



# SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

**Fábio Ferraz**



# SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

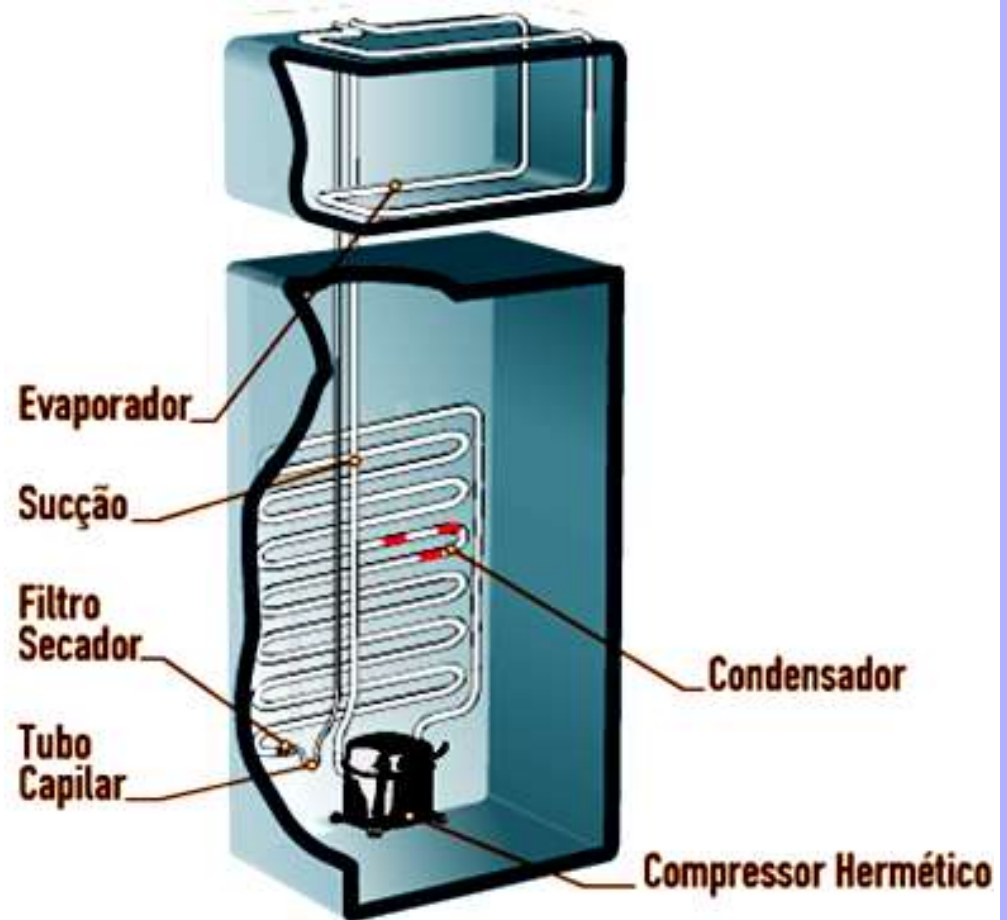
Os principais sistemas de refrigeração são listados a seguir:

- Sistema de refrigeração por compressão;
- Sistema de refrigeração por absorção;
- Sistema de refrigeração termoelétrica;
- Sistema de refrigeração evaporativo.



# SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO

- Pode-se entender a lógica de funcionamento dos principais sistemas de refrigeração atuais estudando o funcionamento de um refrigerador doméstico comum.
- Ele funciona a partir da aplicação dos conceitos de calor e trabalho, utilizando-se de um fluido refrigerante.

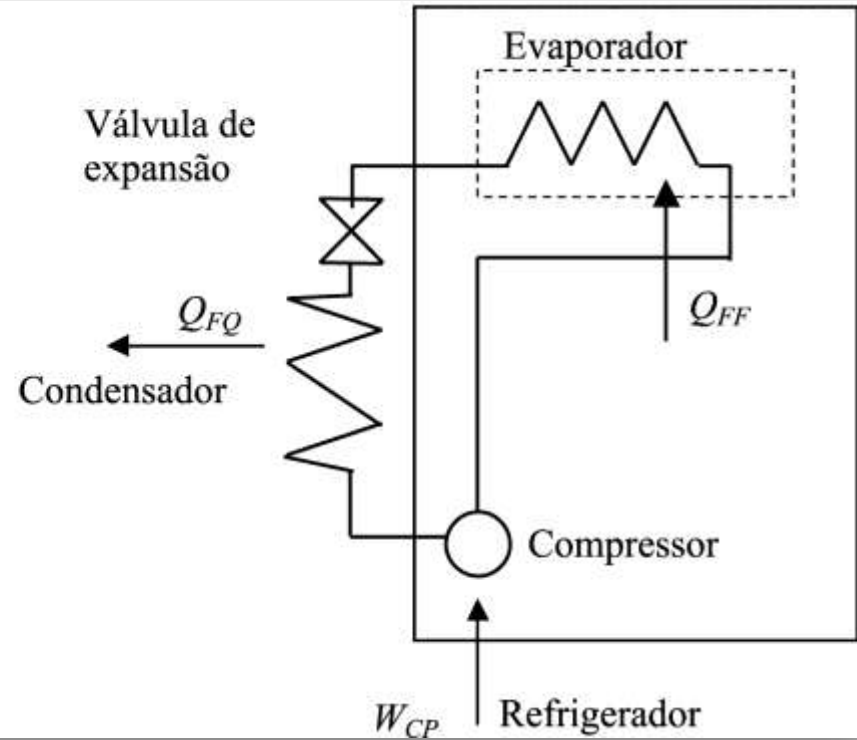
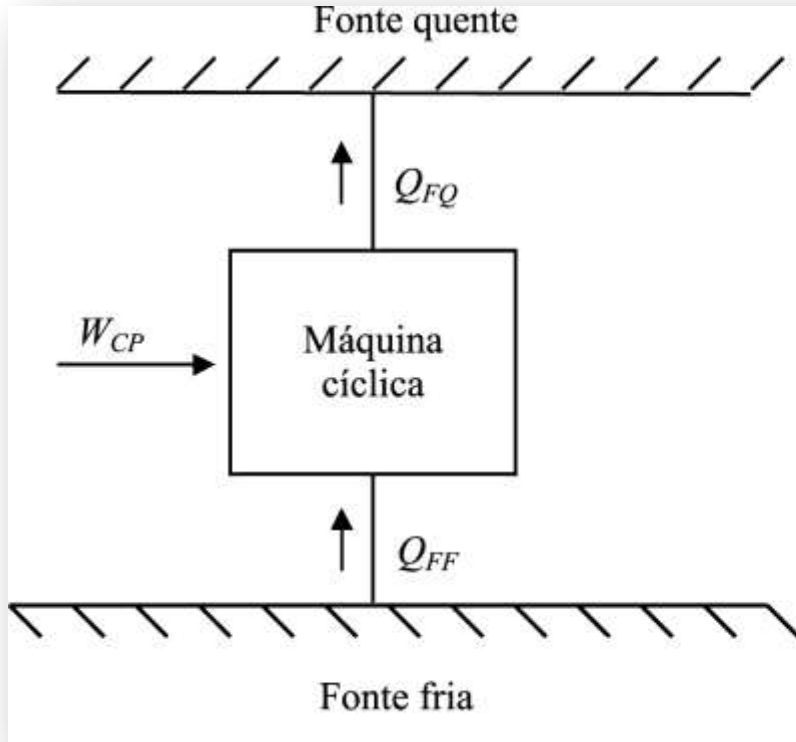


[Programa de Demonstração 1](#)

[Programa de Demonstração 2](#)



# CICLO TEÓRICO DE REFRIGERAÇÃO CMV



# CICLO TEÓRICO DE REFRIGERAÇÃO CMV

## Exemplo:

Eletrolux DF32

Carga de gás = 110g

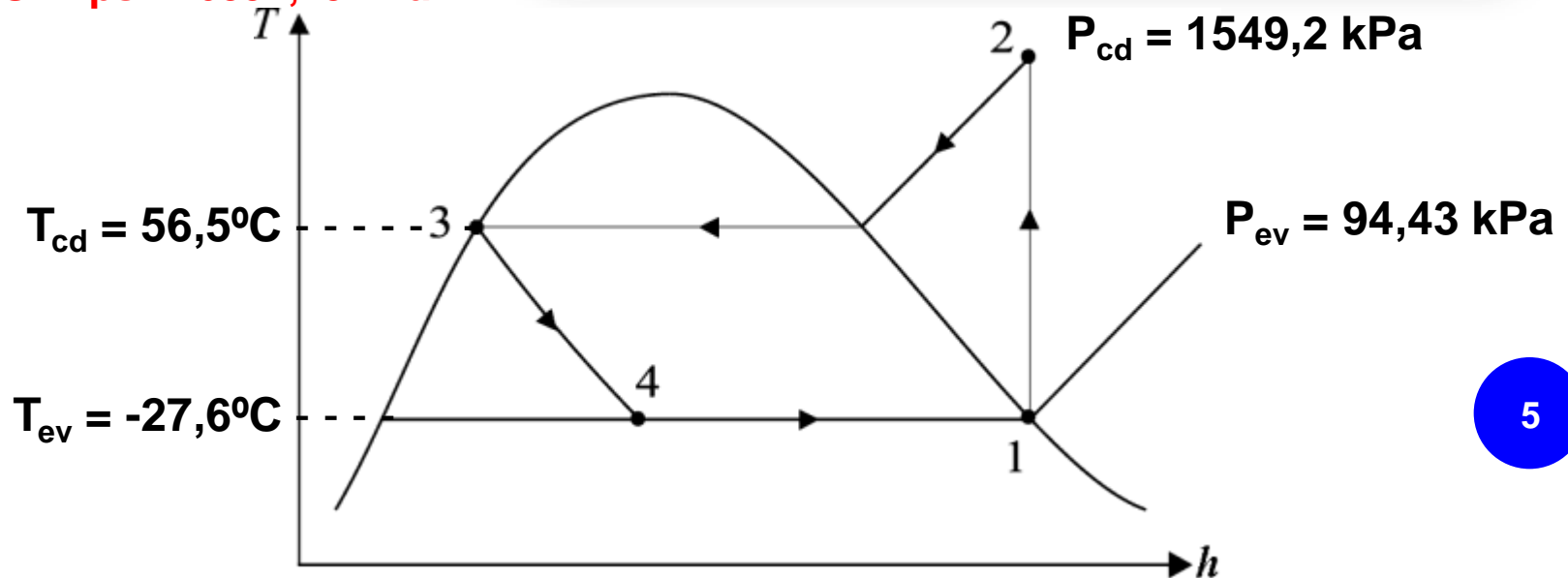
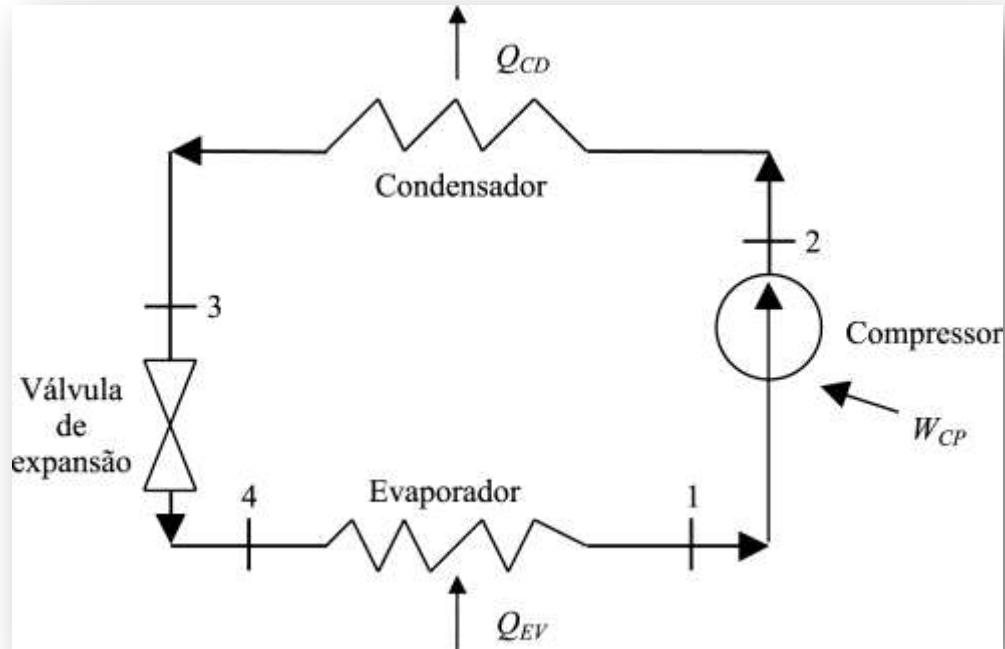
$P_{cd} = 210 \text{ psig (man)} = 1447,9 \text{ kPa}$

$P_{cd} = 1549,2 \text{ kPa (abs)}$

$P_{ev} = -1 \text{ psig (man)} = -6,895 \text{ kPa}$

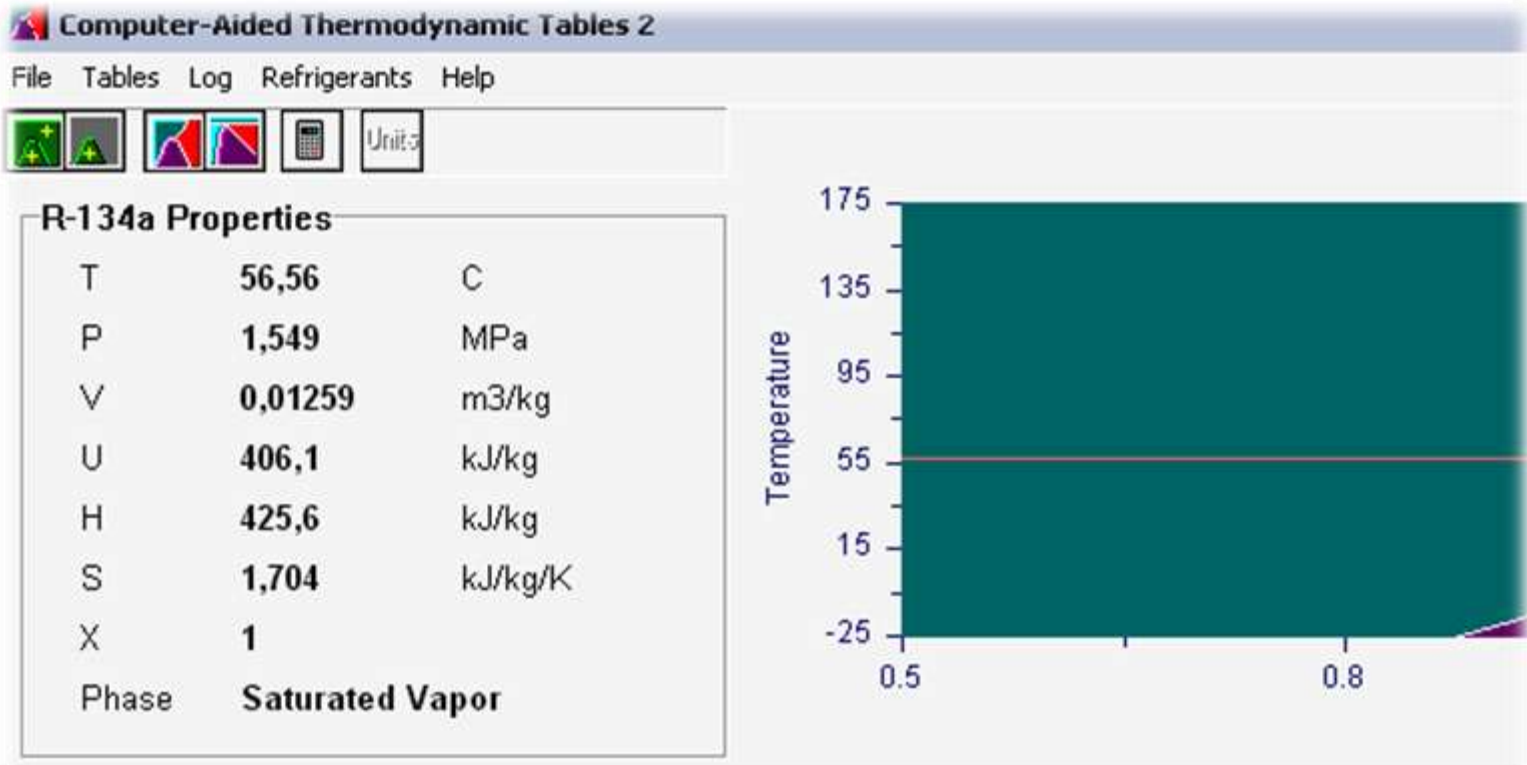
$P_{ev} = 94,43 \text{ kPa (abs)}$

**OBS: 1 psi = 6894,757 Pa**





# CICLO TEÓRICO DE REFRIGERAÇÃO CMV

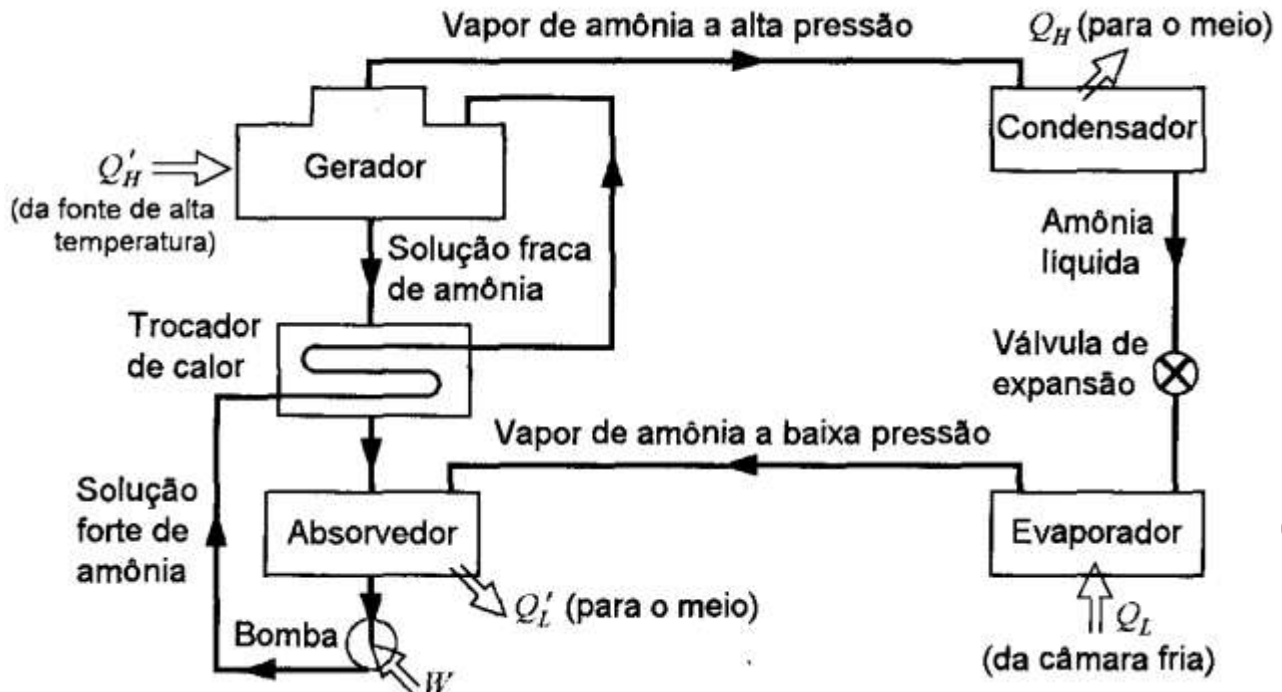


Type	Temp	Pressure	Specific Volume	Internal Energy	Specific Enthalpy	Specific Entropy	Quality Phase
	C	MPa	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K	
1, R-134a	-27,6	0,09443	0,2032	362,6	381,8	1,749	1 Saturated Vapor
2, R-134a	-27,6	0,09443	0,000724	163,8	163,9	0,8611	0 Saturated Liquid
3, R-134a	56,56	1,549	0,0009341	280,5	282	1,268	0 Saturated Liquid
4, R-134a	56,56	1,549	0,01259	406,1	425,6	1,704	1 Saturated Vapor



# SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO

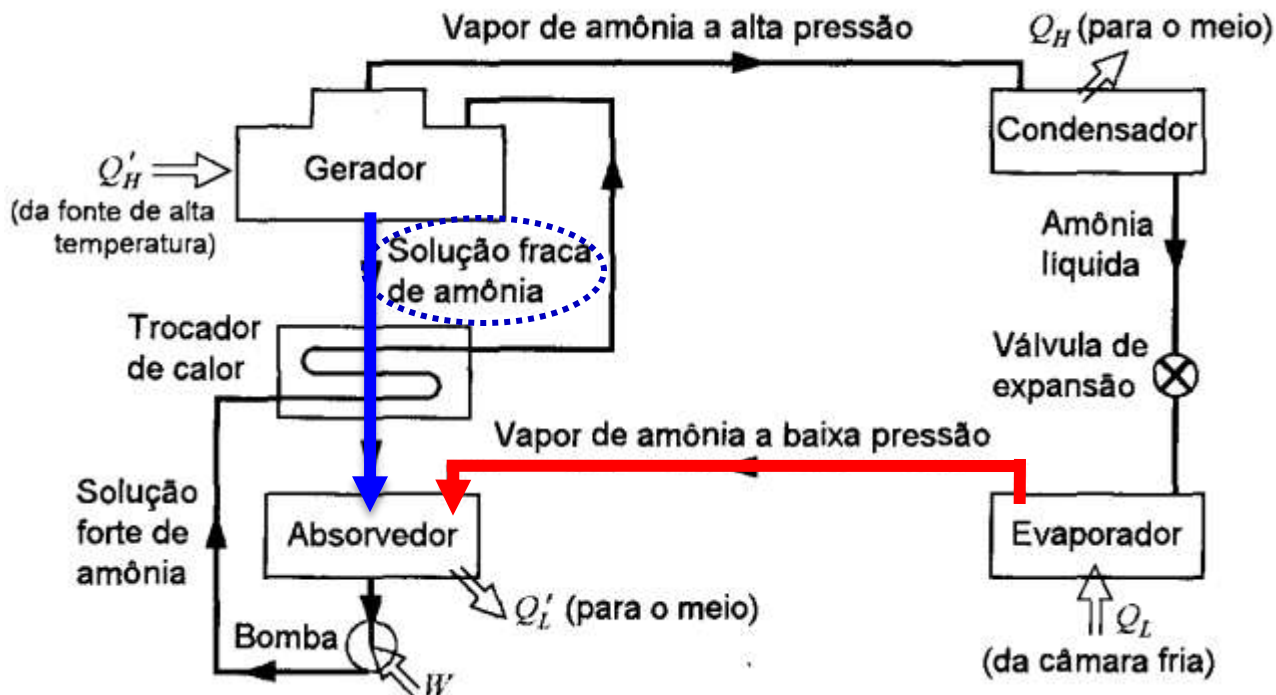
- O ciclo frigorífico por absorção de amônia difere do ciclo por compressão de vapor na maneira pela qual a compressão é efetuada.
- No ciclo de absorção, o vapor de amônia a baixa pressão é absorvido pela água e a solução líquida é bombeada a uma pressão superior por uma bomba de líquido.





# SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO

- O vapor de amônia a baixa pressão, que deixa o **evaporador**, entra no **absorvedor** onde é absorvido pela **solução fraca de amônia**, num processo exotérmico.
- É necessário um **2º permutador**, pois quanto menor a temperatura, maior a quantidade de amônia é dissolvida na água.

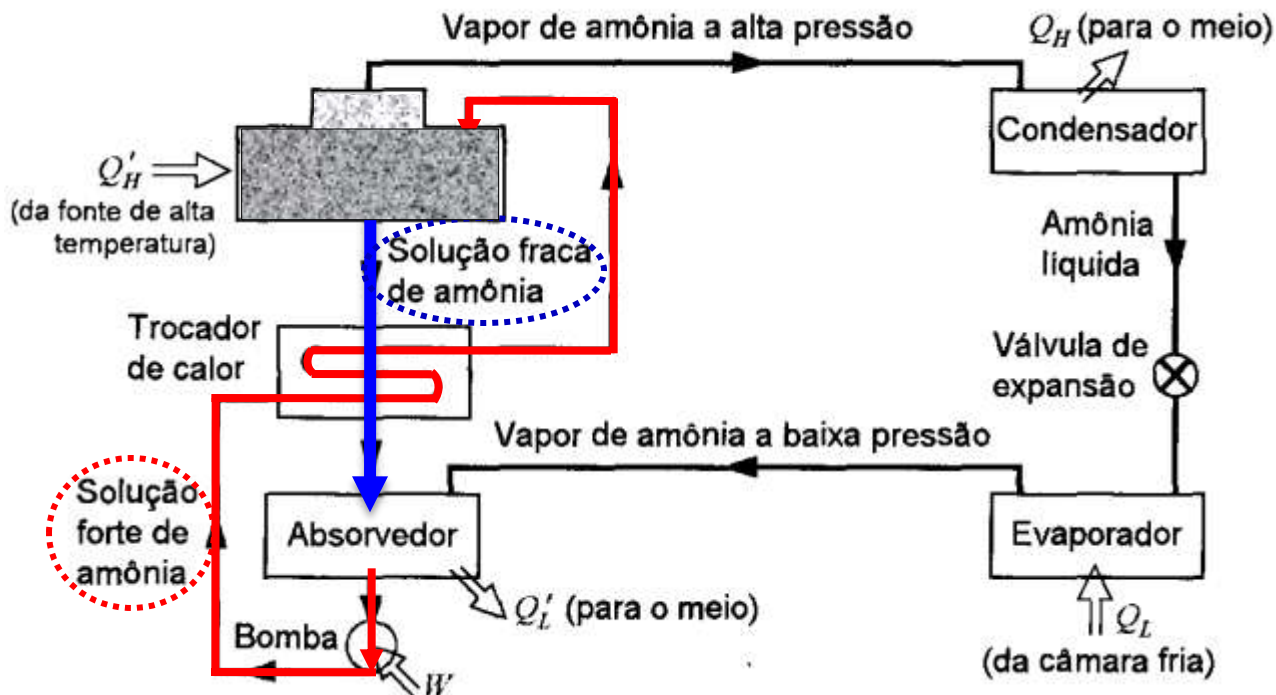






# SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO

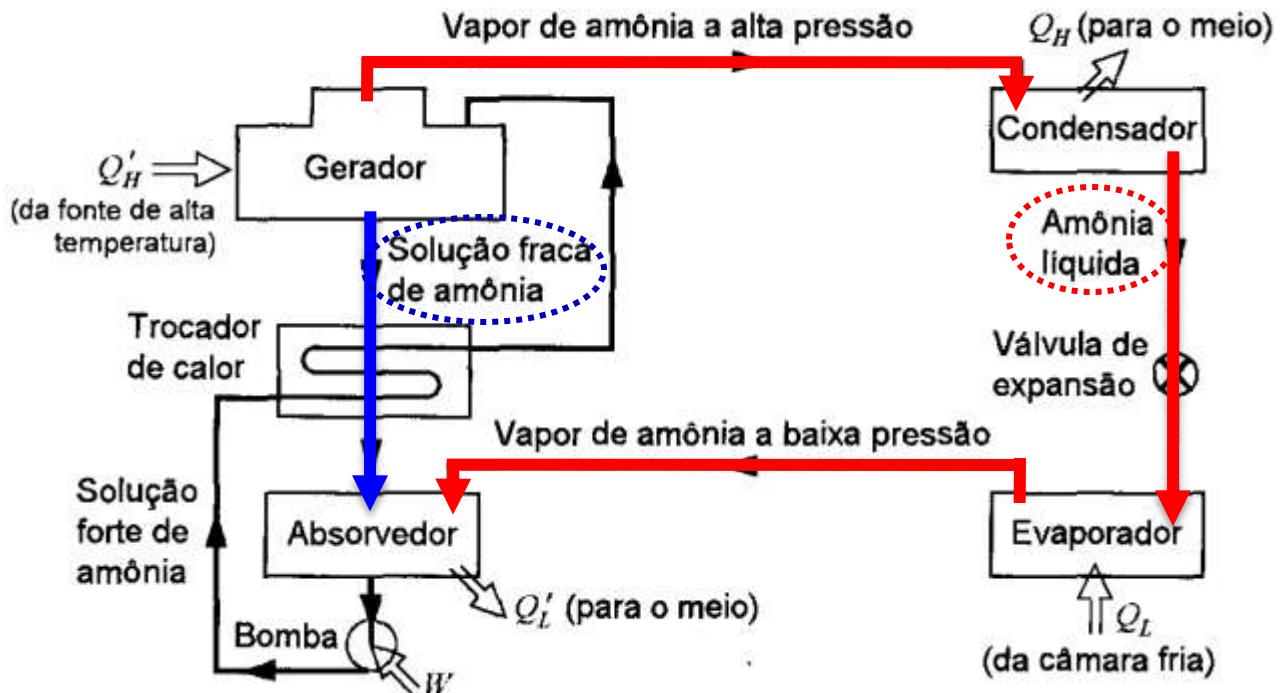
- A solução forte de amônia, ao sair do absorvedor, é então bombeada através de um **trocador de calor** (usado para pré-aquecer a solução) ao **gerador** (onde são mantidas uma alta pressão e temperatura).
- No **gerador**, o vapor de amônia (menos denso) se separa da solução em consequência da transferência de calor da fonte ( $Q'_H$ ) de alta temperatura.





# SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO

- O vapor de amônia vai para o **condensador**, onde é condensado (liberando  $Q_H$ ), como no sistema de compressão de vapor, e então se dirige para a válvula de expansão e para o evaporador (**amônia líquida** -  $T \downarrow$ ).
- A **solução fraca de amônia** que retorna ao absorvedor através do trocador de calor absorve o vapor de amônia a baixa pressão reiniciando o ciclo.





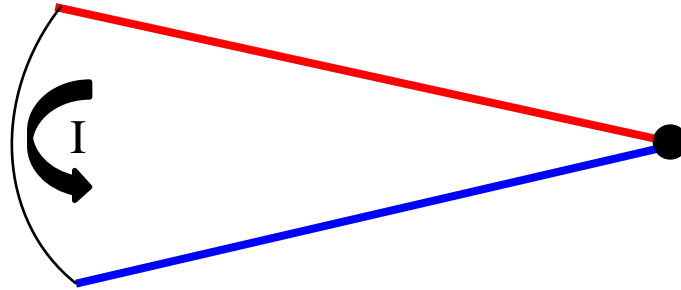
# SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO

- A característica particular do sistema de absorção consiste em requerer um **consumo muito pequeno de trabalho** porque o processo de bombeamento envolve um líquido:  **$W = -v.(P_2 - P_1)$** .
  - **onde  $v$  é o volume específico do fluido.**
  - **$P_2 - P_1$  é a variação de pressão na saída e na entrada da bomba.**
- Por outro lado, deve-se **dispor de uma fonte térmica** de temperatura relativamente alta (100 a 200 °C).
- O **equipamento envolvido num sistema de absorção é um tanto maior** que num sistema de compressão de vapor e pode ser justificado economicamente apenas nos casos onde é disponível uma fonte térmica adequada e que, de outro modo, seria desperdiçada.



# SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO TERMOELÉTRICA

- Em 1821, **Seebeck** observou que, em um circuito fechado constituído por **dois metais diferentes**, uma **corrente elétrica circula**, sempre que as **junções** sejam mantidas a **temperaturas diferentes**.



- Em 1834, **Peltier** observou o **efeito inverso**. Isto é, **fazendo-se circular uma corrente elétrica** na mesma direção da F.E.M. gerada pelo efeito Seebeck, verifica-se o **esfriamento do ponto de junção**, e vice-versa.



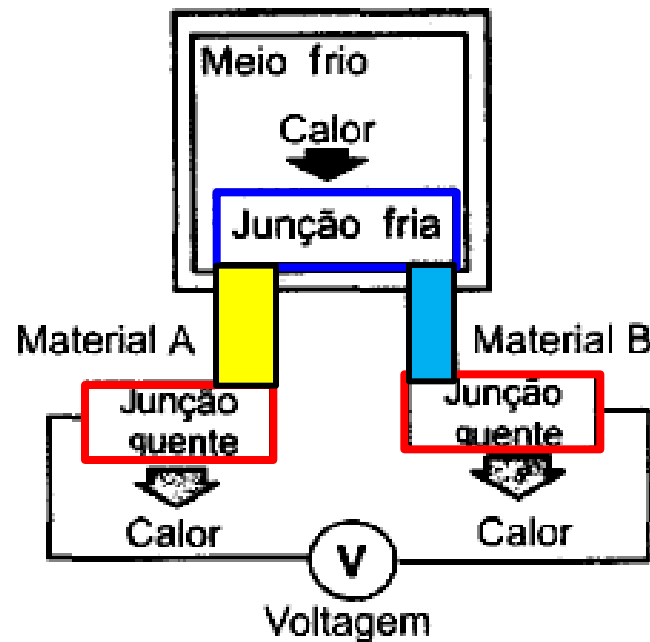
# SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO TERMOELÉTRICA

- Em 1857, **Willian Thomson** (Lord Kelvin) descobriu que um **condutor simples**, submetido a um **gradiente de temperatura** sofre uma **concentração de elétrons** em uma de suas extremidades, e **uma carência dos mesmos** na outra.
- A aplicação da termoeletricidade se restringiu, durante muito tempo, quase que exclusivamente à mensuração de temperaturas através dos chamados **termopares**.
- **Alternkirch**, que demonstrou que o material termoelétrico **é qualitativamente bom** quando apresenta um alto coeficiente Seebeck (ou poder termoelétrico), **alta condutividade elétrica** e uma **baixa condutividade térmica**.



# SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO TERMOELÉTRICA

- O refrigerador termoeétrico utiliza-se de **dois materiais diferentes**, como os pares termoeétricos convencionais.
- Há **duas junções** entre esses dois materiais em um refrigerador termoeétrico.
- Uma está localizada no espaço refrigerado e outra no meio ambiente.

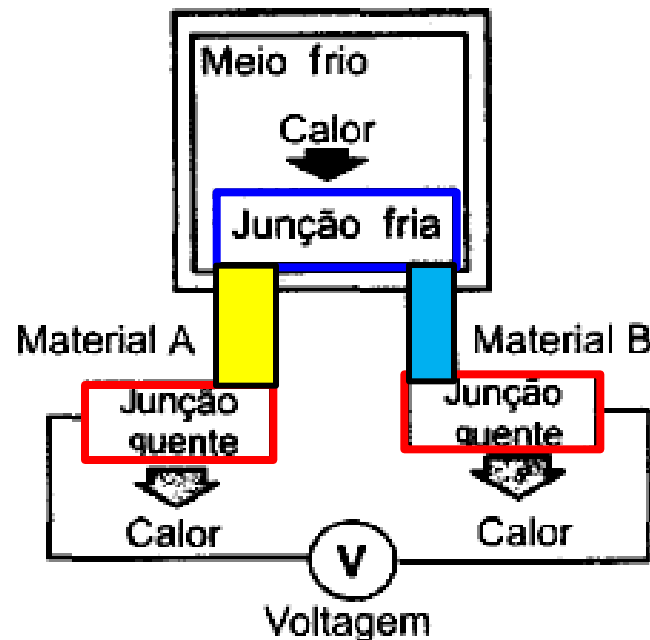




# SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO TERMOELÉTRICA

- Quando uma diferença de potencial é aplicada, a temperatura da junção fria decresce e a temperatura da junção quente cresce.
- Assim, haverá transmissão de calor do espaço refrigerado para a junção fria.
- Na junção quente haverá transmissão de calor para o ambiente.

[Ver animação  
PELTIER.exe](#)



# SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO TERMOELÉTRICA

É cada vez mais utilizada a refrigeração eletrônica (termoelétrica) em países de primeiro mundo.

O sistema é composto por componentes eletrônicos que necessitam de ventilação.

Para isto é utilizado um ventilador semelhante ao usado em computadores pessoais e como todos os computadores e outros equipamentos eletrônicos emite um baixo nível de ruído que é considerado normal.

## Vantagens expostas pelos fabricantes:



Latina



Master frio

- Mais leve e compacta (pode ser transportado para qualquer lugar);
- Melhor custo/benefício;
- Não utiliza gás ajudando na preservação do ambiente;
- Mais silencioso e não causa vibração;
- Modernidade – Tecnologia Peltier, um novo sistema de refrigeração eletrônica;
- Possibilidade do produto ser ligado de 100 a 240 Volts e possuir indicadores luminosos (LED's) que informam o status de funcionamento do produto.





# SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO TERMOELÉTRICA

## Algumas limitações do sistema Peltier segundo Marcos Ferreira de Souza, especialista de produtos da unidade de negócios Cooling Solutions da Embraco:

- Para começar, um bebedouro com compressor tem consumo de energia elétrica muito menor. Isso significa maior eficiência energética, resultando em menor gasto com a conta de eletricidade e menor impacto ao meio ambiente.
- O processo de refrigeração do compressor, baseado na compressão de vapor, proporciona uma performance superior para essa aplicação, diz Marcos. Isso significa que, com o compressor, o bebedouro deixa a água mais gelada e a resfria mais rapidamente. Quando o uso e a necessidade de água gelada são mais intensos, como ocorre em países mais quentes, o sistema Peltier não dá conta de repor logo o que é consumido. “Condições climáticas como as do Brasil são desfavoráveis aos bebedouros Eletrônicos. Em países de clima frio, seu uso é até aceitável, pois não há tanta demanda por água gelada. Mas aqui, numa escola ou num centro comercial com bastante movimento, não há como atender ao ritmo de consumo”.



# SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO TERMOELÉTRICA

## Algumas limitações do sistema Peltier segundo Marcos Ferreira de Souza, especialista de produtos da unidade de negócios Cooling Solutions da Embraco:

- A robustez e a resistência do compressor às oscilações de tensão da rede são outras vantagens que precisam ser consideradas.
- Há ainda outro fator favorável à escolha dos compressores no momento de projetar um novo bebedouro: a inexistência de componentes como microventilador, fonte, transformador e placa eletrônica, que são parte obrigatória de qualquer sistema à base do processo Peltier.
- Nas pesquisas com bebedouros que realizou, Marcos aponta ainda um caso extremo de projeto inadequado com o uso de Peltier. “Examinei bebedouros em que as pastilhas termoelétricas ficavam dentro do reservatório de água, como medida para ganhar espaço. Há uma possibilidade séria de contaminação da água que será bebida”, adverte.



# SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO EVAPORATIVO

[Ver animação](#)  
[Climatizador.exe](#)

- O condicionamento de ar por resfriamento evaporativo é um método ambientalmente amigável e energeticamente eficiente, que utiliza água como fluido de trabalho e pode ser uma alternativa econômica aos sistemas convencionais de ar condicionado.
- A evaporação da água é um processo bastante endotérmico, isto é, absorve muito calor do que quer que esteja em contato com ela (o ar).
- Um litro de água consome cerca de 580 kcal para evaporar à temperatura ambiente.
- No resfriamento evaporativo de ar, é o próprio ar que cede calor sensível para a água evaporar, tendo assim a sua temperatura reduzida.



# SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO EVAPORATIVO

## Vantagens expostas pelos fabricantes:

- Os custos de instalação e operação são uma fração dos custos de sistemas de ar condicionado convencionais.
- A necessidade de manutenção é mínima, e não exige mão de obra especializada.
- Não há compressores, condensadores, circuitos de alta pressão ou tubos isolados.
- Comparado a um ar condicionado equivalente, a economia de energia é de até 95%.
- O custo da adequação do ambiente ao sistema de climatização por resfriamento evaporativo também é muito baixo porque, ao contrário do que ocorre com sistemas de ar condicionado, **o espaço a ser climatizado não deve ser fechado** nem precisa ser tão bem isolado.
- São Ecológicos pois os resfriadores de ar evaporativos **funcionam apenas com água** e têm um consumo de energia muito baixo, não utilizam gases e não geram calor para resfriar.

# SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO EVAPORATIVO

A Tabela abaixo, mostra a redução de temperatura do ar prevista para um resfriador de ar evaporativo, em função da umidade relativa do ar para temperaturas de 25°C , 32°C e 37°C.

Temperatura de entrada do ar	25 °C	32 °C	37 °C
Umidade Relativa	Redução de Temperatura		
30%	8,5 °C	9,5 °C	11,0 °C
40%	7,0 °C	8,0 °C	8,5 °C
50%	5,5 °C	6,5 °C	7,0 °C
60%	4,5 °C	5,0 °C	5,5 °C
75%	2,5 °C	2,5 °C	3,0 °C

O gráfico abaixo mostra a redução de temperatura que ocorre na saída do resfriador.





# BIBLIOGRAFIA

- Anderson, E. P., Palmquist, R. E. *Manual de Geladeiras Residenciais, Comerciais e Industriais*. Editora Hemus;
- Silva, J. G. *Introdução à Tecnologia da Refrigeração e da Climatização*. 1ª edição. Editora Artliber, São Paulo, 2003;
- *Refrigeração e ar condicionado – Parte I*. Prof. Dr. Marcelo José Pirani – UFBA;
- *Refrigeração e ar condicionado – Parte I e Parte II*. Prof. Luiz Carlos Martinelli Jr. – UNIJUÍ;
- Carlos A. Lauand. *Manual Prático de Geladeiras - Refrigeração Industrial e Residencial*. Editora Hemus, 2004;
- Informativo técnico da Embraco - *Refrigerantes hidrocarbonos como substitutos ao R-12*. Código 93650, ago/95 - revisão nº 00, página 03 de 03;
- Informativo técnico da Embraco – *Manual de aplicação de compressores*;
- Informativo técnico da Embraco - *Misturas de Fluidos Refrigerantes Aprovadas pela Embraco (Blends)*. Código 97040, set/97 - revisão nº 00, página 02 de 02;
- Wilen V., G. J., Sonntag, R. E. & Borgnakke, C. *Fundamentos da Termodinâmica*. 5ª edição, São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 1995.
- Luiz Magno de Oliveira Mendes. *Refrigeração e Ar Condicionado*. Editora Ediouro. Rio de Janeiro, 1984;
- Aleksandro Guedes de Lima e Márcio Gomes da Silva. *Introdução à Refrigeração Doméstica*. CEFET-PB;
- *eLearningFull* – Software da Tecumseh, disponível em: [www.tecumseh.com.br](http://www.tecumseh.com.br);
- *Revista Fic Frio* – Tecumseh, nº 70, agosto/2006, disponível em: [www.tecumseh.com.br](http://www.tecumseh.com.br);
- *Revista Bola Preta* – Embraco, nº 83, junho/2006, disponível em: [www.bolapreta.com.br](http://www.bolapreta.com.br);
- *Revista Bola Preta* – Embraco, nº 94, março/2008, disponível em: [www.bolapreta.com.br](http://www.bolapreta.com.br);
- *Revista Bola Preta* – Embraco, nº 97, dezembro/2008, disponível em: [www.bolapreta.com.br](http://www.bolapreta.com.br);
- *Climatização Evaporativa*, disponível em: [www.gjbrasil.com.br](http://www.gjbrasil.com.br);
- *Climatização Evaporativa*, disponível em: [www.climatizadorescampinas.com.br](http://www.climatizadorescampinas.com.br).
- *Arquivos em Flash*. Fernandes – UFC – SENAI /CE, 2007.



# FIM

23