

## 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 04h06m02s UTC



Prof. C. Naaktgeboren, PhD

D.01.01 – Fundamentos de Refrigeração

### 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



Prof. C. Naaktgeboren, PhD

D.01.01 – Fundamentos de Refrigeração

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;
- 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.



Prof. C. Naaktgeboren, PhD

D.01.01 – Fundamentos de Refrigeração



Prof. C. Naaktgeboren, PhD

D.01.01 – Fundamentos de Refrigeração

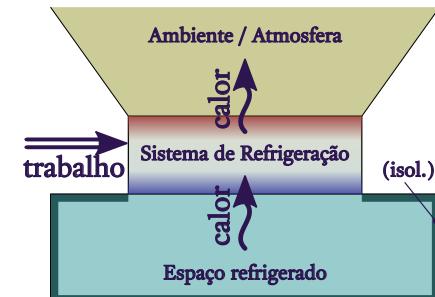


## Introdução à Refrigeração

- 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.



autoria própria

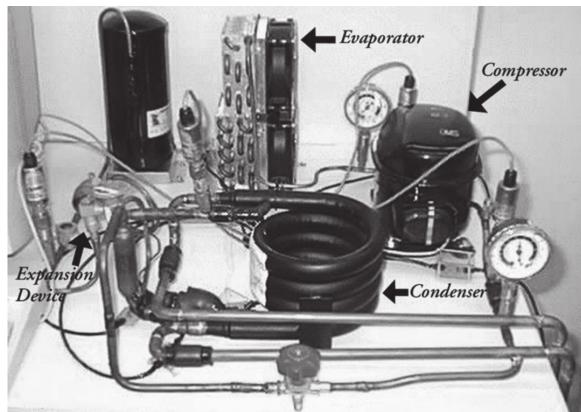
## Tipos de Sistemas de Refrigeração

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**.

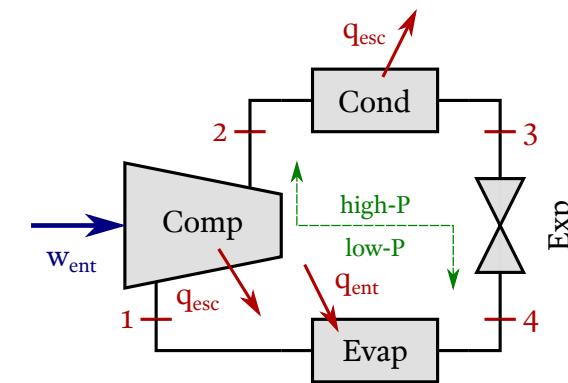
## Sistemas por Compressão de Vapor

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

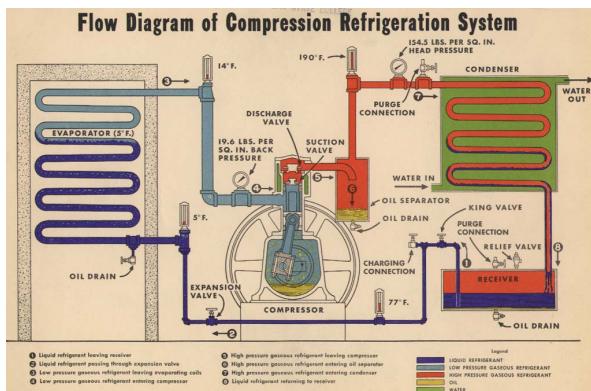


Photograph courtesy of the University of Idaho

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/TuGCpcM7VAI/AAAAAAAAB1/syaxzGt1hQ/s1600/ref-sys-vap.jpg>



[https://engineering.humboldt.edu/sites/default/files/images/tech\\_images/vcrs2.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](http://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.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>

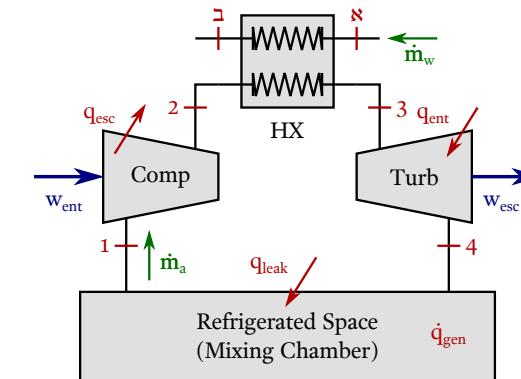


[https://sylcoc.com/wp-content/uploads/2017/04/AdobeStock\\_116177820.jpeg](https://sylcoc.com/wp-content/uploads/2017/04/AdobeStock_116177820.jpeg)

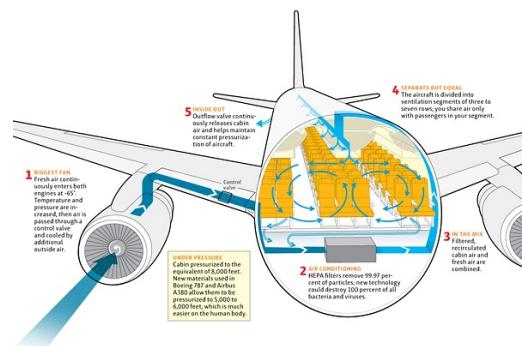


## Sistemas a Ar (Gás)

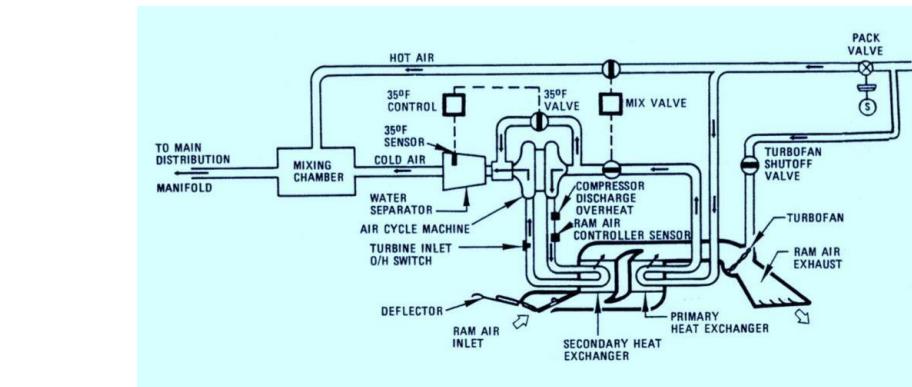
- O fluido de trabalho de tais sistemas é um gás, geralmente o ar;
- Nos sistemas a gás, o fluido de trabalho não muda de fase, sendo sempre um gás;
- Processos incluem o de (i) compressão de ar, no qual a sua temperatura aumenta;
- (ii) troca de calor (sensível) para a atmosfera, no qual a sua temperatura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



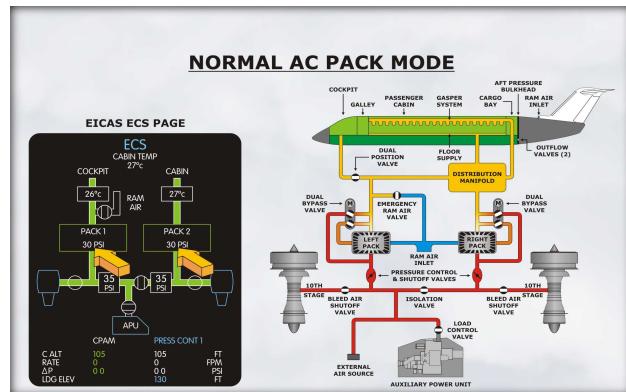
Esquemático de sistema de refrigeração a ar.  
Fonte: autoria própria



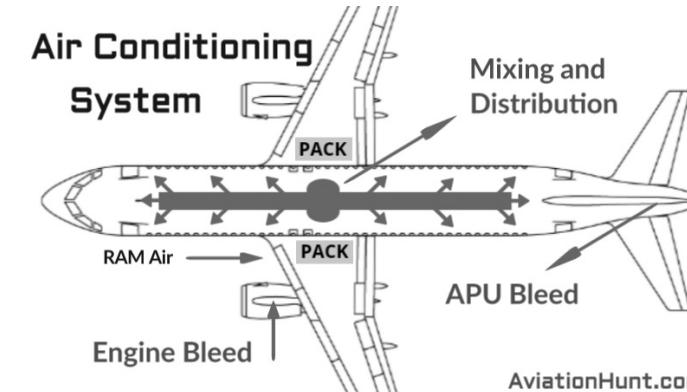
<https://i.pinimg.com/736x/dc/32/a9/dc32a9489de46dd04afc0e2cb041c798.jpg>



<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;
- 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<sub>3</sub> em H<sub>2</sub>O e (ii) H<sub>2</sub>O em LiBr;
- Solubilidade do refrigerante no absorvente é função da temperatura.



## Sistemas de Absorção – Solubilidade de NH<sub>3</sub> em H<sub>2</sub>O



<https://www.youtube.com/watch?v=N0T7V6TMQuB8>



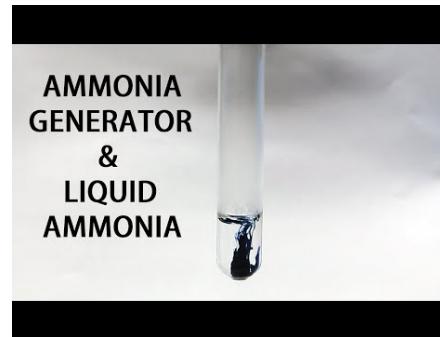
<https://www.youtube.com/watch?v=LijJ328a6Ld0>



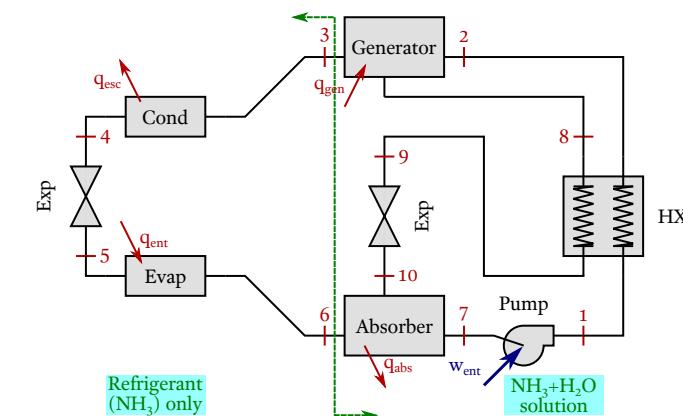
## Sistemas de Absorção – Solubilidade de NH<sub>3</sub> em H<sub>2</sub>O



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



<https://www.youtube.com/watch?v=gHokrNsIask>

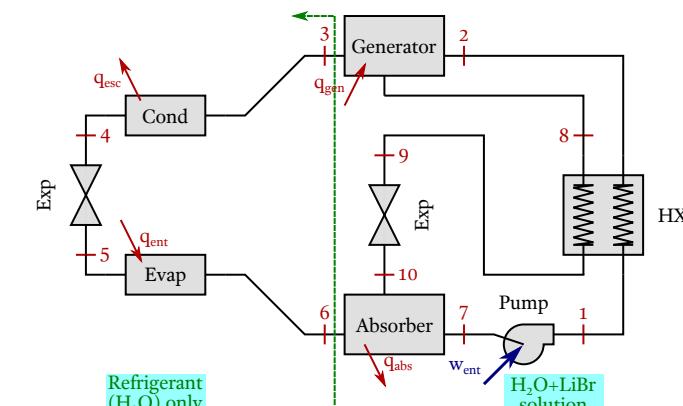


Esquemático de sistema de refrigeração por absorção Água-Amônia.  
Fonte: autoria própria

**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-Agua. 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>

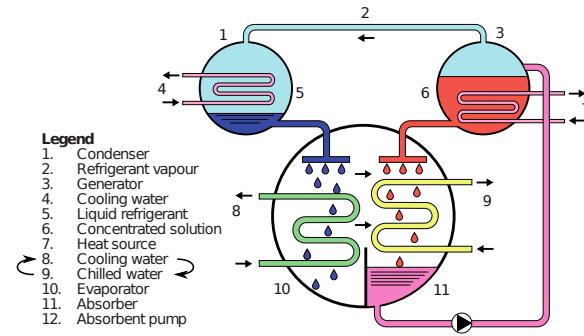


Figure 1 - Simplified absorption cycle

Ciclo de absorção LiBrágua simplificado.  
Fonte: [https://www.en.ahi-carrier.gr/wp-content/uploads/2017/10/PSD-16DJ\\_11-82.pdf](https://www.en.ahi-carrier.gr/wp-content/uploads/2017/10/PSD-16DJ_11-82.pdf)

## 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://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/H1B1QN7Wov6H8KJjSspmq6z2WXxa0/Newstyle-Thermoelectric-Cooler-Semiconductor-Refrigeration-Cooling-System-Water-Chiller-DIY-Cooler-Inductor-001.jpg>



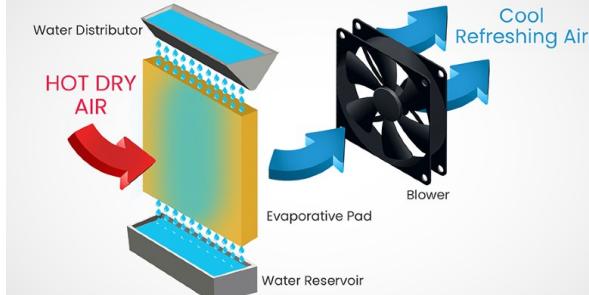
## Resfriadores Evaporativos

- 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.

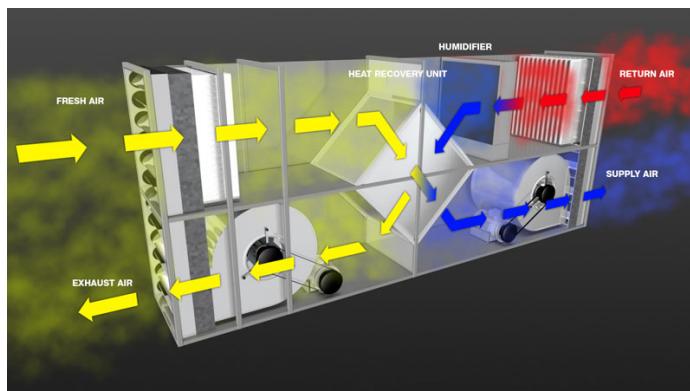


<https://i.pinimg.com>

## HOW EVAPORATIVE COOLING WORKS

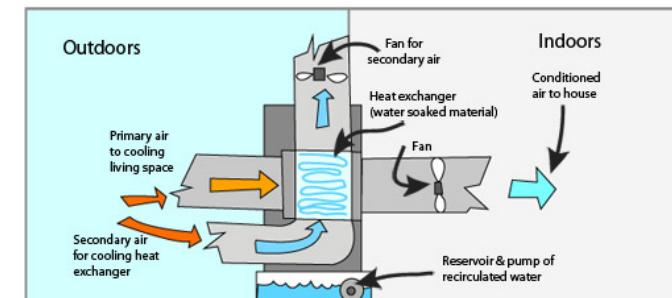


<https://piec.com/wp-content/uploads/How-Does-Evaporative-Cooling-Work.jpg>



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

## 2-Stage or Indirect/Direct Evaporative Cooling



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





<https://luckyretail.com>



Prof. C. Naaktgeboren, PhD

<https://imagens.mfrural.com.br>

AGROBRISA MFRURAL



D.01.01 – Fundamentos de Refrigeração



[http://www.agratech.com/cms/upload/post/images/agra-tech-commercial-greenhouse-manufacturer-evaporative-cooling\\_2.jpg](http://www.agratech.com/cms/upload/post/images/agra-tech-commercial-greenhouse-manufacturer-evaporative-cooling_2.jpg)



Prof. C. Naaktgeboren, PhD D.01.01 – Fundamentos de Refrigeração



[https://jwafs.mit.edu/sites/default/files/styles/body\\_image/public/imce/projects/Seed/2019\\_Frey\\_Glicksman\\_Verploegen/01\\_Feature\\_papayas\\_cooling\\_system\\_777](https://jwafs.mit.edu/sites/default/files/styles/body_image/public/imce/projects/Seed/2019_Frey_Glicksman_Verploegen/01_Feature_papayas_cooling_system_777)



Prof. C. Naaktgeboren, PhD

D.01.01 – Fundamentos de Refrigeração



## O Ramo de Refrigeração

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



Prof. C. Naaktgeboren, PhD D.01.01 – Fundamentos de Refrigeração

## 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 NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O-LiBr and H<sub>2</sub>O-LiBr at p=1 atm in the range from -35 to 80°C.  
*International Journal of Thermophysics*, 14(4):763–775, 1993.

