

# **MOTORES ENVENENADOS**

**PARA USO EM:**

**AVIAÇÃO EXPERIMENTAL**

**BARCOS**

**LANCHAS**

**Engenheiro Adriano Antonio Luciano de Lima**  
**CREA: 5061459022 – SP**

Formação Acadêmica:

Engenharia de Computação na UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas (Campinas – São Paulo – Brasil)

Técnico em Eletrônica Industrial – Escola Técnica Estadual Comendador Emílio Romi

**Versão do Documento: 2.1**

**Data: Junho de 2006**

**Advertência:**

Este texto pode ser copiado e distribuído livremente não deve ser vendido. Qualquer marca registrada citada neste texto é propriedade de seu fabricante. Eu não fabrico, nem vendo, nem instalo turbo ou blower e também não faço preparação de motor. A instalação do turbo ou a preparação do motor é de sua responsabilidade e deve ser feita em oficinas especializadas em preparação de motores. Este texto está disponível gratuitamente na Internet em:

[http://geocities.yahoo.com.br/adriano\\_antonio\\_lima](http://geocities.yahoo.com.br/adriano_antonio_lima)

ou

[http://br.geocities.com/adriano\\_antonio\\_lima](http://br.geocities.com/adriano_antonio_lima)

**Contato:**

[adriano.antonio.lima@bol.com.br](mailto:adriano.antonio.lima@bol.com.br)

[aall45@ig.com.br](mailto:aall45@ig.com.br)

## Introdução

O objetivo deste documento é evitar que alguém desavisado faça alguma modificação no motor no fundo do quintal e coloque este motor em algum aparelho que voe e se machuque ou se mate! Em particular este texto é direcionado para aviação experimental, ou seja, Trikes, Ultraleves e Girocópteros. Uma descrição simples destes tipos de aparelhos é a seguinte:

Trike é uma asa delta com motor. Decola, pousa e voa igual a um avião convencional. O motor é colocado em um carrinho tipo triciclo e o carrinho é pendurado na asa delta.

Ultraleve é um aparelho parecido com um avião convencional.

Girocóptero é um aparelho que parece um helicóptero convencional, porém, decola, pousa e voa igual a um avião convencional. O rotor principal gira graças à auto rotação e não tem força para fazer o aparelho decolar na vertical. O aparelho se movimenta graças a uma hélice que empurra ele para frente este movimento faz com que o vento gire a hélice do rotor principal produzindo a auto rotação, o motor não gira o rotor principal é o vento que gira ele.

O texto pode ser usado também para alguém que pretende colocar um motor num barco ou fazer alguma modificação no motor para uso em automóvel. **O objetivo do texto é mostrar os tipos de envenenamento de motores que existem e se eles servem ou não para aviação experimental.** É muito comum uma pessoa achar que tudo que vale para automóvel vale também para aviões e barcos, isso não é verdade e eu pretendo mostrar isso neste documento.

O objetivo do texto não é ensinar a pessoa a modificar o motor e sim mostrar que é possível modificar um motor e coloca-lo em algum aparelho que voe. A modificação do motor deve ser feita por mecânicos experientes e em oficinas especializadas. Há várias oficinas espalhadas pelo Brasil inteiro. Após o motor ser modificado as novas características dele deve ser medida com o uso de um aparelho chamado dinamômetro. Este aparelho é ligado no eixo do motor e fornece com precisão o Torque, o RPM do motor e também a potência do motor. Não é um aparelho muito caro, logo várias oficinas têm esse tipo de aparelho.

Esta é a segunda versão deste documento, a primeira versão foi publicada em maio de 2003 e não está mais disponível porque a segunda versão deste documento contém todas as informações que estavam na primeira versão. O texto foi totalmente revisado e reescrito, recebi várias sugestões

para melhorar o texto e deixar o texto mais claro. Sugestões são sempre bem vindas e serão colocadas em versões futuras deste documento.

Eu coloquei este texto em formato PDF porque este é o padrão para divulgação de informação pela Internet, e também é possível ler o texto em qualquer tipo de computador. O formato PDF também evita que o documento seja modificado. Utilizei letras grandes para que fique mais fácil ler o texto na tela do computador.

Eu sou Engenheiro de Computação, minha área é a informática. No entanto, na UNICAMP eu tive uma base sólida de Matemática, Física e Mecânica assim eu consigo analisar problemas que não é da minha área. Em particular, eu tenho um bom conhecimento de mecânica e gosto muito de máquinas, principalmente as que voam.

Eu pesquisei este assunto durante um mês e fiz os cálculos com cuidado, aliás, um esclarecimento deve ser feito. As contas sobre potência e velocidade são aproximadas para obter o valor exato só com o uso do dinamômetro ligado no eixo do motor. Porém, as contas servem como base para tentar chegar ao que você deseja. No entanto, caso eu tenha cometido algum erro de conta ou de conceito sinta-se à vontade para corrigi-lo ou para fazer qualquer critica positiva ou negativa. Todas as sugestões para melhorar o texto são sempre bem vindas.

Eu não pretendo explicar a fundo o funcionamento do turbo, do blower e do motor aspirado porque este não é o objetivo deste texto. Eu apenas mostro o que importa quando você ganha potência, as vantagens e desvantagens e quanto custa. Assim você é que decide se vale à pena envenenar o motor ou colocar um redutor de velocidade para aumentar o torque fornecido para hélice. A respeito de redutor leia o outro documento específico sobre caixa de redução que está disponível na Internet no mesmo lugar que este documento se encontra.

Sempre que uma pessoa decide modificar um motor ela faz isso pensando na hélice que ela quer que o motor gire, ou seja, pretende deixar o motor igual a outro tipo de motor. Em particular isso é feito em aviação experimental utilizando o motor Volkswagen 1600 que é um motor de automóvel o objetivo é girar a hélice dos motores Rotax que são motores aeronáuticos. No caso de barcos seria utilizar a hélice do motor de popa – aquele tipo de motor que tem em lanchas. Qual a vantagem de fazer isso? O motor Volkswagen 1600 é barato, tem peças baratas e fáceis de encontrar, vários mecânicos sabem consertar esse tipo de motor, utiliza combustível mais barato (gasolina comum ou álcool comum), é um motor muito resistente e fácil de modificar. Porém, o Volkswagen 1600 é grande e pesado e em

aviação isso é problemático já em barcos isso não é um problema muito sério para a maioria dos barcos até porque o motor de popa não é muito leve!

Por outro lado, os motores aeronáuticos e os motores de popa utilizados em barcos são pequenos, leves, caros, tem peças caras e difíceis de encontrar, não é qualquer mecânico que sabe consertar este tipo de motor e ainda por cima utiliza combustível especial que é caro. O motor aeronáutico é ideal para aviação experimental porque foi projetado para uso aeronáutico, porém, é muito caro! Por isso no Brasil é muito utilizado o motor Volkswagen 1600 e fica muito bom e às vezes até melhor que o motor aeronáutico. **Sempre que alguém decide modificar o motor seja usando envenenamento ou utilizando redutor o objetivo sempre deve ser girar a hélice do outro motor original (aeronáutico ou náutico).** Porque isso? Para obter o mesmo desempenho do outro motor e não ter que ajustar a hélice o que é uma tarefa difícil, por isso sempre deve ser utilizada uma hélice que já existe e que o motor original utiliza. No nosso caso em particular interessa apenas os motores Rotax e o motor Volkswagen 1600 porque estes são os motores mais encontrados em aviação experimental. Logo o objetivo é fazer o Volkswagen 1600 girar a hélice dos motores Rotax.

A grande maioria dos motores aeronáuticos e dos motores náuticos utiliza um redutor para aumentar o torque fornecido para a hélice. Com este redutor os motores ficam muito “forte” mais forte que o Volkswagen 1600 é por isso que o motor original Volkswagen 1600 não consegue girar a hélice dos motores Rotax. Há duas maneiras de resolver isso, **a primeira é fazer um redutor para o motor Volkswagen** (há outro texto sobre este assunto no mesmo local onde este texto se encontra na Internet), **a segunda é envenenar o motor de forma que ele consiga girar a hélice do motor original.** Este envenenamento será o objeto de estudo deste texto, eu vou mostrar que é possível fazer o envenenamento e utilizar o Volkswagen 1600 para substituir um motor bem maior e mais caro. Também vou mostrar os perigos e o que pode acontecer se cuidados não forem tomados.

Quando você envenena o motor você aumenta a potência dele, isso deve ser feito com cuidado para não estragar o motor e também depende de onde o motor será usado. Se o motor for usado em aviação, há três fatores importantes que devem ser considerados. O primeiro é se o motor não corre o risco de parar ou quebrar em pleno vôo, se isso ocorrer você cai e estraga o aparelho e pode até morrer. O segundo é se o motor não vai fazer o aparelho exceder a VNE (Velocidade Não Exceder), se isso ocorrer à asa quebra e você cai e morre. O terceiro é o peso, o motor não deve ficar muito pesado.

Se o motor for usado em barcos há também três problemas básicos. O primeiro é se o motor quebrar ou parar você vai ficar perdido no meio do rio

ou do mar. O segundo é que a hélice pode cavitari e se ela cavitari não adianta acelerar que não ganha velocidade e o pior estraga a hélice, a transmissão e até o barco, porque quando a hélice cavita ela começa a vibrar e a água começa a corroer a hélice, no caso de corrosão da hélice ela pode até quebrar com o tempo. O terceiro é que o barco pode virar.

Se o motor for colocado em carro nada disso é problema porque se o motor parar o carro simplesmente pára e não machuca ninguém. Por exemplo, em corridas de automóvel o motor é envenenado ao máximo, se o motor agüentar chegar no fim da corrida já é lucro, aliás, os motores são trocados em cada corrida e se acontecer do motor quebrar o piloto pára o carro e vai a pé para o Box. Em aviação isso não pode acontecer! O envenenamento não pode ser tão severo a ponto do motor correr o risco de quebrar em pleno vôo porque se o motor parar o aparelho cai e quem estiver dentro pode até morrer além de estragar o aparelho que é caro. No caso de barco, o barco pode virar ou então você pode ficar perdido no meio do mar! Isso mostra claramente que o envenenamento severo do carro não pode ser aplicado em aviação e nem em barcos. Porém, um envenenamento leve pode ser aplicado, a prova disso é que a maioria dos motores de Girocópteros utiliza turbo, vários ultraleves avançados também utilizam turbo. Existem ultraleves avançados que utilizam o Volkswagen envenenado no lugar do Rotax 912! O próprio motor Rotax 914 utiliza um turbo que já vem de fábrica.

No caso de barcos alguns rebocadores utilizam o motor Diesel turbinado. Isso mostra claramente que o envenenamento pode ser feito e utilizado em aviação e em barcos.

Na parte da bibliografia eu indico os endereços de Internet onde eu obtive estas informações assim você pode obter informações mais detalhadas para seu caso. Como os documentos da Internet mudam muito de endereço conforme o local em que está hospedado, se você não achar o que procura a partir dos endereços que eu forneci, utilize um mecanismo de busca e digite turbo ou tuning que você encontrará vários endereços sobre o assunto.

## **Envenenamento de Motor**

Se você tiver qualquer dúvida a respeito de qualquer conceito ou fórmulas leia o outro texto sobre caixa de redução, este texto está disponível na Internet no mesmo local que este texto está disponível. No texto sobre caixa de redução estes conceitos são explicados melhor. Eu não vou repetir estes conceitos aqui senão este texto ficaria muito grande.

O que é envenenar (ou preparar, ou mexer) um motor?

Envenenar um motor é aumentar a potência dele, ou seja, aumentar a sua energia e também a sua “força”. Esta energia que foi obtida com o envenenamento será convertida em maior “força” e maior velocidade, ou seja, o motor fica mais “forte”.

Todo motor de combustão interna (motor a gasolina, álcool ou diesel) funciona de forma semelhante. Há uma explosão dentro da camisa do pistão que movimenta o pistão. O movimento do pistão faz o virabrequim girar e é a ponta do virabrequim que é o eixo do motor. No eixo do motor é ligado o que você quiser, ou seja, uma hélice, um cambio de carro, uma caixa de redução, uma bomba d’água, etc. Logo, toda a energia e “força” do motor está no eixo do motor. Como o eixo do motor gira as leis da Física que determinam seu movimento são as leis do movimento circular.

A potência do motor é dada pela fórmula:

$$P = T \times W$$

Ou,

Potência = Torque x Velocidade Angular

T = Torque, é a “força” do motor, quanto maior o torque mais forte é o motor. Quando alguém diz que um motor é mais forte que o outro quer dizer que tem um torque maior. Torque poderia ser entendido como a “força de girar”. Torque e força são coisas distintas que estão relacionados pela fórmula:

$T = F \cdot R$ , onde F é a força e R é o raio. No outro texto este conceito está explicado melhor. Neste texto sempre que falarmos em “força” do motor você deve saber que estamos falando do torque do motor.

W = Velocidade Angular

A velocidade angular é definida por:

$$W = 2 \times \pi \times f$$

Onde:

$\pi$  = Leia pi. É uma constante e tem o valor de 3,141592654

f = frequência em Hertz

Frequência é o número de voltas que o eixo do motor dá em 1 segundo, por exemplo, se o motor está girando em 6.000 RPM a frequência é 100 Hertz isto significa que em um segundo o eixo do motor dá 100 voltas, em um minuto o eixo dá 6.000 voltas é por isso que se diz RPM que significa rotações por minuto.

A potência é dada em Watts que significa energia por segundo, esta energia é a energia mecânica. É importante tomar cuidado com as unidades:

Potência = medida em Watts

1 HP = 746 Watts

1 CV = 735 Watts

CV = Cavalo

HP = Horse Power, significa cavalo vapor em Inglês.

Torque = medido em N.m que significa Newton vezes metro, Newton é unidade de força.

1 Kgf.m = 9,80665 N.m

Frequência = medida em Hertz

60 RPM = 1 Hertz

Assim, colocando a fórmula de potência numa forma mais conveniente:

Potência =  $Torque \times 2 \times \pi \times f$

O número 2 e o número pi são constantes e não mudam, apenas o torque e a frequência (RPM) podem mudar, desta forma há somente três maneiras possíveis e diferentes de aumentar a potência de um motor:

**Primeira:** aumentar apenas o torque do motor, ou seja, aumentar a sua força.

**Segunda:** aumentar apenas a frequência do motor, ou seja, aumentar o RPM o que significa aumentar a rotação do motor.

**Terceira:** aumentar ao mesmo tempo o torque e o RPM do motor.



Agora que nós vimos as três maneiras possíveis de aumentar a potência do motor nós podemos verificar cada tipo de envenenamento.

## **O motor aspirado**

O motor aspirado é o mais comum de ser encontrado, todo motor que não é turbo é aspirado logo a maioria dos automóveis tem um motor aspirado. No motor aspirado a mistura ar/combustível que entra dentro da camisa do pistão é puxada pelo próprio movimento do pistão, ou seja, o motor faz força para puxar a mistura para dentro do motor. Esta força é perdida e não fica disponível no eixo do motor, ou seja, você não aproveita esta força. No motor turbo o motor não faz força para puxar a mistura, a turbina injeta a mistura dentro do motor.

O motor aspirado por mais eficiente que seja não consegue encher mais que 70% da capacidade dos seus cilindros. E o pior quanto maior a altitude menor a quantidade de ar/combustível que o motor consegue puxar o que significa que o motor perde potência. A 2.500 metros o motor perde 25% de potência o que significa que o motor consegue encher 52,5% da capacidade dos seus cilindros. Em aviação, por exemplo, o problema da altitude é comum porque você nunca voa perto do solo! No motor turbo a turbina enche 100% da capacidade dos cilindros em qualquer altitude.

Há também outro detalhe, o motor de combustão interna é classificado como uma máquina consumidora de ar. Isso significa que a potência obtida de um dado motor é determinada pela quantidade de ar que ele aspira em um certo período de tempo, e não pela quantidade de combustível utilizada. Isto porque o combustível que é queimado requer ar com o qual se mistura para completar o ciclo de combustão. Uma vez que a relação ar/combustível atinge um certo ponto, a adição de mais combustível não produzirá mais potência, somente fumaça preta. Quanto mais densa a fumaça preta, maior é o desperdício de combustível. Portanto, aumentando o combustível além de relação ar/combustível limite, resulta apenas em excessivo consumo de combustível e nenhuma potência extra.

O método de envenenamento aspirado é feito através do aumento de RPM do motor, ou seja, para que o motor tenha mais potência é preciso que ele gire mais. Isso é feito trocando o comando de válvulas e as válvulas por um modelo esportivo, assim as válvulas ficam mais tempo abertas e possibilita um maior enchimento dos cilindros. Além disso, é necessário trocar o carburador e regular o motor. Também é preciso trocar o coletor de escape, a bobina, vela e filtro de ar por um modelo esportivo e fazer um retrabalho no cabeçote.

A principal vantagem deste método é o baixo custo e a facilidade de preparação em relação ao turbo, quando o incremento de potência desejado é de até 30%. As principais desvantagens ficam por conta da perda de torque em baixas rotações, e a instabilidade da marcha lenta e também se você quiser voltar ao motor original também é mais trabalhoso.

Além disso, você também pode aumentar a cilindrada do motor trocando os pistões e as camisas por um mais largo, veja no outro texto sobre caixa de redução o exemplo de aumentar a cilindrada do motor. Você também pode utilizar um virabrequim que tenha um braço maior assim você obtém um torque maior. Há também o virabrequim com rolamento que diminui muito o atrito e proporciona alguns cavalos de potência a mais.

Repare que o combustível é o mesmo que você utilizava antes. Se você utilizar um combustível mais forte você obtém uma potência maior, porém, corre o risco de estragar os pistões.

Use o bom senso para fazer uma aspirada no motor, porque assim o motor irá durar praticamente o mesmo que o original, não há risco de quebrar ou parar, o motor não esquenta muito e também não gasta muito combustível.

Em relação ao motor esquentar há algo que deve ser mencionado: qualquer método de envenenamento faz o motor esquentar. Isso porque a explosão dentro do motor é mais intensa o que significa que o calor é maior logo o motor vai esquentar mais. No caso do motor Volkswagen 1600 isso é problemático porque ele é refrigerado a ar, porém, existe radiador de óleo que esfria o motor.

O motor Volkswagen é muito fácil de modificar e existem peças prontas para isso. Há kits prontos para o motor Volkswagen 1600. Há virabrequim com rolamentos, há virabrequim com um braço maior e um bloco especial para abrigar este virabrequim há pistões e camisas de até 2600 cilindradas (motor 2.6), há radiadores de óleo para resfriar o motor. Ou seja, há peças disponíveis para todos os gostos e bolsos.

Vários ultraleves avançados utilizam o motor Volkswagen 1600 aspirado, e ficam muito bons, alguns substituem até o Rotax 912. Esta modificação de motor deve ser feita em oficina especializada, depois que estiver pronta deve medir o torque, o RPM e a potência com o dinamômetro para saber com precisão os dados do motor. Depois disso é só escolher a hélice apropriada para o motor e para o aparelho onde ele será colocado.

Este método pode ser utilizado em aviação e em barcos porque o ganho de potência é constante. Isso é muito importante porque não adianta o motor ganhar potência só por um instante e depois perder a potência (como ocorre com o Nitro, por exemplo), em aviação o que movimenta o aparelho é a hélice e por isso deve ser oferecida uma potência constante para ela e não apenas em

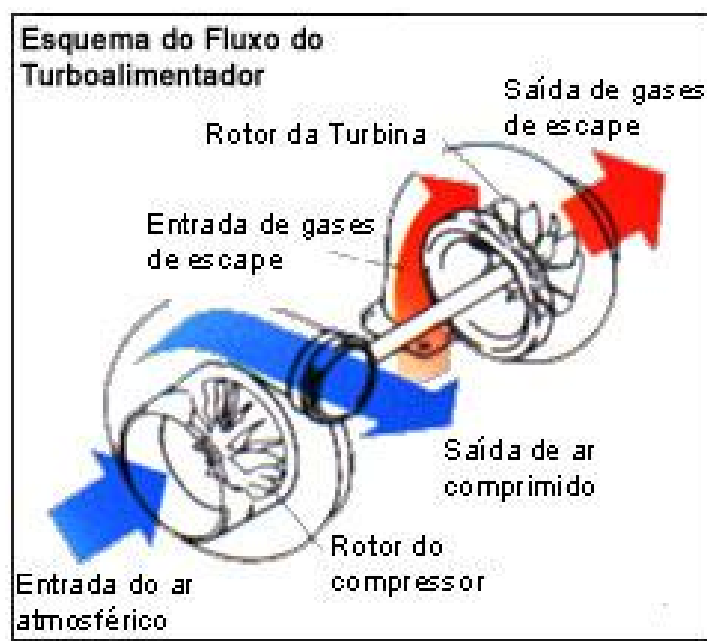
pico. Este tipo de preparação é mais indicado para substituir motores maiores como o Rotax 912, por exemplo. Não é muito comum em trikes, até porque não necessário uma potência tão grande em trikes. Aliás, a hélice do Rotax 582 gira mais devagar do que a do Volkswagen logo não precisa aumentar mais a rotação do motor Volkswagen, o que é necessário é aumentar o torque nos vamos ver como isso é feito. O fato do motor aspirado girar mais rápido é muito bom porque dá para construir uma caixa de redução com um valor grande e girar uma hélice maior ainda.

## O motor turbo

O método turbinado, como o próprio nome diz, baseia-se em instalar no motor, especificamente no coletor do escapamento, um turbo compressor.

Chama-se turbo compressor porque a peça é formada por uma turbina e por um compressor.

Veja a figura a seguir:



O turbo é formado por duas peças, a turbina e o compressor. A turbina é a da direita e é chamada de turbina quente e o compressor é o da esquerda e é chamado de turbina fria. As setas em vermelho representam o gás que sai do motor após a queima de combustível, esse gás passa através de uma turbina e

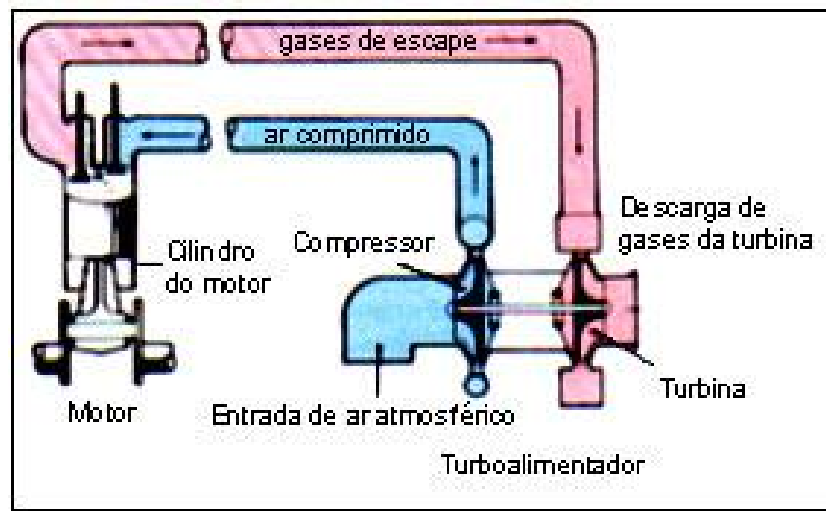
vai para o escapamento. As setas em azul representam o ar que é puxado e depois é comprimido e injetado no motor.

O gás que sai do motor gira o rotor da turbina quente do mesmo jeito que o vento gira um cata-vento ou um moinho, depois de girar a turbina quente o gás vai para o escapamento e vai embora.

O rotor da turbina quente está ligado no mesmo eixo do rotor da turbina fria assim quando o rotor da turbina quente gira o rotor da turbina fria também gira no mesmo RPM. O rotor da turbina fria gira e puxa o ar como se fosse uma bomba, depois a turbina comprime o ar e injeta dentro do carburador com pressão, lá o ar recebe o combustível e é injetado dentro do motor.

Com o turbo o motor recebe a mistura no interior de seus cilindros de forma pressurizada e não aspirada, ou seja, o motor não precisa mais fazer força para puxar o ar isso já produz alguns cavalos a mais de potência também. A força para puxar o ar vem dos gases do escapamento que antes eram desperdiçados e agora são aproveitados para girar a turbina.

Para ver isso em mais detalhes veja a figura a seguir:



Repare como o gás do escapamento gira a turbina quente e conseqüentemente gira a turbina fria. A turbina fria puxa o ar comprime e injeta dentro do pistão com pressão.

Veja a figura abaixo como um turbo é por dentro:



Repare na separação entre as duas turbinas. A turbina parece um caracol, dentro dela há um rotor e é esse rotor que gira. O gás do escapamento está representado pela seta vermelha e o ar que é puxado e injetado dentro do motor está representado pela seta azul.

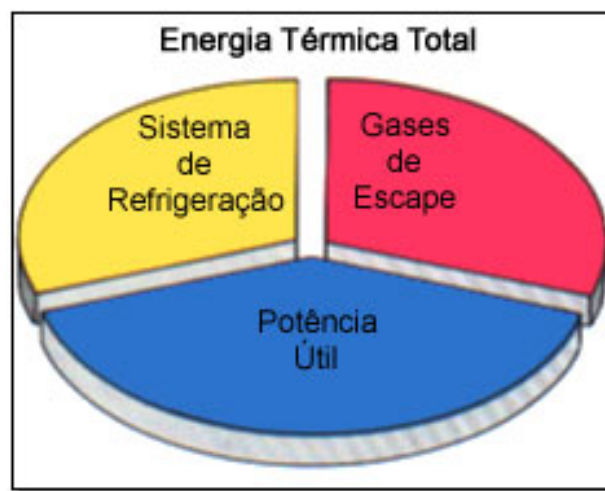
O turbo envia ao motor ar comprimido, ou seja, a partir deste momento o motor recebe a mistura no interior dos seus cilindros na forma pressurizada e não mais aspirada. O motor não precisa fazer força para puxar o ar para o seu interior logo você já ganha uma força extra. Além disso, a turbina empurra o ar para dentro do cilindro conseguindo encher 100% da câmara de combustão isso também já produz uma força extra.

Com mais ar disponível a explosão é mais forte o que significa que o motor tem mais potência e mais força, ou seja, tem um torque maior. O turbo aumenta a potência do motor aumentando o torque do motor. Às vezes o RPM aumenta também, mas a maior parte da potência extra vem mesmo do aumento do torque do motor. O RPM do motor é mais relacionado com o tamanho do braço do pistão, o turbo não modifica o comprimento do braço, logo não tem porque o RPM mudar. Se o RPM muda ou não depende da pressão do turbo, mas para ter certeza é melhor medir o RPM com um dinamômetro.

Em relação ao consumo de combustível, depende muito da pressão que o turbo estiver trabalhando, o consumo pode aumentar se a pressão for muito alta, pode ficar igual ou menor se a pressão for baixa. Se vai gastar mais

combustível ou menos teria que verificar na prática. No entanto, o fato de ter mais ar dentro da câmara de combustão significa que pode injetar mais combustível lá dentro, assim obtém uma potência maior ainda, porém, vai gastar muito combustível. A maioria dos turbo instalados em automóvel gasta mais combustível justamente porque é injetado mais combustível para poder aproveitar a maior quantidade de ar, mas isso depende muito do resultado que se quer obter com o turbo, se é uma velocidade maior ou apenas um melhor desempenho.

De onde vem essa energia extra que o turbo fornece? Para responder essa pergunta observe a figura abaixo:



A figura representa a distribuição de energia no motor de combustão interna. Toda a energia do motor é proveniente da explosão do combustível dentro da câmara do pistão. Na explosão do combustível as moléculas do combustível são quebradas e liberam energia. De toda energia liberada um terço é perdido no sistema de refrigeração, um terço é perdido nos gases do escapamento e apenas um terço está disponível no eixo do virabrequim. Estas perdas de energia são causadas por vários fatores, entre eles o atrito entre as partes móveis do motor (pistão, virabrequim, válvulas). A queima do combustível também não é completa e vários outros fatores que os fabricantes de motores tentam eliminar ao máximo possível.

O turbo então aproveita o um terço da energia que o escapamento joga fora para girar o rotor da turbina e puxar o ar e injetar novamente dentro do motor. Ou seja, o motor turbo aumenta a eficiência do motor logo aumenta a potência.

O turbo aumenta o desempenho do motor, mas o que é desempenho ou rendimento, ou eficiência do motor? Um motor é um dispositivo que converte

uma forma de energia em outra forma de energia. No caso, a energia armazenada nas moléculas do combustível é convertida em energia mecânica disponível no eixo do motor. O combustível explode dentro da câmara do pistão e movimenta o pistão para baixo girando o virabrequim. A ponta do virabrequim é o eixo do motor onde você liga o que você quiser, hélice, caixa de redução, cambio de carro, etc. A razão entre a energia disponível no combustível e a energia disponível no eixo do motor é chamada de rendimento, ou eficiência ou desempenho. No motor a gasolina ou álcool este rendimento é de 30% , se for feita alguma modificação no motor que aumenta o rendimento para 50% então aumentou o desempenho do motor, ou aumentou o rendimento do motor, ou aumentou a eficiência do motor.

Por exemplo, um motor comum de 50 HP fornece 50 HP de energia (dividido em Torque e RPM) no eixo do virabrequim. Geralmente os motores conseguem fornecer 30% da energia disponível no combustível, se conseguisse obter 100% da energia disponível o motor seria de 166,66 HP! A diferença de potência (116,66 HP) é perdida no sistema de refrigeração e pelo escapamento. Se o turbo proporcionar 50% a mais de potência então o motor de 50 HP passa a ser de 75 HP. Como a potência aumenta a eficiência do motor também aumenta.

Nos vimos que se o motor liberasse 100% de energia então o motor seria de 166,66 HP, com o turbo ele passa a 75 HP o que significa que agora o motor aproveita 45% da energia do combustível e mesmo assim 91,66 HP são perdidos no sistema de refrigeração e no escapamento. Porém, antes o motor aproveitava 30% da energia e perdia 70%, agora aproveita 45% da energia e perde 55%. Parece pouco, mas já é um ganho significativo de torque para o motor. Por exemplo, as locomotivas a vapor aproveitavam 11% da energia 89% era perdida! Os motores a gasolina ou a álcool aproveitam 30% da energia e perdem 70%, com o turbo o motor aproveita 45% e perde 55%. O motor diesel aproveita 45% da energia e perde 55%, com o turbo o motor diesel aproveita 67,5% da energia e perde 32,5%. O motor a diesel é usado em trabalhos pesados porque ele é mais eficiente, ou seja, gasta menos e tem mais torque (é mais “forte”). Você poderia fazer um motor à gasolina ou a álcool que tivesse a mesma potência que um motor a diesel, porém, você iria gastar mais combustível porque o motor a gasolina não é tão eficiente quanto o motor diesel.

O motor elétrico aproveita 90% da energia! É por isso que o motor elétrico é usado para trabalhos pesados na indústria como, por exemplo, bombear grande quantidade de água.

Quanto de potência o motor ganha com o turbo?

Depois que o turbo é fabricado basicamente a única coisa que dá para regular nele é a pressão do ar que a turbina injeta no motor. Logo a potência do motor é basicamente determinada pela pressão do turbo.

O fabricante do turbo faz vários testes com o motor turbinado e utiliza um dinamômetro para medir o torque, o RPM e a potência em cada valor da pressão do turbo. Feito isso é construído um gráfico onde mostra a curva da potência e do torque em função da pressão no turbo e do RPM do motor, essa curva é chamada curva pressão x potência x torque x RPM. A partir desta curva é possível saber quanto de potência o motor vai ganhar, cada turbo tem uma curva diferente da outra, e cada tipo de motor tem um tipo de turbo apropriado para ele. Na oficina o mecânico ajusta a pressão do turbo para uma faixa da curva pressão x potência onde o turbo vai trabalhar.

Se o motor vai ser utilizado em corridas de automóvel é colocada uma pressão alta, o motor ganha bastante potência, gasta muito combustível e corre um sério risco de estragar. Se o motor vai ser usado em carros comuns é colocada uma pressão baixa para não estragar o motor e para não gastar muito combustível. A pressão que o turbo vai trabalhar vai depender de qual é a aplicação do motor.

Existe turbo que só entra em ação em alta rotação do motor, e quando ele entra o RPM do motor aumenta muito, o motor gasta muito combustível e obtém uma potência grande. Esse tipo de turbo é conhecido como turbo veneno e é muito utilizado em corridas de automóvel. Esse tipo de turbo estraga o motor e não deve ser utilizado em aviação ou em barcos. Em corridas de automóvel se o motor agüentar chegar no final da corrida já é lucro em aviação isso não pode ocorrer o motor não deve parar em pleno vôo.

O outro tipo de turbo que vem de fábrica junto com alguns tipos de automóveis é conhecido como turbo desempenho. O turbo entra em ação durante todo o tempo e não apenas em altas rotações, ou seja, o turbo está ligado direto. Este tipo de turbo não modifica muito as características do motor de forma que o RPM do torque máximo não muda, porém para ter certeza se o RPM do torque máximo mudou ou não deve medir o novo valor com o dinamômetro. Na troca de marcha há um alívio da pressão onde é possível escutar o “espirro” um barulho típico dos motores turbinados. Esse tipo de turbo fica ligado direto e aumenta o desempenho do motor. Esse tipo de turbo pode ser usado em aviação e em barcos desde que alguns cuidados sejam tomados. O primeiro é que o motor não deve jamais fazer o aparelho exceder a VNE (Velocidade não Exceder) porque se isso ocorrer à asa do aparelho quebra e você cai e morre, é por isso que chamasse velocidade não exceder. Em aviação cada aparelho tem uma velocidade limite, acima disso a



asa quebra. Um automóvel comum pode atingir 350 Km/h sem problema nenhum e de forma segura, um avião não! Se a VNE do aparelho for 150 Km/h essa é a velocidade limite do aparelho acima disso a asa quebra, na prática nenhum piloto voa perto da VNE eles voam em velocidade de cruzeiro que é bem inferior a VNE. No nosso exemplo, a velocidade de cruzeiro seria 110 Km/h. Mas surge a pergunta o aparelho pode atingir a VNE com um motor turbo? A resposta é sim, é possível atingir sim a VNE e isso já ocorreu e já morreu gente por causa disso! Porque é possível atingir a VNE? Porque o motor turbo fornece mais energia para hélice. A energia fornecida pode ser superior a necessária para o aparelho voar, o que significa que haverá um ganho de velocidade no aparelho, tudo depende de quanto é a potência e da hélice do aparelho. Uma hélice girando mais rápido pode cavitari, ou seja, não produz mais empuxo independente de quanto RPM é fornecido a mais para ela, toda hélice tem seu limite se a hélice cavitari ela pode quebrar. Além disso, a hélice está sujeita a uma força muito grande e quanto mais rápido ela gira maior a força que ela está sujeita, o que significa que a hélice pode quebrar. Se a hélice não cavitari, e nem quebrar então girando ela mais rápido vai produzir um aumento de velocidade no aparelho o que pode ser perigoso porque com o motor original a hélice nunca fazia o aparelho chegar perto da VNE (toda hélice é projetada para que isso não aconteça) num motor turbo há mais energia disponível logo é possível atingir a VNE. O segundo cuidado é que o aparelho não deve fazer um esforço contra o vento maior do que ele fazia usando a hélice e o motor original. O esforço contra o vento também pode quebrar a asa, um motor original e usando hélice original não produz um esforço contra o vento suficiente para quebrar a asa, um motor turbo fornece uma energia maior logo isso é possível de ocorrer. O terceiro é que o motor não deve esquentar muito a ponto de ter uma pane, isso também é perigoso este problema deve ser contornado com radiador. O quarto é que o turbo deve fornecer potência para a hélice de forma constante e não em picos, porque senão se o turbo funcionar apenas em rotação elevada do motor quando o piloto decolar e atingir velocidade e altura de cruzeiro ele vai diminuir a rotação do motor para gastar menos combustível, quando isso ocorrer o turbo deve ficar funcionando, senão haverá perda de potência e a velocidade do aparelho vai começar a diminuir, quando isso ocorrer o piloto vai acelerar mais para compensar, porém, se o turbo não estiver funcionando ele não vai conseguir acelerar porque a hélice vai estar freando o motor e o motor sem turbo não tem força para girar a hélice porque a hélice foi dimensionada para a potência do turbo sem turbo o motor não tem força. O que pode acontecer neste caso é que o piloto pode não conseguir acelerar o motor de forma que o turbo entre em ação novamente, isso vai fazer o aparelho perder velocidade e

ele pode atingir a velocidade de “estola” (do inglês stall, significa perda de sustentação) se a velocidade de “estola” for atingida o aparelho cai, perceba que em aviação existe uma velocidade máxima e mínima para o avião conseguir ficar no ar, bem diferente de automóvel onde não existe velocidade mínima. Logo nem tudo que vale para automóvel vale para aviação. Este problema do turbo desligar é facilmente contornado, ele já é instalado para ficar ligado direto e isso deve ser testado no solo com o motor em várias rotações para ver se realmente o turbo está funcionando em baixa rotação.

No caso do motor ser colocado em barco existe também o problema do barco virar por excesso de velocidade ou da hélice cavitando, a hélice de barco cavita mais fácil e quando isso ocorre dá para perceber o barulho e a vibração no barco e no sistema de transmissão. Se a hélice do barco cavitando com o tempo ela quebra e estraga todo o sistema de transmissão do barco. Além disso, o motor não deve parar senão você fica perdido no meio do mar ou do rio!

No turbo para desempenho com a pressão entre 0,3 bar e 0,5 bar existe uma grande chance de ter um comportamento “linear” da potência do motor. Esta faixa de pressão é conhecida como “faixa linear” e a maioria dos turbos são regulados para trabalhar nesta faixa porque esta é uma faixa que não estraga o motor e que não gasta muito combustível. Essa faixa de pressão é baixa, assim o turbo é chamado de “turbo fraco”. O valor da pressão desta “faixa” varia de um turbo para outro e depende muito de como o turbo é construído e do motor onde ele será instalado.

O que significa essa “faixa linear?”

Significa que com 0,3 bar de pressão no turbo seria teoricamente possível atingir 30% a mais de potência no motor. Com 0,4 bar de pressão obteria 40% a mais de potência e com 0,5 bar de pressão obteria 50% de potência. Isso é um valor teórico, porém, em oficinas que fazem preparação de motores é possível medir com o dinamômetro cada valor da potência do motor conforme varia a pressão do turbo. Logo o mecânico ajusta a pressão do turbo para obter a potência desejada. O turbo também não faz milagre logo pode não ser possível obter 100 % a mais de potência no motor!

Eu consultei mecânicos que fazem preparação de motores com turbo e eles disseram que na prática 0,3 bar de pressão pode obter uma potência a mais entre 25% e 40%. Depende muito do tipo de motor e do tipo de turbo.

Devido ao fato da “faixa linear” não ser confiável o valor exato do torque, do RPM e da potência deve ser medido com um dinamômetro e a pressão do turbo deve ser ajustada para obter o que você deseja. Porque isso? Porque em aviação deve ter precisão senão você estraga seu aparelho e pode até morrer! Logo, no nosso caso o objetivo é fazer o Volkswagen girar a

hélice do Rotax, por isso, o valor do torque, do RPM e a potência do motor turbo deve ser medido com precisão utilizando um dinamômetro.

Para efeito de calculo vamos supor que a curva pressão x potência do turbo se comporta de forma linear, isso é uma aproximação, porém, deve ser verificado na prática com o dinamômetro.

Quem utiliza turbo para desempenho hoje em dia?

Navio, locomotiva, carretas, caminhões, alguns automóveis que vem com o turbo original de fabrica. No caso de aviação é utilizado em ultraleves avançados e girocópteros. O Rotax 914 utiliza turbo que vem de fabrica.

Quem utiliza turbo veneno?

Carros de corrida, e alguns malucos que gostam de abusar da velocidade.

As principais vantagens do turbo são: a preservação das características originais do motor, ou seja, aumenta apenas o torque o RPM não muda (pode mudar no caso do turbo veneno). E também se quiser tirar o turbo o motor volta a ficar original. Se o ganho de potência ficar em até 50% não existe teoricamente nenhum risco para o motor e nem muda a sua durabilidade. O desempenho do motor não muda com a altitude porque o turbo sempre enche a câmara do pistão em 100% da sua capacidade. O consumo de combustível é menor porque o motor fica mais eficiente (o motor pode consumir mais combustível se ele for regulado para fazer isso e obter uma potência maior ainda). O motor polui menos porque a queima do combustível é mais completa, o fato de poluir menos significa que não está desperdiçando combustível. O gás que sobrou da explosão do combustível é todo puxado para fora da câmara de combustão quando abre a válvula de escape, porque como a turbina quente já está girando quando isso ocorre, ela está “puxando” os gases, ou seja, há uma pressão negativa que puxa o gás; isso evita que sobre algum resíduo dentro da câmara de combustão.

As principais desvantagens são: cada motor tem um tipo de turbo apropriado para ele se você colocar um turbo não recomendado para o aquele motor você corre o risco de estragar o motor ou não obter o desempenho necessário. No caso do motor Volkswagen 1600 há kits prontos para colocar no motor. O preço do kit geralmente é caro e deve ser instalado por pessoas experientes senão pode não ficar como você queria, porém com o ganho de

potência e a economia de combustível com o tempo você obtém o retorno do investimento. Se a pressão do turbo for acima de 0,5 bar há o risco do motor estragar. Como a explosão dentro do motor é mais forte o motor esquenta mais, no caso do motor Volkswagen 1600 isso é crítico porque ele é refrigerado a ar, porém, existem radiadores de óleo para resfriar o motor.

Para o caso de aviação o turbo deve funcionar durante todo tempo, se o turbo parar o motor não vai ter força para girar a hélice e o aparelho vai ter que fazer um pouso de emergência!

Há alguns cuidados a tomar com motores turbo. O principal é evitar os inimigos do turbo:

Falta de lubrificante do turbo.

O turbo puxa algum objeto estranho, por exemplo, parafuso, porca, arruela, estopa, pedra, etc. Neste caso estraga as paletas do turbo e tem que trocar. Isso pode ser evitado deixando o filtro de ar sempre limpo e não ligando o motor sem o filtro de ar.

O lubrificante está contaminado, ou seja, está sujo com terra ou metal.

Outro cuidado é esperar 30 segundos para a queda de rotação do turbo antes de desligar o motor e também depois de ligar o motor esperar 30 segundos antes de colocar o veículo em movimento. Esses cuidados são necessários para que o turbo não trabalhe sem lubrificação, permitem a estabilização do fluxo e da pressão do óleo lubrificante, dentro dos níveis recomendados para o bom funcionamento do turbo.

## **O motor com blower**

Uma tradução para blower seria soprador. É exatamente isto que o blower faz. Quem assistiu ao filme “Mad Max” ou ao filme “Velozes e Furiosos” viu carros que tinham um blower. O blower é aquele “negócio” que sai para fora do capô do carro e tem uma entrada de ar.

O Blower é um superalimentador que envia aos cilindros um maior volume de ar e combustível, o que aumenta a eficiência volumétrica. Seu funcionamento é diferente comparado ao turbo. Ligado ao virabrequim por correias e polias o mesmo é também instalado entre o carburador e o coletor de admissão. Ele não comprime o ar como o turbo mas apenas desloca-o com maior velocidade fazendo com que a pressão só se crie dentro do coletor de

admissão, já que este trabalha a um volume constante e passa então a receber ar forçado, ou seja, o blower assopra o ar dentro da câmara de combustão. A utilização de um intercooler é ineficaz neste caso pois o ar se comprime já no coletor e não no blower. Na preparação simples apenas o coletor de admissão precisa ser trocado por um de desenvolvimento especial para evitar sobrecarga dos cilindros centrais. Quando a necessidade requer um preparo mais robusto é recomendado pistões fundidos ou forjados, virabrequim e bielas especiais e comando de válvulas específicas para que motor suba de giro com mais eficiência.

O blower pode ficar ligado direto ou apenas quando se quer mais potência como acontecia no filme “Mad Max” quando Mel Gibson ligava o blower para alcançar ou fugir dos bandidos. Este tipo de equipamento é mais indicado para automóvel porque o blower aumenta a potência de uma vez o que pode danificar alguns tipos de hélices como as de passo ajustável ou as de passo variável. Eu em particular nunca vi blower em aviação experimental, isso é mais comum em automóveis. No entanto, se o blower for usado em aviação ele deve ficar ligado direto para produzir um ganho de potência constante, porque isso? Pelo mesmo motivo que o turbo deve ficar ligado direto.

## **O motor com nitro**

Este caso é mais recomendável para automóveis porque é necessário instalar um cilindro para armazenar o gás e esse cilindro geralmente é grande e pesado. Além disso, o ganho de potência ocorre em picos quando é injetado o nitro, logo não serve para aviação. Pode servir para corridas de barcos.

Nitro nada mais é que óxido nitroso. O óxido nitroso é usado nos motores para ser injetado nos cilindros. Ao chegar nos cilindros o gás se divide através de uma reação química, causada pelo calor, em seus componentes originais (oxigênio e nitrogênio) e libera oxigênio o que faz com que melhore a queima do combustível e libera o nitrogênio que se forma, por meio de uma reação, o gás nitrogênio.

Essa reação do gás faz com que esfrie a mistura, fazendo uma descompressão muito rápida do nitro que estava sob pressão. Esse resfriamento melhora bastante a potência devido à diminuição da densidade da mistura.

O bom do nitro é que a instalação é fácil, podendo ser colocado em qualquer motor e também pode ser reaproveitado em outros motores, ou seja, é um kit bem simples.

Outra vantagem, que pode ser usado como dica, é que ele retira o ponto fraco do turbo que é a pouca potência enquanto a turbina não está em funcionamento. Por isso é muito bom usar o nitro em conjunto com o turbo. Com o nitro também não há muito risco de detonação.

As desvantagens ficam por parte da autonomia que ele tem e o alto custo de reabastecimento do cilindro. Custando em torno de R\$70 a R\$80, e tendo autonomia de poucas injeções, fica um pouco caro o seu manuseio. Também há a possibilidade de quebrar outros itens do carro, devido ao forte aumento de rotações causado bruscamente no motor. Mas ele cumpre o que promete.

## **Aplicação para o Volkswagen 1600**

Agora que nós vimos os principais métodos de envenenamento de motor nos podemos ver como ficaria um motor Volkswagen 1600 envenenado para ser usado em trike ou ultraleve. Obviamente, você pode combinar os vários tipos de veneno, por exemplo:

Fazer uma aspirada e colocar um turbo, trocar o virabrequim por um de braço maior e com rolamento, trocar os pistões, trocar o comando de válvula, aumentar a cilindrada do motor, ou seja, o envenenamento vai do gosto e do bolso de cada um!

Nunca é demais repetir:

Use o bom senso para fazer o veneno se você for colocar o motor em qualquer coisa que voe ou que ande na água para que você não estrague o aparelho ou se mate!

Vamos a especificação dos motores:

### **Volkswagen 1600 gasolina**

Potência máxima = 64,04 HP a 4.600 RPM, torque = 99,17 N.m  
Torque máximo = 114,7378 N.m a 3.200 RPM, potência = 51,54 HP

### **ROTAX 582 UL – 2V – DCDI**

Potência máxima = 53,6 HP a 6.000 RPM  
Torque máximo = 68 N.m a 5.500 RPM

RPM máximo = 6.400

Caixa de redução B, C ou E

No caso os valores da caixa de redução do ROTAX são:

Caixa B: 2 / 2,24 / 2,58

Caixa C e Caixa E: 2,62 / 3 / 3,47 / 4

Caso você tenha alguma dúvida a respeito das contas leia o texto sobre caixa de redução que se encontra disponível na Internet no mesmo local que este texto está disponível.

Então um trike usando o motor ROTAX 582 com caixa de redução tipo B de 2,58 para 1 fornece para a hélice:

$$\text{Torque} = 68 \times 2,58 = 175,44 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{5.500}{2,58} = 2.131,78 \text{ RPM}$$

$$\text{Potência} = 175,44 \times 2 \times \pi \times \frac{2.131,78}{60} = 39.165,1343 \text{ Watts} = 52,5 \text{ HP}$$

Lembre que:

60 RPM = 1 Hertz

1 HP = 746 Watts

Este trike em particular utiliza a hélice 66 x 41, ou seja, 66 polegadas de comprimento passo 41 (66 polegadas são 1,6764 metros).

Repare que o torque que o motor ROTAX fornece para a hélice é 175,44 N.m o Volkswagen 1600 fornece no máximo 114,7378 N.m, logo o Volkswagen 1600 não tem força para girar a hélice 66 x 41. O nosso objetivo é fazer o motor Volkswagen 1600 girar a hélice do Rotax, no caso a hélice 66 x 41.

Há duas maneiras de resolver este problema, a primeira é fazer um redutor para o motor Volkswagen 1600 de forma a aumentar o torque do motor. A segunda é envenenar o motor Volkswagen 1600 para obter o torque necessário.

Observando as especificações do motor Volkswagen 1600, nós notamos que ele fornece torque máximo de 114,7378 N.m a 3.200 RPM, isso dá a potência de 51,54 HP. Ou seja, o Volkswagen 1600 fornece praticamente a mesma potência que o motor Rotax 582 e fornece um RPM maior, porém, fornece um torque menor. Logo o envenenamento precisa aumentar o torque e não o RPM, porque RPM o motor já tem o que falta para ele é torque. Nós vimos anteriormente que quem faz isso é o turbo, assim é necessário colocar um turbo no motor Volkswagen 1600.

O turbo vai aumentar o torque do motor Volkswagen e vai deixar o RPM no mesmo nível, aumentando o torque aumenta a potência. Se o RPM vai ficar ou não no mesmo nível deve ser medido com um dinamômetro para ter certeza.

Agora surge a pergunta inevitável: O torque precisa aumentar de quanto?

O ROTAX 582 com caixa de redução tipo B de 2,58 para 1 fornece torque de 175,44 N.m para hélice o Volkswagen 1600 fornece no máximo torque de 114,7378 N.m, logo é preciso aumentar:

$$\frac{175,44 - 114,7378}{114,7378} \times 100 = 52,9\%$$

Para obter este aumento de torque teria que aumentar a pressão do turbo e medir com um dinamômetro até que o valor seja atingido, o valor da pressão pode ser 0,5 bar, ou um valor maior ou um valor menor, o valor exato só dá para saber medindo na prática. Porém, para conseguirmos fazer alguma conta temos que supor que uma pressão de 0,529 bar obtém 52,9 % a mais de torque e que aumente a potência em 52,9 %, é uma aproximação só para poder fazer conta.

O Volkswagen 1600 usando um turbo com 0,529 bar de pressão então ficará com as seguintes especificações:

### Especificação anterior do motor Volkswagen 1600 gasolina

Potência máxima = 64,04 HP a 4.600 RPM, torque = 99,17 N.m  
Torque máximo = 114,7378 N.m a 3.200 RPM, potência = 51,54 HP

Agora ganhando 52,9% de potência:



Potência máxima =  $64,04 + 52,9\% = 97,91$  HP

Torque na potência máxima =  $99,17 + 52,9\% = 151,63093$  N.m

Torque máximo =  $114,7378 + 52,9\% = 175,44$  N.m

Potência no torque máximo =  $51,54 + 52,9\% = 78,8$  HP

O RPM não muda! Porém para ter certeza deve medir com um dinamômetro.

Logo:

**Volkswagen 1600 a gasolina usando turbo com 0,529 bar de pressão**

Potência máxima = 97,91 HP a 4.600 RPM, torque = 151,63093 N.m

Torque máximo = 175,44 N.m a 3.200 RPM, potência = 78,8 HP

Este é um valor aproximado usado apenas para efeito de calculo os valores exatos devem ser medidos com o dinamômetro.

Repare que agora o Volkswagen tem torque para girar a hélice 66 x 41 do ROTAX 582, porque ele fornece o mesmo torque que o ROTAX fornece e ainda fornece um RPM maior. Resumindo o ROTAX 582 com redução de 2,58 para 1, fornece para a hélice 66 x 41:

Torque = 175,44 N.m

RPM = 2.131,78 RPM

Potência = 52,5 HP

O Volkswagen 1600 com turbo a 0,529 bar de pressão fornece para a mesma hélice 66 x 41:

Torque = 175,44 N.m

RPM = 3.200 RPM

Potência = 78,8 HP

Repare que o torque é o mesmo logo o motor tem força para girar a mesma hélice, o RPM é maior logo a potência é maior. O fato de o RPM ser maior implica que o aparelho irá atingir uma velocidade maior porque há mais potência (energia) disponível para a hélice. Isso causa um problema: a

**velocidade pode exceder a VNE.** A velocidade VNE é a velocidade máxima que a asa suporta acima disso ela quebra.

Vamos ver que velocidade o trike atinge:

Nós podemos calcular isso a partir da razão entre os RPMs:

$$\text{Razão} = \frac{\text{RPM Volkswagen}}{\text{RPM ROTAX}} = \frac{3.200}{2.131,78} = 1,5010$$

Este é um calculo aproximado porque hélice não tem um comportamento linear, ou seja, se uma hélice girando em 2000 RPM movimenta um aparelho a 50 Km/h, se a hélice girar em 3000 RPM (um aumento de 50%) não é certeza que o aparelho atinja 75 Km/h (um aumento de 50%), ou seja, a velocidade do aparelho não aumenta na mesma proporção que a rotação da hélice. Para saber o valor exato teria que medir experimentalmente. No entanto, se a hélice não cavitare e nem quebrar um aumento na rotação da hélice faz a velocidade do aparelho aumentar o que é obvio afinal está puxando mais ar e produzindo um empuxo maior. Como nós vimos aumentar a velocidade de um aparelho que voa é perigoso porque há uma velocidade limite para o aparelho. Embora a velocidade real do aparelho só possa ser dita medindo experimentalmente o fato inegável é que girar uma hélice numa rotação maior aumenta a velocidade do aparelho, para poder calcular qual velocidade teórica seria atingida vamos supor que a hélice se comporta de maneira linear é apenas uma aproximação para facilitar nossas contas.

Então um trike usando o motor ROTAX 582 com redutor de 2,58 para 1 e usando a hélice 66 x 41 atinge no máximo 80 Km/h em qualquer situação, seja contra o vento ou na subida; o mesmo trike com o motor Volkswagen 1600 usando um turbo com pressão de 0,529 bar e utilizando a mesma hélice atinge  $80 \times 1,5010 = 120,08$  Km/h nas mesmas condições.

**Esse ganho de velocidade representa 50,10%**, se a asa tiver um VNE abaixo de 120,08 Km/h a **asa quebra!** Se o VNE estiver próximo de 120,08 Km/h é  **muito perigoso**. Isso é **extremamente importante** porque a maioria dos trikes utiliza asa que tem um VNE de 100 Km/h algumas asas têm VNE de 90 Km/h e outras mais raras tem VNE de 110 Km/h ou de 120 Km/h. **Em todos os casos o VNE é excedido e a asa vai quebrar e você vai morrer!**

Agora nós podemos analisar um acidente em que morreram duas pessoas.

Uma pessoa que tinha um trike com o motor Volkswagen 1600 queria obter o mesmo rendimento que uma pessoa que tem um trike com o motor ROTAX 582. Como nós vimos o Volkswagen não tem força de girar a hélice do ROTAX logo o trike que utiliza o motor Volkswagen tem que utilizar uma hélice menor e de passo menor o que significa que o empuxo que a hélice do Volkswagen gera é menor que o empuxo que a hélice do ROTAX gera, ou seja, o Volkswagen anda mais devagar e demora mais para subir e tem menos força, além disso, voar com duas pessoas é difícil.

Essa pessoa então olhou as especificações dos motores ROTAX 582 e do Volkswagen 1600 e concluiu que um turbo seria a melhor opção porque o turbo aumenta o torque do motor, porém, aumenta também a potência do motor. O que ele esqueceu foi que um aumento de potência implica num aumento de velocidade!

Então essa pessoa colocou o turbo no motor Volkswagen regulou a pressão para obter o torque necessário para girar a hélice do ROTAX (66 x 41), ele colocou a hélice do ROTAX e regulou o turbo até conseguir girar ela. Segundo testemunhas ele mediu com uma balança fixa no chão a força que o carrinho fazia e verificou que a força era igual e quando acelerava era maior que a força que um carrinho com o motor ROTAX fazia na mesma balança.

A pessoa ficou feliz afinal ela tinha conseguido fazer o trike dele ficar igual e até melhor que um trike com ROTAX! A pessoa muito prudente testou o carrinho no chão correndo com ele pela pista do aeroporto e deixou o motor ligado por mais de meia hora para testar o turbo, tudo funcionou bem.

Então confiante que ele tinha feito a coisa certa, ele esperou o motor esfriar e foi voar sozinho com o trike, ele decolou voou normalmente e depois pousou. Ele reparou que o trike subiu muito bem e se comportava até melhor que o ROTAX, porém, ele não correu muito com o trike e nem forçou muito com manobras mais radicais para ver se tinha ficado bom mesmo, afinal com uma pessoa só o motor não precisa fazer tanta força e um trike com Volkswagen voa muito bem com uma pessoa só!

A pessoa muito contente convidou outra pessoa adulta para dar uma volta para ver se o trike tinha ficado bom mesmo na subida, afinal o Volkswagen original pede água para subir com duas pessoas adultas. Se o trike passasse neste teste seria excelente.

As duas pessoas montaram no carrinho e foram voar. Na decolagem e na subida o trike subiu como um foguete sem problemas, a pessoa deu algumas voltas em cima do aeroporto e depois pegou altura de cruzeiro para

testar a velocidade. Foi aqui que ocorreu a tragédia. A pessoa assim que atingiu a altura de cruzeiro acelerou o trike para poder correr, como ele não tinha um medidor de velocidade, ele não percebeu que estava voando próximo do VNE. **Quando a asa atingiu o VNE ela quebrou para trás e os dois caíram em queda livre e morreram.**

Segundo testemunhas, a asa se quebrou para trás o que implica que não era excesso de peso. Se fosse excesso de peso a asa se quebrava para cima. Não havia um vento muito forte no dia do acidente logo o que quebrou a asa foi o VNE mesmo.

Em relação ao vento é preciso tomar outro cuidado, se o vento estiver contra a asa e a hélice está fornecendo um empuxo maior (uma força maior), a asa pode se quebrar mesmo que não tenha atingido o VNE devido ao esforço extra que está sendo feito! Este problema é conhecido por todos os pilotos.

**O acidente poderia ser evitado?** A resposta é sim e tem várias opções:

Ele deveria utilizar outra asa que suportasse uma velocidade maior.

Ele deveria ter calculado a velocidade que ele iria atingir.

Ele deveria ter um medidor de velocidade.

**Ele deveria ter utilizado uma outra hélice menor** e que produzisse um empuxo igual à hélice do ROTAX e não uma hélice que produz um empuxo maior e que vai implicar em velocidade maior. Se a hélice produzisse o mesmo empuxo do ROTAX então o trike ficaria exatamente igual, se a hélice produzir um empuxo maior o trike fica mais forte que o ROTAX o que é perigoso.

**Isto significa que o turbo não pode ser usado em trikes? A resposta é não. O turbo pode ser usado em trikes desde que você tome o cuidado de colocar uma hélice que não exceda o VNE e que não gere um esforço contra o vento maior que a hélice do ROTAX gera. Em aviação qualquer coisa que você fizer tem que ter uma base científica, se você fizer “gambiarra” você morre!**

**Essas pessoas que morreram neste acidente morreram porque não sabiam deste problema, talvez não tivessem escolaridade suficiente para entender isso. Desta forma assim que eu fiquei sabendo deste acidente eu resolvi escrever este texto para que ninguém mais caia na armadilha que essa pessoa caiu! Se essa pessoa tivesse lido meu texto não teria morrido!**

Embora o cálculo de velocidade e potência que eu mostrei para o motor turbo seja aproximado, o fato inegável é que a velocidade do aparelho

aumenta e pode atingir a VNE, foi exatamente isso que aconteceu neste acidente que eu citei. E era exatamente isso que eu queria mostrar utilizando o calculo aproximado da velocidade.

Aliás, é importante mencionar que o trike com motor Volkswagen com 0,529 bar de pressão no turbo ficou superior ao ROTAX 582. Isso porque apesar do motor fornecer a mesma força o RPM é maior, o que significa que a potência é maior. Esse RPM maior implica em maior velocidade. É fácil perceber isso, imagine que um trike com o motor ROTAX 582 usando hélice 66 x 41 e girando essa hélice a 2.131,78 RPM atinja 80 km/h. Se você girar essa hélice a 3.200 RPM você vai atingir uma velocidade maior (120,08 km/h).

Surge a questão eu tenho que trabalhar com o motor em 3.200 RPM? Sim porque essa é a faixa de torque máximo do Volkswagen 1600 e motor vai trabalhar ali. Aliás, quando o motor está colocado no automóvel ele trabalha na faixa de torque máximo porque todo cambio de carro é projetado para deixar a rotação do motor no torque máximo. Leia o outro documento sobre caixa de redução que você vai entender o porque.

Girando a hélice acima de 2.131,78 RPM vai ser necessário mais torque? Sim, quanto mais rápido uma hélice gira mais ar ela puxa assim precisa de mais força (um torque maior). O Volkswagen vai fornecer isso? Sim porque ele tem mais energia disponível ele ganhou 52,9% de energia com o turbo. Se ele não atingir então um pequeno aumento na pressão do turbo gera a força extra que você precisa para atingir 3.200 RPM. Essa força extra permite que a hélice gire num RPM maior o que faz o aparelho aumentar a velocidade. Isso é óbvio.

Aliás, se o motor Volkswagen turbinado com 0,529 bar de pressão não atingir os 3.200 RPM significa que a sua velocidade final será menor, isso pode ser útil porque você pode regular a pressão do turbo para que o trike não atinja a VNE. Com isso o trike fica superior a um Volkswagen original, porém, inferior ao ROTAX porque você não está fornecendo o torque necessário. Na prática é melhor utilizar uma outra hélice que compense este RPM a mais, ou se a hélice original do Volkswagen não atingir 3.200 RPM agora com o turbo ela pode atingir.

Por exemplo, existe trike que tem o motor Volkswagen original e o motor sem a hélice atinge 3.200 RPM, com a hélice ele atinge 2.800 RPM como fazer para fazer essa hélice atingir 3.200 RPM? Simples:

Fazendo a razão entre os RPMs:

$$\frac{3.200}{2.800} = 1,1428$$

Isto significa que eu preciso de 14,28 % a mais de torque para ganhar 400 RPM, logo a pressão no turbo pode ser de 0,1428 bar, na prática você pode colocar 0,2 bar de pressão o que possibilita 20% a mais de torque. Você é que decide qual a melhor opção. Embora este calculo seja aproximado é possível testar a hélice só mudando a pressão do turbo!

**Resumindo, o turbo deixa o motor Volkswagen 1600 com uma potência maior que a necessária para ser usado em um trike, isso pode ser perigoso, porém, é possível contornar esse problema.**

E se o motor Volkswagen 1600 não fosse usado em trike e sim num avião experimental maior? Qual seria o motor que ele pode substituir?

Para responder a essa pergunta é só verificar as especificações dos motores.

**Volkswagen 1600 a gasolina usando turbo com 0,529 bar de pressão**

Potência máxima = 97,91 HP a 4.600 RPM, torque = 151,63093 N.m  
Torque máximo = 175,44 N.m a 3.200 RPM, potência = 78,8 HP

Esta especificação do Volkswagen 1600 é aproximada. Para obter o valor exato deve medir com um dinamômetro.

Este motor substitui todos os motores ROTAX abaixo:

**ROTAX 503 UL – 1V**

Potência máxima = 45,6 HP a 6.500 RPM

Torque máximo = 51 N.m a 5.900 RPM

RPM máximo = 6.800

Caixa de redução B, C ou E

**ROTAX 503 UL – 2V**

Potência máxima = 49,6 HP a 6.500 RPM

Torque máximo = 55 N.m a 6.000 RPM

RPM máximo = 6.800

Caixa de redução B, C ou E

### ROTAX 532

Potência máxima = 64 HP a 6.200 RPM, torque = 73,53 N.m

Torque máximo = 71 N.m a 6.200 RPM, potência = 61,79 HP

Caixa de redução A, C

Esta especificação em particular foi fornecida pela assistência técnica eu não vi o documento oficial do fabricante. Este motor não é mais fabricado.

### ROTAX 582 UL – 2V - DCDI

Potência máxima = 64,4 HP a 6.500 RPM

Torque máximo = 75 N.m a 6.000 RPM

RPM máximo = 6.800

Caixa de redução B, C ou E

### ROTAX 582 UL – 2V - DCDI

Potência máxima = 53,6 HP a 6.000 RPM

Torque máximo = 68 N.m a 5.500 RPM

RPM máximo = 6.400

Caixa de redução B, C ou E

### ROTAX 582 UL – 1V - DCDI

Potência máxima = 43,6 HP a 5.100 RPM

Torque máximo = 63 N.m a 4.700 RPM

RPM máximo = 5.500

Caixa de redução B, C ou E

### ROTAX 618 UL – 2V

Potência máxima = 73,8 HP a 6.750 RPM

Torque máximo = 80 N.m a 6.500 RPM

RPM máximo = 7.000

Caixa de redução C, E

### ROTAX 912 UL

Potência máxima = 80 HP a 5.500 RPM

Torque máximo = 103 N.m a 4.800 RPM

RPM máximo = 5.800

Redutor dentro do motor de 2,273 para 1

Repare que o motor Volkswagen turbo pode substituir até o ROTAX 912! Alias, existe avião experimental que utiliza o Volkswagen envenenado no lugar do Rotax 912. Eu mesmo já vi vários na Internet. O Rotax 912 é utilizado em avião grande e caro! **Imagine colocar um ROTAX 912 num trike! É exatamente isso que você faz se colocar 0,529 bar no turbo!**

O envenenamento é a única solução para aumentar o torque que o motor fornece para hélice? Não, você pode fazer uma caixa de redução e aumentar o torque que o motor fornece para hélice. Leia o outro documento a respeito de caixa de redução.

Vamos ver como ficaria o redutor para Volkswagen 1600.

O ROTAX 582 com redutor de 2,58 fornece para a hélice 66 x 41:

Torque = 175,44 N.m  
RPM = 2.131,78 RPM  
Potência = 52,5 HP

O Volkswagen 1600 fornece para hélice:

Torque = 114,7378 N.m  
RPM = 3.200 RPM  
Potência = 51,54 HP

O torque não é suficiente logo é necessário um redutor de:

$$\text{Redutor} = \frac{175,44}{114,7378} = 1,5290 \text{ (valor exato)}$$

O redutor aumenta o torque em 52,9% igual ao turbo, porém, diminui o RPM em 52,9% o que significa que a potência não muda! Logo a velocidade do aparelho não atinge a VNE.

Para obter este redutor você pode usar:

Uma engrenagem ou catraca de moto com 26 dentes e a outra com 17 dentes.

Uma polia com diâmetro de 26 e a outra com diâmetro de 17.

Logo o Volkswagen depois do redutor fornece:



Torque = 114,7378 x 1,5290 = 175,44 N.m (valor exato)

$$\text{RPM} = \frac{3.200}{1,5290} = 2.092,87 \text{ RPM (valor exato)}$$

Potência = 51,54 HP (valor exato)

Repare que a potência não muda, ou seja, o redutor aumenta o torque e diminui o RPM com isso a potência fica a mesma. O turbo aumenta o torque e aumenta a potência porque o RPM não muda. **A grande diferença entre o redutor e o turbo é que o turbo aumenta a potência do motor enquanto o redutor não.**

**O fato do redutor não mexer na potência tem a vantagem de não haver o problema de exceder a VNE, ou seja, o Volkswagen e o ROTAX ficam iguais.**

A desvantagem é que você não consegue substituir um motor mais potente como, por exemplo, o ROTAX 912 pelo Volkswagen 1600. É possível fazer o Volkswagen ter a mesma força que o ROTAX 912, porém, não o mesmo RPM logo a velocidade será menor.

**Obviamente, você pode usar um turbo ou fazer uma aspirada no motor e depois usar um redutor junto e aumentar ainda mais a força do motor, assim, é possível até substituir motores maiores, mais potentes e mais caros! A escolha depende do gosto e do bolso de cada um. Aliás, é muito comum encontrar na Internet avião experimental que utiliza um motor Volkswagen modificado e uma caixa de redução logo é possível fazer isso.**

Nós vimos que o ROTAX 582 fornece 2.131,78 RPM para a hélice e o Volkswagen 1600 depois do redutor fornece 2.092,87 RPM, essa diferença de RPM se reflete na velocidade. Vamos calcular a razão:

$$\text{Razão} = \frac{2.131,78}{2.092,87} = 1,0185$$

Isso significa que se um trike usando o ROTAX 582 e a hélice 66 x 41 atingir 90 Km/h em qualquer condição seja na subida ou contra o vento, o mesmo trike usando o Volkswagen 1600 e girando a mesma hélice e nas mesmas condições atinge:

$$\frac{90}{1,0185} = 88,36 \text{ Km/h, praticamente a mesma velocidade.}$$

Na prática atinge uma velocidade menor porque o Volkswagen é mais pesado. Porém, eu já vi trike que usa o Volkswagen reduzido e a velocidade que ele atinge é muito próxima desta, isso foi medido experimentalmente, logo, apesar do calculo ser aproximado, a aproximação é próxima da velocidade real.

**O problema de atingir a VNE ou o excesso de esforço contra o vento ocorre com o motor reduzido? Não, porque a potência não aumentou.** Apesar do motor estar girando a mesma hélice, ele esta girando a hélice com o mesmo torque e o mesmo RPM que o motor ROTAX gira, logo atinge a mesma velocidade.

Resumindo, o motor Volkswagen reduzido ficou igual ao ROTAX. Não há o problema da VNE e nem o problema do excesso de esforço contra o vento, ou seja, **não há risco de você morrer porque está voando num motor reduzido.** Logo, é mais fácil e seguro fazer um redutor do que envenenar o motor. **Se o objetivo é usar a hélice do Rotax num trike que usa o motor Volkswagen 1600 é mais fácil e seguro colocar o redutor do que envenenar o motor.** Aliás, eu já vi na Internet e também pessoalmente trikes e até aviões grandes que utilizam o Volkswagen 1600 reduzido, fica muito bom.

## **Conclusão**

Eu espero que este texto tenha sido útil para você e que suas duvidas tenham sido esclarecidas. Com este texto eu pretendo evitar que alguém desavisado faça uma modificação no motor no fundo do quintal coloque em um aparelho que voe (como um trike) e se machuque ou se mate ou quebre seu aparelho. Assim que eu fiquei sabendo de um acidente fatal onde aconteceu exatamente isso eu resolvi escrever este texto para que ninguém mais cometa um erro fatal.

O objetivo do texto não é ensinar a envenenar motor e sim mostrar os métodos que existem e se eles servem ou não para aviação.

Envenenar motor tem suas vantagens e desvantagens assim como usar o redutor. Você pode utilizar vários métodos juntos para obter um melhor desempenho e depois usar o redutor para aumentar mais ainda o torque que o

motor fornece para hélice. Basicamente o que você vai fazer no motor depende da aplicação, do que você deseja do seu motor, do seu gosto e principalmente do seu bolso!

**O que movimenta o avião ou barco é a hélice assim sempre que você utilizar um motor mais potente você deve utilizar uma hélice apropriada para ele senão você perde seu tempo e ainda corre o risco de se matar!**

Use o bom senso para envenenar o motor, não adianta você ter um motor potente que dure pouco, gaste muito e ainda corre o risco de quebrar ou parar. No caso de aviação cuidado extremo com a VNE para não quebrar a asa e também com o esforço contra o vento que também pode quebrar a asa.

**O envenenamento de motor é mais indicado se você quer substituir um motor maior (o Rotax 912, por exemplo) pelo Volkswagen 1600. Se você quer substituir um motor que tem a mesma potência que o Volkswagen 1600 (o Rotax 582, por exemplo) é melhor utilizar um redutor.** Em particular para fazer o Volkswagen 1600 girar a hélice do motor Rotax 582 uma caixa de redução para o Volkswagen 1600 é o ideal, é mais fácil e também mais seguro utilizar a redução. Aliás, repare que o motor Rotax é um motor aeronáutico e todos eles têm uma caixa de redução, logo o próprio fabricante do motor Rotax acha mais fácil e seguro utilizar uma caixa de redução do que envenenar o Rotax. Logo, você é que decide se um envenenamento resolve o seu problema ou se uma caixa de redução resolve o seu problema. Ou se tem que combinar o envenenamento junto com o redutor para resolver o seu problema.

No caso de fazer um motor aspirado, a vantagem é que ele gira depressa logo dá para fazer um redutor para girar uma hélice grande, o motor fornece uma potência extra sempre e não corre o risco de perder potência e o motor sempre vai ter força para girar a hélice.

No caso do motor turbo, se acontecer do turbo parar e não voltar mais a funcionar durante o vôo o motor não vai ter força para girar a hélice porque a potência extra vem do turbo se por algum motivo o turbo parar a potência extra some! Se isso acontecer será necessário um pouso de emergência. Logo o turbo deve ser instalado de forma que ele sempre fique ligado.

**Engenheiro Adriano Antonio Luciano de Lima**

**CREA: 5061459022 – SP**

**Junho de 2006**

## **Bibliografia**

Qualquer livro de Física ou de Mecânica de nível universitário.

O outro texto a respeito de caixa de redução disponível neste mesmo local na Internet.

Os links a seguir:

Caso algum link desse não funcione porque a página mudou de local, algo muito comum na Internet, entre num serviço de busca e digite turbo ou tuning ou envenenamento de motor que você encontrará tudo que procura.

### **Turbo Garrett**

O maior fabricante mundial de turbo compressores, tem todo tipo de informação sobre turbo e vende Kits prontos:

[www.turbobygarrett.com](http://www.turbobygarrett.com)

Lenha Car

[www.lenhacar.hpg.ig.com.br/turbo.htm](http://www.lenhacar.hpg.ig.com.br/turbo.htm)

Aerocar

[www.aerocar.com.br](http://www.aerocar.com.br)

Águia Diesel

[www.aguiadiesel.com.br](http://www.aguiadiesel.com.br)

[http://intermega.com.br/motormais/br/aspirado\\_ou\\_turbo.htm](http://intermega.com.br/motormais/br/aspirado_ou_turbo.htm)

[www.carrosderua.com.br](http://www.carrosderua.com.br)

[www.chevetteiros.com.br/notas.shtml](http://www.chevetteiros.com.br/notas.shtml)

[www.turbobrasil.com.br/duvidas.htm](http://www.turbobrasil.com.br/duvidas.htm)

[www.estherturbo.com.br/perguntas/perguntas.htm](http://www.estherturbo.com.br/perguntas/perguntas.htm)

Este tem informações completas e detalhadas a respeito de Volkswagen:

[www.uol.com.br/bestcars/](http://www.uol.com.br/bestcars/)

[http://quatorrodas.abril.com.br/reportagens/0802veneno\\_01.html](http://quatorrodas.abril.com.br/reportagens/0802veneno_01.html)

<http://geocities.yahoo.com.br/cjcarrosequipados/turbo.htm>

<http://members.tripod.com/animsmile/turbo2.htm>

<http://www.autonetcars.hpg.ig.com.br/turbo.htm>