

TMEC153 – REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO

CAPÍTULO 01 – INTRODUÇÃO

Prof. Felipe R. Loyola
Disciplina: Refrigeração e Climatização
1º Semestre de 2020

Definição



- A **refrigeração** é a ciência que consiste em **resfriar** corpos ou fluidos para temperaturas menores do que aquelas disponíveis no ambiente em um determinado tempo e lugar.



Aula inaugural baseada nas notas de aula do

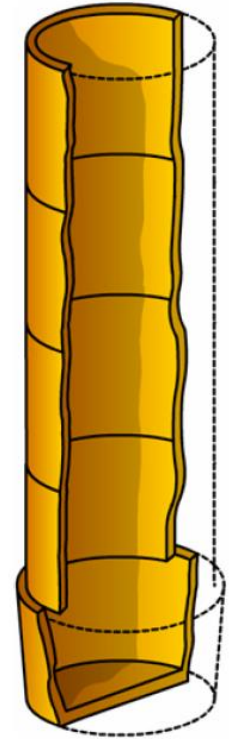
Prof. Cláudio Melo (in memorian)

Meios Naturais de Produção de Frio

- Utilização de gelo transportado de regiões mais frias
- Armazenamento de gelo do inverno para uso no verão
- Obtenção de gelo durante noites frias para uso durante o dia

Cooler de vinho utilizado na Grécia

Antiga (~530-510 A.C.) (Getty Museum)



Refrigerador chinês antigo, construído para o Imperador Qin Shi Huang (221-207 A.C.). Era feito com anéis gigantes de terracota, por volta de 90 cm de altura e 1,70 metros de diâmetro). Ele percorria até 13 metros abaixo do chão.

Ice Houses



Uma ice house com domo
em Florença, Itália

- São edificações utilizadas para **armazenar gelo** por longos períodos.

- Eram bastante comuns antes da invenção dos refrigeradores.

Algumas eram câmaras subterrâneas próximas a fontes naturais de gelo (inverno) e utilizavam vários tipos de isolamento.

- A principal utilização era para o **armazenamento de alimentos**, mas também era utilizado para o preparo de bebidas e sorvete.

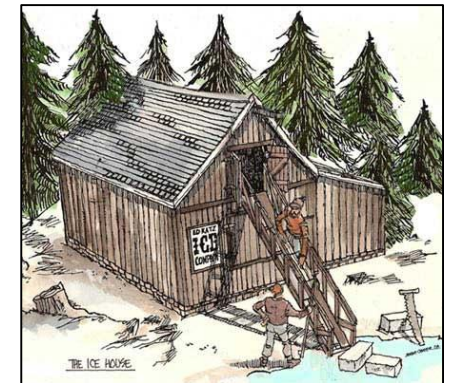
- Durante o auge do comércio de gelo, algumas armazenavam até 3000 toneladas de gelo em uma edificação de 9 x 30 m e de 14 metros de altura.



Ice house no Parque Moggerhanger,
Belfordshire



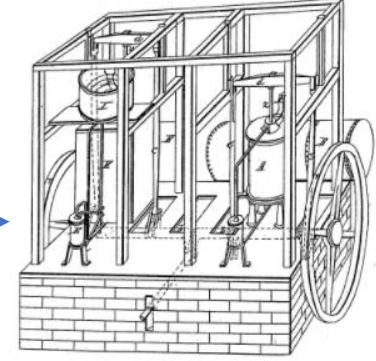
Yakhchāl em Yazd, Iran



Exploração de Gelo

(1844) John Gorrie

- Construiu o primeiro refrigerador para fazer gelo com a finalidade de arrefecer o ar para os pacientes com febre amarela – U.S. Patent 8080 *Ice machine* → Oposição de Frederic Tudor (“Rei do Gelo” de Boston)

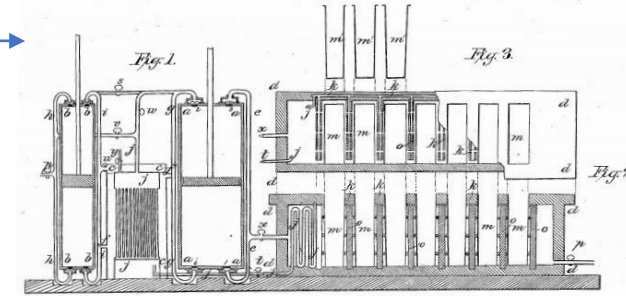


(1853) Alexander C. Twining

- U.S. Patent 10221 → Permitiu o desenvolvimento do primeiro Sistema de refrigeração comercial; Estabeleceu o primeiro método de produção artificial de gelo

(1854) James Harrison

- Construiu uma máquina de refrigeração (3 ton / dia)
- Patente de uma *icemaker* na Austrália (1855)



(1867) Andrew Muhl

- Construiu uma máquina de *Ice-making*. Sua patente foi contratada pela Columbus Iron Works (Primeiras máquinas comerciais de *Icemaking*)

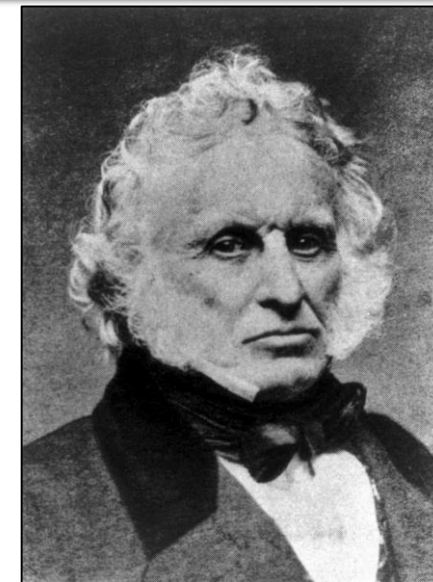
(1929) Jorgen Hans

- Primeira *ice-machine* a produzir gelo potável (1932) *Kulinda Company* – Manufatura de gelo potável

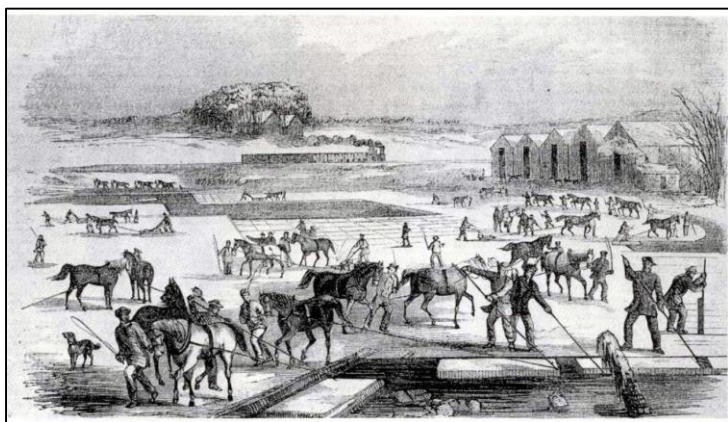
Exploração de Gelo em Escala Comercial

Frederic Tudor

- 1806 – Exportação de gelo cortado do rio Hudson
- 1854 – 156000 toneladas de gelo foram exportadas do porto de Boston
- Utilização de *Ice houses* com paredes de até 1 metro de espessura utilizando a serragem como isolante térmico



*Frederic Tudor – o “Rei do Gelo”
mundial*



Gelo Natural x Gelo Artificial

- O comércio de gelo natural persistiu por um longo tempo após a invenção da refrigeração mecânica.
- A Inglaterra, por exemplo, somente cessou a importação de gelo da Noruega por volta de 1930.
- No início do século XX as 10 maiores empresas da bolsa de valores de NY exploravam o gelo natural.

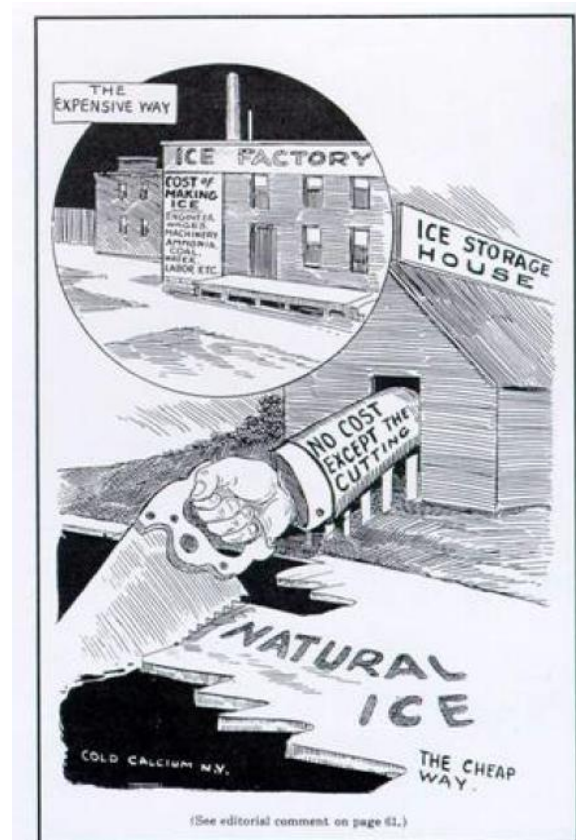
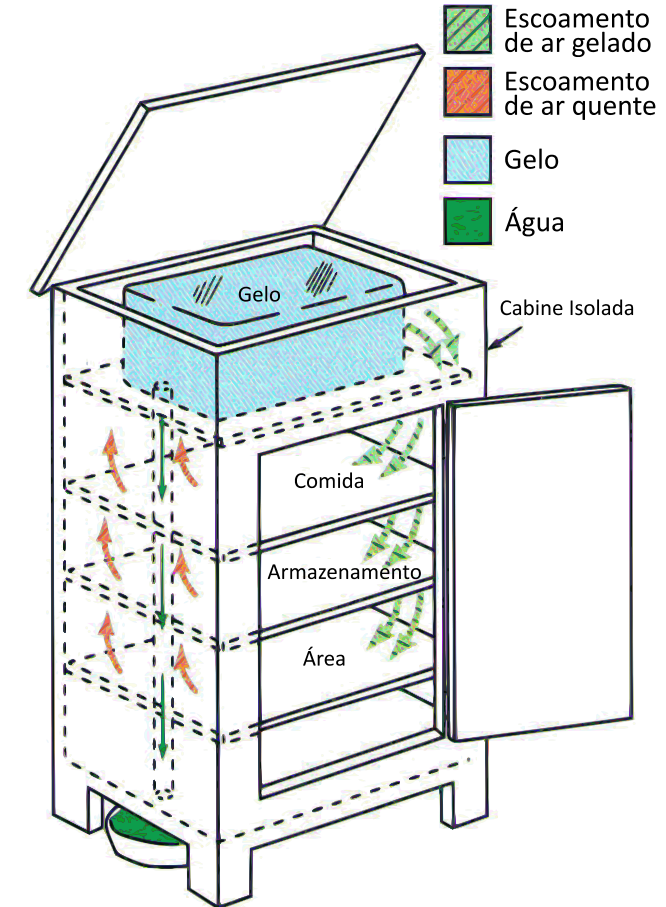


Figure 6-23 Editorial cartoon (from Cold, January 1914, p. 59).

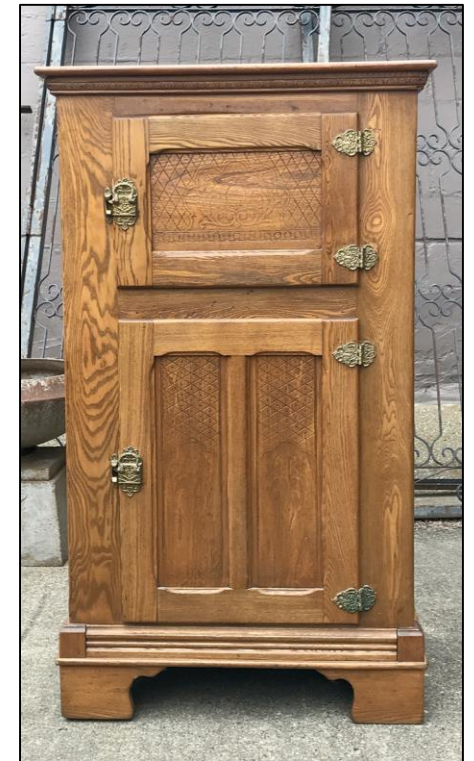
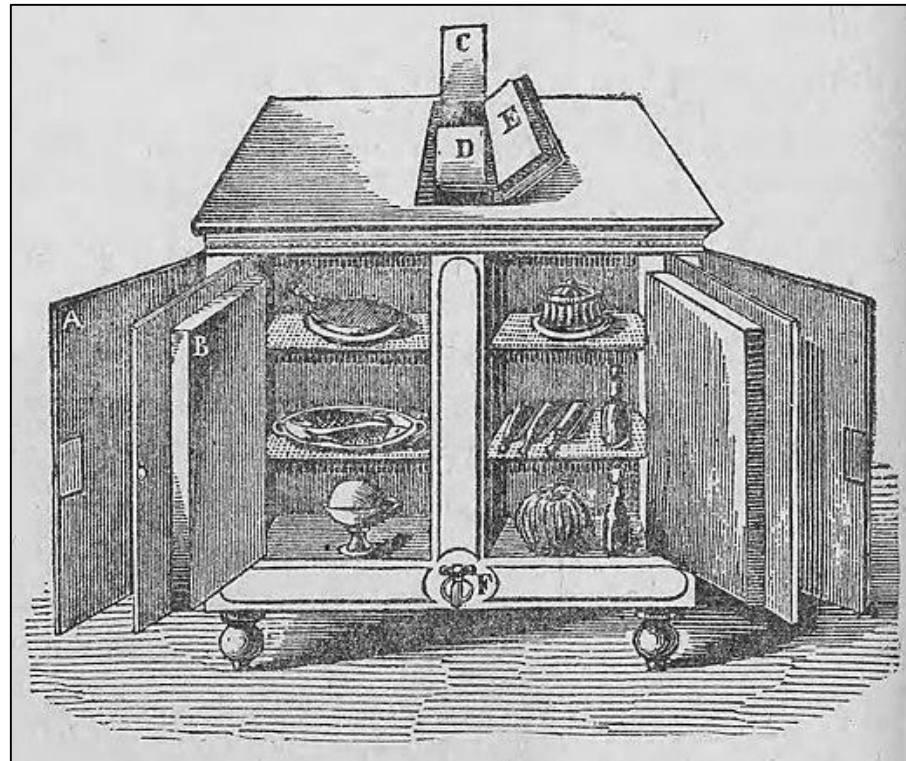
Geladeira (Ice Box)



- Reposição de gelo
- Drenagem
- Taxa de resfriamento variável

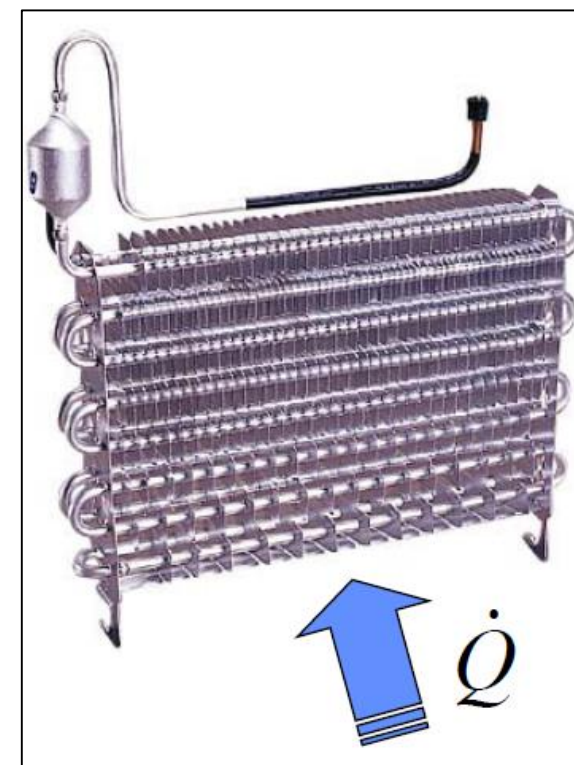
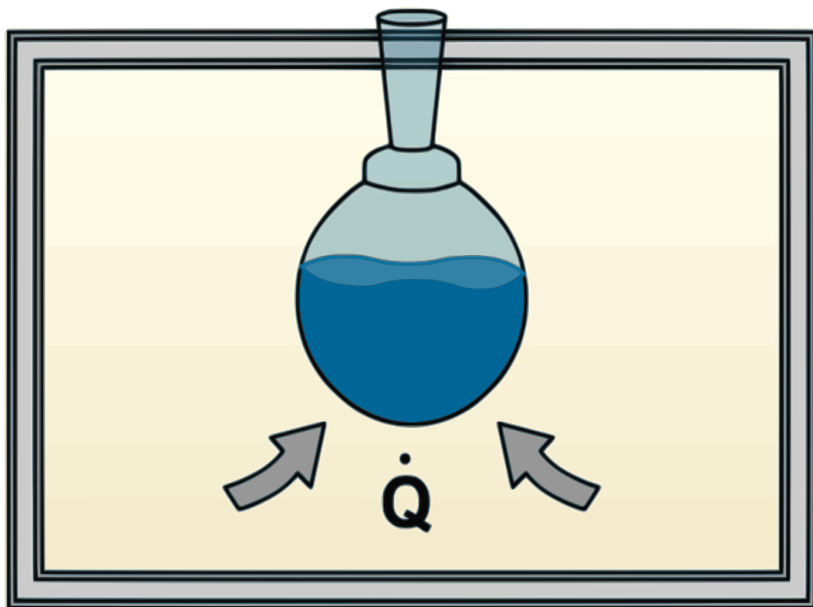


Geladeira (Ice Box)



O Ciclo Elementar de Refrigeração

- A base do sistema moderno de refrigeração é a capacidade dos líquidos absorverem grandes quantidades de calor quando vaporizam



Fluidos Voláteis

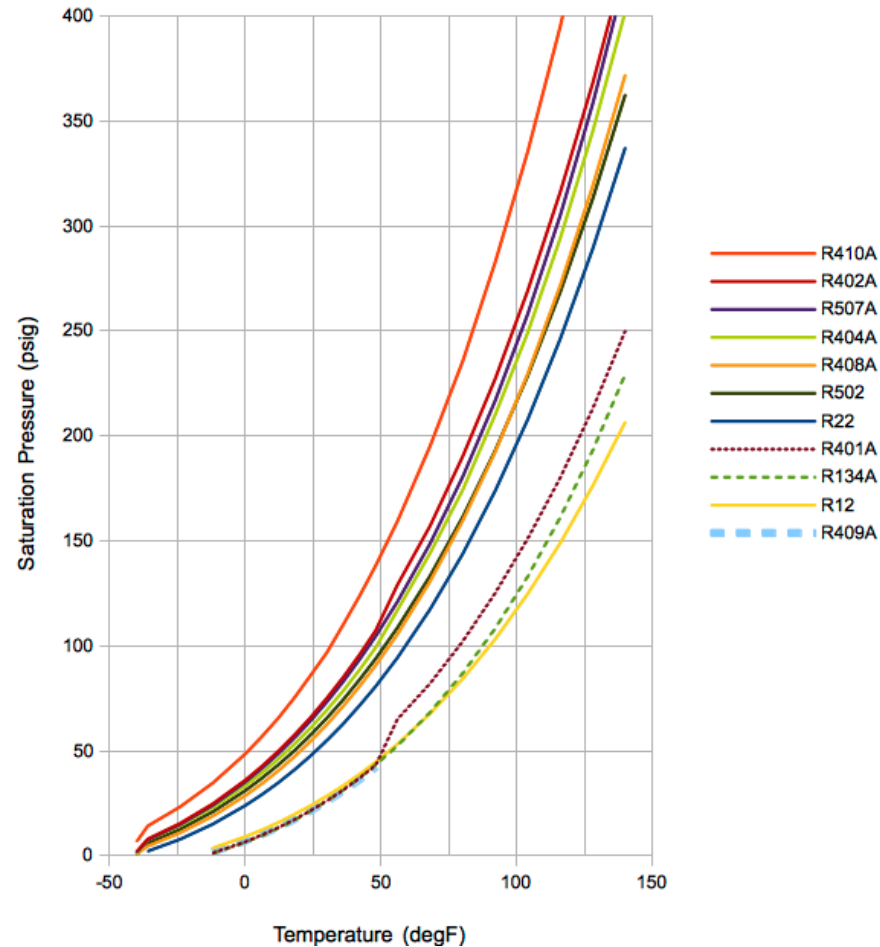
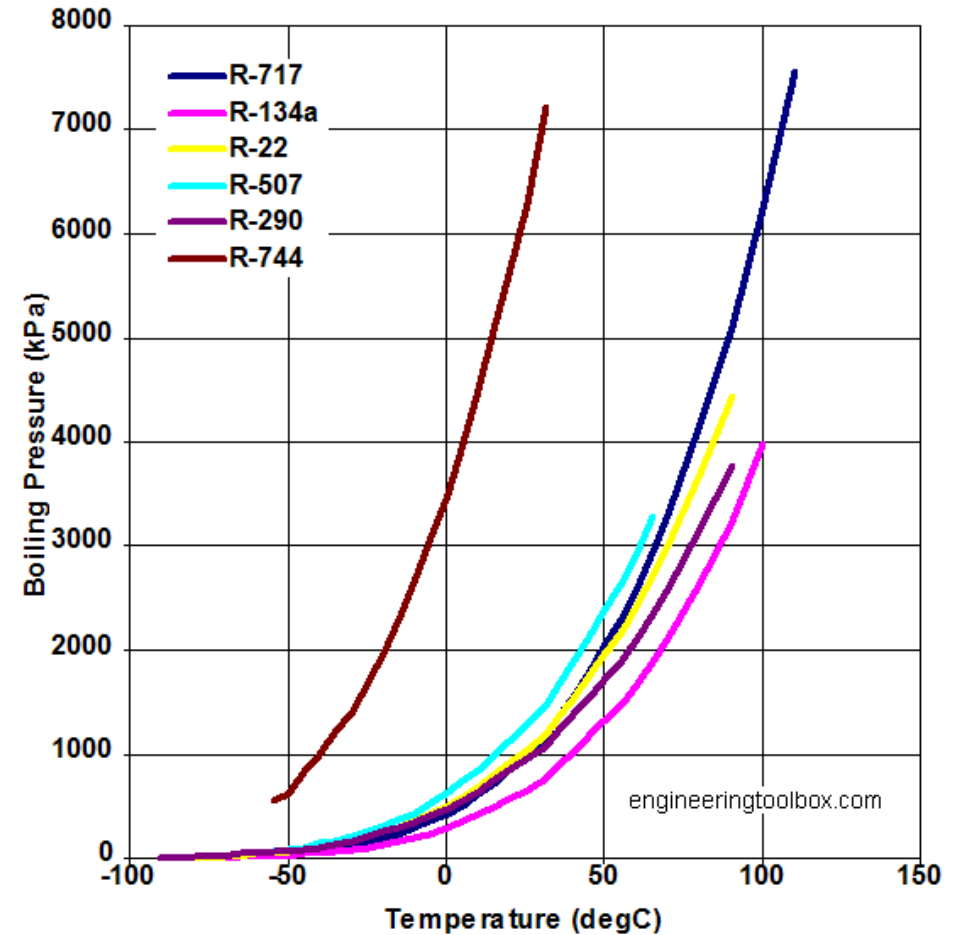
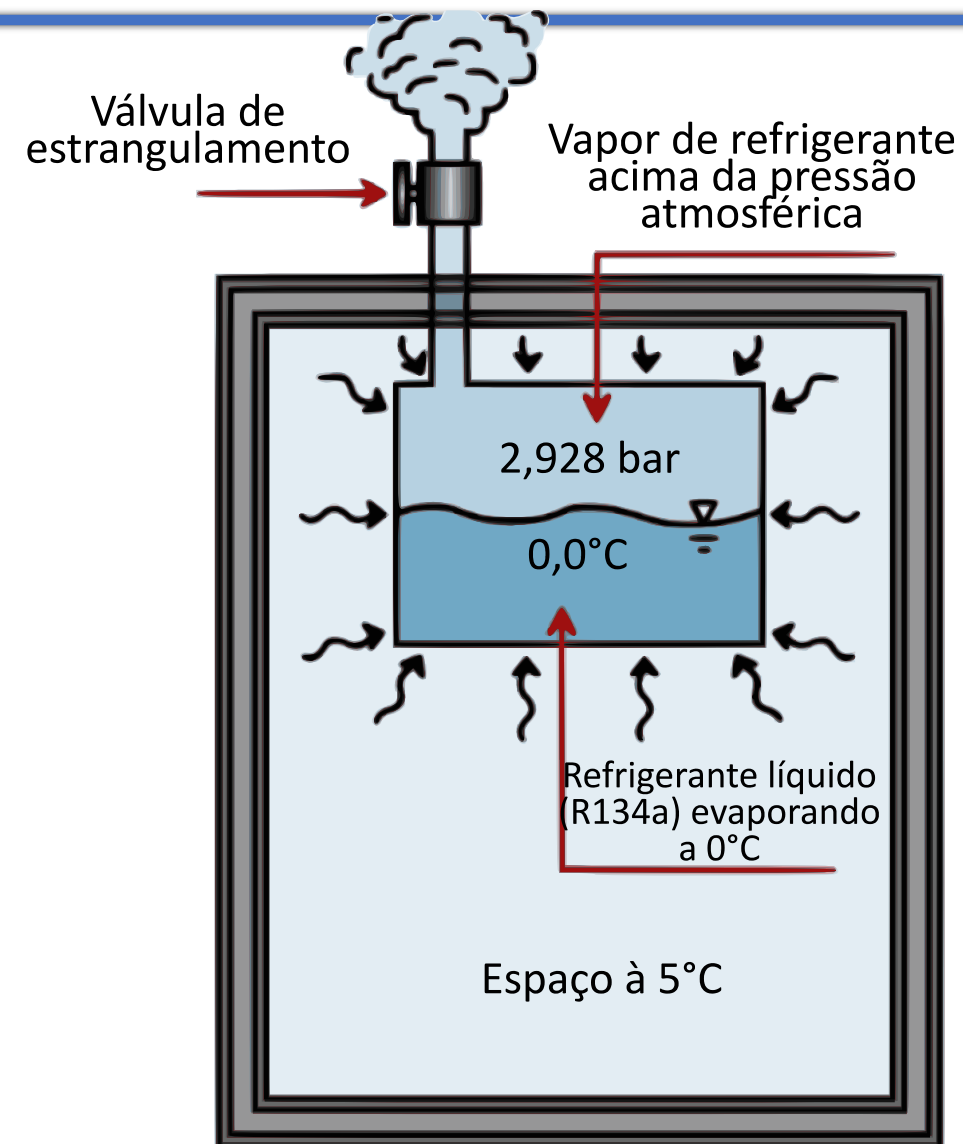
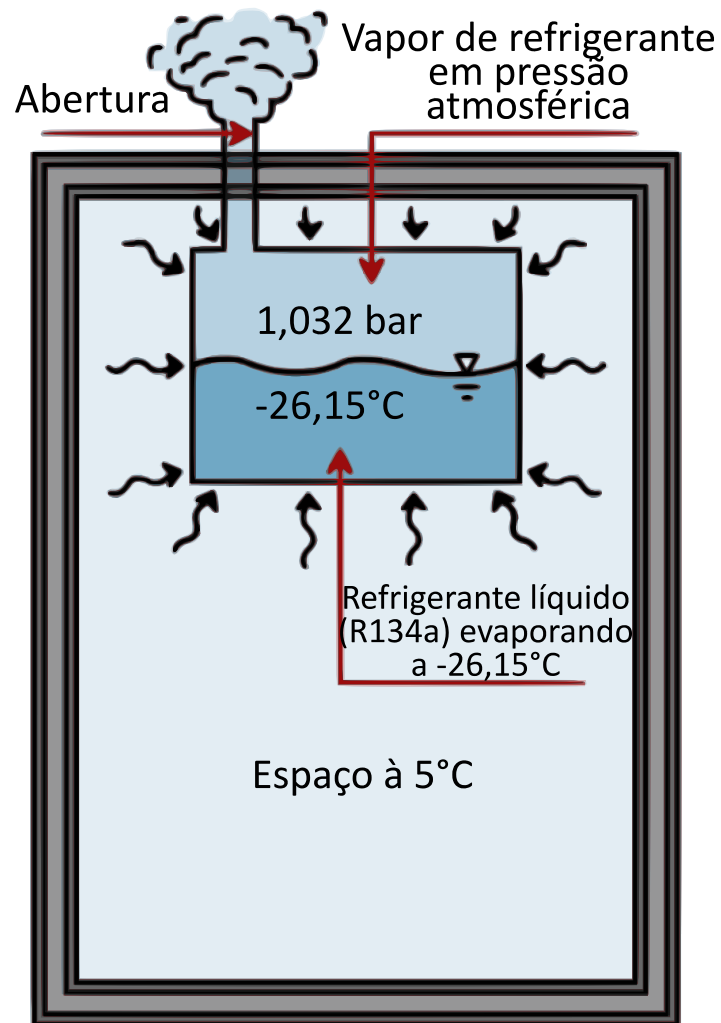


Gráfico de temperaturas de saturação de refrigerantes

Fonte: Engineering Toolbox

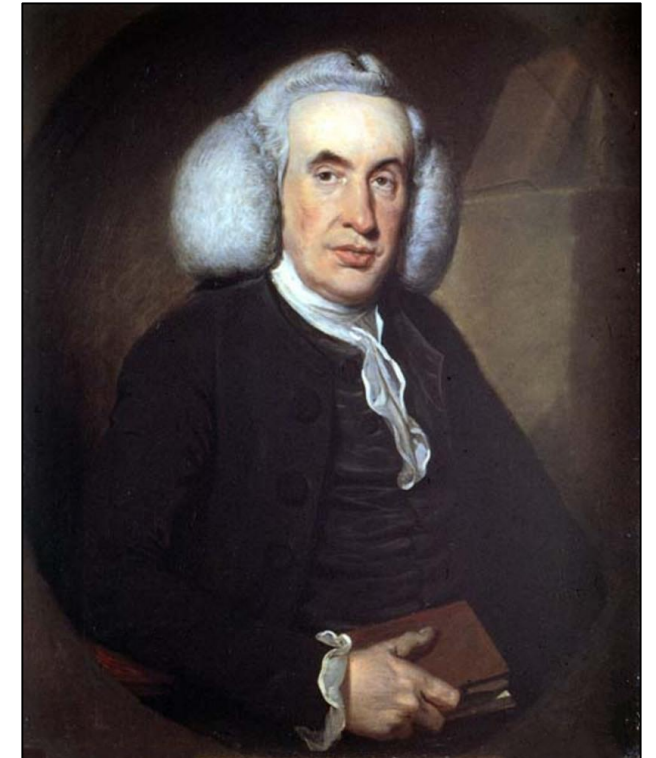
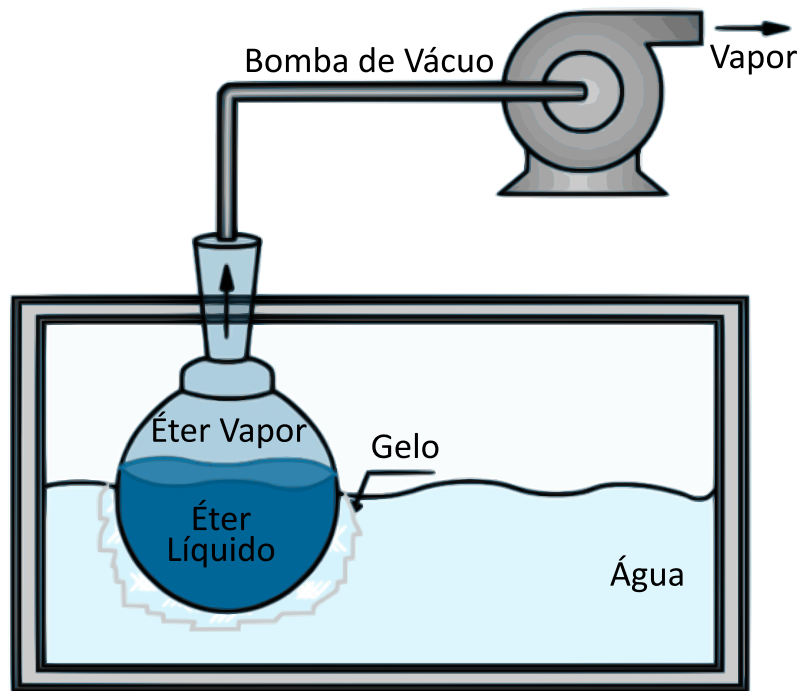


Pressão x Temperatura



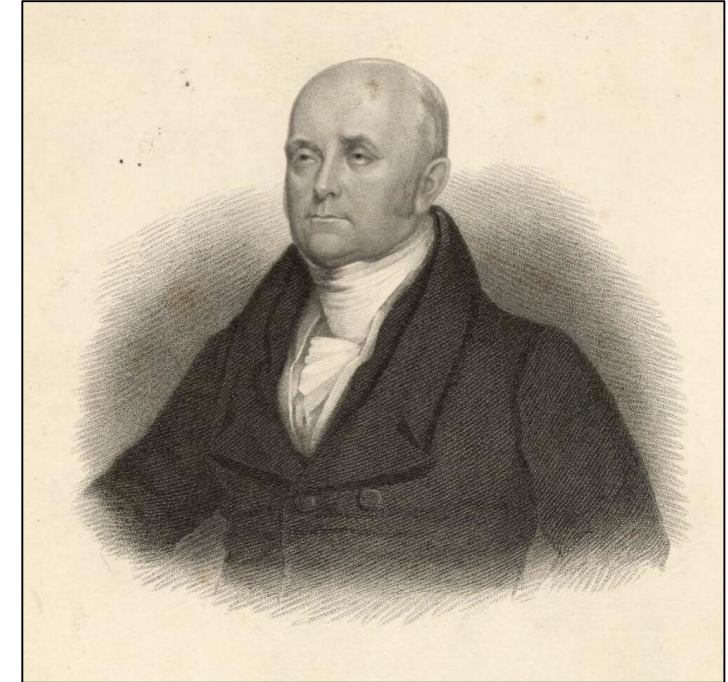
Experimento de Cullen

- Em 1755, Willian Cullen (1710-1790), professor da Universidade de Edinburg, obteve gelo a partir da evaporação de éter
- Processo descontínuo → necessidade de reposição do éter.



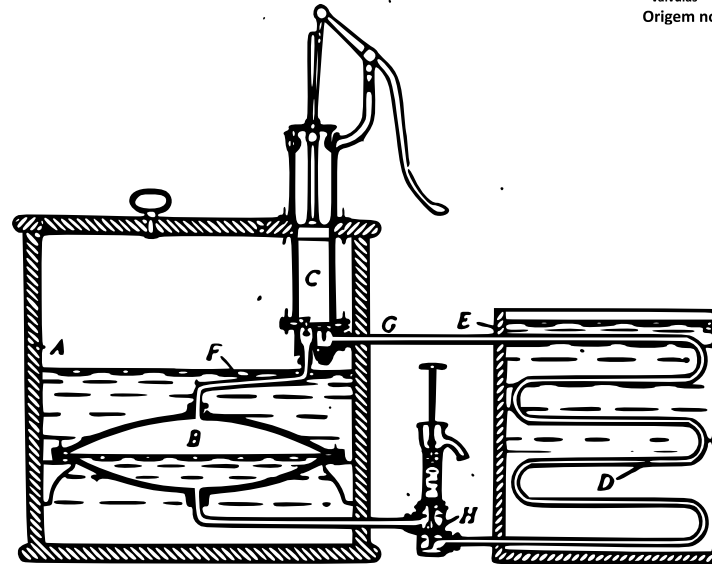
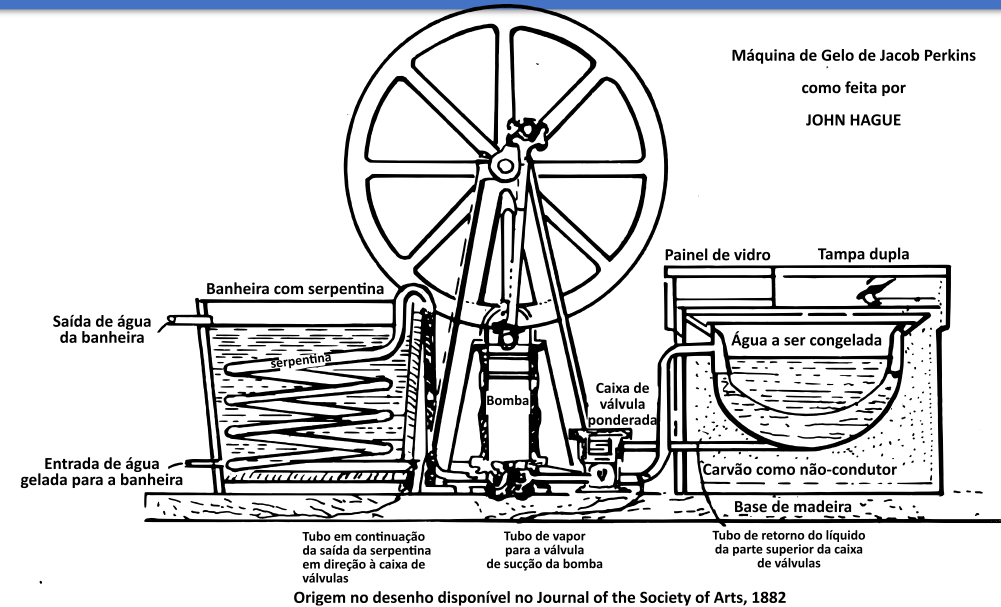
Patente de Perkins

- A primeira descrição completa de um equipamento de **refrigeração**, operando de maneira cíclica, foi feita por Jacob Perkins, em 1834 (GB 6662/1835 Aparato e meios para **produzir gelo e resfriar fluidos**). Utilizava o éter como fluido refrigerante.



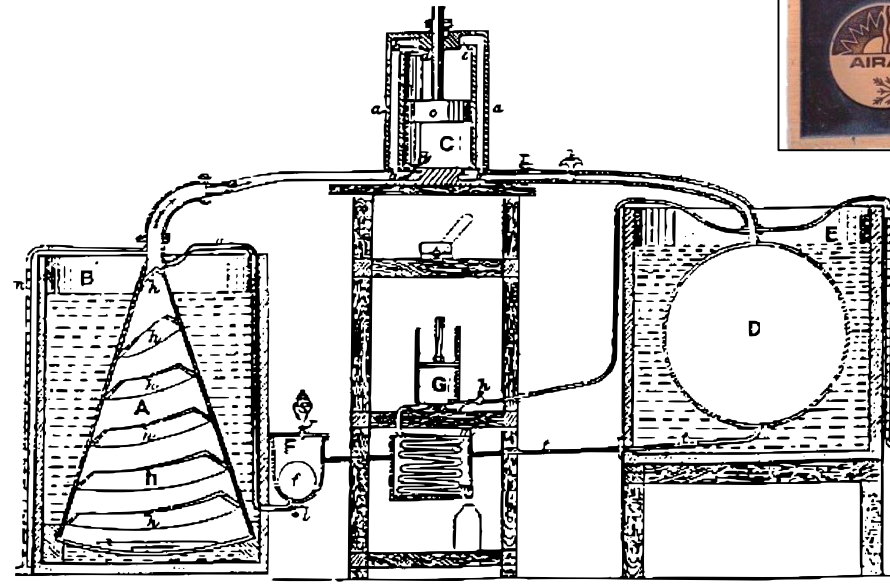
Patente de Perkins

- O trabalho de Perkins despertou pouco interesse. Acabou não sendo mencionado na literatura da época e fora deixado de lado por aproximadamente 50 anos, até que Frederick J. Bramwell descreveu o experimento em seu artigo para o Journal of the Royal Society of Arts

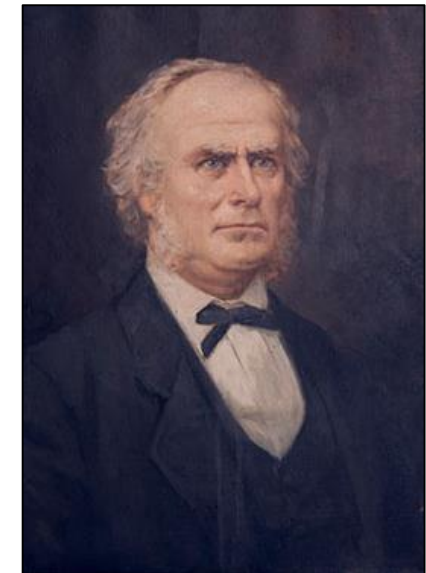
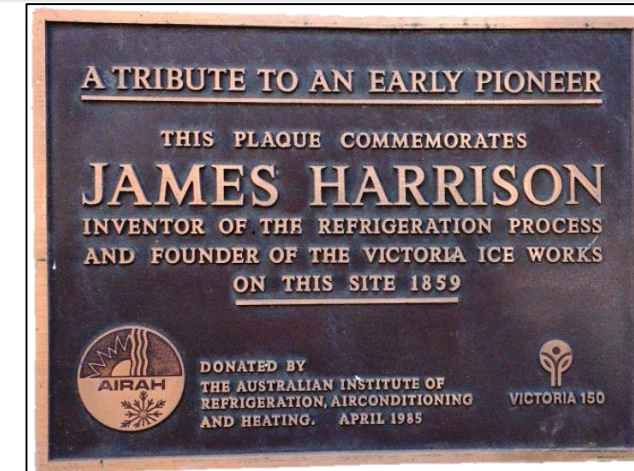


Patente de Perkins

- O principal responsável por tornar o princípio de refrigeração por compressão mecânica em um equipamento real foi James Harrison (1816-1893). Não há conhecimento se Harrison sabia ou não do trabalho de Perkins. Em 1856 e em 1857 obteve, respectivamente, as patentes britânicas 747 e 2362

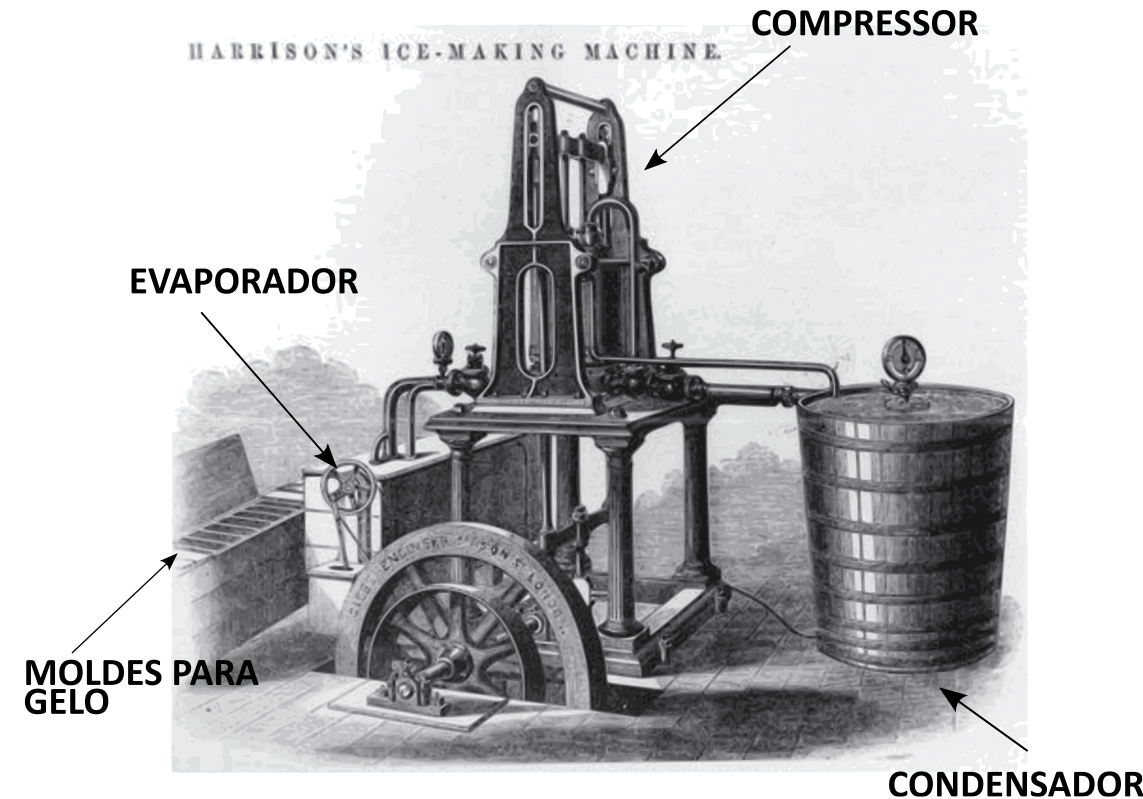


A - Recipiente de evaporação em cobre estanhado
B - Cisterna para armazenamento da substância a ser resfriada
C - Bomba de duplo efeito
D - Vaso esférico de cobre para condensação
E - Cisterna para resfriamento de água
F - Válvula de bóia do lado superior
G - Bomba de ação simples para criar vácuo na partida
H - Aleta espiral com arestas para permitir líquido refrigerante para umedecer a superfície interna



Patente de Perkins

- Em 1862, em uma exibição internacional em Londres, o equipamento de Harrison, fabricado por Daniel Siebe, foi apresentado à sociedade da época.



Refrigerador GE - 1927

- Refrigerador introduzido em 1927 pela General Eletric com o preço de \$525, com o primeiro gabinete todo de aço e desenhado por Christian Steenstrup.



Refrigeradores modernos



Samsung - Family Hub 22 Cu. Ft.
4-Door Flex French Door Counter-
Depth Fingerprint Resistant
Refrigerator - Black stainless steel

LG - 21.7 Cu. Ft. Side-by-Side
InstaView Door-in-Door Counter-
Depth Smart Wi-Fi Refrigerator -
Black stainless steel



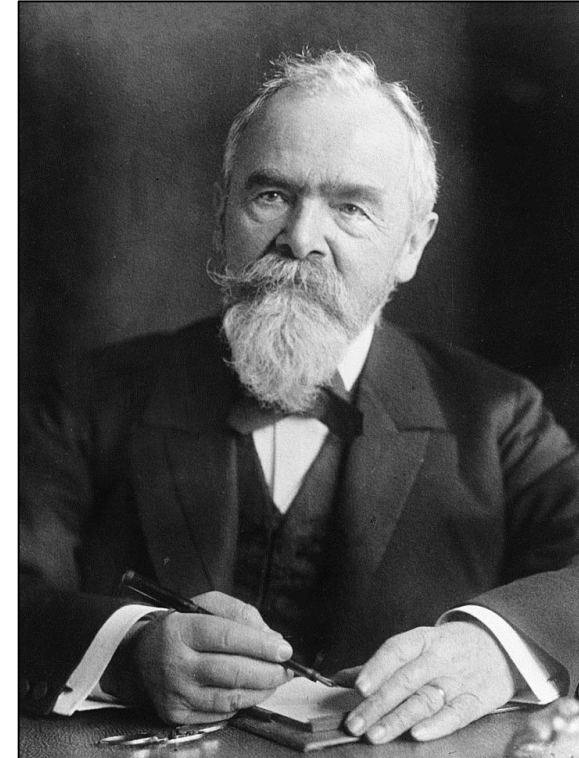
Whirlpool 36" Side-by-Side
Refrigerator with 25.6 cu. ft.
Capacity

GE - Profile Series 27.8 Cu.
Ft. French Door Refrigerator
- Slate



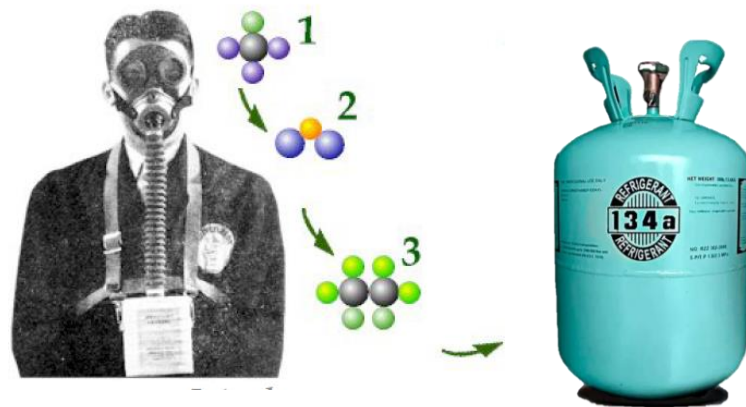
Fluidos Refrigerantes

- Éter (temperatura de ebulição é de 34°C) \rightarrow pressão de evaporação $\ll P_{\text{atm}}$ (penetração de ar no sistema \rightarrow mistura explosiva). Pressão de condensação baixa \rightarrow não requer construção pesada no lado de alta pressão.
- Em 1886, Franz Windhauser (Berlim) \rightarrow CO_2 . $P_{\text{evap}} > P_{\text{atm}}$, mas $P_{\text{cond}} > 100 \text{ bar}$ \rightarrow construção pesada. Substituição por novos refrigerantes foi iniciada em 1955. Operação perto do ponto crítico \rightarrow menor eficiência. Temperatura crítica $\rightarrow 31^{\circ}\text{C}$
- Em 1870 Carl Von Linde, em Munique \rightarrow Amônia (temperatura de ebulição = $-33,3^{\circ}\text{C}$). Pressão de condensação $\approx 10 \text{ bar}$. Toxidez.
- Raoult Pictet introduziu o dióxido de enxofre (SO_2) (temperatura de ebulição = -10°C), em Genebra (1874).



Fluidos Refrigerantes

- Em 1928 a indústria de refrigeração se encontrava em um impasse, pois os refrigerantes disponíveis eram tóxicos → morte de famílias inteiras devido a vazamentos em refrigeradores domésticos.
- Parte da imprensa chegou a realizar campanhas para **eliminar** os refrigeradores domésticos. 85% das famílias americanas que dispunham de eletricidade não possuíam refrigeradores domésticos



- Máscaras de gás eram frequentemente utilizadas devido a eventualidade de vazamentos. Os refrigerantes ilustrados são: cloreto de metila (CH_3Cl -R-40) (1), dióxido de enxofre (SO_2 , R-764) (2) e tetrafluoroetano ($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$ -R-134A) (3)

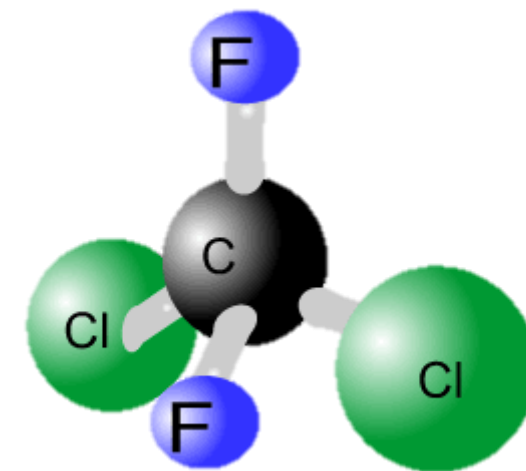
Fluidos Refrigerantes

- Em 14 de julho de 2000, um refrigerador começou a vazear ácido sulfúrico gasoso (SO_2) quando um empregado acidentalmente estrafou a serpentina do freezer enquanto realizava o descongelamento da unidade. O incidente ocorreu em uma sala da Universidade de Wisconsin. Tratou-se de um refrigerador doméstico da GE (Tipo V-5-C), de capacidade de 0,8 kg de refrigerante SO_2 .



Fluidos Refrigerantes

- Em 1929, um grupo de cientistas liderado por Thomas Midgley (1889 – 1944) (Laboratório de Frigidaire/G.M.) → descobrir um refrigerante que não fosse tóxico. O que ocorreu em menos de duas semanas (hidrocarbonetos halogenados – CFCs)
- Tais substâncias já eram conhecidas como compostos químicos desde o século XIX, mas suas propriedades como refrigerantes foram investigadas primeiramente por Midgley.
- Primeira substâncias → CCl_2F_2 (R12) → Temperatura de ebulição = $-23,8^\circ\text{C}$ e P_{cond} por volta de 10 bar.



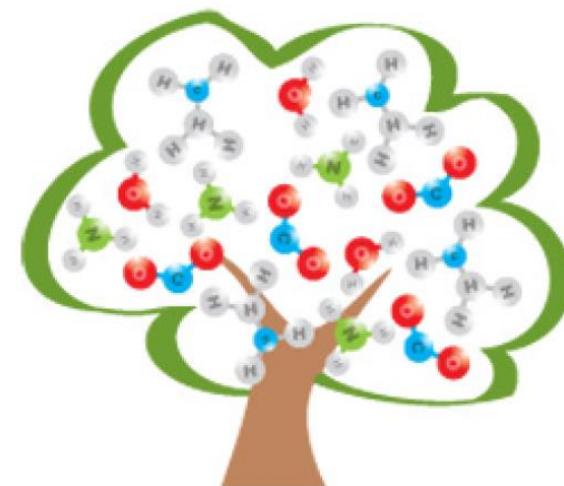
Fluidos Refrigerantes

- A descoberta não foi anunciada ao público devido à histeria contra refrigeradores existente na época. Após dois anos de testes os CFC's foram apresentados ao público em um encontro na Sociedade Americana de Química
- Thomas Midgley pegou um recipiente com CFC e colocou-o próximo ao seu rosto e fez uma profunda inalação. Em seguida expirou lentamente o CFC sobre a chama de uma vela, extinguindo-a.



Fluidos Refrigerantes

- Em 1974 → depleção da camada de ozônio da estratosfera.
- Introdução de novos fluidos refrigerantes (HFC-134^a, HC-600a)
- Misturas zeotrópicas: R401a (53% R-22 + 13% R-152-a + 34% R-124), R-401b(61% R-22 + 11% R-152-a + 28% R-124), R-404a (44% R-125 + 52% R-143a + 4% R-134a), R407c (23% R-32 + 25% R-125 + 52% R-134a)
- Misturas azeotrópicas: R-507 (50% de R-125 + 50% R-134a)
- Em 1997 → Protocolo de Kyoto (Efeito estufa) → refrigerantes naturais: hidrocarbonetos, amônia, dióxido de carbono, ar e água.



Fluidos Refrigerantes

- Muitos refrigerantes podem ser utilizados em sistemas de refrigeração, tais quais: cloro-flúor-carbonos (CFCs), amônia, hidrocarbonetos (propano, etano, etileno, etc.), dióxido de carbono, ar (em sistemas de ar condicionado em aeronaves), e até água (em aplicações acima do ponto de congelamento).
- R-11, R-12, R-22, R-134a e R-502 são atualmente responsáveis por 90% do mercado
- Os setores industriais e comerciais pesados usam amônia (o que é tóxico)
- R-11 é usado em sistemas chiller de água de grande capacidade que abastecem sistemas de ar condicionado em edificações
- R-134a (substituiu o R-12, que ataca a camada de ozônio) é utilizado em refrigeração doméstica, freezers, e também em sistemas de ar condicionado automotivos



Fluidos Refrigerantes

- R-22 é usado em **sistemas de ar condicionado** de janela, bombas de calor, sistemas de ar condicionado em edificações comerciais e sistemas de refrigeração para indústrias de alta escala. Ele oferece uma alternativa para o uso da amônia
- R-502 (uma mistura de R-115 e R-22) é o fluido refrigerante dominante em sistemas de **refrigeração comercial**, como aqueles em supermercados
- CFCs permitem que uma maior incidência de radiação ultravioleta na atmosfera terrestre por ser um agente que ataca a camada de ozônio. CFCs totalmente halogenados (como o R-11, R-12 e R-115) são os mais danosos à camada de ozônio. Essa questão vem motivado o desenvolvimento de refrigerantes **menos danosos** ao **meio-ambiente**.
- Dois parâmetros importantes que devem ser considerados na seleção do fluido refrigerante são as **temperaturas** dos dois meios (o **espaço refrigerado e o ambiente**) por onde o refrigerante troca calor



Capacidade de Refrigeração

- Trata-se da capacidade de remoção de calor, na unidade de tempo, de um equipamento de refrigeração. São comuns as seguintes unidades:

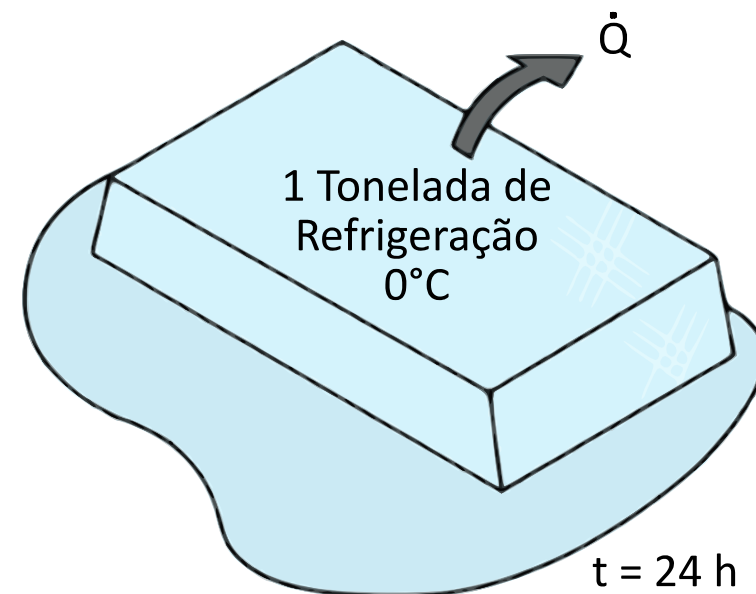
- $1 \text{ Btu/h} \rightarrow 0,293 \text{ W}$
- $1 \text{ kcal/h} \rightarrow 1,163 \text{ W}$
- $1 \text{ TR (tonelada de refrigeração)} \rightarrow 3023,95 \text{ kcal/h} \rightarrow 3517 \text{ W}$
- $1 \text{ TR} \rightarrow 200 \text{ Btu/min} \rightarrow 12000 \text{ Btu/h}$



Tonelada de Refrigeração

- Quantidade de calor a retirar da água a 0°C para formar uma tonelada americana de gelo a 0°C em 24h. É uma relação com a capacidade média de refrigeração fornecida por uma tonelada de gelo.

$$\dot{Q} = \frac{mL}{t}$$
$$\dot{Q} = \frac{908,184 \text{ kg } 335 \cdot 10^3 \text{ J/kg}}{24 \cdot 3600 \text{ s}}$$
$$\dot{Q} = 3517 \text{ W}$$

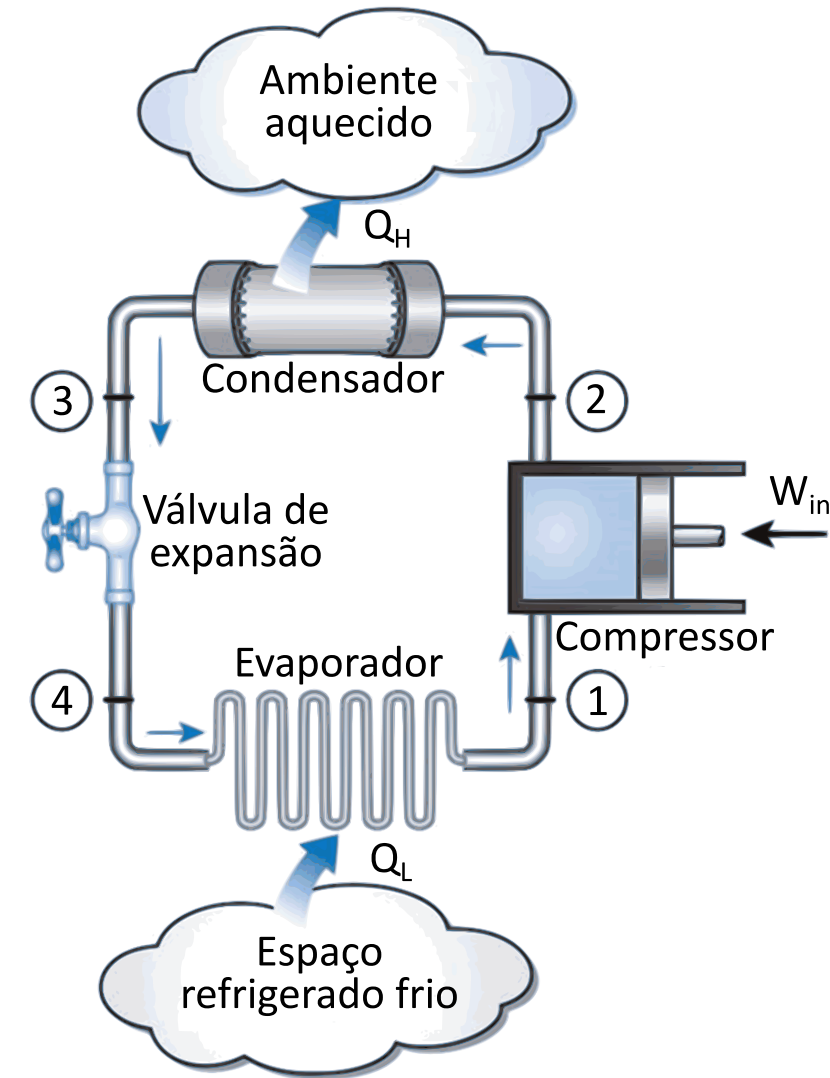


Coeficiente de Performance COP (ε)

- É a relação entre a capacidade de refrigeração útil e a potência utilizada para produzi-la:

$$COP = \varepsilon = \frac{Q_L}{W_{in}}$$

- No S.I. \rightarrow é adimensional (geralmente assume valores superiores a 1)
- E.E.R. (Energy Efficiency Ratio) [Btu/hW] \rightarrow EER = 3,41 ε



Refrigeração Doméstica



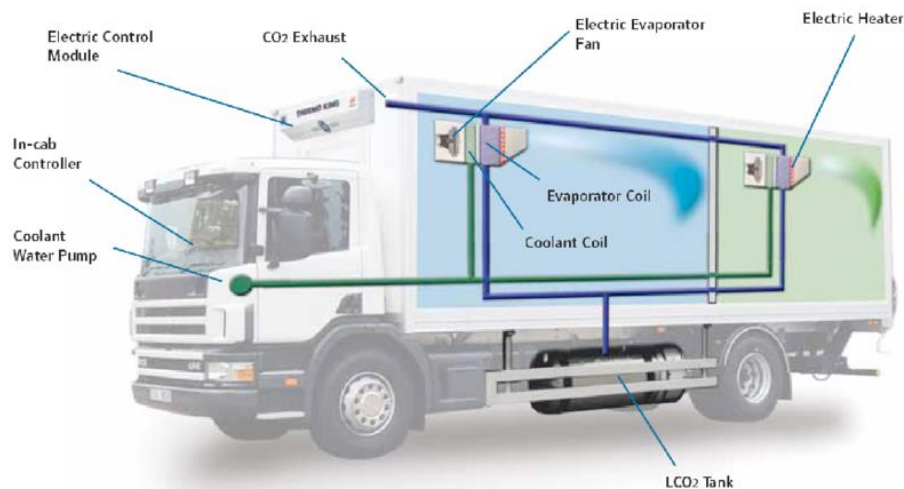
Refrigeração Comercial



Refrigeração Industrial



Refrigeração de Transporte



Ar Condicionado

