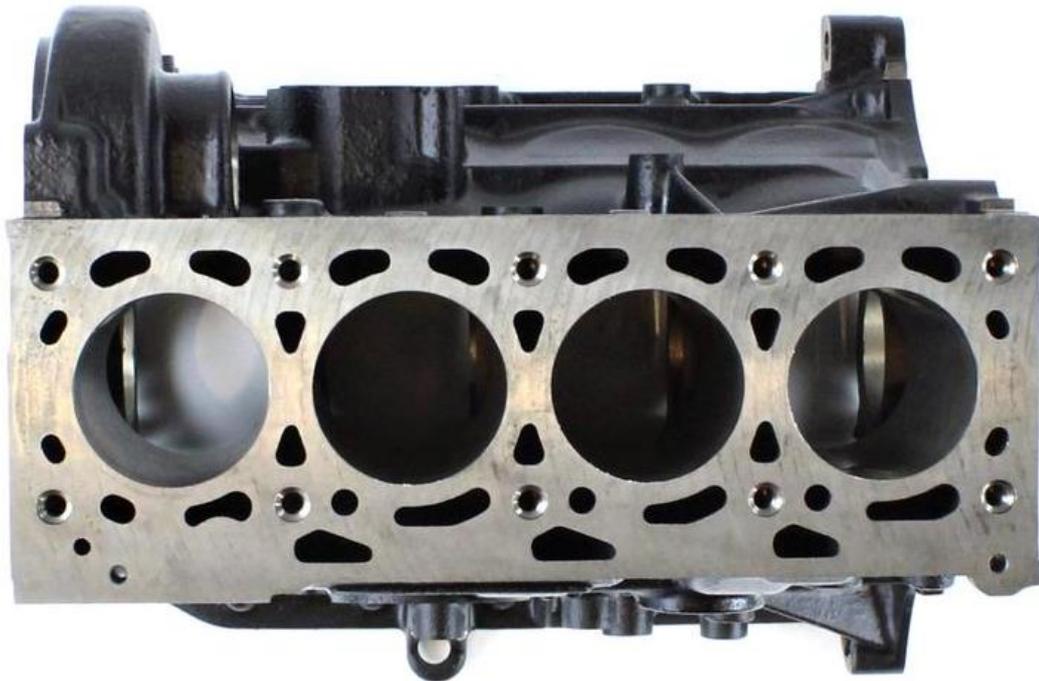
2.1.1. Componentes do Motor de Combustão Interna

O motor de combustão interna possui vários componentes necessários para seu funcionamento, que podem ser fixos ou móveis. A seguir, os principais:

Componentes fixos

Bloco do Motor: Geralmente construído de ferro fundido ou de alumínio, é a maior peça do motor e responsável por suportar todas as outras, como cabeçote, virabrequim, alternador etc (figura 3). É nele que se encontram as câmaras de combustão, e conseqüentemente alojadas nelas, os pistões.

Figura 3 – Bloco do Motor



Fonte: Peças VW (2022)

Cabeçote: Responsável por abrigar válvulas, comando de válvulas e tuchos mecânicos/hidráulicos, é uma peça fundamental ao motor, já que é ele que determina a forma da câmara, além de permitir a passagem dos gases de admissão e escape. Comumente feito de alumínio (figura 4).

Figura 4 – Cabeçote



Fonte: Peças VW (2022)

Cárter: Peça responsável por armazenar o lubrificante, necessário para a lubrificação e arrefecimento das partes fixas e móveis do motor (figura 5).

Figura 5 – Cárter



Fonte: Peças VW (2022)

Componentes Móveis

Árvore de manivelas (Virabrequim): Localizado na parte de baixo do bloco, é a peça responsável por receber as forças geradas pelos pistões durante a queima e transformar o movimento linear destes em movimento rotativo (figura 6).

Figura 6 – Árvore de Manivelas



Fonte: Peças VW (2022)

Êmbolo: Elemento responsável por receber toda a pressão e temperatura proveniente da queima, que junto a biela, transformam a energia química/térmica em energia mecânica (figura 7).

Figura 7 – Êmbolo



Fonte: MAHLE (2022)

Biela: Responsável por ligar o êmbolo ao virabrequim, suportar a pressão junto ao êmbolo e transmitir o movimento ao virabrequim (figura 8).

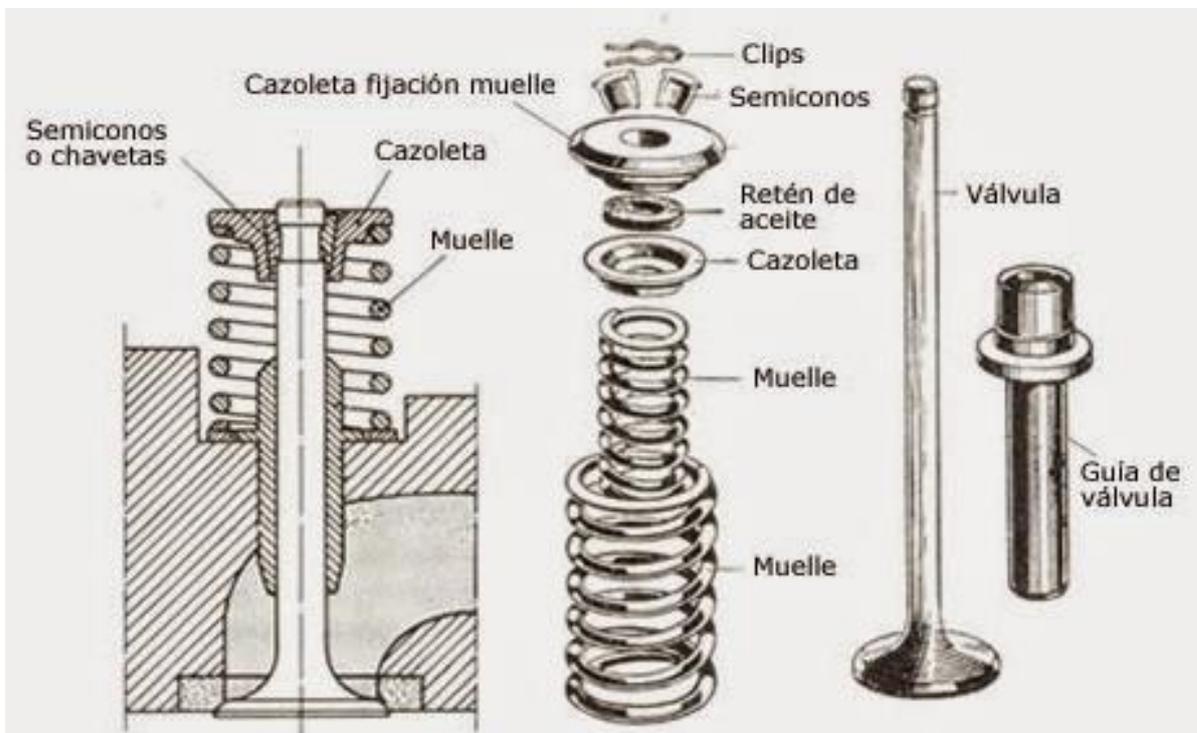
Figura 8 – Biela



Fonte: MAHLE (2022)

Válvulas: Responsáveis por regular o fluxo de gases que entram e saem da câmara de combustão. (figura 9) (BRUNETTI, pg. 47, 2012)

Figura 9 – Válvulas



Fonte: Canal da Peça (2015)

2.1.2. Variações do Motor de Combustão Interna

Além do Ciclo Otto, há algumas variações que vamos comentar abaixo:

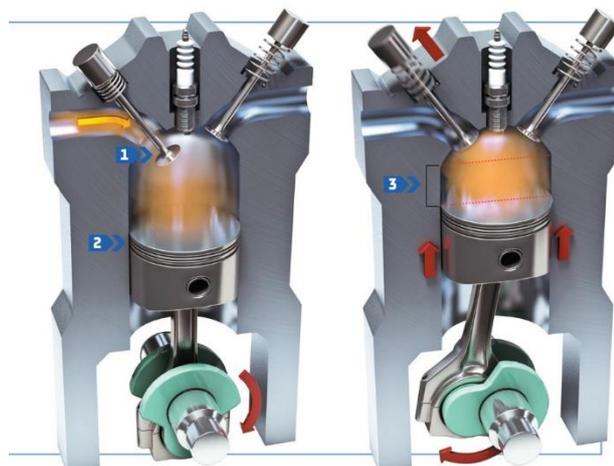
Ciclo Miller

Patenteado em 1957 pelo engenheiro americano Ralph Miller, foi utilizado por algumas montadoras, como Subaru e Mazda. Sua principal diferença em relação ao ciclo Otto está no tempo de abertura de válvulas. Então, enquanto no ciclo Otto a válvula de admissão irá abrir somente quando o pistão estiver no PMS, no ciclo Miller ela se abre antes do pistão retornar ao PMS (figura 10). Para garantir que parte da mistura não retorne ao sistema de admissão, esse ciclo trabalha com compressores e turbocompressores. (QUATRO RODAS, 2016)

Ciclo Atkinson

Nesse tipo de ciclo, o pistão se desloca mais na combustão do que na compressão. Assim, o motor faz menos força na compressão, aproveitando a energia liberada, reduzindo as perdas por bombeamento (figura 10). Apesar de o motor ser durável e econômico, a potência é menor quando comparado a uma unidade Otto tradicional. (QUATRO RODAS, 2016)

Figura 10 - Ciclo Miller / Ciclo Atkinson



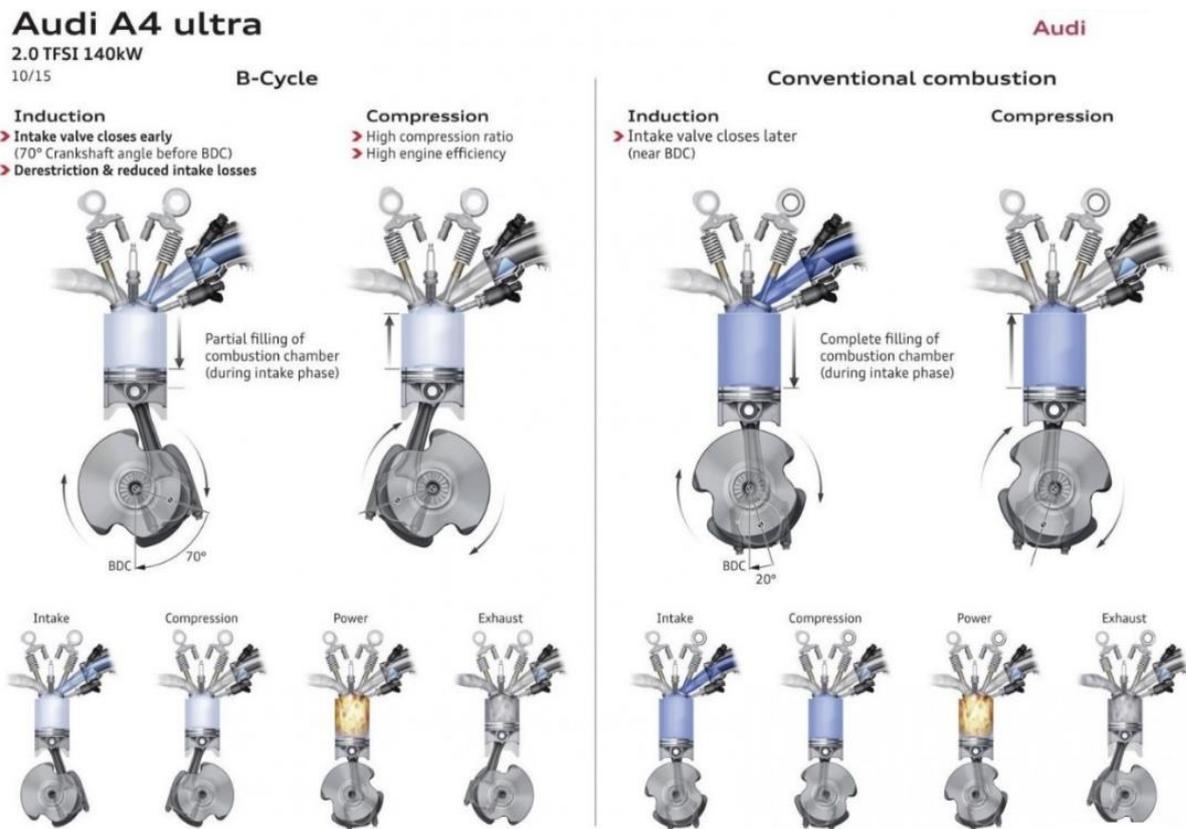
Fonte: Quatro Rodas (2016)

Ciclo Budack

O engenheiro alemão do grupo Volkswagen Ralf Budack foi o responsável por idealizar esse ciclo, que atua também no tempo de abertura de válvulas (figura 11). Se o motor não estiver sendo muito exigido, o tempo de admissão é reduzido. Já quando é necessária uma potência máxima, o tempo de abertura se torna máximo

também. Para seu perfeito funcionamento, esse ciclo conta com um controle eletrônico avançado, além de contar com sobrealimentação. (QUATRO RODAS, 2016)

Figura 11 – Ciclo Budak



Fonte: Quatro Rodas (2016)

Ciclo Diesel

Rudolf Diesel foi o responsável por inventar este tipo de motor. Ele funciona similar ao ciclo Otto, com seus quatro tempos. A principal diferença, é a ausência da centelha no terceiro tempo. Então, na admissão, é admitido somente ar, com o combustível sendo injetado somente quando o pistão atinge o PMS e o ar está com máxima pressão e elevada compressão, fazendo com que a mistura enfim entre em combustão. (BRUNETTI,pg. 35, 2012)

2.2. Turbocompressores

Os turbocompressores servem para aumentar a potência de um motor de combustão interna, sem a necessidade de aumentar a cilindrada do motor. Como o rendimento de um motor está ligado diretamente a sua capacidade de aspiração de

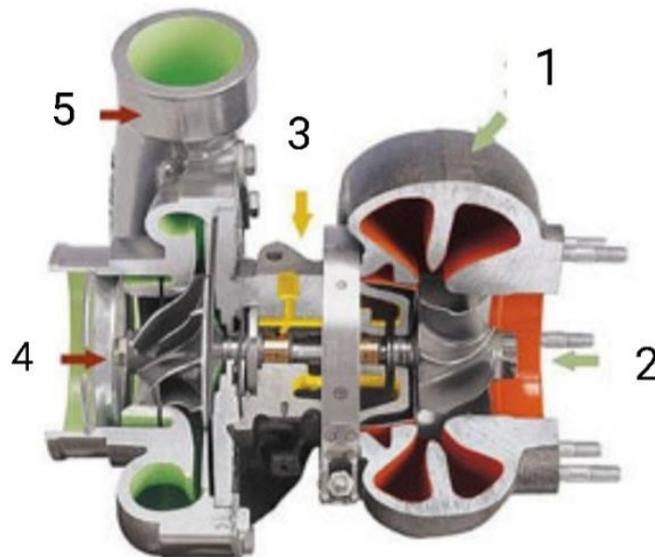
massa de ar, o turbocompressor consegue comprimir esse volume de ar antes de ser admitido, fazendo com que a massa de ar dentro da câmara de combustão aumente, e conseqüentemente seu rendimento.

2.2.1. História da Indução Forçada

A ideia de indução forçada remete ao final do século 19, por volta de 1885 onde Gottlieb Daimler patenteou a técnica de usar uma bomba de engrenagens para forçar ar para dentro de um motor de combustão interna.

Em 1905, um engenheiro suíço chamado Alfred Büchi patenteou (CH 35 259A) a ideia que ainda hoje é considerada o nascimento do turbocompressor da maneira que conhecemos, nessa patente o conceito era descrito como um motor alternativo que utilizava a energia dos gases de escape para aumentar o fluxo de ar-combustível aumentando o desempenho. Para isso a energia cinética do escapamento passa pela carcaça quente (1) acionaria um eixo (2) sendo transmitido o movimento rotacional pelo eixo apoiado por mancais (3) acionando o rotor da turbina (4) essa turbina comprime o ar através da carcaça fria (A) para dentro dos cilindros, como ilustrado a seguir.

Figura 12 – Turbo em corte



Fonte: Biribombas (2022)

O primeiro protótipo foi concluído em 1915 com o objetivo de superar a perda de potência experimentada pelos motores das aeronaves devido à diminuição da densidade do ar em grandes altitudes. No entanto, o protótipo não era confiável e não atingiu a produção. Outra patente inicial de turbocompressores foi solicitada em 1916

pelo inventor francês das turbinas a vapor Auguste Rateau, para o uso pretendido nos motores Renault usados pelos caças franceses. Separadamente, os testes de 1917 pelo Comitê Consultivo Nacional Americano para Aeronáutica e Sanford Alexander Moss mostraram que um turbocompressor poderia permitir que um motor evitasse qualquer perda de potência (em comparação com a potência produzida no nível do mar) a uma altitude de a 4.250 m (13.944 pés) acima do nível do mar. O teste foi conduzido em Pikes Peak, nos Estados Unidos, usando o motor de aeronave V12 Liberty.

A primeira aplicação comercial de um turboalimentador foi em 1925, quando Alfred Büchi instalou turboalimentadores em motores a diesel de dez cilindros, aumentando a potência de 1.300 para 1.860 quilowatts (1.750 a 2.500 HP). Este motor foi usado pelo Ministério dos Transportes alemão para dois grandes navios de passageiros chamados "Preussen" e "Hansestadt Danzig". O projeto foi licenciado para diversos fabricantes e os turboalimentadores passaram a ser utilizados em aplicações marítimas, ferroviárias e estacionárias de grande porte.

Turbocompressores foram usados em vários motores de aeronaves durante a Segunda Guerra Mundial, começando com o Boeing B-17 Flying Fortress em 1938, que usava turboalimentadores produzidos pela General Electric. Outros primeiros aviões turboalimentados incluíram o B-24 Liberator , o P-38 Lightning , o P-47 Thunderbolt e os protótipos experimentais Focke-Wulf Fw 190 .

A primeira aplicação prática para caminhões foi realizada pela empresa suíça de fabricação de caminhões Adolph Saurer AG na década de 1930. Os motores BXD e BZD foram fabricados com turboalimentação opcional de 1931 em diante. A indústria suíça desempenhou um papel pioneiro com motores turboalimentados, como testemunhado por Sulzer, Saurer e Brown, Boveri & Cie., ABB hoje.

Os fabricantes de automóveis começaram a pesquisar motores turboalimentados durante a década de 1950, porém os problemas de "turbo lag" e o tamanho volumoso do turboalimentador não puderam ser resolvidos na época. Os primeiros carros turboalimentados foram o curto Chevrolet Corvair Monza e o Oldsmobile Jetfire, introduzidos em 1962. Após a crise do petróleo de 1973 e as emendas da Lei do Ar Limpo de 1977 , a turboalimentação tornou-se mais comum em automóveis, como um método para reduzir o consumo de combustível e as emissões de escape.

Figura 13 – Oldsmobile Jetfire – Primeiro carro turbo



Fonte: Auto Entusiastas (2019)

2.2.2. Tipos de Turboalimentadores e Sobrealimentadores

Com o avanço da tecnologia foram desenvolvidos diversos projetos de turboalimentadores e sobrealimentadores, todos com o intuito de induzir ar comprimido para dentro da câmara de combustão afim de gerar maior eficiência energética dos motores de combustão interna. Geralmente há três tipos básicos de “compressores” usados no motor de combustão interna: o sobrealimentador acionado mecanicamente, o turboalimentador de gás de escapamento e o sobrealimentador com onda de pressão.

Entre os modelos temos:

Sobrealimentador centrífugo mecânico

O compressor MLK corresponde a configuração do turboalimentador de gás de escapamento. Esse tipo de compressor é extremamente eficiente em relação as suas dimensões e o fluxo volumétrico. Porém devido as altíssimas velocidades periféricas necessárias para gerar pressão é necessário a instalação de sistemas de engrenagens multiplicadoras para atingir a velocidade necessária.

Esse modelo de projeto não foi largamente utilizado para sobrealimentadores mecânicos. (MANUAL DE TECNOLOGIA AUTOMOTIVA, pg. 528, 2005)

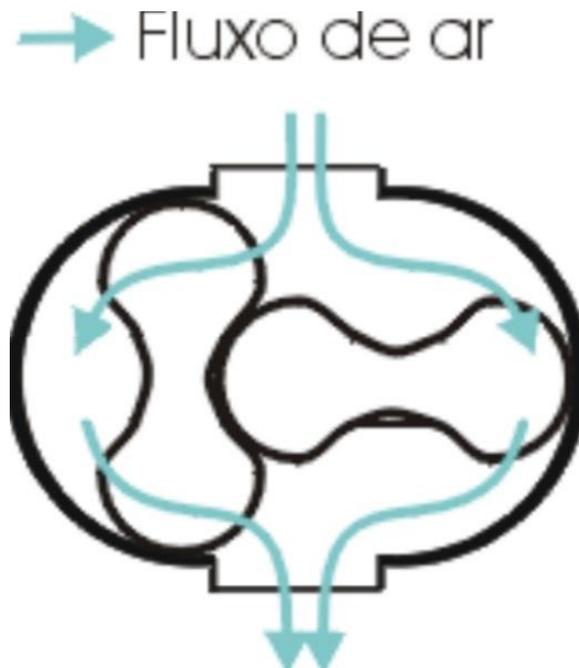
Sobrealimentadores com deslocamento positivo

Os sobrealimentadores com deslocamento positivo operam com ou sem compressão interna. Os com compressão interna incluem os compressores com pistão alternativo, tipo parafuso, pá deslizante, e com pistão rotativo.

Sobrealimentador roots

O sobrealimentador roots (figura 14) configurados com duas pás, tem como princípio de operação o contato entre a carcaça ou entre as próprias pás. Suas folgas são determinadas pelos materiais e design. (MANUAL DE TECNOLOGIA AUTOMOTIVA, pg. 529, 2005).

Figura 14 – Seção transversal de um sobrealimentador roots



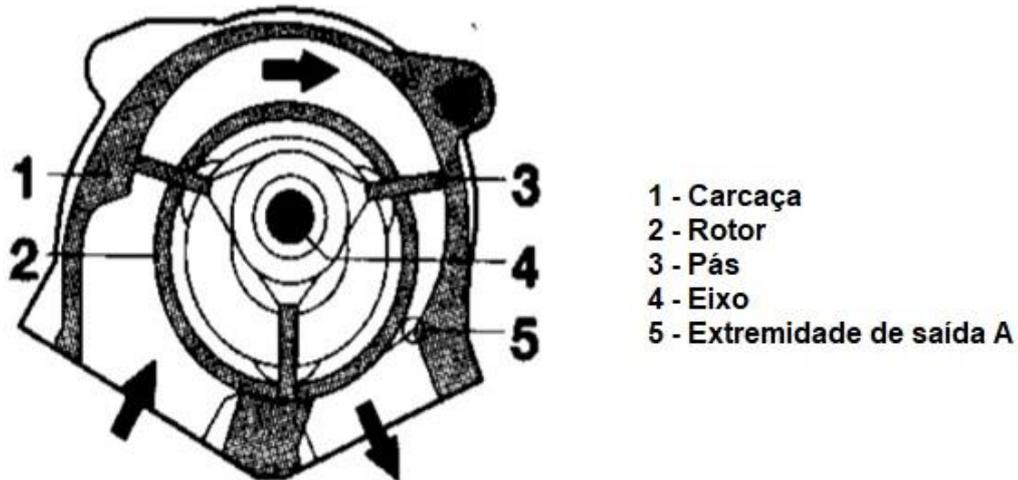
Fonte: Best Cars Web Site (2000)

Sobrealimentador com pás deslizantes

Neste tipo de sobrealimentador é montado um motor de forma excêntrica para movimentar três pás deslizantes montadas centralizadas (figura 15). O movimento

fora de centro que garante a compressão. (MANUAL DE TECNOLOGIA AUTOMOTIVA, pg. 529, 2005).

Figura 15 – Seção transversal de um sobrealimentador com pá deslizante



Fonte: Manual de Tecnologia Automotiva 25° / Adaptado pelos autores (2005)

Sobrealimentador tipo espiral

Esse sobrealimentador utiliza um dispositivo de deslocamento montado fora de centro, que é projetado para responder ao eixo primário, girando em um padrão excêntrico duplo (figura 16). As câmaras de serviços abrem-se para admissão e no momento de transporte do fluido (gases), se fecha para haver compressão, posteriormente se abre novamente para descarga. O dispositivo de deslocamento é acionado por um eixo acoplado em uma correia e sua lubrificação é feita por graxa, enquanto a lubrificação do eixo é feita pelo óleo do motor. (MANUAL DE TECNOLOGIA AUTOMOTIVA, pg. 529, 2005).

Figura 16 – Seção transversal de um sobrealimentador tipo espiral

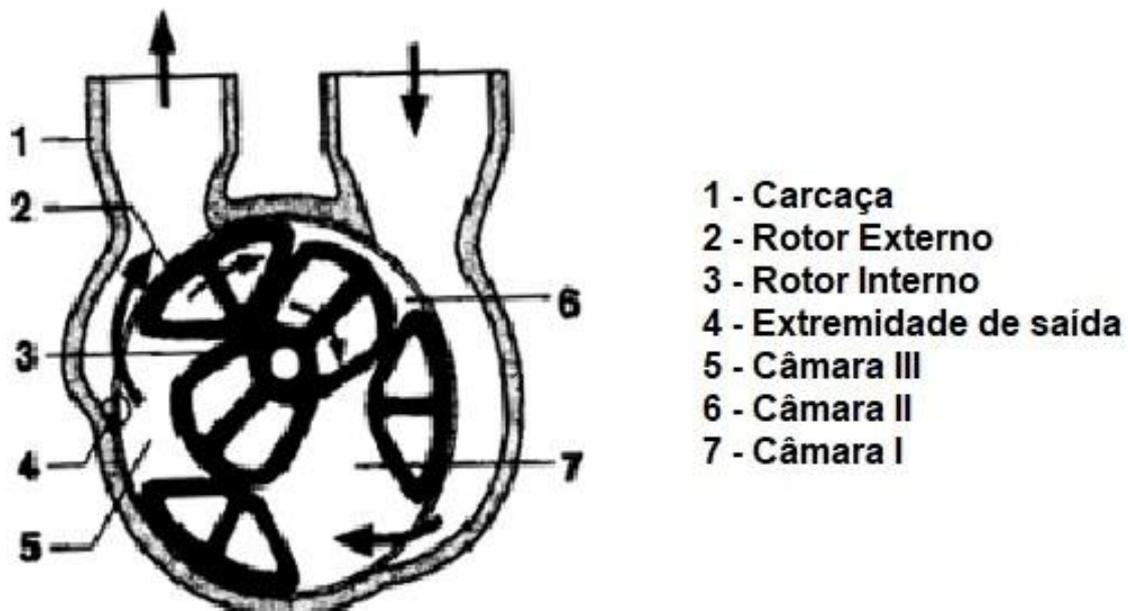


Fonte: Manual de Tecnologia Automotiva 25° / Adaptado pelos autores (2005)

Sobrealimentador com pistão rotativo

O sobrealimentador com pistão rotativo contém apenas um pistão que gira em torno de um eixo central, esse rotor gira através de um padrão excêntrico no rotor externo cilíndrico (figura 17). Os rotores giram em direções opostas em torno dos eixos fixos. Um par engrenado faz o sincronismo dos rotores interno e externo, sua lubrificação é feita por graxa. (MANUAL DE TECNOLOGIA AUTOMOTIVA, pg. 530, 2005)

Figura 17 – Seção transversal de um sobrealimentador com pistão rotativo

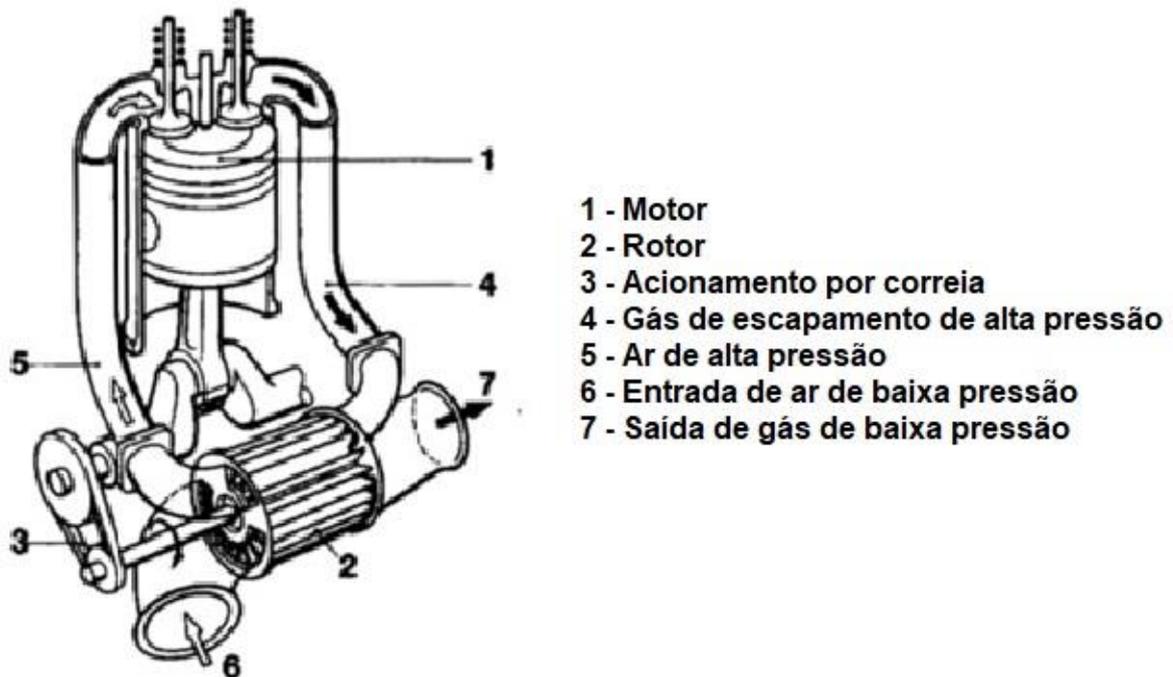


Fonte: Manual de Tecnologia Automotiva 25° / Adaptado pelos autores (2005)

Sobrealimentadores com onda de pressão

Este tipo de sobrealimentador utiliza a energia gerada pelos gases de escapamento através de ondas de pressão para o transporte de ar para o sistema de admissão, a troca de energia é realizada em velocidades altíssimas, assim, permitindo que o sobrealimentador reaja rapidamente as demandas do motor (figura 18). Seu acionamento é feito pela árvore de manivelas através de correias, porém como a troca de energia depende essencialmente da temperatura dos gases, significa que as ondas de pressão se dão em função do torque do motor ao invés da velocidade dele. (MANUAL DE TECNOLOGIA AUTOMOTIVA, pg. 531, 2005).

Figura 18 – Sobrealimentador por onda de pressão



Fonte: Manual de Tecnologia Automotiva 25° / Adaptado pelos autores (2005)

Turbocompressor de gás de escape

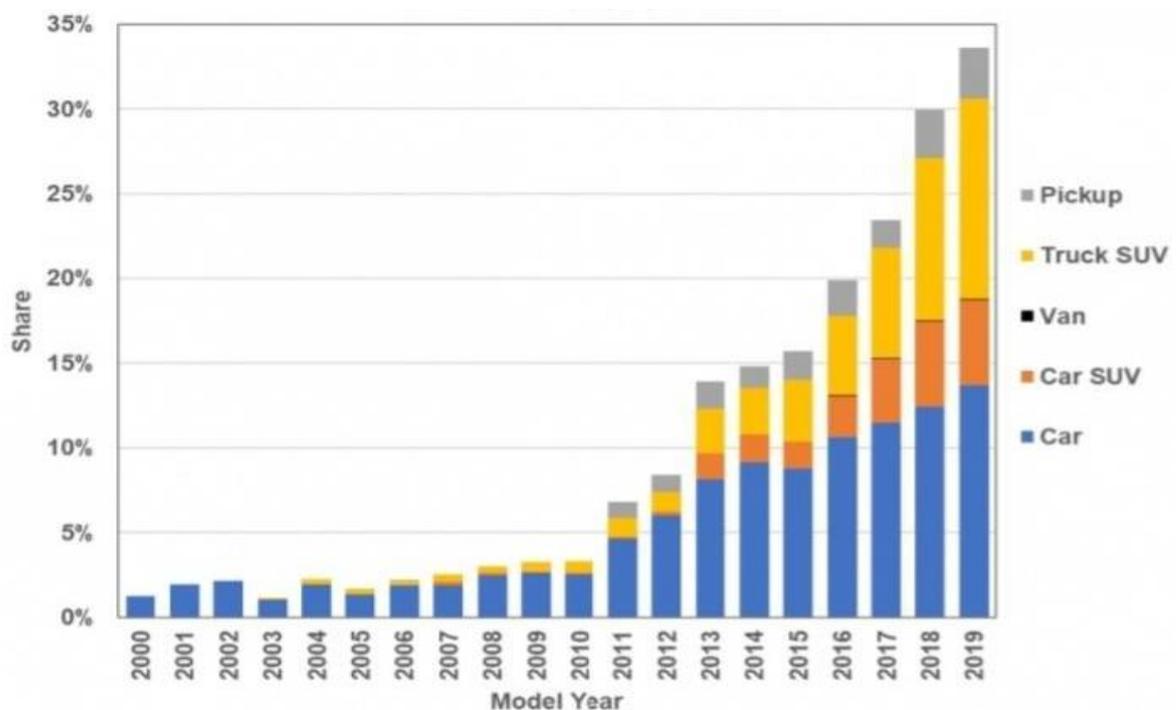
Princípio Operacional: De acordo com o Manual de Tecnologia Automotiva da Bosch 25° edição o turboalimentador de gás de escape consiste em dois turboelementos que são uma turbina e um compressor interligados por um único eixo. A turbina utiliza a energia cinética dos gases de escape, transformando-a em energia mecânica para acionar o compressor. O compressor, por sua vez, aspira ar fresco e fornece esse ar ao motor sob a forma comprimida. Em termos de energia, o ar e o fluxo de massa dos gases de escape representam o único acoplamento entre o turboalimentador e o motor. A velocidade do turbocompressor não depende da velocidade do motor, ela é uma função de um balanceamento de energia de acionamento entre a turbina e o compressor.

Aplicações: Os turboalimentadores de gás de escape, tradicionalmente eram usados em motores diesel. No entanto originalmente ele era usado em motores diesel somente para trabalhos pesados, como, caminhões, maquinário agrícola, máquinas voltadas a construção, locomotivas e na indústria naval. Apenas em meados da década de 70 foi trazida a tecnologia do turbocompressor de gás de escape para os carros de passeio. Hoje, virtualmente é considerado que todos

os motores diesel na Europa são equipados com turbocompressor e intercooler. (MANUAL DE TECNOLOGIA AUTOMOTIVA, pg 532, 2005).

Por motivos de técnicos a Sobrealimentação em motores de combustão interna para carros de passeio era destinada apenas para carros esportivos de alto rendimento e de competição. Segundo o escritório de eficiência energética e energia renovável do departamento de energia dos Estados Unidos (U.S Department of Energy) em 2019 cerca de 1/3 (um terço) dos carros produzidos por lá possuíam a tecnologia do turbocompressor.

Figura 19 – Percentuais de Veículos Produzidos Turboalimentados



Fonte: U.S Department of Energy (2019)

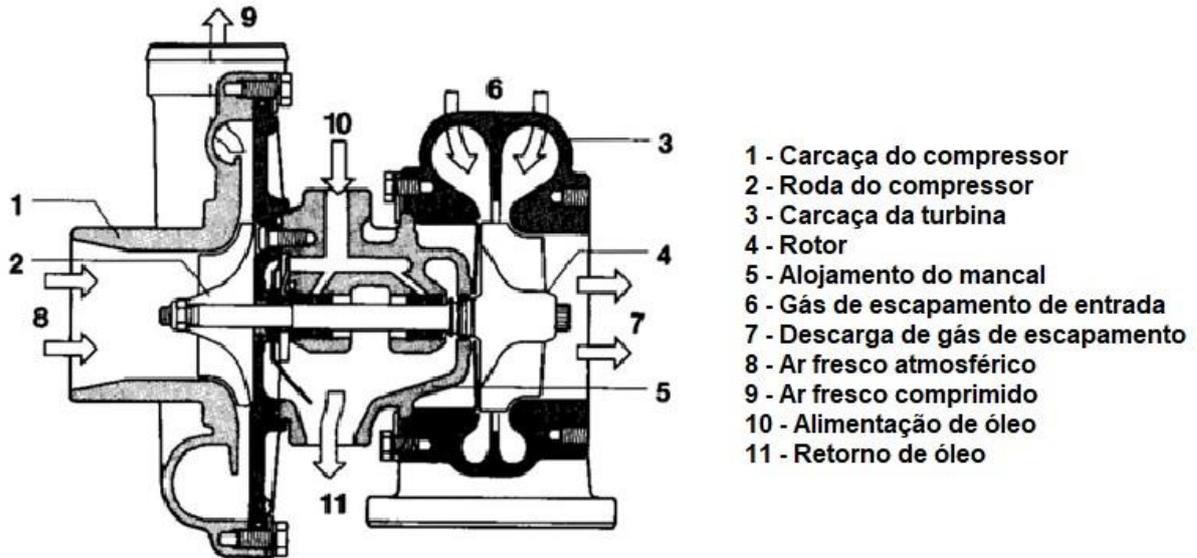
A sobrealimentação nos motores a combustão interna a gasolina ou etanol passou a fazer parte do desenvolvimento dos motores principalmente relacionado a motores pequenos e médios, tendo como principais objetivos maior eficiência, assim evitando um motor com uma quantidade grande de cilindros, influenciando positivamente num menor espaço para instalação, alívio de peso e consequentemente economia de combustível.

Componentes do turbocompressor: O turboalimentador de gás de escapamento consiste basicamente em quatro componentes:

- a) Alojamento do mancal
- b) Compressor

- c) Turbina e
- d) Instalação para controle de pressão de reforço

Figura 20 – Exemplo dos Componentes de um Turbocompressor para Caminhão com Carcaça da Turbina com Fluxo Duplo



Fonte: Manual de Tecnologia Automotiva 25° / Adaptado pelos autores (2005)

a) Alojamento do mancal

O alojamento do mancal é onde acomoda os mancais e os elementos de vedação. Os turboalimentadores de alta tecnologia são equipados com mancais lisos no conjunto axial e radial, em algumas aplicações existem mancais com rolamentos, e está em desenvolvimento modelos alternativos de mancais como mancais hidráulicos e magnéticos. Os mancais são projetados em função dos requisitos referentes a características de perda de potencia, estabilidade e ruído. O sistema de refrigeração pode ser feito por água ou óleo. Atualmente esses conjuntos são usados para controlar velocidades de até 300.000 rpm, de maneira confiável.

b) Compressor

Os compressores são geralmente equipados por uma carcaça e um propulsor de fluxo radial fabricados em alumínio fundido. Suas características de desempenho são determinadas pelas suas curvas respectivas. Isso ajuda a determinar o tamanho e as características do turboalimentador baseado no fluxo de ar requerido pelo motor.

Considerando a proporcionalidade entre velocidade do motor e fluxo volumétrico de ar se deduz que um compressor deve-se ter uma largura de curva característica efetiva substancialmente maior para motores com maiores rotações.

c) Turbina

A roda da turbina de uso padrão é projetada como uma turbina centrípeta. O design da carcaça da turbina depende exclusivamente do seu uso pretendido. As carcaças utilizadas em veículos comerciais são normalmente projetadas como carcaça de duplo fluxo (ver a figura 3), onde os dois fluxos se unem antes de atingir o compressor. Essa configuração é utilizada para turboalimentar o motor com pulsos, usando a energia cinética como a energia de pressão dos gases de escape para gerar potência na turbina. Este efeito é usado particularmente em baixas rotações onde as instabilidades de pressão podem ocorrer devido ao maior intervalo entre os pulsos de entrada. Por este motivo a turboalimentação por pulso é usada em motores de baixa velocidade. A turboalimentação com pressão contínua geralmente é utilizada em motores de altas rotações.

d) Controle de pressão de reforço

Considerando a alta velocidade rotacional dos motores de carros de passeio, a instalação de um sistema de controle de pressão de reforço é indispensável para haver um controle da pressão máxima de turbo na admissão, com o controle eletrônico é possível controlar a pressão não somente na faixa de plena carga, mas também em toda sua curva característica, não importando qual seja a força de acionamento.

2.3. Intercooler

O intercooler é um componente instalado no sistema de sobrealimentação, sua principal função é retirar calor do ar que vem pressurizado pelo turbocompressor, tornando o ar mais frio para ser admitido nos cilindros, conseqüentemente aumentando a performance do sistema de sobrealimentação. Sua utilização é necessária, como vai ser demonstrado nesse projeto, devido a instalação de um kit turbo em um veículo original.

Figura 21 – Intercooler padrão



Fonte: Revista Quatro Rodas

2.3.1. Funcionamento

A kit turbo instalado em um motor naturalmente aspirado torna o ar muito mais quente do que o veículo foi projetado para trabalhar. O intercooler instalado após o compressor, tem a função de radiador no sistema, pega o ar quente e faz a troca térmica de forma cruzada para diminuir o calor que foi gerado na sobrealimentação. Normalmente, o intercooler é fabricado em alumínio, isso se deve ao seu custo que comparado a outros materiais é mais em conta, mas também outro fator importante é sua boa condutividade térmica que é de 205 W/mK, como observado na figura.

Figura 22 – Condutividade térmica dos materiais

Material	Condutividade Térmica(W/m ² .°C)	Material	Condutividade Térmica(W/m ² .°C)
Prata	426	Cobre	398
Alumínio	237	Tungstênio	178
Ferro	80,3	Vidro	0,72 – 0,86
Água	0,61	Tijolo	0,4 – 0,8
Madeira(pinho)	0,11 – 0,14	Ar	0,026
Espuma de poliestireno	0,033	Espuma de poliuretano	0,020
Fibra de vidro	0,046		

Condutividade térmica de materiais a 27°C

Fonte: Adaptado pelos autores (2021)

O intercooler é um componente essencial quando se fala em preparação de um veículo original que vai ganhar uma sobrealimentação, o não correto dimensionamento pode ocasionar o sistema a ter perda de pressão interna de admissão, afetando totalmente o desempenho após a preparação.

Um efeito do mau dimensionamento do intercooler é chamado “turbo lag”, que nada mais é que o atraso da resposta do turbo. O efeito do turbo lag pode ser calculado no momento em que a borboleta é aberta (ação de aceleração do motorista), até chegar a pressurização no motor e der uma resposta de potência.

A maneira de calcular esse atraso pode ser conforme equação 1:

$$T = V / F \times 60 / 1728 \times 2 \quad (1)$$

Onde:

T - tempo de resposta do motor (s)

V - volume de ar admitido (pol³)

F – quociente de vazão do ar, depende da rotação onde a aceleração é dada (ft³/min)

Na fração 60 / 1728 é a razão de transformação de dados, a vazão em minutos, e o volume em polegadas, no x² o fator de multiplicação dado pelo fluxo de ar ser dobrado ao alterar a carga de cruzeiro para plena potência.

Usando esse cálculo é possível determinar qual a resposta do motor ao ser utilizado pelo motorista, e também pode ser usado para determinar o dimensionamento correto do intercooler.

2.3.2. Tipos de Intercooler

Abaixo, será listado alguns tipos mais utilizados de intercooler.

Intercooler do tipo ar/ar

O intercooler do tipo ar/ar é o mais conhecido trocador de calor do mercado, é muito utilizado em preparações. Sua fabricação é feita em alumínio, semelhante a

radiadores do sistema de arrefecimento, com dutos internos onde o ar passa pelo turbocompressor e é admitido pelo motor.

Figura 23 – Intercooler Ar/Ar



Fonte: Spa Turbo

No intercooler tipo ar/ar a construção é feita no formato de dutos, onde o ar que foi admitido passa por dentro, e entre os dutos existem aletas na forma conhecida como serpenteado (zigue-zague), onde o ar faz a condução do calor que esquentas as paredes do duto interno pra fora do intercooler o resfriando.

Atualmente no mercado existe três tipos de dutos internos:

- Dutos retangulares com labirintos brasados: esse padrão é o mais eficiente na troca térmica, por ter as paredes finas e internamente tem aletas que fazem o ar passar o máximo possível pelas paredes, aumentando seu rendimento.
- Dutos com tubos expandidos: esse padrão é o com menor eficiência de troca térmica no mercado, seus tubos redondos fazem o ar entrar em turbilhonamento e não tendo contato com a parede.
- Dutos estriados: esse tem um padrão baixo de troca térmica, seus dutos retangulares e bordas brasadas fazem as paredes serem grossas, o que dificulta a condução térmica.

Intercooler do tipo ar/água

O intercooler do tipo ar/água tem uma série de ganhos em relação ao ar/ar, por utilizar água para gerar a troca térmica, existe um ganho no coeficiente global de

transferência de calor e ainda facilita o cálculo da troca térmica, pois a capacitância da troca térmica da água é a que a bomba usa para realizar a passagem do líquido no sistema.

Figura 24 – Intercooler do tipo ar/água do veículo Up! TSI



Fonte: Arquivo de Marco Aurélio Fróes

Esses benefícios fazem o intercooler diminuir de tamanho e com isso facilitando a instalação próximo a admissão de ar do veículo, fazendo o tempo que o ar leva para passar dentro do coletor diminuir, minimizando o turbo lag sentido pelo motorista.

O intercooler ar/água está sendo amplamente utilizado pelas montadoras por conta do padrão Downsizing, onde para conseguir atender os níveis de emissões são utilizados motores com baixa cilindrada e utilizam a sobrealimentação para ganhar potência, e com a utilização do intercooler ar/água conseguem diminuir o turbo lag, mais em contrapartida a sua utilização é necessário a instalação de mais componentes externos como bomba d` água, reservatório para o líquido, entre outros, e por esse motivo não é muito utilizado para equipar veículos preparados.

2.4. Densidade

A densidade nada mais é do que a relação entre a massa de um material e o seu volume, em uma certa temperatura e pressão. Ela é obtida pela razão entre a massa e o volume do corpo e é medida em kg/m^3 no Sistema Internacional de Unidades. É a propriedade que define se um corpo irá afundar ou flutuar em um líquido. A fórmula para se calcular a densidade de qualquer material é $d=m/v$, onde d é densidade, m é massa e v é volume.

2.4.1. Ar atmosférico

O ar atmosférico é a mistura de ar seco, vapor de água e impurezas. Então, é considerado ar seco quando se retira toda as impurezas e o vapor de água.

Figura 25 – Composição do ar



Fonte: UFPR (2010)

A composição do ar seco permanece, relativamente, sempre constante, enquanto o vapor de água varia consideravelmente por ser condensável em pressões e temperaturas usuais.

2.4.2. Eficiência volumétrica e a densidade (Ou Massa específica de entrada)

Sobre a eficiência volumétrica e a densidade do ar podemos afirmar que:

A eficiência volumétrica é definida como sendo a relação entre a massa de mistura nova que entra para o cilindro durante o curso de admissão e a massa que encheria o volume deslocado pelo pistão, com a massa específica da atmosfera. A eficiência volumétrica é de grande interesse como medida de desempenho do conjunto do cilindro como elemento de bombeamento. Para avaliar esse desempenho é necessário definir a densidade de entrada como a densidade da mistura fresca na entrada da válvula ou próximo dela. Quando a densidade de entrada é determinada dessa maneira, a eficiência volumétrica resultante mede as condições de bombeamento do cilindro e perdas na válvula somente.

Nem sempre é conveniente e também possível a medida da densidade na entrada da válvula. Entretanto, a densidade da atmosfera próximo a tomada de ar do motor pode sempre ser medida sem maiores dificuldades. Quando a densidade é medida neste ponto, a eficiência volumétrica resultante mede o desempenho de escoamento de todo o sistema de admissão do motor, bem como a condição dos cilindros e as perdas nas válvulas. A eficiência volumétrica assim determinada é chamada eficiência volumétrica global. Nos motores de aspiração natural, a eficiência volumétrica não difere muito da medida na entrada da válvula. Já em motores sobrealimentados, a eficiência volumétrica é de pequeno significado, já que este não faz diferença o desempenho do sobrealimentador e dos cilindros. Neste caso, é mais significativo medir a pressão e temperatura na saída do compressor. (BRUNETTI, 2012, p.48).

Figura 26 – Tabela densidade do ar x temperatura

Temperatura do ar em C°	Velocidade do som em m/s	Densidade do ar em kg/m³	Impedância do ar em Ns/m³
+40	354.94	1.1272	400.0
+35	351.96	1.1455	403.2
+30	349.08	1.1644	406.5
+25	346.18	1.1839	409.4
+20	343.26	1.2041	413.3
+15	340.31	1.2250	416.9
+10	337.33	1.2466	420.5
+5	334.33	1.2690	424.3
0	331.30	1.2920	428.0
-5	328.24	1.3163	432.1
-10	325.16	1.3413	436.1
-15	322.04	1.3673	440.3
-20	318.89	1.3943	444.6
-25	315.72	1.4224	449.1

Fonte: Adaptado pelos autores (2022)

Na tabela acima, são demonstrados a alteração dos valores de densidade em relação ao aumento de temperatura.

3. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

A seguir, estão relacionados os equipamentos e componentes utilizados para a realização do projeto, bem como uma breve explanação de suas funções.

3.1. Veículo

Figura 27 – Veículo utilizado



Fonte: Autores (2022)

Figura 28 – Dados técnicos do veículo

Modelo: Volkswagen Voyage - 2008/09	
Especificações Técnicas	
Instalação:	Dianteiro
Posição:	Transversal
Aspiração:	Natural
Alimentação:	Injeção eletrônica multiponto
Cilindrada:	1598cc
Cilindros:	4 em linha
Comando de válvulas:	No cabeçote, correia dentada
Valvulas por cilindro:	2
Combustível:	Flex
Potência em CV:	104 Etanol - 101 Gasolina @5250 rpm
Torque em kgfm:	15,6 Etanol - 15,4 Gasolina @2500 rpm
Taxa de compressão:	12,1:1
Codigo do motor:	ea111

Fonte: Adaptado pelos Autores (2022)

3.2. Turbocompressor

- Função: Sobrealimentar (induzir a entrada de uma quantidade maior de ar que poderia ser naturalmente aspirada) um motor de combustão interna;
- Marca: Master Power;
- Modelo: R4449-1;
- Características: Carcaça quente .42 Carcaça fria;
- Diâmetro da admissão – 44,05 mm;
- Diâmetro da compressão – 49,50 mm;
- Rotor do compressor: 44,0 mm x 63,0 mm - 6 Palhetas;
- Rotor da turbina: 49,5 mm x 61,5 mm - 10 Palhetas;
- Carcaça central: Lubrificação - Óleo ou água;
- Faixa de potência: 145hp – 360hp.

3.3. Intercooler

- Função: Resfriar o ar oriundo do turbocompressor;
- Marca: RODIN Racing Performance (importado);
- Modelo: Frontal, Ar/Ar;
- Dimensões: 450x180x65mm;
- Capacidade: até 300 hp.

3.4. Injeção Programável

- Função: Gerenciar todo o sistema de injeção/ignição;
- Marca: Fueltech;
- Modelo: FT300.

3.5. Wideband O2

- Função: Fazer a leitura do valor de lambda (proporção ar/combustível);
- Marca: Fueltech;

- Modelo: 02-Nano;
- Faixa de leitura 0,35 λ a 9,99 λ .

3.6. Sonda banda larga

- Função: Identificar a correta relação ar/combustível;
- Marca: Bosch;
- Modelo: Lsu 4.2.

3.7. Válvula de prioridade (blow off)

- Função: Aliviar a pressão da turbina lançando o excesso para a atmosfera;
- Marca: Beep turbo;
- Modelo: Válvula de prioridade turbo adaptado.

3.8. Válvula de alívio (wastegate)

- Função: A válvula de alívio tem como função controlar a pressão no sistema;
- Marca: Beep turbo;
- Modelo: Básico;
- Faixa de pressão: 0,1 à 0,9 bar.

3.9. Dosador de combustível

- Função: Manter a pressão de combustível constante em relação a abertura da borboleta e a rotação do motor;
- Marca: Unique.

3.10. Válvulas injetoras

- Modelo: Green;
- Marca: Bosch;
- Condições: Retrabalhados;

- Vazão: 42 libras.

3.11. Radiador de Óleo

- Marca: PQY;
- Modelo: 13 fileiras;
- Aplicação: universal;
- Tipo de conexão: AN 10.

3.12. Mangueiras de alimentação

- Marca: PERRIN;
- Aplicação: universal;
- Tipo de conexão: AN 10.

3.13. Periféricos

- Manômetros de pressão de turbo e combustível;
- Pressurização em aço inox e borracha;
- Mangueiras auxiliares (com manta de aço inox e borracha);
- Conexões e abraçadeiras;
- Coletor de escape;
- Escapamento dimensionado até abafador intermediário.
- Adaptador de distribuição de óleo

4. DESENVOLVIMENTO PRÁTICO

O processo inicial de desmontagem do carro foi realizado na garagem com o carro sobre cavaletes.

Figura 29 – Carro sobre cavaletes



Fonte: Autores (2022)

Primeiro foi realizada a desmontagem das partes periféricas, como os para-choques, coletores, para ter acesso ao motor (Figura 29). Então, deu-se início a desmontagem do motor em si. A dificuldade nesta etapa foi a obtenção das ferramentas corretas para a desmontagem. Foi necessário que o cárter (figura 30) passasse por uma descontaminação, pois havia formação de borras de óleo, para que fosse feita a tubulação de retorno de lubrificante do turbocompressor.

Figura 30 – Cárter



Fonte: Autores (2022)

Foi dado início a montagem do kit turbo, porém foram necessárias adaptações para que as novas peças se alojassem perfeitamente ao seu local. Foram feitos pequenos ajustes na fixação da flauta de combustível (figura 31), pois os novos injetores retrabalhados eram menores que os originais. Posteriormente, foram instalados os manômetros de pressão de óleo, turbo e combustão (figura 32).

Figura 31 – Flauta de combustível



Fonte: Autores (2022)

Figura 32 – Manômetros



Fonte: Autores (2022)

Também foi preciso refazer a linha de combustível para instalação da válvula dosadora de combustível. A linha de combustível foi confeccionada com mangueira hidráulica de 13x7mm, resistência a pressão de até 10bar (cerca de 150 libras) e

nipples de latão. Na montagem do turbocompressor foi preciso adaptar a fixação do radiador, pois a ventoinha estava em atrito com a carcaça quente da turbina (figura 33), sendo necessário o deslocamento do radiador em cerca de 10mm.

Figura 33 – Espaço da Carcaça



Fonte: Autores (2022)

O filtro de óleo também foi substituído pelo filtro do Volkswagen UP, devido ao seu menor tamanho, para a passagem livre do novo duto do escapamento. Na parte elétrica foi instalado um clumper no sensor MAP para impedir o sinal de saída ultrapasse sua configuração, e instalado uma *wideband* O2 (figura 34) para monitoramento da mistura ar combustível.

Figura 34 – Wideband



Fonte: Autores (2022)

Após completar todos os fluidos e realizar todas as checagens o carro finalmente ligou, depois de cerca de uma semana de testes acendeu a luz de pressão de óleo no painel. Após pesquisa com profissional especializado da área de sobrealimentação, foi colocado um calço de 2,5mm embaixo da mola do *by-pass* para aumentar a pressão do sistema, conforme mostrado na figura 35.

Figura 35 – Bomba de óleo



Fonte: Autores (2022)

Para a confecção do calço foi necessário serviço especializado em usinagem, e a instalação foi seria realizada em uma oficina mecânica especializada, pois não dispúnhamos das ferramentas adequadas, porém pouco tempo antes da instalação um injetor travou aberto e o motor apagou. Entramos em contato com uma oficina especializada em preparação, Biecos Racing, e levamos o carro para ser reparado corretamente, tanto o problema da pressão de óleo quanto o do injetor travado.

Foi realizada a instalação da bomba de óleo, substituição dos injetores pelos Green da Bosch de 42lbs, foi alterada a posição da alimentação de lubrificante da turbina que inicialmente era feita pela conexão do sensor de pressão de óleo no cabeçote e agora passou para um adaptador distribuidor de óleo (figura 36), que fica entre o bloco e o filtro de óleo, e novamente foi preciso substituir o filtro de óleo por um modelo ainda menor que o instalado, e foi optado pelo do Renault Clio, pois o adaptador tem cerca de 25mm de espessura, e sem essa substituição, o filtro entraria em interferência com o escapamento. Também foi retirada a válvula reguladora de

combustível original do carro para diminuir a pressão inicial de trabalho, já que agora tem uma válvula dosadora proporcional de pressão do turbo.

Figura 36 – Adaptador de Distribuição de óleo



Fonte: Autores (2022)

Depois de tudo montado e feito alguns testes, a luz de óleo voltou a acender e foi constatado que o cabeçote estava condenado. Então foi realizada a substituição do mesmo e rodado cerca de 500km para o assentamento de peças, antes de fazer a reprogramação da injeção eletrônica.

Na reprogramação da injeção eletrônica original foi identificado que a mesma já havia sofrido intervenções. Foi feito um novo mapa, porém a injeção não conseguia gravar a nova programação, então foi trocado o sensor MAP pelo do Fiat Punto T-Jet, pois sua configuração tem uma faixa maior de leitura em relação ao original, sem apresentar falhas. Como não havia mais necessidade, o clamper foi retirado. Por apresentar falhas, a sonda lambda também precisou ser substituída. Após algumas tentativas sem sucesso de gravar a reprogramação da injeção, o módulo de injeção foi enviado a um especialista para identificar a falha e realizar o reparo. Após seu retorno, foram realizados novos testes, porém o módulo continuava gerando falhas, fazendo com que a programação não permanecesse salva. Fomos aconselhados pelo preparador a partir para uma injeção programável pois não era viável financeiramente continuar realizando os testes com o módulo de injeção original. A opção foi realizar

a instalação deu uma Fueltech ft300 para gerenciamento do motor, demonstrada na figura abaixo.

Figura 37 – Injeção Programável



Fonte: Autores (2022)

Foi necessário também confeccionar um chicote totalmente do zero para o novo módulo de injeção, fazer um novo mapa de injeção e o acerto em dinamômetro. A imagem abaixo mostra o compartimento do motor após a instalação do turbo.

Figura 38 – Compartimento do motor com turbo



Fonte: Autores (2022)

Após o acerto, o carro foi enviado a uma oficina especializada em sistemas de admissão e exaustão, para a confecção e instalação da tubulação de pressurização do intercooler (figura 39).

Figura 39 – Tubulação Intercooler



Fonte: Autores (2022)

Então, o carro foi levado para a realização do último ensaio com todos os componentes instalados. Após a fase de calibração do dinamômetro, deu-se início ao teste, onde o veículo apresentou desgaste excessivo na embreagem, ocorrendo seu escorregamento acima de cerca de 4000rpm, impossibilitando o prosseguimento do teste. Foi realizado a substituição do kit de embreagem e usinagem (plaina) do volante do motor, a fim de garantir o melhor acoplamento do conjunto. Em conjunto, foi instalado um radiador de óleo para de auxiliar no controle de temperatura do motor. Para uma melhor eficiência do radiador de óleo, foi realizado um retrabalho na grade frontal do veículo com o intuito de aumentar o fluxo de ar melhorando a troca de calor, como mostram as imagens a seguir.

Figura 40 – Kit embreagem



Fonte: Autores (2022)

Figura 41 – Radiador de óleo/ grade frontal



Fonte: Autores (2022)

Finalizando a instalação dos componentes, novamente o carro foi levado ao teste, onde foi aferido seu desempenho, terminando assim o ciclo de testes. Após tudo finalizado, estando ainda no laboratório da Fatec, o carro apresentou um problema na tubulação de refrigeração (figura 42) onde teve de ser feito o reparo da mesma no local.

Figura 42 – Tubulação danificada



Fonte: Autores (2022)

Conforme as figuras 43 e 44, pode-se ver o estado finalizado do projeto, com todos os seus componentes instalados.

Figura 43 – Frontal finalizado



Fonte: Autores (2022)

Figura 44 – Compartimento do motor finalizado



Fonte: Autores (2022)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizados três testes dinamométricos, a fim de avaliar diversos fatores como torque, potência e temperatura do motor. Os testes foram realizados com o carro totalmente original, posteriormente com turbo e depois com a instalação do intercooler. Houve uma padronização, após a adoção do turbo a pressão foi de 0,8 Bar e foram escolhidos três ensaios entre os realizados e onde houve menor variação entre os dados, foi feito a comparação dos dados para avaliá-los. Todos os testes foram realizados usando o combustível etanol.

5.1. Primeiro teste

O primeiro teste foi realizado com o carro totalmente original. A média dos resultados obtidos foi a seguinte:

Potência: 91,23 cv @ 5230 rpm

Torque: 14,08 Kgf.m @ 2600 rpm

Temperatura do motor: 102°C

Temperatura do ar: 54°C

Figura 45 – Resultados Carro aspirado

Disciplina: EMA 023 Ensaios Dinamométricos		Semestre: 6		Data do Ensaio: 10/10/2022										
Veículo: Voyage		Especificação da Potência: 104 cv (A) / 101 cv (G) ~ 5250 RPM		Fatec Santo André										
Dinamometrista: 6º Sem_2022_1		Especificação da torque: 15,6 kgfm (A) / 15,4 kgfm (G) ~ 2500 RPM												
Ensaio	Ventilação (m³/min)	Pressão dos pneus (psi/bar)	Temperatura dos pneus (°C)	Temperatura do ar (°C)	Temperatura do motor (°C)	Potência do motor (CV)	Rotação (RPM)	Torque do motor (kgfm)	Rotação (RPM)	Distância de aceleração (m)	Δt (s) (média de 3 ensaios)	Fator de correção	Potência medida (CV)	Rotação da potência medida (RPM)
1	30%	39	54	52	100	88,05	5275	14,04	2600	619,4		1,0765	17,64	5675
2	30%	39	57	50	102	91,24	5300	14,05	2600	612,7		1,0767	17,87	5775
3	30%	39	51	51	102	91,37	5150	14,1	2600	595,3		1,0782	16,71	5660
4	30%	39	51	51	103	92,12	5350	14,11	2600	613,6		1,0767	16,27	5775
5	30%	39	55	51	102	91,04	5250	14,09	2750	605,4		1,0767	15,79	5700
6														
Diferença max - min	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1,90%		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	
Laudos:	0%	39,00	53,00	51,00	102,50	91,58	5300,00	14,10	2675,00	609,50		1,076700	16,03	5721,25
Potência @ RPM:		39,60		5300			Torque @ RPM:	15,18		2675				
Condições climáticas do ensaio dinamométrico de inércia						Setup do Ensaio								
Ensaio	Pressão Atmosférica (mmHg)	Temp ar (°C)	Umidade %	Fator de correção	Norma do Ensaio	Órgãos de Rodagem		RPM Setup (Calibração)	Velocidade	Dímetro Rolo		RPM Início	RPM Final	Combustível
1	721	29,6	47	1,0767	TRD	TWI DE								
2	721	29,6	47	1,0767		TWI DD								
3	721	29,6	47	1,0757		DE Data								
4	721	29,6	47	1,0754		DE Data								
5	721	29,6	47	1,0767		Pressão média	Avanço ignição	Pressão Combustível		Velas de ignição		Fator Lambda		Observações
6						Pressão do ensaio								
Uzozos Atmosf. Médios	721	29,6	47,0	1,07624		Torque das rodas								
						Calotas removidas?								

Fonte: Autores (2022)

A tabela acima mostra os dados colhidos na primeira etapa de testes com o carro totalmente original, devemos nos atentar principalmente nos dados usados para efeito comparativo entre os testes que são, potência (cv), torque (kgfm) temperatura de admissão (°C) e temperatura do motor (°C).

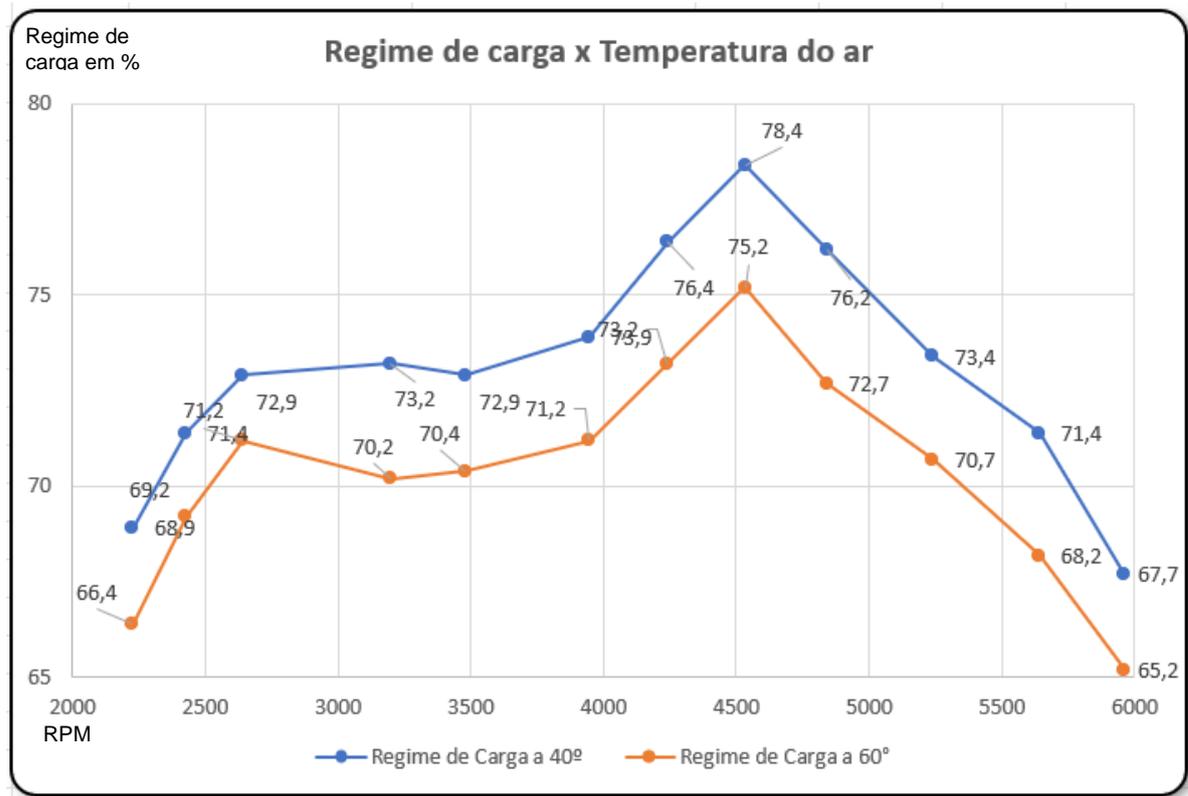
Figura 46 – Tabela carro aspirado

Regime de carga x Temperatura do ar			Observações
RPM	Regime de Carga a 40°	Regime de Carga a 60°	
2227	68,9	66,4	Médias obtidas através dos ensaios com ar acima de 40° e acima de 60°
2427	71,4	69,2	
2640	72,9	71,2	
3200	73,2	70,2	
3480	72,9	70,4	
3947	73,9	71,2	
4240	76,4	73,2	
4533	78,4	75,2	
4840	76,2	72,7	
5240	73,4	70,7	
5640	71,4	68,2	
5960	67,7	65,2	

Fonte: Autores (2022)

Na tabela acima observamos os dados de regime de carga obtidos em ensaios com a temperatura do ar de admissão de 40°C e de 60°C.

Figura 47 – Gráfico regime de carga carro aspirado



Fonte: Autores (2022)

Podemos observar neste gráfico os efeitos positivos que um ar mais denso proporciona aos motores.

5.2. Segundo Teste

Na segunda fase de testes, o veículo estava equipado apenas com o turbocompressor e a injeção programável. Foram usados os dados do ensaio 2 e 3 para ser feita a análise. A média dos resultados obtidos foi:

Potência: 135,67 cv @ 4500 rpm

Torque: 22,5 Kgf.m @ 2700 rpm

Temperatura do motor: 102°C

Temperatura do ar: 110°C

Figura 48 – Resultados Turbo

Disciplina: EMA 023 Ensaíos Dinamométricos		Semestre: 5ª		Data do Ensaio: 17/10/2022										
Veículo: Voyage		Especificação da Potência: 104 cv (A) / 101 cv (G) ~ 5250 RPM		Fatec Santo André										
Dinamometrista: 6ª Sem_2022_1		Especificação da torque: 15,6 kgfm (A) / 15,4 kgfm (G) ~ 2500 RPM												
Ensaio	Ventilação Forçada (kg/100%)	Pressão dos pneus (psi/MPa)	Temperatura dos pneus (°C)	Temperatura do ar (°C)	Temperatura do motor (°C)	Potência do motor (CV)	Rotação (RPM)	Torque do motor (mkgf)	Rotação (RPM)	Distância de aceleração (m)	Δt (s)	Fator de correção	Potência Percida (CV)	Rotação da Potência Percida (RPM)
1	30%	39	51	115	102	109,4	3700	22,34	2600	668,1		1,0765	19,4	4650
2	30%	39	51	110	102	135,64	4575	22,57	2600	638,8		1,0782	19,99	4725
3	30%	39	51	110	103	135,7	4450	22,43	2750	725,8		1,0755	20,56	4625
4														
5														
6														
Diferença max - min	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Laudo:	0%	39,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	4666,67
Potência @ RPM:	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Condições climáticas do ensaio dinamométrico de inércia						Setup do Ensaio								
Ensaio	Pressão Atmosférica (mbar)	Temp ar (°C)	Umidade %	Fator de correção	Norma do Ensaio	Orgãos de Rodagem		RPM Setup (Calibração)	Velocidade	Diâmetro Rolo		RPM Início	RPM Final	Combustível
1	725	27,5	48	1,0854	TBD	TWI DE								
2	725	27,5	48	1,0844		TWI DD								
3	725	27,5	48	1,084		DE Data fabricação								
4						DD Data fabricação								
5						Pressão máxima								
6						Pressão do ar								
Dados Atmosf. Médios	725	27,5	48,0	1,08460		Torque das rodas								
						Calorim. reprodutível								

Fonte: Autores (2022)

Como mencionado anteriormente, a tabela acima mostra os dados colhidos na segunda fase de testes, após a instalação do turbocompressor.

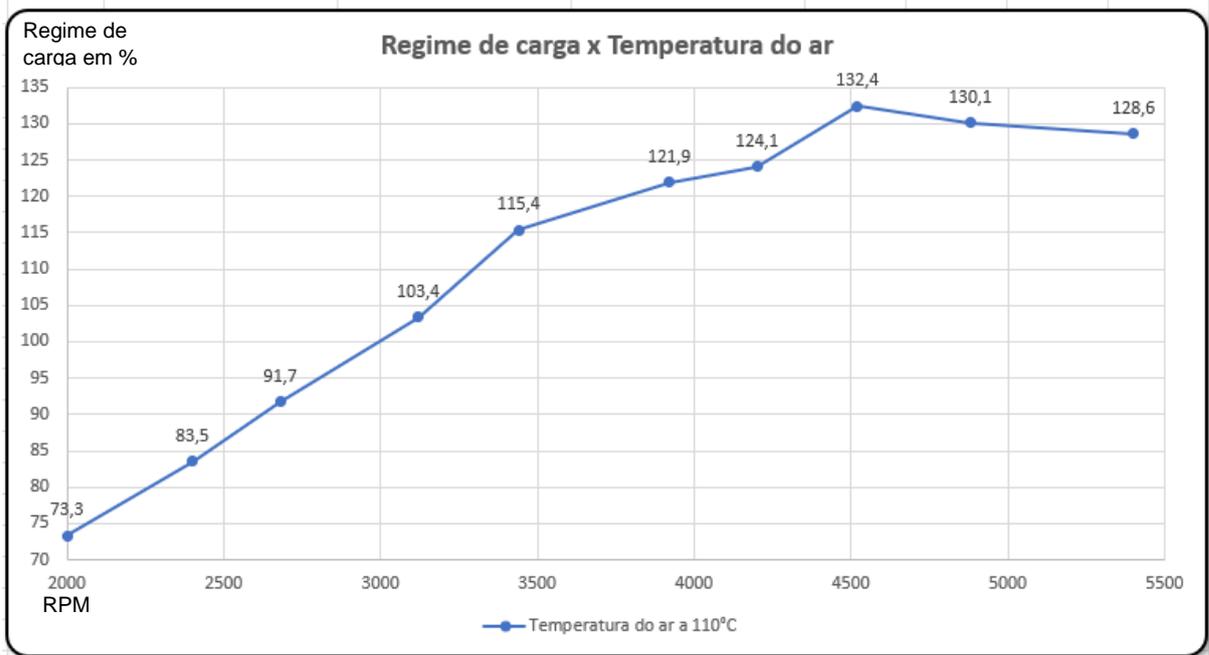
Figura 49 – Tabela Turbo

Regime de carga x Temperatura do ar				Observações
RPM	Teste 1	Teste 2	Média	
2000	72,9	73,7	73,3	Ensaio realizado com turbocompressor sem intercooler
2400	83,5	83,5	83,5	
2680	91,7	91,7	91,7	
3120	104,5	102,3	103,4	
3440	117,3	113,5	115,4	
3920	122,6	121,1	121,9	
4200	124,1	124,1	124,1	
4520	133,1	131,6	132,4	
4880	130,1	130,1	130,1	
5400	128,6	128,6	128,6	

Fonte: Autores (2022)

Nessa tabela foi feita uma média entre o resultado dos regimes de carga obtidos na segunda etapa de testes.

Figura 50 – Gráfico regime de carga turbo



Fonte: Autores (2022)

Nesse gráfico podemos observar ganhos expressivos do regime de carga em todas as faixas de rotação .

5.3. Terceiro Teste

No terceiro teste, foi adicionado o intercooler. Os dados para validação foram dos ensaios 1,2,3 e 4. A média foi a seguinte:

Potência: 169,89 cv @ 3970 rpm

Torque: 30,05 Kgfm @ 3940 rpm

Temperatura do motor: 91°C

Temperatura do ar: 45°C

Figura 51 – Resultados Turbo/Intercooler

Disciplina: EMA 023 Ensaios Dinamométricos		Semestre: 6		Data do Ensaio: 10/10/2022										
Veículo: Voyage		Especificação da Potência: 104 cv (A) / 101 cv (G) ~ 5250 RPM		Fatec Santo André										
Dinamométrica: 6º Sem_2022_1		Especificação da torque: 15,6 kgfm (A) / 15,4 kgfm (G) ~ 2500 RPM												
Ensaio	Verificação (kg/100Psi)	Pressão das bombas (bar/psi)	Temperatura dos pneus (°C)	Temperatura do ar (°C)	Temperatura do motor (°C)	Potência do motor (CV)	Rotação (RPM)	Torque do motor (Nm/kg)	Rotação (RPM)	Distância de aceleração (m)	Tempo de aceleração (s)	Fator de correção	Potência (CV)	Relação da Potência (RPM)
1	on	40	53	42	90	188,65	4025	30,7	4000	201,1		1,0627	13,6	4725
2	on	40	53	42	88	170,54	4000	30,7	3975	195,6		1,0627	12,81	4675
3	on	40	53	47	93	160,1	3925	30,45	3900	200,3		1,0664	11,95	4725
4	on	40	53	50	93	153,98	3925	28,36	3875	359,7		1,0655	15,81	5600
5														
6														
Diferença max. - min	0	0		#DIV/0!	#DIV/0!		#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	
Laudos:	0%	40,00	53,00	50,00	93,00	153,98	3925,00	28,36	3875,00	359,70		1,065500	15,81	4931,25
Potência @ RPM:		164,07		3925				Torque @ RPM:	30,22			3875		
Condições climáticas do ensaio dinâmico de inércia						Setup do Ensaio								
Ensaio	Pressão Atmosférica (mbars)	Temp ar (°C)	Umidade %	Fator de correção	Norma do Ensaio	Orgãos de Rodagem	RPM Setup (Calibração)	Velocidade	Dímetro Rolo		RPM Início	RPM Final	Combustível	
1	725	25,5	66	1,0627	TBD	TWI DE								
2	725	25,5	66	1,0627		TWI DD								
3	725	25,5	66	1,0664		DE Data fabricação								
4	725	25,5	66	1,065		DD Data fabricação	Avanço ignição	Pressão Combustível	Velas de ignição	Fator Lambda	Observações			
5						Pressão máxima								
6						Pressão do ar								
Usados Atmosf. Médios	725	25,5	66,0	1,06420		Torque das rodas								
						Calor								

Fonte: Autores (2022)

Como nos testes anteriores a tabela acima mostra os dados adquiridos na terceira fase de testes, agora com turbocompressor e intercooler.

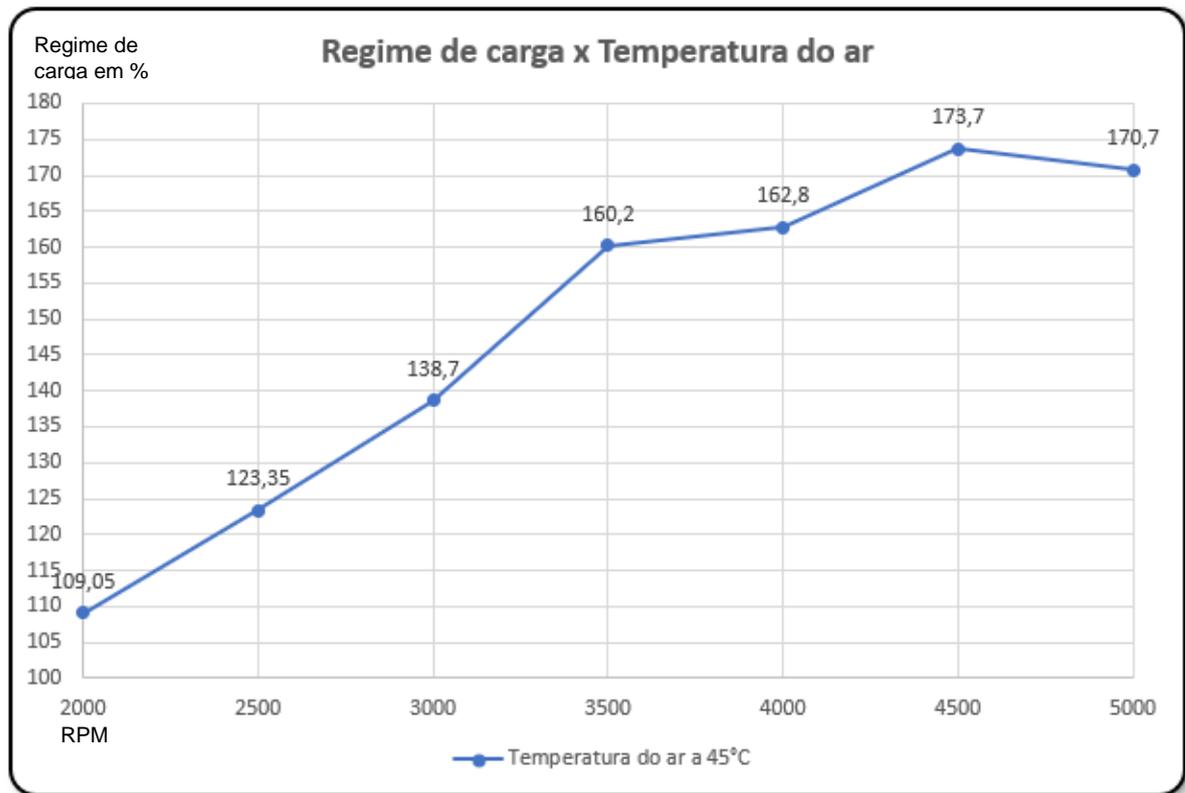
Figura 52 – Tabela Turbo/Intercooler

Regime de carga x Temperatura do ar				Observações
RPM	Teste 1	Teste 2	Média	
2000	109,8	108,3	109,05	Ensaio realizado com turbocompressor com intercooler
2500	125,6	121,1	123,35	
3000	138,3	139,1	138,7	
3500	160,2	160,2	160,2	
4000	162,8	162,8	162,8	
4500	173,7	173,7	173,7	
5000	170,7	170,7	170,7	

Fonte: Autores (2022)

Como observado na tabela acima, houve um aumento significativo no regime de carga com os testes sendo realizados com os mesmos parâmetros, apenas com a modificação da instalação do intercooler.

Figura 53 – Gráfico regime de carga Turbo/Intercooler



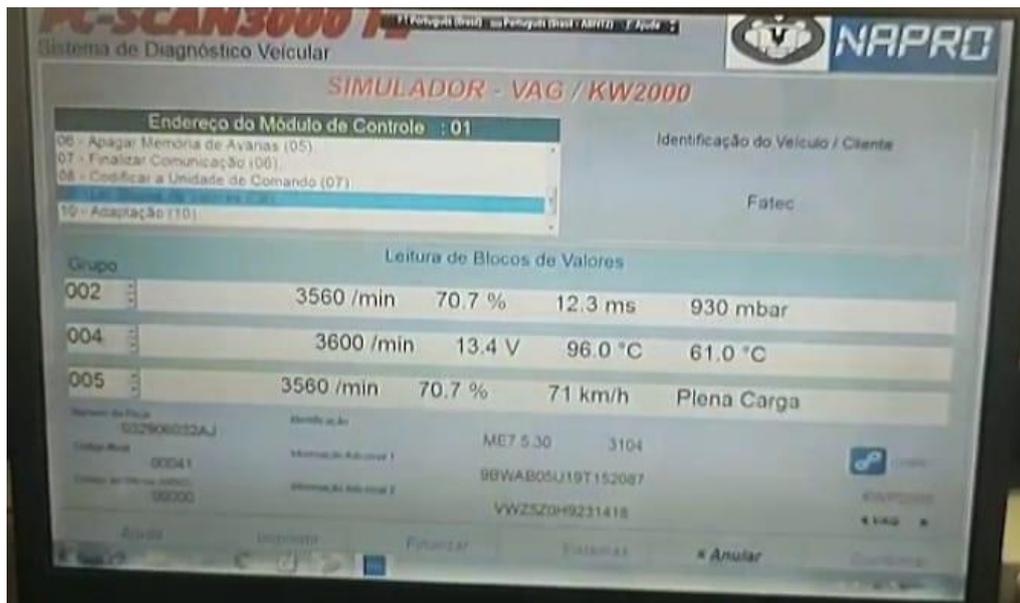
Fonte: Autores (2022)

No gráfico podemos observar um regime de carga significativamente maior que ambos os testes, porém agora com uma temperatura de ar de admissão menor, 45°C.

5.4. Comparativo

Para efeito comparativo, foram analisados os dados dos três ensaios, com o veículo original, turbo e turbo intercooler, em rotações similares e observado o ganho no regime de carga e na temperatura do ar de admissão.

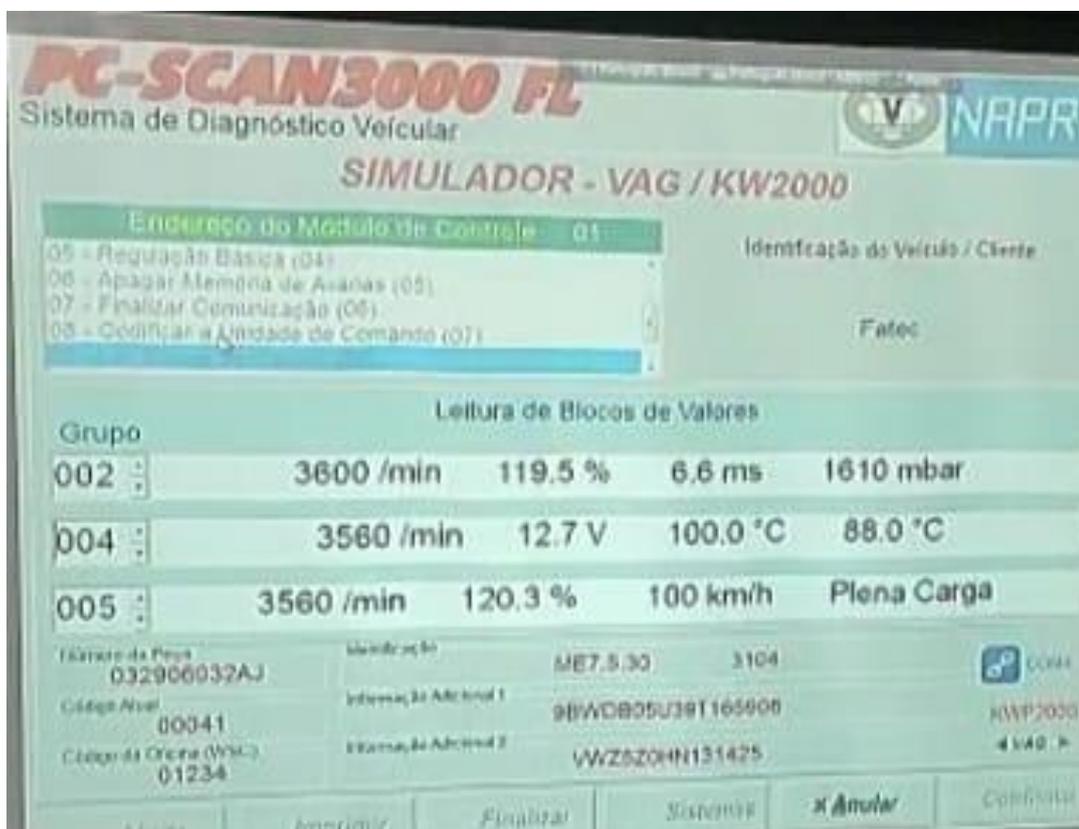
Figura 54 – Tela primeiro teste



Fonte: Autores (2022)

Imagem do primeiro teste, podemos observar o regime de carga em 70,7% e a temperatura do ar de admissão á 61°C.

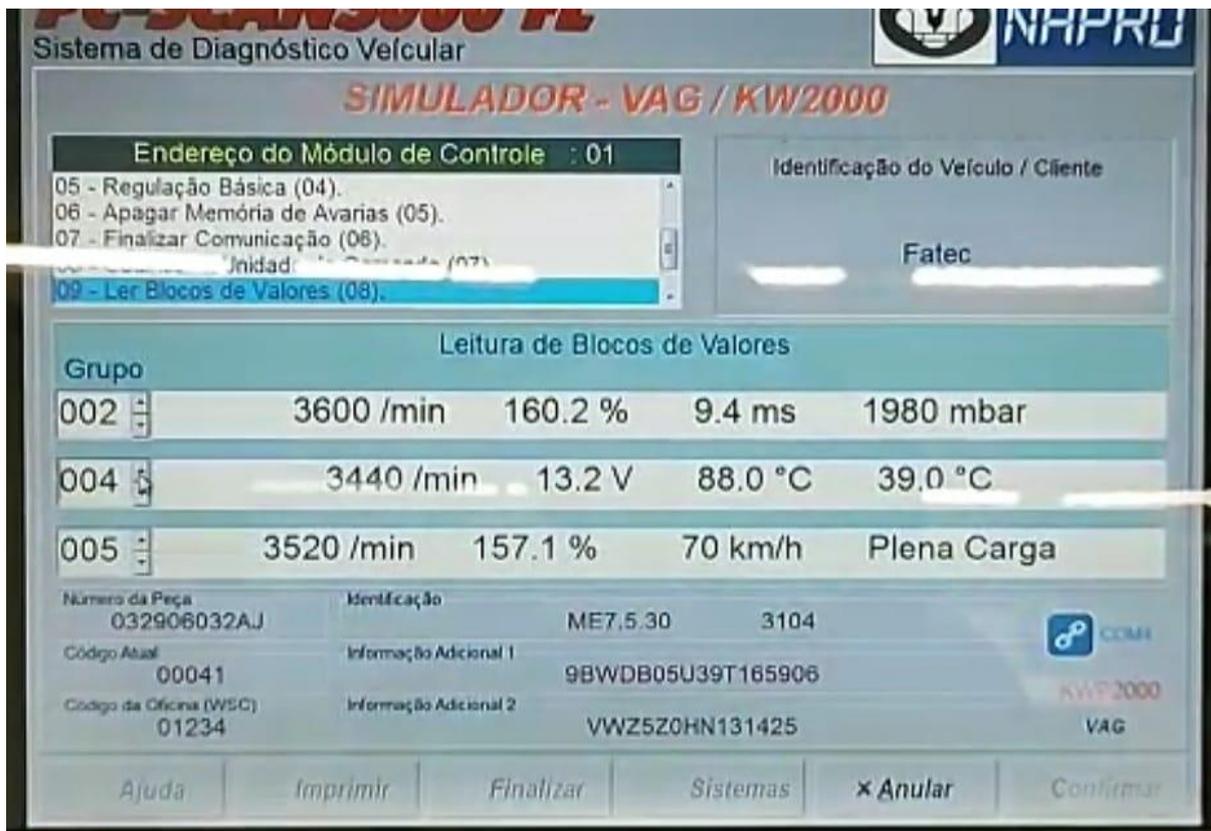
Figura 55 – Tela segundo teste



Fonte: Autores (2022)

Na imagem do segundo teste podemos observar o aumento do regime de carga para 119,5% porém também tivemos um aumento significativo da temperatura de admissão para 88°C.

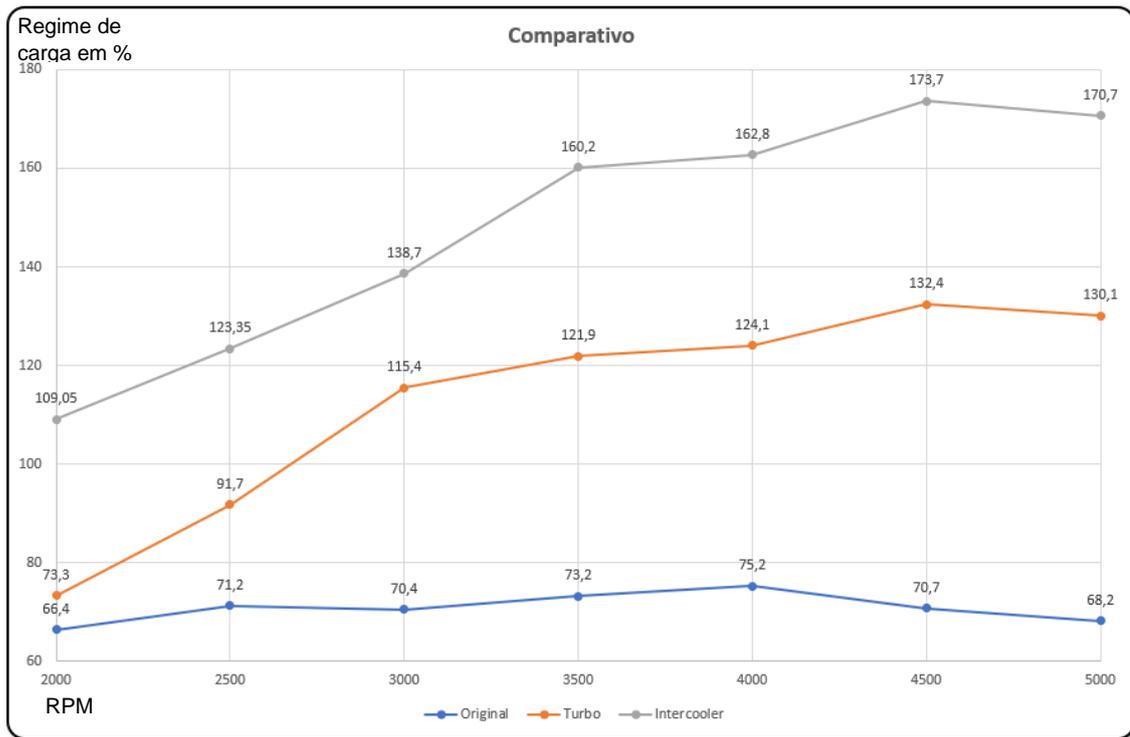
Figura 56 – Tela terceiro teste



Fonte: Autores (2022)

Na terceira imagem que é relacionada ao teste com turbo/intercooler podemos ver um aumento expressivo no regime de carga para 160,2%, mas não menos importante uma redução na temperatura de admissão para 39°C.

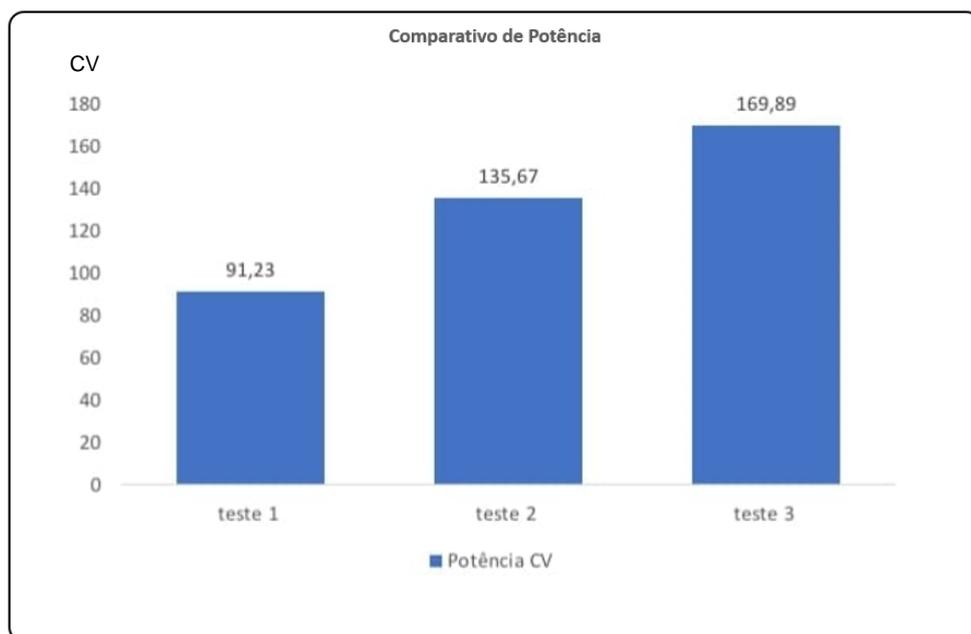
Figura 57 – Gráfico comparativo



Fonte: Autores (2022)

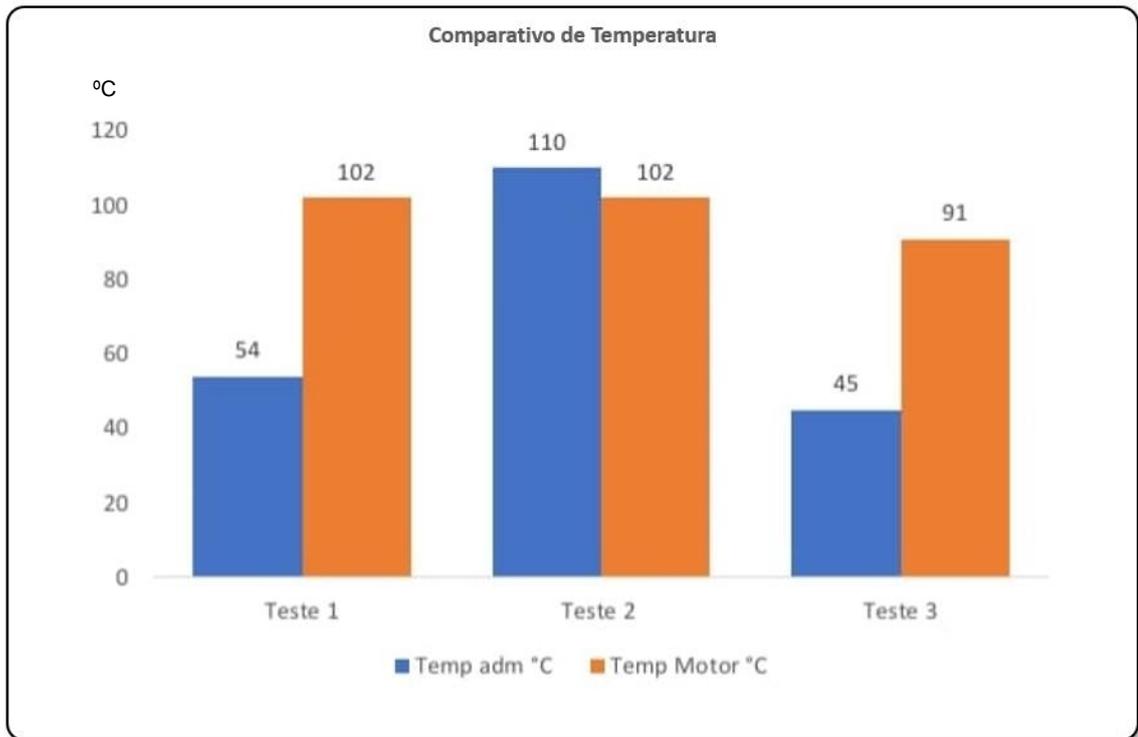
Como notado nas figuras 44, 45 e 46 e pelo gráfico comparativo, houve um grande aumento no regime de carga, primeiro pela adoção do turbocompressor, o que acarretou no aumento de temperatura, e, depois, devido a diminuição de temperatura de admissão, pela adoção do intercooler, o que permitiu que o ar ficasse mais denso.

Figura 58 – Gráfico comparativo de potência



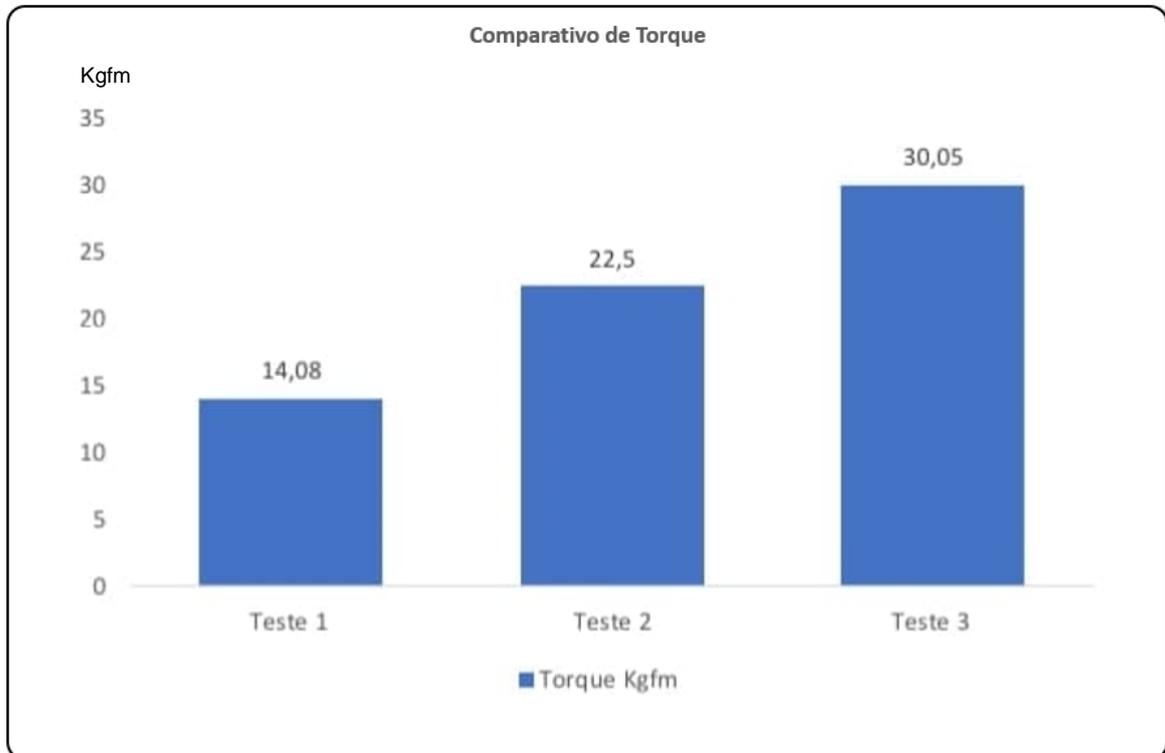
Fonte: Autores (2022)

Figura 59 – Gráfico comparativo de temperatura



Fonte: Autores (2022)

Figura 60 – Gráfico comparativo de torque



Fonte: Autores (2022)

6. CUSTOS

A seguir, estão relacionados os valores de cada componente que foi agregado ao veículo.

Figura 61 – Orçamento

Qtde	Descrição	Vi. Unitário	Vi. Total
1	Kit Turbo	R\$ 2.700,00	R\$ 2.700,00
1	Kit Junta Superior	R\$ 180,00	R\$ 180,00
1	Kit Correia Dentada	R\$ 214,00	R\$ 214,00
1	Bomba d'água	R\$ 134,00	R\$ 134,00
1	Correia Auxiliar	R\$ 80,00	R\$ 80,00
1	Correia Auxiliar	R\$ 94,00	R\$ 94,00
1	Cabeçote Completo	R\$ 2.900,00	R\$ 2.900,00
1	Bomba de Óleo	R\$ 200,00	R\$ 200,00
1	Junta de Aço 1,8mm	R\$ 338,00	R\$ 338,00
1	Filtro de Óleo	R\$ 30,00	R\$ 30,00
4	Óleo 10w40	R\$ 39,99	R\$ 159,96
2	Aditivo Radiador	R\$ 32,00	R\$ 64,00
1	Kit Tampão Cavalete Água	R\$ 33,00	R\$ 33,00
4	Bico injetor Green 42Lbs	R\$ 130,00	R\$ 520,00
1	Abraçadeira	R\$ 4,50	R\$ 4,50
1	Manômetro de Óleo	R\$ 368,00	R\$ 368,00
4	Óleo 5w40	R\$ 95,00	R\$ 380,00
1	Kit Parafuso	R\$ 38,00	R\$ 38,00
1	Chicote interruptor de Pressão de Óleo	R\$ 29,00	R\$ 29,00
1	Nipple de Adaptação	R\$ 78,00	R\$ 78,00
1	TBI	R\$ 436,00	R\$ 436,00
1	Combustível	R\$ 730,00	R\$ 730,00
2	Flange TBI	R\$ 185,00	R\$ 370,00
1	Parafuso TBI	R\$ 19,00	R\$ 19,00
1	Chicote Injeção Programável	R\$ 1.950,00	R\$ 1.950,00
1	Guincho	R\$ 50,00	R\$ 50,00
1	Sensor de Borboleta	R\$ 162,00	R\$ 162,00
1	Suporte	R\$ 10,00	R\$ 10,00

1	Cabo de Acelerador	R\$ 65,00	R\$ 65,00
1	Base Sensor de Temperatura	R\$ 150,00	R\$ 150,00
1	Sensor de Temperatura	R\$ 69,00	R\$ 69,00
1	Redução Inox 4X3 Pol. TBI	R\$ 151,20	R\$ 151,20
1	Dinamômetro	R\$ 600,00	R\$ 600,00
1	Intercooler	R\$ 700,00	R\$ 700,00
1	Pressurização	R\$ 1.800,00	R\$ 1.800,00
4	Óleo 15w50	R\$ 60,00	R\$ 240,00
1	Sensor MAP	R\$ 198,00	R\$ 198,00
1	Reparo do módulo e Acerto da Injeção	R\$ 1.360,00	R\$ 1.360,00
1	Plug Sensor MAP	R\$ 66,00	R\$ 66,00
1	Dosador	R\$ 260,00	R\$ 260,00
1	Sonda	R\$ 420,00	R\$ 420,00
1	Kit Embreagem	R\$ 450,00	R\$ 450,00
1	Plaina do Volante	R\$ 100,00	R\$ 100,00
1	Radiador de Óleo	R\$ 128,00	R\$ 128,00
1	Adaptador radiador de óleo	R\$ 41,00	R\$ 41,00
1	Mangueiras radiador de óleo	R\$ 54,00	R\$ 54,00
1	Injeção programável	R\$ 2.500,00	R\$ 2.500,00
1	Mão de Obra Total	R\$ 3.580,00	R\$ 3.580,00
Total			R\$ 25.203,66

Fonte: Autores (2022)

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi constatado que o veículo se encontrava com cerca de 12,27% menos de potência em relação a seus dados de ficha técnica e 9,74% menos de torque em relação aos dados de ficha técnica.

No segundo teste foi constatado que o veículo teve um ganho de cerca de 48,71% de potência em relação aos resultados obtidos no primeiro ensaio e 30,45% em relação aos dados de ficha técnica, e 59,8% de acréscimo de torque em relação a primeira fase de testes e 44,23% em relação aos dados de ficha técnica. Também houve um aumento de 103,7% na temperatura do ar de admissão.

Na terceira e última etapa de testes vemos que o veículo teve um acréscimo de potência e torque expressivo em relação aos ensaios anteriores e aos seus dados de ficha técnica. O resultado foi o seguinte: Ganhos percentuais de potência em relação aos dados de ficha técnica foram de 63,36%, em relação ao primeiro teste foram de 86,22% e em relação ao segundo foi de 25,84%. Os ganhos de torque, em porcentagem, em relação aos dados de ficha técnica, foram de 92,63%, em relação ao primeiro teste foi de 113,42% e em relação ao segundo foi de 33,56%.

Já na temperatura, houve uma redução. A variação percentual em relação ao primeiro ensaio foi de 10,78% na temperatura do motor e de 16,67% na temperatura de admissão. No segundo ensaio, a variação foi de 10,78% na temperatura do motor e de 59,09% na temperatura de admissão.

Vale a pena ressaltar que em ambos os testes com turbocompressor e turbo/intercooler a pressão de turbo estava fixa em 0,8 bar, tendo a conclusão da extrema importância da instalação do intercooler, pois além de obter um ganho expressivo de potência e torque, teve uma redução considerável na temperatura de admissão e do motor ajudando na longevidade do conjunto, apenas trabalhando em cima da densidade do ar.

8. CONCLUSÃO

Após as baterias de testes conclui-se que a instalação de um intercooler num carro turbo tem uma extrema importância, já que ele, por si só, é eficaz em aumentar potência, torque e regime de carga, ao custo do aumento de temperatura. Trabalhando apenas em cima da densidade do ar foi obtido ganhos expressivos de potência e torque, já que, com o ar mais denso, ele fica “compactado”, fazendo com que se encha mais a câmara de combustão, tendo assim o já citado ganho em performance, e não menos importante, tendo uma redução na temperatura do motor como um todo, fazendo com que este tenha uma maior durabilidade e opere em níveis aceitáveis de temperatura. Como mencionado anteriormente, teve redução de temperatura na casa dos 59% e aumento de performance de 26%, em relação ao turbo.

PROPOSTAS FUTURAS

Como propostas futuras, seria interessante a discussão sobre os seguintes assuntos:

- Estudo sobre pontos de captação e reservas de ar de admissão para controlar o ar de admissão.
- Estudo e testes sobre as características do motor e *turbo lag*.
- Análise de performance dos motores de ciclo otto com o uso de turbo, intercooler e óxido nitroso.

9. REFERÊNCIAS

A FONTE DE INFORMAÇÃO. **Qual é a densidade do ar?**. Disponível em: <<https://afontedeinformacao.com/biblioteca/artigo/read/87587-qual-e-a-densidade-do-ar/>>. Acesso em: 02 dez 2022.

BARROS AUTOPEÇAS. **Qual a função da biela no motor?**. Disponível em: <<http://www.barros.com.br/noticia/qual-a-funcao-da-biela-no-motor>>. Acesso em: 20 out 2021.

BOSH, Robert. **Manual de Tecnologia Automotiva**. 25 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão Interna**. vol 1. São Paulo: Blucher, 2012.

BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão Interna**. vol 2. São Paulo: Blucher, 2012.

CANAL DA PEÇA. **Como Regular as Válvulas do Motor 4 e 6 Cilindros do Opala?**. Disponível em: <<https://www.canaldapeca.com.br/blog/regular-valvulas-motor-opala/>>. Acesso em: 20 out 2021.

CAR UP, **A história dos motores a combustão interna**. Disponível em: <<https://autocarup.com.br/historia-motor-a-combustao/>>. Acesso em: 19 out 2021.

ENERGY GOV. **Um terço de todos os veículos leves produzidos no ano modelo de 2019 foram turbocompressados**. Disponível em: <<https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/fotw-1137-june-8-2020-one-third-all-light-duty-vehicles-produced-2019-model>>. Acesso em: 15 out 2021.

ESCOLA DO MECÂNICO. **Motor Ciclo Otto: tudo que você precisa saber**. Disponível em: <<https://escoladomecanico.com.br/motor-ciclo-otto/>>. Acesso em: 20 out 2021.

FIND A GRAVE, **Nikolaus August Otto**. Disponível em: <<https://pt.findagrave.com/memorial/34649202/nikolaus-august-otto>>. Acesso em 19 out 2021.

NAKATA AUTOMOTIVA. **Conheça os principais ciclos de funcionamento dos motores atuais**. Disponível em: <<https://blog.nakata.com.br/ciclos-de-funcionamento-de-motores/>>. Acesso em: 20 out 2021.

OLIVEIRA, Ricardo de. **O que é virabrequim?**. Disponível em: <<https://www.noticiasautomotivas.com.br/o-que-e-virabrequim/>>. Acesso em: 20 out 2021.

QUATRO RODAS, **O que há de diferente nos motores de ciclo Atkinson e Miller?**. Disponível em: <<https://quatrorodas.abril.com.br/auto-servico/o-que-ha-de-diferente-nos-motores-de-ciclo-atkinson-e-miller/>>. Acesso em: 19 out 2021.

RAMOS, Rudmar Serafim. **Propriedades do ar atmosférico**. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~rudmar/clima/material/2_PROPRIEDADES%20DO%20AR%20ATMOSFERICO.pdf>. Acesso em: 02 dez 2022.

RUFFO, Gustavo Henrique; RODRIGUEZ, Henrique. **O que há de diferente nos motores de ciclo Atkinson e Miller?** Disponível em: <<https://quatorrodas.abril.com.br/auto-servico/o-que-ha-de-diferente-nos-motores-de-ciclo-atkinson-e-miller/>> . Acesso em: 20 out 2021.

SIMPLO, **Motor Ciclo Otto: entenda o funcionamento.** Disponível em: <<https://blog.simplusbr.com/motor-ciclo-otto/>>. Acesso em 19 out 2021.