D.01.01 – Fundamentos de Refrigeração

Refrigeração e Condicionamento de Ar

Prof. C. Naaktgeboren, PhD

CC BY NC ND

https://github.com/CNThermSci/ApplThermSci

Compiled on 2021-02-16 04h05m53s UTC

1. Sistemas e Processos de Refrigeração
   - Introdução
   - Classificação dos Sistemas
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 tranferido 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 tranferido 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 tranferido 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 tranferido 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.

autoria própria

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

http://4.bp.blogspot.com/-fGd1YNCGIaQ/TuGCpcMtVAI/AAAAAAAAABI/syaxzGtllhQ/s1600/ref-sys-vap.jpg

https://engineering.humboldt.edu/sites/default/files/images/tech_images/vcrs2.jpg

www.johnsoncontrols.com/en_gb/~/media/jci/be/czech-republic/products/industrial-refrigeration/images/be_sabroe_cmo_reciprocating_compressor_units.jpg

https://www.process-cooling.com/ext/resources/issues/May2015/GEA/PC0515_SlideFeatureGallery_GEA_3.jpg

https://www.withnellsensors.co.uk/wp-content/uploads/2020/08/custom-vapor-compression-refrigeration-systems.jpg

https://sylcoc.com/wp-content/uploads/2017/04/AdobeStock_116177820.jpeg

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

https://i.pinimg.com/736x/dc/32/a9/dc32a9489de46dd04afc0e2cb041c798.jpg

https://www.keyshone.com/wp-content/uploads/2019/04/environment-control-systems-in-aircraft-1024x507.jpg

https://i.stack.imgur.com/jiw8w.jpg

https://www.aviationhunt.com/wp-content/uploads/2019/04/airplane-ac.jpg

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) NH_3 em H_2O e (ii) H_2O 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) NH_3 em H_2O e (ii) H_2O em LiBr;
- Solubilidade do refrigerante no absorvente é função da temperatura.

Sistemas de Absorção – Solubilidade de NH_3 em H_2O

https://www.youtube.com/watch?v=NO7V6TMQuBs

https://www.youtube.com/watch?v=LiJ328a6Ld0

Sistemas de Absorção – Solubilidade de NH_3 em H_2O

https://www.youtube.com/watch?v=vgBe0fsPcjk

https://www.youtube.com/watch?v=gHokrNSlask

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]

Esquemático de sistema de refrigeração por absorção Brometo de Lítio-Água. Ciclos em chillers industriais podem diferir significativamente com a tecnologia de cada fabricante.
Fonte: autoria própria

https://en.ahi-carrier.gr/wp-content/uploads/2020/04/16DJ-Absorption-Chiller.jpg

Figure 1 - Simplified absorption cycle

Ciclo de absorção LiBr-água simplificado.
Fonte: https://www/en.ahi-carrier.gr/wp-content/uploads/2017/10/PSD-16DJ_11-82.pdf

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]

https://eenews.cdnartwhere.eu/sites/default/files/styles/facebook/public/sites/default/files/images/laird_thermal_systems_da-280_series_image.jpg

https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1QN7Wov6H8KJjSspmq6z2WXXa0/Newstyle-Thermoelectric-Cooler-Semiconductor-Refrigeration-Cooling-System-Water-Chiller-DIY-Cooler-Semiconductors-

.rvpartscountry.com

https://cdn.shopify.com

https://images.homedepot-static.com

https://www.thewrightbuy.co.uk

Resfriadores Evaporativos

- Funcionam por evaporação direta de água no ar;

https://i.pinimg.com

Resfriadores Evaporativos

- Funcionam por evaporação direta de água no ar;
- Exemplo: mecanismo de sudorese do nosso corpo;

https://i.pinimg.com

Resfriadores Evaporativos

- Funcionam por evaporação direta de água no ar;
- Exemplo: mecanismo de sudorese do nosso corpo;
- Eficazes em locais secos, desérticos;

https://i.pinimg.com

Resfriadores Evaporativos

- Funcionam por evaporação direta de água no ar;
- Exemplo: mecanismo de sudorese do nosso corpo;
- Eficazes em locais secos, desérticos;
- Empregado em condicionamento de ar e em refrigeração;

https://i.pinimg.com

Resfriadores Evaporativos

- Funcionam por evaporação direta de água no ar;
- Exemplo: mecanismo de sudorese do nosso corpo;
- Eficazes em locais secos, desérticos;
- Empregado em condicionamento de ar e em refrigeração;
- Empregado em sistemas passivos e também ativos.

https://i.pinimg.com

https://piec.com/wp-content/uploads/How-Does-Evaportive-Cooling-Work.jpg

https://www.condair.co.uk/m/0/know-exhaust-air-evap-1.jpg

http://images.drenergysaver.com/321/evaporative-cooling-lg.jpg

https://www.coltinfo.ae/files/images/products_systems/Product%20images/Coolstream/An%20installed%20Coolstream%20evaporative%20cooling%20unit.JPG

https://www.bsee.co.uk/wp-content/uploads/Breezair-installation.jpg

https://www.vertiv.com/globalassets/images/on-page-image/800x600/800x600-indirect-evaporative-no-high-res_271546_0.jpg

https://i5.walmartimages.com

https://www.allthingsgud.com

https://luckyretail.com

https://imagens.mfrural.com.br

http://www.agratech.com/cms/upload/post/images/agra-tech-commercial-greenhouse-manufacturer-evaporative-cooling_2.jpg

https://jwafs.mit.edu/sites/default/files/styles/body_image/public/imce/projects/Seed/2019_Frey_Glicksman_Verploegen/01_Feature_papayas_cooling_system_777x584.jpg

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 médias e grandes edificações;

Aplicações de Refrigeração

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

Aplicações de Refrigeração

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

Aplicações de Refrigeração

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

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/