

Motores Térmicos

8° Semestre

4° ano

19 Sistema de Refrigeração

- ▶ Introdução
- ▶ Meios refrigerantes
- ▶ Tipos de Sistemas de Refrigeração
- ▶ Sistema de refrigeração a ar
- ▶ Sistema de refrigeração a água
- ▶ Anticongelantes

19.1 Introdução

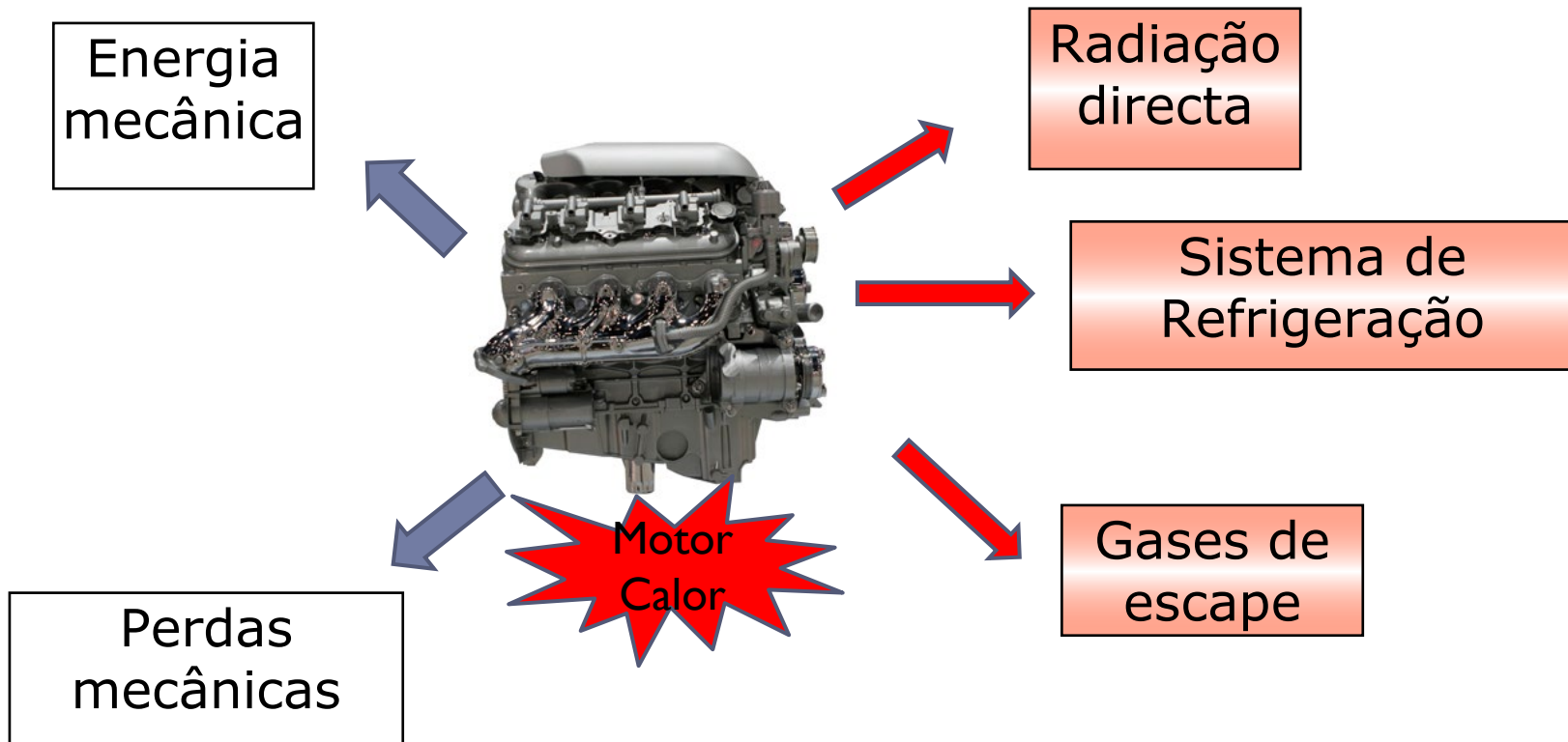
O Sistema de Refrigeração tem por objectivo dissipar calor, impedindo que os elementos mecânicos do motor atinjam temperaturas muito elevadas ao entrarem em contacto com os gases da combustão.

A manutenção da temperatura ideal de funcionamento evitando o desgaste, detonação da mistura, mantendo as folgas adequadas e a viscosidade do lubrificante é de responsabilidade do sistema de refrigeração.

Além do calor transmitido do fluido de trabalho, durante os cursos de compressão e expansão, uma parcela ponderável é transmitida à estrutura do cilindro e, conseqüentemente, ao meio refrigerante, durante o processo de escape. O atrito do pistão também constitui uma fonte de mensurável fluxo de calor. Assim, o fluxo total de calor no sistema de refrigeração é muito maior do que o fluxo de calor dos gases durante o ciclo de trabalho.

19.1 Introdução

- 25-35% do calor é transformado em energia mecânica;
- 65-75% é liberto para o meio ambiente por: radiação directa, gases do escape e sistema de refrigeração.



19.1 Introdução (Balanço de energia do motor)




$$Q_{total} = Q_{útil} + Q_{perdas} \quad (19.1)$$

Logo:

$$Q_{total} = \frac{Q_{útil}}{\eta}$$

Nem toda a perda vai para o radiador:

Distribuição típica:

- ▶  **Escape:** ~30–40%
- ▶  **Arrefecimento:** ~20–30%
- ▶  **Outras perdas:** resto

19.2 Meios refrigerantes

- ▶ Os meios refrigerantes usados para refrigeração dos motores de combustão são o **ar** e a **água**.
- ▶ O meio refrigerante entra em contacto com as partes quentes do motor, absorve o calor e transfere-o para o meio ambiente.

19.2.1 Meio Refrigerante Ar

Vantagens:

1. Torna mais simples o projecto e a construção do sistema;
2. É facilmente disponível e não requer reservatórios e tubulações fechadas para sua condução;
3. Não é corrosivo e não deixa incrustações;
4. Não se evapora e não se congela para as mais severas condições de funcionamento do motor.

Desvantagens:

1. Baixa densidade, havendo necessidade de um volume muito maior de ar do que de água para retirar 1 caloria do motor;
2. Baixo calor específico, isto é, baixa capacidade de transferir calor entre um sistema e sua vizinhança;
3. Temperatura não é uniforme no motor e ocorre a formação de “pontos quentes”;
4. Não existe um dispositivo para controlar a temperatura do motor nas diversas rotações.

19.2.2 Meio Refrigerante Água

Vantagens:

1. Possui elevado calor específico, permitindo retirar grandes quantidades de calor do motor;
2. Permite uma distribuição mais uniforme da temperatura no bloco e na cabeça do motor;
3. Facilita o controlo da temperatura por meio de termóstato, bomba de água e radiador;
4. Reduz a formação de pontos quentes e melhora a estabilidade térmica do motor.

Desvantagens:

1. Pode provocar corrosão, incrustações e cavitação se não forem usados aditivos adequados;
2. Pode congelar a baixas temperaturas e ferver a temperaturas elevadas se o sistema não estiver pressurizado;
3. Aumenta a complexidade, o peso e os custos de manutenção do sistema de arrefecimento.

O ar possui menor calor específico que a água

Quantidades de ar e água necessárias para retirar 1 caloria do motor

Meio arrefecedor	Calor específico, cal.°C ⁻¹	Quantidade, g
Ar	0,2380	4,2
Água	1,0043	1,0

19.2.3 Cálculo da taxa de calor removido (fluido refrigerante)

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (19.2)$$

Onde:

- ▶ \dot{m} = caudal mássico
- ▶ c_p = calor específico
- ▶ ΔT = variação de temperatura

Exemplo (água):

- ▶ $Q = 0,5 \cdot 4180 \cdot (90 - 70) = 41800 \text{ W} = 41,8 \text{ kW}$

19.3 Tipos de Sistemas de Refrigeração

1. Sistema ar de circulação livre ou forçada;
2. Sistema água de camisa aberta ou por evaporação, de circulação fechada com torre de Refrigeração ou de circulação aberta com reservatório;
3. Sistema ar e água de termossifão ou de **Circulação Forçada** (tipo comumente usado nos motores de acima de 45 cv).

19.4 Sistema de Refrigeração a Ar

- ▶ Este método apresenta uma grande simplicidade de execução e de manutenção.
- ▶ Os cilindros do motor (às vezes, também, o cárter) possuem alhetas, de maneira a aumentar a superfície de contacto com o ar, permitindo uma melhor troca de calor com o meio.
- ▶ Os sistemas de refrigeração por ar podem ser de dois tipos:
 - ▶ Sistemas de ventilação natural; e
 - ▶ Sistemas de ventilação forçada.

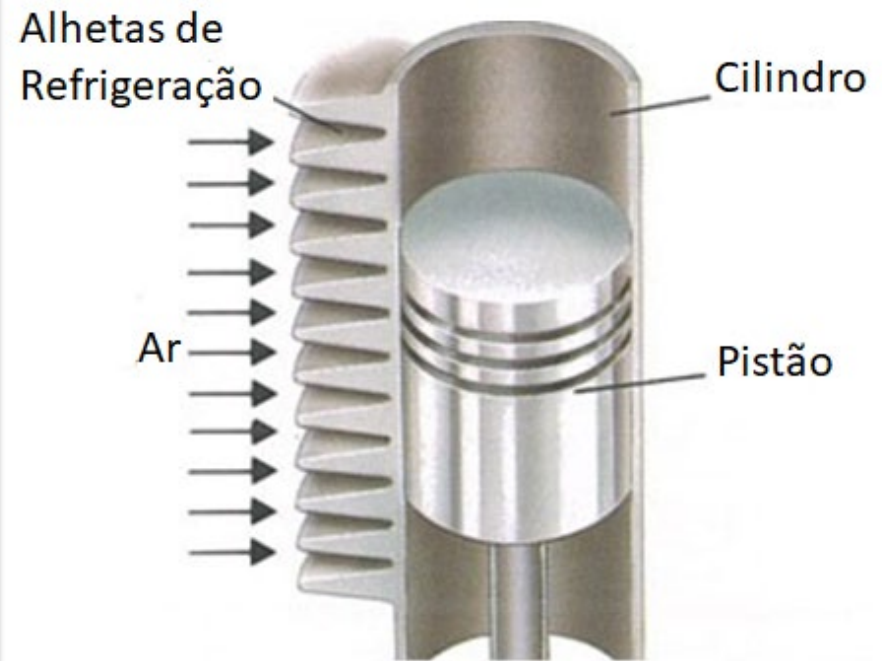
19.4 Sistema de Refrigeração a ar

Os componentes são: Alhetas, ventoinha, ductos e deflectores.

1. Alhetas: localizadas na cabeça e nas partes externas dos cilindros com a finalidade de aumentar a superfície de contacto entre o motor e o meio refrigerante, o ar;
2. Ventoinha: produção de corrente de ar entre o meio ambiente e o motor;
3. Ductos e deflectores: condução e orientação da corrente de ar na direcção das alhetas de refrigeração.

19.4.1 Sistemas de ventilação natural

Nos sistemas de ventilação natural, o deslocamento do veículo é que provoca a circulação de ar em volta dos cilindros (motocicletas). A eficácia da refrigeração depende, portanto, da velocidade do mesmo. A ventilação é suficiente à velocidades normais e altas, porém insuficiente quando parado ou a plena potência em relação de transmissão baixas.



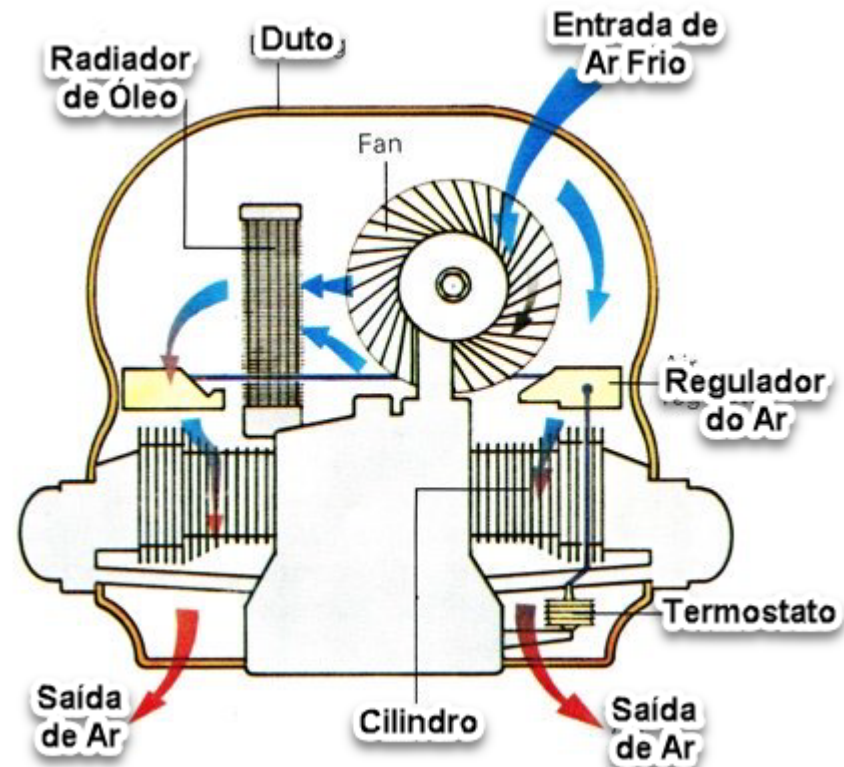
19.4.2 Sistemas de ventilação forçada

A ventilação forçada permite uma refrigeração suficiente em todas as condições de funcionamento do motor. Contudo, em condições climática desfavoráveis (frio) a ventilação é excessiva, e a refrigeração tende a levar o motor a funcionar a uma temperatura muito baixa.

Corrige-se este defeito com o emprego de um obturador que limita a quantidade de ar aspirado. Este obturador pode ser accionado por um comando manual ou por um dispositivo termostático situado na corrente de ar quente que sai do motor.

19.4.2 Sistemas de ventilação forçada

Os sistemas de ventilação forçada são compostos por um ventilador ou por uma turbina acionada pelo motor. Esta solução é necessária sempre que os cilindros do motor estejam no interior do veículo. O ar recalcado pelo ventilador é conduzido por tubulações de chapa até às proximidades dos cilindros e das cabeças. Em seguida, o ar sai para a atmosfera.



19.4.3 Vantagens e desvantagens do sistema de refrigeração a ar

Vantagens:

1. Construção Simples;
2. Menor peso por Potência;
3. Manutenção simples.

Desvantagens:

1. Difícil controle de temperatura;
2. Não uniformidade da temperatura do motor;
3. São facilmente susceptíveis de superaquecimento;
4. Exigem constante limpeza das alhetas, principalmente em trabalhos agrícolas.

19.5 Sistema de Refrigeração ar-água

A água é utilizada como condutor de calor entre o motor e o ar atmosférico. O forte calor específico da água permite obter uma excelente refrigeração pelo simples contacto com o exterior dos cilindros e da cabeça. Deste facto, resulta uma maior estabilização da temperatura do motor e, conseqüentemente, condições de funcionamento mais regulares.

19.5 Sistema de Refrigeração ar-água

- ▶ Este sistema de refrigeração usa AR e ÁGUA como meios refrigerantes. A água absorve o calor dos cilindros e o transfere para o ar através de um radiador (termopermutador de calor).
- ▶ Existem os seguintes tipos de sistemas ar-água:
 1. Termossifão;
 2. Circulação forçada.

19.5.1 Sistema de refrigeração por Termossifão

Este sistema não possui bomba, é um sistema obsoleto.

A circulação de água efectua-se naturalmente pela diferença de densidade entre a água fria (menos densa) do motor e a água quente (mais densa) do radiador. É a chamada circulação por termossifão. Nesse caso, os tubos e passagens de água têm grande secção.

A circulação por termossifão tem as seguintes particularidades:

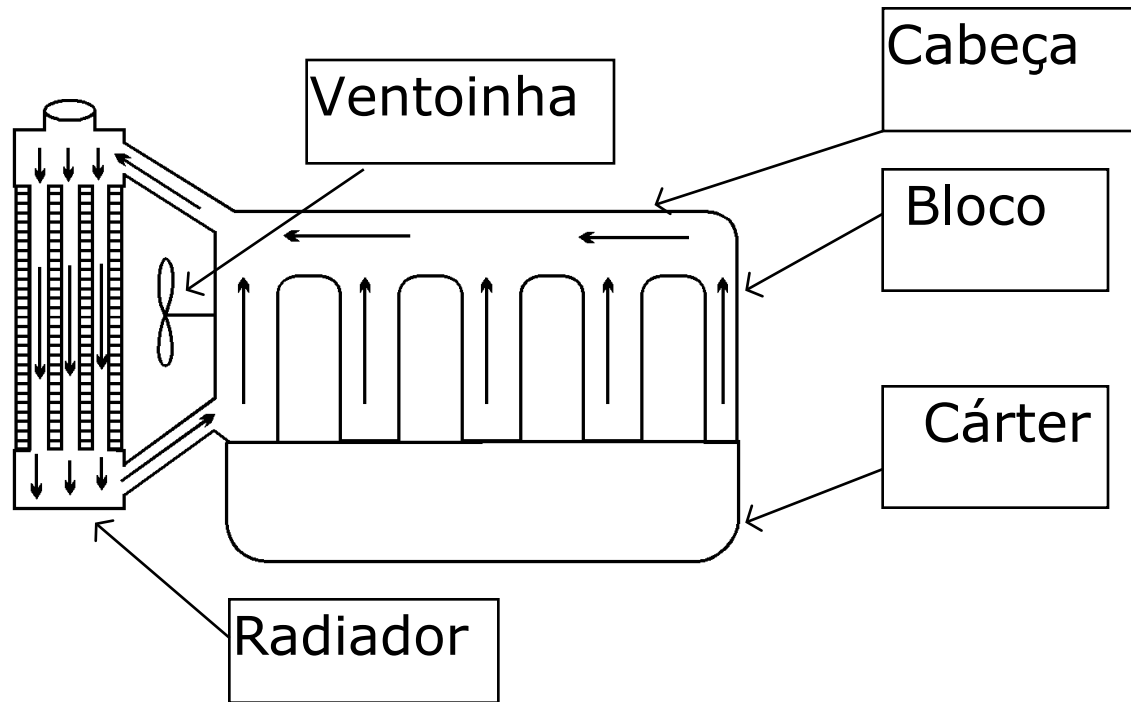
Aquecimento rápido do motor quando este está frio, porque a água só circula depois de ter sido aquecida;

Circulação proporcional ao calor desprendido pelo motor;

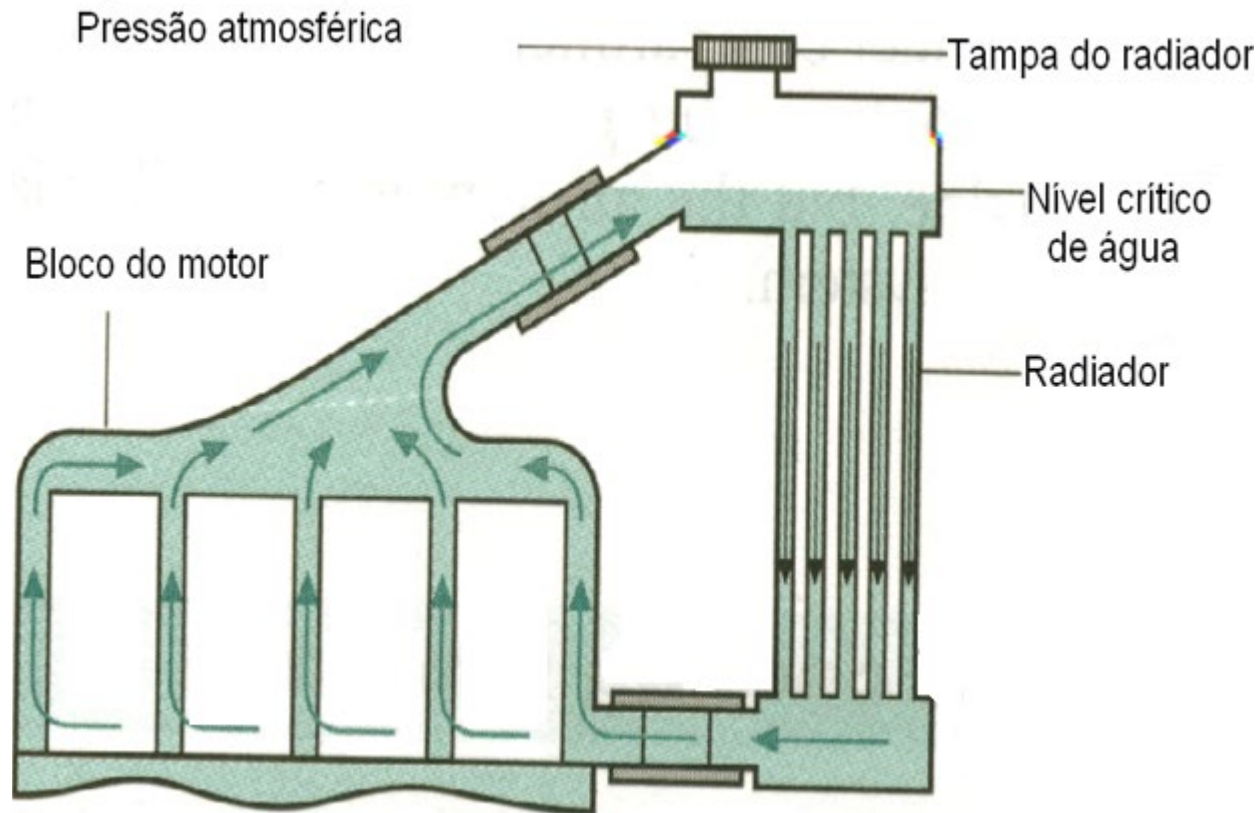
Grande diferença de temperatura entre as partes superior e inferior do radiador, daí o perigo de congelamento no inverno;

Necessidade de manter sempre o volume completo da circulação para permitir a circulação natural.

19.5.1 Sistema de refrigeração por Termossifão



19.5.1 Sistema de refrigeração por Termossifão



19.5.1 Sistema de refrigeração por Termossifão

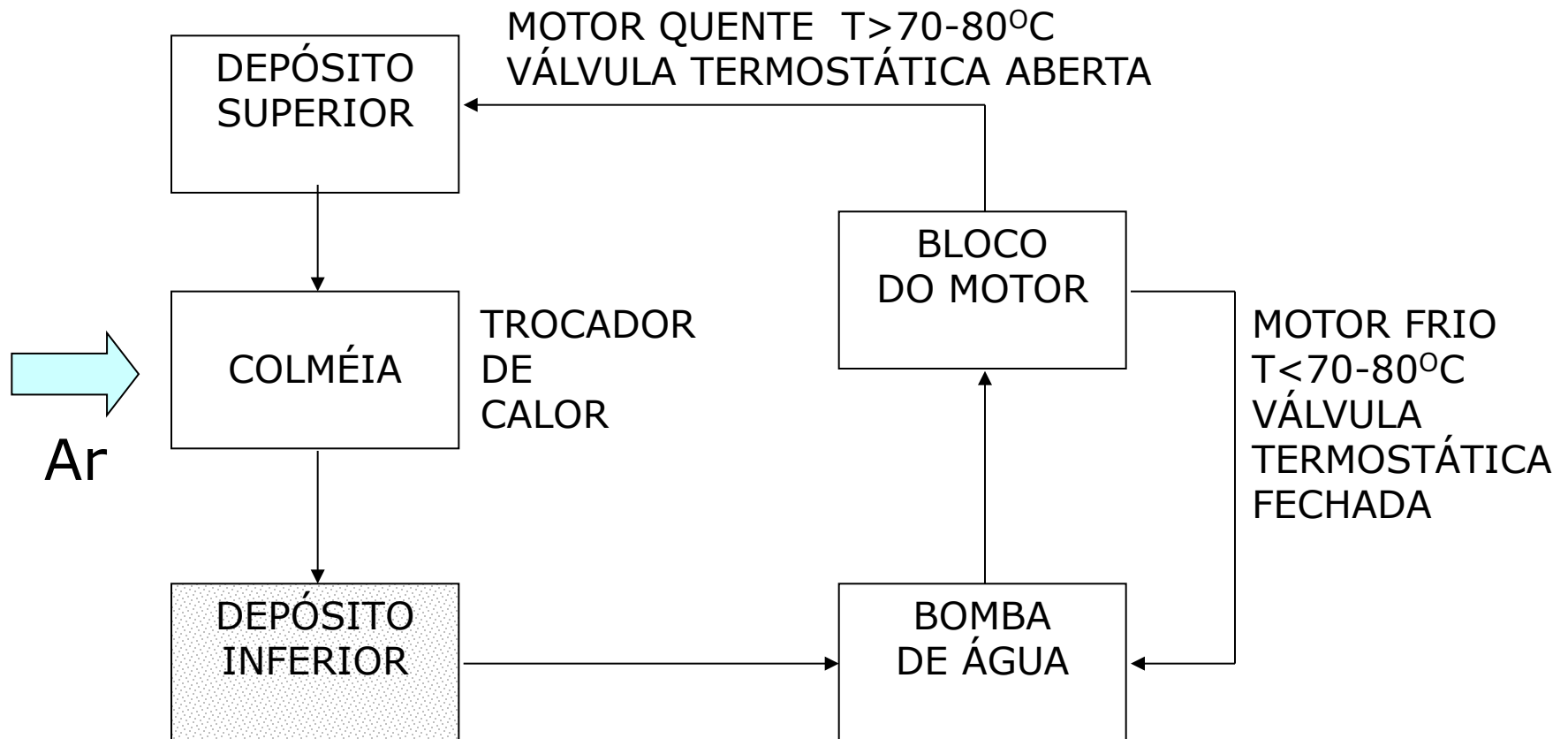
- ▶ **A vantagem do termossifão é a simplicidade.**
- ▶ **As desvantagens são:**
 - ▶ Exige camisas e tubulações mais amplas para facilitar a circulação da água;
 - ▶ Se a água se encontrar abaixo do nível normal haverá formação de bolsões de ar acarretando superaquecimento.

19.5.2 Sistema de circulação forçada

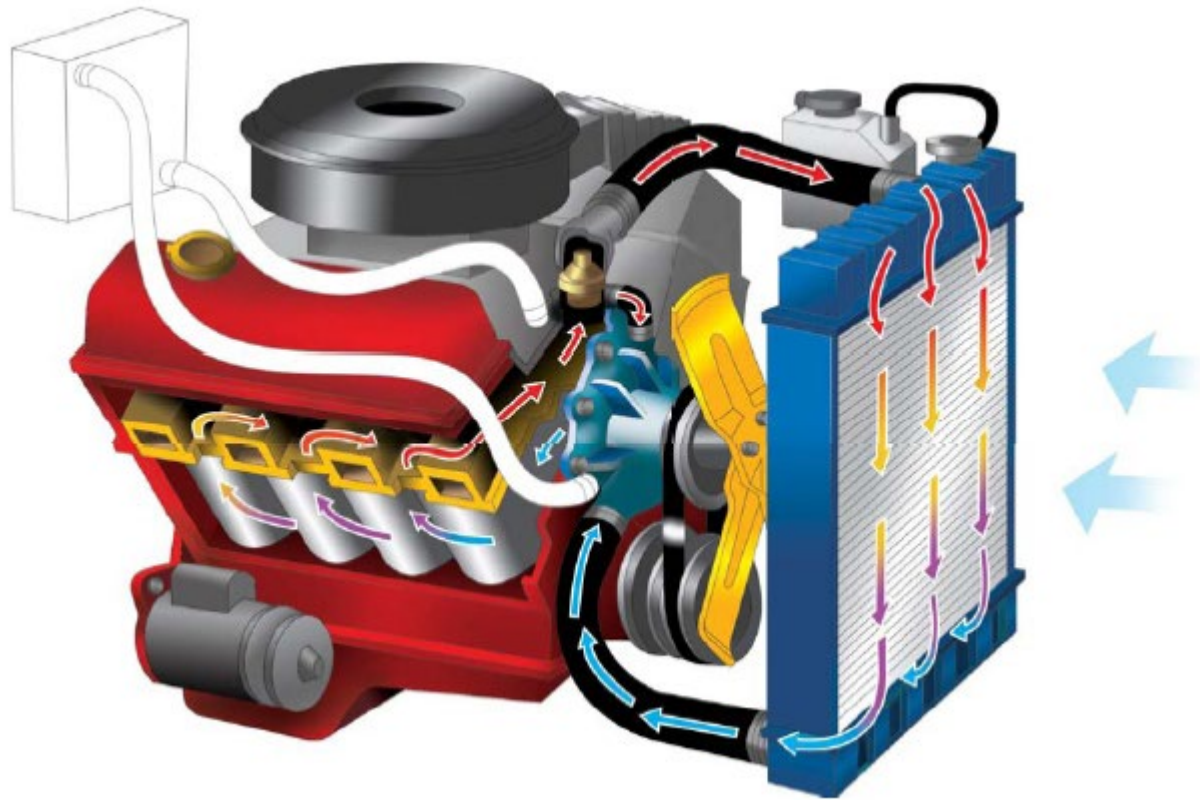
A circulação por bomba é mais rápida, o que resulta numa menor diferença de temperatura nas extremidades do radiador e menos riscos de congelamento no inverno. Contudo, quando se acciona o motor, a água fria entra imediatamente em circulação, e o aquecimento do motor é mais lento.

A utilização neste caso de um termostato diminui e mesmo interrompe a circulação de água se a sua temperatura não for superior a 353 °K (80 °C). O termóstato é, frequentemente, completado por uma passagem auxiliar que, no caso de este estar fechado, permite que a água que sai do motor volte ao bloco de cilindros sem ter que passar pelo radiador. Assim, o aquecimento do motor é acelerado.

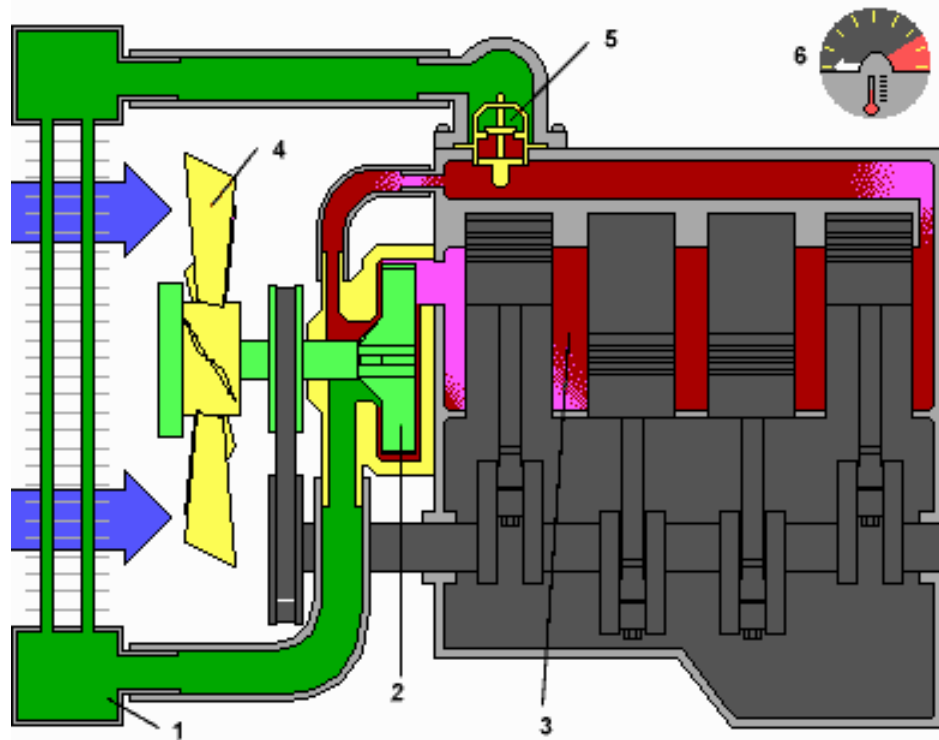
19.5.2 Sistema de circulação forçada



19.5.2 Sistema de circulação forçada



19.5.2 Sistema de circulação forçada



1- Radiador

2- Bomba de água

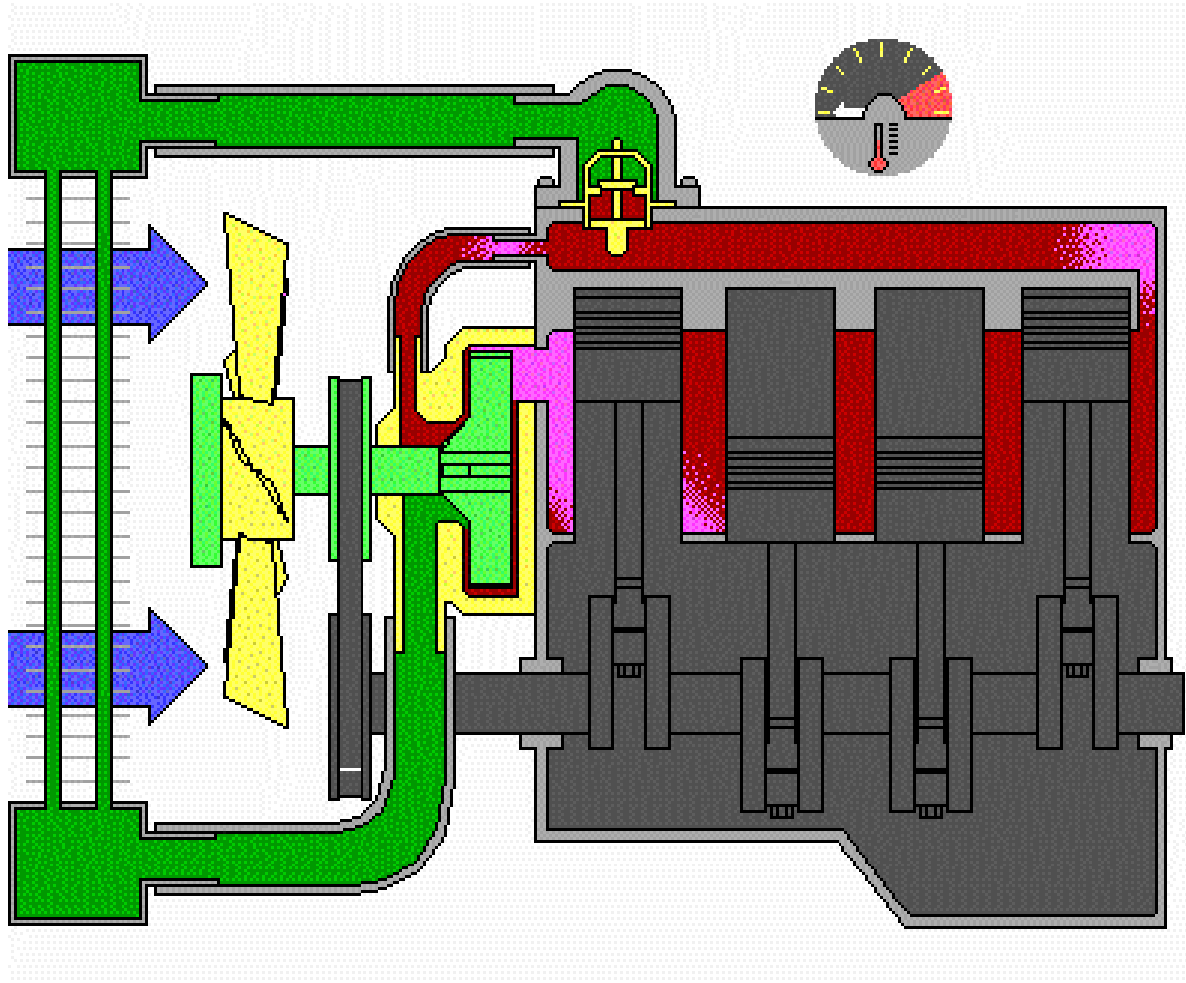
3- Galerias

4- Ventilador

5- Termostato

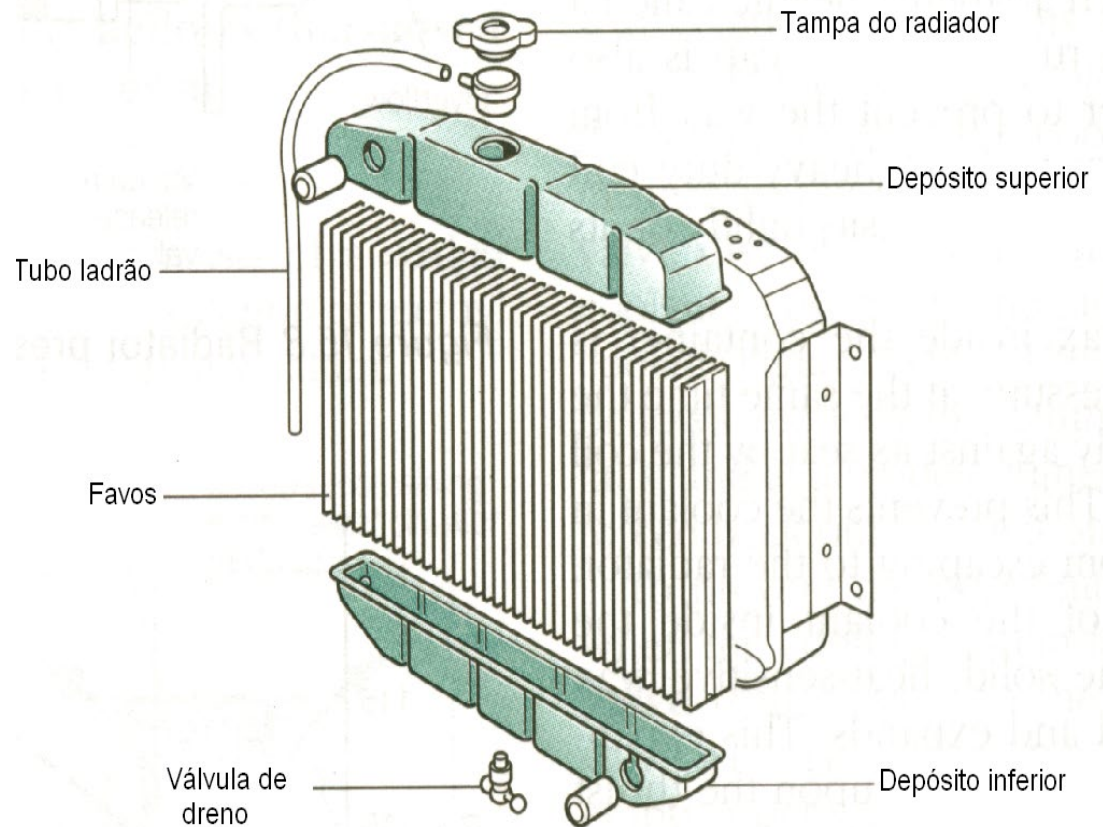
6- Indicador de temperatura

19.5.2 Sistema de circulação forçada

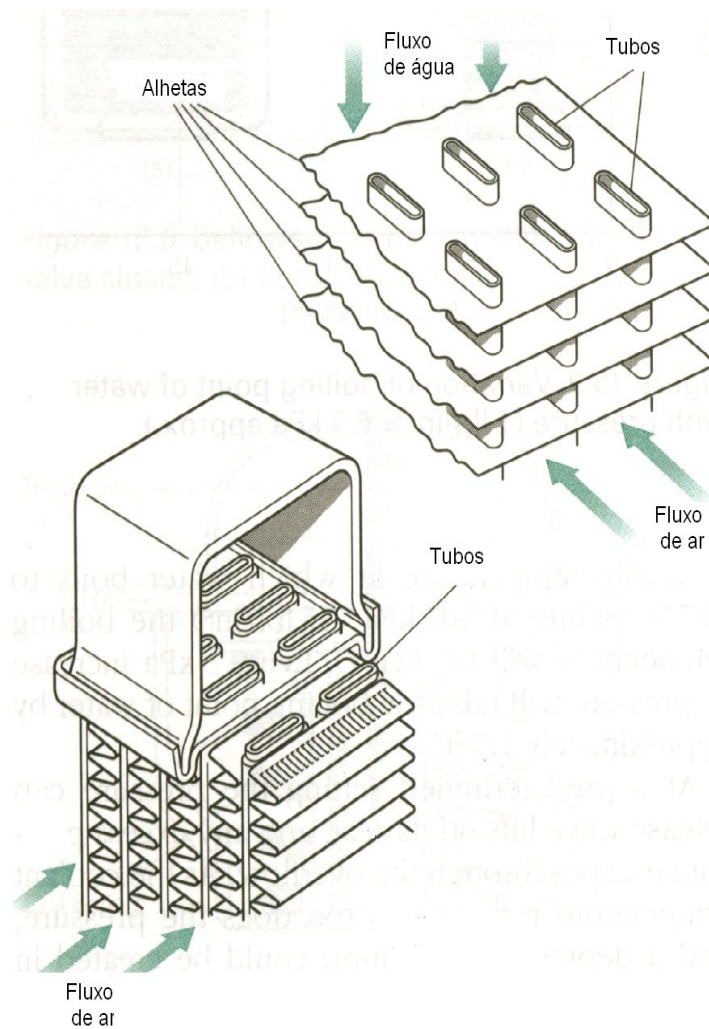


19.5.2 Sistema de circulação forçada- Radiador

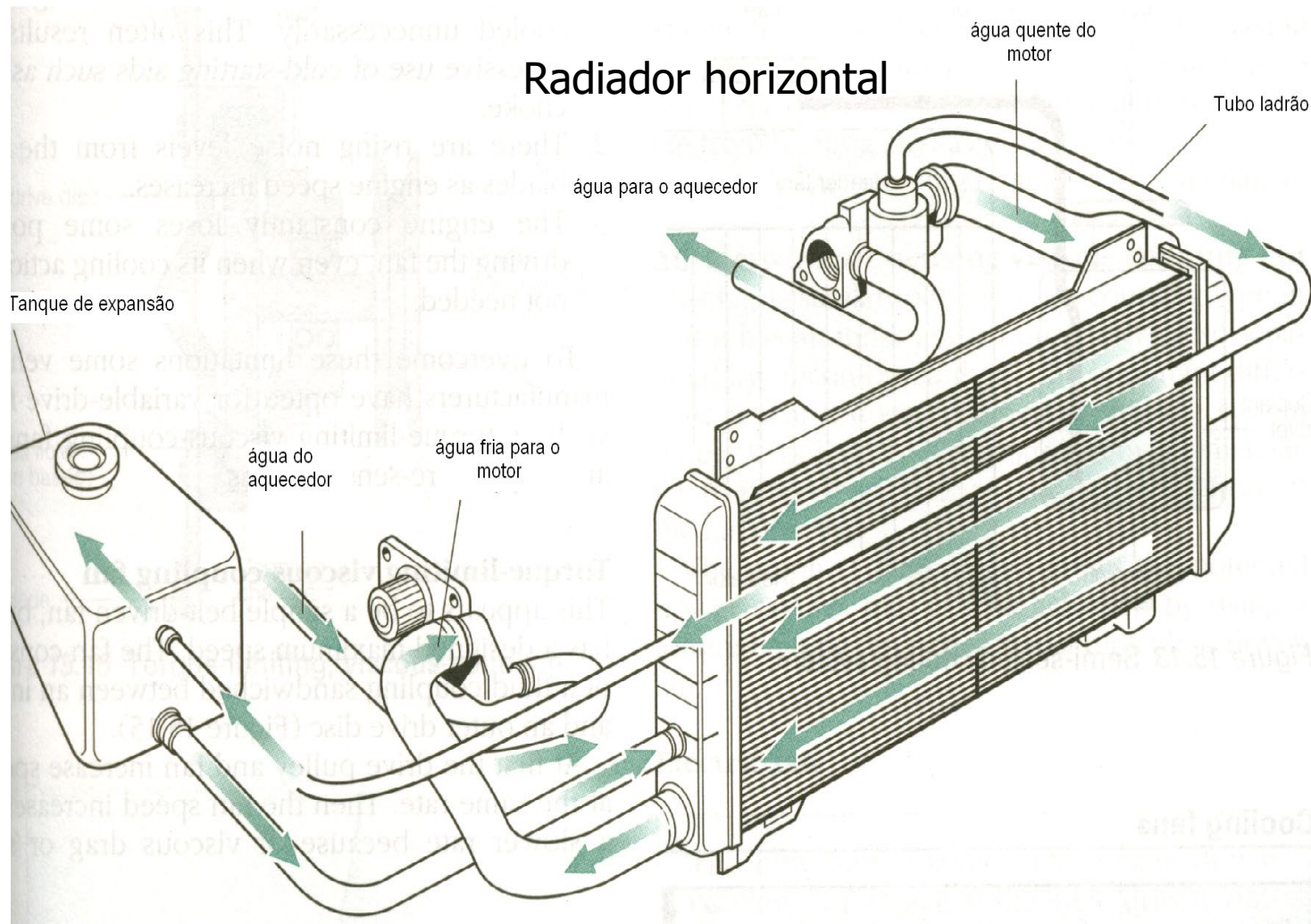
O propósito do radiador é o de providenciar meios para reduzir rapidamente a temperatura do líquido refrigerante e assim prevenir o sobreaquecimento do motor.



19.5.2 Sistema de circulação forçada- Radiador

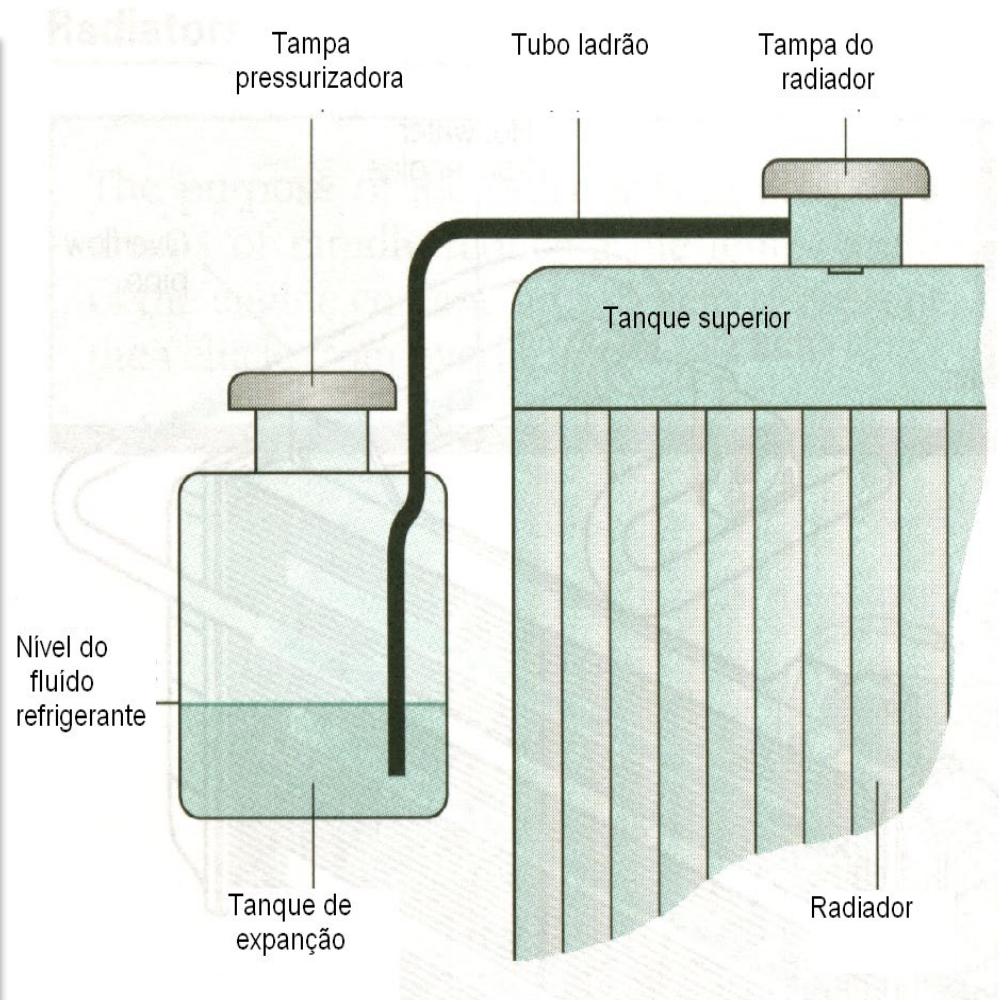


19.5.2 Sistema de circulação forçada- Radiador

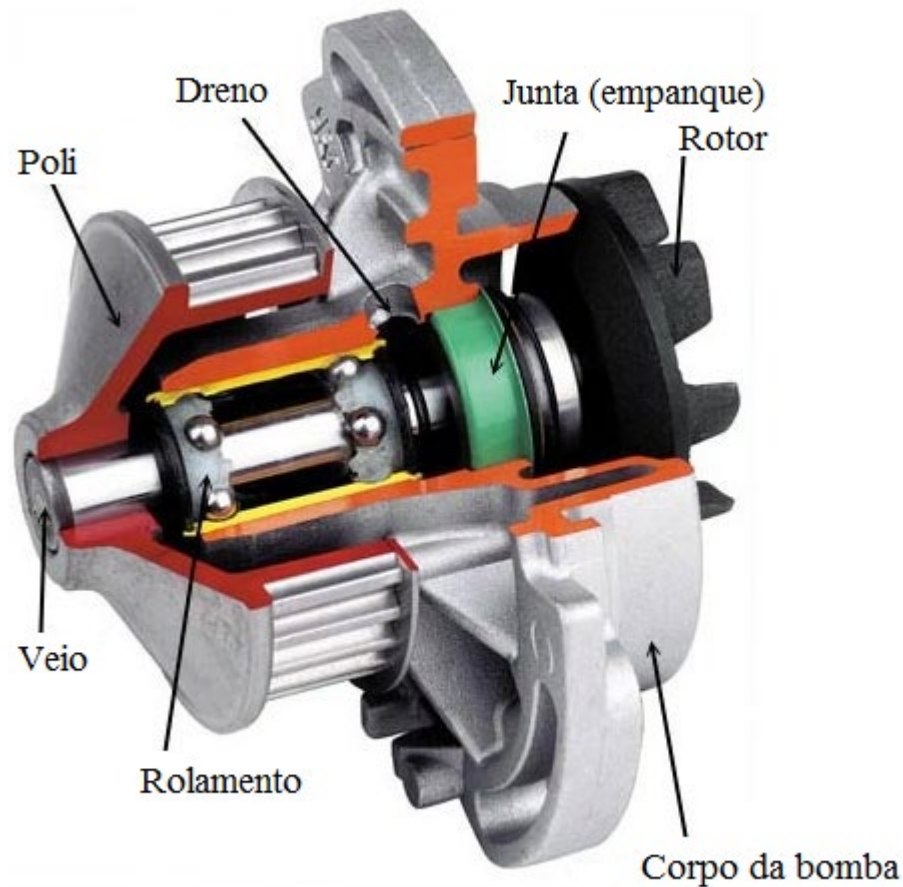


19.5.2 Sistema de circulação forçada- Radiador

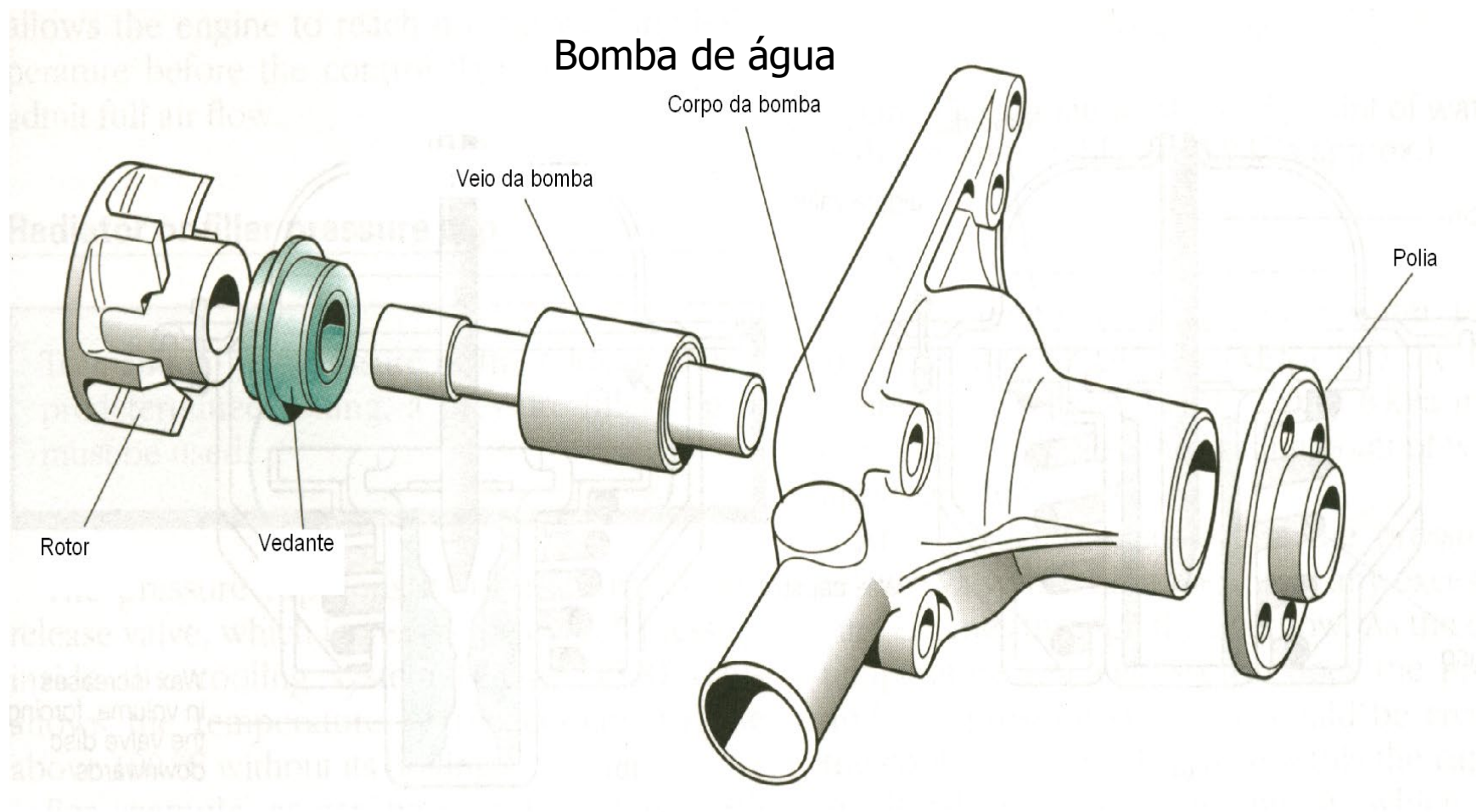
No sistema de refrigeração semi-herméticos é introduzido um tanque de expansão que está ligado ao tubo ladrão. Este minimiza as perdas de líquido refrigerante durante a expansão do mesmo.



19.5.2 Sistema de circulação forçada - Bomba de água



19.5.2 Sistema de circulação forçada - Bomba de água



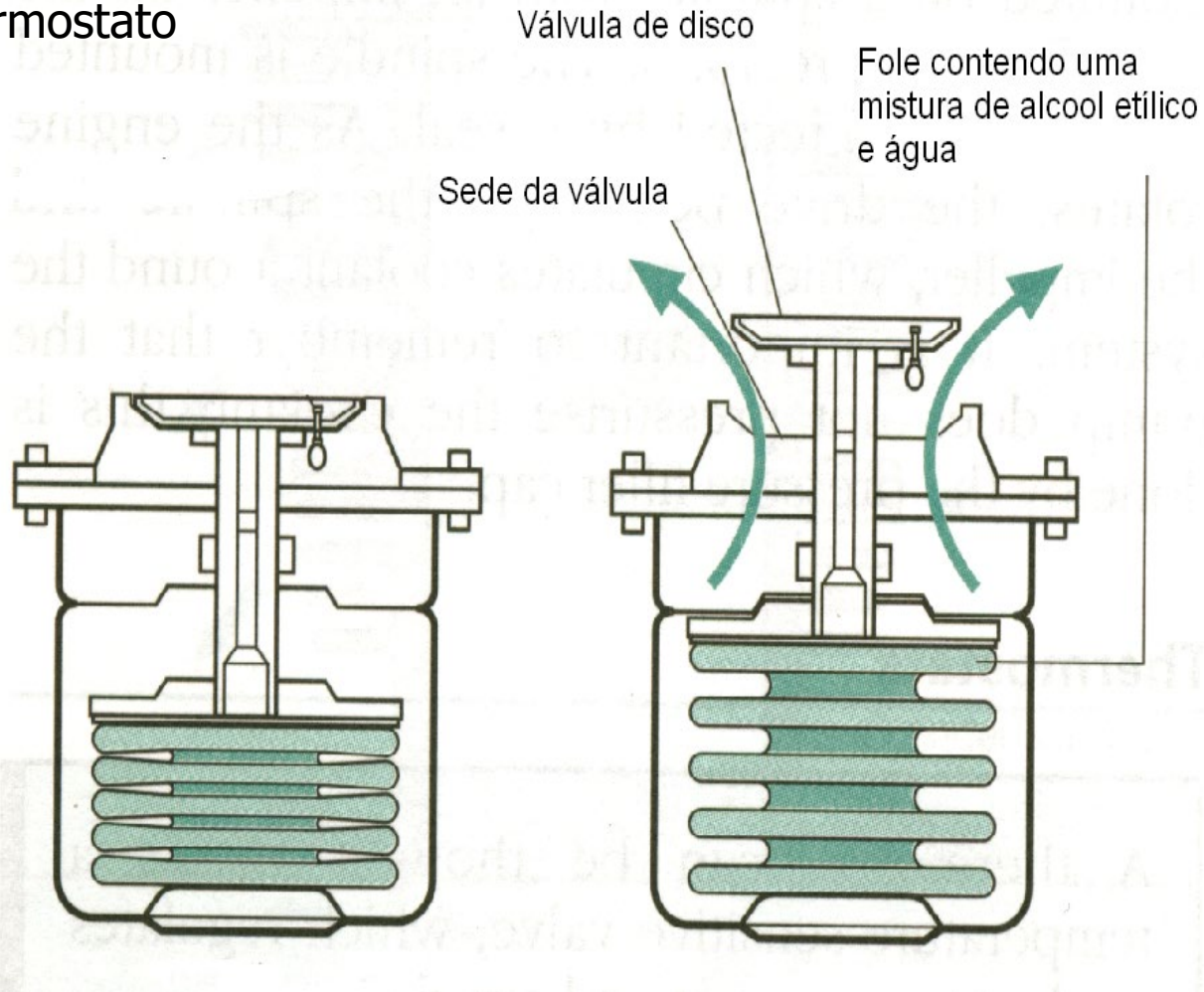
19.5.2 Sistema de circulação forçada - Válvula Termostato

O termostato é uma válvula termosensível que regula a temperatura do líquido refrigerante e a sua circulação.

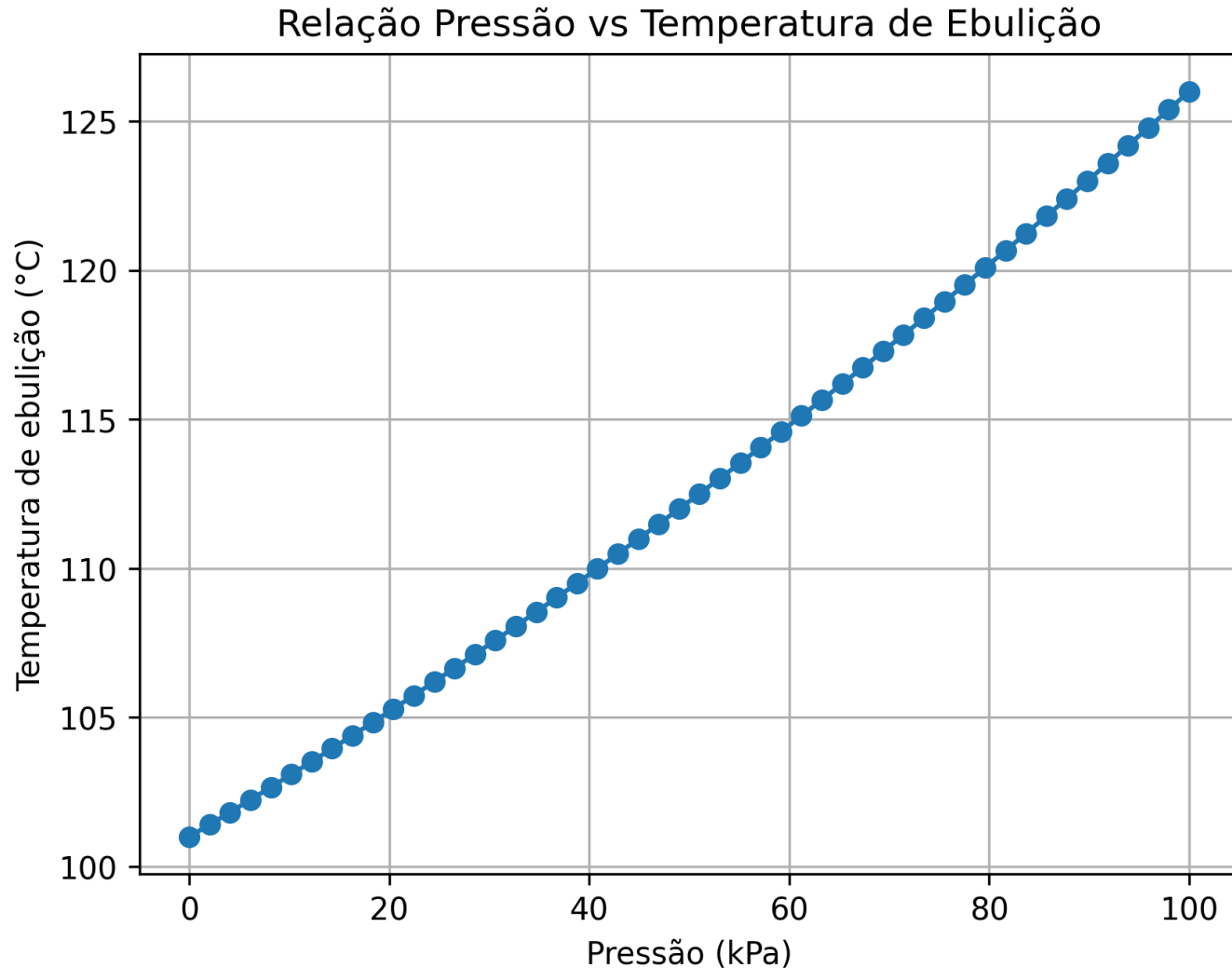


19.5.2 Sistema de circulação forçada - Válvula Termostato

Termostato

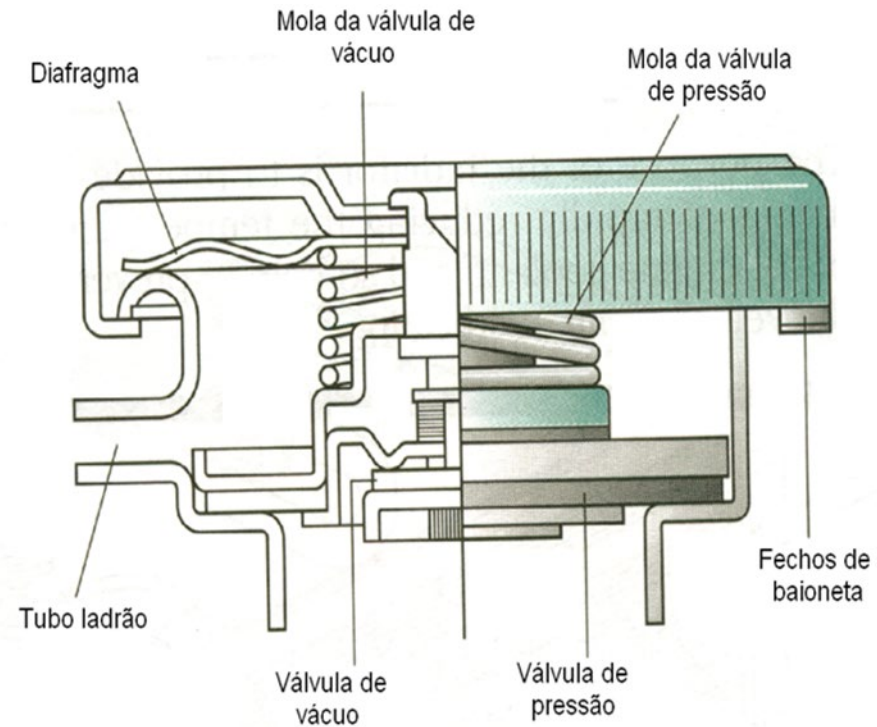


19.5.2 Sistema de circulação forçada – Relação Pressão - Temperatura



19.5.2 Sistema de circulação forçada – Tampa do Radiador

No sistema de refrigeração para se manter a temperatura do líquido refrigerante à temperatura pré-determinada usa-se uma tampa do radiador pressurizada.



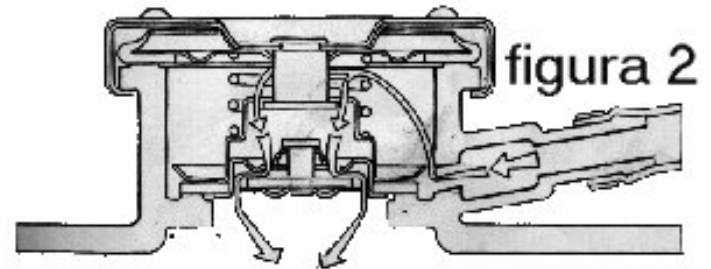
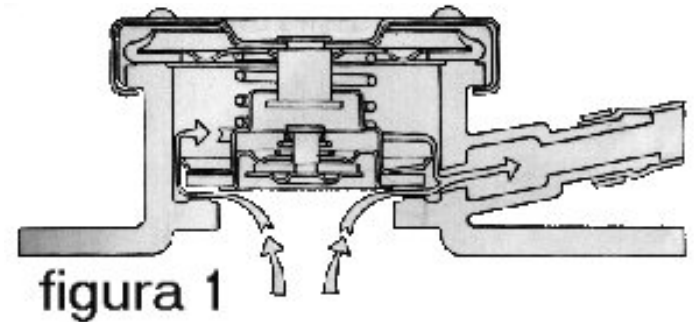
19.5.2 Sistema de circulação forçada – Tampa do Radiador

A tampa do radiador é uma válvula de duas vias que controla pressão e vácuo no sistema de arrefecimento.

Durante o aquecimento, ela isola o radiador da atmosfera, permitindo o aumento de pressão.

Quando o valor calibrado é atingido, actua como válvula de alívio, libertando o excesso de pressão (Figura 1, parte 1).

No arrefecimento, a tampa permite a entrada de ar atmosférico, evitando a formação de vácuo e a deformação das mangueiras e do radiador (Figura 1, parte 2).



19.5.2 Sistema de circulação forçada - Ventilador

- ▶ No sistema de refrigeração o ventilador accionado por correia tem as seguintes desvantagens:
- ▶ Durante o arranque a frio o sistema é refrigerado desnecessariamente;
- ▶ Surge um grande ruído quando a velocidade do motor aumenta;
- ▶ Há perda de potência mesmo quando não se necessita de arrefecer o motor.

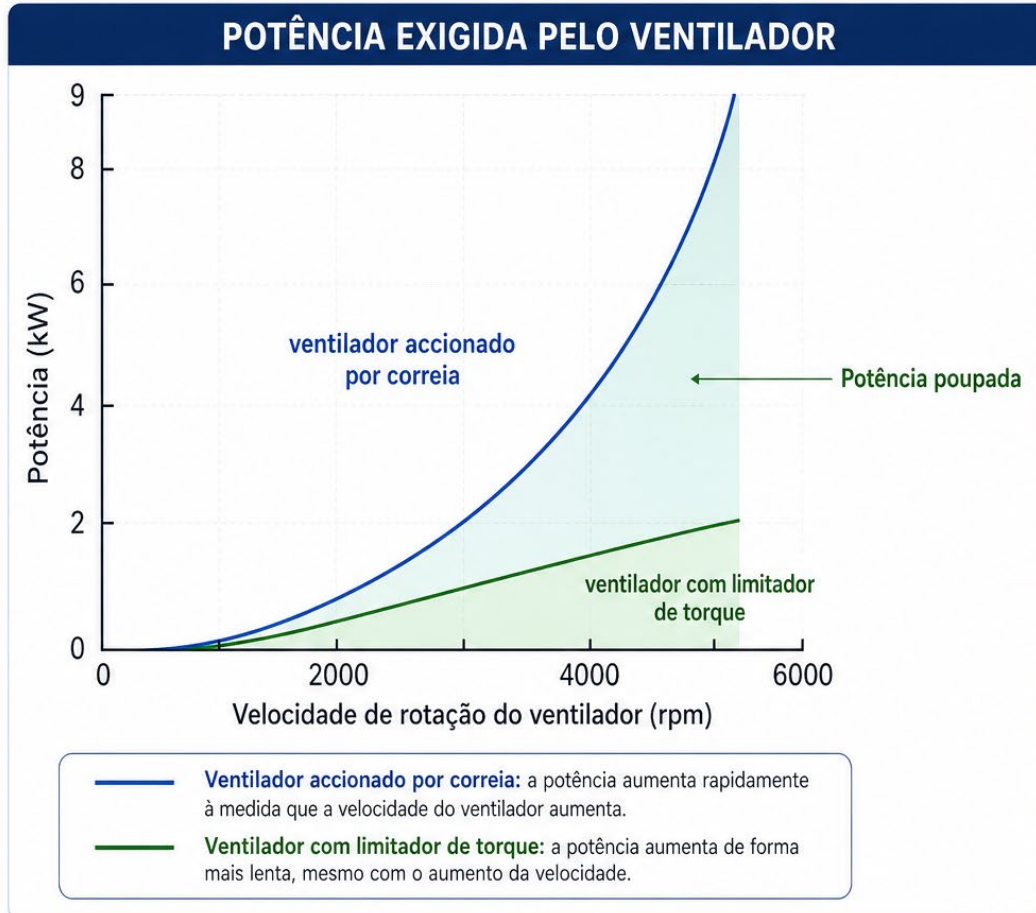
19.5.2 Sistema de circulação forçada - Ventilador

<p>1 Durante o arranque a frio o sistema é refrigerado desnecessariamente</p>  <p>Motor frio</p>	<p>2 Surge um grande ruído quando a velocidade do motor aumenta</p> 	<p>3 Há perda de potência mesmo quando não se necessita de arrefecer o motor</p>  <p>Potência do motor</p>	<p>4 Há perda de potência mesmo quando não se necessita de arrefecer o motor</p>  <p>Potência do motor</p> <p>Sem ventilador</p> <p>Com ventilador accionado por correia</p> <p>Rotação do motor</p>
<p>O ventilador funciona mesmo quando o motor está frio, retirando calor em excesso e aumentando o tempo de aquecimento.</p>	<p>Com o aumento da rotação do motor, o ventilador também gira mais rápido, produzindo ruído elevado.</p>	<p>O ventilador exige potência do motor continuamente, mesmo quando não é necessário arrefecimento.</p>	<p>A curva mostra que a potência disponível com o ventilador accionado por correia é sempre menor do que sem ventilador.</p>
<p>Consequência: Maior consumo de combustível e maior desgaste.</p> 	<p>Consequência: Desconforto acústico para o operador e para o ambiente.</p> 	<p>Consequência: Redução da potência útil disponível no motor.</p> 	<p>Consequência: Menor eficiência global do motor.</p> 



IDEIA PRINCIPAL: O ventilador accionado por correia funciona continuamente, independentemente da necessidade real de arrefecimento, causando arrefecimento excessivo, ruído elevado e perda desnecessária de potência.

19.5.2 Sistema de circulação forçada - Ventilador



Ventilador accionado por correia

A potência exigida aumenta exponencialmente com a velocidade de rotação do ventilador.



Ventilador com limitador de torque

O limitador de torque regula a transmissão de potência, reduzindo a carga no motor.



Potência poupada

A área entre as duas curvas representa a potência que deixa de ser consumida pelo ventilador, resultando em melhores prestações e menor consumo de combustível.



Conclusão

O ventilador com limitador de torque proporciona uma redução significativa da potência absorvida, especialmente em altas rotações.

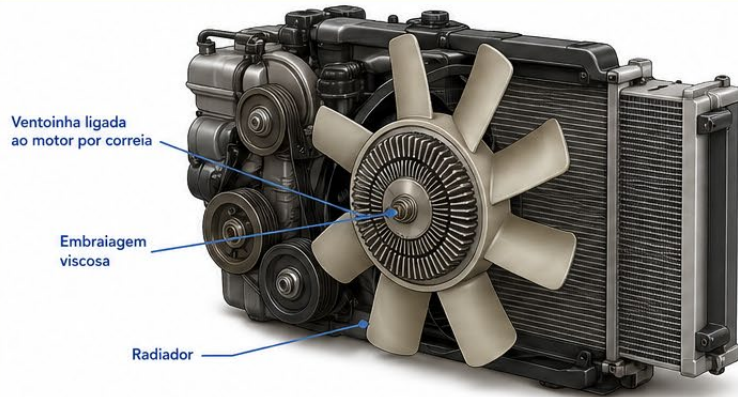


O limitador de torque permite que o ventilador forneça apenas a potência necessária, reduzindo o consumo de potência do motor e melhorando a eficiência global do sistema.

2. Ventiladores com embraiagem viscosa (sistemas intermédios)

- Ainda ligados ao motor, mas:
- A velocidade **varia automaticamente**
- 👉 Funcionamento:
 - Motor frio → ventilador quase desligado
 - Motor quente → ventilador acopla e aumenta rotação
- ✓ Vantagens:
 - Menor consumo
 - Menor ruído
 - Menor carga no motor
- ➡ Ajusta-se à necessidade térmica real

2. Ventiladores com embraiagem viscosa (sistemas intermédios)



Acoplamento automático

A embraiagem viscosa ajusta automaticamente a velocidade da ventoinha de acordo com a temperatura do motor.



Menor consumo de potência

A ventoinha gira mais devagar quando não é necessário arrefecer, reduzindo a carga no motor.



Menor nível de ruído

A velocidade da ventoinha varia conforme a necessidade, reduzindo o ruído em comparação com o sistema por correia fixa.



Simplicidade e fiabilidade

Sistema mecânico, robusto e sem necessidade de controlo eletrónico.

COMPORTAMENTO

1. ARRANQUE A FRIO



A embraiagem viscosa está desengatada. A ventoinha gira lentamente com o motor.

2. TEMPERATURA NORMAL



A embraiagem começa a acoplar parcialmente. A velocidade da ventoinha aumenta moderadamente.

3. MOTOR QUENTE



A embraiagem acopla totalmente. A ventoinha gira rapidamente, aumentando o fluxo de ar.

4. ARREFECIMENTO



À medida que a temperatura baixa, a embraiagem desacopla e a ventoinha volta a girar devagar.

COMO FUNCIONA A EMBRAIAGEM VISCOUSA

FRIO (desengatada)



O fluido de silicone está frio e em estado líquido. As placas deslizam livremente.

AQUECIMENTO (acoplamento parcial)



O fluido aquece e fica mais espesso, começando a transferir torque entre as placas.

MOTOR QUENTE (acoplamento total)



O fluido muito quente fica viscoso, travando as placas e transmitindo o torque máximo à ventoinha.

ARREFECIMENTO (desacoplamento)



O fluido arrefece, volta a ficar líquido e as placas voltam a deslizar, reduzindo a velocidade da ventoinha.

VANTAGENS DO SISTEMA VISCOOSO

- ✓ Ajuste automático da velocidade da ventoinha conforme a necessidade de arrefecimento.
- ✓ Menor consumo de combustível e menor desgaste do motor.
- ✓ Redução do ruído durante o funcionamento.
- ✓ Sistema robusto, simples e económico (em comparação com sistemas elétricos).



19.5.2 Sistema de circulação forçada - Ventilador

Em motores mais antigos, era comum que o ventilador funcionasse sempre que o motor estivesse a funcionar, e claro, à mesma velocidade. Esta configuração apresenta problemas quando o motor está a funcionar baixo ou alto demais, ou o ventilador arrefece em excesso o fluído causando uma queda na eficiência do motor.

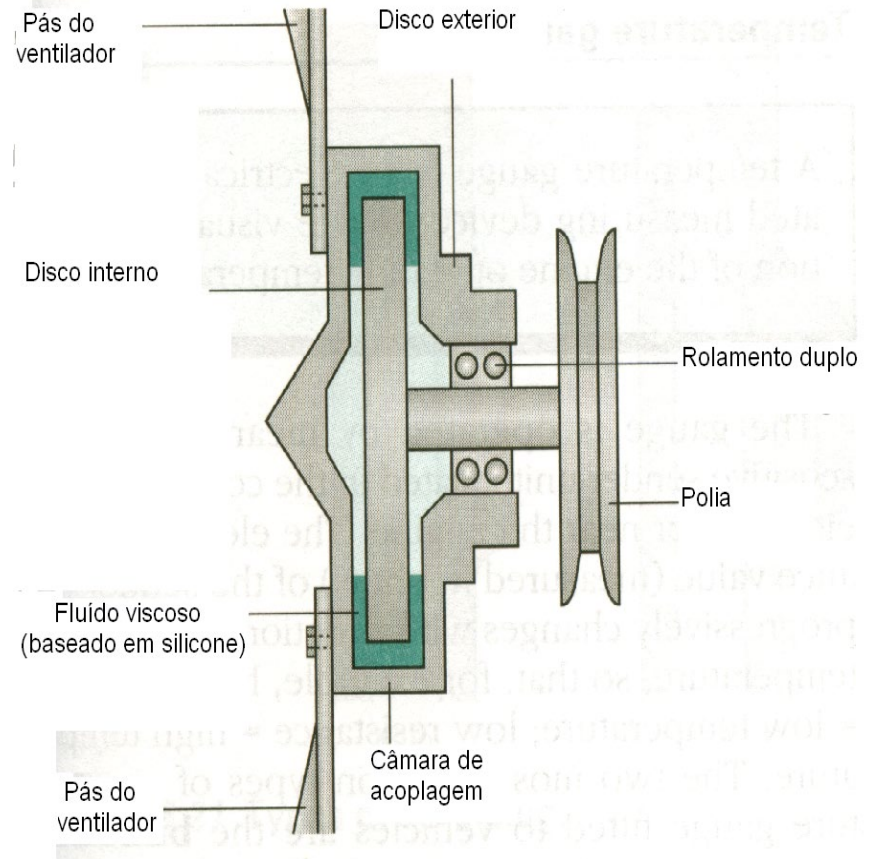
Então foi desenvolvido o chamado Ventilador com Accionamento Viscoso, que nada mais é do que um sistema que utiliza uma embraiagem viscosa. Os principais componentes desse sistema são:

Disco exterior;

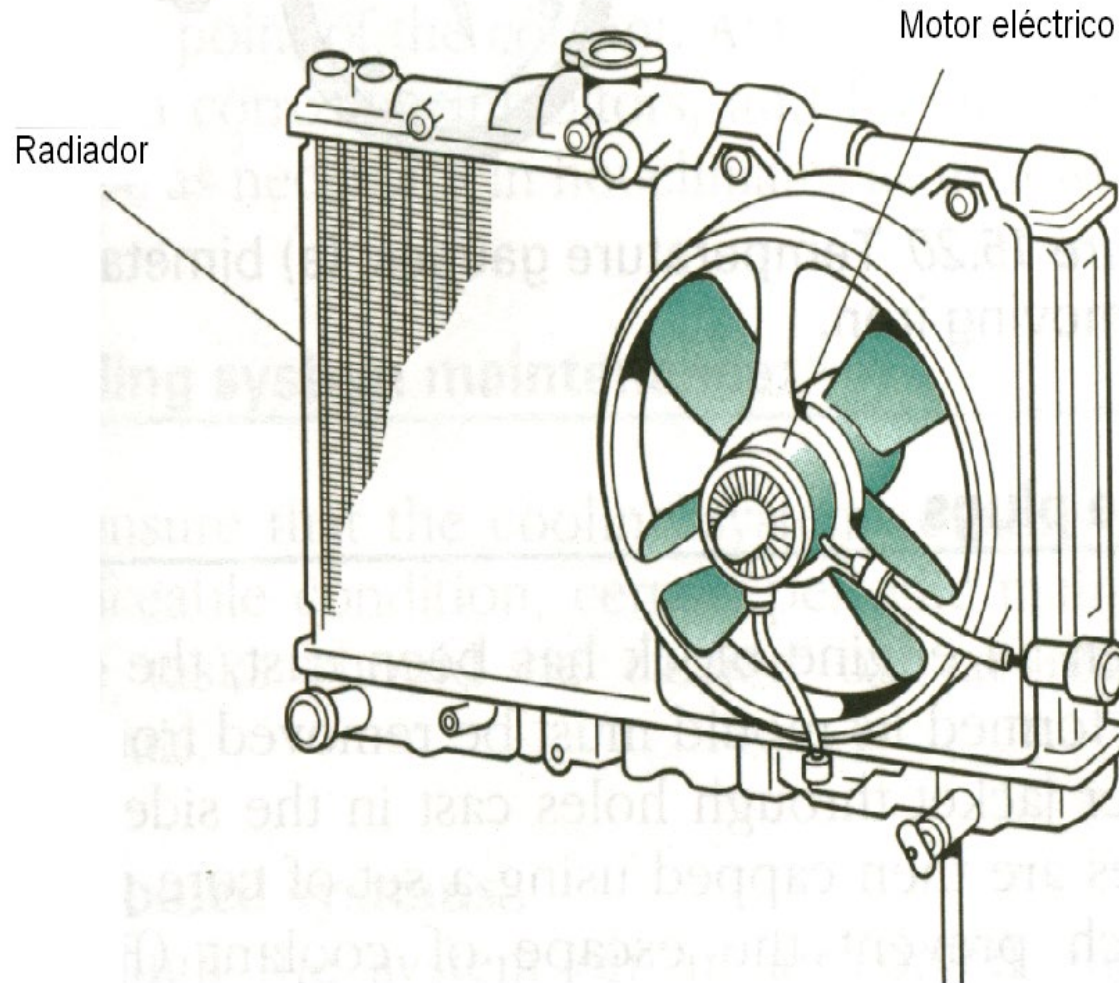
Disco interno;

Fluído de serviço(óleo de silicone); e



Câmara de acoplagem.



19.5.2 Sistema de circulação forçada - Ventilador



3. Ventiladores eléctricos brushless (mais recentes)

- ▶ Nos sistemas modernos, o ventilador **já não funciona continuamente** como no sistema por correia que se descreveu no slide.
- ▶  A filosofia mudou completamente:
- ▶  **Ventiladores eléctricos controlados electronicamente**
- ▶ O ventilador é **ligado e desligado automaticamente**
- ▶ Controlado por:
 - ▶ Temperatura do líquido refrigerante;
 - ▶ ECU (central electrónica do motor);
 - ▶ Pressão do ar condicionado.

3. Ventiladores eléctricos brushless (mais recentes)

✓ Resultado:

- ▶ Só funciona **quando necessário**;
- ▶ ✗ deixa de haver arrefecimento desnecessário a frio;
- ▶ ✗ deixa de haver perdas constantes de potência;
- ▶ → Ventoinhas eléctricas podem até funcionar com o motor parado (pós-arrefecimento).

19.5.2 3. Ventiladores eléctricos brushless (mais recentes)



Funciona apenas quando a temperatura do líquido refrigerante ou a pressão do A/C exigem.



Baixo nível de ruído.
Velocidade controlada de acordo com a necessidade.



Não consome potência continuamente.
Só quando é necessário.



Pode funcionar com o motor parado (pós-arrefecimento).
Evita picos de temperatura após o desligamento do motor.

1. ARRANQUE A FRIO



Ventilador desligado.
Motor aquece mais rápido e de forma eficiente.

2. TEMPERATURA IDEAL



Ventilador permanece desligado.
Não há perda de potência.

3. MOTOR QUENTE / A/C LIGADO



Ventilador liga-se apenas quando necessário
e com a velocidade adequada.

4. PÓS-ARREFECIMENTO



Após desligar o motor,
o ventilador continua a funcionar
para dissipar o calor acumulado.



✓ O sistema moderno adapta o fluxo de ar às condições reais de funcionamento, assegurando eficiência, conforto e fiabilidade.

- ✓ **Aquecimento mais rápido e eficiente**
Menor consumo de combustível e menores emissões.
- ✓ **Baixo nível de ruído**
Maior conforto para o ocupante e para o ambiente.
- ✓ **Não há perda de potência desnecessária**
Mais potência útil disponível sempre que necessário.
- ✓ **Maior eficiência global e menor desgaste**
Maior durabilidade dos componentes do sistema.



Comparação dos sistemas

Sistema	Funcionamento	Problema
Correia (antigo)	Sempre ligado	✘ todos os problemas
Viscoso	Parcialmente controlado	⚠ reduz problemas
Eléctrico moderno	Totalmente controlado	✓ resolve problemas

19.6 Anticongelantes

Um anticongelante **serve para:**

- ▶ Proteger o motor de altas e baixas temperaturas para que esteja sempre em sua temperatura ideal;
- ▶ Proteger o sistema de arrefecimento do motor contra ferrugem ou corrosão;
- ▶ Evitar a formação de espuma;
- ▶ Reduzir a temperatura da água no motor e evitar que ela evapore muito rapidamente.



19.6 Anticongelantes

Composição do Anticongelante



Aditivos (5–10%)



Glicol (40–60%)



Água desmineralizada (30–50%)

19.6 Anticongelantes

Comparação: Água vs Glicol vs Anticongelante

Água	Glicol	Anticongelante
✓ Excelente arefecimento	✓ Baixa congelação	✓ -37 °C (≈50%)
✓ Baixo custo	✓ ↑ ebulição	✓ ↑ ebulição
✗ Congela a 0 °C	✗ Pior transferência de calor	✓ Anticorrosivo
✗ Corrosão	✗ Sem proteção anticorrosiva	✓ Proteção completa

✓ Recomendado: mistura 50% água + 50% glicol

19.6 Anticongelantes

Temperatura de congelação vs. percentagem de anticongelante (etilenoglicol + água)

