

D.01.01 – Fundamentos de Refrigeração

Refrigeração e Condicionamento de Ar

Prof. C. Naaktgeboren, PhD



<https://github.com/CNThermSci/AppThermSci>

Compiled on 2021-02-16 02h45m56s UTC

1 Sistemas e Processos de Refrigeração

- Introdução
- Classificação dos Sistemas
- Processos de Refrigeração

2 Aplicações de Refrigeração

- Classificação por Capacidade
- Classificação por Aplicação

3 Referências e Tópicos de Leitura

Esta apresentação baseia-se primordialmente na referência [1], **Capítulo 1** (tópico de leitura).

Introdução à Refrigeração

- Refrigeração é a ação de **remoção de calor** de um **corpo ou espaço fechado** com o propósito de **reduzir sua temperatura**;

Introdução à Refrigeração

- Refrigeração é a ação de **remoção de calor** de um **corpo ou espaço fechado** com o propósito de **reduzir sua temperatura**;
- Sistemas de refrigeração fazem isso criando uma **superfície fria** para troca de calor com o sistema a ser resfriado;

Introdução à Refrigeração

- Refrigeração é a ação de remoção de calor de um **corpo ou espaço fechado** com o propósito de **reduzir sua temperatura**;
- Sistemas de refrigeração fazem isso criando uma **superfície fria** para troca de calor com o sistema a ser resfriado;
- Devido à **segunda lei da termodinâmica**, a superfície fria deve ser de **menor temperatura** em relação àquela objetivada para o sistema a ser resfriado.

Introdução à Refrigeração

- Em **regime permanente**, o sistema de refrigeração **não acumula energia térmica** (interna); assim, o calor retirado do espaço refrigerado é **transferido para um meio externo**;

Introdução à Refrigeração

- Em **regime permanente**, o sistema de refrigeração **não acumula energia térmica** (interna); assim, o calor retirado do espaço refrigerado é **transferido para um meio externo**;
- Sistemas de refrigeração fazem isso criando uma **superfície quente** para troca de calor com o meio externo;

Introdução à Refrigeração

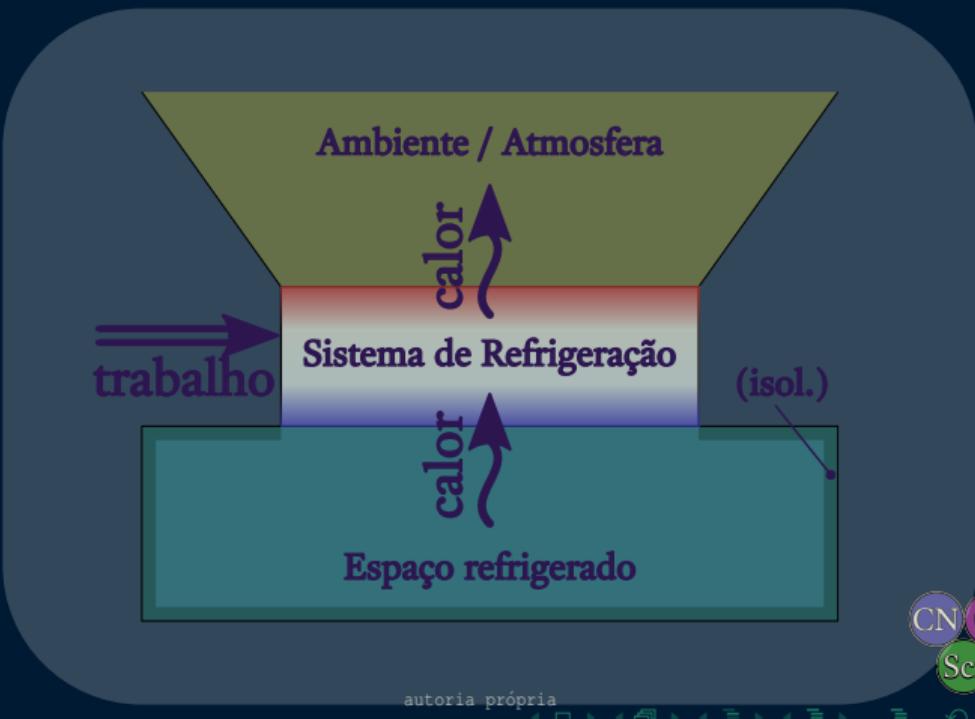
- Em **regime permanente**, o sistema de refrigeração **não acumula energia térmica** (interna); assim, o calor retirado do espaço refrigerado é **transferido para um meio externo**;
- Sistemas de refrigeração fazem isso criando uma **superfície quente** para troca de calor com o meio externo;
- Devido à **segunda lei da termodinâmica**, a superfície quente deve ser de maior temperatura em relação ao meio externo.

Introdução à Refrigeração

- Em **regime permanente**, o sistema de refrigeração **não acumula energia térmica** (interna); assim, o calor retirado do espaço refrigerado é **transferido para um meio externo**;
- Sistemas de refrigeração fazem isso criando uma **superfície quente** para troca de calor com o meio externo;
- Devido à **segunda lei da termodinâmica**, a superfície quente deve ser de maior **temperatura** em relação ao meio externo.
- Também pela **segunda lei**, a operação do sistema de refrigeração não ocorre espontaneamente, havendo a necessidade de **fornecimento de trabalho**.

Introdução à Refrigeração

- O esquemático ilustra um refrigerador genérico;
- Sistemas e interações energéticas são identificados;
- As cores empregadas são indicativas de temperatura.



Tipos de Sistemas de Refrigeração

Dentre os tipos de sistema de refrigeração, destaca-se:

- Sistemas de **compressão de vapor**;

Tipos de Sistemas de Refrigeração

Dentre os tipos de sistema de refrigeração, destaca-se:

- Sistemas de **compressão de vapor**;
- Sistemas à **ar** ou à **gás**;

Tipos de Sistemas de Refrigeração

Dentre os tipos de sistema de refrigeração, destaca-se:

- Sistemas de **compressão de vapor**;
- Sistemas à **ar** ou à **gás**;
- Sistemas de **absorção**;

Tipos de Sistemas de Refrigeração

Dentre os tipos de sistema de refrigeração, destaca-se:

- Sistemas de **compressão de vapor**;
- Sistemas à **ar ou à gás**;
- Sistemas de **absorção**;
- Sistemas **termo-elétricos**;

Tipos de Sistemas de Refrigeração

Dentre os tipos de sistema de refrigeração, destaca-se:

- Sistemas de **compressão de vapor**;
- Sistemas à **ar ou à gás**;
- Sistemas de **absorção**;
- Sistemas **termo-elétricos**;
- Resfriadores **evaporativos**.

Sistemas por Compressão de Vapor

- É o tipo atualmente **mais comumente utilizado** na atualidade;

Sistemas por Compressão de Vapor

- É o tipo atualmente **mais comumente utilizado** na atualidade;
- O **fluido de trabalho** de tais sistemas é chamado de **refrigerante**;

Sistemas por Compressão de Vapor

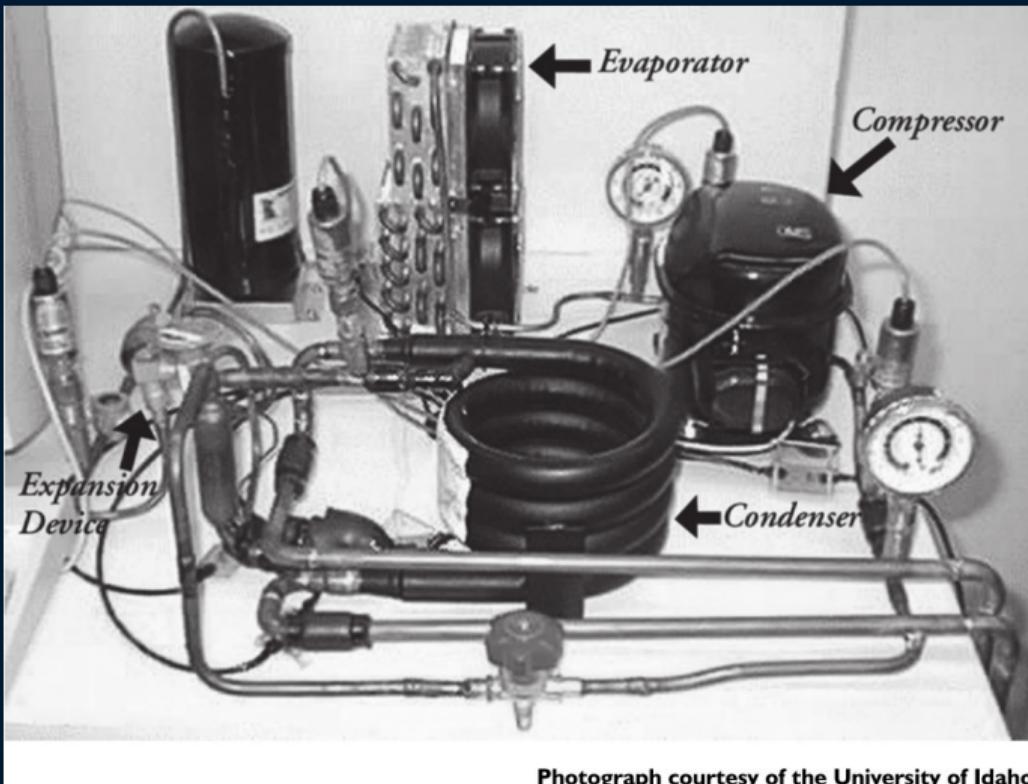
- É o tipo atualmente **mais comumente utilizado** na atualidade;
- O **fluido de trabalho** de tais sistemas é chamado de **refrigerante**;
- Em tais ciclos os refrigerantes **mudam de fase** entre **líquido e vapor**;

Sistemas por Compressão de Vapor

- É o tipo atualmente **mais comumente utilizado** na atualidade;
- O **fluido de trabalho** de tais sistemas é chamado de **refrigerante**;
- Em tais ciclos os refrigerantes **mudam de fase** entre **líquido e vapor**;
- Os principais componentes são: **evaporador, compressor, condensador e dispositivo de expansão**;

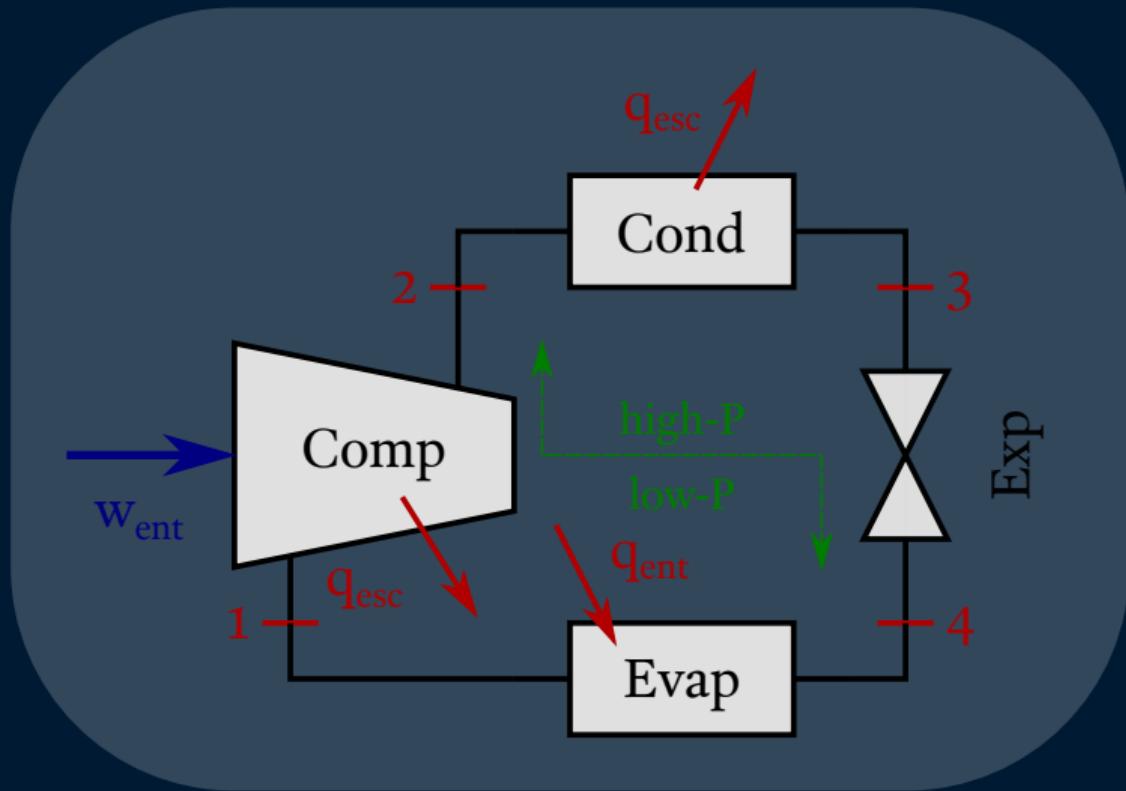
Sistemas por Compressão de Vapor

- É o tipo atualmente **mais comumente utilizado** na atualidade;
- O **fluido de trabalho** de tais sistemas é chamado de **refrigerante**;
- Em tais ciclos os refrigerantes **mudam de fase** entre **líquido e vapor**;
- Os principais componentes são: **evaporador, compressor, condensador e dispositivo de expansão**;
- Um pequeno sistema (**ciclo**) é ilustrado a seguir:



Photograph courtesy of the University of Idaho

Sistema simples de refrigeração por compressão de vapor.
Fonte: referência [1]



Esquemático de sistema de refrigeração por compressão de vapor.
Fonte: autoria própria

Sistemas a Ar (Gás)

- O fluido de trabalho de tais sistemas é um gás, geralmente o ar;

Sistemas a Ar (Gás)

- O fluido de trabalho de tais sistemas é um gás, geralmente o ar;
- Nos sistemas a gás, o fluido de trabalho não muda de fase, sendo sempre um gás;

Sistemas a Ar (Gás)

- O fluido de trabalho de tais sistemas é um gás, geralmente o ar;
- Nos sistemas a gás, o fluido de trabalho não muda de fase, sendo sempre um gás;
- Processos incluem o de (i) compressão de ar, no qual a sua temperatura aumenta;

Sistemas a Ar (Gás)

- O fluido de trabalho de tais sistemas é um gás, geralmente o ar;
- Nos sistemas a gás, o fluido de trabalho não muda de fase, sendo sempre um gás;
- Processos incluem o de (i) compressão de ar, no qual a sua temperatura aumenta;
- (ii) troca de calor (sensível) para a atmosfera, no qual a sua temperatura diminui;

Sistemas a Ar (Gás)

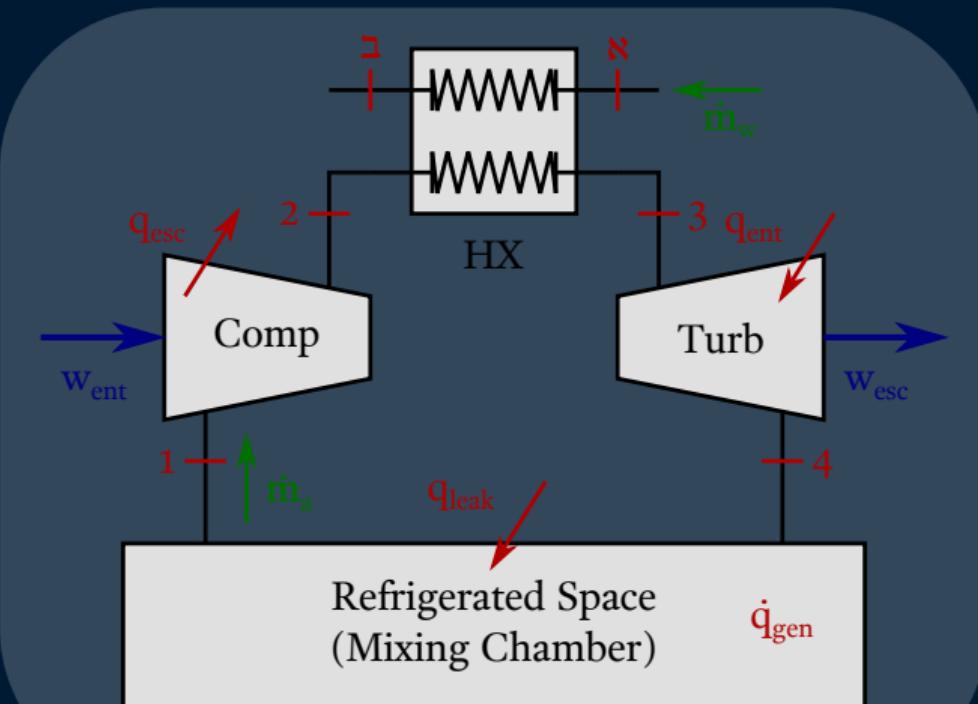
- O fluido de trabalho de tais sistemas é um gás, geralmente o ar;
- Nos sistemas a gás, o fluido de trabalho não muda de fase, sendo sempre um gás;
- Processos incluem o de (i) compressão de ar, no qual a sua temperatura aumenta;
- (ii) troca de calor (sensível) para a atmosfera, no qual a sua temperatura diminui;
- (iii) expansão em um dispositivo que recupera trabalho, que provoca a redução da temperatura do ar;

Sistemas a Ar (Gás)

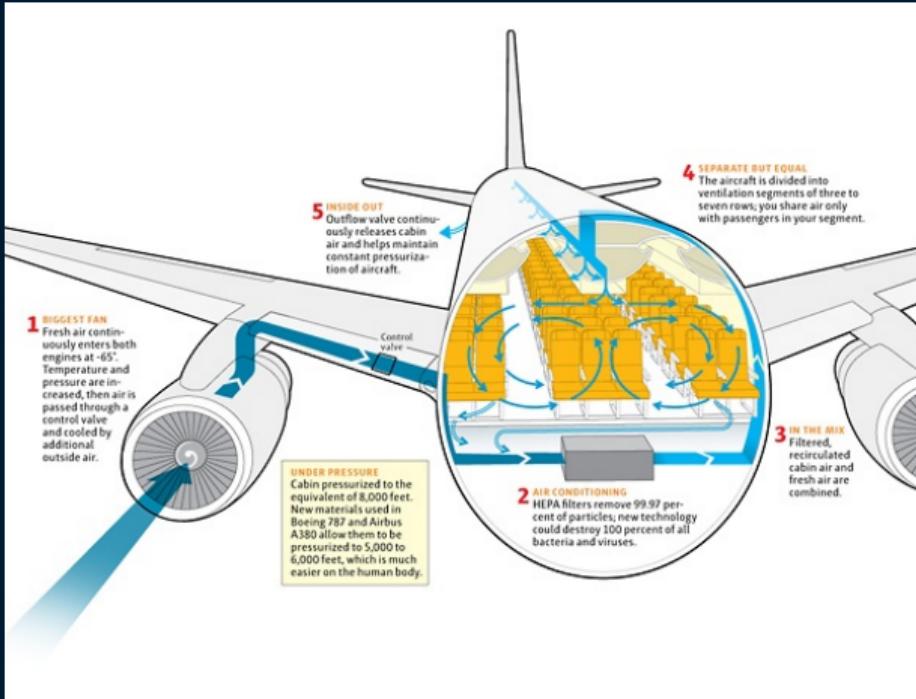
- O fluido de trabalho de tais sistemas é um gás, geralmente o ar;
- Nos sistemas a gás, o fluido de trabalho não muda de fase, sendo sempre um gás;
- Processos incluem o de (i) compressão de ar, no qual a sua temperatura aumenta;
- (ii) troca de calor (sensível) para a atmosfera, no qual a sua temperatura diminui;
- (iii) expansão em um dispositivo que recupera trabalho, que provoca a redução da temperatura do ar;
- (iv) mistura do ar expandido com aquele do espaço refrigerado, ou seja: injeção de ar frio diretamente no espaço refrigerado.

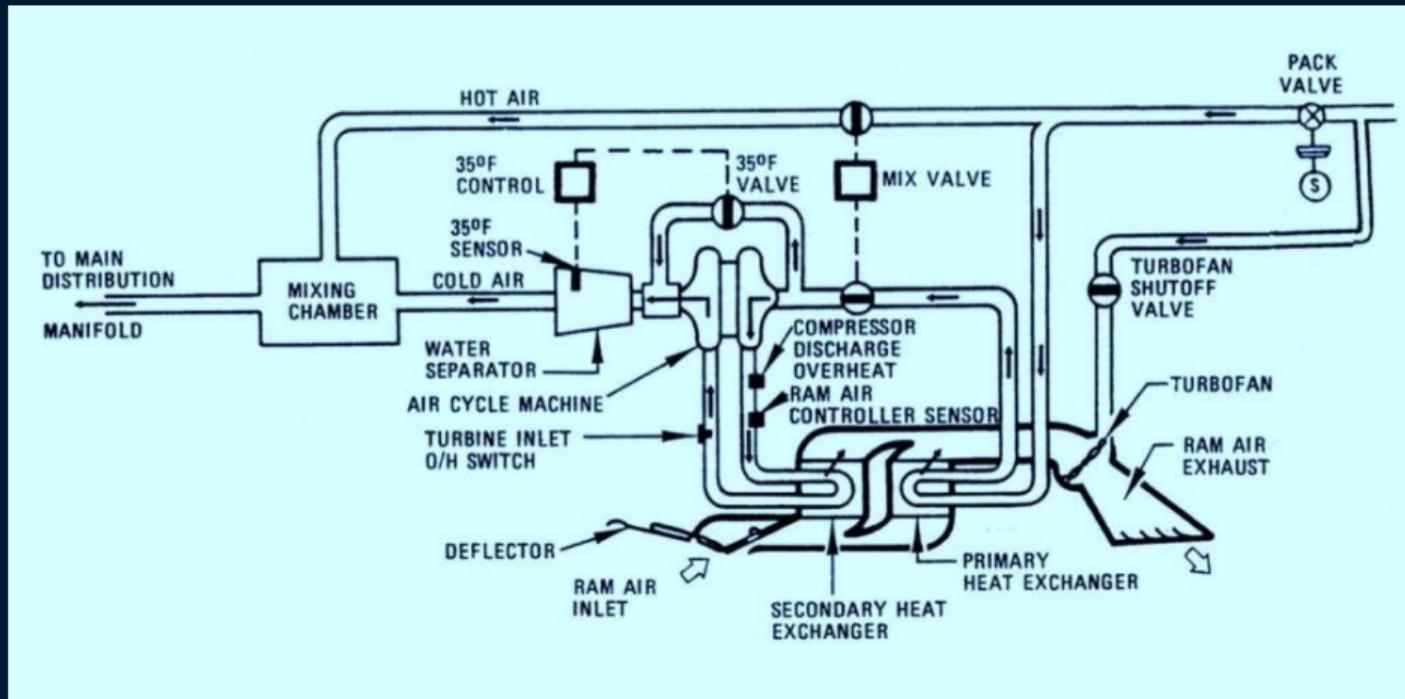
Sistemas a Ar (Gás)

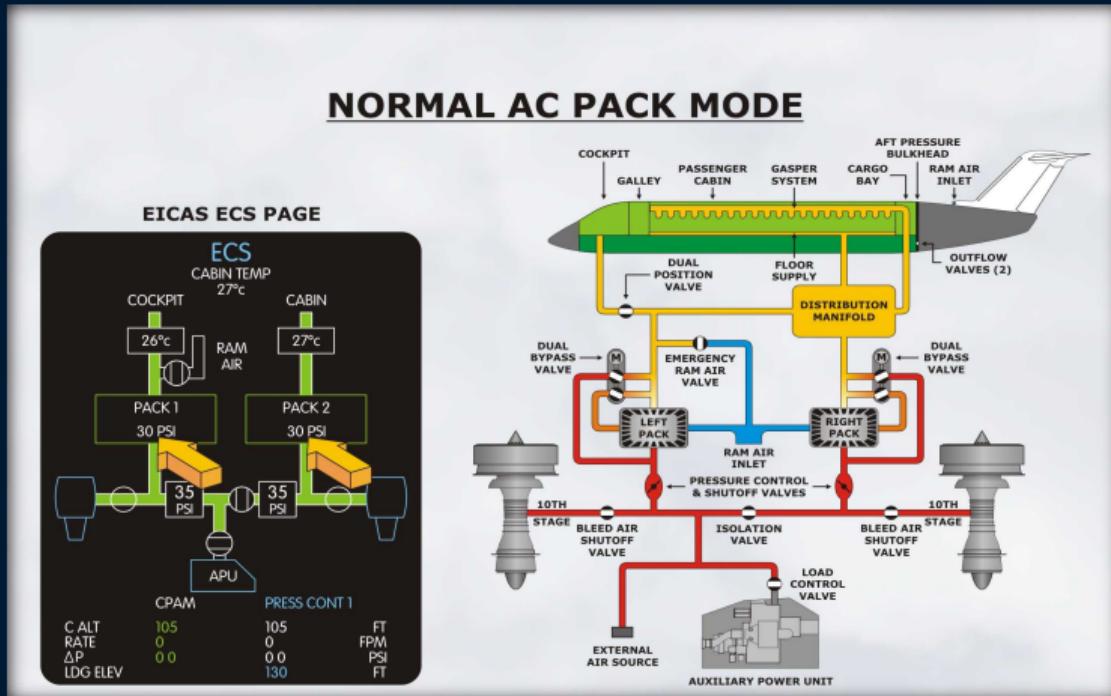
- O fluido de trabalho de tais sistemas é um gás, geralmente o ar;
- Nos sistemas a gás, o fluido de trabalho não muda de fase, sendo sempre um gás;
- Processos incluem o de (i) compressão de ar, no qual a sua temperatura aumenta;
- (ii) troca de calor (sensível) para a atmosfera, no qual a sua temperatura diminui;
- (iii) expansão em um dispositivo que recupera trabalho, que provoca a redução da temperatura do ar;
- (iv) mistura do ar expandido com aquele do espaço refrigerado, ou seja: injeção de ar frio diretamente no espaço refrigerado.
- Sistemas e variantes são ilustrados a seguir:

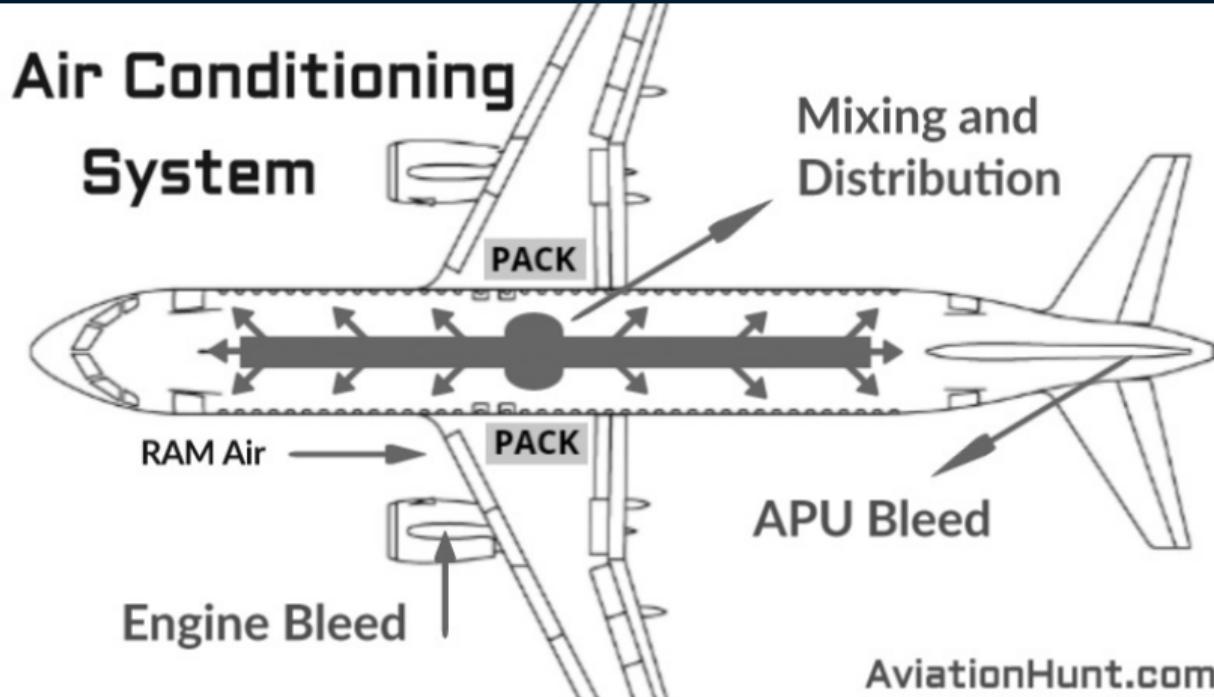


Esquemático de sistema de refrigeração a ar.
Fonte: autoria própria









Sistemas de Absorção

- Sistemas de **absorção** são semelhantes a sistemas a **vapor**;

Sistemas de Absorção

- Sistemas de **absorção** são semelhantes a sistemas a **vapor**;
- Porém, sistemas de absorção trocam **compressão de gás** por **bombeamento de líquido**;

Sistemas de Absorção

- Sistemas de **absorção** são semelhantes a sistemas a **vapor**;
- Porém, sistemas de absorção trocam **compressão de gás** por **bombeamento de líquido**;
- Isto evidentemente **economiza trabalho**;

Sistemas de Absorção

- Sistemas de **absorção** são semelhantes a sistemas a **vapor**;
- Porém, sistemas de absorção trocam **compressão de gás** por **bombeamento de líquido**;
- Isto evidentemente **economiza trabalho**;
- Porém exige **fornecimentos e retiradas de calor** extras na **absorção e geração** do vapor;

Sistemas de Absorção

- Sistemas de **absorção** são semelhantes a sistemas a **vapor**;
- Porém, sistemas de absorção trocam **compressão de gás** por **bombeamento de líquido**;
- Isto evidentemente **economiza trabalho**;
- Porém exige **fornecimentos e retiradas de calor** extras na **absorção e geração** do vapor;
- Tais sistemas utilizam fluidos **refrigerante e absorvente**;

Sistemas de Absorção

- Sistemas de **absorção** são semelhantes a sistemas a **vapor**;
- Porém, sistemas de absorção trocam **compressão de gás** por **bombeamento de líquido**;
- Isto evidentemente **economiza trabalho**;
- Porém exige **fornecimentos e retiradas de calor** extras na **absorção e geração** do vapor;
- Tais sistemas utilizam fluidos **refrigerante e absorvente**;
- Variantes **mais comuns**: (i) NH₃ em H₂O e (ii) H₂O em LiBr;

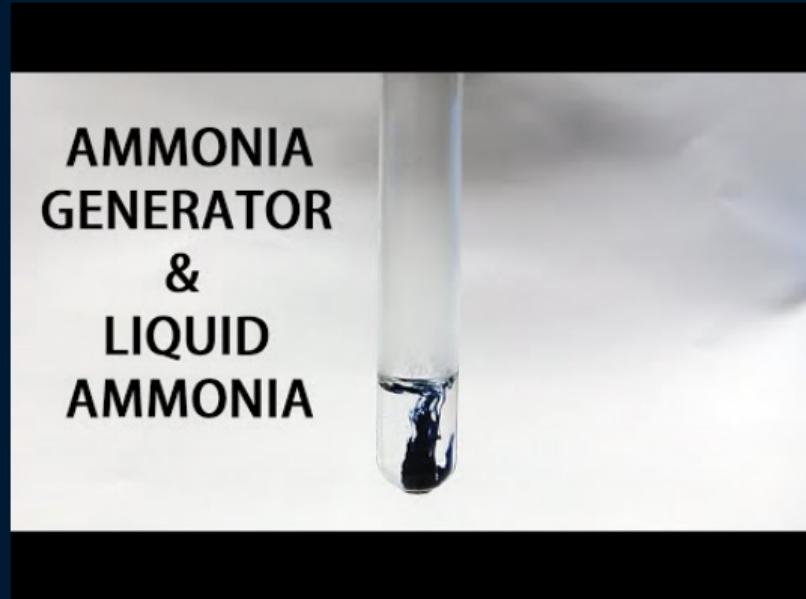
Sistemas de Absorção

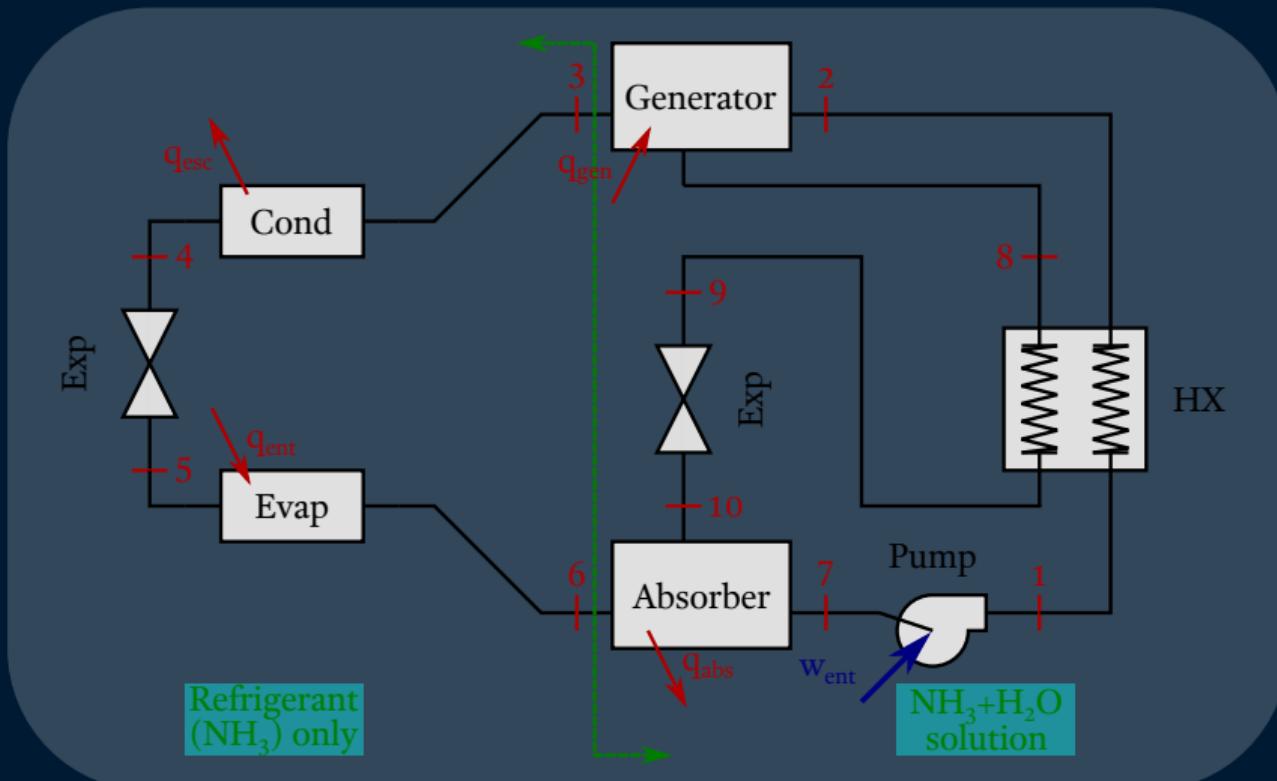
- Sistemas de **absorção** são semelhantes a sistemas a **vapor**;
- Porém, sistemas de absorção trocam **compressão de gás** por **bombeamento de líquido**;
- Isto evidentemente **economiza trabalho**;
- Porém exige **fornecimentos e retiradas de calor** extras na **absorção e geração** do vapor;
- Tais sistemas utilizam fluidos **refrigerante e absorvente**;
- Variantes **mais comuns**: (i) NH₃ em H₂O e (ii) H₂O em LiBr;
- Solubilidade do refrigerante no absorvente é **função da temperatura**.

Sistemas de Absorção – Solubilidade de NH₃ em H₂O



Sistemas de Absorção – Solubilidade de NH₃ em H₂O



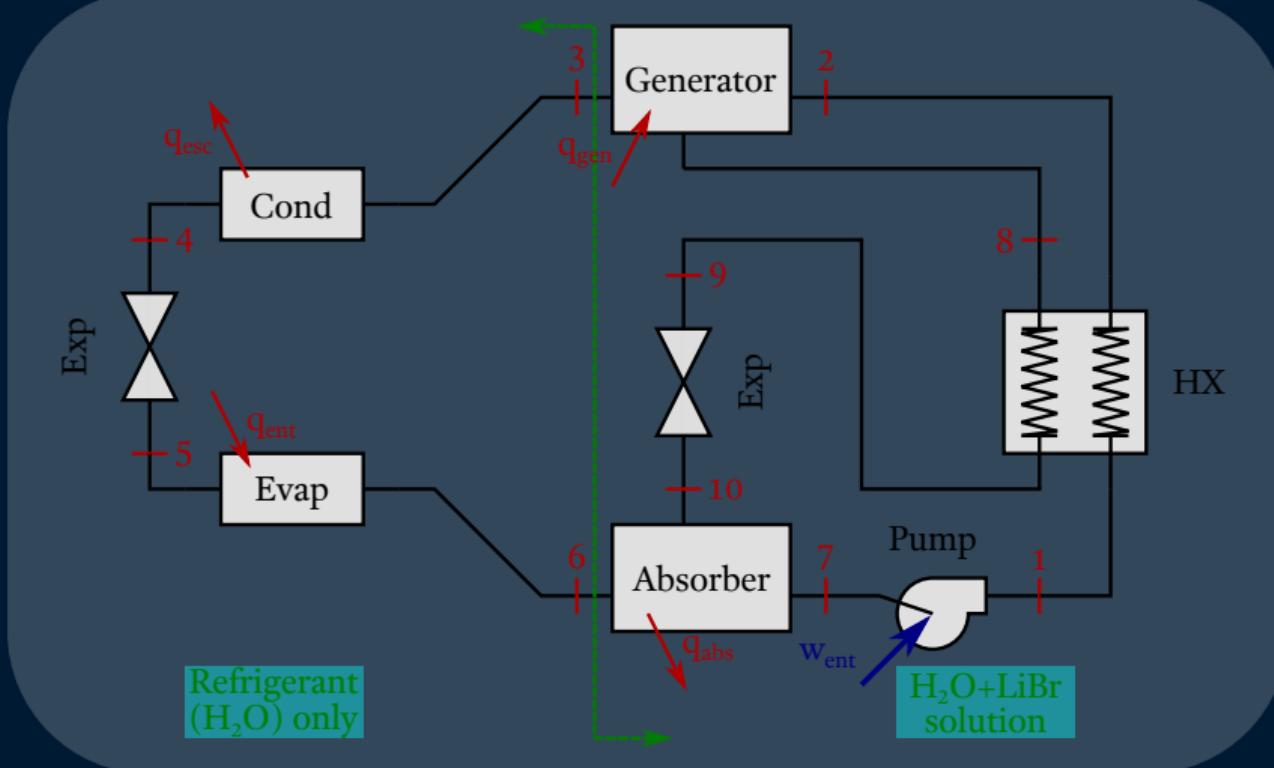


Esquemático de sistema de refrigeração por absorção Água-Amônia.
Fonte: autoria própria

Table I. Crystallization Points of Aqueous Lithium Bromide Solutions at 1 atm.

Temperature (K)	Concentration of Lithium bromide (%)
309.15	64.01
301.15	61.64
288.15	59.30
269.65	56.65
260.15	53.98
251.15	52.20
242.15	50.49

Sistema simples de refrigeração por compressão de vapor.
Fonte: referência [2]





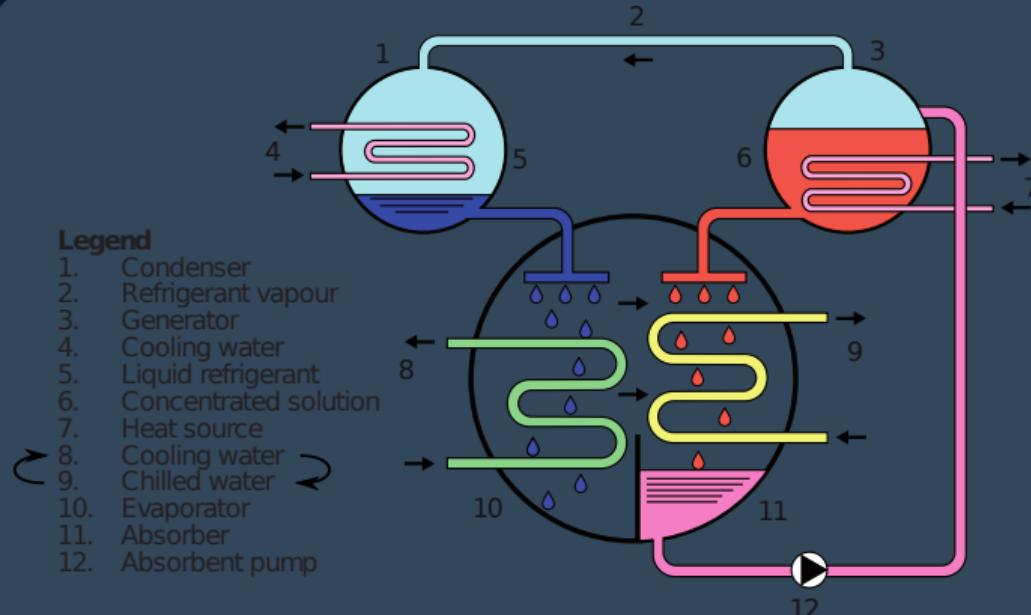


Figure 1 - Simplified absorption cycle

Sistemas Termo-Elétricos

- Exploram o **efeito Peltier**;

Sistemas Termo-Elétricos

- Exploram o **efeito Peltier**;
- Resfriamento e aquecimento de junções **semicondutoras dissimilares**;

Sistemas Termo-Elétricos

- Exploram o **efeito Peltier**;
- Resfriamento e aquecimento de junções **semicondutoras dissimilares**;
- Pela passagem de corrente elétrica, i.e., trabalho **elétrico**.

Sistemas Termo-Elétricos

- Exploram o **efeito Peltier**;
- Resfriamento e aquecimento de junções **semicondutoras dissimilares**;
- Pela passagem de corrente elétrica, i.e., trabalho **elétrico**.
- Superfície fria pode **absorver calor** do espaço refrigerado;

Sistemas Termo-Elétricos

- Exploram o **efeito Peltier**;
- Resfriamento e aquecimento de junções **semicondutoras dissimilares**;
- Pela passagem de corrente elétrica, i.e., trabalho **elétrico**.
- Superfície fria pode **absorver calor** do espaço refrigerado;
- Superfície aquecida pode **transferir calor** ao ambiente;

Sistemas Termo-Elétricos

- Exploram o **efeito Peltier**;
- Resfriamento e aquecimento de junções **semicondutoras dissimilares**;
- Pela passagem de corrente elétrica, i.e., trabalho **elétrico**.
- Superfície fria pode **absorver calor** do espaço refrigerado;
- Superfície aquecida pode **transferir calor** ao ambiente;
- Sistemas **práticos** utilizam juntas semicondutoras em série ($\uparrow \Delta T$).



Photograph courtesy of Thermoelectric Cooler of America, Inc.

(a)

(b)

Figure 1-5 Thermoelectric coolers in two configurations: (a) with a flat cold plate and (b) using an air fan.

Sistema simples de refrigeração por compressão de vapor.
Fonte: referência [1]









Resfriadores Evaporativos

Coluna com 55% de largura:

- Item 1;

Coluna com 45% de largura.



Resfriadores Evaporativos

Coluna com 55% de largura:

- Item 1;
- Item 2;

Coluna com 45% de largura.



Resfriadores Evaporativos

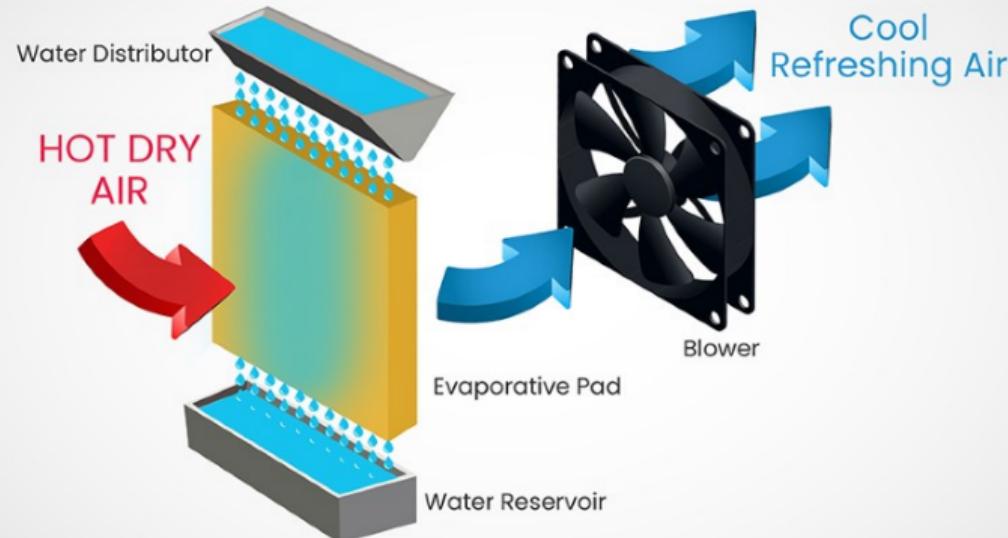
Coluna com 55% de largura:

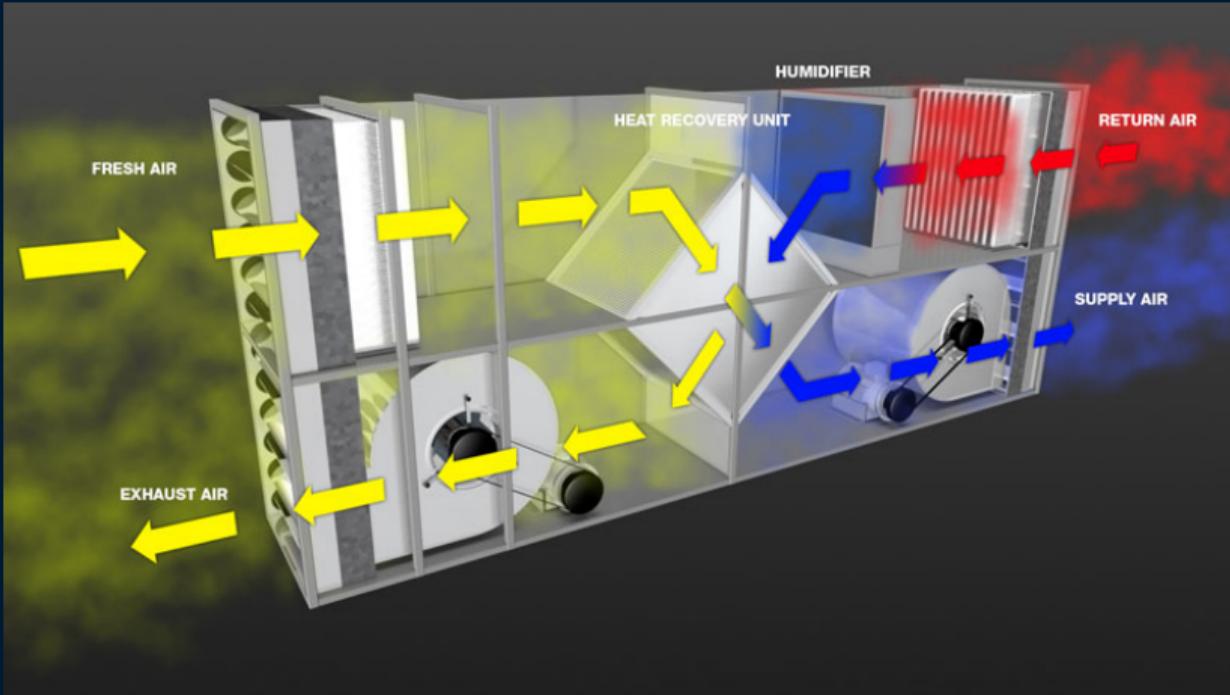
- Item 1;
- Item 2;
- Item 3.

Coluna com 45% de largura.

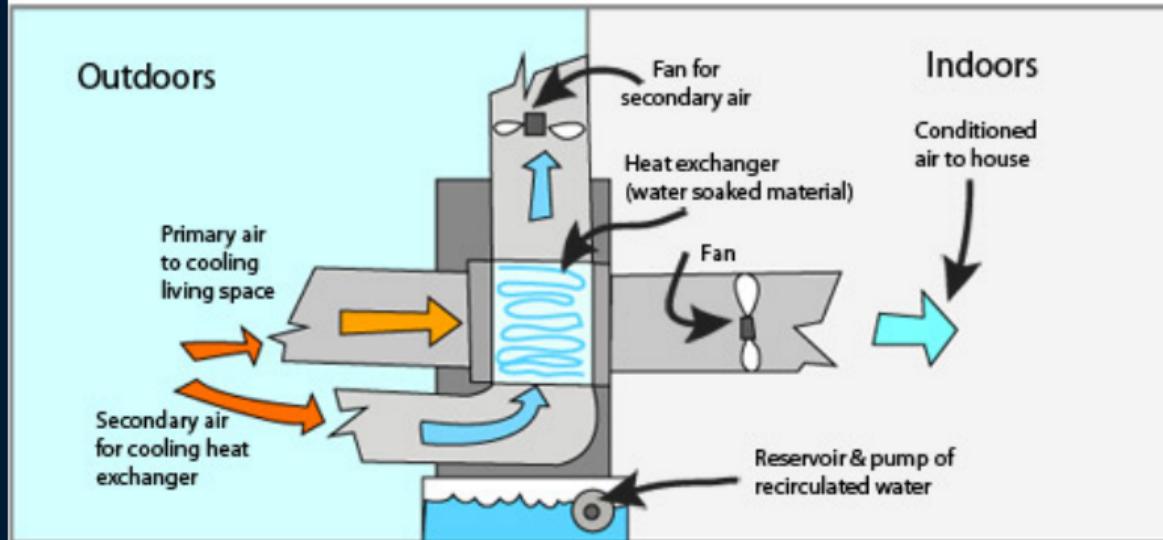


HOW EVAPORATIVE COOLING WORKS





2-Stage or Indirect/Direct Evaporative Cooling



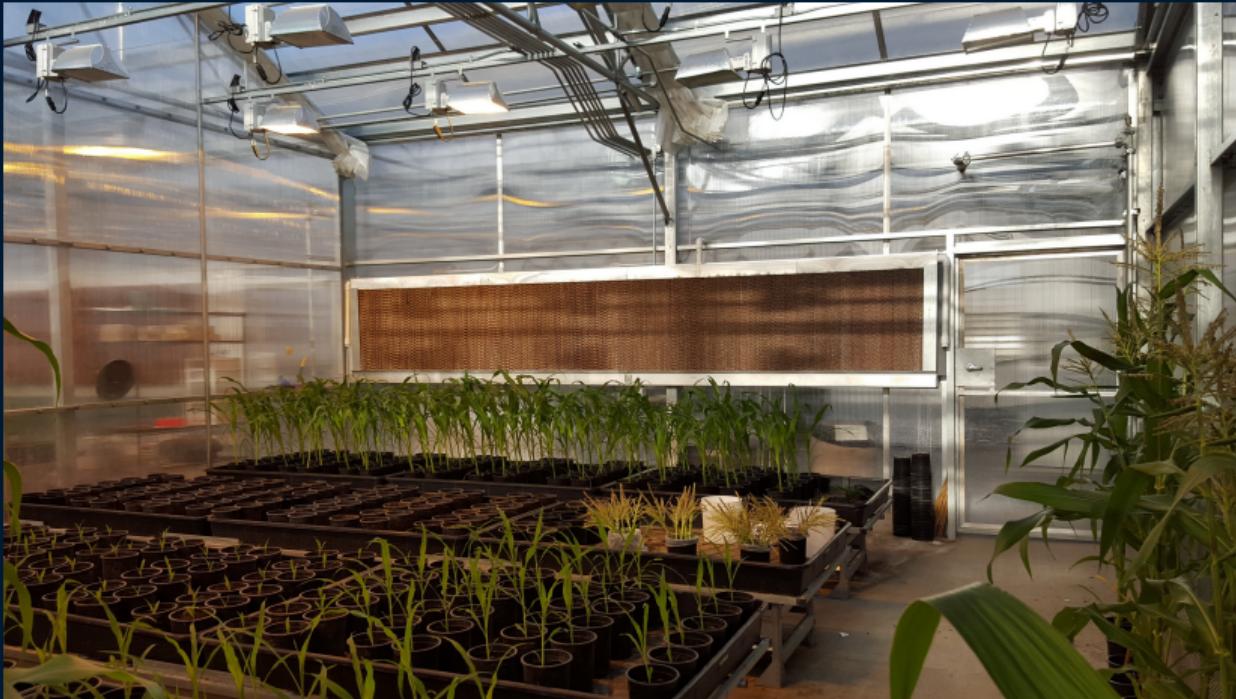














Ciclo de Refrigeração por Compressão de Vapor

- Definições;
- Item 2;
- Item 3.

Ciclo Bomba de Calor

- Definições;
- Item 2;
- Item 3.

O Ramo de Refrigeração

- Doméstico, menos de 20 kW;

O Ramo de Refrigeração

- Doméstico, menos de 20 kW;
- Comercial, mais de 20 kW;

O Ramo de Refrigeração

- Doméstico, menos de 20 kW;
- Comercial, mais de 20 kW;
- Industrial, de pequeno a muito grande.

Aplicações de Refrigeração

- Condicionamento de ar residencial;

Aplicações de Refrigeração

- Condicionamento de ar residencial;
- Condicionamento de ar veicular;

Aplicações de Refrigeração

- Condicionamento de ar residencial;
- Condicionamento de ar veicular;
- Condicionamento de ar de médios e grandes edificações;

Aplicações de Refrigeração

- Condicionamento de ar residencial;
- Condicionamento de ar veicular;
- Condicionamento de ar de médios e grandes edificações;
- Transporte de cargas;

Aplicações de Refrigeração

- Condicionamento de ar residencial;
- Condicionamento de ar veicular;
- Condicionamento de ar de médios e grandes edificações;
- Transporte de cargas;
- Refrigeração residencial;

Aplicações de Refrigeração

- Condicionamento de ar residencial;
- Condicionamento de ar veicular;
- Condicionamento de ar de médios e grandes edificações;
- Transporte de cargas;
- Refrigeração residencial;
- Refrigeração de máquinas de venda;

Aplicações de Refrigeração

- Condicionamento de ar residencial;
- Condicionamento de ar veicular;
- Condicionamento de ar de médios e grandes edificações;
- Transporte de cargas;
- Refrigeração residencial;
- Refrigeração de máquinas de venda;
- Ar-condicionado industrial;

Aplicações de Refrigeração

- Condicionamento de ar residencial;
- Condicionamento de ar veicular;
- Condicionamento de ar de médios e grandes edificações;
- Transporte de cargas;
- Refrigeração residencial;
- Refrigeração de máquinas de venda;
- Ar-condicionado industrial;
- Refrigeração industrial;

Ar-condicionado Industrial

- Item 1;

Ar-condicionado Industrial

- Item 1;
- Item 2;

Ar-condicionado Industrial

- Item 1;
- Item 2;
- Item 3.

Refrigeração Industrial

- Item 1;

Refrigeração Industrial

- Item 1;
- Item 2;

Refrigeração Industrial

- Item 1;
- Item 2;
- Item 3.

Referências – I

- [1] D. L. Fenton.
Fundamentals of refrigeration: A course book for self-directed or group learning.
ASHRAE, second edition edition, 2016.
- [2] R. Peters, R. Busse, and J. U. Keller.
Solid-liquid equilibria in the systems NH₃-H₂O-LiBr and H₂O-LiBr at p=1 atm in the range from -35 to 80°C.
International Journal of Thermophysics, 14(4):763–775, 1993.



Photo by Pixabay from Pexels

<https://www.pexels.com/photo/cold-dark-eerie-fear-207985/>