

**ESTUDO SOBRE INSTALAÇÃO DE TURBOCOMPRESSOR EM AUTOMÓVEL NACIONAL  
: ANÁLISE DE PROJETO E ANÁLISE DE CASO**

**Danillo Gabriel Nakano**

McKinsey & Company

Rua Alexandre Dumas, 1711 Edifício Birmann 12 12º Andar, São Paulo, SP, Brasil  
danillo.nakano@gmail.com

**Prof. Doutor Marcos de Mattos Pimenta**

Escola Politécnica da USP

Depto de Engenharia Mecânica

Av. Prof. Luciano Gualberto, trav 3 nº 380 Prédio da Engenharia Mecânica, São Paulo, SP, Brazil  
marcos.pimenta@poli.usp.br

**Abstract**

This study, about installing a turbocharger in a Brazilian built automobile, has the objective of analyzing the actual status of this industry sector. The results using this system are presented, and include the study of a particular case, in order to illustrate this work. In this case, it was obtained a power gain in order of 60% to 80% comparing with the initial, reaching acceleration from 0-100 km/h (near 0-62 mph) below 8s, confirming the simulated data. In this way with the acquired data it is shown that it is possible to install a turbocharger system to achieve an increase in power of a Brazilian automobile, with the necessary adaptations at the system. It is important to notice that there are losses in durability of the whole system, increase at fuel mileage, as well as there is a higher power delivery.

**Key words:** Turbocharger. Turbine. Turbo. Internal Combustion Engine. Power increase.

**Resumo**

Com o estudo sobre a instalação de um turbocompressor em automóvel nacional, se objetivaram a análise dos status atual da indústria nesta área, os resultados que são possíveis obter com este sistema além do estudo de um caso em particular, de forma a elucidar esta obra. No caso apresentado obteve-se ganhos de potência da ordem de 60% a 80% em relação ao inicial, atingindo uma aceleração de 0-100 km/h em menos de 8s, confirmando dados simulados. Portanto com os dados obtidos se conclui que é possível a instalação de um sistema com turbocompressor para obtenção de aumento de potência em automóvel nacional, com as devidas adaptações do sistema. Importante notar que ocorrem perdas na durabilidade do sistema como um todo, aumento no consumo de combustível, conforme existe uma maior entrega de potência.

**Palavras-chave:** Turbocompressor. Turbina. Turbo. Motor a combustão interna. Aumento de potência.

---

<sup>s</sup> Artigo extraído da dissertação de Danillo Gabriel Nakano, apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Automotiva, sob a orientação do Prof. Dr. Marcos de Mattos Pimenta

## RESUMO

Com o estudo sobre a instalação de um turbocompressor em automóvel nacional, se objetivaram a análise dos status atual da indústria nesta área, os resultados que são possíveis obter com este sistema além do estudo de um caso em particular, de forma a elucidar esta obra. No caso apresentado obteve-se ganhos de potência da ordem de 60% a 80% em relação ao inicial, atingindo uma aceleração de 0-100 km/h em menos de 8s, confirmando dados simulados. Portanto com os dados obtidos se conclui que é possível a instalação de um sistema com turbocompressor para obtenção de aumento de potência em automóvel nacional, com as devidas adaptações do sistema. Importante notar que ocorrem perdas na durabilidade do sistema como um todo, aumento no consumo de combustível, conforme existe uma maior entrega de potência.

## INTRODUÇÃO

**OBJETIVO** - Este trabalho objetiva a disseminação do conhecimento sobre motores a combustão interna. Ao analisar especialmente a adaptação de um turbocompressor em um motor naturalmente aspirado, estamos abordando um nicho de mercado, mas no futuro com a pressão por maior economia de combustível e diminuição de emissões os fabricantes de automóveis estarão mais inclinados à utilização de turbocompressores em seus projetos, devido à inerente vantagem deste sistema ao regenerar parte da energia térmica e cinética que seria desperdiçada nos gases de escape, aumentando a parcela efetivamente liberada para o virabrequim, conforme Gráfico 01.

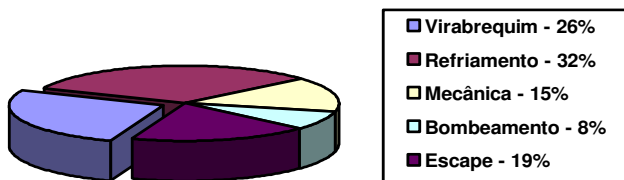


Gráfico 01 – Perdas no motor (PARAMINS POST, 1998)

O ESTUDO – O estudo foi separado em duas partes:

- Análise de projeto: Onde se analisou todos os componentes que sofreram alterações para a adaptação do turbocompressor no motor naturalmente aspirado;
- Análise de caso: Onde se analisou um caso da adaptação de um turbocompressor a um motor naturalmente aspirado;

**O FUNCIONAMENTO DO MOTOR TURBOALIMENTADO** – Existe diferenças entre o funcionamento de um motor com turbocompressor adaptado

e um naturalmente aspirado, e neste estudos iremos nos ater a motores ciclo Otto com motor originalmente alimentados a gasolina brasileira (E25), que passarão a serem alimentados com álcool etílico (E100) de cana presente nas bombas no Brasil.

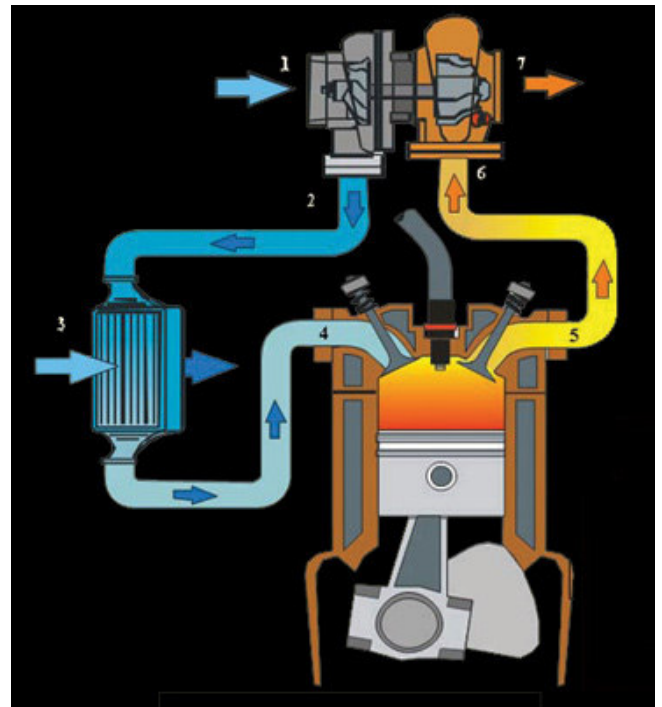


Fig. 01 – Funcionamento do motor com turbocompressor (GARRETT, 2006)

Na admissão do motor aspirado o ar é admitido pela depressão gerada pelo movimento descendente do pistão (no ciclo de admissão) enquanto no motor turboalimentado a pressão positiva gerado pelo compressor é responsável pelo preenchimento da câmara de admissão com mistura ar-combustível, como em (1) na Fig. 01. Como existe uma pressão positiva, o preenchimento da câmara de combustão é mais completo, podendo haver até pressões acima da atmosférica no final do ciclo de admissão de um motor turboalimentado.

Do compressor o ar comprimido atravessa um *intercoole* em (3) na Fig. 01, caso este exista, para diminuir a temperatura do ar admitido e melhorar a eficiência do sistema e rumo para o cabeçote e posteriormente a câmara de combustão.

Na câmara de combustão, entre (4) e (5) na Fig. 01, a ocorre uma queima mais limpa e homogênea devido à maior pressão e turbulência existente na câmara, em relação ao motor aspirado, gerando economia de combustível e maior potência. As solicitações na câmara são superiores e existe uma *PCP* (pico de pressão na câmara) maior, gerando menor durabilidade. Note que BELLS em 1997 cita que em um motor com turbocompressor adaptado com o dobro de

potência do motor original o pico de pressão na câmara é 30% maior que o *PCP* do motor aspirado, e não o dobro como se supõe inicialmente. Porém devido à maior quantidade de mistura o trabalho útil de expansão dos gases é maior e mais prolongado utilizando o ângulo de virabrequim como referencial, proporcionando o dobro da potência com apenas 30% a mais de *PCP*.

Com a mistura queimada após o ciclo de combustão, os gases passam pela válvula de escape em (5) na Fig. 01, onde podem atingir até 1200°C. Assim deve-se evitar longos períodos com carga plena em motores com turbocompressor adaptado, sob pena de fadigar termicamente este componente.

Após sair do cabeçote a mistura entra na turbina, em (6) na Fig. 01, a temperaturas de até 1000°C, liberando entalpia que se transformará em energia mecânica e alimentará o compressor. Após a turbina, em (7) na Fig. 01 os gases queimados são liberados à atmosfera.

#### COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA O AUMENTO DE POTÊNCIA

– Para o ganho de potência estimado de 60 a 80% sobre a do motor original, se compararam três métodos diferentes:

- **Aspiração Natural:** Aumentos de potência da ordem desejada mantendo a aspiração natural são difíceis, para motores já prontos pois necessitariam de grandes aumentos no deslocamento volumétrico do motor e nas rotações (mantendo o torque constante), o que acaba tendo alto custo e afetando a disponibilidade de torque, já que compromete a linearidade da curva de torque do motor.
- **Sobrealimentação por compressor mecânico:** A utilização de um compressor mecânico consegue atingir as metas de aumento de potência mas por utilizar a potência disponível no virabrequim, aumenta muito o consumo de combustível. Os compressores mecânicos são menos eficientes que os turbocompressores, gerando maiores perdas. Porém a resposta do compressor mecânico é instantânea, eliminando o *lag* existente no uso do turbocompressor.
- **Sobrealimentação por turbocompressor:** O turbocompressor depende do fluxo de gases no coletor de escape para funcionar, e as partes móveis do turbocompressor tem uma inércia não desprezível, o que significa que nem sempre será possível comprimir o ar admitido pelo motor, gerando respostas instantâneas de entrega de potência. Este é o principal viés à utilização do turbocompressor e pode ser atenuada pela correta escolha do turbocompressor para cada motor e

desejo de dirigibilidade do motorista. O turbocompressor tem a vantagem de utilizar uma energia que seria desperdiçada, a energia dos gases de escapamento, para comprimir o ar admitido pelo motor, sendo assim a opção mais com menor consumo de combustível dentre as três. Com a adaptação do turbocompressor o motor mantém-se original, assim como no compressor mecânico, facilitando a manutenção. No Brasil é a solução que tem maior disponibilidade no mercado para a faixa de aumento de potência especificada. Por estes motivos se escolheu o turbocompressor frente aos dois outros.

**ANÁLISE PRELIMINAR** – As análises preliminares e simulações demonstraram que a relação peso/potência para obtermos um tempo de aceleração menor que 8,0s para 0 a 100km/h (aproximadamente 0-62mph) deve ser menor que 8,0kg/cv (utilizando o peso com o motorista a bordo). E analisando veículos fabricados no Brasil com motorização entre 1,3L e 2,4L temos uma relação peso/potência de 14kg/cv a 11kg/cv o que com um aumento potência de 60 a 80% nos leva a uma relação peso/potência inferior a 8,0kg/cv de modo a atingirmos a meta de tempo de aceleração menor que 8,0s para 0 a 100km/h.

#### DURABILIDADE DO MOTOR COM TURBOCOMPRESSOR ADAPTADO

– Para um aumento de 100% na potência de um motor naturalmente aspirado temos um aumento de 30% na *PCP* do motor (BELLS, 1997). Como trabalharemos com aumento da ordem de 60 a 80% sobre a potência original do motor, o aumento de *PCP* não afetará demasiadamente os esforços dentro da câmara e conseqüentemente no motor. Existem componentes que terão de ser substituídos, como o conjunto de platô e embreagem.

#### ANÁLISE DE PROJETO

Na análise do projeto foi analisado todos os sistemas e subsistemas que necessitam alterações para adequar o motor à adaptação do turbocompressor.

Os sistemas e subsistemas alterados são:

- Sistema de exaustão de gases;
- Sistema de admissão de ar;
- *Intercooler*;
- Coletor de escape;
- Conjunto de embreagem e platô;
- Bomba de combustível;

- Bico injetor de combustível;
- Dosador de combustível;
- Bico injetor de combustível auxiliar, caso necessário;
- Controlador de bico auxiliar, caso necessário;
- Vela de ignição;
- Instalação de sistema de partida a frio;
- Instalação de válvula de alívio;
- Instalação de válvula de prioridade;
- Instalação de sonda Lambda extra;
- Instalação de *Hallmeter* para leitura da sonda Lambda extra;
- Instalação de manômetro de pressão no coletor;
- Alteração na programação da *ECU*, caso necessário;
- Turbocompressor;

Cada um dos sistemas ou componentes listados sofrerá alteração, conforme a necessidade. Detalhes sobre como cada um dos sistemas ou componentes listados interferem na instalação do turbocompressor, consultar “Estudo Sobre Instalação de Turbocompressor em Automóvel Nacional: Análise de Projeto e Análise de Caso” por NAKANO, DANILLO GABRIEL em 2007.

## ANÁLISE DE CASO

Após o estudo dos sistemas e subsistemas que necessitam de alterações para a adaptação do turbocompressor, foi adaptado um turbocompressor a um veículo nacional para a validação dos estudos e alterações.

O CASO – Para a análise de caso foi escolhido um GM Corsa *Hatch* 1,6L 8v MPFI ano 96, tração dianteira adquirido com 9700km de uso.

O veículo é bastante representativo para o estudo e possui as seguintes características:

- Controle do motor via *ECU*;
- Um bico injetor por cilindro (multiponto);
- *MAP*;
- Borboleta de acelerador mecânica;

- Ignição estática (sem distribuidor);
- Uma bobina de ignição;
- Ausência de *Knock-sensor*;

OS TESTES – Os testes foram efetuados em São Paulo, SP, Brasil, em pista adequada para testes de aceleração e similares. Os testes de consumo e dirigibilidade foram efetuados durante rodagem diária do veículo.

AS METODOLOGIAS – Para a alimentação de combustível do veículo foram comparadas duas diferentes metodologias:

- Instalação de turbocompressor com alimentação via dosador HPi;
- Instalação do turbocompressor com alimentação via bico injetor de combustível extra e controlador de bico extra;

Instalação de Turbocompressor com Alimentação Via Dosador HPi - O dosador HPi se trata de um dosador de combustível que aumenta a pressão da linha de combustível conforme existe um aumento na pressão do coletor de admissão. Com o aumento de pressão na linha de combustível, aumenta-se a quantidade de combustível injetado para um mesmo tempo de injeção. Com isto se consegue alimentar o motor com o turbocompressor adaptado.

Na Fig. 02 temos as ligações disponíveis para um dosador HPi tradicional. É sugerido que inicie o acerto do motor com a tubulação da pressurização desconectada até acertar corretamente a fase aspirada do motor. Após o acerto da fase aspirada do motor, conectar a pressurização e iniciar a regulagem com uma baixa pressão positiva no coletor de admissão. Quando se atingir um acerto correto para uma baixa pressão no coletor, por exemplo 0,3bar positivo, ir gradualmente aumentando a pressão positiva no coletor até alcançar a pressão de coletor desejada, ou ganho de potência desejado. A utilização de um manômetro de combustível para o acerto do motor trabalhando com HPi é recomendada.

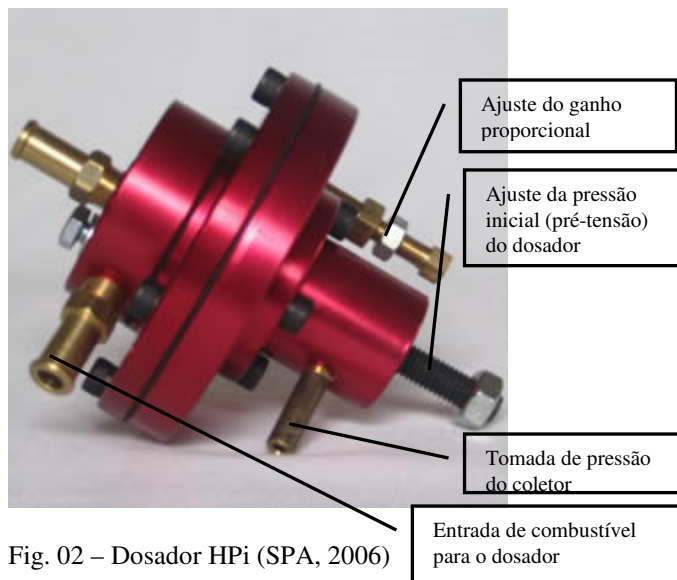


Fig. 02 – Dosador HPi (SPA, 2006)

Com a utilização do dosador HPi para o ajuste da alimentação de combustível quanto o motor está com pressão positiva no coletor de admissão se obteve um funcionamento isento de falhas, como no motor original no regime aspirado do motor. Quando o motor se encontra pressurizado com a pressão máxima regulada, se conseguiu um funcionamento linear e isento de falhas do motor. Porém quando o motor se encontra com pressão positiva porém sem pressão máxima o motor apresentou falhas de funcionamento, devido ao excesso de combustível nesta fase intermediária de funcionamento do motor. Não foi possível acertar o motor para que o funcionamento do motor ficasse isento de falhas em todos os regimes de funcionamento com esta metodologia.

O motor necessita da adaptação de sistema de partida a frio para o primeiro funcionamento do motor, devido a utilização de álcool como combustível. O motor apresentou falhas de funcionamento enquanto não atingia a temperatura ideal de funcionamento, já que não foi alterado o a programação da *ECU* no mapa de combustível x temperatura da água. Recomenda-se o aquecimento do motor antes do uso.

O acerto do motor foi feito com:

- Pressão máxima no coletor de admissão de 0,6bar positivo;
- Utilização de quatro bicos multiponto de astra a álcool com 30% a mais de vazão, aumentado via eletroerosão;
- Utilização de HPi com 1,5bar de pressão inicial e 6,0bar de pressão final;
- Turbocompressor Master Power APL525 com A/R 0,42f/0,48q; rotor 47,5mm e eixo 49mm

Foi necessário alterações nos sistemas de suspensão, freio e no conjunto roda/pneu para adequar o veículo às novas condições de potência.

O motor atingiu sob este acerto 148cv@5900rpm (ganho de 61% sobre original) com +0,6bar no coletor. O tempo para aceleração de 0 a 100km/h foi de 7,8s.

O custo total para a instalação e troca de todos os sistemas e componentes necessários para a adaptação do turbocompressor foi de R\$4.960,00 (valores de janeiro de 2007).

Tab. 01 – Ficha do motor com dosador HPi

Motor	GM Fam I 1,6L 8v originalmente a gasolina
Potência no motor	148cv@5900rpm (+61% sobre original)
Quilometragem com turbo	5800km
Tempo com turbo	3 meses
Combustível	Álcool
Consumo (cidade/estrada)	5,0 / 7,0 km/l
Turbocompressor	Master Power APL 525 0,42f/0,48q rotor 47,5mm eixo 49mm
Pressão	0,6bar
0-100km/h	7,8s
Intercooler	Não
Velas	NGK Competition Grau 7
Bomba elétrica	Adaptado gol GTI interna
Dosador	HPi
Pressão de linha	Inicial de 1,5bar / Final de 6,0 bar
Bicos injetores	Astra 1,8 álcool com 30% a mais de vazão
Bico extra	Não
Controlador de bico extra	Não
Embreagem	Displatec 4 pastilhas cerâmica com mola e platô de 780Lb
Escape	2,0 pol
Peças do motor	Original
Cabeçote	Original

O consumo de combustível foi de 5,0km/l com álcool para percurso urbano, sendo esta medição para a rodagem de 5800km em três meses, conforme visto em Tab. 01. Como não é um teste padrão, não pode ser comparado com valores de fábrica, onde existe um teste padrão. Para fins de comparação o mesmo motorista utilizando uma VW Parati 1,6L ano 2006 Flex obteve média de 6,1km/l em percurso urbano no mesmo período com o mesmo combustível. Assim o veículo consumiu cerca de 20% a mais que um veículo de mesmo porte com as mesmas condições de rodagem, caracterizando um consumo excessivo. Atribui-se parte do consumo excessivo de combustível à baixa pressão inicial da linha de combustível com o acerto via dosador HPi.

Conclui-se que a utilização do HPi não conseguiu um funcionamento regular para todas as condições de trabalho do motor, e devido à baixa pressão inicial da linha de combustível o consumo de combustível foi elevado. Com uma menor pressão no coletor de admissão (como a de 0,4bar) o dosador HPi proporcionaria um acerto adequado

ao motor, sem as falhas de funcionamento e com um melhor consumo de combustível.

Instalação do turbocompressor com alimentação via bico injetor de combustível extra e controlador de bico extra – Ao adaptar um turbocompressor e utilizar-se de um ou mais bicos extras o conjunto passa a ter uma maior complexidade, já que é necessário um controlador para o sistema extra de alimentação, e uma derivada da linha de combustível para o bico extra. Porém o aumento de complexidade está ligado a um aumento na flexibilidade do sistema e a possibilidade de um acerto da mistura ar-combustível mais correto para toda a faixa de pressão e rotação do motor com maiores recursos.

Neste estudo se utilizou um controlador de bico auxiliar analógico do fabricante DIGIPULSE, com MAP interno para até 2,5bar e três regulagens: Pressão de entrada do bico; Ajuste de baixa; Ajuste de alta. O controlador tem uma curva pré ajustada entre rotação e pressão no coletor de admissão e só é acionado quando existe pressão positiva no coletor de admissão. Os ajustes mudam esta curva para cima ou para baixo, além do início da curva. Este controlador é um dos mais simples encontrados no mercado. Existem modelos com ajuste para temperatura de água, tensão na bateria, ajuste ponto a ponto ou mapa (ao invés de curva pré definida) dentre outros acertos possíveis.

O bico injetor extra utilizado se trata de um modelo monoponto a álcool utilizado originalmente no GM Monza. Como este bico em seu veículo original alimenta mais que 100cv acredita-se que ele dará conta da quantidade de combustível necessária, sem ultrapassar 80% de seu ciclo de trabalho.



Fig. 03 – Dosador de combustível 1:1 com regulagem de pressão inicial (SPA, 2006)

Com a instalação do bico injetor de combustível extra e seu controlador, não havia a necessidade da utilização do HPi e de bicos multi com a vazão que se encontravam. Assim trocou-se os bicos por modelos do Astra 1,8L álcool com vazão original e o dosador HPi foi trocado por um modelo parecido com o original (ganho 1:1), mas com regulagem da pressão inicial de trabalho da linha, conforme Fig. 03.

Com a troca da metodologia de alimentação do motor turbocomprimido e novo acerto, o motor rendeu 152cv@5900rpm (ganho de 65% sobre original) com +0,6bar no coletor. O tempo para aceleração de 0 a 100km/h foi de 7,8s, não sofrendo alteração em relação ao tempo com dosador HPi. Apesar do ganho de 4cv com a alteração da metodologia de alimentação do motor, este ganho não foi sentido durante a condução do veículo.

A dirigibilidade do veículo antes de pressurizar, no regime aspirado, e com pressão máxima (+0,6bar no coletor de admissão) não se alterou, mantendo boa dirigibilidade e sem falhas. Quando com pressão parcial a dirigibilidade do veículo melhorou muito, deixando de apresentar falhas por excesso de combustível, como ocorrera com o dosador HPi.

Exceto na partida fria do motor, onde o sistema de partida a frio continua necessário, o motor tem funcionamento isento de falhas em todos os regimes de trabalho.

O custo total para a instalação e troca de todos os sistemas e componentes necessários para a adaptação do turbocompressor foi de R\$5.600,00.

Tab. 02 – Ficha do motor com bico extra	
Motor	GM Fam I 1,6L 8v originalmente a gasolina
Potência no motor	152cv@5900rpm (+65% sobre original)
Quilometragem com turbo	6600+5800km=13400km
Tempo com turbo	6 meses
Combustível	Álcool
Consumo (cidade/estrada)	5,7 / 7,8 km/l
Turbocompressor	Master Power APL 525 0,42f/0,48q rotor 47,5mm eixo 49mm
Pressão	0,6bar
0-100km/h	7,8s
Intercooler	Não
Velas	NGK Competition Grau 7
Bomba elétrica	Adaptado gol GTI interna
Dosador	Dosador SPA com regulagem de pressão inicial e delta 1:1
Pressão de linha	Inicial de 2,2bar / Final de 3,8 bar
Bicos injetores	Astra 1,8 álcool
Bico extra	1 de monza monoponto álcool
Controlador de bico extra	Dugipulse pressure
Embreagem	Displatec 4 pastilhas cerâmica com mola e platô de 780Lb
Escape	2,0 pol
Peças do motor	Original
Cabeçote	Original

Com a dirigibilidade sem apresentar falhas, se analisou o consumo de combustível, para saber se este havia melhorado com a substituição dos bicos multi por um modelo com menor vazão e aumento da pressão da linha de combustível. O consumo passou de 5,0km/l para 5,7km/l em percurso urbano, um aumento aproximado de 15%. Com isto o consumo passou a ser parecido com o consumo de um veículo de mesmo porte (variação de 7% sobre grupo



controle). Este resultado é aceitável dada a variação entre modelos e marcas diferentes.

Com isto concluímos que a metodologia de alimentação do motor com bico injetor de combustível extra e controlador de bico extra temos um custo 13% superior com ganho de potência similar para a mesma pressão positiva no coletor. Porém o acerto da mistura ar-combustível para a curva de aumento de pressão no coletor ficou muito melhor para o uso do bico extra, além do menor consumo de combustível com esta metodologia.

Conclui-se que para este caso, onde obteve-se 65% de ganho de potência sobre o motor original, com 0,6bar de pressão positiva no coletor de admissão o uso do bico auxiliar com controlar é mais adequado que o uso do dosador HPI, apesar do custo superior desta metodologia.

Utilização de *intercooler* – O uso do *intercooler* é recomendado para pressões superiores a 0,6bar já que temos um aumento da temperatura do ar ao ser comprimido pelo compressor (WYLEN, 1998). A partir de 0,6bar este aumento de temperatura passa a ser excessivo, recomendando assim a utilização deste ítem, conforme Fig. 04.



Fig. 04 – *Intercooler* automotivo (BOSCH, 2005)

Foi instalado um *intercooler* no veículo testado, para analisarmos a eficiência deste componente no motor com turbocompressor adaptado.

Com a instalação do *intercooler* no motor do veículo este passou a ter um funcionamento mais regular, ficando menos sensível a mudanças na temperatura da ambiente.

O *intercooler* foi instalado entre o para-choques e o radiador de água, na parte frontal do veículo. Devido a escolha do local para instalação do *intercooler* (com medidas de 430x195x55mm) a temperatura de água do motor passou a ser mais alta que sem o *intercooler* devido

parte do radiador situado atrás do *intercooler* estar recebendo menor fluxo de ar.

A instalação do *intercooler* e sua tubulação correspondente acresce ao custo da instalação do turbocompressor em R\$800,00.

A tubulação do sistema de admissão entre o compressor e a borboleta passou de um tubo com duas polegadas de diâmetro e um metro de comprimento, para uma tubulação de cerca de dois metros e meio, com duas polegadas de diâmetro, mais o volume interno do *intercooler*, equivalente a um metro de tubulação. O *lag* do turbocompressor aumentou com o *intercooler*, e a entrega de potência passou a ser mais suave. O desempenho em retomadas piorou, devido o maior *lag*, mas o controle do veículo em uma arrancada melhorou, devido a entrega mais suave de potência.

Outros testes e resultados – Foi analisado a influência de alterações na pressão do coletor pela alteração na regulagem da válvula de alívio e acerto na alimentação do motor. Nestes testes o motor estava com o *intercooler* instalado e utilizando o bico extra e controlador.

Com a pressão no coletor acertada para 0,9bar obtivemos 198cv@5900rpm (ganho de 115% sobre a potência original do veículo). Com isto a aceleração de 0 a 100km/h foi feita em 7,0s. O veículo está no limite de tração para a segunda marcha do câmbio, podendo ocorrer de o veículo destracionar nesta marcha sob este acerto, devido o excesso de torque disponível.

Com a pressão no coletor acertada para 1,2bar obtivemos 232cv@5900rpm (ganho de 152% sobre a potência original do veículo). Com isto a aceleração de 0 a 100km/h foi feita em 6,9s. O veículo passou a destracionar na segunda marcha do câmbio, devido ao excesso de torque disponível. O tempo de aceleração de 0 a 100km/h melhorou apenas 0,1s já que na primeira e segunda marcha o veículo destraciona, tracionando apenas na terceira marcha. Um câmbio mais longo seria necessário para melhorar a dirigibilidade do veículo. Em pista de arrancada com 201m (1/8miles) o veículo cruzou a linha de chegada com tempo de pista de 9,9s sem qualquer alteração na estrutura do veículo ou alívio de peso. Com esta potência a possibilidade de quebra aumenta muito e a dirigibilidade do veículo passa a ser bastante arisca. A relação peso/potência do veículo passa a ser 4,2kg/cv semelhante à de um Porsche 911 Carrera ano 2007 com 4,3kg/cv. Não foi testado nenhum acerto com pressão maior que esta.

## COMENTÁRIOS GERAIS E CONCLUSÕES

Com a análise dos componentes e sistemas afetados se conclui que a adaptação de um turbocompressor em um automóvel nacional é possível. Existe um mercado de peças

para troca e reposição, apesar deste mercado estar em processo de consolidação.

Em relação à durabilidade haverá alguma perda em durabilidade, e esta está ligada à maneira no qual o motor é operado já que este passa a estar mais suscetível ao mau uso, e não ao ganho de potência em si, dado ganhos de potência moderados, ou seja, até 80% sobre o original.

O ganho esperado de 60 a 80% se concretizou, com pressão positiva no coletor ao redor de 0,6bar. A correlação de ganho está ao redor de 1:1, ou seja, para 1,0bar de pressão se consegue 100% a mais de potência, no intervalo de 0 a 100%.

Dentre as diferentes metodologias para a alimentação do motor sob as novas condições, a que se obteve melhores resultados foi a instalação de um bico injetor de combustível suplementar que só é acionado ao haver pressão positiva no coletor, controlado por um controlador externo, independente da *ECU* do motor, e com os quatro bicos injetores de combustível originais trocados por modelos com maior vazão, para compensar a utilização de álcool como combustível. O uso do *intercooler* é recomendado para pressões no coletor acima de 0,6bar no coletor.

Durante a elaboração deste estudo o veículo rodou por 15mil km com turbocompressor instalado sem apresentar problemas relacionados à instalação do turbocompressor.

Dentre as diferentes configurações para o caso estudado com motor com turbocompressor adaptado, a mais representativa se obteve com 65% de ganho de potência sobre a potência do motor original com uso de um bico monoponto extra controlado por um controlador de bico suplementar e quatro bicos multiponto, sem *intercooler* trabalhando com 0,6bar de pressão no coletor de admissão. Sob esta configuração o veículo, um GM Corsa *Hatch* 1,6L 8v ano 1996 efetuou a medição de 0 a 100km/h em 7,8s, ou seja, abaixo dos 8,0s conforme objetivo do estudo. Neste caso o gasto para a modificação do motor para atingir está configuração foi de R\$5600,00. O veículo manteve uma boa dirigibilidade, sem falhas ou funcionamento irregular em condução normal. Para a partida a frio e durante a fase de aquecimento do motor, o motor apresentou funcionamento irregular. É recomendada a instalação de um sistema de partida a frio, e o aquecimento do motor, para este atingir sua faixa de temperatura normal e funcionar sem falhas.

Para a adaptação de um turbocompressor em outros motores de veículos nacionais este caso é bastante representativo já que ao instalar um turbocompressor, para um ganho de potência porcentualmente similar, os custos para a adaptação de todo o sistema variam ao redor de 15% para mais ou menos.

Deste modo conclui-se que a instalação de um turbocompressor em automóvel nacional, de modo a obter ganhos de potência na ordem de 60 a 80% é possível, sem grandes perdas na durabilidade ou dirigibilidade do automóvel.

Uma análise das possíveis alterações na suspensão, freio e caso necessário câmbio, seria importante para complementar as análises vistas neste estudo e daria uma visão mais abrangente de todas as alterações necessárias em um veículo onde se busca um aumento de potência moderado.

## REFERÊNCIAS

- BELLS, CORKY, 1997, “**Maximum Boost: designing, testing, and installing turbocharger systems / by Corky Bells**”, Ed Robert Bentley, Inc, 1ª Ed.
- VAN WYLEN, BONNTAG, BORGNACKE, 1998, “**Fundamentos da Termodinâmica**”, Ed Edgar Blucher, 5ª Ed.
- **PARAMINS POST**, 1998, Periódico Norte Americano, Ano 1998 tópico 68
- **BOSCH**, São Paulo, SP, Brasil, disponível em <[www.bosch.com.br](http://www.bosch.com.br)>, acesso em 26-jul-2005
- **GARRETT AFTERMARKET NORTH AMERICA**, São Paulo, SP, Brasil, disponível em <[www.turbobygarrett.com](http://www.turbobygarrett.com)>, acesso em 07-jun -2006
- **DIGIPULSE**, São Paulo, SP, Brasil, disponível em <[www.digipulse.com.br](http://www.digipulse.com.br)>, acesso em 12-jan -2007
- **SPA TURBO**, São Paulo, SP, disponível em <[www.spaturbo.com.br](http://www.spaturbo.com.br)>, acesso em 12-jan -2007



