

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA**  
**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS – APMA**

**WALDECY DOS SANTOS SOUSA**

**REFRIGERAÇÃO: A NOVA ERA DO GELO**

**RIO DE JANEIRO**  
**2014**

**WALDECY DOS SANTOS SOUSA**

**REFRIGERAÇÃO: A NOVA ERA DO GELO**

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: Aristóteles de Mello.

**RIO DE JANEIRO**

**2014**

**WALDECY DOS SANTOS SOUSA**

**REFRIGERAÇÃO: A NOVA ERA DO GELO**

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: Aristóteles de Mello.

---

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

## RESUMO

Os modernos sistemas de refrigeração são o resultado de uma história de desafios do homem para a produção dos meios que pudessem facilitar a sua própria subsistência. A refrigeração para conservação de alimentos e para o conforto originou-se ainda nos tempos mais remotos, passou por desafios às crendices populares, teve uma fase de acentuado comércio do gelo natural e culminou com as modernas técnicas de produção do frio. Este trabalho pretende fazer um retrato histórico desses acontecimentos, valendo-se das informações históricas coletadas junto a inúmeros autores que vivenciaram a própria época dos acontecimentos. As bases científicas que fundamentam a natureza da produção do “frio” será abordada, com destaque aos mais conceituados cientistas e inventores que, juntos, conformaram todos seus estudos às aplicações práticas de seus tempos, para que finalmente tivéssemos, hoje, uma forma prática, acessível e responsável de conservação de alimentos, produção tecnológica avançada e conforto térmico.

**Palavras-chave:** Refrigeração. Ar-condicionado. Comércio do Gelo. Frio. História da refrigeração.

*Dedico este trabalho com a mais profunda gratidão à Dra. Cristiane A. dos Reis, Dr. Élder N.Feltrim e Dr. Roberto A. Montenegro que, juntos, me ensinaram a ressurgir para viver, com a grandeza de uma criança, uma nova vida de mais inteira dedicação à minha eterna, única e adorável Silvia e meu querido Airton.*

## **ABSTRACT**

Modern cooling systems are the result of a history of man's challenges to the production of the means that could facilitate their own subsistence. The refrigeration for food preservation and for comfort also originated in ancient times, has experienced challenges to popular beliefs, had a phase of strong trade natural ice and culminated with modern production techniques from the cold. This paper intends to make a historical picture of these events, taking advantage of historical information collected from numerous authors who experienced the very time of the events. The scientific basis underlying the nature of the production of "cold" is discussed, highlighting the most respected scientists and inventors who together conformed all his studies to practical applications of their times, so that finally we, today, a practical way, accessible and responsible food conservation, advanced production technology and thermal comfort.

**Keywords:** Refrigeration. Air-Conditioning. Ice trade. Coldness. Refrigeration history.

## LISTA DE FIGURAS

Figura – 1	O comércio de gelo em torno de Nova Iorque	11
Figura – 2	Estocagem do Gelo	12
Figura – 3	Fabricação de gelo em Allahabad	14
Figura – 4	Robert Boyle	21
Figura – 5	Térmômetros Florentino	22
Figura – 6	Esboço do termômetro de Roemer	23
Figura – 7	O Termômetro de Fahrenheit	23
Figura – 8	Diagrama de Amontons	25
Figura – 9	Antoine Lavoisier	26
Figura – 10	Calorímetro de Lavoisier	26
Figura – 11	Experiência de Van Marum	29
Figura – 12	Experiência de Faraday	30
Figura – 13	Segundo aparelho de Faraday	31
Figura – 14	Frederic Tudor	33
Figura – 15	Máquina de cortar gelo	33
Figura – 16	Raspadeira de Gelo	34
Figura – 17	Colheita de gelo em Wolf Lake	34
Figura – 18	Raspando a neve	35
Figura – 19	Plainando o Gelo	36
Figura – 20	Marcando o Gelo	36
Figura – 21	Serrando o gelo	36
Figura – 22	Coleção de serras	37
Figura – 23	Colheita e armazenamento do gelo nos anos de 1880	38
Figura – 24	Entrega de gelo em Nova Iorque	38
Figura – 25	Entrega de gelo em estabelecimento comercial	38
Figura – 26	Descarregamento de barçaça no Rio Hudson	39
Figura – 27	Mulheres entregadora de gelo e carroça de entrega de gelo	40
Figura – 28	Modelo em miniatura do navio de gelo de Frederic Tudor	41
Figura – 29	Indústria de gelo da metade do século XIX	41
Figura – 30	O Transporte de gelo em vagões de trem	42
Figura – 31	Colheita de gelo em Nova Iorque, 1852	42
Figura – 32	Fábrica de cerveja Brahma no bairro do Catumbi	44
Figura – 33	Carroça de entrega de gelo	46
Figura – 34	Palacete de Bologna, Belém-Pa	46
Figura – 35	Modelo computadorizado de máquina térmica	48
Figura – 36	Sadi Carnot	49
Figura – 37	O Ciclo de Carnot	51
Figura – 38	Rélexions Sur la Puissance Motrice du Feu	53
Figura – 39	Versão em inglês do livro de Carnot	53
Figura – 40	James Prescott Joule	54
Figura – 41	A experiência de Joule	55
Figura – 42	Esquema gráfico dos primeiros sistema de absorção de amônia	58
Figura – 43	Esquema gráfico dos atuais sistema de absorção de amônia	59
Figura – 44	Uma instalação de absorção de Amônia	60
Figura – 45	Patente de Ferdinand P. E. Carré	61
Figura – 46	Versão aprimorada do modelo de refrigeração por absorção de Carré	62
Figura – 47	Modelo de Refrigeração Por Compressão	63
Figura – 48	Patente de A.C. Twining	64

Figura – 49	Máquina de compressão de amônia	66
Figura – 50	Máquina de fabricar gelo enlatado	67
Figura – 51	Carl von Linde	69
Figura – 52	A primeira máquina de refrigeração de Linde	70
Figura – 53	Compressor de amônia horizontal de dois estágios	71
Figura – 54	Máquina de refrigeração instalada na Dreherschen Brauerei	71
Figura – 55	Patente imperial para Carl von Linde	72
Figura – 56	Fábricas de gelo por volta de 1880	76
Figura – 57	O Glaciarium	77
Figura – 58	Pista de patinação em gelo Glaciarium	78
Figura – 59	Oliver Evans	78
Figura – 60	Aparelho descrito por Jacob Perkins	79
Figura – 61	O inventor americano Jacob Perkins	80
Figura – 62	Máquina de Gelo de Jacob Perkins	80
Figura – 63	Construção da Máquina de Gelo de Perkins	82
Figura – 64	Esquema da máquina de gelo mecânica do Dr. John Gorrie	84
Figura – 65	Modelo original da máquina de gelo de Gorrie	84
Figura – 66	Dr. John Gorrie	85
Figura – 67	Máquina de Refrigeração em Ciclo de	87
Figura – 68	Refrigerador construído pela McCray Company	92
Figura – 69	Sistema Jackson de armazenagem a frio	92
Figura – 70	O arranjo do sistema Dexter	93
Figura – 71	Entrega de gelo	94
Figura – 72	Caminhões com carrocerias em forma de caixas de madeira	94
Figura – 73	Venda de gelo nas ruas de Paris	97
Figura – 74	Propaganda em jornal do “Ice Safe”	98
Figura – 75	Patente de Nathaniel B. Wales	99
Figura – 76	Patente de Reuben Bechtold e Alfred Mellows	100
Figura – 77	Geladeira “Monitor-Top” da General Electric	102
Figura – 78	Propaganda em jornal para uma geladeira Sno-Man	103
Figura – 79	Mostruário de cartazes, porta-gelo, caixas de gelo, e antigos	104
Figura – 80	Refrigerador doméstico das indústrias de Linde	105
Figura – 81	O gelo e o calor do verão	106
Figura – 82	Propaganda da Bell-Coleman Mechanical Refrigeration Company	107
Figura – 83	Patente de Nathaniel Shaler	109
Figura – 84	O painel “Resfriado por Refrigeração”	111
Figura – 85	Willis Haviland Carrier	112
Figura – 86	A Carta Magna	113
Figura – 87	Régua deslizante	113
Figura – 88	Modelo de Carrier, patente americana nº 1,085,971 de 3 de fev. de 1914	114
Figura – 89	Primeiros veículos com ar-condicionado	116
Figura – 90	O primeiro veículo com ar condicionado da Kelvinator	117
Figura – 91	Ar condicionado portátil	118
Figura – 92	Carro tanque de oxigênio líquido	122
Figura – 93	Patente de Carl von Linde	123
Figura – 94	Planta de liquefação de Linde na “Bavarian Industrial and Commercial Exhibition”	125
Figura – 95	Carl Von Linde em 1900, Paris levou o Grand Prix	126
Figura – 96	Instalação de oxigênio puro no sistema Linde	127

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>HISTÓRIA DA REFRIGERAÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Arte de fabricar gelo por resfriamento noturno</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Resfriamento evaporativo</b>	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Resfriamento por soluções de sal</b>	<b>17</b>
<b>2.4</b>	<b>Os segredos do frio</b>	<b>18</b>
<b>2.5</b>	<b>A ciência do frio</b>	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>O COMÉRCIO DO GELO</b>	<b>33</b>
<b>3.1</b>	<b>O comércio de gelo no Brasil</b>	<b>43</b>
<b>3.2</b>	<b>O rei do gelo no Brasil</b>	<b>45</b>
<b>4</b>	<b>AS BASES PARA A PRODUÇÃO MECÂNICA DO FRIO</b>	<b>48</b>
<b>4.1</b>	<b>Sadi Carnot – um gênio além de seu tempo</b>	<b>48</b>
<b>4.1.1</b>	<b>O ciclo de Carnot</b>	<b>51</b>
<b>5</b>	<b>OS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO</b>	<b>57</b>
<b>5.1</b>	<b>Sistem de refrigeração por absorção de vapor de água</b>	<b>59</b>
<b>5.2</b>	<b>Sistema de refrigeração por compressão</b>	<b>62</b>
<b>5.3</b>	<b>Refrigeração artificial</b>	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>AS NECESSIDADES DE REFRIGERAÇÃO DOMÉSTICA</b>	<b>89</b>
<b>6.1</b>	<b>Ar condicionado</b>	<b>108</b>
<b>6.1.1</b>	<b>Os antecedentes</b>	<b>108</b>
<b>6.1.2</b>	<b>Willis Carrier Reinventa o Ar Condicionado</b>	<b>111</b>
<b>6.2</b>	<b>Liquefação dos gases</b>	<b>119</b>
<b>6.3</b>	<b>Usos avançados da retificação</b>	<b>129</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>131</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>132</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Uma definição clássica da refrigeração é “o processo para se obter e manter uma temperatura abaixo da temperatura ambiente, com o objetivo de resfriar algum produto ou o espaço à temperatura desejada”.

A preservação de produtos alimentícios perecíveis, quando armazenados em baixas temperaturas, é sem dúvida uma das aplicações mais práticas que pode se atribuir à refrigeração. O condicionamento de ar veio na esteira e paralelamente se desenvolvendo, tendo em vistas o fornecimento de conforto térmico aos seres humanos. O condicionamento de ar é uma expressão genérica para o controle de temperatura, o teor de humidade, de limpeza, de odor e de circulação.

A lentidão na taxa de crescimento da maioria das capitais europeias e notadamente da Inglaterra deveu-se, em parte, à ineficiência da capacidade de produção de alimentos. Estimase que um quarto da produção de grãos, frutas e vegetais apodreciam antes mesmo da colheita, assim como os ovos e leite. A estimativa de transporte de alimentos não poderia estender-se além de um dia de viagem de trem, com o risco de outra apreciável parcela do produto estragar-se em viagem.

Os fazendeiros da época já tinham o conhecimento que as baixas temperaturas matutinas favoreciam o transporte de alimentos e este é o único método de conservação empregado na logística da época.

O abate de animais era condicionado à venda prévia, quando muito eram abatidas poucas horas antes da venda em mercado público. Manter um estoque mínimo de animais vivos exigia dos açougueiros amplos espaços, encarecendo ainda mais os custos da alimentação.

A dieta básica era composta essencialmente de pães, vegetais em conserva, queijos e carnes preservadas já que, devido à ausência de refrigeração, a disponibilidade de carnes frescas, leite, peixes, frutas e vegetais frescos não eram viáveis. O método de preservação feita à época consistia em ter os alimentos picados em sal ou açúcar, defumação, carnes e frutas secas, ou mesmo a preservação em óleo, as quais comprometiam seriamente a qualidade e sabor dos alimentos.<sup>1</sup>

Ressalte-se que a dieta americana por volta dos anos de 1830 era constituída basicamente de alimentos não tão perecíveis como carnes salgadas e pão.<sup>2</sup> Estes hábitos, de longa data, já prevaleciam e, conseqüentemente, a refrigeração tinha uso bastante limitado.

Não havia tanta importância a alimentos do tipo carnes frescas, peixe, leite, frutas e vegetais, ao que se dá enorme apreço na dieta dos dias atuais.

A disponibilidade de gelo não era voltada à preservação de alimentos, uma vez que somente a aristocracia tinha acesso a tais dádivas naturais e ainda assim eram principalmente voltados à degustação vinícola, como já faziam os antigos Romanos. Uma alternativa à aquisição de frutas fora da estação era quando, a custos exorbitantes, os reis providenciavam o envio de navios a Marrocos ou outros portos para o transporte destes produtos.

O uso de alguma técnica de refrigeração já era conhecida com uma invenção muito particular de um farmacêutico, Sr. Thomas Moore, que no início do século dezenove patenteou um refrigerador para transporte de manteiga às feiras e manutenção da mesma até que se realizasse a venda.<sup>3</sup>

Foi neste contexto que os princípios e técnicas de refrigeração evoluíram lentamente ao longo dos últimos séculos. A necessidade de se prover um meio para a conservação mais acessível aos alimentos básicos, ou a mera incursão científica dos estudiosos na tentativa de desqualificar as fundamentações teóricas expostas à época por algum outro cientista é que nos tornou capazes de produzir e desfrutar das maravilhas que esta tecnologia de conservação favorece.

Faremos ao longo deste trabalho uma incursão nestes fatos históricos buscando alterná-los cronologicamente com vistas à época dos acontecimentos, se bem que esta ordem é um pouco temerosa, haja vista que as pesquisas e tentativas ocorreram em datas simultâneas em locais distintos.

Há de ser notado, no entanto, que o pioneirismo no advento dos sistemas de refrigeração está intimamente ligado à história da industrialização europeia e principalmente a americana. O europeu contribuiu imensamente com os fundamentos teóricos que de certa forma constituem a base dos sistemas termodinâmicos. O americano soube, como ninguém, aproveitar estes fundamentos e saíram na vanguarda em praticamente todos os modelos mecânicos de refrigeração, além de terem sido os maiores mercadores de gelo ao longo do tempo em que se desenvolvia progressivamente a história da refrigeração.

Várias pessoas de diferentes nações tiveram sua parcela de contribuição com o desenvolvimento da refrigeração, além de que seus benefícios não se pode mensurar em termos de um país isoladamente. No entanto, não há como fugir à retórica científica de que muitas das descobertas científicas e avanços tecnológicos tiveram como palco a América e Europa. Além de que a maior parte da informação disponível sobre o assunto descrito ao longo deste trabalho está confinado aos bancos de dados das grandes universidades americana

e europeia. É por isto que todo este trabalho deve ser pautado em eventos históricos que em sua maior parte tiverem como palco um pouco das contribuições europeias e muito da contribuição americana.

Todas as fontes de informação oriundas de literatura estrangeira foram traduzidas no intuito de se promover uma melhor compreensão dos fatos. Nenhuma destas traduções, principalmente as que referendam as patentes citadas neste trabalho, podem ou devem ser tomadas como traduções técnica oficial e definitivas, em respeito à originalidade das ideias de seus autores.

O Grupo Linde disponibilizou, após consulta à matriz na Alemanha, o importante documento “125 Years of Linde - A Chronicle”,<sup>4</sup> que foi uma valiosa contribuição a esta pesquisa.

## 2 HISTÓRIA DA REFRIGERAÇÃO

Na figura 1 do comércio de gelo em torno de Nova Iorque, observa-se a partir do topo: casas de gelo no Rio Hudson; Barcaças de gelo sendo rebocadas para Nova Iorque; barcaças sendo descarregadas; navio a vapor sendo carregado; o gelo sendo pesado; venda de gelo a pequenos consumidores; o comércio interiorano para consumidores mais abastados; uma adega sendo abastecida<sup>5</sup>

Figura 1 - O comércio de gelo em torno de Nova Iorque



Fonte: F. Ray, Harper's Weekly, 30 de Agosto de 1884.

Cubas de gelo eram utilizadas com o propósito de se resfriar vinho. Tal invenção, segundo a história antiga, Plínio atribui ao imperador Nero. Até então, os gelos transportados das regiões longínquas e armazenados em palha e tecido eram consumidos diretamente em diluição no vinho.<sup>6</sup> Existem registros históricos de que por volta de 1700 A.C., Zimrilim, governante do reino Mari ao noroeste do Iraque, construiu uma casa de gelo, localizada às margens do rio Eufrates. A China, segundo registros datados do século VII A.C., notabilizou-se com casas de gelo para preservação de frutas e vegetais.

Durante a dinastia Chou (770 – 256 A.C.), houve a existência de um “serviço de gelo” em que os funcionários predispunham-se a gelar desde o vinho até corpos humanos, segundo nos conta registros históricos recuperados da dinastia Tang (618 – 907). O dia primeiro de Junho no Japão é oferecido em homenagem ao “Dia do Gelo”, em referência à data em que o irmão do imperador Nintoku (século IV) lhe presenteou gelo coletado em uma montanha. A data é comemorada numa cerimônia intitulada “Presente de Gelo Imperial”, em que lascas de gelo eram oferecidas a militares e civis. Na Europa, Estados Unidos e Irã as casas de gelo eram utilizadas para armazenar gelo natural. A técnica de armazenagem era basicamente o isolamento feito por serragem, aparas de madeira e em datas mais recentes, a cortiça.

As características padrão das casas de gelo existentes na América eram basicamente fossas quadradas ou alguma espécie de celeiro, algumas revestidas outras não, construídas normalmente no subsolo. Recebiam uma cobertura de tábuas, grama ou sapé. Um sistema de drenagem da água dissolvida não era um aparato normalmente disponível nestas casas de gelo.

Figura 2 – Estocagem do Gelo



Fonte: F. Ray, Harper's Weekly, 30 de Agosto de 1884.

Os humanos encontraram meios de refrigeração desde 1000 AC quando os chineses cortavam gelo no inverno e estocavam para o verão. Este tipo de colheita estacional do gelo e da neve tornou-se muito comum entre as culturas antigas. Os Chineses, Hebreus, Gregos e Romanos já estocariam gelo e neve em cavernas ou fossas cavadas no solo e isoladas com madeira ou palha (gravura de autor desconhecido).

Na Índia, a técnica de produção de gelo por resfriamento noturno, resultava no deleite dos imperadores mongóis durante os árduos verões de Delhi e Agra.

## 2.1 A Arte de fabricar gelo por resfriamento noturno

A fabricação de gelo pelo homem remonta a priscas eras. Há registros de que por volta de 3000 A.C., os egípcios já haviam desenvolvido a habilidade de fabricação de gelo. O processo, denominado resfriamento noturno, era feito a partir de uma fina camada de água disposta em uma bandeja de barro rasa que era exposta ao céu noturno. A bandeja era então depositada sobre um isolamento de feno compactado com cerca de 0,3 metros de espessura. O barro, sendo poroso, deixa passar um pouco de água contida no seu interior e a evaporação desta para o ambiente faz baixar a temperatura do sistema. Neste processo há uma perda de calor da água por radiação para a estratosfera, que se situa em cerca de -55°C. Observa-se uma evaporação acelerada devido ao decréscimo de temperatura noturna, clima seco e temperado, e como resultado, durante a madrugada, haverá o congelamento na superfície da água depositada, principalmente nas bordas da bandeja. Há registros de cerca de 2000 ac de que a Índia já utilizava o método de produção de gelo por resfriamento noturno de forma intensa.

Em DHARAMPAL,<sup>7</sup> há a transcrição de relatos atribuídos a Sir Robert Barker, no ano de 1775:

### O Processo de Fabricar Gelo nas Índias Oriental

(Por Sir Robert Barker. F.R.S. (Publicado em 1775).)

O processo de fabricar gelo nas Índias Oriental tendo se tornado uma matéria de especulação, solicito permissão para lhe presentear com o método pelo qual era realizado em Allahabad, Mootegil, e Calcutá, nas Índias Oriental, que ficam entre 25½ e 23½ na latitude Norte. Neste último local nunca ouvi falar de qualquer pessoa que tenha descoberto gelo natural nas piscinas ou cisternas, ou em qualquer água coletada nas estradas; nem que o termômetro tenha registro de cair até o ponto de congelamento; e no outro local, pouquíssimas pessoas somente têm descoberto gelo, e isto muito raramente: Mas no processo de fabricar gelo nesses locais era comum coletar uma certa quantidade todas manhãs, antes do nascer do sol (exceto em algumas

determinadas épocas, que eu devo especificar na sequência) por quase três meses no ano: viz de dezembro até fevereiro.

O fornecedor de gelo que me atendia em Allahabad fazia uma quantidade suficiente no inverno para o suprimento de mesa durante a estação de verão. Os métodos que ele se dedicava eram os seguintes: em um grande plano aberto, três ou quatro escavações eram feitas, cada uma com cerca de trinta pés quadrado e dois de profundidade; os fundos de cada um eram forrados de oito polegadas ou um pé de espessura com cana de açúcar, ou as hastes de milho indiano secas. Sobre esta camada eram colocados alinhados, uns próximos aos outros, inúmeras panelas rasas de barro, que continham a água que se pretendia congelar. Estas são ásperas, dificilmente têm um quarto de polegada de espessura, cerca de uma polegada e meia de profundidade, e feita de uma terra tão porosa que era visível, do lado externo das panelas, que a água havia penetrado toda a substância. Com o crepúsculo da noite, eram preenchidas com água leve, que havia sido fervida, e então largadas na situação previamente relatada.

Figura 3 - Fabricação de gelo em Allahabad



Fonte: Gravura de autor desconhecido - 1828.

Na figura 3, Fabricação de gelo em Allahabad, conforme descrito por Sir Robert Barker em 1775 demonstra-se a coleta de gelo das panelas cheias de água.

O fabricante de gelo dirigia-se às fossas normalmente antes que o sol estivesse sobre o horizonte, e coletava em cestas o que estava congelado, enchendo todo conteúdo das panelas nas cestas, e conseqüentemente retendo o gelo, que era diariamente transportado para o grande espaço ou local de preservação, preparada geralmente em alguma situação extremamente árida, cavando um fosso de quatorze ou quinze pés de profundidade, forrado primeiro com palha, e então com um tipo áspero de cobertor, onde é socado com um batedor, até o momento em que seu próprio frio acumulado novamente congela e forma uma massa sólida. A boca do buraco é bem protegida do ar exterior com palha e cobertores, na forma da coberta, e o telhado de palha é jogado por cima de tudo. É preciso aqui notificar, que a quantidade de gelo depende materialmente do clima; e conseqüentemente, já aconteceu algumas vezes que nenhum congelamento ocorreu. Em outras

vezes, talvez, metade da quantidade será congelada; e tenho frequentemente visto todo o conteúdo formado em um perfeito bolo de gelo: quanto mais leve a atmosfera, e mais limpo e sereno estiver o tempo, mais favorável ao congelamento, já que uma mudança de ventos e nuvens são certamente previsíveis.

Conforme tenho frequentemente anotado, que após uma noite muito fria, para a sensibilidade do corpo humano, quase nenhum gelo tem se formado; quando em outras vezes a noite tem sido calma e serena, e sensivelmente morna, os conteúdos das panelas serão completamente congeladas. A prova mais forte da influência do clima aparece pela água em um fosso sendo mais congelada do que a mesma preparação para congelamento que ocorrerá em outras situações, uma milha ou mais distante.

Fisicamente, a razão sobre este processo de se fabricar gelo, tem sido dito, que uma vez que o termômetro tenha sido suspenso no ar, livre de qualquer outro corpo capaz de comunicar calor, em algumas partes da noite durante os meses frios de Dezembro, Janeiro, e Fevereiro, o mercúrio deve descer ao ponto de congelamento, e a água, sendo colocada em uma situação similar, contida em panelas finamente porosas, e sustentada por uma substância pouco capaz de comunicar calor da terra, deve também se congelar, e permanecer no estado de congelamento até que surja o calor da manhã; mas ao mesmo tempo rogo que observem, que, durante minha estadia naquele quarto do globo, nunca vi qualquer gelo natural. Não posso declarar que o termômetro não tenha caído ao ponto de congelamento durante a noite, porque nunca fiz as observações necessárias; mas água em qualquer outra situação, exceto nas panelas, não parece que tenha estado em um estado de congelamento. O clima pode provavelmente contribuir de alguma maneira para facilitar o congelamento da água, quando disposta em uma situação livre do calor da terra, já que estas noites na qual a maior quantidade de gelo tem sido produzida, foram, como observei anteriormente, perfeitamente serena, com pouco orvalho após a meia noite. Muitos cavalheiros, agora na Inglaterra, têm feito as mesmas observações, em suas frequentes visitas comigo aos poços de gelo. A natureza esponjosa das canas de açúcar, ou as hastes do milho indiano, parecem bem calculadas para permitir uma passagem sob as panelas para o ar frio; o qual, agindo na parte exterior dos vasos, deve arrastar por evaporação uma proporção do calor. A substância porosa dos vasos parece igualmente bem qualificada para a admissão do ar frio internamente; e sua situação sendo cheias um pé abaixo do plano do solo, previne a superfície da água de ser arrastada por qualquer corrente de ar, e assim evita que as partículas congeladas se desgrudem.

A fervura da água parece ser um preparativo necessário para este método de congelamento; mas já que isto pode estar em consonância com a razão filosófica, não suporei determinar.

A partir destas circunstâncias parece, que a água, ao ser disposta em uma situação livre de receber calor de outros corpos, e exposta em grandes superfícies ao ar, deve vir a congelar quando a temperatura da atmosfera estiver alguns graus acima do ponto de congelamento na escala do termômetro Fahrenheit; e sendo coletada e amassada em um corpo grande, e preservada, e servida para resfriar outros fluidos, durante o forte calor da estação de verão. Na realidade existe uma maneira estabelecida de proceder; os refrescos, cremes, ou quaisquer outros fluidos que se pretenda congelar, são confinados em finos copos de prata na forma cônica, contendo cerca de um quartilho (0,473 litros) com suas tampas bem seladas com pasta, e colocadas em um vasilhame grande com gelo, pedra de sal e sal comum, de ambos uma quantidade igual, e um pouco de água para dissolver o sal e combinar tudo. Esta composição logo em seguida congela o conteúdo dos

copos na mesma consistência de nossos sorvetes na Europa; mas água pura ficará tão dura que necessita de um martelo e faca para quebrar. Ao aplicar o bulbo de um termômetro a um destes pedaços de gelo, então congelado, é de conhecimento que o mercúrio mergulha dois ou três graus abaixo do ponto de congelamento: de maneira que a partir de uma atmosfera aparentemente não amena o suficiente para produzir gelo natural, o gelo deve ser formado, coletado, e acumulado frio, que deve fazer com que o mercúrio caia mesmo abaixo do ponto de congelamento.

O físico inglês William Charles Wells descreve em um ensaio publicado inicialmente em 1814 – “An Essay on Dew and Several Appearances Connected with it”<sup>8</sup>, - além de importantes estudos sobre a formação do orvalho, um estudo ímpar em que detalha a natureza física do processo de produção de gelo por resfriamento noturno.

Inicialmente o autor chegou à conclusão de que o orvalho era essencialmente uma consequência do resfriamento radioativo:

[...] o orvalho aparece em um campo aberto e plano durante uma noite calma e serena. As partes superiores da grama irradiam seu calor em direção às regiões do espaço vazio, que conseqüentemente não mandam qualquer calor de volta; suas partes inferiores, da minúscula capacidade de condução, transmite pouco do calor terrestre para as partes superiores, as quais, ao mesmo tempo, recebendo somente uma pequena quantidade da atmosfera, e nada de qualquer outro corpo lateral, deve permanecer mais frio do que o ar, e condensa-se em orvalho seu vapor aquoso, se for suficientemente abundante [...].

O frio noturno sempre fora associado ao orvalho, na concepção de diversos autores anteriores a Wells. No entanto, Wells compreendeu que o frio era a causa e o orvalho, o efeito: “*A formação do orvalho, na verdade, não só produz frio, mas como todas outras precipitações de água da atmosfera, produz calor.*”

Ele examina a proteção de plantas para não se congelarem:

Tenho constantemente sorrido sobre os meios frequentemente empregados pelos jardineiros para proteger suas carinhosas plantas do frio [...] Mas, quando aprendi que os corpos na superfície da terra ficam, durante uma noite calma e serena, mais frias do que a atmosfera, ao radiarem seu calor para os céus, percebi imediatamente uma razão fundamentada para a prática, que eu considerava inútil.

## 2.2 Resfriamento evaporativo

O processo de redução da temperatura de um sistema devido a evaporação da água recebe a denominação de resfriamento evaporativo. O corpo humano vale-se deste princípio para reduzir o calor metabólico, se a temperatura ambiente é maior do que a temperatura da pele. O resfriamento evaporativo e consequente queda da temperatura corpórea em algumas espécies animais como o hipopótamo e o búfalo os obrigam a agasalharem-se com lama em busca de conforto térmico.

Na Índia, as aberturas das janelas voltadas à direção de chegada do vento eram protegidas por esteiras de palha feitos de “khus”, com agradáveis propriedades aromáticas. Estas eram mantidas úmidas, regadas à mão ou por meio de cochos suspensos e perfurados abastecidos com água, que forneciam uma vazão controlada para dispor água durante toda a noite. Chaminés localizadas em pontos estratégicos dos quartos propiciam um fluxo ascendente de ar quente, substituindo-o pelo ar frio oriundo das trocas térmicas verificadas nos tapetes de palha. A Universidade de Patliputra, situado na margem do rio Ganges, Índia, utilizou este processo para induzir o ar refrigerado evaporativo do rio no conforto de suas dependências.

Há registros datados de cerca de 200 A.C. do uso pelos babilônios da evaporação da água pulverizada em pisos e paredes combinado com o resfriamento noturno, no intuito de acelerar e favorecer o processo, naquilo que pode ser considerado um dos mais remotos processos de resfriamento por condicionamento de ar que se tem registro.

## 2.3 Resfriamento por soluções de sal

O sal comum e outras substâncias, uma vez que sejam misturados à água, se dissolve ao mesmo tempo em que absorve o calor da solução de água, num processo de natureza endotérmica. A redução da temperatura da solução (água + sal) pode alcançar temperaturas tão baixas quanto  $-20^{\circ}\text{C}$ , o cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ) ou mesmo  $-50^{\circ}\text{C}$ , no caso do cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ). A recuperação do sal dissolvido por meio de aquecimento não favorece o uso contínuo deste, o que leva a limitações na aplicação do processo.

Muitas culturas antigas já investigaram, com limitações, a redução de temperatura da água quando exposta a sais. Observaram também, gregos e romanos, que a água fervida esfria-se muito mais rapidamente do que a mesma porção de água não fervida. A explicação moderna para estes fenômenos é que a fervura elimina da água o dióxido de carbono e outros

gases que de alguma forma retardam o abaixamento da temperatura da água. Não havia, entre gregos e romanos, conhecimento suficiente à sua época que os levassem a entender tais fenômenos.

## **2.4 Os segredos do frio**

Passemos aos relatos históricos que antecederam, na era moderna (considerando-se o período compreendido entre a idade média e os dias atuais), as conquistas do conhecimento da refrigeração. Uma história entremeada de crenças, dúvidas, interposições científicas equivocadas, acidentes e incidentes históricos que não fogem às regras que regem as grandes descobertas e evoluções científicas em favor da humanidade. Destaca-se que a conquista da refrigeração foi uma das mais relevantes descobertas científicas que mais trouxe proveito material à espécie humana. Passemos então àquilo a que entitulo e considero “a conquista do gelo”.

O domínio do fogo e do calor são vistos como triunfos ímpares na história da civilização humana. Não há porque negar que sua contra-parte, o frio, despertou e ainda instiga a mais séria das jornadas científicas a que o homem dispôs-se a conquistar. Há um lapso temporal considerável que nos remete aos princípios obscuros da temerária concepção de que o frio era, quando muito, autorizado a ter como definição a mera ausência de calor. As fronteiras do que viria aquém daquilo que nossos sentidos detectaram numa zona de desconforto físico, era uma aberração da natureza, por assim dizer, um pecado mortal.

Com esta concepção é que o frio se conformou, durante séculos, às clássicas definições entremeadas pelo conceito de que o frio era a mera ausência de calor. Os efeitos do frio eram de domínio tão complexo quanto a própria natureza do frio e assim subsistiu até meados dos tempos modernos.

Foi somente nos últimos 100 anos que a descoberta veio em benefício do ser humano. Lares refrigerados, alimentos congelados, ar condicionado em arranha-céus, oxigênio líquido em hospitais, são todas situações do viver moderno que não poderiam ser tão bem consubstanciadas de conforto e efeitos benéficos, não fosse a refrigeração. Um pouco além, a exploração espacial e as profundezas das pesquisas médicas, inclusive do cérebro humano, enfim, o desenvolvimento de nossa tecnologia do frio em benefício da criação dos futuros computadores quânticos e redes de comunicação com velocidades inimagináveis moldaram e continuarão a favorecer a nossa forma de interação social.

O frio, durante a maior parte da história da existência humana, ocupou lugar sublime no inventivo humano. Às vezes era tratada como uma substância, outras como um processo ou mesmo como um estado de existência especial. A associação com a morte e as trevas pairou no temerário humano relegando a conquista do conhecimento do frio aos poucos e obstinados cientistas e sonhadores que não temeram em descer aos limites não imagináveis da escala do frio.

Referindo-se ao imenso frio que assolava a Inglaterra do século XVII, época conhecida como “A Pequena Idade do Gelo”, o cientista Simon Schaffer<sup>9</sup>: “Temos de imaginar um mundo iluminado pelo fogo, em que a maior parte do tempo a maioria das pessoas passava frio. O frio terá sido sentido como uma presença real, uma espécie de agente positivo, que afetava o modo como as pessoas se sentiam. E isso encaixava-se perfeitamente na visão mais ortodoxa que os filósofos naturalistas tinham herdado dos Gregos, dos Aristóteles, centenas de anos antes, que existem dois agentes do mundo, o calor e o frio, que funcionam simetricamente e que se podem combinar ou separar.”

As forças temerárias do frio eram vistas, nesta época, como atos de Deus e muitos poucos se incursaram, por conta e risco, em seus segredos.

Retornamos ao ano 1620, quando um destes intrépidos sonhadores aventurou-se em mostrar ao rei James I da Inglaterra a sua capacidade de dominar o frio. O alquimista, mágico, e acessor Cornelis Jacobszoon Drebbel figura na história com o intento de refrigerar, nos moldes da concepção moderna do ar condicionado, aquele que seria o maior espaço interior das ilhas britânica: O salão de Westminster, com 332 pés de um extremo a outro e 102 pés do solo ao teto<sup>10</sup>.

De acordo com Dr. Andre<sup>9</sup>, referindo-se a Drebbel: “Todo o seu mundo fora impregnado pelo mundo da alquimia, de máquinas de movimento perpétuo, da ideia de tempo, espaço, planetas, Lua, Sol, deuses. Ele era um homem fervorosamente religioso, era uma pessoa para quem a Natureza apresentava uma galáxia fenomenal de possibilidades.”

O método utilizado por Drebbel, os resultados e como teria reagido o rei ao seu encontro com o frio criado pelo homem, ficaram em segredo. Não era da natureza dos alquimistas e mágicos disporem os registros de suas experiências e invenções. A história da experiência de Drebbel teria sido relegada aos contos entre gerações, não fosse a citação de Francis Bacon, em seu livro datado de 1620 “The late experiment of artificial freezing”.

Houvesse Drebbel feito os registros e entraria para a história como o inventor dos sistemas de condicionamento de ar. Ao que se sabe, à época do invento, era fato conhecido que o ponto de congelamento da água era o mais frio que se podia alcançar. Drebbel talvez

tivesse conhecimento de que a adição de sais ao gelo possibilitaria uma temperatura de congelamento ainda mais baixa. A passagem, de alguma forma forçada, de ar por uma série de vasilhames contendo gelo provavelmente tenha propiciado a invenção involuntária da primeira unidade de ar-condicionado que se tem conhecimento. Passariam-se quase três séculos para que a praticidade desta idéia viesse ao encontro do conforto humano.

Era necessário que as pesquisas e intentos do homem fossem postos à prova científica para que os benefícios do frio pudessem servir à humanidade, deixando em segundo plano, ou como mero registro histórico, a estabelecida sabedoria dos antigos e as místicas incursões às tentativas de meras invenções casuais.

Foi com esta concepção em mente que Francis Bacon, chanceler do reinado de James I, aplicou alguma metodologia científica ao estudo do calor e do frio.

No século XVII, à época de Bacon, o clima e as doenças eram associados ao dualismo calor-frio na visão do mundo. Os espíritos vitais do interior humano não eram permitidos desprenderem-se por conta da interposição dos efeitos do calor. Por outro lado, os efeitos do frio eram associados ao obscuro, à interperlação da morte no sentido que podia preservar coisas por longa data. Francis Bacon foi acometido de uma pneumonia fatal como resultado de suas experiências em que submetera seu próprio corpo ao frio. O legado de suas incursões à pesquisa do frio é que incontáveis experiências com o gelo e a neve e seus efeitos vitais de conservação foram materializados por conta de inúmeros seguidores que não quedaram em se aventurar pelo caminho do assim conceituado “obscuro”.

Desmistificar os mistérios do universo e das doenças era uma questão de tempo, sujeito apenas à compreensão da natureza do movimento de ligação entre o frio e calor. Esta era a filosofia dos que sucederam a Bacon.

## **2.5 A ciência do frio**

O químico Robert Boyle, filho do Conde de Cork, britânico, nobre abastado e obstinado pelas experiências que envolviam a natureza do ar, seguiu-se a Bacon, tendo nascido um ano após sua morte. As experiências sistemáticas de Boyle foram direcionadas à questão do frio, notadamente à busca pela resposta a questões fundamentais como o frio ser uma decorrência natural do ar, da ausência de luz, ser originado de partículas frigoríficas, entre inúmeros outros questionamentos.

Boyle atacou sistematicamente a visão do frio como substância primordial absorvidas ou repelidas pelo corpo quando aquecido ou resfriado. Para tanto, seguiram-se inúmeras experiências.

Figura 4 - Robert Boyle (1627-1691)



Fonte: Imagem de domínio público.

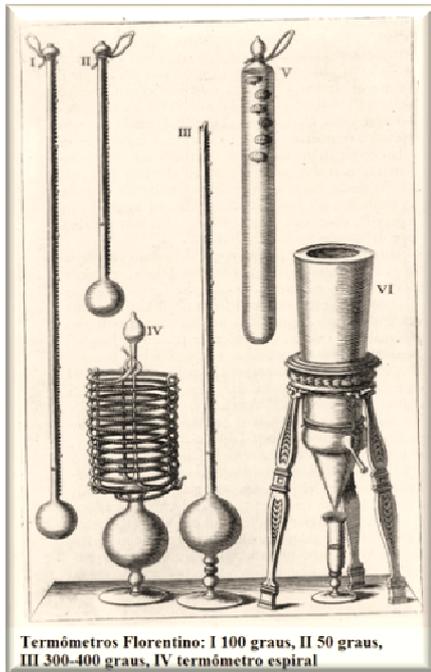
Foi graças a Boyle a constatação de que o peso de certo volume de água congelado, sujeito a um apreciável aumento de volume, permanecia inalterado, levando-o à conclusão de que tudo decorria do efeito de expansão das partículas e não da agregação espontânea de uma substância assim denominada “frio” que fluía para o barril de água utilizado em suas experiências.

Em suas experiências com bomba de ar identificou que o ar contido em um recipiente de vidro era flexível, elástico e resistente à compressão. A expansão do ar contido foi associada à expansão de pequenas molas, imaginado por Boyle como elementos constituintes do ar, que se desenrolavam progressivo e gradualmente para ocuparem mais espaço. A diminuição do movimento destes elementos estaria condicionada à presença do frio. Boyle relatou em publicação da época que se sentiu prejudicado no aprimoramento de suas experiências devido à escassez de termômetros de maior precisão.

Os vidreiros de Florença, apenas em meados do século XVII, conseguiram produzir termômetros de maior precisão. O grau de temperatura associado ao calor e frio agora era uma

grandeza de mensuração confiável, graças ao avanço na tecnologia de fabricação destes instrumentos que passaram a utilizar o álcool como elemento expensor.

Figura 05- Termômetros Florentino



Fonte: <http://www.thehistoryblog.com/archives/19606>.

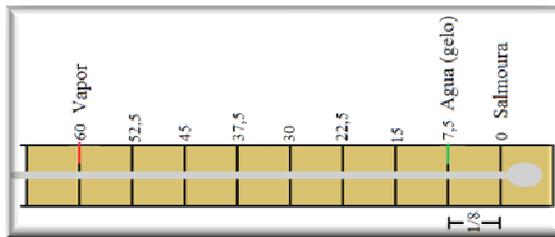
O advento assim concebido contribuiu de forma inimaginável ao intento científico da época, porém ainda de forma limitada. Não havia um consenso quanto às escalas e com isto ficou restrito ao uso de experimentos particularizados.

O próximo passo seria a construção desta escala de maneira sistematizada. A adoção do ponto de congelamento da água foi adotada como base de referência da escala. Não houve consenso quanto a adoção do ponto fixo superior tendo surgido um número interminável de opções que iam desde a temperatura do sangue, da cera derretida, da axila humana entre outras. Isaac Newton adotou em sua “escala de calor” o ponto de tolerância da mão humana quando mergulhada em água quente.

O astrônomo dinamarquês Ole Roemer concebeu uma escala de temperatura de sua autoria. Roemer considerou o ponto de congelamento da salmoura como 0 (zero) e o ponto de ebulição da água foi estabelecido como o ponto máximo de sua escala. Roemer então criou uma escala de ponto fixo de 60 graus. Roemer, em um dia de baixíssimas temperaturas em Florença, observou que a água congelara a 1/8 de seu caminho descendente na escala de seu

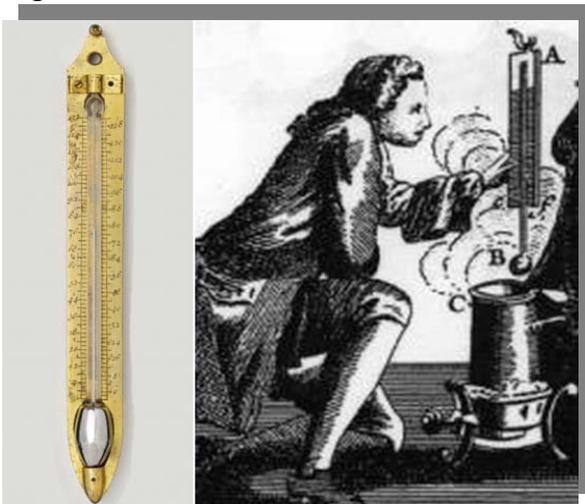
termômetro. Dividiu a escala em 8 partes de 7,5 graus<sup>11</sup>. O modelo abaixo sugere uma melhor compreensão da complexa escala adotada por Roemer.

Figura6 - Esboço do termômetro de Roemer



A primeira escala consensual somente veio com Daniel Fahrenheit, um construtor de instrumentos e termômetros medicinal. A partir de uma mistura de gelo, água e sal, definiu seu ponto zero da escala em 32° e o ponto fixo superior da escala tomou como base a temperatura do ser humano estabelecida em 96°. O mérito do termômetro de Fahrenheit nem tanto se deve à metodologia da escala adotada, mas principalmente ao uso de mercúrio como elemento expensor, conseguindo com isto, produzir termômetros de tamanhos consideravelmente reduzidos em comparação aos termômetros de álcool até então predominantes.

Figura 7 - O Termômetro de Fahrenheit



Não se sabe ao certo quantos termômetros Fahrenheit produziu ou mesmo quando o inventor começou a fabricar os termômetros comercialmente, no entanto um dos dois modelos original está no museu da Holanda é datado de 1718.

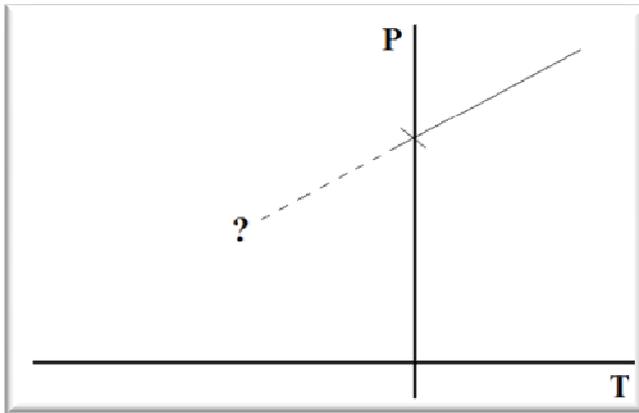
Fahrenheit tomou como referência a escala de Roemer para construir sua própria escala, de leitura menos complexa. Considerou os pontos de congelamento da salmoura, da água e a temperatura do sangue humano (corpo humano) como pontos fixos de calibração. O ponto inferior foi estabelecido como o ponto de congelamento da salmoura e o ponto superior a temperatura do corpo humano (sangue humano). Utilizou um fator de 8 ao invés dos 7,5 adotados por Roemer e em seguida dividiu cada grau em quatro. Ao multiplicarmos 4 por 8 teremos em 32 graus a temperatura de congelamento da água. Esta é a forma como surgiu a escala Fahrenheit largamente utilizada até os dias atuais.

Anders Celsius, um astrônomo sueco, concebeu o termômetro numa escala de 100 divisões. Tomou como pontos de referência da escala os pontos de congelamento e de ebulição da água. Fato curioso em sua inovação é que adotou o ponto de ebulição da água como  $0^{\circ}$  e o ponto de congelamento como  $100^{\circ}$ . O botânico Lineu, então presidente da Academia Sueca, passados alguns anos, inverteu a escala para sua forma como a conhecemos hoje, a que foi denominada “escala Celsius”.

O físico francês Guillaume Amontons, em 1702 nos surpreende com um belíssimo e inovador questionamento a respeito do limite inferior absoluto da temperatura. Isto é um marco na história das pesquisas em torno do frio.

Tudo teve início quando elaborava uma experiência que apontava as variações de pressão em função da temperatura de massas de ar. Amontons, após tomar anotações sobre o comportamento volumétrico ou da pressão que estava sujeito um balão de ar arrefecido por gelo, questionou-se o que aconteceria se continuasse a arrefecer a massa de ar. O que aconteceria se projetasse a linha indefinidamente, conforme o modelo do diagrama abaixo, até que a pressão fosse zero?

Figura 8 - Diagrama de Amontons



Sem dúvida que por esta época já estávamos num estágio bastante avançado das concepções acerca da natureza do frio e esta foi a primeira consideração que se tem registro acerca de um zero absoluto de temperatura, ou pressão zero, ou mesmo temperatura zero. Enfim, especulou-se a existência de um ponto zero inferior onde tudo teria início e com isto a história já registra uma incursão séria e com cunho científico a um fenômeno que certamente ainda renderia muitas e acaloradas discursões a respeito do frio. O próprio Amontons não sugeriu respostas ao seu misterioso questionamento, mas ao longo da história vários cientistas calcularam valores que não diferem muito do valor moderno de  $-273^{\circ}\text{C}$ .

Tais conjecturas não foram imediatamente racionalizadas, exceto quando William Thompson, o primeiro barão Kelvin as estendeu e sistematizou os conceitos de forma mais profunda. Neste meio período a ciência ocupou-se de buscar uma resposta mais convincente às teorias que fundamentavam as interrelações do frio com os conceitos vigentes, notadamente a concepção de que o frio era apenas a falta de calor.

Amontons, entre outros, sustentavam a teoria do movimento de partículas atribuindo à proximidade do movimento entre tais partículas o fator responsável pelo frio nos corpos do qual estas partículas fazem parte.

Não bastasse a concepção de movimento associado com partículas ter dominado o campo teórico por longo período, surgiu no final do século XVIII uma nova teoria que desvinculava a perda de velocidade na relação do frio. Esta nova teoria ocasionou um revés histórico sem precedentes no intento humano acerca do frio. O responsável por estes novos conceitos foi o já famoso químico Antoine Lavoisier e seus argumentos de tão convincentes, embora errados, sustentaram-se pela forma simples apresentada para a compreensão do frio. Quaisquer outros argumentos de cunho científico apresentados dificilmente empunhariam óbices nas convicções de Lavoisier com sua “Teoria Calórica”.

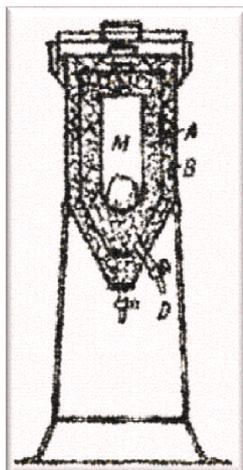
Figura 9 - Antoine Lavoisier (1743-1794)



Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Antoine\\_Lavoisier](http://pt.wikipedia.org/wiki/Antoine_Lavoisier).

A idéia era atribuir uma tratativa ao calor como um fluido sem peso, ao qual denominou de “calórico”. De um estado sólido, onde as moléculas estariam aglomeradas, haveria, pela introdução do calórico entre as partículas, um desprendimento da matéria. Tratava-se, pois de um fluido “repulsivo”, como o próprio Lavoisier o qualificou, que conseguia separar as coisas entre si. Concebeu esta idéia como a responsável pelo calor e a ausência destes “calóricos” como o responsável pelo frio. O calorímetro foi a invenção de Lavoisier utilizado em suas pesquisas do frio.

Figura 10 – Calorímetro de Lavoisier



Fonte: Photo de J.P. Poirier, Lavoisier: Chemist, Biologist, Economist, R. Balinsky, trans., U. Pennsylvania Press, 1996. Disponível em <https://webpace.yale.edu/chem125/125/history99/2Pre1800/Lavoisier/Instruments/calorimeter.html>.

Na elaboração deste método de Lavoisier o calorímetro consiste de três vasos em chapas de aço, montados um dentro do outro. O vaso mais interno, em forma de peneira M, contém o corpo (fonte geradora de calor, como animais ou mesmo reações químicas), aquecido à temperatura  $t_1$ , o qual deve fornecer seu calor para seu meio e derreter o gelo; o vaso central, A, contém gelo; o vaso externo, B, protege o gelo, que no fundo serve somente para isolar A do meio externo e por isso também é preenchido com gelo. Enquanto calor do meio externo derrete o gelo em B, ele não pode elevar a temperatura de B além de zero antes que todo o gelo em B tenha sido derretido e conseqüentemente também não pode interagir com o gelo em A; como conseqüência, o ambiente do corpo M mantém-se em temperatura zero e o corpo se resfria de sua temperatura inicial  $t_1$  para  $0$ . Ao se pesar a água derretida, que é drenada em D, e Lavoisier buscava determinar a quantidade de calórico gerado por cada fonte. Vendo o calórico como uma substância materializada, chegou inclusive a incluí-la na sua lista de elementos.

A concepção do calor como uma vibração de partículas, outra teoria então vigente na época, era de difícil conceituação e aceitação, enquanto os argumentos de Lavoisier dando significado ao calor como um fluido, uma substância que tem peso, assim como o oxigênio ou o nitrogênio, certamente que encontrou adeptos na comunidade científica que a viam como uma extraordinária ideia que conseguia dar base para a sustentação de inúmeros outros questionamentos científicos da época. Com base em sua teoria, Lavoisier argumentava a constituição do gás oxigênio, e.g. como um composto de oxigênio mais calórico. A liquefação do oxigênio poderia eventualmente ser conseguida com algum modelo que conseguisse extrair o calórico. No mínimo interessante!

Pesa ainda em favor de Lavoisier sua bem sucedida incursão pelos campos da química, o que o tornou renomado e com sua “teoria calórica” imbatível até que o conde Rumford se propusera a desafiar os argumentos de Lavoisier.

Americano de nascimento, então ministro do governo da Baviera e responsável pela artilharia, o conde Runford observara que, durante a perfuração de tambor de canhões, o calor gerado era imenso e imputou-se em determinar esta quantidade de calor. Depois de adaptações que objetivavam aumentar a quantidade de calor gerado por atrito e utilizando-se de uma broca romba cuja outra extremidade permanecia submersa em uma bolsa de água, Runford percebeu que uma quantidade arbitrária de calor poderia ser gerada, à medida que se estendia o tempo de movimento de atrito entre a broca e o canhão.

Tudo se iniciava com um aumento gradativo de calor até o ponto de fervura da água e assim prosseguia gerando cada vez mais calor, com o passar do tempo. Ele mostrou que podia

evaporar qualquer quantidade de água com a continuidade do processo (com a broca rumba). Runford concluiu que: “O calor possivelmente não pode ser uma substância, porque o barril e a broca possuem dimensões finitas, de onde não podem conter e fornecer quantidades ilimitadas da substância calor; a substância calor, que estava entrando na água, deve conseqüentemente ter sido criada, mas a matéria não pode ter sido criada. Contudo, o movimento estava sendo transferido para a broca e para o barril continuamente e calor estava sendo gerado enquanto a transferência de movimento durou, de onde o calor poderia existir devido ao movimento, isto é, deve por si ser um movimento - movimento de moléculas do corpo, gerado por fricção.” (Em outras palavras, Energia é transferida para a broca e para o barril, de onde o calor deve ser uma forma de energia – energia que toda massa, que também é uma molécula possui devido a seu movimento.) Runford não fez qualquer referência a uma relação bem definida entre calor e trabalho.

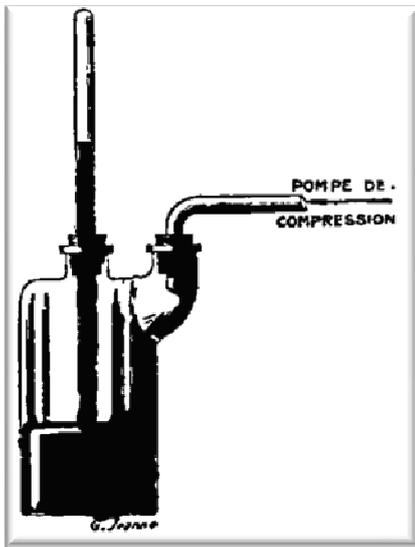
Os argumentos de Runford não tiveram a credibilidade científica esperada na época e com isto a teoria de Lavoisier persistiu até que se passassem pelo menos 50 anos de sua morte.

Neste meio tempo, alguns avanços científicos contribuíram significativamente para os argumentos que se sucederam em torno das teorias do frio.

A primeira experiência de liquefação de gases deve-se ao célebre Van Marum que estava verificando em 1792, em relação ao gás amônia, a exatidão da lei de Mariotte. Ele havia retido para o propósito certa quantidade deste gás em uma garrafa graduada, em relação ao qual mercúrio poderia ser bombeado, de maneira que comprimisse o gás.

Van Marum, em 1792 desenvolveu uma experiência com gases que pode se considerar o primeiro registro de liquefação obtido que se tem conhecimento histórico. A experiência de Marum objetivava comprovar em relação ao gás amônia a autenticidade da Lei de Mariotte. Uma porção do gás foi retido numa garrafa graduada e submetido à pressão de mercúrio que era bombeado para o interior da mesma.

Figura 11 - Experiência de Van Marum



A primeira experiência com a liquefação de gases (Van Marum, 1792). Em princípio tudo funcionou rigorosamente de acordo com o que Marum previa, quando surpreendentemente o mercúrio passou a elevar-se de forma acelerada, para logo em seguida constatar que o gás havia se convertido inesperadamente em um líquido límpido.

Sabe-se, modernamente, que na temperatura ambiente de 15°C a tensão de saturação da amônia é de 7.2 atmosferas. Van Marum, à época de sua experiência, certamente que deva ter elevado a pressão sobre o gás acima deste valor e o resultado foi inevitável.<sup>13</sup>

Michael Faraday, em 1823, intentou-se num experimento que constituiu a base das subsequentes teorias e práticas em torno do frio. Ainda quando era um jovem assistente sob a tutoria de Humphry Davy, Faraday desenvolvia experiências em uma recém-descoberta substância, o hidrato de cloro, um composto cristalizado que forma o cloro. Objetivando estudar a ação do calor no composto, alguns poucos cristais foram introduzidos na extremidade selada de um tubo de vidro na forma de um V, de cabeça para baixo. Os cristais de cloro foram aquecidos e a outra extremidade do tubo, que foi mantida selada, Faraday manteve-a resfriada em um banho de gelo. Quando sujeita a ação de uma leve quantidade de calor, os cristais se derreteram e um gás amarelo-esverdeado se despreendeu, elevando levemente a pressão no interior do tubo selado. Michael Faraday também percebeu a formação de um líquido amarelo entremeando-se nas paredes da parte não aquecida do tubo. Seu imenso senso de curiosidade científico o levou a quebrar o tubo de cobre provocando o arremesso de estilhaços devido à pressão formada no interior no tubo.<sup>14</sup>

Figura 12 – Experiência de Faraday - Hidrato de cloro é liquefeito por Faraday



É de conhecimento que no curso da experiência de Faraday, o Dr. Paris, entrando no laboratório foi ríspido com o jovem que praticava a experiência ao interrogar sobre gotas oleosas que evidenciavam-se no tubo, e que em sua opinião demonstravam um descuido deplorável. Sabe-se também que Faraday, questionando-se a si próprio, não respondeu a tempo, mas na manhã seguinte uma breve nota chegou ao conhecimento do rude Dr. Paris: “Suas gotas oleosas eram apenas cloro líquido.”<sup>14</sup>

Michael Faraday percebeu que devido ao aumento de pressão o gás se liquefazera, materializado na forma de um líquido amarelo e que a explosão, ou a brusca queda de pressão, não só provocava uma queda de pressão repentina, mas uma queda de temperatura considerável também ocorria com a evaporação do líquido.

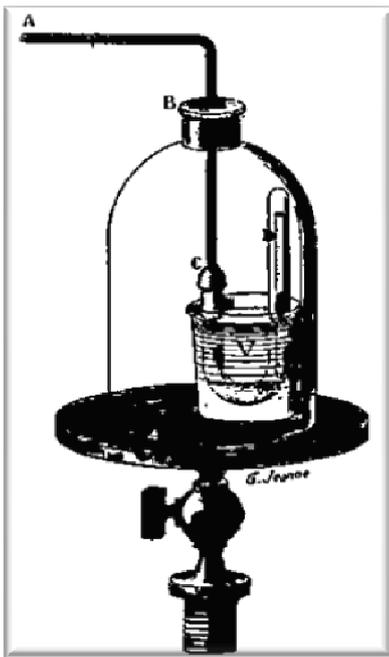
Michael Faraday escreveu: “Há razões suficientes para acreditar que esta técnica de resfriamento com amoníaco, possa vir a ser empregado com sucesso na preservação de substâncias animais e vegetais com fins alimentares.”

Suas experiências com gases lhe renderam inúmeros sucessos conforme nos descreve brilhantemente George Claude numa passagem de seu “Liquid Air Oxygen Nitrogen”<sup>15</sup>

O pesquisador foi mercedor da oportunidade que desta maneira lhe favoreceu. Outro teria parado lá. Faraday, pelo contrário, visualizou um veio muito rico que valeria a pena explorar e perseguir até o fim. Um método de operação de praticidade memorável acabara de lhe ser revelado; ele não se deteve até que tivesse aplicado-o a todos os casos similares. Ao invés de produzir gases que seriam liquefeitos em aparelhos separados, e então bombeando-os no vaso onde a liquefação haveria de acontecer por meio de bombas de pressão, que tanto é complicado, inconveniente, quanto sujeito a

mudanças, foi suficiente para ele depois disso produzir no próprio vaso, por meio de uma reação apropriada, aumentando quantidades de gás a ser estudado, que desta forma se autocomprimia ao ponto de liquefação na extremidade fria, onde, por causa da baixa temperatura, a tensão de saturação era diminuída.

Figura 13 - Segundo aparelho de Faraday



Vale comentar, de passagem, que Faraday estava realizando desta forma uma aplicação inovadora do princípio do condensador, cuja descoberta é atribuída ao nome do ilustre engenheiro, James Watt.

Este método, por outro lado, não aconteceu sem alguns riscos, já que em muitas ocasiões no curso de suas experiências, Faraday se machucou, até mesmo nos olhos, pelo estouro dos tubos. Mas isto são os menores inconvenientes, a cunhagem atual da pesquisa científica, rapidamente esquecida na intensa satisfação de uma experiência de sucesso: e Faraday poderia não ter sido o pesquisador apaixonado que sabemos que foi, caso seu entusiasmo tivesse sido esfriado por tais ninharias.

É desta forma que durante o ano memorável de 1823 que o ácido clorídrico e sulfato de ferro fornecia hidrogênio sulfurado, reduzido posteriormente a um estado líquido por uma pressão de 17 atmosferas na temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$ ; que o mercúrio e o ácido sulfúrico produziram ácido sulfuroso liquefeito a  $7-5^{\circ}\text{C}$  sob uma pressão de 3 atmosferas; que o próprio protóxido de nitrogênio, resultante da decomposição do nitrato de amônia pelo calor, foi liquefeito sob 50 atmosferas; que finalmente, o cianogênio sob 37 atmosferas, e o ácido carbônico sob 36 atmosferas completaram a lista dos sucessos de Faraday nesta magnífica excursão. Isto foi o suficiente pra lhe botar água na boca, e vemos atualmente que ele não parou por aqui.

Todas estas descobertas do cientísta foi uma etapa inicial num ciclo de pesquisas intermitente com o qual o notável cientísta se dispôs a contribuir. Seu grande foco voltou-se para as pesquisas no campo da eletricidade, cujas descobertas o tornam um dos mais renomados, se não o maior de todos, cientístas de todos os tempos.

### 3 O COMÉRCIO DO GELO

Nos EUA, Frederic Tudor teve a idéia de comercializar o gelo natural formado nas lagoas de New England. Foi um negócio de ascensão próspera que mais tarde lhe rendera a alcunha de “o rei do gelo”, além de ter se tornado um dos primeiros milionários americano.

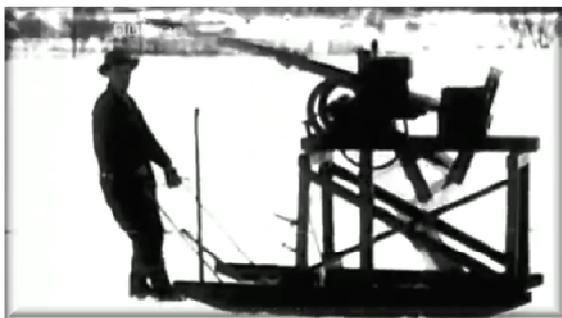
Figura 14 - Frederic Tudor (1783-1864)



O início das atividades de Tudor foram ao longo do rio Hudson e lagoas de Massachussetts, com o comércio de exportação voltado para a Índia. Conseguiu o feito de disponibilizar gelo aos indianos por um preço mais em conta do que os de produção local fabricados pelo método de resfriamento noturno.

Tudor teve que adaptar ferramentas como serras com duplo corte, habilitando sua equipe enorme de operários a produzirem o equivalente a 1 hectare de gelo em apenas 2 dias de trabalho. O uso de cavalos se fez necessário na exploração de lagos cada vez maiores visando o abastecimento cada vez mais crescente de gelo.

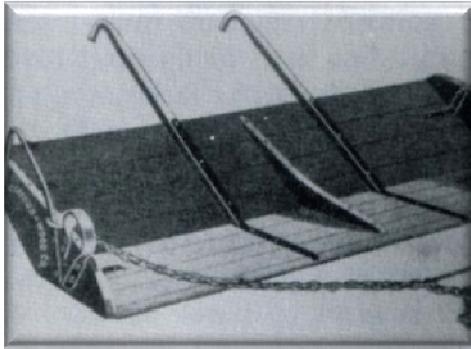
Figura 15- Máquina de cortar gelo à época de Tudor



Fonte: Documentário da BBC, baseado no livro “Absolute Zero and The Conquest of Cold”, de Tom Schachtman, produzido e dirigido por David Dugan, 2007.

Um exemplo de raspadeira usada para remover neve do gelo. “Ice Harvesting in Early America.” New Hartford, New York: New Hartford Historical Society, 1977.

Figura 16 – Raspadeira de Gelo



Fonte: Hill, Dewey D. and Elliott R. Hughes.

Fato notório nesta época foi a introdução de uma máquina de cortar gelo elaborada por Nathaniel J. Wyeth. O dispositivo permitia, pela primeira vez, o corte elaborado, rápido e econômico de gelo natural em barras com dimensões sob medida. Isto facilitou enormemente os métodos de transporte e conservação do gelo que passou a ser disponibilizado à população americana numa escala sem precedentes, transformando por completo a indústria de gelo.

Figura 17 - Colheita de gelo em Wolf Lake, Indiana, em 1889



Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Harvesting\\_Ice\\_in\\_Indiana.JPG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Harvesting_Ice_in_Indiana.JPG)

Na figura 17, Colheita de gelo em Wolf Lake, Indiana, em 1889, mostrando as correias transportadora usadas para elevar o produto para a casa de gelo.

A remoção do gelo cortado em barras da superfície dos lagos onde se formara também teve um notável avanço com a utilização de um dispositivo que utilizava uma corrente sem-fim para o transporte até os armazéns de estocagem localizadas num nível mais elevado. (Uma discussão mais significativa deste método pode ser encontrada em Cummings, *The American Ice Industry*,<sup>16</sup>). Isto permitiu o transporte mecanizado, por volta de 1855, de seissentas toneladas de gelo para estoque apropriado em apenas uma hora<sup>17</sup>. Também foi patenteado por Tudor, a partir das idéias de Wyeth, um método de estocagem que não permitia o congelamento entre si dos blocos de gelo, a partir do uso de camadas de material isolante, normalmente serragem.<sup>16, 18</sup> Finalmente, fechando este ciclo das metodologias de transporte do gelo, elaborou-se na época um maquinário para descarregar o gelo até o porão dos navios (L. Weatherell, “The Ice Trade,” U.S. Department of Agriculture, Report of the Commissioner, 1863 (Washington, 1863), 440.) Os meios mais eficazes para o manuseio de transporte da produção de gelo agora disponível abriu brechas para um número cada vez mais crescente de comerciantes entrassem neste mercado de produção de gelo.

A sequencia de gravuras do artigo de SMITH, PHILIP CHADWICK FOSTER<sup>19</sup> nos fornece uma importante cronologia das atividades em um campo de coleta de gelo:

Uma vez que o gelo havia se congelado espessamente, todo o gelo poroso e neve na superfície de topo era removido por meio de uma plaina ou raspadeira tangido a cavalo.

Fig. 18 - Raspando a neve



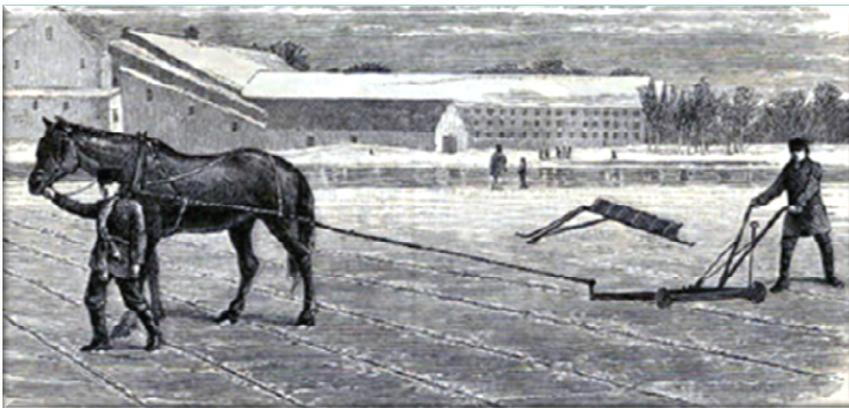
Fonte: <http://www.iceharvestingusa.com/crystalblocks1.html>.

Figura 19 - Plainando o Gelo



Fonte: <http://www.iceharvestingusa.com/crystalblocks1.html>.

Figura 20 - Marcando o Gelo para Arar (o arado está de cabeça para baixo logo ao fundo)



Fonte: <http://www.iceharvestingusa.com/crystalblocks1.html>.

Figura 21 - Serrando o gelo



Fonte: <http://www.iceharvestingusa.com/crystalblocks1.html>.

Figura 22 – Coleção de serras utilizadas na colheita de gelo



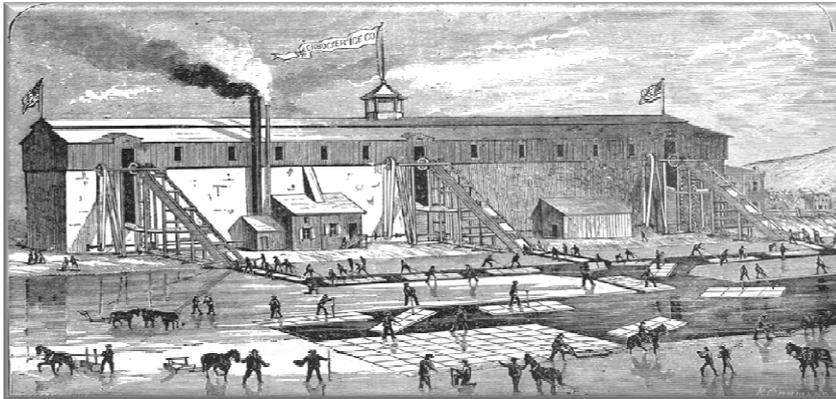
Fonte: The Ice Museum of North America, disponível em:

<<http://www.knowltonsicemuseum.org/main.html?src=%2F#7,0>> Último acesso em 01/09/2014.

Quando a área estava livre de todo cimento, na superfície eram feitas “ranhuras” em bloco por um arado em forma de faca arrastado por cavalo. Isto marcava o gelo com sulcos rasos, indicando em quais pontos os cortes haveriam de ser feitos. Os trabalhadores então iam sobre o gelo e o separavam as peças com serra manual; então separavam as peças flutuantes com um pé de cabra pontudo.

Estes blocos eram deslocados na direção do elevador da casa de gelo para serem suspenso – nos primórdios por cavalo, mas posteriormente a vapor. As plataformas mostradas em antigas fotos das casas de gelo eram, na verdade, deslizadores, nos quais o gelo podia ser empurrado para níveis diferentes dependendo do peso dos blocos de gelo já estocados nas casas de gelo. Uma vez que estavam no interior, os blocos eram empilhados o mais próximo possível para evitar o derretimento desnecessário. Uma proteção adicional era fornecido pela própria construção das casas de gelo. É evidente que contra desperdício. O espaço entre estas paredes era frequentemente preenchido com raspas de madeira, feno, ou serragem ara isolar ainda mais a construção.

Figura 23 - Colheita e armazenamento do gelo nos anos de 1880



Fonte: Extraído de W. P. Blake “Mining and Storing Ice,” *Journal of the Franklin Institute*, LXXXVI 3rd s. (1883), 363. Gravura original pertence à Universidade da Califórnia.

O campo foi preparado para a colheita por uma raspadeira e uma plaina de gelo mostradas na parte inferior à esquerda. Tiras de gelo na qual sulcos retangulares foram cortados estão sendo empurradas através de canais para os elevadores movidos a vapor. Aqui elas estão sendo divididas em pedaços de tamanho manobrável com barras de ferro. Observe os longos eixos e cintas usadas na transmissão de potência.

Com o aumento da concorrência, que foi um dos efeitos do trabalho de Wyeth, além de outros (corte rápido e mais barato, transporte mecânico para a armazenagem, técnicas de manuseio mais eficientes, desperdício e risco reduzido e operações em larga escala), tiveram como efeitos imediatos a queda de preços no Norte e no Sul dos Estados Unidos,<sup>20</sup> promovendo oportunidades para que mais pessoas pudessem receber os benefícios da refrigeração.

Figura 24 - Entrega de gelo em Nova Iorque, 1884 / Figura 25 - A entrega para algum estabelecimento comercial, possivelmente um bar



Fonte: Extraído de Harper’s Weekly, XXVIII (August 30, 1884), 562. Desenho original pertence à Universidade da Califórnia.

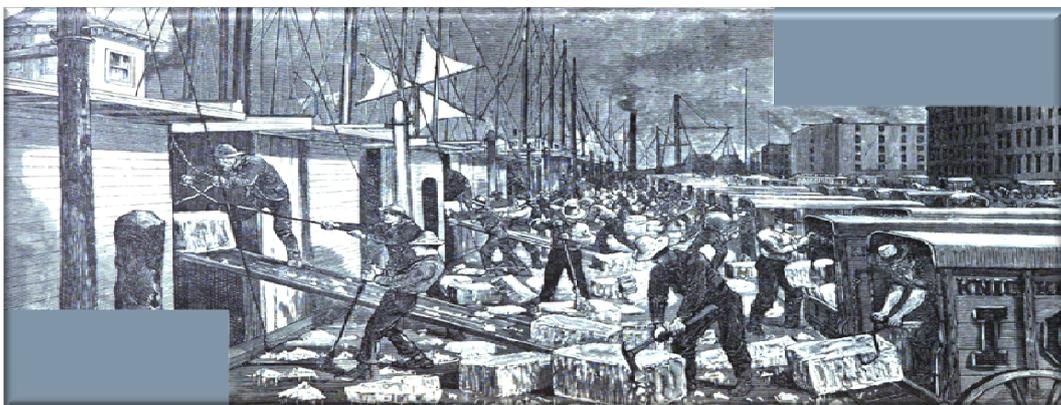
A ilustração de entrega de gelo a consumidores doméstico. Nesta vizinhança, aparentemente, o entregador de gelo não acessava a cozinha, mas vendia suas mercadorias à dona de casa ou à sua empregada doméstica ao longo do meio fio.

Ainda que o gelo estivesse disponível, o açougueira, alguns poucos números de casa abaixo na rua, ainda deixa sua carne não refrigerada pendurada ao ar livre.

A geografia do comércio de gelo sofreu uma acentuada modificação, os volumes de negócios cresceram, mas o número de firmas que passaram a explorar a atividade constituiu um novo desafio para Tudor, a partir de 1827. Uma nova era no comércio de gelo foi marcada por carregamentos para a Índia (180 toneladas em 1833) e para o Brasil, cujo primeiro carregamento de gelo natural foi em 1834, quando o “Madagascar”, um veleiro de três mastros de propriedade de Frederic Tudor, aportou no Rio de Janeiro com um carregamento de gelo e maçãs.<sup>21</sup> A atuação geográfica das exportações, antes restrita à região do Caribe, se alargaram em proporções inimagináveis até que por volta de 1850, todos os grandes portos da América do Sul já recebiam carregamentos regular de gelo<sup>22</sup>.

Houve transporte de gelo para o Sul dos EUA, para a Europa, Austrália, Ásia, incluindo a China. Trens com isolamento térmico de 0,3 mts. de cortiça compunha, além de caminhões especialmente adaptados às tarefas, o meio de transporte terrestre mais difundido para o gelo. A idéia de comercialização logo se estendeu por outros países como Grã-Bretanha, Rússia, Canadá, Noruega e França. Nestes, a prática comum era o transporte de gelo a partir das regiões mais frias ou eram colhidos no inverno e armazenado em casas de gelo para a utilização nas cidades no verão.

Figura 26 - Descarregamento de barçaça no Rio Hudson em Nova Iorque, 1884



Fonte: F. Ray disponível em <http://harpers.org/archive/1884/08/> - Gravura original pertence à Universidade da Califórnia.

O gelo está sendo removido das barcaças que foram corregadas em portos rio acima. As velas de pano dos moinhos de vento montados no convés supria potência às bombas que removiam água derretida dos porões. A economia de força humana aparentemente não era problema, pois se observa visivelmente quatro a cinco trabalhadores para cada vagão. Fonte: extraído de Harper's Weekly, XXVIII (August 30, 1884), 562.

Em 1872 os EUA exportou 225.000 toneladas de gelo para vários países.

Figura 27: Mulheres entregam gelo durante a I Guerra Mundial e um um modelo de carroça típico da época (1900)



Fonte: <http://www.1924.us/post/58183708328>; Fonte: ice museum of North America.

Na figura 27 à esquerda, mulheres entregam gelo durante a I Guerra Mundial -; à direita, um modelo de carroça típico da época (1900) construído pela Izzo Bros. Ice and Coal Company.

Fato curioso é que quando Tudor aventurou-se a exportar gelo para o extremo Sul e Caribe, houve rejeição dos armadores em transportar suas cargas de gelo, o que de pronto lhe despertou o interesse na área de transporte naval. Tudor angariou, junto a investidores, os meios para a aquisição de seu próprio navio, fato que se tornaria o início de uma frota naval.

Figura 28 - Modelo em miniatura do navio de gelo de Frederic Tudor, o Ice King.



Fonte: ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Journal, December 1998.

Comparando-se ao ganho médio anual das famílias americanas em torno de 200 a 300 dólares, os negócios de Tudor foram além dos inimagináveis lucro de 6 mil dólares com apenas uma viagem de um de seus navios rumo ao Caribe. Mesmo com as perdas estimadas em torno de 20% do gelo quando da chegada em seu destino final.

Na segunda metade do século XIX esta atividade notabilizou-se por empregar dezenas de milhares de pessoas.

Figura 29 - Indústria de gelo da metade do século XIX



Fonte: Documentário da BBC, baseado no livro “Absolute Zero and The Conquest of Cold”, de Tom Schachtman, produzido e dirigido por David Dugan, 2007.

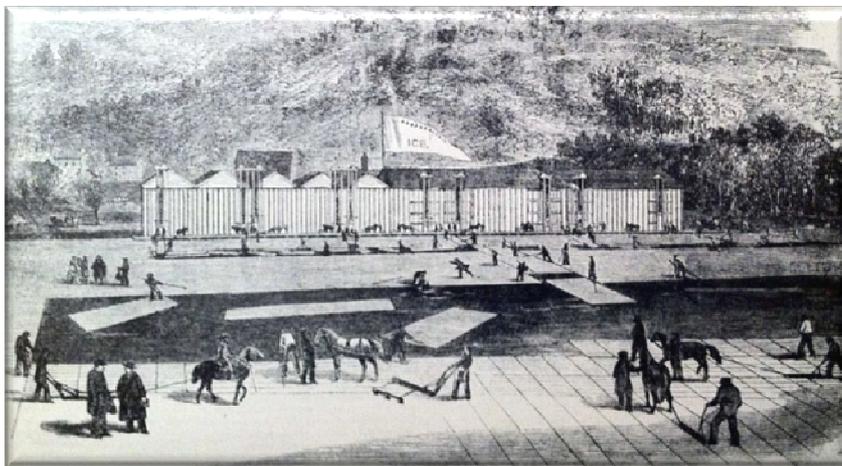
Frederic Tudor tinha industrializado o frio, da mesma forma que os pioneiros do vapor tinham dominado o calor.

Figura 30 - O Transporte de gelo em vagões de trem



Fonte: Documentário da BBC, baseado no livro “Absolute Zero and The Conquest of Cold”, de Tom Schachtman, produzido e dirigido por David Dugan, 2007.

Figura 31 - Colheita de gelo em Nova Iorque, 1852, mostrando os elevadores vertical usados para abastecer a casa de gelo



Fonte: Imagem de domínio público.

### 3.1 O comércio de gelo no Brasil

Desde o primeiro carregamento, em 1834, a bordo do Madagascar<sup>21</sup> até a virada do século, o comércio de gelo entre o Brasil e os Estados Unidos atingiram números significativos. A elite brasileira, substanciada pelos altos lucros do comércio de café, e mesmo os poderosos comerciantes no extremo norte do país que surgiram com o súbito comércio da borracha, cada vez mais importavam o gelo dos Estados Unidos. Os números indicam: Em 1856, aproximadamente 875 toneladas de gelo natural foram despachados para Salvador, 257 toneladas para Pernambuco e 1.762 com destino ao Rio de Janeiro.<sup>23</sup> Borracha, Cana de Açúcar e a nobreza imperial foi o tripé de sustentação do comércio deste comodite, cujo “. . . uso tem sido forçosamente limitado aos ricos,”<sup>24</sup>

O comércio com o Brasil e a América do Sul favoreceu as empreitadas de Tudor, já que no transporte de retorno a Nova Inglaterra, os navios eram abastecidos com açúcar, frutas tropicais e isto ajudava a manter os preços do gelo mais baixo em Boston algodão.<sup>25</sup>

O professor Marc W Herold da Universidade de New Hampshire em Durham, New Hampshire<sup>26</sup> cita:

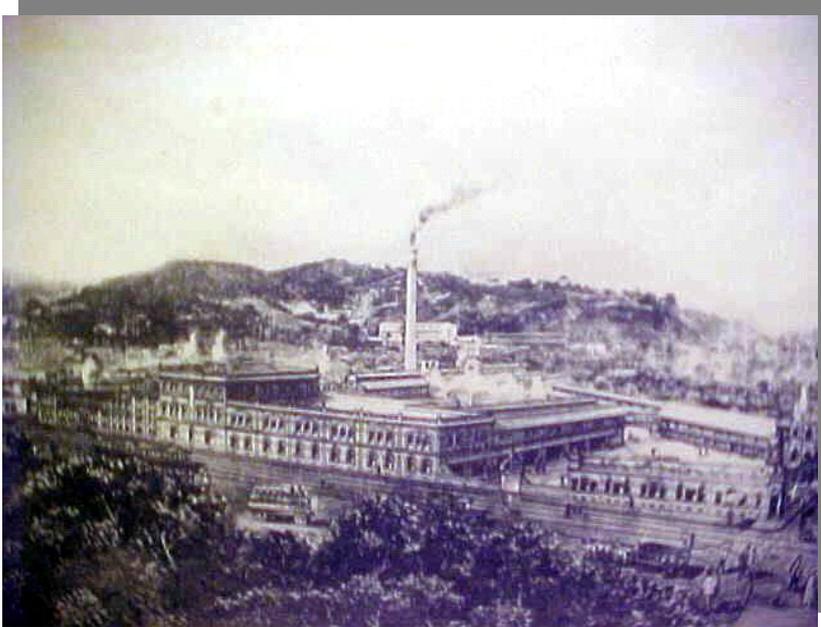
Os EUA exportou um valor entre \$8.600 - \$11.000 dólares em gelo anualmente ao Brasil durante os anos 1853-55.

Em 1855, 8.109 toneladas foram exportadas para o Brasil, trazendo para os EUA \$9.279 dólares (ou seja, uma tonelada de gelo era vendida a pouco mais de um dólar americano). O uso do gelo no Rio cresceu lentamente. Em 1865, 3.319 toneladas de gelo de Boston chegaram ao Rio de Janeiro. Os números foram 2.500 toneladas importadas em 1872, 3.100 em 1873, e 2.400 toneladas em 1874, colocando o Rio de Janeiro como o segundo maior destino das exportações de gelo americano (depois de Demerara).

Os imigrantes suíços e alemães foram os grandes responsáveis pela implantação de fábricas de gelo no Brasil.<sup>27</sup>

Joseph Villiger criou uma pequena cervejaria na rua Visconde de Sapucaí em 1888, a Manufacturera de Cerveja Brahma, Villiger & Cia. O negócio não prosperou a contento até que em 1894 o alemão Georg Maschke adquiriu a fábrica. O primeiro passo de Maschke foi a aquisição de uma fábrica de gelo de segunda mão. Dois anos mais tarde, em 1896, ao elevar a capitalização do empreendimento para 900 contos, adquiriu uma fábrica de gelo nova, importada da Alemanha.<sup>28</sup> A estratégia comercial de Maschke foi o patrocínio de bares, restaurantes, clubes e artistas para que pudesse assim expandir o consumo de cerveja.

Figura 32 - Foto da fábrica de cerveja Brahma no bairro do Catumbi, no Rio de Janeiro



Fonte: Imagem de domínio público.

A fábrica de cerveja Brahma no bairro do Catumbi, no Rio de Janeiro que teve uma grande fábrica de gelo importada de Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg em 1896. Em 1907 ainda existe relato sobre a produção de gelo por esta única fábrica, cuja distribuição se limitava a pequenos depósitos de esquinas e destes para os consumidores. Regularmente ainda chegavam navios carregados com gelo dos Estados Unidos. A certeza dos carregamentos de importados era somente para o Natal, quando os navios carregados com gelo e maçãs aportavam no Rio de Janeiro.<sup>29</sup>

São Paulo, Porto Alegre e Pernambuco possuíam máquinas de fazer gelo. A Antártica Paulista – Fábrica de gelo e Cerveja, que mais tarde transformou-se na Companhia Antártica Paulista, iniciou suas operações em 1888 no bairro Água Branca, com uma produção e gelo diária de 50 toneladas.<sup>30</sup>

Em 1889 havia somente uma fábrica de gelo operando em Pernambuco e que devido à baixa demanda, foi adquirida por um alemão, em 1896, que a transferiu para Salvador.<sup>31</sup> A fábrica então foi instalada ao longo da beira-mar no local conhecido como Cidade Baixa (Preguiça). A entrega era feita diariamente, de porta em porta. O uso do gelo “era confinado quase que inteiramente aos dois hotéis, quatro pensões de estrangeiros e meia dúzia de lojas de bebidas patrocinados pela população estrangeira, dois clubes, e algumas famílias estrangeiras.”<sup>32</sup>

Por outro lado, o cônsul dos EUA em Santos, em 1900 já observava que o aumento do consumo de gelo se devia principalmente “à crescente demanda de gelo em restaurantes, hotéis e outros locais públicos onde são servidas bebidas. Estrangeiros – principalmente americanos, ingleses e alemães – que não estão acostumados a um clima tropical, são os que mais pedem o produto.”<sup>33</sup> Esta demanda acentuada de gelo de um lado, em locais público de lazer, proporcionou escassez em outro: os mercados de peixe, vegetais e carne careciam do produto devido ao alto preço do gelo e pela dificuldade em consegui-lo, conforme relato do cônsul.

### **3.2 O rei do gelo no Brasil**

O ciclo da borracha proporcionou riquezas à região norte, principalmente Pará e Amazonas, que alavancaram a indústria de gelo artificial no Brasil na virada do século XX. Francisco Bolonha, um engenheiro, notabilizou-se por monopolizar o comércio de gelo na região, nos moldes estabelecidos por Tudor, lá nos EUA. Entre 1896-99, Bologna, juntamente com sócios, estabeleceu três fábricas de gelo que atendia a demanda local e do comércio de Manaus: a Fábrica de Gelo Paraense, a Fábrica de Gelo Crystal, e a Fábrica de Gelo Reducto. Em 1899, com as fábricas utilizando equipamentos da Remington Machine Co.<sup>34</sup> adquirido por Bolonha nos EUA, a produção e a lucratividade mereceram referências do cônsul Kennedy dos EUA, em Belém:

A indústria do gelo no Pará, sob a direção do Dr. Bolonha, tem sido extremamente lucrativa. Havia anteriormente em Pará uma fábrica de gelo de construção francesa... (mas) funcionários da...planta logo descobriram que era impossível competir em qualidade ou quantidade de gelo. O proprietário foi obrigado a vender ao Dr. Bolonha, que agora possui três diferentes fábricas no Pará e uma em Manaus. Todas representam as máquinas americanas mais recentes, e cada uma recebe dividendos altamente satisfatórios.”<sup>35</sup>

As indústrias de produção de gelo de Bologna alcançaram as regiões mais distantes do Brasil, passando a enviar gelo, desde Belém, para diversas regiões do Brasil. O comércio local era abastecido com pequenas carroças construídas em Nova Iorque por uma então conhecida empresa do ramo, a Wagon Works, com capacidade para 2000 libras cada uma<sup>36</sup>.

Figura 33 - Carroça de entrega de gelo da Fábrica de Gelo Paraense



Fonte: "Sindicato do Gelo Brasileiro – A Brazilian Ice syndicate," 89.

O império de Bologna expandiu-se consideravelmente, vindo a monopolizar o comércio de gelo nos mercados de carne e peixe de Belém.<sup>35</sup>

O Palácio Bologna, em Belém, é uma obra de ostentação de Bologna, que segundo os historiadores, foi erguido como presente à sua esposa.<sup>37</sup>

Figura 34 - Palacete de Bologna, Belém-Pa



Fonte: <http://www.souparaense.com/2010/10/palacete-bolonha-reliquia-de-arquiteto.html>.

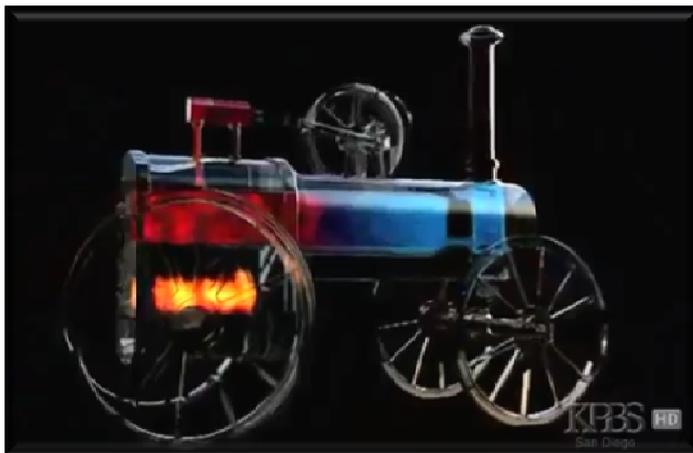
A construção do Palacete Bolonha ocorreu, segundo relatos familiares, a promessa e testemunho de amor de Francisco Bolonha a sua esposa, Alice Tem Brink Bolonha, que não queria deixar a capital do país, o Rio de Janeiro e vir morar em Belém do Para. Fonte: Célio Cláudio de Queiroz Lobato, Euler Santos Arruda, Aurea Helyette Gomes Ramos- Palacete de Bolonha, Uma Promessa de Amor. Ed. Universitária UFPA – Belém PA, 2007.

## 4 AS BASES PARA A PRODUÇÃO MECÂNICA DO FRIO

O domínio do calor notabilizou-se com a revolução industrial, cujo apogeu em 1830, foi também o período em que alguns cientistas se propuseram a teorizar os princípios que os motores convertiam vapor em calor. Somente com o entendimento destes princípios subjacentes ao modo de operação dos motores a vapor é que surgiram as idéias dos primeiros motores de frio para a produção de refrigeração artificial.

A natureza econômica do negócio trazia consigo a projeção dos lucros atrelada à forma de quão eficiente se era capaz de efetuar a conversão de calor em movimento, com os menores índices de desperdícios de calor e o melhor aproveitamento mecânico possível. A quantidade de trabalho útil obtida a partir de uma determinada quantidade de calor pairou como um desafio econômico sublimar na Europa do início do século XIX.

Figura 35 - Modelo computadorizado de máquina térmica



Fonte: Documentário da BBC, baseado no livro “Absolute Zero and The Conquest of Cold”, de Tom Schachtman, produzido e dirigido por David Dugan, 2007.

### 4.1 Sadi Carnot – um gênio além de seu tempo

Um jovem engenheiro da artilharia francesa, Sadi Carnot, notabilizou-se por um profundo estudo acerca deste problema.

Halliday, David & Resnick esclarecem: “De todas as máquinas térmicas, a máquina de Carnot é a que utiliza o calor com a maior eficiência para realizar trabalho útil. Surpreendentemente, Carnot foi capaz de analisar o seu desempenho antes que a primeira lei da termodinâmica e o conceito de entropia tivessem sido descobertos.”<sup>38</sup>

Carnot chegou à conclusão de que o funcionamento de toda máquina térmica supõe uma fonte quente e uma fonte fria; Haveria um fluxo unidirecional de calor entre as diferentes temperaturas.

O fluxo em torno do motor gera trabalho mecânico. Assim, não há consumo ou destruição do calor, semelhante ao que ocorre num moinho de água em que o fluxo de água produz trabalho mecânico. A semelhança estende-se às observações relativas entre altura da queda d'água e diferença de temperatura. Com relação à queda de temperatura, da mais quente à mais fria parte do motor (máquina a fogo), quanto maior a diferença, maior a quantidade de trabalho gerado pelo vapor, em analogia à altura de uma queda d'água no propósito de produzir trabalho num moinho d'água (motor hidráulico).

Nos motores a vapor, parece que o calor está fluindo em redor do motor, e à medida que flui, o motor gera trabalho mecânico. A implicação disto é que o calor não é consumido nem destruído, circula apenas e produz trabalho. Portanto, a analogia entre o calor de um motor a vapor, e a água, num moinho de água, como se o fluxo de calor é que estivesse realizando o trabalho num motor a vapor normal.

Figura 36 – Sadi Carnot (1796-1832)



Fonte: Imagem de domínio público.

A analogia mecânica que guiou a pesquisa de Carnot deixou imprecisa a natureza do calor; Todavia, foi a partir dessas considerações que Carnot postulou um princípio fundamental: em uma máquina térmica, funcionando em condições ideais, a uma determinada quantidade de calor fornecido à caldeira corresponde um trabalho recolhido, independente dos

agentes postos em ação para realizá-lo; esse trabalho é fixado unicamente pelas quantidades de calor trocadas entre o motor térmico e o ambiente.

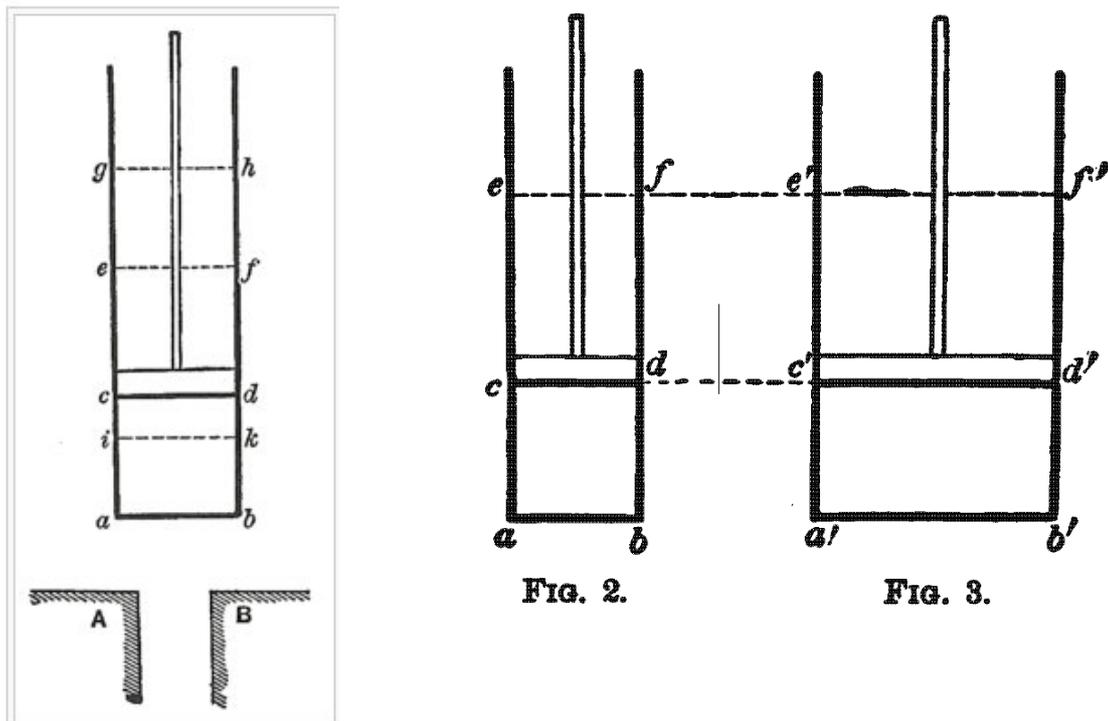
Estas idéias inovadoras e profundamente avançadas de Carnot foram sistematizadas em seu livro “Reflexões Sobre a Força Motriz do Fogo” (*Réflexions sur la puissance motrice du feu* (*Reflections on the Motive Power of Fire*), de 1824. Um livro com 118 páginas e publicação de apenas 600 exemplares, o qual é muito mais importante do que se pareceu à primeira vista. Pode estar entre os mais importantes tratados da ciência natural. Naquela época, quando o calor era considerado como um calórico indestrutível e a lei da conservação da energia não era conhecida, quando os motores de calor estavam num estágio inicial de desenvolvimento com eficiência menor do que 5%, a confusão e especulações floresceram. Os argumentos de Carnot para ciclos reversos é de muitas maneiras igual se não mais significativo do que a teoria da relatividade de Einstein nos tempos modernos. A partir dela é que se postulou as teorias termodinâmicas de temperatura absoluta e entropia, e a Segunda Lei da Termodinâmica. Não é de se admirar que o trabalho de Carnot não tenha sido tão valorizado em seu tempo, quando sua genial argumentação sobre ciclos reversíveis em máquinas de calor ideal ainda não eram reconhecidas, e provavelmente pouco compreendidas por uma minoria, inclusive nos dias atuais.<sup>39</sup>

Pode a eficiência ser melhorada por temperaturas ou pressões diferentes, por uma substância de trabalho que não seja a água (vapor); ou por algum modo de operação que não seja pistões e cilindros? Em seu livro fica claro a busca de Carnot por um método que pudesse evidenciar o nível de potencia mais elevado possível de obter-se do calor e também se haveria um meio produtivo mais eficiente que o vapor para esta potência. A visão restritiva que fundamentavam a existência do calor como um fluido sem peso chamado calórico cedia lugar à concepção deste como uma forma aleatória de movimentos atômicos, assim também apregoadas por cientistas como Hook e Boyle. Carnot buscou uma teoria muito mais abrangente, introduzindo conceitos como “motor de Carnot” para, com genialidade e argumentos de longo alcance, responder a todas estas questões e provar que dependia apenas do diferencial de temperatura existente no motor (e aumenta com esta diferença) e não do meio, como o vapor, que operacionaliza o mecanismo. Reversibilidade foi outro conceito introduzido por Carnot para dar sustentação às suas teorias, principalmente a idéia de que a potencia motora pode também ser utilizada para produzir diferença de temperatura em uma máquina. Uma das características do ciclo de Carnot é o fato de que as transformações que o compõem são ciclo de Carnot totalmente reversíveis, isto é, podem ser realizadas em sentido inverso, percorrendo as mesmas etapas intermediárias.

#### 4.1.1 O ciclo de Carnot

Abandonado o problema da construção de máquinas a vapor, Carnot procurou uma regra que permitisse relacionar entre si a energia mecânica por elas produzida e o calor fornecido. Intuiu, dessa forma, o primeiro princípio da termodinâmica, que nada mais é que uma reafirmação do princípio da conservação de energia.

Figura 37 – O Ciclo de Carnot



Carnot, depois de realizar uma análise cuidadosa do funcionamento do motor térmico, construiu uma máquina que, trabalhando com gás aquecido ou resfriado, servia para medir a quantidade de energia mecânica produzida; permitia também calcular a porcentagem de energia térmica transformada em mecânica. O funcionamento dessa máquina englobava quatro fases, o que hoje é chamado de ciclo de Carnot: a partir de um estado inicial, o sistema expande-se isotermicamente (absorvendo calor do ambiente) até atingir um segundo estado; a partir deste, a expansão é adiabática, e conseqüentemente a temperatura diminui; daí em diante, o volume do sistema começa a reduzir-se isotermicamente, até alcançar o estado final; uma compressão adiabática conduz o sistema ao ponto de partida, fechando assim o ciclo.

O livro de Carnot foi profundamente rejeitado, principalmente devido ao fato de sua publicação direcionada a um público comum da época, o que o tornou negligenciado pela comunidade científica. No entanto não passou despercebido, já que seguido à publicação do

livro, em julho do mesmo ano, Pierre Girard publicou no *Revue Encyclopédique* uma interessante revisão do mesmo inclusive atestando a funcionalidade integral de seus teoremas, porém absteve-se de comentar a razão original que Carnot empregou para alcançar seus resultados.

Notas complementares dessa obra, bem como diversos estudos realizados posteriormente, foram revelados somente depois de sua morte. Em 1878, Hippolyte, seu irmão, apresentou essas notas à Academia de Ciências. Nelas estava esboçado o segundo princípio da termodinâmica. A comunicação, porém, veio tarde, pois a essa altura tal princípio já havia sido formulado.

Um de seus enunciados é devido a Clausius: "O calor passa espontaneamente dos corpos de temperatura maior para os de temperatura menor".

William Thompson, que se tornou o Lord Kelvin, físico escocês tomou conhecimento das teorias de Carnot, causando-lhe impressão principalmente a idéia de produção de trabalho útil a partir do movimento de calor. Buscou por toda a Paris com determinação, porém em vão, uma cópia da edição única de Carnot.

Em 1897 as ideias originais de Carnot foram novamente publicadas em uma edição inglesa que, além do original do livro de Carnot, trouxe um importante ensaio desenvolvido por Sir William Thomson, o Lorde Kelvin. A nota de introdução desta nova edição esclarece:

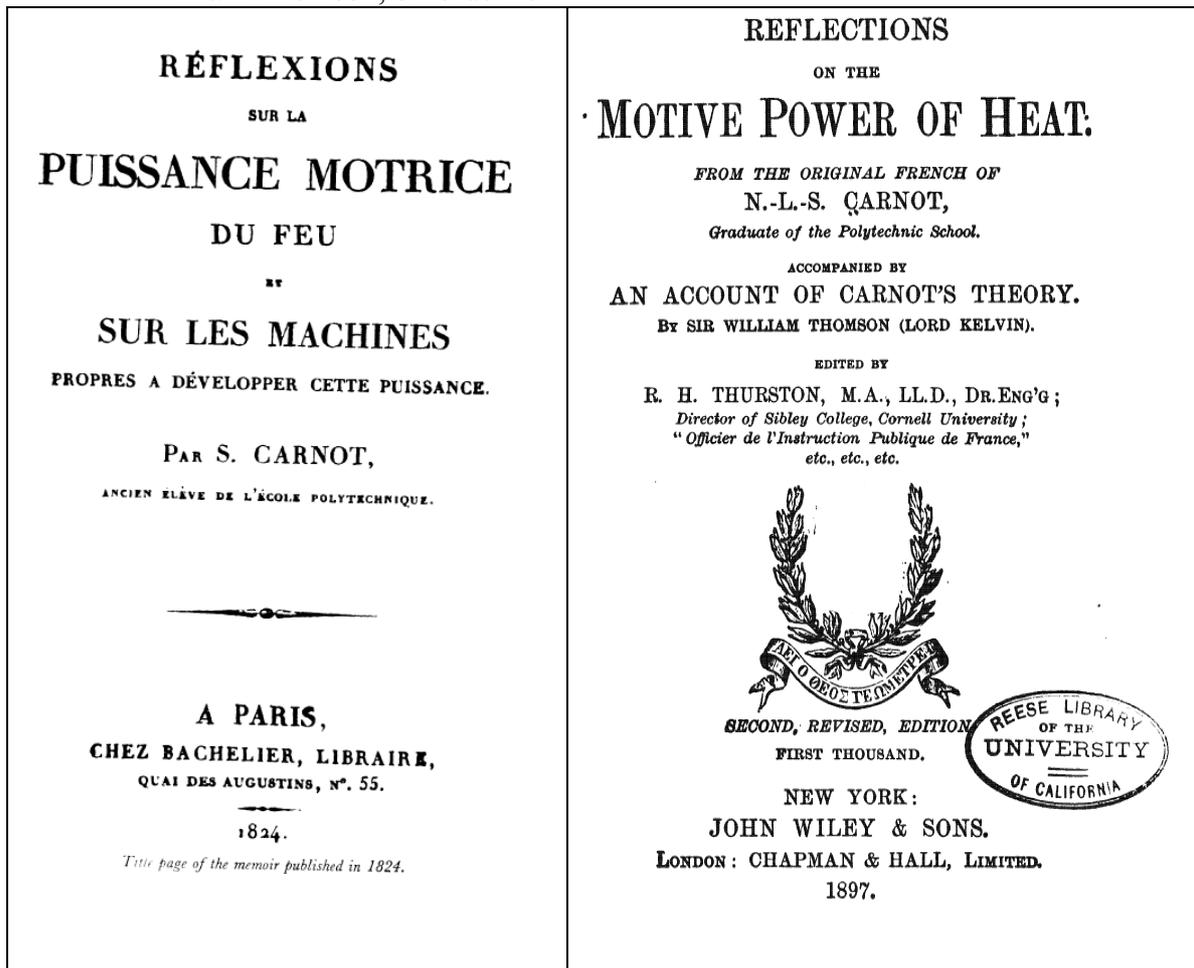
O livro consiste, como pode ser visto, da tradução do livro de Carnot *Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu*, precedido de uma nota escrita pelo Editor chamando a atenção de seus aspectos extraordinários, e sua característica extraordinária como o produto deste gênio memorável; e por um esboço biográfico do grande autor, escrito por seu irmão, Mons. Hypolyte Carnot, cujos rascunhos encontramos na cópia Francesa deste trabalho conforme publicado por Gauthier-Villars, a última reprodução do livro na língua materna. Para a parte principal do livro, Carnot's *Réflexions*, está um junto o estudo comemorado de Sir William Thomson, com seu "Account of Carnot's Theory," no qual o grande médico primeiro aponta ao mundo o tesouro por tanto tempo oculto, despercebido, no meio da literatura científica do primeiro quarto do século dezanove.

O destacado escritor deste ensaio gentilmente se interessou com o esquema do Editor, e consentiu sua inserção como um comentário desejável e natural sobre do trabalho mais antigo, e especialmente conforme está exibindo as relações dos princípios fundamentais descobertos e enunciados por Carnot para a moderna visão da natureza do fenômeno termodinâmico - relações evidentemente entendidas pelo escrito, mas não pelos cabeças do

pensamento científico de seu tempo, e conseqüentemente ignorado por ele na construção de sua nova ciência.

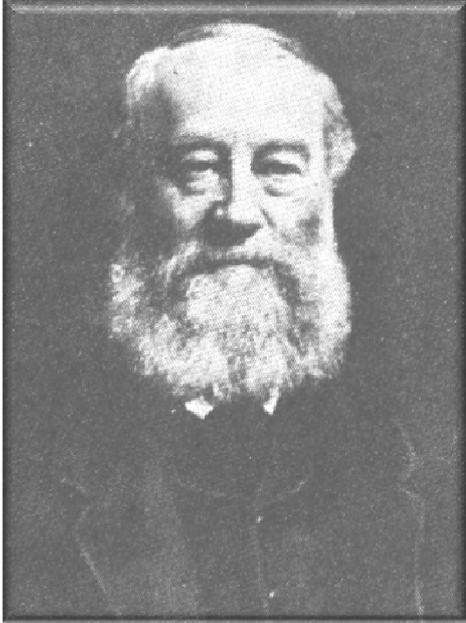
Este Apêndice contém inúmeras notas do próprio Carnot, muito longas para serem inseridas no corpo deste livro na sua forma atual, e que foram por isso removida para seu local atual simplesmente por questão de conveniência na forma de confeccionar o livro.

Figura 38 - Réflexions Sur la Puissance Motrice du Feu – originalmente publicado em 1824 /  
Figura 39 - Versão em inglês do livro de Carnot com um importante ensaio por Sir William Thomson, o Lorde Kelvin



Em seu regresso à Inglaterra, após a tentativa frustrada de obter um dos originais do livro de Carnot, Lord Kelvin também confrontou-se com as ideias alternativas de um até então desconhecido cervejeiro de Manchester chamado James Prescott Joule.

Figura 40 - James Prescott Joule (1818-1889)



Fonte: Imagem de domínio público.

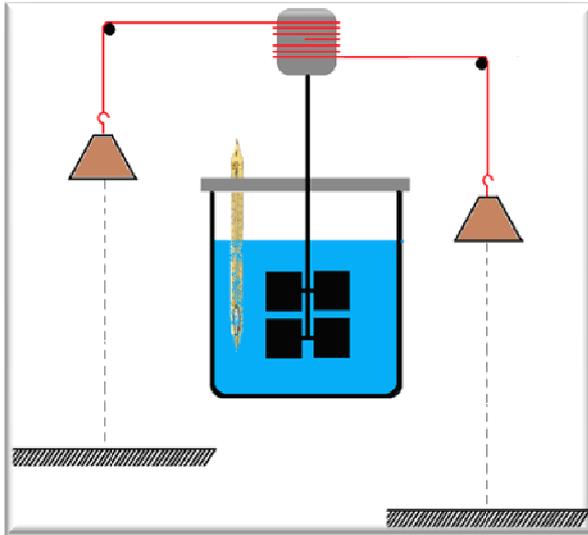
A concepção de que o calor apenas produzia trabalho mecânico incomodara o cervejeiro que também constatou a transformação do calor em trabalho. Calor e energia mecânica tinham uma essência única e isto era e ainda é uma das idéias revolucionária que a ciência comprovou pelo empenho inventivo, responsável e principalmente obstinado destes homens.

Em 1842 e 1843 os trabalhos teóricos de Robert Mayer (1814-1878) introduziram claramente a noção de equivalência entre calor e trabalho e elevaram o princípio da conservação de energia ao grau de lei, aplicável a todos os fenômenos térmicos dessa relação e James Prescott Joule quem a confirmou experimentalmente.

Joule constatou que a energia mecânica necessária ao funcionamento de um dínamo era igual à quantidade de calor produzida pela corrente elétrica fornecida pelo dínamo. A temperatura de um fio induzido por esta corrente serviu de parâmetro de equivalência à experiência de Joule, ao que hoje denominamos efeito Joule.

Uma vez convencido desta equivalência entre trabalho e calor, Joule, em experiências realizadas na cave de sua cervejaria, comprovou o que se assemelharia ao sentido inverso de um motor a vapor: a conversão de movimento mecânico em calor, utilizando-se de um conjunto de palhetas que giravam dentro de um líquido.

Figura 41 - Representação esquemática da experiência de Joule



Dois corpos de massas conhecidas e ligados entre si, através de um eixo comum, por um fio inextensível e de massas desprezíveis caem de uma altura estabelecida, provocando a rotação de um conjunto de palhetas ligadas ao eixo e mergulhadas dentro de um líquido (água, mercúrio, óleo, etc). Joule constatou um aumento na temperatura apreciável da água, após permitir a queda dos corpos dezenas de vezes seguidas.

Termômetros confiáveis capazes de medir variações de temperatura tão pequenas eram ferramentas praticamente exclusivas dos cervejeiros.

O movimento mecânico das palhetas era conseguido sobrepondo-se a resistência da água, realizando trabalho sobre ela. O trabalho então realizado é uma medida da diminuição da energia mecânica dos corpos que chegam ao fim da queda.

Joule concluiu que é constante a razão entre o trabalho e a quantidade de energia transferida para a água na forma de calor. Pode se demonstrar que esta constante  $J$  é  $4,1855 \text{ J cal}^{-1}$ .

Estas experiências tomaram 40 anos da vida de Joule, que não era físico profissional, mas um cervejeiro de Manchester que mesmo em suas horas de lazer, como durante uma visita à Suíça, ocupou-se em medir a diferença de temperatura da água no cimo e na base de uma queda d'água, verificando um acréscimo de temperatura em decorrência da conversão do trabalho em calor.

A importância incomensurável do trabalho de Joule apresentou-se pela inovação da técnica empregada em conseguir, de forma convincente, mensurar a taxa de transferência entre o movimento e o calor. Provou que algo se convertia entre o calor e o movimento. Mais

tarde, este “algo” viria a se chamar de “energia”, cuja unidade base no Sistema Internacional de Unidades, em sua justa homenagem é o Joule.

William Thompson, o lorde Kelvin, tornou-se um renomado cientista com importantes contribuições na termodinâmica e estabeleceu as relações entre os fundamentos das experiências de Joule e Carnot, naquilo que viria a ser conhecido como as leis da termodinâmica.

A Joule atribui-se a primeira lei da termodinâmica ao estabelecer que a energia pode ser convertida de uma forma para outra, mas jamais poderá ser criada ou destruída. A Carnot atribui-se a segunda lei que estabelece que o calor flui apenas numa direção: de quente para frio.

É em virtude desse princípio que, quando dois corpos - inicialmente a temperaturas diferentes - são postos em contato, tendem a atingir a mesma temperatura; o contrário, isto é, quando corpos de temperaturas iniciais iguais evoluem para temperaturas diferentes, nunca ocorre espontaneamente; para consegui-lo é necessário despende energia. Lord Kelvin expressa o princípio nos seguintes termos: "Não é possível, sem permanentes alterações no sistema ou no ambiente, transformar totalmente uma certa quantidade de calor em trabalho".

Na segunda metade do século XIX as bases teóricas para a produção do frio artificial estavam formadas a partir desta nova visão dos conceitos de energia. Os homens que fizeram história conseguiram desvincular o temerário enigma do obscuro do poder desta nova criação. Os postulados que apregoavam a existência de um fluido “repulsivo” na acepção de Lavoisier e que por tantos anos prevaleceram inutilmente como condição ímpar para a ausência de calor, finalmente cedeu campo para fundamentações teóricas sistematizadas em benefícios para a humanidade nunca antes imaginados.

## 5 OS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

O uso de refrigerantes líquidos capazes de vaporizarem-se e liquefazerem sobrepuseram às máquinas de ar frio, tornando-se referência nos processos de refrigeração. A utilização destes fluidos deu origem a dois tipos de sistemas comercialmente explorados, o sistema de absorção de vapor e o sistema de compressão de vapor. Os fundamentos de operação em ambos os sistemas está na capacidade de absorção de calor do meio que estes refrigerantes possuem ao se vaporizarem da forma líquida – a absorção de calor do meio torna o meio relativamente mais frio. A segunda propriedade destes refrigerantes é que eles podem ser levados a evaporar violentamente e subsequentemente condensar a temperaturas variáveis de acordo com as respectivas variações de pressão.

Nos modelos de absorção de vapor destacaram-se as variedades consubstanciadas no tipo de líquido refrigerante então utilizado, isto é, absorção por amônia, e absorção por vapor de água. A pressão que regulava a vaporização e liquefação no tipo absorção por amônia era obtida a partir da interação existente entre ambos os fluidos e a presença de alguma fonte de calor. Nestes sistemas, um fluido secundário (i.e., absorvente) é usado para circular e absorver o fluido primário (i.e., refrigerante), que é vaporizado no evaporador. Quando aquecidos, tendem a separarem-se e uma vez resfriados a tendência é de recombinação. Não há, portanto, a necessidade de uso de bomba de pressão. O sucesso do processo de absorção depende da seleção da combinação apropriada de refrigerante e absorvente.

Uma forma de se compreender o sistema de refrigeração por absorção é associando-o a um ciclo de refrigeração por compressão. Neste, constata-se a presença de um evaporador, condensador e uma válvula de expansão termostática. No sistema de refrigeração por absorção, o elemento compressor é substituído por três elementos principais – um absorvedor, uma bomba e um gerador. Estas três etapas, absorção, bombeio e liberação do vapor é o que caracteriza um sistema de refrigeração por absorção.

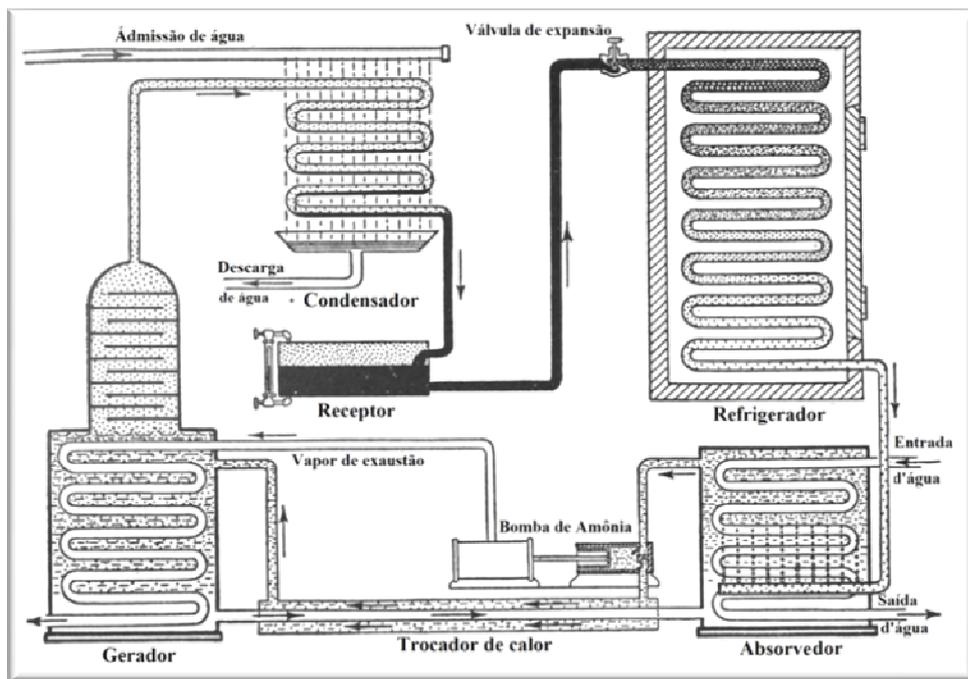
Avaliando-se os diagramas seguintes, uma vez que a mistura de amônia e água (denominada solução forte - subtemde-se uma presença mais acentuada de refrigerante), existente no reservatório chamado gerador, era submetida a uma elevação de temperatura, havia a liberação de vapor de amônia a altas pressões (A solução quando aquecida, tende a separar seus compostos)

O vapor flui através de um condensador onde é liquefeito devido à remoção de calor para a água circundante.

A amônia, agora na forma líquida, é admitida no evaporador (Refrigerador – início da seção de baixa pressão do sistema) após sofrer uma brusca queda de pressão através da válvula de expansão, onde absorve calor do meio, à medida que vaporiza muito rapidamente. Assim, o efeito refrigerante desejado é conseguido.

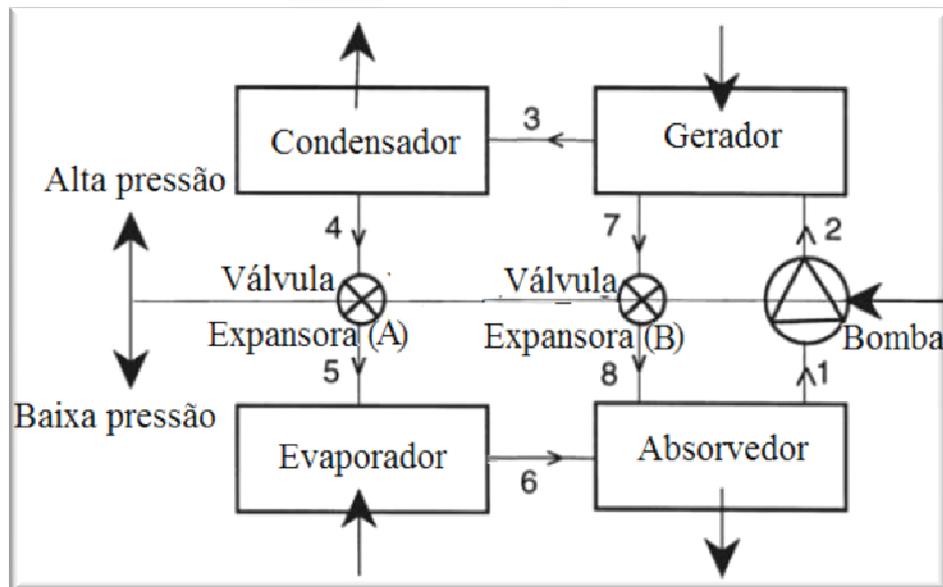
O absorvedor é um reservatório mantido sob resfriamento constante por um trocador de calor alimentado por água. A solução fraca (baixa concentração de refrigerante) residual existente no gerador flui (modernamente através de uma válvula de expansão (B)) para o absorvedor. Por outro lado, O vapor que deixa o evaporador é atraído (tendência à recomposição) para o absorvedor devido à presença da solução fraca e ao ambiente de baixa temperatura ali existente. Tão rápida é a absorção do vapor de amônia que se forma no evaporador pela água no absorvedor que a baixa pressão necessária para a evaporação é mantida.<sup>63</sup> A solução forte é então obtida e é bombeada por uma bomba para o gerador, onde é novamente aquecida, e o ciclo continua.

Figura 42 - Esquema gráfico dos primeiros sistemas de absorção de amônia



Fonte: Anônima.

Figura 43 - Esquema gráfico dos atuais sistema de absorção de amônia. Observe que o único diferencial está na válvula expansora (B)



Fonte: Anônima.

### 5.1 Sistem de refrigeração por absorção de vapor de água

O ácido sulfúrico foi a substância utilizada no processo de interação com a água nos modelos de absorção por vapor de água. O princípio de absorção por vapor de água é semelhante ao de absorção por amônia, na medida que a amônia ao evaporar extraia calor do meio e então era condensada e novamente evaporada. Na modalidade de absorção por vapor de água, uma porção da própria água, sob efeito das baixas pressões, evapora-se e extrai calor da própria massa d'água, num processo progressivo até que uma parcela do volume se congele. A porção de gelo assim constituída é removida e a parcela residual de água é novamente suplementada, constituindo assim um processo cíclico indefinido. Assim, não há necessidade de uma etapa de condensação. Uma bomba encarregava-se de criar a baixa pressão inicial e de garantir que o ácido sulfúrico a manteria. Esta pressão extremamente baixa a que a água era submetida caracterizava o sistema de uma forma particularizada que também ficaram conhecidas como máquinas de vácuo.<sup>64</sup>

O Engenheiro francês, Ferdinand P. E. Carré notabilizou-se por volta de 1860 ao elaborar um aparelho baseado na afinidade da amônia com a água. O aparelho tinha apenas duas partes básicas. A duplicidade de função para cada uma destas partes, constituíram uma

séria limitação. Uma parte havia de desempenhar as funções de gerador e absorvedor, a outra parte por sua vez havia de desempenhar as funções de condensador e evaporador. Não havia, portanto, como desenvolver um ciclo intermitente, e as constantes paradas para inversão de funções só foram corrigidas, num modelo de 1862, depois que o engenheiro dispôs uma unidade separada para manipular cada uma das quatro funções básicas. A operação passou a ser contínua e o sucesso do empreendimento levou inventores da França, Alemanha, Inglaterra, Austrália e Estados Unidos a desenvolverem projetos melhorados e aprimorados com base nos mesmos princípios da invenção de Carreé.<sup>65, 66</sup>

Dinçer, Ibrahim & Kanoglu, Mehmet em *Refrigeration Systems and Applications*<sup>67</sup>, citam:

As primeiras cinco unidades de Sistemas de Refrigeração por Absorção produzidas foram utilizadas para fabricar gelo, até 100 kg/hora. Nos anos de 1890, muitas unidades foram fabricadas para indústrias química e de petróleo. O desenvolvimento destes sistemas diminuíram até paralisarem-se por completo em 1911 à medida que os sistemas de refrigeração por compressão de vapor vieram à tona. Após 1950, grandes sistemas de absorção ganharam popularidade. Nos anos de 1970, as ações de mercado para sistemas de absorção despencaram rapidamente por causa da crise do petróleo e consequente regras governamental. Por causa do aumento nos preços de energia e o impacto ambiental de refrigerantes, durante a década de 1990 os sistemas de absorção tem recebido atenção crescente. Assim, muitas companhias têm se concentrado nestes sistemas e agora realizam pesquisas e desenvolvimento nestes enquanto a demanda de mercado aumenta dramaticamente.

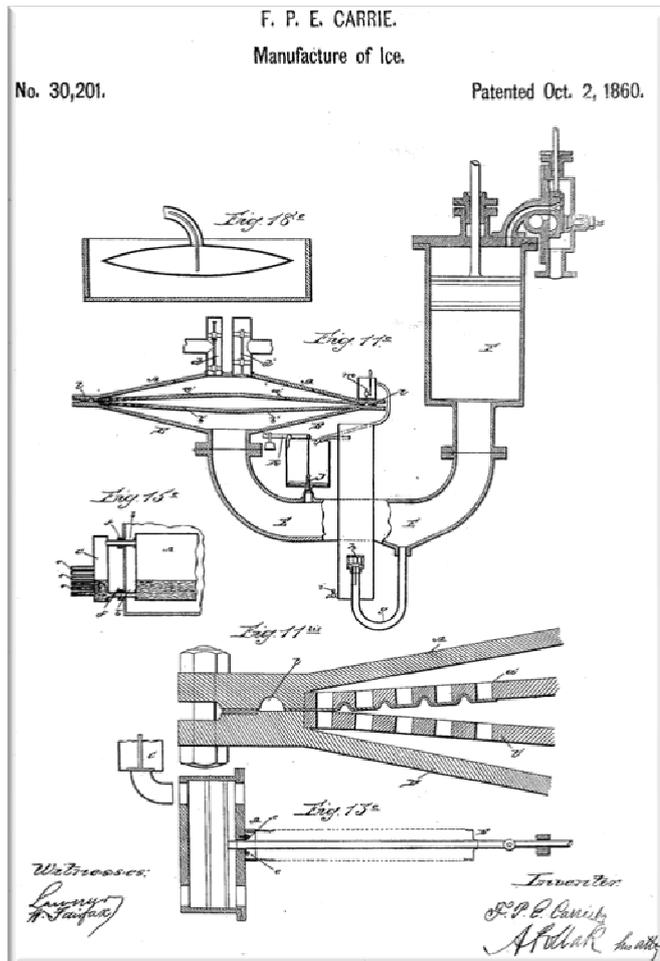
Figura 44 - Uma instalação de absorção de Amônia de 2700 kW que opera a -30°C instalada numa refinaria na Alemanha



Fonte: Dinçer, Ibrahim & Kanoglu, Mehmet em *Refrigeration Systems and Applications*, editora Winley, 2010.

O desenvolvimento de refrigerantes sintéticos a partir dos anos de 1920 contribuíram para que o modelo de Carré se perpetuasse no mercado como um sucesso sem a preocupação dos perigosos refrigerantes tóxico e o odor característico dos vazamentos de amônia.

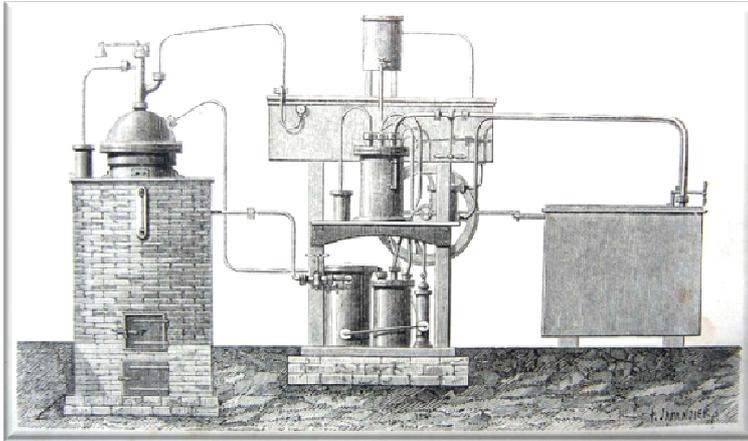
Figura 45 - A concessão de uma patente americana em 1860 a Ferdinand P. E. Carré da França



Fonte: Banco de Patentes dos EUA.

Na figura 57, a concessão de uma patente americana em 1860 a Ferdinand P. E. Carré da França, pelo desenvolvimento de um sistema fechado de absorção por amônia, plantou os fundamentos para a moderna refrigeração. Diferentemente das máquinas de compressão de vapor que usavam ar, Carré usou a rápida expansão da amônia que se liquefaz a uma temperatura mais baixa do que a da água, e por isso é capaz de absorver mais calor.

Figura 46 - Versão aprimorada do modelo de refrigeração por absorção de Carré que utilizava gás amônia dissolvida em água (conhecida como aqua-amônia)



Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/Refrigerator>.

Na esteira das invenções de Leslie (1810), Edmond Carré (irmão de Ferdinand Carré) em 1850 desenvolveu uma versão melhorada de um aparelho de absorção por vapor de água que foi capaz de produzir gelo em quantidade limitada. Valeu-se de uma bomba manual para resfriar uma pequena porção de água por cerca de cinco minutos. Houve uma aceitação ampla em Paris deste modelo de Carré, porém por um breve período. A máquina de Carré tinha como desvantagem o fato de que o ácido sulfúrico então utilizado perdia muito rapidamente seu poder de absorção em relação à água ao se diluir nesta.<sup>41</sup>

H. A. Fleuss também elaborou uma pequena máquina manual para a fabricação de gelo.<sup>41, 65</sup> Franz Windhausen obteve sucesso na construção de uma máquina com capacidade de produção comparativamente elevada em 1878. O poder de absorção do ácido sulfúrico, no modelo de Windhausen, era restabelecido com a adição forçada de calor. O modelo foi utilizado com sucesso numa usina de leite na Inglaterra, e foi capaz de produzir cerca de doze toneladas de gelo em vinte e quatro horas. O modelo não obteve sucesso comercial esperado pelo fato de possuir baixa eficiência e características como aparência e qualidade eram inferiores ao desejado.<sup>68,69</sup>

## 5.2 Sistema de refrigeração por compressão

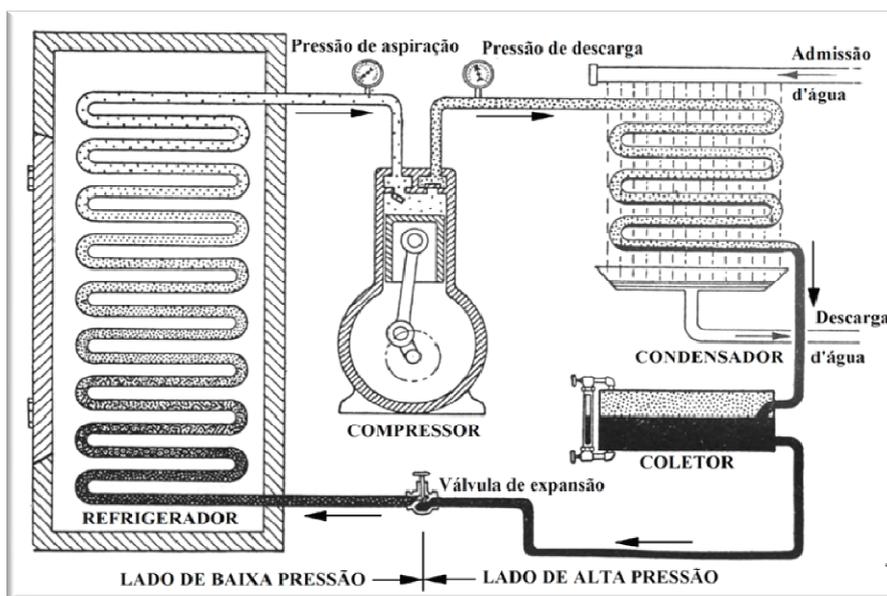
Um sistema mecânico promove a baixa pressão necessária à súbita evaporação do líquido refrigerante. Esta é a principal diferença em relação ao sistema de absorção do vapor,

daquele que viria se tornar, de longe, o mais importante dos sistemas de produção do frio: O sistema de compressão do vapor.

Em um reservatório chamado evaporador a baixa pressão foi criada com auxílio de uma bomba de dupla finalidade chamado compressor. Este, além de fornecer a baixa pressão necessária ao evaporador, encarrega-se de imputar elevadas pressões que fazem com que o vapor entre em estado de liquefação. O condensador, através de trocas térmicas com o meio externo (água ou ar) encarrega-se de dissipar o calor absorvido no compressor (calor de compressão) e principalmente no evaporador. Um ciclo típico de compressão do vapor

Uma excelente descrição do processo de compressão do vapor está incluído em Dossat, Roy J. “Princípios de Refrigeração”.<sup>70</sup>

Figura 47 – Modelo de Refrigeração Por Compressão



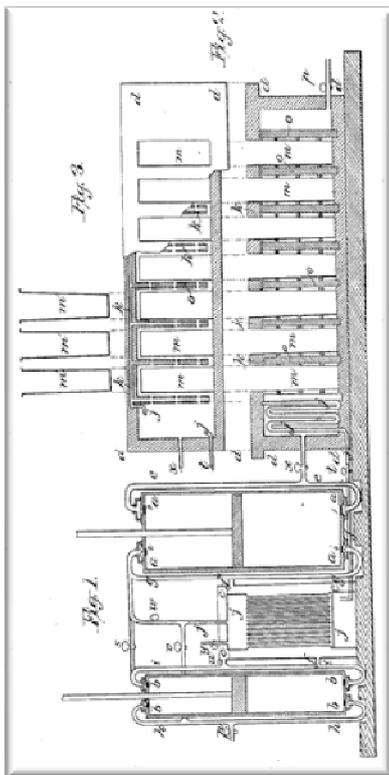
Fonte: J. T. Bowen, Refrigeration in the Handling, Processing, and Storing of Milk and Milk Products (U. S. Department of Agriculture, Miscellaneous Publication No. 138) (Washington, 1932), 3.

No evaporador (as serpentinas no refrigerador) o líquido ferve e neste processo absorve calor do meio. O compressor é uma bomba especialmente projetada que recebe o gás das serpentinas do evaporador e comprime-o para as serpentinas do condensador, reduzindo seu volume e temperatura. O condensador consiste de serpentinas de tubo sobre ou através do qual a água ou o ar flui para absorver o calor do gás, que é assim liquefeito. Em alguns sistemas a água de resfriamento passa através de um tubo interno, e o gás do compressor através do espaço anelar entre as tubulações interna e externa. Do condensador o refrigerante

passa primeiro para um reservatório de líquido e então através de uma válvula de expansão para as serpentinhas do evaporador, para repetir o processo de transferência de calor do refrigerador para a água que flui através do condensador...”

Alexander Catlin Twining (1801-1884), engenheiro, astrônomo e professor, foi agraciado com uma patente americana (10,221) em 1853 por sua “Fabricação de gelo”. O árduo defensor da fabricação do gelo natural, por conveniência e economia, em substituição ao natural, desenvolveu inúmeros projetos experimentais a partir de 1848 até que por volta de 1850 foi bem sucedido na fabricação de uma pequena quantidade de gelo. Seu invento foi aperfeiçoado e já em 1855 Cleveland, Ohio, dispunha de uma unidade capaz de produzir dez toneladas diárias. Compressor, evaporador e condensador constituíam o invento de Twining, no entanto uma porção acentuada de éter foi utilizada para resfriar a salmoura que circulava em torno de recipientes contendo a água que pretendia congelar. Com isto, a evaporação de parte do próprio éter, ao absorver calor da porção remanescente de éter, era responsável pela diminuição de sua temperatura que, nestas condições trocava calor com a salmoura que circulava em torno de vasos de ferro fundido cheios de água.<sup>71,72</sup>

Figura 48 - A.C. Twining – Manufacture of Ice, Pat. No. 10,221 – 1853.

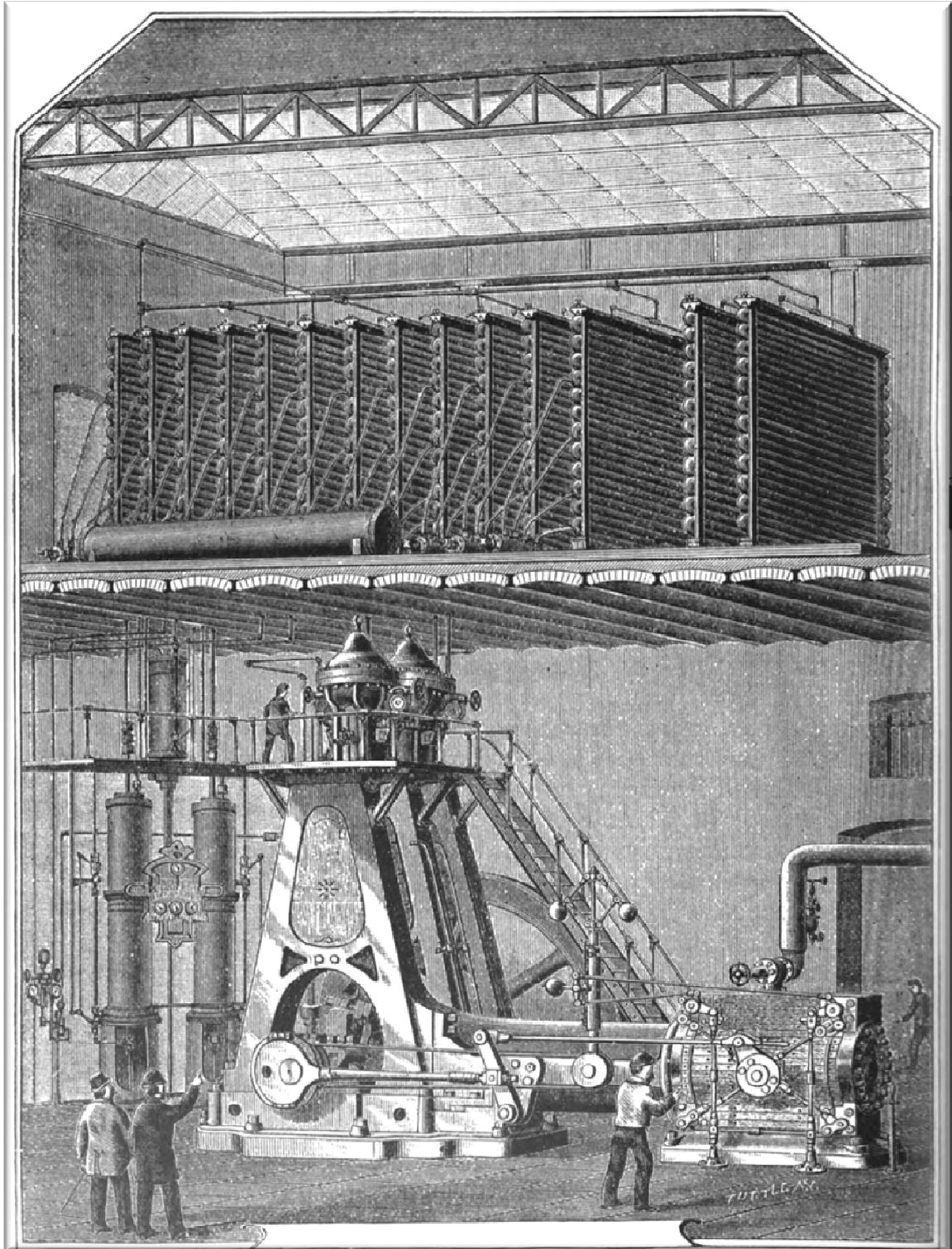


Fonte: Banco de Patentes Americana

A máquina de Twining nunca foi produzida comercialmente. Acidentes, defeitos de construção, inabilidade para obter suporte financeiro e a Guerra Civil Americana, que não permitiu a introdução das idéias de Twining no Sul, foram os principais obstáculos alegados por ele para o insucesso de sua invenção. Em 1870, ao solicitar uma extensão de sua patente.<sup>73</sup> Twining alegou a propriedade intelectual da ideia em contestação às invenções europeias dos sistemas de máquinas de compressão e absorção, vendo-as como meros aperfeiçoamentos de seus modelos.<sup>72</sup>

Fundamentado nos estudos conduzidos por Gorrie e Twining, um escocês, prestando serviços na Austrália na indústria de máquinas para produção de gelo, James Harrison, em 1855 obteve uma patente australiana para aquele que pode se considerar o primeiro sistema de refrigeração por compressão de vapor de uso prático. Nos anos seguinte, 1856 e 1857 vieram as patentes inglesas. As máquinas operavam com éter sulfúrico, álcool ou amônia e algumas unidades, a partir de 1854, estavam em operação pela Austrália. Em 1857, várias unidades de grande porte foram erguidas no Reino Unido. Em Bathgate, Escócia uma indústria óleo-parafínica utilizou uma de suas unidades, assim como uma cervejaria inglesa. Uma terceira unidade foi transportada para a Austrália. Uma empresa de manufatura australiana interessou-se pelo projeto e logo várias eram vistas em operação no país, principalmente em cervejarias e casas de empacotamento de carne. E. C. Smith, "Pioneers of Refrigerationm," Nature, CLI.<sup>72</sup>

Figura 49 - Uma máquina de compressão de amônia instalada em uma planta de gelo, 1891



Fonte: Extraído do artigo de F. Fernald, "Ice-Making and Machine Refrigeration," *The Popular Science Monthly*, XXXIX (1891), 24. A gravura original pertence à Universidade da Califórnia, EUA.

Os dois cilindros de compressão estão no topo da estrutura em forma de A. O condensador resfriado a água está na sala superior. A amônia liquefeita no condensador é

coletada no cilindro horizontal, passa por um dos cilindros vertical à esquerda do compressor, de onde entra nas serpentinhas de evaporação no tanque de congelamento. Este equipamento, fabricado pela De La Vergne, podia fabricar 130 toneladas de gelo por dia.

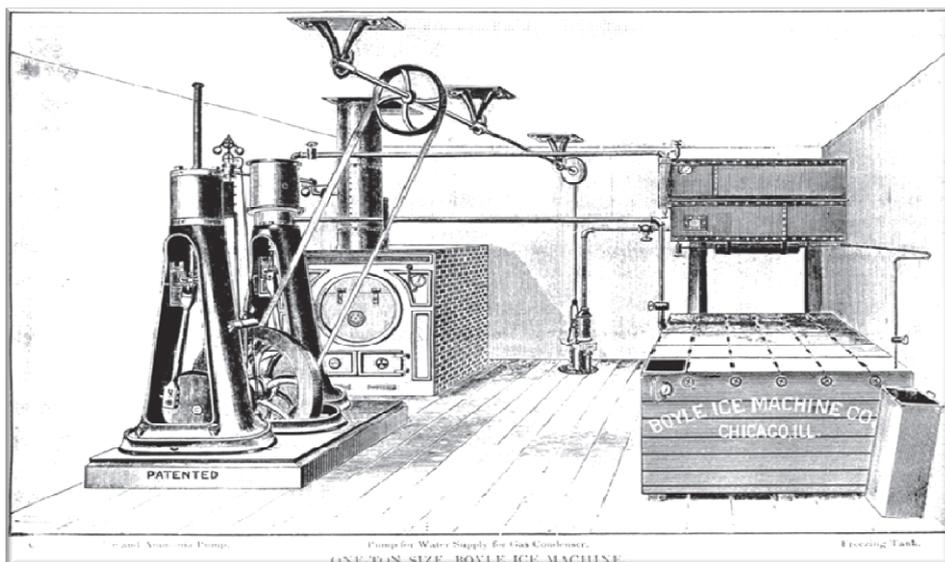
Nos anos seguintes, muitas experiências se propuseram a desenvolver plantas para produção em alta escala. O éter e seus compostos foi o elemento mais amplamente usado.

Há registros de que um morador de Maryland no ano de 1859 construiu um aparelho de refrigeração que não obteve sucesso ao tentar produção em larga escala. Um tal Sr. Andrew Muhl em San Antonio, Texas por volta de 1867 desenvolveu um aparelho idêntico tendo sido fabricado pouquíssimas unidades.<sup>74, 75</sup> Houve grande interesse em experimentos com o uso de amônia, que se tornou o refrigerante mais utilizado comercialmente por muitos anos na história da indústria de refrigeração.

Na Filadélfia, EUA, no final dos anos de 1860 o professor P.H. Van Weyde patenteou uma interessante máquina de compressão que fazia uso de derivados de petróleo como refrigerante. Daniel L. Holden adquiriu os direitos de patente e construiu algumas unidades no Sul dos EUA. O invento de Weyde não obteve sucesso.<sup>76,77,78</sup>

Nos Estados Unidos, David Boyle, um imigrante escocês que patenteou sua invenção em 1872. No ano seguinte já havia uma de suas unidades produzindo gelo em Jefferson, Texas. Seu invento foi subestimado e não obteve o sucesso comercial merecido<sup>79</sup>

Figura 50 – Máquina de fabricar gelo enlatado por by Boyle Ice Machine Co., 1879



Fonte: Artigo publicado em Novembro de 2004 pela ASHRAE Journal, © Copyright American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Em 1875 Raoul P. Pictet, um professor de física da Universidade de Genebra, Suíça, introduziu um equipamento de compressão que utilizava o ácido sulfúrico. Se tornou bastante conhecido na França e na Suíça, mas não foi muito utilizado em outros países.<sup>76,80</sup>

As máquinas de refrigeração que empregavam dióxido de carbono, pelo fato do gás ser inofensivo se tornaram importante em instalações onde a segurança era uma preocupação, não foram intensamente usadas até os anos de 1880 e 1890. Embora um americano, Thadeus S. C. Lowe, tenha projetado um mecanismo que produzia gelo em 1866; o desenvolvimento do equipamento que empregava o dióxido de carbono estava mais intimamente ligado ao trabalho posterior de Windhausen e da firma inglesa que adquiriu suas patentes.<sup>77,81,82</sup>

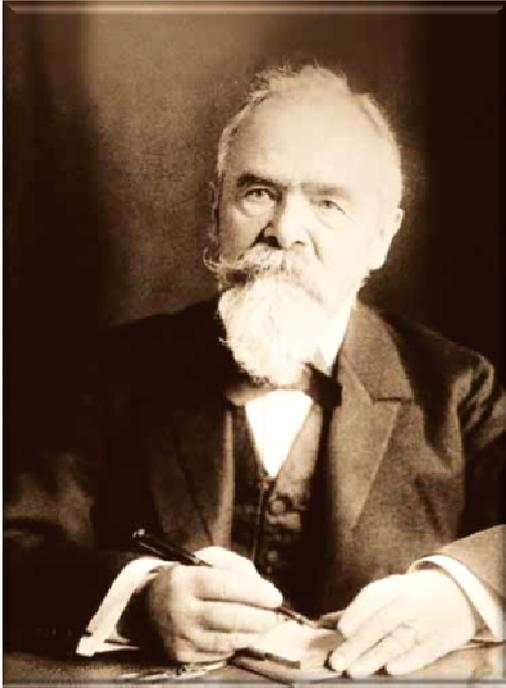
Os Europeus forneceram a maioria dos fundamentos teórico para o desenvolvimento da refrigeração mecânica, mas os americanos participaram vigorosamente na ampla atividade inventiva das três décadas entre 1850 e 1880. W. R. Woolrich, em “Mechanical Refrigeration – It’s American Birthright,”<sup>83</sup>, cita: “. . . um proeminente engenheiro de refrigeração americano e Decano da Escola de Engenharia na Universidade do Texas, acredita firmemente que as contribuições americanas não foram suficientemente enfatizadas. Uma razão para isto, ele imagina, é que os inventores nos Estados Unidos não foram tão ativos ao escrever sobre seu trabalho como foram os contemporâneos europeus”. Muito provavelmente que a participação americana não foi maior devido ao fato de que em seus estados do norte as abundantes reservas de gelo natural não eram ainda claramente inadequadas.

Os passos seguintes desta linha de tempo da refrigeração darão destaque a dois visionários empreendedores técnico e comercial que mudaram consideravelmente a história do frio: Carl von Linde e Clarence Birdseye.

No início da década de 1870 era fato notório a desconfiança sob os aspectos operacional e de segurança técnica nas plantas de refrigeração até então disponíveis, sendo este o principal obstáculo ao pleno sucesso industrial destes equipamentos.

Carl von Linde, estudou engenharia mecânica na melhor instituição de sua época, a Polytechnikum de Zurique, Suíça, da qual saiu sem oficialmente graduar-se, em decorrência de um protesto estudantil e que, após uma rápida passagem por uma indústria de produção de locomotiva, a Krauss & Co., em Munique, tornou-se, por recomendação do reitor, professor associado da Politechnic School em Munique (depois Tecnical University) e posteriormente foi promovido a professor pleno de engenharia mecânica.

Figura 51 - Carl von Linde (1842-1934)



Fonte: <<http://www.linde.se>> Acessado em 01/09/2014.

O interesse de Linde pela refrigeração sobreveio depois que discordara do modelo de uma unidade de resfriamento para a cristalização da parafina. Em seu livro de memórias, *“As meinem Leben und von meiner Arbeit,”* (Minha vida e trabalho), de 1916, referindo-se a isto, escreveu: *“o pensamento imediatamente me impressionou: aqui estava uma área da termodinâmica mecânica que não havia ainda sido totalmente explorada.”* Entre 1873 e 1877 desenvolveu importantes teorias sobre os métodos de transmissão de calor que o levaram, posteriormente, ao desenvolvimento de uma máquina de gelo e refrigeração melhorada. Poucos anos antes, entre 1870 e 1871, Linde havia pavimentado o caminho para grandes melhorias em máquina de refrigeração demonstrando como sua eficiência termodinâmica podia ser calculada e aumentada.<sup>78</sup>

O método concebido por Linde inicialmente usaria éter metílico como meio refrigerante.

Após a publicação de suas idéias no Polytechnic Association’s “Bavarian Industry and Trade Journal,” Linde viu suas idéias despertar o interesse nas indústrias de cervejaria que buscavam por um método confiável de refrigeração para a fermentação e estocagem de cervejas.

Era verão do ano de 1871 quando von Linde propôs-se a construir, a pedido da Cervejaria Dreher e da Cervejaria Gabriel Sedlmayr, um protótipo de sua idéia nas dependências da Cervejaria Spaten. O sucesso deste empreendimento o levaria à posterior instalação de uma unidade de refrigeração na Cervejaria Dreher, então a maior da Áustria, na cidade de Trieste (agora parte da Itália).

O projeto ficou pronto em janeiro de 1873. Como requisito à emissão da patente bavariana, havia necessidade de um período operacional do equipamento por no mínimo um ano. Isto o levou à imediata solicitação de construção da máquina à Maschinenfabrik Augsburg, que veio a operar a partir de janeiro de 1874.

Linde teve sérios problemas com o modelo de sêlo de mercúrio empregado, que estava sujeito a vazamentos para fora do compressor do éter metílico utilizado como refrigerante. Nas palavras de Linde: “Este projeto não foi uma solução conveniente para os requisitos de uso prático. Assim pareceu imperativo construir uma segunda máquina.”

Figura 52 - A primeira máquina de refrigeração de Linde jamais vendida. Uma melhoria do modelo original de 1873, funcionou inicialmente em 1877 na Cervejaria Dreher em Trieste (Itália)

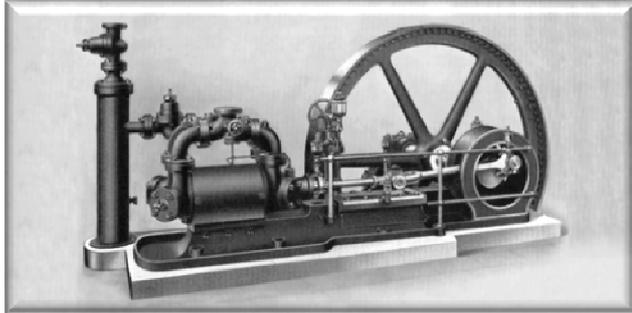


Fonte: <<http://www.linde.se>> Acessado em 01/09/2014.

Após a obtenção de fundos junto à Sedlmayr, Georg Krauss (Krauss & Co.) e ao diretor da Maschinenfabrik Augsburg, Heinrich von Buz, em troca de parte dos direitos de patente, Linde, com auxílio de seu aluno e assistente Friedrich Schipper, projetou um novo compressor que utilizava glicerina como material selante. Linde utilizou amônia como meio refrigerante e o novo projeto era somente metade do peso e do custo de seu predecessor. A Maschinenfabrik Augsburg construiu o novo compressor que foi submetido à patente

bavariana em 1875, para ser agraciado no ano seguinte, em 1876. Linde, com este projeto, recebeu ainda o German Reichspatent em agosto de 1877. A cervejaria Dreher utilizou esta máquina a partir de 1877, com o propósito de refrigeração e desumidificação.

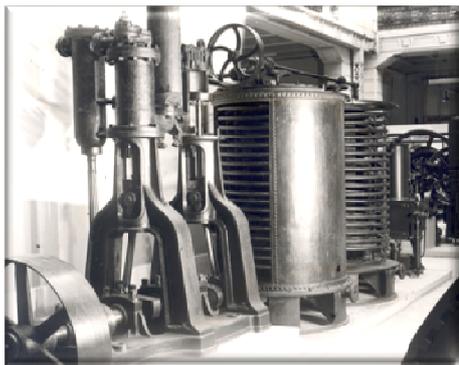
Figura 53 - Compressor de amônia horizontal de dois estágios de Carl Von Linde, o prometo tradicional para a maioria das unidades de refrigeração (por volta de 1900)



Fonte <<http://www.linde.se>> Acessado em 01/09/2014.

O modelo de Linde se tornou muito popular, era particularmente excelente em seus detalhes mecânicos.<sup>84,85</sup> O uso da amônia em máquinas de compressão foi uma importante avanço, além da vantagem termodinâmica que este possui sobre os outros tipos práticos de refrigerantes, as pressões que o mesmo requeria eram muito fáceis de produzir, e máquinas que a utilizavam podiam ser de dimensões pequenas.<sup>86</sup>

Figura 54 - Um das primeiras máquinas de refrigeração, a qual foi instalada na Dreherschen Brauerei



Fonte <<http://www.linde.se>> Acessado em 01/09/2014.

Um das primeiras máquinas de refrigeração, a qual foi instalada na Dreherschen Brauerei (uma cervejaria) em Triest em 1877, funcionou para completa satisfação de seus proprietários até 1908. Hoje está exposta no Museu Tecnológico de Viena.

Linde em seguida concebeu um terceiro projeto com sua atenção voltado às já plenamente utilizadas bombas de gás. Este projeto em modelo horizontal mostrou-se plenamente econômico e serviu de referência aos modelos Linde de compressores nas décadas que se sucederam.

Linde desenvolveu importantes trabalhos com projetos de liquefação do ar e separação do ar, tendo ainda mostrado seu lado engenheiro-empresário com a fundação da “*Gesellschaft für Linde's Eismaschinen*”, no intuito de promover sua invenção, conseguindo enorme sucesso comercial em todo o mundo até os dias atuais. As aplicações do modelo Linde de refrigeração foram eficientemente exploradas em seus projetos posteriores de pistas de patinação no gelo, refrigerador e unidades de resfriamento para navios e vagões de trem.

Figura 55 - Patente imperial para Carl von Linde por sua primeira máquina de refrigeração (1877)



Fonte <<http://www.linde.se>> Acessado em 01/09/2014.

As cervejarias foram as grandes beneficiadas de imediato com a invenção de Linde. No final dos anos de 1880, centenas de cervejarias já dispunham de suas máquinas e a

produção anual era garantida, fruto da disponibilidade efetiva de produção do frio de inverno a verão. Os lucros das indústrias de cervejas cresceram consideravelmente.

Sobre a necessidade de resfriamento em escala industrial utilizado nas indústrias de cerveja, Stoecker, W. F. & Jabardo, J. M. Saiz, em *Refrigeração Industrial*, esclarecem<sup>87</sup>:

No caso da cerveja, duas são as reações químicas principais que ocorrem durante o processo de fabricação: 1) conversão do amido do grão em açúcar; 2) fermentação, durante a qual o açúcar é convertido em álcool e bióxido de carbono. Como a fermentação é um processo exotérmico, o produto deve ser resfriado sob pena de ocorrer um aumento de temperatura suficiente para reduzir ou mesmo interromper a transformação do açúcar. A mistura em fermentação deve ser mantida à temperatura que pode variar entre 7 e 13°C. Por outro lado, refrigeração também é utilizada no processo de maturação da cerveja, que demanda um período de dois a três meses em ambiente refrigerado.

Objetivando demonstrar a eficiência e a eficácia de custos de produção com suas máquinas, Linde passou a desenvolver fábricas de gelo. Entre duas cervejarias local, na cidade de Elberfeld-Barmen, que se comprometeram a adquirir parcela apreciável de gelo artificial, Linde construiu sua primeira fábrica de gelo. Von Hirsch, um financista francês que houvera adquirido os direitos de patente para exploração comercial do projeto em seu país, fundaram, em Paris, uma fábrica de gelo.

Por volta de 1881, Stuttgart, Munique e Strasbourg receberam fábricas de gelo de Linde. A produção individual era de cerca de 50.000 kilogramas por dia, ao custo eficiente médio de 70 pfennigs por 100 kilogramas. Em seguida, uma vez comprovado os objetivos financeiros de Linde, as mesmas foram vendidas por volta de 1890, “com considerável excedente sobre seu valor de caixa” (von Linde). Posteriormente, a “*Gesellschaft für Linde’s Eismaschinen*” decidiu novamente explorar as atividades econômicas de produção de gelo e armazéns de estocagem em Nuremberg (1896), Leipzig (1910), Königsberg (1914) e Magdeburg (1937).

O balanço financeiro da empresa por ocasião de seu aniversário de 50 anos demonstrou a aptidão comercial que se desdobrara com o advento da produção do gelo artificial: no final de 1929, a “*Gesellschaft für Linde’s Eismaschinen*” tinha vendido 6.599 grandes máquinas de gelo, sendo 2.057 para cervejarias, 1.865 para refrigeração de alimentos, 727 para fábricas de gelo, bem como 14 para mineradoras. A empresa atuava em 17 países, incluindo China, Japão e Rússia.

### 5.3 Refrigeração artificial

Não há uma clara distinção entre o conceito do que seja artificial ou natural, quando o assunto é refrigeração. Se tomar como referência a concepção de artificial a produção do frio, ou o resultado material obtido a partir deste, por meios mecânicos, sempre haverá espaço para a inquirição de que a interpelação humana apenas favorece, ou no mínimo acelera a transformação de algo cuja concepção é essencialmente natural: o frio, ou mesmo seu correlato, o calor. Tomemos, então, como referência ao termo refrigeração artificial, aquele produzido, ou cujos resultados materiais são favorecidos pela interpelação do conhecimento e técnica humana para a produção ou aceleração do processo de refrigeração. Neste contexto pode-se atribuir ao médico e professor de medicina escocês William Cullen a primeira concepção física de uma máquina de refrigeração capaz de produzir uma pequena quantidade de gelo em laboratório, no ano de 1755.

O professor Cullen fez com que a água contida em um recipiente fechado fosse submetida a um processo de depressão com auxílio de uma bomba de ar. Ao atingir uma pressão extremamente baixa atuante sobre a porção d'água, o líquido evaporou-se ou ferveu violentamente a uma temperatura extremamente baixa. O calor necessário para promover a mudança de estado foi retirado da própria massa líquida. A porção de calor removida foi suficiente para que uma pequena parcela residual de água virasse gelo.<sup>40</sup>

O sucesso da experiência de Cullen foi apenas parcial porque o mesmo encontrou grandes dificuldades em manter a água sob um nível de pressão tão baixo suficiente para criar temperaturas que formasse gelo significativamente.<sup>41, 42</sup> Embora tenha sido um experimento sem a possibilidade de uso prático, foi o início de um novo capítulo.

À medida que fervem e evaporam, os líquidos são capazes de absorver enormes quantidades de calor e isto se tornou a base da refrigeração moderna. Na demonstração do Professor Cullen, no reservatório de uma bomba de vácuo a água foi colocada em contato térmico com éter. O propósito foi favorecer um incremento na taxa de evaporação do éter e com isto a água pôde ser congelada.

Modernamente, a partir desta experiência, já podemos anteciper a presença dos conceitos termodinâmicos de pressão de saturação e calor latente. A pressão de saturação é aquela que mantém um equilíbrio térmico do líquido com seu próprio vapor, e que depende exclusivamente da temperatura. Qualquer valor de pressão adicional sobre o atual estado de existência de uma substância líquida implicará um aumento na temperatura (de saturação) na qual o líquido entrará no estado de ebulição. A evaporação do líquido necessita de calor

latente durante a evaporação. Por outro lado, qualquer quantidade de calor latente extraído a partir do líquido tem como efeito um resfriamento do líquido.

Assim, observa-se na experiência do professor Cullen que a temperatura do éter permanecerá inalterada enquanto a bomba de vácuo mantiver uma pressão de saturação para uma dada temperatura desejada, apenas removendo os vapores formados devido à vaporização. Objetivando reduzir a temperatura, permitiu-se que a bomba de vácuo impusesse uma pressão de saturação inferior. Nos dias atuais, o componente do sistema de refrigeração onde o arrefecimento é produzido chama-se evaporador.

Outro escocês, Sir John Leslie, em 1810 conseguiu um avanço significativo sobre a experiência do professor Cullen, ao dispor em frascos separados, porém ligados entre si, água e ácido sulfúrico, respectivamente. O sistema foi submetido a vácuo e devido ao fato do ácido sulfúrico possuir uma afinidade muito elevada com a água, este absorveu o vapor de água formado, mantendo a baixa pressão do sistema.<sup>43, 41</sup> Vallance, em 1824 utilizou um aparelho mais elaborado, empregando um método mais eficiente de utilização das qualidades absorventes do ácido.<sup>41</sup> O ácido sulfúrico é um absorvente neste sistema que tem de ser reciclado por aquecimento para livrar-se do vapor de água absorvido, para uma operação contínua. Windhausen em 1878 usou esse princípio para um sistema de refrigeração por absorção, que trabalhou em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Um pouco antes, em 1860, Ferdinand Carre inventou um sistema de absorção de aqua-amônia.

A indústria do frio veio com os primeiros sistemas frigoríficos construídos a partir de ciclos que visam aperfeiçoar a transferência de calor de quente para frio. O gás de amoníaco é comprimido por pistões gigantesco até se materializar na forma de um líquido quente; o amoníaco liquefeito a elevadas temperaturas é então bombeado para um condensador onde é resfriado; O líquido agora à temperatura ambiente é enviado através de tubos entremeados em tanques de água. A evaporação do amoníaco, na etapa seguinte, absorve o calor da água circundante que finalmente transforma-se em blocos de gelo.

A exploração econômica deste modelo depende da continuidade cíclica do processo, obtido através da reciclagem por condensação (rejeição de calor para o ambiente) do vapor para o estado líquido. É possível, com o aumento de pressão, a condensação à temperatura ambiente. Este processo foi desenvolvido na segunda metade do século XVII.

Figura 56 - Fábricas de gelo por volta de 1880 produziam até 150 toneladas por dia



Fonte: Imagem de domínio público.

Os processos de liquefação de fases evoluiu consideravelmente. U.F. Clouet e G. Monge liquefizeram  $\text{SO}_2$  em 1780, enquanto van Marum e Van Troostwijk liquefizeram  $\text{NH}_3$  em 1787.

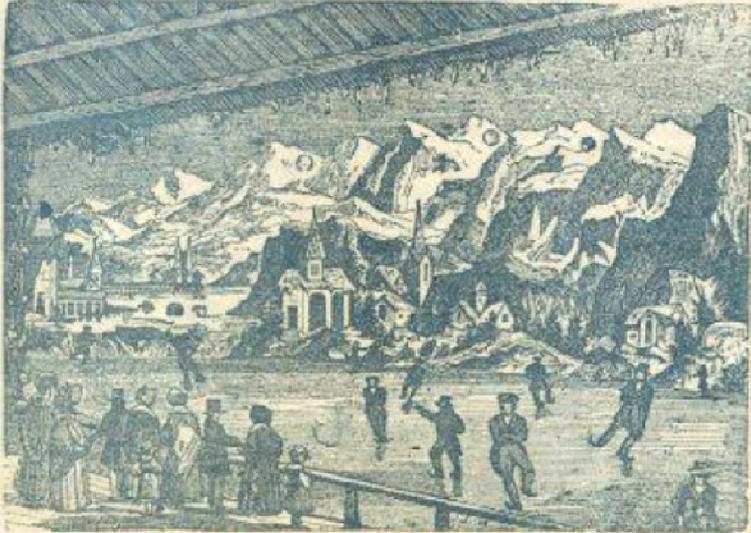
O éter dimetílico, cujo ponto de ebulição normal é  $-23,6^\circ \text{C}$  foi utilizado num modelo de refrigeração patenteado em 1864, por Charles Tellier da França. Segue-se com John Enright, que em 1876 também utilizou o  $\text{NH}_3$  em suas experiências. O Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) foi utilizado por NY. Franz Windhausen em 1886. A alta pressão necessária à compressão do dióxido de carbono, cerca de 80 atmosferas, requer construções muito robustas e isto tornou-se empecílio a muitas das expectativas de produção em escala industrial. Outros sistemas à base de  $\text{CO}_2$  foram testados nos EUA por T.S.C Lowe.

Neste sistema, devido à reduzida pressão, foram adquiridos melhorias significativas nos processos de contenção do gás dentro do sistema. Palmer usou  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$  em 1890 em um compressor rotativo. A inflamabilidade deste gás foi reduzida com a adição de  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$ . Edmund Copeland e Harry Edwards utilizaram iso-butano, em 1920, em pequenas geladeiras.  $\text{CH}_3\text{Cl}$ , Dicloroetileno foi usado por Carrier em compressores centrífugos em 1922-1926.

Com relação ao  $\text{CO}_2$ , o mesmo devido à segurança oferecida em seu manuseio, depois de ter sido elaborado em escala industrial, foi utilizado em navios frigoríficos até 1960.

Figura 57 - O Glaciarium foi construído em Chelsea, Londres, Inglaterra em 1876 e foi a primeira pista de patinação com gelo mecanicamente produzido

**NOT-ICE!**  
**WONDERFUL PHENOMENON!**  
**MURPHY OUTDONE!—AWFUL PREDICTION!**  
**GREAT THAW of the ARTIFICIAL ICE!**  
**3000 SQUARE FEET IN EXTENT.**



**BAKER STREET BAZAAR,**  
**KING STREET, PORTMAN SQUARE.**

THE PROPRIETOR OF THE  
**GLACIARIUM**

Feels it his duty to apprise the Public that, the Metropolis will assuredly be visited on Thursday, the 25th of January, 1844, with the most Extraordinary *Thaw* ever witnessed in this Country or any other; and he, therefore, takes the earliest opportunity of awakening the Public to the pending Calamity, and thus prevent disappointment to those who have not had the good fortune to see this admitted Wonder of Novelty—

**THE ONLY ONE IN THE WORLD;**  
and, although the beautiful

**LAKE OF LUCERNE**

is now fast Frozen—the Mountains, Rocks and Trees, covered with Snow,—and the **GLACIER** of Ice, down which the venturesome Skaters descend with astonishing rapidity, is solid, yet all must, on the fast approaching dreaded 25th of January, "*dissolve—and, like the baseless fabric of a vision, leave not a wreck behind.*" Skaters and astonished sceptics are therefore invited, whilst the opportunity offers, to witness this wonderful discovery, with its additional attractions of

**Sledges on the Frozen Lake,**

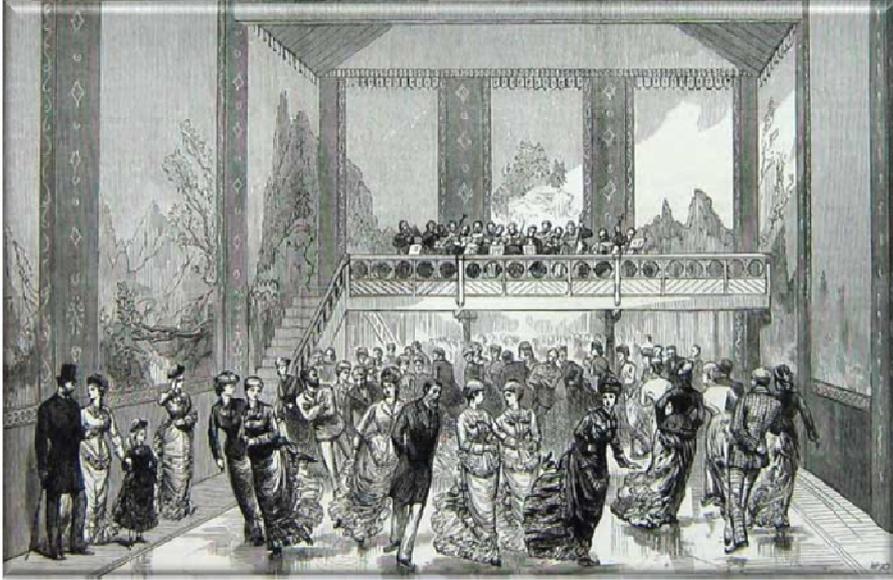
for the use of Ladies and Children, without additional Charge;—which is open daily from 10 in the Morning till 10 at Night, and beautifully Illuminated at Dusk.

A Band of Music will perform during the **Four Days** of the Cattle Show, viz. the 6th, 7th, 8th and 9th December—and, in the Evening, the usual **PROMENADE MUSICALE, Led by Mr. A. SEDGWICK.** And, with permission, it is announced that, Mornings and Evenings, the Members of the Glaciarium Skating Club will meet and perform their Elegant Evolutions to Music.

For the accommodation of Visitors, there will be an Entrance from the **CATTLE SHOW** to the **ARTIFICIAL ICE.**

Admittance, 1s. — Children, Half-Price, — Skating, 1s.  
S. G. Fairbrother, Printer, 21, Bow Street, Covent Garden.

Figura 58 - Pista de patinação em gelo Glaciarium



Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Glaciarium\\_Ice\\_Rink.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Glaciarium_Ice_Rink.jpg), ultimo acesso em 01/09/2014.

Ponto notável nesta linha de tempo da refrigeração é a publicação do livro “Abortion of a Young Steam Engineer’s Guide”, pelo talentoso engenheiro americano Oliver Evans, em 1805 na Filadélfia. Com base nos princípios estabelecidos pelo dr. William Cullen em 1756, Evans descreveu um ciclo fechado de refrigeração para produzir gelo a partir do éter sob vácuo.

Figura 59 - Oliver Evans (1755-1819), um inventor americano projetou um refrigerador em 1805

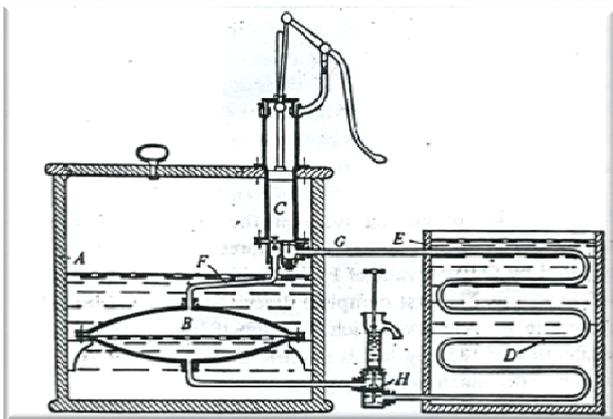


Fonte: Imagem de domínio público.

De acordo com Evans, o éter deveria estar armazenado em um vasilhame submerso a água a ser congelada. Esta porção de éter deveria ser submetido a uma vigorosa vaporização produzida a partir de uma bomba movida a vapor, com isto o éter absorveria o calor da água, que se congelaria. O vapor de éter, por sua vez, deveria ser comprimido em outro vasilhame também submerso em água corrente. Uma vez que estaria sujeito à pressão e sob o efeito refrigerante da água corrente, se condensaria, rejeitando o calor absorvido anteriormente quando assumiu a forma líquida. O éter, na forma líquida estaria pronto para ser utilizado novamente.<sup>44</sup> Evans talvez não tenha observado que o vácuo não era condição indispensável para a obtenção de resultados semelhantes com o éter, no entanto, seu plano mostrou um claro entendimento dos princípios envolvidos nos sistema de compressão de vapor da refrigeração mecânica.

O modelo de Evans foi concebido somente alguns anos mais tarde, em 1835, por Jacob Perkins (1766-1849), um americano que vivia em Londres. Em sua patente de 1834, "an apparatus and means for producing ice, and in cooling fluids," descreve: "Eu sou capaz de usar líquidos voláteis com o propósito de produzir o resfriamento ou congelamento dos fluidos e ainda, ao mesmo tempo, condensar constantemente tais fluidos voláteis, e pô-los novamente em funcionamento, sem desperdício".<sup>45</sup> Este é o primeiro sistema de refrigeração por compressão de vapor no mundo. Um ciclo fechado que podia operar continuamente, conforme as próprias citações de Perkins.

Figura 60 - Aparelho descrito por Jacob Perkins na sua especificação de patente de 1834

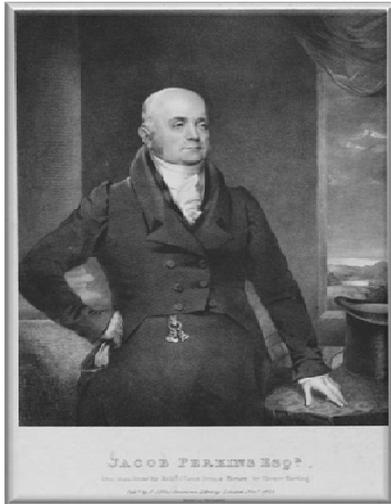


Fonte: Banco de Patentes Americana.

O refrigerante (éter ou outro líquido volátil) ferve no evaporador B extraindo calor da água circundante no recipiente A. A bomba C extrai o vapor para longe e comprime-o para uma pressão mais elevada na qual pode condensar-se em líquidos nos tubos D, cedendo calor

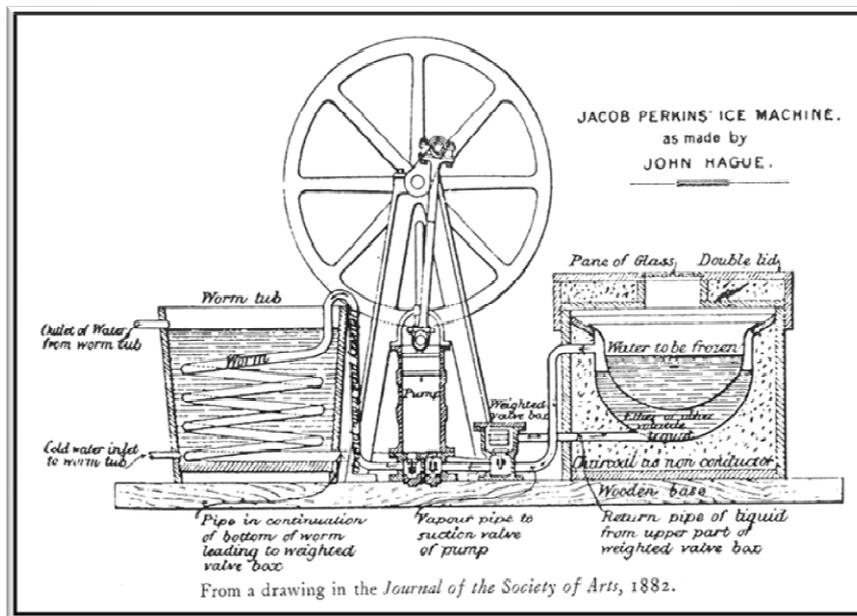
para a água no recipiente E. Condensado líquido flui através da válvula carregada com peso H, o que mantém a diferença de pressão entre o condensador e evaporador. A pequena bomba acima de H é usada para carregar o aparelho com o refrigerante.

Figura 61 - O inventor americano Jacob Perkins (1766-1849) construiu uma máquina de gelo em 1834



Fonte: Imagem de domínio público.

Figura 62 - Máquina de Gelo de Jacob Perkins conforme fabricada por John Hague



Fonte: <http://www.bphs.net/EarlyHistory/EarlyInventions/images/1882JPerkinsIceMc.jpg> último acesso em 01/09/2014.

Abaixo a reprodução das citações na íntegra de um jornal de 1889, do modelo de funcionamento da máquina de Perkins, denominada “Arktos”<sup>46</sup>

“ARKTOS” - . Um novo Refrigerador

Anglo-indianos e outros residentes nos trópicos podem agora ter a felicidade de manter-se" frio sem o uso do ventilador, e, se eles não se opõem a uma temperatura um pouco abaixo de zero, eles não precisam ter medo das inúmeras formas de existência nocivas que tornam a vida nos trópicos uma praga. Para usar as palavras de Sir. Frederick Bramwell, ao tratar da Associação Britânica para o avanço da Ciência "não há qualquer necessidade de fazer uma provisão para o arrefecimento de nossas casas, mas pode-se imaginar que o anglo-indiano ficaria feliz em desistir de seu punkah (tipo de ventilador usado desde os idos de 500 AC) por algum mais certo e menos airoso modo de arrefecimento. "Sr. Loftus Perkins, da empresa de AM Perkins e Son , 43, Regent Square, Gray's Inn-road, Londres, alcançou este desiderato, e o nome escolhido para designar o novo processo e do aparelho inventado por ele para a absorção de calor e produção de frio extremo e gelo, sem auxílio mecânico é " Arktos. "Talvez a coisa mais notável sobre esta verdadeiramente notável invenção, diz o Pall Mall Gazette, é contada nas próprias palavras do Sr. Perkins ao nosso repórter: "Você acende um fogo sob ele, sabe como é, e imediatamente produz um frio intenso!" e, em seguida, o Sr. Perkins riu mais contagiante do que de costume, já que para todas as pessoas, deve parecer à primeira vista uma piada, e uma que para o inventor do mesmo é tão rico em humor, como sempre foi. O aparelho consiste de três tubos de ferro forjado ou câmaras ligadas entre si por tubos, mas sem válvulas, torneiras, peças em movimento ou qualquer tipo de equipamento que seja. "De fato, todo o aparelho é um tubo hermeticamente fechado, que difere em tamanho e forma em determinados locais. Assim, há dois cilindros de ferro forjado, de tamanho igual a que se juntaram um por cima do outro. O cilindro inferior é preenchido com uma solução de amoníaco (de fato, o amoníaco líquido comum de comércio); enquanto da parte superior dos cilindros gêmeos estende-se um longo ferro de tubo dobrado em forma semicircular e terminando em outro cilindro de ferro forjado exatamente um terço do tamanho e da capacidade dos outros. O tubo de ligação está rodeado por um segundo tubo maior, por meio do qual, quando o aparelho está a trabalhar, um fluxo constante de água fria é feita passar para mantê-lo a uma temperatura uniforme. O pequeno cilindro é de novo ligado com a parte superior dos cilindros individuais por um tubo em forma de U, o qual ficando mais ou menos constantemente cheio de água serve como uma armadilha. Para iniciar o processo de congelamento tudo o que tem que ser feito é acender uma lire por baixo dos cilindros gêmeos e aguardar os resultados. Não se tem que esperar muito tempo. Num surpreendentemente curto espaço de tempo, uma geada é visto se acumulando em toda a superfície do cilindro pequeno. Quando isso ocorre o fogo poderá ser extinto, mas o frio assim gerado permanece por um período que varia de um dia a uma semana, e pode ser renovado à vontade por novo aplicação de calor. O que acontece é tão simples como é o próprio aparelho. O amoníaco líquido, que preenche a parte inferior dos cilindros duplos, é composto de um terço de amoníaco e dois terços de água. A uma determinada temperatura, a mistura é desintegrada, o amoníaco é expulso sob a forma de um gás anidro (sem água), enquanto a água, que se eleva na forma de vapor, é parcialmente condensada, na parte superior dos cilindros duplos, e parcialmente no tubo semicircular rodeado por água corrente fria, e cai de volta para a parte inferior dos cilindros. Neste meio tempo o gás anidro continua em seu percurso até que alcance o pequeno cilindro, o qual, sendo um terço do tamanho e da capacidade de qualquer um dos cilindros captura toda a amônia que se aproxima, e uma vez que se condensa, um frio intenso é produzido. O aparelho sendo construído de ferro forjado não é afetado pela amônia; sendo hermeticamente fechado, é praticamente

inesgotável, já que a amônia e água são feitos simplesmente para girar e girar o tubo contínuo para todo o sempre, desde que o aparelho dure. Agora, a simples aplicação deste aparelho simples - Grandes frigoríficos tão grandes quanto salas grandes, ou pequenas para se dispor nos cantos das salas de jantar, podem ser resfriados para um ou dois graus em torno de zero, com a mesma facilidade. O Sr. Perkins levou nosso repórter através da sala de gelo que ele havia construído para testar o seu processo maravilhoso, e, na companhia do Sr. Harris, seu empresário, explicou o "Arktos" e as suas capacidades. Em uma geladeira enorme existem várias toneladas do mais puro, mais transparente gelo, que era água, quando foi colocado ali; também havia pães sólido congelado, e legumes e aves, patos e faisões inumeráveis. As paredes e teto desta sala têm a aparência de alguma caverna stalactítica, tão coberto de geada que são, os belos pingentes de gelo e depósitos parecidos com neve cintilantes como milhões de pedras preciosas na penumbra do gás. As paredes desta geladeira são cerca de quatro pés de espessura. Elas são duplas, encaixotadas com metal, e separados por um grosso enchimento isolante de pelo de vaca com uma polega de espessura. Em outra parte do edifício estão outros frigoríficos de menor porte, que estão agora a ser testados com perfeita satisfação. Em um deles a difícil façanha de congelamento de mercúrio foi realizado. Em outros, a temperatura tem sido permanente durante os últimos seis meses, a 10 graus acima de zero, ou 22 graus de congelamento] Em um deles está pendurado uma ovelha inteira. Tem estado lá por seis meses, ainda não mostra sinais de desintegração. Isso, claro, em si, não é uma grande conquista. A grande realização é o processo pelo qual uma atmosfera fria pode ser produzida ao mesmo tempo, e em qualquer grau, sem a utilização de máquinas requerendo auxílio mecânico, ou qualquer tipo de manipulação para além da mera aplicação de calor. Isso tem sido feito pelo Sr. Perkins, e de agora em diante, sempre que uma "Arktos", com sua atmosfera fria e seca estiver disponível, peixe, carne, aves, pão, queijo, manteiga, leite, ovos e muitos vegetais, e na verdade quase todos alimentos perecíveis podem ser mantidos absolutamente fresco, e sem decadência ou deterioração, por períodos ilimitados, seja em latitudes temperadas ou equatoriais. A introdução deste novo processo e aparelho não pode deixar de ser uma bênção para o mundo civilizado, e deve dar início a uma revolução econômica da maior magnitude. "

Figura 63 – Construção da Máquina de Gelo de Perkins



Fonte: Historical Society of Pennsylvania, Philadelphia.

As três décadas que se seguiram a 1850 foram marcadas por grandes realizações inventivas. A refrigeração mecânica prática finalmente encontrou as bases para sua evolução definitiva: demanda crescente e o progresso na ciência e tecnologia. Por volta de 1860, a Grã Bretanha se viu às voltas com uma série demanda de suprimento alimentar à população industrial.<sup>47</sup> A preservação de alimentos, principalmente carne, durante o transporte marítimo, veio com o advento dos meios de refrigeração mecânica. A Austrália, por sua vez, exigia um forte mercado exportador de carne e os meios para isto demandavam uma tecnologia confiável no campo da refrigeração. A indústria de cerveja Americana crescia vertiginosamente e na parte sul dos Estados Unidos a refrigeração mecânica era importante para que pudesse existir um suprimento de gelo barato.

Já havia um desenvolvimento científico e tecnológico à altura destas necessidades imperativas. Outros materiais diferentes da água e éter eram conhecidos principalmente devidos às experiências de Faraday, Tilorier. O conceito de que certas substâncias, como a amônia e o dióxido de carbono, só eram possíveis sua existência na forma gasosa, agora já encontrava respaldo científico para sua produção em estado líquido. Rumford e Davy explicaram a natureza do calor e Kelvin, Joule e Rankine deram continuidade ao brilhante trabalho de Sadi Carnot na ciência da termodinâmica. A máquina a vapor, de longa data já operando, encontrou os meios mais seguros para operação com as altas pressões envolvidas no processo de compressão por vapor.<sup>48</sup>

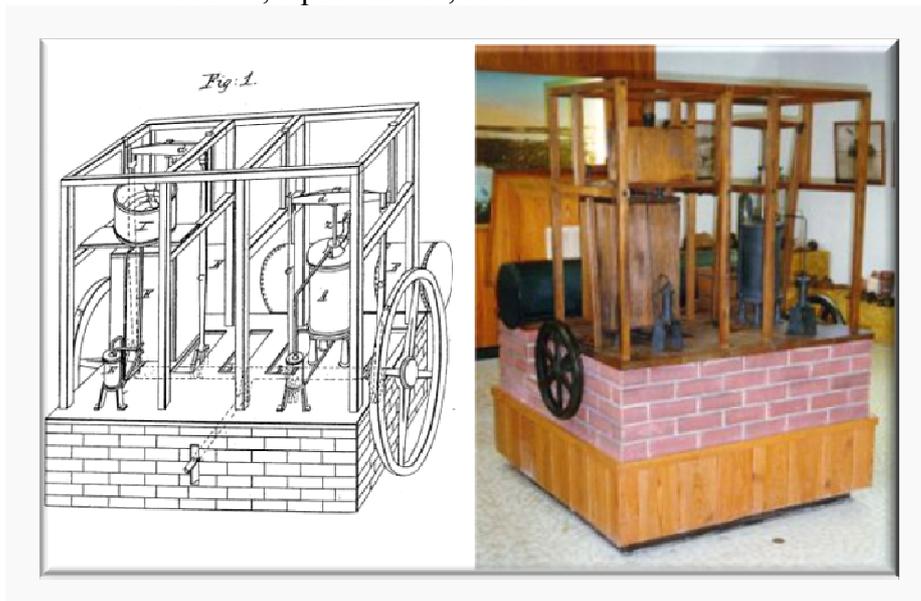
Duas classes de máquinas refrigerantes permearam os anos entre 1850 e 1880: as máquinas que utilizavam o ar como meio refrigerante e as que utilizavam um meio refrigerante que podia ser vaporizado e em seguida liquefeito.<sup>49</sup>

As máquinas de ar frio, ou máquinas de ar comprimido, fundamentavam-se no fenômeno reverso ao aquecimento observado durante a compressão – o ar se esfria à medida que se expande contra uma resistência. Na metade do século dezoito, juntamente com o advento da bomba de ar, este fenômeno já havia sido identificado. John Dutton, engenheiro e inventor, patenteou a fabricação de gelo fazendo uso da expansão do ar.<sup>50</sup>

O verdadeiro desenvolvimento da máquina de ar frio, teve início a partir das idéias do medico americano, Dr. John Gorrie de Appalachicola, Flórida. Ele foi o responsável pela criação de um modelo para a produção artificial de gelo e para propósitos de refrigeração geral, baseado nos trabalhos de Evans, de décadas atrás. Foi agraciado com a primeira patente Americana para a refrigeração mecânica em 1851, depois de ter sido agraciado com a patente britânica em 1850 pelo mesmo invento. Sua idéia de produção era fornecer correntes de ar através do gelo para o conforto de pacientes que sofriam de malária, na Flórida. Por isso

também lhe é atribuído o pioneirismo no condicionamento de ar. O princípio básico utilizado ainda é o mais comumente utilizado na refrigeração, mesmo nos dias de hoje: resfriamento rápido decorrente da expansão gasosa. Duas bombas de dupla ação foram utilizadas para condensar e em seguida tornar o ar rarefeito.

Figura 64 - À esquerda, modelo esquemático da máquina de gelo mecânica do Dr. John Gorrie de 1851, conforme USA Pat. N° 8,080 – Ice Machine / Figura 65 - À direita, modelo original da máquina de gelo de Gorrie. O gelo é coletado na caixa de madeira no topo. O cilindro grande contém o pistão. Fonte: Gorrie Museu, Apalachicola, Flórida

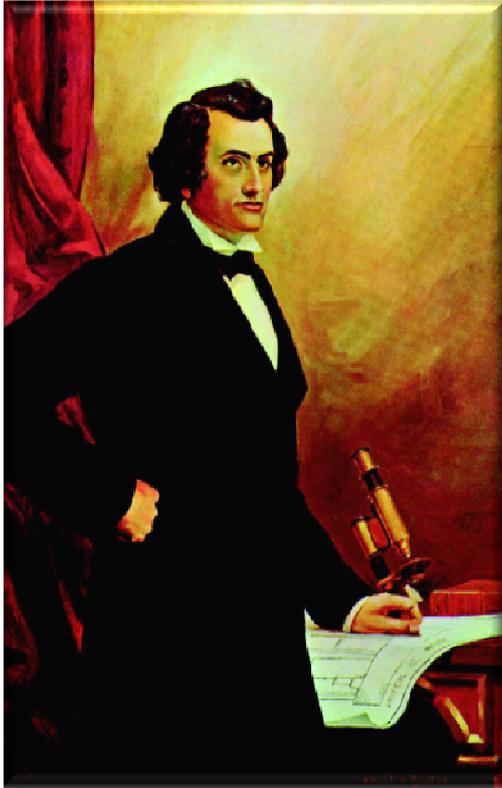


Fonte: <http://www.google.com/patents/US8080>.

Fonte: [www.phys.efl.edu/~ihas/gorrie/fridge.htm#](http://www.phys.efl.edu/~ihas/gorrie/fridge.htm#).

Embora os métodos aplicados na produção de gelo pelo Dr. John Gorrie subsistem até os dias atuais, sua idéia de refrigeração de ambiente é ainda pouco divulgada, principalmente que os propósitos fundamentais de sua invenção não eram promover a refrigeração de conforto, nos moldes atuais desejados, mas de natureza eminentemente médica.

Figura 66 - Dr. John Gorrie - 1802–1855



Fonte: ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Journal, December 1998.

Após avaliações médicas em pacientes que eram infectados pela malária, o médico concluiu que a provável causa seria um óleo volátil que emanava da superfície da terra quando a decomposição orgânica, umidade e calor estivessem presentes. Gorrie preconizou a idéia de que este ambiente promotor da doença poderia ser controlado em um quarto de hospital ou num ambiente familiar apropriado, a partir do controle do ar ambiente suprido a estes recintos. Partindo do pressuposto de que a malária era controlada com a vinda do frio, geadas em particular, dispôs-se a agir conforme o controle natural, isto é, tentou purificar a atmosfera de um espaço limitado com a utilização de gelo. A idéia final do projeto do Dr. Gorrie era promover uma corrente de ar através de uma chaminé impregnada de carbono na forma de fuligem. Como havia uma afinidade do carbono com os vapores e óleo orgânicos, segundo o médico, a malária tenderia a decompor-se. À medida que o ar passava sobre o gelo, seu vapor seria condensado e “outras matérias voláteis e gases estranhos” absorvidos.<sup>51</sup> Por volta de 1844 Gorrie obteve sucesso em diminuir a temperatura de uma sala de hospital<sup>52</sup> provavelmente com tal arranjo.

A idéia de fabricação própria do gelo teve o único propósito de reduzir a dependência econômica na sua aquisição. Sua invenção foi descrita na revista *Scientific American* em 1849, e parece que ele produziu gelo com um modelo em uma demonstração pública em 1850. Uma unidade de seu projeto estava funcionando na Inglaterra em 1854<sup>53, 54</sup>

As técnicas empregadas na elaboração de seu invento para a produção de gelo são encontradas na descrição de sua patente USA Pat. N° 8,080 de 1851.<sup>55</sup>

Abaixo, uma transcrição parcial da patente Americana nos revela a perspicácia deste inventor:

É uma lei bem conhecida da natureza que a condensação do ar por compressão é acompanhada do desenvolvimento de calor, enquanto que a absorção do calor dos corpos ao redor, ou a manifestação do efeito sensível, comumente chamado de frio, acompanha uniformemente a expansão do ar, e isto é particularmente destacado quando é aliviado da compressão.

A natureza de minha invenção consiste em tirar vantagem desta lei para converter água em gelo artificialmente, absorvendo seu calor de liquefação com o ar em expansão. Para obter este efeito da forma mais vantajosa é necessário comprimir o ar atmosférico em um reservatório por meio de uma bomba, a um oitavo, um décimo, ou outra proporção conveniente e apropriada de seu volume normal. A potência assim consumida na condensação do ar é, num grau considerável, recuperado ao mesmo tempo em que o efeito frigorífico é produzido permitindo o ar agir com sua força expansiva sobre o pistão de uma máquina, o qual, em conexão com uma viga ou outro aparato comum a ambos, ajuda a funcionar a bomba de condensação. Quando o ar, resfriado pela sua expansão, escapa do motor, é forçado a passar através de um reservatório contendo a água a ser convertida em gelo, ou através de uma tubulação para efeito de refrigeração do ar. Outra forma é quando o ar que se expande do motor está sendo suprido com um líquido não congelável cujo calor o ar irá absorver e o qual, por sua vez, pode ser utilizado para absorver o calor da água a ser congelada. Com este arranjo eu consigo meu objetivo com o menor gasto possível de força mecânica, e produzo refrigeração artificial em maior quantidade do ar atmosférico que pode ser feito por qualquer meio conhecido.

A invenção do Dr. Gorrie foi posteriormente implementada pela Windhausen, Bell, Coleman, Haslam, e outras. Inúmeras máquinas construídas de acordo com seus planos foram utilizadas exclusivamente para o transporte de carnes e produtos perecíveis além-mares. Esta foi a primeira grande aplicação da refrigeração mecânica, apesar do fato desta máquina ser reconhecida como tendo uma baixa eficiência mecânica comparada a outros tipos no mercado.<sup>56</sup>

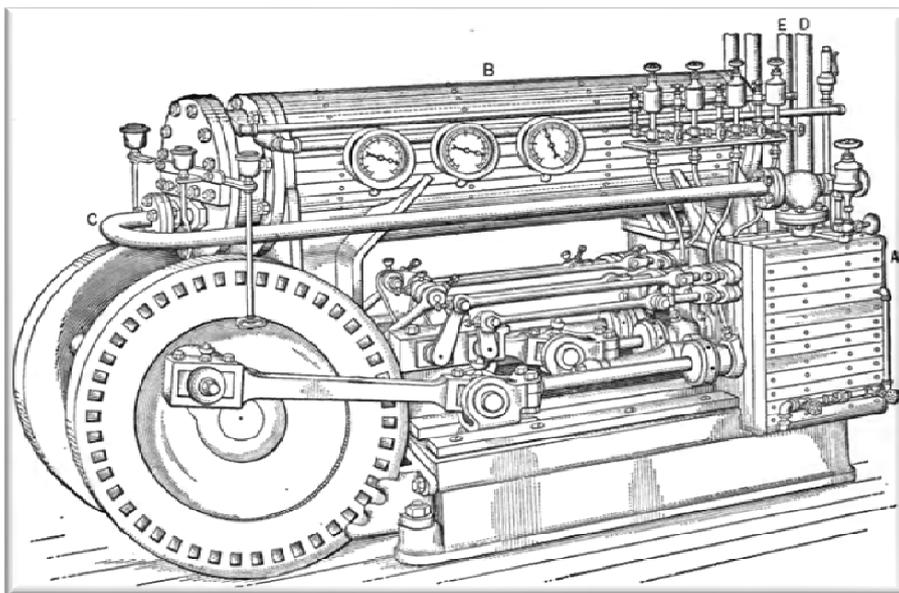
As primeiras máquinas de refrigeração logo puderam ser separadas, conforme o meio refrigerante usado no processo, em dois tipos principais: Ciclo fechado e ciclo aberto. As máquinas de ciclo fechado caracterizaram-se pela utilização reiterada (processo cíclico) de uma massa de ar confinada num ambiente, cuja pressão é superior à atmosférica. No ciclo

aberto, o ar à pressão atmosférica é arrastado para o interior da máquina e uma vez resfriado à temperatura desejada, a massa de ar é descarregada diretamente no espaço a ser refrigerado.<sup>57</sup>

As unidades do tipo ciclo fechado tiveram grande sucesso comercial inicialmente na Europa. O gerente de uma empresa óleo-parafínica, o escocês Dr. Alexander Carnegie Kirk, em 1862, desenvolveu, com base no trabalho de Gorrie, uma máquina de refrigeração para uso na fábrica de parafina. Usando uma razão de compressão de 6 a 8, Kirk pode produzir temperatura tão baixas quanto  $-40^{\circ}\text{C}$ . Embora a construção tenha se mostrado perigoso quanto aos riscos de incêndio, atendeu às necessidades da unidade fabril, conforme lhe fora encomendado pelos proprietários. Várias outras unidades similares projetadas por Kirk foram utilizadas na fabricação de gelo.<sup>57</sup> O alemão Franz Windhausen de Brunswick, foi agraciado com uma patente americana em 1870 por ter desenvolvido uma máquina de refrigeração muito utilizada pelas cervejarias da Alemanha e dos Estados Unidos. Paul Gifford em 1875 aperfeiçoou a máquina do tipo aberto. Esta máquina foi posteriormente melhorada por T B Lightfoot, A Haslam, Henry Bell e James Coleman. Este foi o principal método de refrigeração marítima por algum tempo. Em 1879, Leiceste Allen, um americano editor da American Artisan também desenvolveu satisfatoriamente uma máquina de refrigeração.<sup>58, 59</sup>

Um dos tipos mais comuns de máquinas a ar usadas nos Estados Unidos. Neste modelo os três cilindros, vapor, compressor e expensor, são dispostos lado a lado, e são conectados a três excêntricos de um eixo comum.

Figura 67 – Máquina de Refrigeração em Ciclo de Ar Allen Dense Air Machine



Fonte: Arthur M. Greene, Jr. "The Elements of Refrigeration, a Text Book for Students, Engineers and Warehousemen" John Wiley & Sons, Inc., London, 1916, pg. 12.

Nos dias atuais refrigeração em ciclo de ar é utilizado somente em aeronaves cujo turbo compressor pode manipular grandes taxas de fluxo de volume

Os fundamentos teóricos das máquinas de ciclo aberto já eram conhecidos desde 1850 quando Kelvin e Rankine desenvolveram as idéias preliminares. No entanto, somente alguns anos mais tarde, em 1873 é que outro europeu, o francês Paul Giffard, colocou em prática estas bases com a invenção de uma máquina operando em ciclo aberto. Joseph J. Coleman, Henry e James Bell patentearam na Grã Bretanha em 1877 um modelo similar ao de Giffard. Visando a qualidade dos produtos consumidos na Grã Bretanha, este projeto foi utilizado nos carregamentos de importação de carne de países como Estados Unidos em 1879, Austrália em 1880 e Nova Zelândia em 1882. A invenção de Giffard foi ainda relativamente melhorada com a contribuição de T.B. Lightfoot, nos anos de 1870.<sup>60,61</sup> Munton, R. & Stott, J. R. em “Refrigeration at Sea”<sup>62</sup> registram que o primeiro carregamento de carne para a Inglaterra a bordo do navio “ss La Frigorifique” ocorreu em 1877. As máquinas de ciclo aberto se tornaram de uso mais difundido que as máquinas de ciclo fechado.

## 6 AS NECESSIDADES DE REFRIGERAÇÃO DOMÉSTICA

A preservação em baixas temperaturas foi uma necessidade crescente a partir dos anos de 1830, notadamente devido ao elevado consumo de alimentos frescos. Os locais então disponíveis para armazenagem não respondiam às necessidades higiênicas e alimentares mínimas que passou a ser demandada pela população crescente dos centros urbanos. Os refrigeradores que utilizavam gelo como elemento refrigerante era o que se dispunham, visando atender estas necessidades básicas em nível doméstico.

Entre os anos de 1830 e 1860 houve uma melhora muito vagarosa, na forma de uso e em projeto destas “caixas de gelo”, principalmente devido à confusão que se formou em torno de sua função que se confundiu com aquela das casas de gelo onde a refrigeração se produzia com o derretimento do gelo.<sup>88</sup> O calor latente de fusão é absorvido pelo gelo em sua mudança de estado sólido para líquido. As substâncias disponíveis no meio a ser refrigerado fornecem este calor. A confusão generalizada em torno da função do meio refrigerante, no caso o gelo, é que este deveria ser preservado. Enrolar o gelo em cobertores, com o intuito de evitar que o mesmo se derretesse rapidamente, era prática comum. Obviamente que isto conduzia à baixíssima eficiência do processo de refrigeração que se almejava.

Embora Thomas Moore, um farmacêutico de Maryland, EUA já tivesse elaborado uma caixa com um compartimento no topo destinado à armazenagem do gelo, não foi consenso entre os fabricantes de “caixas de gelo” da época seguirem os princípios de conservação observados na invenção de Moore, muito provavelmente pelo fato de que o gelo viria a se derreter muito mais rapidamente.<sup>89</sup> Moore, com sua invenção, foi o primeiro a cunhar o termo “refrigerador” na indústria de refrigeração. Nos anos de 1840, os refrigeradores compreendiam uma simples caixa de madeira isolada, revestidas com zinco ou latas, e algumas divisórias interna destinadas à disponibilização do gelo na parte mais inferior e aos alimentos nos níveis mais superiores. Havia um dreno para deságua do gelo derretido. A condução de energia térmica era o principal processo de transferência de calor.<sup>90</sup> Não havia disponibilidade de circulação de ar, o que tornava os refrigeradores inadequados, além de não possuírem meios para remoção de odores e umidade naturalmente desenvolvidas no interior das caixas de gelo. Como resultado, temperaturas inapropriadas, sabores misturados, mofo, mal cheiro eram algumas das consequências imediata destas tentativas desastradas de preservação de alimentos.

Transcorreram-se alguns anos para que os projetistas de refrigeradores se dessem conta da necessidade de uma corrente de circulação para que o processo de refrigeração efetivamente se desenvolvesse a contento. A próxima conquista foi a percepção de que o gelo haveria de estar disposto na parte mais elevada do compartimento a ser refrigerado para que o ar resfriado, mais pesado, pudesse precipitar-se livremente para o fundo da câmara e dessa forma promovesse um espalhamento do ar mais quente existente na base e consequente elevação deste ao topo da câmara. Nesta passagem em direção ascendente, a corrente de ar mais quente em contato com o gelo, faria com que a umidade presente se condensasse e consequentemente depositariam sobre a superfície do gelo as partículas de odor e de sabor. O ar seco, purificado e resfriado retornaria assim, num ciclo intermitente, ao compartimento de alimento, enquanto que as impurezas depositadas sobre a superfície do gelo eventualmente eram removidas através da tubulação de dreno.

Aos poucos foi se diagnosticando as deficiências dos antigos refrigeradores, e os fabricantes perceberam o valor do ar frio e seco num processo de recirculação contínua em torno do espaço de alimentos. Uma experiência curiosa e muito eficiente aconteceu quando John C. Schooley elaborou, como parte de um projeto para resfriamento de porcos, um sistema de circulação de ar do gelo, patenteado em 1855. O sistema admitia ar externo para a câmara de gelo através de um registro, onde parte da umidade presente na corrente de ar se condensava na superfície do gelo. Desta forma, o ar mais frio, seco e denso fluía para o compartimento de alimento, trocava calor e absorvia umidade e tornava-se mais quente. De lá a corrente de ar era direcionada, através de um registro, para o meio externo, sem retornar ao compartimento de gelo.<sup>91</sup>

Em 1856 um fabricante de Massachusetts chamado Winship patenteou um sistema similar<sup>89</sup> Este princípio foi adaptado aos refrigeradores domésticos embora tenham se mostrados relativamente ineficientes, já que haveriam de coletar o ar sob temperaturas externas, passar sobre a superfície do gelo e sobre o alimento para finalmente ser expelido. Isto elevou o consumo de gelo consideravelmente a níveis proibitivos. A solução veio com outra ideia de Schooley que em 1859 adaptou o projeto com um conjunto de válvulas que isolavam os registros de entrada e saída. A câmara de gelo e o compartimento de alimentos passou a ser interligado através de duas aberturas. Assim, quando as válvulas de admissão de ar e de saída do ar estivessem fechadas, a troca térmica ocorreria entre a câmara de gelo e o compartimento de alimentos, semelhante ao que ocorre com as modernas unidades de refrigeração doméstica. Schooley advertia da necessidade de se manter as válvulas abertas até que as provisões frescas ou mornas estivessem resfriadas e que, em seguida, se fechasse as

válvulas, preservando inclusive a integridade bacteriológica dos alimentos estocados, que não seriam contaminados com o ar. Por volta de 1861 circulou um panfleto de advertência observando que “sob contato repetido com o gelo, uma baixa temperatura é mantida, o ar é seco, e até um ponto considerável é purificado”.<sup>92</sup> Enfim, o princípio correto do refrigerador havia sido descoberto e principalmente havia sido compreendido.

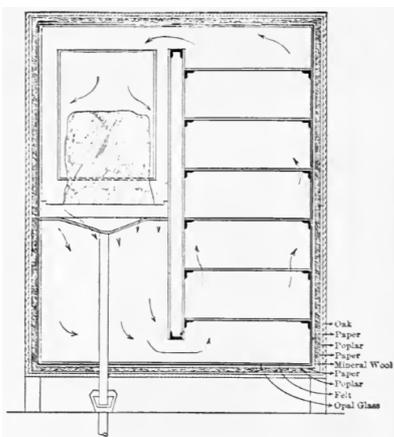
Cummings em seu livro “The American Ice Harvests, 59-60”<sup>93</sup> registra que por volta de 1860 no mínimo dois modelos melhorados a partir desta nova concepção foram amplamente comercializados. Não houve, no entanto, uma substituição em qualquer grau dos modelos mais antigos e muitos anos após o invento de Schooley era comuna utilização de “caixas de gelo” 1830 e 1840.

Quanto aos métodos de estocagem em grande escala, entre os anos de 1830 e 1860 constata-se que houve ainda menos avanço do que aquele pouco observado na refrigeração doméstica. A ideia de Schooley foi somente um ponto de partida na direção de alguma melhoria nos processo de estocagem em armazéns de refrigerado, ou de estocagem a frio como também eram conhecidos. O próprio John C. Schooley, com seu método conseguiu resfriar um armazém para armazenamento de porcos, de maneira que houvesse, durante o processo de cura destes alimentos, um tempo suficiente para a penetração das substâncias conservantes, antes que estragassem, pudessem promover uma conservação mais prolongada na indústria de produção de presuntos. O invento de Schooley embora desajeitado, mostrou uma compreensão básica dos problemas mais sérios encontrados em grandes salas de estocagem de alimentos.

Deve-se ao americano Benjamim M. Nyce, de Decatur County, Indiana a elaboração de processos de estocagem voltados principalmente à preservação de frutas em ambiente refrigerado. Seu trabalho teve início em 1856 e desenvolveu um sistema patenteado em 1858 que consistia numa casa de estocagem excepcionalmente bem isolada. Também Nyce já tivera a ideia de estocagem do gelo no compartimento mais elevado do espaço a ser resfriado do qual era isolado por chapas de ferro onde o gelo repousava. A refrigeração era promovida de forma indireta, ou seja, o contato das correntes de ar de convecção eram com a chapa de ferro de onde se precipitavam em direção ao piso. Nyce percebeu a necessidade de remoção da umidade gerada e para isso disponibilizou um absorvente, o cloreto de cálcio, em bandejas largas que situavam-se no piso inferior, por entre os alimentos estocados. Em 1860 seu sistema encontrou aplicação comercial na preservação de frutas e ainda por volta de 1907 algumas unidades que se valiam dos mesmos princípios desenvolvidos por Nyce eram vistas em funcionamento.<sup>94</sup>

Em 1866 caixas refrigeradas com 200 quarts (medida americana: 1 quart equivale a  $\frac{1}{4}$  de galão) de cestas de morangos e 100 libras de gelo foram construídos. Isto tudo pesava cerca de 600 libras no total. Provaram que fruta podia ser transportada se a mantivesse resfriada. Isto foi elaborado por Parker Earle. Em 1868 Davis de Detroit propôs isolar carros para manusear carne e peixe, e em 1872 já haviam experiências bem sucedidas. Isto foi o começo da indústria de carros refrigerados, que estendeu-se de tal forma que em 1910 havia mais de 130,000 carros nos Estados Unidos, embora somente um pouco mais de 1000 na Europa. <sup>95</sup>

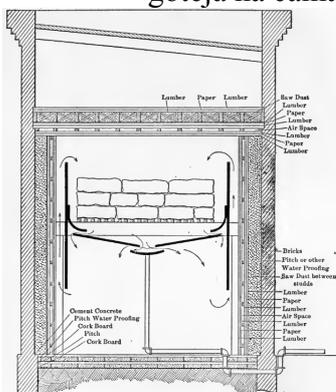
Figura 68 - Refrigerador construído pela McCray Company



Fonte: Arthur M. Greene, Jr. "The Elements of Refrigeration, a Text Book for Students, Engineers and Warehousemen" John Wiley & Sons, Inc., London, 1916, pg. 8-13.

O gelo é introduzido em um lado da caixa de gelo e o ar é circulado no sentido descendente para a parte mais baixa deste lado, e daí elevando-se para o lado de provisões do refrigerador. As paredes do refrigerador são feitas dos mais diversos materiais nas mais diversas espessuras constituindo nove camadas ao todo.

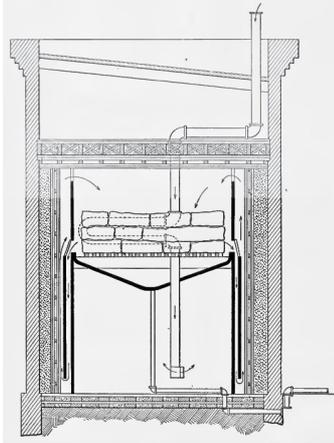
Figura 69 - Nos sistema Jackson de armazenagem a frio o ar frio precipita-se e torno do gelo e goteja na câmara fria



Fonte: Arthur M. Greene, Jr. "The Elements of Refrigeration, a Text Book for Students, Engineers and Warehousemen" John Wiley & Sons, Inc., London, 1916, pg. 8-13.

Ao que, depois de aquecido, ascende ao compartimento de gelo. O gelo é mantido sobre o piso plano e o gotejamento é coletado na bandeja apropriada.

Figura 70 - O arranjo do sistema Dexter



Fonte: Arthur M. Greene, Jr. "The Elements of Refrigeration, a Text Book for Students, Engineers and Warehousemen" John Wiley & Sons, Inc., London, 1916, pg. 8-13.

Na figura 70 o arranjo do sistema Dexter no qual o ar da câmara de gelo não entra na câmara de estocagem. A água do gelo derretido pode ser coletada através de tubos na câmara de estocagem de frios. Esta água é fria e removerá algum calor ao ser aquecida à temperatura do compartimento de estocagem.

Foi neste cenário que, a partir de sua concepção por volta de 1803, por quase 150 anos, reinou absoluto a refrigeração doméstica que fazia uso do gelo natural ou artificial (este produzido em escala industrial) então conhecida como caixa de gelo doméstica. O modelo agora disponível com os avanços devidos às ideias originais de Schooley era concebido inicialmente em madeira convenientemente isolada. Com o gelo disponibilizado no topo da caixa, a convecção natural empenhava-se do processo de troca de calor. A água formada com o derretimento do gelo era constantemente gotejada para uma bacia coletora e necessariamente um serviço de suprimento regular de gelo deveria ser mantido. Com isto surgiu uma nova função de mercado, o geleiro, que, com sua carroça isolada, percorria os bairros, e entregava nas residências dos consumidores, periodicamente, as barras de gelo. Em muitas residências o sistema era integrado de tal forma que o cúbiculo externo, receptáculo da barra de gelo, era interligado à caixa de gelo doméstica, formando a parte fundamental de sua estrutura.

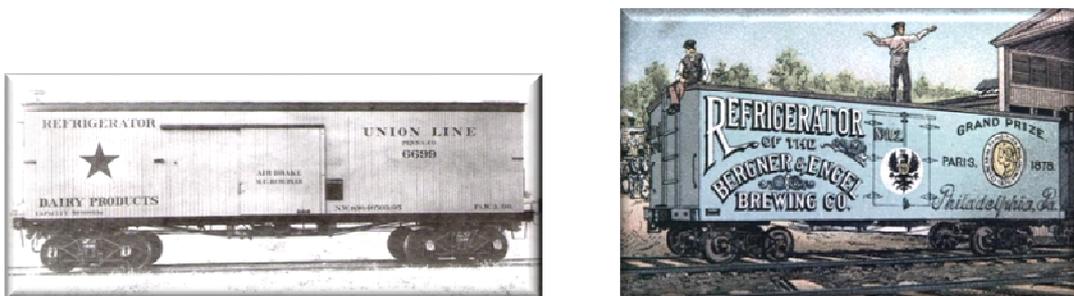
Figura 71 – A entrega periódica de gelo pelo geleiro



O sistema era integrado de tal forma que o receptáculo da barra de gelo era interligado à caixa de gelo doméstica. Fonte: Documentário da BBC, baseado no livro “Absolute Zero and The Conquest of Cold”, de Tom Schachtman, produzido e dirigido por David Dugan, 2007.

Havia um impedimento natural ao limite inferior de temperatura alcançado no interior da caixa, além do inconveniente do abastecimento regular das barras de gelo. Observou-se ainda um declínio na capacidade de produção de gelo natural dos EUA, em decorrência dos invernos mais quentes ano após ano. Conseqüentemente, a partir dos anos 1880 desencadeou-se uma corrida sem precedentes em busca de tecnologias que pudessem atender especificamente as necessidades de refrigeração doméstica.

Figura 72 - Caminhões com carrocerias em forma de caixas de madeira como o Union Line #6699



Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/Union\\_Refrigerator\\_Transit\\_Line](http://en.wikipedia.org/wiki/Union_Refrigerator_Transit_Line), último acesso em 01/09/2014.

Construído em 1895, e o Refrigerator da Bergner & Engel Brewing Co. eram utilizados para transportar produtos diário como leite, queijo, ovos e cerveja.

A função doméstica essencial do refrigerador era restrita ao mero resfriamento de água. Os efeitos nocivos do congelamento eram ainda associados com a geada. E foi em

decorrência de uma experiência involuntária com o frio que mais uma vez um espírito inventivo do homem se elevou ao encontro das necessidades do bem-estar e conforto humano. Em 1912, Clarence Birdseye, um obstinado cientista e explorador, viu-se envolto de uma tormenta de frio de 40 graus negativos, em mais uma de suas odisséias científicas, em Labrador, que lhe obrigou a providenciar sua própria subsistência, valendo-se das técnicas de pesca no gelo herdada dos Inuit. Valeu-se também de seu estigma científico para perceber que, após um rápido congelamento dos peixes capturados, devido ao contato com o ar extremamente frio, os mesmos preservavam sua qualidade e sabor, quando sujeitos ao processo de cozimento.

Esta rápida e insólita aventura lhe renderam inúmeras experiências domésticas em busca do por que desta diferença abismal entre o sabor de um alimento cozido que tenha sido submetido a um congelamento usual e o submetido a um rápido processo de congelamento. Descobriu, após análise cuidadosa, que a resposta viria da disposição celular diferenciada observada em ambos os processos de congelamento: No congelamento lento, as células eram distorcidas e rompiam devido à formação de grandes cristais de gelo. Ao se descongelar o alimento, o tecido colapsava alterando de forma significativa os sabores e eliminando a grande maioria dos nutrientes. Diferentemente do processo de congelamento lento, onde a rápida passagem por uma zona de congelamento permitia apenas a formação de pequenos cristais, mantendo com isto as características celulares originais do alimento e consequentemente preservando o sabor e qualidade alimentar dos nutrientes.

Os princípios que conduziam estas formações diferenciadas haviam sido compreendidos, isto é, estavam ligadas o maior ou menor tempo de passagem por uma zona de congelamento. Porém decorreram pelo menos 10 anos até que Clarence Birdseye pudesse finalmente ter aperfeiçoado uma técnica de congelamento rápido que se assemelhasse ao processo natural, tal qual houvera vivido em Labrador.

Goucester, em Massachussets, EUA, foi agraciada com a primeira unidade de congelamento rápido, em 1924. Dois anos depois, em 1926, Birdseye patenteou o método que já se expandira a outros tipos de carnes e vegetais.

Não haveria descrição mais acertada do que aquela que o próprio Birdseye descreveu para o uso e como benefício de sua invenção para o bem-estar humano. Ele, em sua patente americana nº 1,608,832, - Method in Preparing Foods and the Product Obtained Thereby -, de 1926<sup>96</sup> ensina:

Esta invenção se relaciona a um método melhorado de se preparar alimentos e desse modo os alimentos obtidos, e mais particularmente se relaciona à preparação de peixe e os derivados de peixe desta maneira obtidos.

Os objetivos da invenção são os de fornecer um método melhorado de preparação dos produtos alimentares os quais irão render o mesmo preparado manual sem danos, e mais consistentes em forma quando fatiados, cozidos ou tratados de outra forma depois de adquiridos e em preparação para comer; para permitir que porções e outras partes comestíveis do alimento sejam negociáveis bem como convenientes de se manipular, cozer e usar; para particularmente adaptar a invenção à recuperação e o uso de porções comestíveis ou que se não estragariam-se; para se obter uma massa homogênea; para se utilizar as propriedades inerentes do alimento no andamento do processo e assim evitar a inclusão de matérias estranhas; para fornecer um produto o qual resistirá à desintegração ainda mais categórica do que os filés de peixe normais enquanto se estiver cozendo; para evitar a necessidade de salgamento acetuado no peixe quando se estiver preparando o produto; para se evitar a necessidade de se prender, encaixar ou outro meio artificial que se utilize para manter a forma do produto comestível; para assegurar a simplicidade e o baixo custo de construção e processo de manufatura; e para se obter outras vantagens e resultados que podem ser extraídos na seguinte descrição. . .

Os refrigeradores domésticos com produção em escala industrial conforme observado nos EUA não encontraram aceitação imediata em outros países. Na Europa dos anos de 1930 era restrito às famílias mais abastardas. Em termos de pesquisa e desenvolvimento científico nesta área, somente a Suécia mostrou uma técnica muito avançada de refrigeração que se tornou referência mundial nos anos seguintes: Os princípios da absorção conforme propostos por Planten e Munters foram utilizados em equipamentos de refrigeração doméstica pela Electrolux Company em 1931. O primeiro refrigerador mecânico de uso doméstico somente foi fabricado no Japão no ano de 1924. Um sistema de refrigeração doméstica que utilizava um duplo controle de temperatura (para o congelador e para a geladeira, propriamente) foi introduzido em 1939.

Baltzar von Platen e Carl Munters da Suécia em 1922, dois jovens estudantes do Royal Institute of Technology em Estocolmo, Suécia inventaram o método de refrigeração por absorção cujos princípios foram implementados com enorme sucesso comercial pela Electrolux. Estas unidades domésticas normalmente requeriam a instalação das partes mecânicas, motor e compressor, na base ou em uma sala adjacente enquanto a caixa fria propriamente dita era localizada na cozinha. Existiu um modelo de 1922 que consistia de uma caixa fria de madeira, um compressor resfriado a água, e uma bandeja de cubos de gelo e um compartimento de 0.25 m<sup>3</sup>, e custava \$714. (um Ford Model-T custava cerca de \$450 em 1922)

O apogeu da indústria de refrigeração somente foi observado após o término da Segunda Guerra Mundial. Nos dias atuais a refrigeração doméstica é um modelo indispensável de tecnologia, inclusive como parâmetro de referência à saúde humana. São utilizados compressores herméticos e um condensador a ar. Os refrigerantes não são agressivos ao meio ambiente e de baixíssima toxicidade. São utilizados principalmente o HFC-134a (hidro-fluor-carbono) e o iso-butano.

A indústria de refrigeração durante a última metade do século XIX e no limiar do século XX conseguiu evoluir consideravelmente em seus processos de fabricação de gelo artificial. As melhorias nos sistemas se acumulavam, e uma produção sistemática atendia principalmente os parques industriais de conservação de alimentos, cervejarias, etc. Entretanto, os adventos de produção não conseguiram adentrar nos lares. Faltava à indústria de refrigeração alcançar a parcela mais significativa de mercado que alavancaria os índices colossais de produção, conforme se mostrou mais tarde. O público consumidor era intransponível à ideia de consumo do gelo artificial muito devido à crença geral de que este seria prejudicial à saúde humana.

Figura 73 - Alheios às vantagens do gelo artificial



Fonte: Imagem de domínio público.

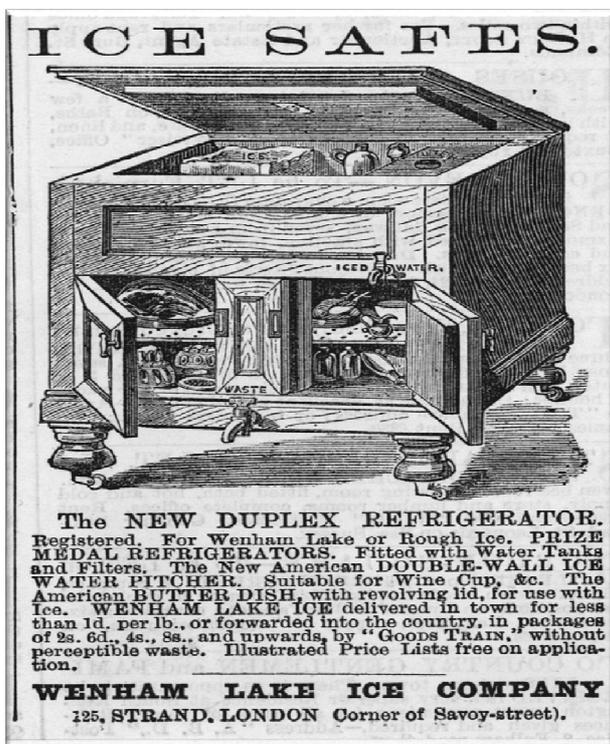
Comerciantes ainda colocavam à venda blocos de gelo natural pelas ruas de Paris em 1908.

Esta situação viria a tomar um rumo revés com um fenômeno da natureza que tanto deu sustentação à credibilidade do uso corrente do gelo natural. Em 1890 o inverno americano

foi escasso e em decorrência houve uma produção de gelo natural diminuta a ponto de não atender à demanda do mercado nacional e de exportação. Esta nova situação não só obrigou a população ao consumo do gelo artificial como também ainda tornou claras as vantagens deste, como o fato de ser produzido com água de pureza superior, produção ao longo de todo o ano conforme a demanda, entre outras vantagens. Isto era o que faltava para que um processo crescente de produção viesse em pouco tempo suplantar a indústria de produção do gelo natural.

Na virada do século era comum de se deparar com uma unidade de produção de gelo doméstico que envolvia compressores mecânicos acionados a vapor que, de tão volumosos, tinham de ser alojados em salas separadas. Esta característica foi suplantada a partir de 1913, quando Fred Wolf idealizou e produziu um refrigerador doméstico alimentado por eletricidade: o Domelre (Domestic Electric Refrigerator), inicialmente vendido ao custo estratosférico para a época de US\$ 900. A ideia basicamente era uma adaptação do congelador então existente, concebido com um motor elétrico montado na parte superior do mesmo.

Figura 74 - Um jornal do Reino Unido de 1874 faz divulgação de um refrigerador “Ice Safe”, que utilizava gelo fornecido por uma companhia que coletava gelo de lagos congelados



Fonte: Imagem de domínio público.

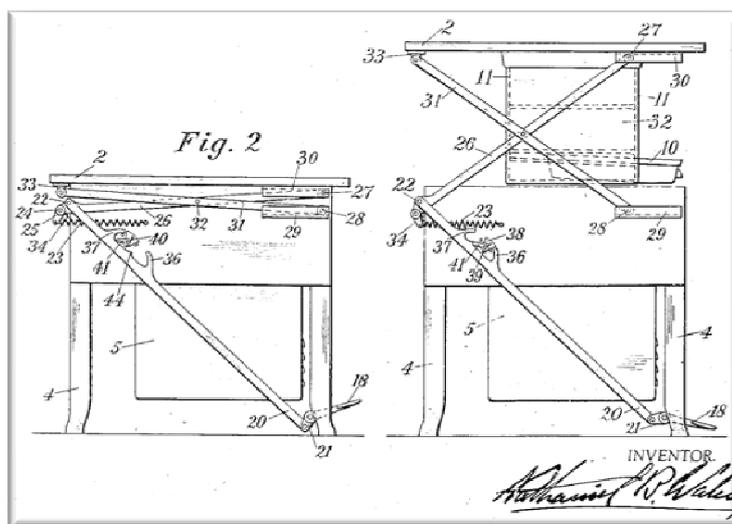
Em 1914, o engenheiro americano Nathaniel B. Wales surge com uma idéia de uma geladeira prática que se tornou, tempos depois, a base para a Kelvinator. Em sua patente americana 2.093.856 de 1937<sup>97</sup>, Wales descreve minuciosamente a proposta de sua unidade de refrigeração:

Esta invenção se refere a uma melhoria na forma geral de um refrigerador doméstico. Toda cozinha requer uma mesa de cozinha onde a comida é misturada e preparada. A cozinha convencional de hoje possui um refrigerador elétrico o qual está geralmente alguns passos distante de tal mesa. Minha invenção combina o essencial destas duas necessidades de cozinha e por combiná-los em uma forma prática de projeto comercial, não só economiza um espaço interno valioso na cozinha mas economiza o processo de cozimento nas etapas do e para o refrigerador na preparação de uma refeição.

Ao fazer este tipo diferente de geladeira objetivando conveniência e economia de espaço, eu tive outro objetivo posterior em mente, o problema da extração de cubos de gelo das bandejas de gelo, uma vez que, quando a geladeira é aberta levantando-se a tampa de mesa ou porta equivalente, os cubos de gelo são automaticamente liberados da bandeja e também de sua grelha e podem ser de lá retirados sem nenhum esforço ou atraso. Além disso, a bandeja não é complicada ou tem sua capacidade de resfriamento reduzida ao realizar esta extração automática. Minha invenção, conforme ilustrado, incorpora uma mesa de topo de cozinha convencional do tamanho, forma e altura padrão sob a qual pode ficar suspensa a geladeira e ocupando no geral um espaço agora não utilizado.

Para ilustrar tal proposta, o engenheiro americano Nathaniel B. Wales apresenta a figura 75:

Figura 75 – Patente de Nathaniel B. Wales



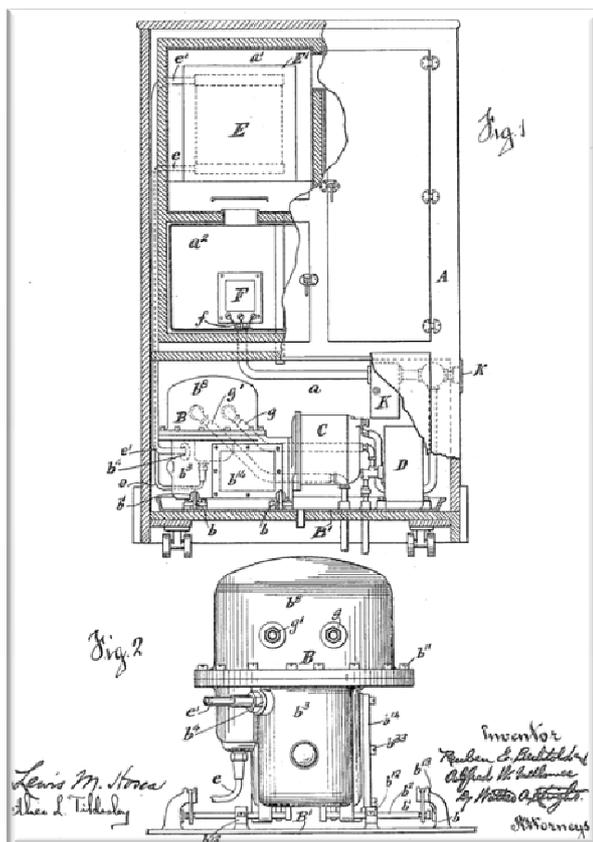
Fonte: Banco de Patentes Americana.

[...] Eu mostro um pequeno pedal adaptada a ser pressionado próximo à base da mesa e quando assim pressionado a mesa de topo prontamente surge em

um plano constantemente horizontal arrastando consigo todos os utensílios, etc., que talvez estejam em sua tampa, e neste movimento, abre o refrigerador de maneira que a cozinha possa pegar lá de tudo que for preciso e coloca-los de volta instantaneamente na tampa da mesa sem ter que ir e voltar ao refrigerador como é de costume agora, [...]

Em 1916 foi a vez de Reuben Bechtold e Alfred Mellows projetarem um modelo de refrigeração compacto e auto-suficiente em acessórios que consistia essencialmente de um compressor montado na base da cabine. O projeto foi concebido e comercializado pela Guardian Refrigerator Company que, embora tivesse sido contemplada com um projeto de visão mercadológica muito acima de sua época, não sou implementar a divulgação e vendas das unidades que, após dois anos, limitou-se à mera produção de 40 máquinas. Na descrição da patente americana de 1918 Mellows traça em breves linhas suas ideias de projeto:

Figura 76 – Patente de Reuben Bechtold e Alfred Mellows



Fonte: Banco de Patentes Americana.

### Aparelho de Refrigeração

Nosso aparelho é muito compacto e combina em um só corpo todas as peças essenciais de um sistema de compressão e condensação. O corpo é construído para conter um par de compressores a pistão, cilindros, eixos e conexões, um reservatório para o fluido refrigerante e lubrificante embaixo

das válvulas do compressor e outro reservatório para o refrigerante e lubrificante acima, um estojo para o refrigerante sobressalente e o condensador. A temperatura baixa é garantida pelo uso contínuo da mesma porção de refrigerante. O reservatório inferior recebe o refrigerante gasoso e o lubrificante, o compressor comprime o refrigerante e descarrega-o diretamente no reservatório superior onde o refrigerante gasoso comprimido é condensado pelo contato com as serpentinas do condensador resfriado a água, e assim condensado precipita-se, passa através do corpo do lubrificante em direção a um receptáculo na carcaça o qual age como um separador, e daí passa na forma líquida através de uma válvula para as serpentinas de expansão, onde vaporiza-se e absorve calor, e de lá é retornado para o lado de aspiração do compressor. Nenhuma tubulação ou conexões tubulares são utilizadas no interior da carcaça no direcionamento do refrigerante e lubrificante da câmara do compressor para a câmara do condensador.

William C. Durant, um dos executivos mais bem sucedidos na indústria automobilística, viu uma brecha neste mercado em ascensão e em 1918, secretamente, adquiriu a Guardian, rebatizando-a de Frigidaire. Os métodos de empreendimento na área automotiva lideradas pelo executivo foram amplamente empregados na nova atividade, colocando seu melhor quadro de engenheiros a trabalhar nas melhorias do empreendimento que em setembro de 1918 foi lançado no mercado. O próximo passo foi a aquisição da patente Domelre tendo, em seguida alcançado melhorias consideráveis a cada novo ciclo de produção. No encaixe da nova tecnologia, a Frigidaire introduziu Cabines de sorvete nos modelos de 1923, máquinas de refrigerante em 1924 e resfriadores de leite e bebedouros em 1927. Por volta de 1929 a Frigidaire já alcançava a estonteante marca de 1 milhão de geladeiras comercializadas. Sem dúvida um feito notável para aqueles anos e de relevância mercadológica admirável em qualquer atividade comercial.

Neste mercado outros gigantes como a Kelvinator e General Electric também plantaram raízes, acrescentando suas próprias melhorias com vista a alcançar o crescente e lucrativo mercado do frio. Em 1923 a Kelvinator, precursora na introdução de controles automático de temperatura, abocanhava cerca de 80 por cento da quota de mercado. A Frigidaire buscou, neste período, recuperar o mercado promovendo uma brusca redução nos preços de suas unidades - de US\$ 1.000 em 1920 para US\$ 500 em 1925. Ainda nesta mesma época, a Frigidaire introduziu uma unidade compacta auto-suficiente em seus principais acessórios. Foi também a época em que começaram a aparecer as cabines metálicas decoradas em porcelana e que por tantos anos prevaleceram como modelo de design dos refrigeradores domésticos. Foi também durante os anos de 1920 que o congelador para a fabricação de cubos de gelo passou a ter função auxiliar nos então modernos modelos de geladeira - Bandejas de cubo de gelo tomaram seu espaço interno.

A General Electric ascendeu à condição de líder no mercado por muitos anos graças ao seu modelo “Monitor-Top” de 1927, assim nomeado pelo fato de que a montagem do compressor no topo da unidade tornou a aparência semelhante à torre de um navio de guerra. O modelo com duplo controle de temperatura permitiu a montagem compartimentar de geladeira e congelador em uma única unidade. O compressor, pelo fato de emitir grandes quantidades de calor, fora disposto no topo da unidade e circundado com um anel decorativo. A GE conseguiu atingir a marca de vendas de 1 milhão de unidades.

O volume crescente de vendas ao longo das décadas de 1920 e 1930 refletiram-se como uma queda acentuada dos preços dos refrigeradores domésticos. Um preço médio de 600 dólares praticado em 1920, em 1940 foi a 155 dólares.

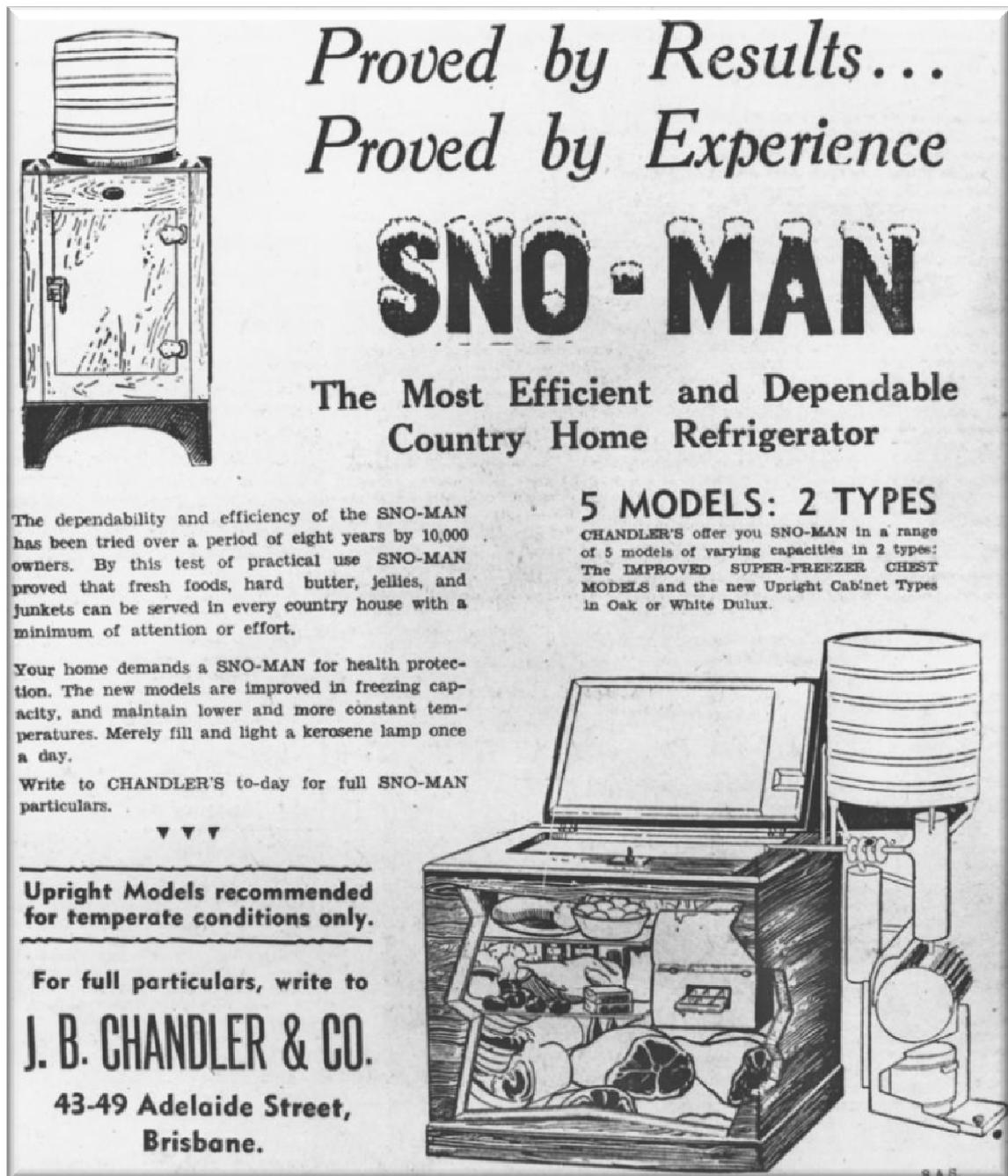
Fato comum às unidades de refrigeração da época, o uso de agentes refrigerantes como a amônia, o dióxido de enxofre, altamente corrosivo e que pode causar perda de visão, dor, queimaduras de pele e outras lesões ou o Methyl formate, altamente inflamável e também prejudicial aos olhos com alto índice de toxicidade quando inalados ou ingeridos.

Figura 77 - Geladeira “Monitor-Top” da General Electric, introduzida em 1927



Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/Refrigerator>, ultimo acesso em 01/09/2014.

Figura 78 - Propaganda de jornal para uma geladeira, 1936. A propaganda é para um modelo Sno-Man



*Proved by Results...  
Proved by Experience*

# SNO-MAN

**The Most Efficient and Dependable  
Country Home Refrigerator**

The dependability and efficiency of the SNO-MAN has been tried over a period of eight years by 10,000 owners. By this test of practical use SNO-MAN proved that fresh foods, hard butter, jellies, and junkets can be served in every country house with a minimum of attention or effort.

Your home demands a SNO-MAN for health protection. The new models are improved in freezing capacity, and maintain lower and more constant temperatures. Merely fill and light a kerosene lamp once a day.

Write to CHANDLER'S to-day for full SNO-MAN particulars.

▼ ▼ ▼

**Upright Models recommended  
for temperate conditions only.**

For full particulars, write to  
**J. B. CHANDLER & CO.**  
43-49 Adelaide Street,  
Brisbane.

**5 MODELS: 2 TYPES**  
CHANDLER'S offer you SNO-MAN in a range of 5 models of varying capacities in 2 types: The IMPROVED SUPER-FREEZER CHEST MODELS and the new Upright Cabinet Types in Oak or White Dulux.

S.A.S.

Fonte:

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:StateLibQld\\_2\\_109712\\_Newspaper\\_advertisement\\_for\\_a\\_refrigerator,\\_1936.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:StateLibQld_2_109712_Newspaper_advertisement_for_a_refrigerator,_1936.jpg)> último acesso em 01/09/2014.

Constatou-se inúmeros acidentes, inclusive fatais, ao longo dos anos de 1920 devidos a vazamentos destes produtos tóxicos. A natureza dos acidentes obrigou tres companhias americanas a desencadear um processo de pesquisa de meios refrigerantes mais seguros. Os engenheiros químicos da Frigidaire, liderados por Thomas Midgley, saíram à frente e

resolveram o problema com a descoberta dos clorofluorcarbonos, mais conhecidos pelo nome de registro de marca Freon. Midgley, por ocasião de uma demonstração à American Chemical Society em 1930 inalou uma porção do material e, em seguida, utilizou-o para apagar a chama de uma vela.

Figura 79 – Mostuário de cartazes originais, porta-gelo, caixas de gelo, e antigos refrigerados utilizados nos lares Americano



*Fonte:* The Ice Museum of North America.

Graças ao Professor James Loelock, em 1973 descobriu que os Clorofluorcarbonos são altamente prejudiciais à camada de ozônio. Surgiu a vez dos hidrofluorcarbonos após pesquisas mundial em busca de um substituto do altamente eficiente Freon. Este foi proibido em vários locais do mundo, o que veio a contribuir enormemente com a qualidade e segurança da refrigeração se comparada àquela que embora tivesse os aspectos de segurança pessoal e poder de absorção de calor, seu maior triunfo de natureza comercial, produziu danos muito provavelmente irreversíveis em um dos principais meios de sustentáculo da vida na terra: a camada de ozônio.

Figura 80 - Refrigerador doméstico produzido pelas indústrias de Linde nos anos de 1950



Fonte: 125 Years of Linde - A Chronicle Publisher Linde AG, Wiesbaden-Germany. 2004.

“Deep freeze”, este foi o termo popular nos EUA em referência aos congeladores adaptados internamente às geladeiras, nos anos de 1940. Somente após a Segunda Guerra Mundial é que estes congeladores passaram a ser produzidos em massa para uso doméstico. Nos anos de 1950 e 1960 foi introduzido o degelo automático e também a máquina portátil de fazer gelo automática. Nos anos seguintes, 1970 e 1980, presenciou-se um avanço inimaginável nas técnicas de produção do frio, e a refrigeração doméstica seguiu na esteira, mesmo com o banimento dos tão eficientes refrigerantes à base de Freon.

Observa-se através destas passagens que mesmos antes das proposições de Carnot e Joule o empenho inventivo do homem já estabelecia os meios práticos para obtenção do frio artificial. A evolução histórica destes acontecimentos é formada por desafios que são as bases de uma nova atividade industrial que viria revolucionar os meios de subsistência e conforto humano, como os que já citados nas linhas introdutórias deste estudo.

Figura 81 – O gelo é utilizado para refrescar-se no calor do verão



Fonte: Documentário da BBC, baseado no livro “Absolute Zero and The Conquest of Cold”, de Tom Schachtman, produzido e dirigido por David Dugan, 2007.

O comércio de gelo natural de Frederic Tudor e outros empreendedores da atividade se via ameaçado pela produção crescente de gelo artificialmente produzido. Via-se por todos os cantos dos EUA uma demanda nunca antes constatada pelo gelo com o propósito de conservação de alimentos, matadouros, cervejarias, etc. O abate de animais passou a ocorrer em linhas de produção em Chicago e o transporte em carrocerias de veículos refrigeradas tinham os vagões frigorificados de trem como destino dos produtos empacotados sob novos critérios de conservação. De Nova Iorque a Los Angeles, a outrora inimaginável presença de carnes frescas oriundas dos mais distantes locais de produção animal, agora era presença nobre em cardápios de restaurantes por toda América. Frutas e vegetais agora constituíam uma base mais diversificada da dieta urbano que observou melhora considerável sob todos os aspectos da cadeia alimentar da população urbana, tornando os cidadãos mais bem alimentados do mundo. Todo esse novo prazer da degustação moderna era mantido sob condições de higiene e conservação mais rigoroso com as entregas semanais pelos vendedores de gelo que supririam a demanda dos lares das mais diversas camadas sociais.

Figura 82 - Propaganda da Bell-Coleman Mechanical Refrigeration Company, por volta de 1890



Fonte: Imagem de domínio público.

Os navios refrigerados possibilitam que carnes frescas produzidas na América e em qualquer lugar sejam transportado por todo o mundo.

Os hábitos cotidiano das donas de casa foram completamente alterados. Agora, a refrigeração promovia uma tremenda diferença na vida das pessoas, sobre tudo na dieta e na variedade de alimentos. A frequência de visitas às lojas, outrora diária, passaram a ser semanal, com disponibilidade de uma variedade de alimentos nunca antes imaginado. De todas as partes do mundo podia se ver disponível alimentos transportados sob condições de conservação adequados e mantidos frescos sob os cuidados e necessidades da própria dona de casa.

Enfim, o homem do gelo com suas atividades que até bem recente ajudaram a desenvolver uma “era do gelo” comercial de fervor histórico, sucumbia à moderna tecnologia das geladeiras elétricas adquiridas por cada vez maior número de famílias. Os princípios das

antigas máquinas de fabricar gelo agora foram compactadas para as pequenas geladeiras domésticas: o calor dos alimentos no interior dos alimentos é extraído pela evaporação do refrigerante que é rejeitado pela parte traseira do aparelho. As primeiras geladeiras usavam condensadores a água que logo foram substituídos pelos condensadores resfriados a ar. O ciclo intermitente de compressão, evaporação e condensação é conduzido pela bomba elétrica. Foi assim que a geladeira ganhou sua importância.

Na esteira da refrigeração doméstica, as empresas de energia elétrica viram a demanda contínua de sua energia, agora dia e noite, serem alargadas para o uso no campo com a possibilidade de todos terem seu próprio gerador. Geladeiras e Freezers passaram a ser um novo ícone da vida moderna, mas havia uma transformação menos visível do frio que ocorria em paralelo, algo que viria modificar radicalmente o contexto social do modo de convivência e dos hábitos dos cidadãos: o resfriamento do próprio ar.

## **6.1 Ar condicionado**

Haviam passados três séculos desde que o alquimista, mágico e acesor Cornelius Jacobszoon Drebel aventurou-se em desafiar as forças temerárias do frio, numa tentativa de abalar o Rei James I em Westminster. Na alvorada do século XX, outro intrépido pesquisador, Willis Carrier, viria a projetar um sistema que abalaria o mundo de forma inimaginável. O ar condicionado rompia o século como o acessório de conforto que provavelmente mais profundamente se entremeou aos hábitos dos cidadãos dos centros urbanos de que se tem conhecimento.

### 6.1.1 Os antecedentes

Um dos registros escritos mais antigos, a Bíblia Sabrada, menciona “A frieza da neve no calor da colheita...”<sup>99</sup> Existem outros contos esporádicos de povos antigos usando o gelo e a neve para resfriamento. Por exemplo, O imperador Romano Varius Avitus ordenou que a montanha de neve fosse trazida e transformada em montes em seu jardim para que as brisas natural se esfriassem.<sup>100</sup> Outros exemplos, a maioria sem registros, são espalhados ao longo dos séculos. No entanto, aparentemente não muito foi feito no campo de resfriamento de conforto até os anos de 1800.

Logo depois da virada do século 18, Frederic Tudor de Boston enviou uma carga de gelo a bordo do navio “Favorite” para Martinique nas Índias Ocidentais para aliviar a

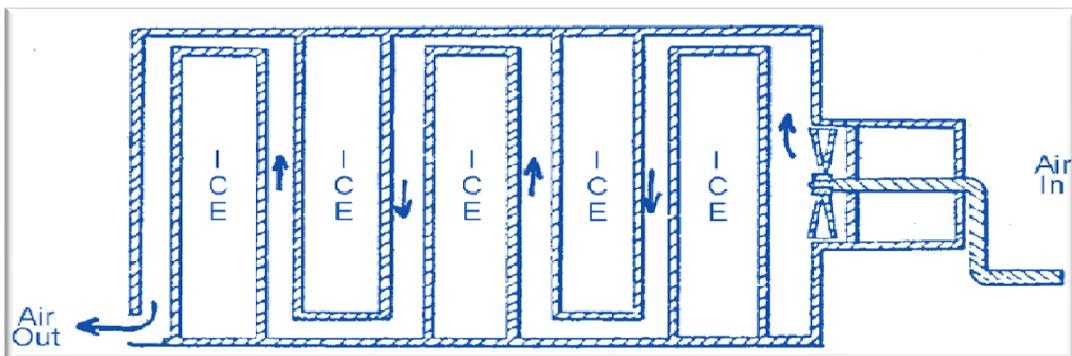
epidemia de febre amarela que se alastrava por lá. Curiosamente, o começo da indústria comercial de gelo nos EUA pode ser atribuída a este carregamento. Tudor o primeiro. O carregamento que, tecnicamente, foi usado para resfriamento de conforto foi o começo de um comércio de gelo nos EUA. Naquela época, médicos já estavam usando gelo em seus esforços para reduzir a febre. Em 1901 foi reportado que já em 1825 médicos nas grandes cidades Americanas já mantinham estoques de gelo para uso médico. <sup>101</sup>

Os exemplos dos EUA acima mencionados para uso do gelo para resfriamento não são aqueles que os engenheiros de refrigeração imaginam. Os engenheiros pensão em sistemas completos, mas exemplos de sistemas de ventilação resfriada e equipamentos não se materializaram até a metade do século 18. Sua frequência aumentou à medida que o século 20 se aproximava.

A mais antiga proposta de resfriamento de conforto nos EUA usando o gelo foi possivelmente aquela de George Kight de Cincinnati que, em 1864, propôs um sistema de resfriamento de um hospital na *Scientific American*. Consistia de um sistema de ventilação com um lavador de ar para limpar e resfriar o ar. A água para o lavador corria através de uma serpentina imersa em gelo derretido. O ar externo era forçado por um ventilador através de jatos de água fria para serem distribuídos pelo teto através de saídas perfuradas. Knight observou que “o dispositivo pretendia ser utilizado especialmente no calor do verão...” <sup>102</sup>

Nathaniel Shaler de Newport, Kentucky (ao longo do Rio Ohio próximo a Cincinnati) que foi agraciado com a Patente Americana 47,991 em 1865 por um aparelho de resfriamento de ar melhorado pensou em outro sistema de resfriamento. A patente descreve a troca de calor feita com utensílios que continham gelo dispostos numa passagem tortuosa, através da qual o ar da sala é soprado para se resfriar. Shaler também diz que um dissecante pode ser colocado na corrente de ar para secá-lo.

Figura 83 - Resfriador para ventilação de ar patenteado por Shaler, 1865



Fonte: Banco de Patentes Americana.

Diversos outros métodos de controle de refrigeração de ambiente foram postos em execução ao longo dos anos 1800. David Reid aventurou-se em modificar o sistema de calefação e ventilação do Parlamento Britânico em 1836, ao colocar em contato o ar com jatos de água fria. Charles Smyth incurvou-se em experiências com o resfriamento de ciclos de ar entre 1846 e 1856. A Eastman Kodak, em 1891, instalou o primeiro sistema de condicionamento de ar em Rochester, Nova Iorque, objetivando um método de controle de armazenamento de filmes fotográficos.

Em Frankfurt, 1894, o primeiro sistema de condicionamento de ar doméstico foi instalado em uma residência. Seguiu-se com a instalação de um sistema de ar condicionado em uma biblioteca particular em St. Louis, EUA em 1895. Em 1899 o engenheiro Alfred Wolff projetou uma série de sistemas de refrigeração, incluindo instalações no New York Stock Exchange, o Hanover National Bank e o Museu de Arte Metropolitana de Nova York. Diversas fábricas têxteis e companhias de tabaco, por volta de 1900, já haviam instalado suas unidades de ar condicionado. E em 1901 foi a vez de um cassino em Monte Carlo. A Feira Mundial de St. Louis em 1904 mostrou pela primeira vez um sistema de ar condicionado para um público em massa, no Edifício Missouri State.

Em 1904 um sistema de ar condicionado foi instalado em uma telefônica em Hamburgo. Houveram esforços para instalações de ar condicionado em estações de passageiros. Após 1917 dezenas de salas de cinema instalaram refrigeração de conforto, resultado do sucesso obtido em instalações feitas por Fred Wittenmeier e L. Logan Lewis, em cujos ambientes de lazer viam-se letreiros que proclamavam “É 20 Graus Mais Frio no Interior.” Os engenheiros da Frigidaire apresentaram um sistema de ar condicionado doméstico para uso em quarto em 1929. Seguiu-se que outras empresas de grande porte como a Kelvinator, General Electric e a ainda poderosa York se tornaram pioneiras no condicionamento de ar total para residências.

Figura 84 - Em destaque, nos centros de lazer como cinemas e teatros o painel “Resfriado por Refrigeração”.



Fonte: Documentário da BBC, baseado no livro “Absolute Zero and The Conquest of Cold”, de Tom Schachtman, produzido e dirigido por David Dugan, 2007.

#### 6.1.2 Willis Carrier Reinventa o Ar Condicionado

O primeiro ano do novo século também começou a carreira para um engenheiro que combinaria criatividade, ciência e senso de negócio como nenhum outro: Willis Haviland Carrier.

O mérito de Carrier não se deve à descoberta de um sistema inovador, já que o problema remanescente para o desenvolvimento do ar condicionado não seria o controle de temperatura por meios mecânicos, que já tinham suas bases consolidadas a partir dos princípios trabalhados nos últimos anos por toda esta gama de pesquisadores que se dedicaram ao aperfeiçoamento dos sistemas de refrigeração. O desafio da refrigeração de conforto com qualidade foi rompido a partir das idéias de Willis Haviland Carrier em seu método de compreensão e controle da umidade.

Era o ano de 1902, quando o recém graduado da Escola de Engenharia da Universidade de Cornell, Willis Haviland Carrier, era um trabalhador da Buffalo Forge Company que instalava sistemas aquecimento e refrigeração industrial. De acordo com Carrier, numa noite de nevoeiro, enquanto aguardava em uma plataforma de trem em Pittsburgh, teve uma visão súbita para um problema com o qual houvera se defrontado: a complexa relação entre a temperatura do ar, umidade e ponto de orvalho. Isto poderia ser a solução para o problema dos efeitos da umidade do ar na produção industrial.

Figura 85 - Willis Haviland Carrier (1876-1950)



Fonte: Imagem de domínio público.

Observando a formação dos nevoeiros que compunham a paisagem naquela noite, Carrier percebeu que o ar frio não possuía tanta umidade quanto o ar quente e associou a condensação dos vapores de água às baixas temperaturas. Talvez seja esse o caminho para reduzir a umidade, pensou Carrier, resfriar o ar e condensar a umidade. Assim, Carrier percebeu que o ar poderia se tornar seco, saturando-o com água gelada para induzir a condensação.

A concepção do condicionamento de ar visa, num primeiro momento, a redução da umidade. A sensação térmica de conforto com a redução de temperatura não foi o objetivo do invento de Carrier, a redução de temperatura foi um meio idealizado para o condicionamento do ar a um nível de umidade que atendesse às necessidades de um ambiente de produção industrial.

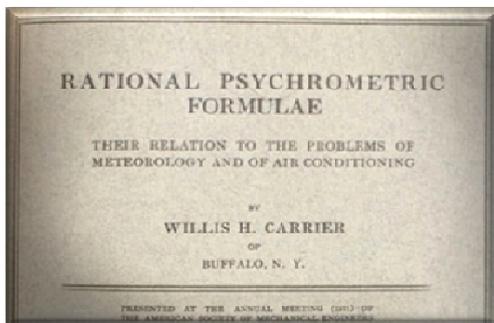
Na prática, Carrier fez atravessar o ar através da água borrifada, condensando assim a umidade nas gotas que se formaram para liberar ar seco na parte posterior de seu aparelho.

Com este método, Carrier tinha assim a “carta na manga” para a solução de um problema que lhe foi confiado. A empresa que publicava a revista “Judge”, uma revista em cores muito popular na época, estava com um problema de edição gravíssimo, naquele mês de julho do ano de 1902. Diversos problemas de impressão em cores ocorriam devido ao alto teor de umidade nesta época do ano. A tinta simplesmente não aderiu ao papel e o resultado catastrófico na qualidade final de impressão impedia a publicação da edição daquele mês. O

poder de resfriamento de 108 mil quilos de gelo por dia resolveu o problema da umidade e em poucos dias a edição estampava suas belas capas pela América.

Em 17 de maio de 1907 Carrier deu entrada em seu pedido de patente americana para um “Método de Umidificação do Ar e Controle da Umidade e do Ar”. O controle do ponto de orvalho permitiu o controle preciso da temperatura e da umidade necessária para os processos industriais sofisticados. As construções multibilionárias para a produção de microcircuitos, que são a espinha dorsal da indústria de computadores, ainda hoje se utilizam deste mesmo princípio de controle de temperatura e umidade em suas instalações.

Figura 86 - A Carta Magna



Fonte: Disponível em: <http://www.carrier.com/carrier/en/us/about/history/>

Em 1911 com sua “Rational Psychrometric Formulae” Willis Carrier trouxe a ciência para o que tinha sido até então sido projeto de erros e certos de sistemas de ar condicionado, o que tornou Carrier conhecido internacionalmente. A carta psicrométrica deve ser atualizada e reimpressa regularmente; servindo como uma ferramenta essencial a gerações de engenheiros e permanece a base para os projetos atuais.

Figura 87 - Régua deslizante



Fonte: Disponível em: <http://www.carrier.com/carrier/en/us/about/history/>.



O Modelo de Carrier conforme a patente americana nº 1,085,971 de 3 de fevereiro de 1914 “Method of Humidifying Air and Controlling the Humidity and Temperature Thereof.” A patente foi solicitada em 1907 e renovada em 1913.

A utilização do método de Carrier para o condicionamento de ar logo se espalhou por uma variedade de instalações industriais. O termo “ar-condicionado” ironicamente foi cunhado por Stuart Cramer tendo em vista uma aplicação uma aplicação oposta ao que propunha o invento de Carrier: Em 1906, Cramer deu entrada em um pedido de patente para um dispositivo que aumentava a umidade do ar em sua fábrica de tecidos, objetivando a redução da eletricidade estática, tornando as fibras têxteis mais fáceis de trabalhar.

“Litografia, fabricação de doces, pão, explosivos, filmes fotográficos, secagem e preparação de materiais higroscópicos delicados como macarrão e tabaco,” esta foi uma listagem que o próprio Carrier enumerou como possíveis de aplicação de seu método de condicionamento de ar. Outro ponto notável na percepção de Carrier foi quanto ao desempenho produtivo dos trabalhadores nestes ambientes climatizados, com taxas de absentismo significativamente mais baixos.

Em 1915 surge, por iniciativa de Carrier e vários sócios, a Carrier Engineering Corporation. Logo surge o compressor centrífugo como um sucesso comercial absoluto. Outras tantas melhorias significativas surgiram nos sistemas, fruto da dedicação implacável da Empresa na atividade exclusiva de condicionamento de ar. Este modelo inovador de compressor (compressor a pistão era, até então, o modelo utilizado) foi utilizado nos aparelhos de ar condicionado instalados na loja de departamentos de Detroit J. L. Judson em 1924, que foi a primeira loja de departamentos no mundo a ser equipada com um sistema de condicionamento de ar desta natureza. Logo vieram os escritórios e edifícios.

Obviamente que uma idéia no nível deste invento de Carrier prontamente foi explorado por grandes empresas que já se dedicavam à refrigeração industrial. Na mesma época em que a gigante Frigidaire estava introduzindo o freon, dedicou-se à exploração dos sistemas de ar condicionado.

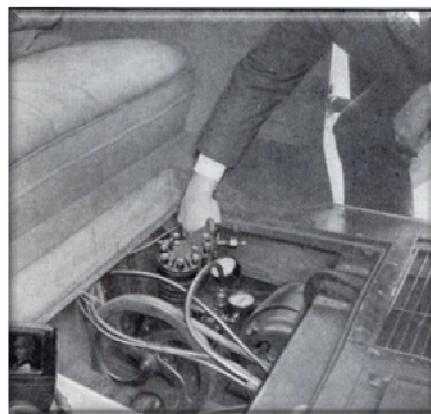
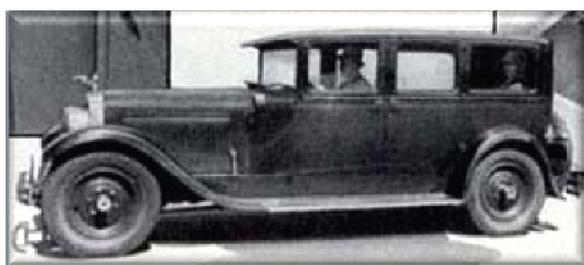
O grande problema inicial dos condicionadores de ar nas aplicações domésticas é que a produção era voltada para os ambientes de grandes dimensões como teatros, fábricas e similares. Com isto, os equipamentos volumosos não tiveram espaço imediato nos lares, até que em 1928 Carrier introduziu o primeiro condicionador de ar residencial prático: o “Weathermaker”. Os negócios volumosos com grandes clientes que a Carrier Engineering Corporation tinha em sua carteira de atividades, tornaram as atividades de pesquisa e produção da Empresas muito voltadas a este tipo de consumidor, deixando os projetos de

menor escala para aplicações residenciais como uma opção secundária de sua atividade. A concorrência aproveitou-se desta janela. A Frigidaire, pronta para utilizar de sua força de produção notória pelo bom desempenho na indústria automobilística e com a vasta experiência já adquirida nos projetos de refrigeração, em 1929 lançou o primeiro “resfriador de sala” de sucesso comercial.

Kelvinator, GE, e a própria Carrier fincaram definitivamente o pé neste novo filão. Como resultado desta competição vieram os sistemas de centrais domésticas. Uma revolução no modo de convivência aflorou-se: Os verões úmidos, ou secos e escaldantes, índices termométricos às alturas, condições climáticas adversas poderiam agora ser encaradas com o conforto do ar condicionado no lar e no ambiente de trabalho.

Em 1939 a Packard lançou o primeiro condicionador de ar de automóvel. De características no mínimo estranhas, sob o ponto de vista dos modernos sistemas de condicionamento de ar automotivo, mas funcional. O modelo não dispunha de um controle independente para desligamento. Havia necessidade que o motorista parasse o automóvel e desligasse o motor para em seguida abrir o capô e desconectar a correia de acionamento do compressor de ar.

Figura 89 - Com todas as janelas fechadas, e uma corrente de ar fresco, filtrado na temperatura certa entrando através de um duto especial



Fonte: <http://www.ellisac.com/throwback-thursdays-air-conditioning-in-cars/>.

O primeiro automóvel com ar-condicionado recentemente fez seu *debut* em um testes de sucesso em Nova Iorque” anunciava um jornal da época. Em baixo da tampa de assoalho no compartimento traseiro é colocado o compressor de refrigeração para esfriar o ar arrastado para o interior do carro. . .”

Em 1969, mais da metade dos novos carros vendidos já eram equipados com ar-condicionado. Algumas marcas expunham adesivos de janela para promover suas versões de

automóvel com ar-condicionado. Para veículos que não saiam de fábrica equipados com ar-condicionado, era muito popular a instalação por oficina normalmente com controles sob o painel frontal.<sup>103</sup>

Figura 90 - O primeiro veículo com ar condicionado implementado pela C&C Kelvinator Co. For John Hamman Jr. of Houston, Texas em 1930



Fonte: Anon. 1930. .Refrigerated automobile appears Electric Refrigeration News, Sept. 24.

Antes da Segunda Guerra Mundial, os sistemas de ar condicionado foram instalados quase que somente em instalações como cinemas e outras áreas de ocupação públicas. O único edifício a ter um sistema de ar condicionado projetado e instalado no momento de sua edificação foi a Companhia de Seguros Metropolitana de Nova Iorque. A demanda, no entanto, cresceu gradativamente vindo a ocupar os mais diversos ambientes de trabalho, principalmente em fábricas de têxteis e tabaco.

Na década de 1950 foram instalados ar condicionados portáteis sobre as janelas dos imóveis residenciais e escritórios de pequeno porte. Uma nova sensação de frescor invadia os lares e ambientes diversos.

Figura 91 - Ar condicionado portátil



Fonte: Documentário da BBC, baseado no livro “Absolute Zero and The Conquest of Cold”, de Tom Schachtman, produzido e dirigido por David Dugan, 2007.

A velha tradição de conversa na sacada entre vizinhos, o aglomerado de amigos na calçada, os hábitos campestre que ainda resistiram ao tempo e ao estilo de vida nas grandes cidades foram profundamente influenciados pela revolução provocada pelo ar condicionado. Este invento confinou os cidadãos aos sofás e mesa de sala, expostos ao frescor artificial da refrigeração de conforto.

É fato que as finalidades dos sistemas mecânicos e elétricos para grandes edifícios não sofreram profundas alterações ao longo deste último século, o que houve foi uma mudança na concepção de uso do espaço arquitetônico provocado pela introdução do ar condicionado. Não há necessidade de que cada espaço seja ocupado às margens das janelas ou de ter um meio que pudesse promover um mínimo de ventilação natural. Espaços enormes de cada piso dos edifícios agora podem ser aproveitados integralmente, inclusive com o luxo dos escritórios privados e individualizados, situados a distâncias de uma parede exterior que outrora eram inconcebíveis. Os efeitos destes benefícios que o ar condicionado promoveu não podem ser subestimados.

## 6.2 Liquefação dos gases

As pesquisas e emprego na área de química tiraram enorme proveito com a descoberta de métodos para produção de oxigênio, que era produzido exclusivamente em laboratórios, inicialmente apenas em pequenas quantidades. Não houve com isso uso disseminado em outros campos que pudessem justificar uma produção em larga escala, até que, novamente Carl von Linde entrasse em cena.

Os passos seguintes deste engenheiro de visão futurista iriam contribuir de forma ímpar com o suprimento de oxigênio e outros gases em atividades hospitalar, criogenia, combustível espacial e as modernas técnicas de separação dos elementos do ar liquefeito através da destilação fraccional.

O ano era 1892 quando Linde foi solicitado a uma atividade no mínimo desafiadora: a Cervejaria Guinness em Dublin propunha o desenvolvimento e instalação de uma unidade para liquefação de dióxido de carbono em níveis industriais. Isto significava o aperfeiçoamento de técnicas, que até então se restringiam a experiências laboratoriais.

As técnicas desenvolvidas com as ideias de Linde atravessaram o século para se tornar, nos dias atuais, na multibilionária indústria dos gases. Muito provavelmente que este nível de alcance não ocorrera nos planos da cervejaria, que buscava apenas um método marcante de melhoria na qualidade de produção de seu produto. O mesmo não se pode dizer de Linde. Certamente que o espírito inventivo do engenheiro antecipava-se como um caso pensado à revolução que sucedera em suas atividades de pesquisa, empresarial e pessoal.

O que ambos não sabiam, a cervejaria e o próprio Linde, é que paralelamente ao desenvolvimento das pesquisas de Linde havia um outro cidadão comum inglês, que não era engenheiro, e que ao final pleiteara a patente das mesmas concepções de Linde, com algumas semanas de antecedência à que foi atribuída a Linde. Seu nome era Hampson.

Nos Estados Unidos, também à mesma época surgiram alguns estudos voltados às técnicas de liquefação semelhantes aos empregados por Linde e Hampson, devidos a Tripler.<sup>104</sup>

Von Linde registrou sua patente alemã em 5 de junho de 1895.<sup>105</sup> Duas semanas antes, no entanto, em 23 de maio daquele mesmo ano, Hampson já havia feito seu registro de patente inglês. Os princípios utilizados por ambos foram os mesmo para construção de suas respectivas técnicas, que ao final se pareceram muito similares. Hoje o processo é denominado ciclo Hampson-Linde.

Claude, George em “Liquid Air Oxygen Nitrogen” <sup>106</sup> esclarece:

De fato a patente original de Hampson (Patente inglesa nº 10,165 de 23 de maio de 1895) antecede em cerca de 15 dias a aplicação de Linde (Patente alemã, 88,824, de 5 de Junho de 1895), mas em sua especificação provisória Hampson só faz alusão ao círculo normal de ar comprimido, isto é, sem dúvida que sua expansão em uma máquina. Foi somente na especificação final, depositada após o sucesso das experiências de Linde, que a idéia de expansão por um fluxo externo aparece.

Linde já detinha algum conhecimento no campo da liquefação do dióxido de carbono e o passo seguinte foi valer-se dos experimentos de Thompson e Joule, que em 1862 comprovaram uma acentuada queda de temperatura decorrente das variações de pressões que está sujeito o ar ao mover-se de um ponto de alta pressão para um de pressão inferior.

Com o advento das técnicas de compressão em pleno vigor, inclusive em decorrência das pesquisas anteriores de Carl von Linde no campo da refrigeração, variações de pressões acentuadas já eram facilmente obtidas sobre fluidos refrigerantes já comercialmente utilizados. Em 1894 Linde passou a pesquisar novas técnicas que pudessem levar à liquefação de gases cujas temperaturas de saturação são muito inferiores às até então observadas.

As técnicas anteriores para liquefação de gases submetendo-os a elevadíssimas pressões foram constatadas inúteis, uma após a outra. Somente em 1869 que as razões claras destes incidentes vieram a conhecimento: Thomas Andrew mostrou que todo e qualquer gás possui um ponto crítico de temperatura acima do qual é impossível obter-se liquefação com o aumento da pressão. Portanto, primeiramente deve-se baixar a temperatura do gás (que normalmente está duas vezes acima do ponto de ebulição na escala absoluta de temperatura) para que, com o aumento contínuo da pressão, obtenha-se por algum processo a liquefação do gás.

Os princípios fundamentais para o sucesso do empreendimento de Linde já estavam postos à bancada: elevadas pressões e reduzidas temperaturas. As técnicas de elevação de pressão já eram domínio absoluto dos engenheiros da Linde.

No artigo de Rowlinson, J. S. “James Joule, William Thomson and the concept of a perfect gas” <sup>107</sup>, há uma enumeração de técnicas diversas empregadas nos processos de liquefação dos gases:

O ar foi primeiro liquefeito em 1877 por Raoul Pictet Em Genebra e por Louis Cailletet na França. Pictet, que foi seguido por Wroblewski e Olszewski em Krakóvia (Polônia), usou uma cascata de líquidos, no qual o dióxido de enxofre (sulphur dioxide) foi utilizado para condensar o dióxido de carbono, este para condensar o etano, e o etano fervendo sob pressão reduzida para liquefazer o oxigênio do ar. Foi uma rota viável mais trabalhosa. Cailletet utilizou o ar comprimido pre-resfriado para fazer o trabalho de expelir parte do gás do cilindro e assim resfriando ainda mais o

gás deixado pra trás. Sob temperaturas iniciais suficientemente baixas e pressões iniciais alta o gás remanescente é parcialmente liquefeito. Nem o método de Pictet nem o de Cailletet fazem uso o efeito Joule-Thomson.

No artigo de Wisniak, Jaime<sup>108</sup> há uma série de importantes citações aos eventos de liquefação dos gases, notadamente ao pioneirismo de James Dewar (1842-1923):

No final de 1877 a comunidade científica soube que Louis Cailletet (1832-1913) na França e Raoul Pictet (1846 – 1929) em Gênova tinham independentemente e simultaneamente conseguido o que se parecia impossível: a liquefação do oxigênio. Ao ouvir estas notícias Dewar imediatamente obteve um aparelho de expansão de Cailletet, e prontamente o colocou em funcionamento e desenvolveu suas próprias aplicações. Simultaneamente, dois cientistas poloneses, Zygmunt von Wroblewski (1845-1888) e Karol Oszewski (1846-1915) também se propuseram a modificar o aparelho de Cailletet e dentro de dois meses conseguiram produzir uma quantidade razoável de oxigênio líquido. Para fazer isto eles resfriaram o fino tubo de parede vitrificada de Cailletet a  $-130^{\circ}\text{C}$  utilizando etileno bombeado ao invés de etileno na pressão atmosférica. A obtenção de uma quantidade significativa de oxigênio líquido por Wroblewski e Olszewski foi considerado uma grande conquista científica. Demoliu o conceito de um gás permanente e estabeleceu que o conceito de isoterma crítica desenvolvida por Thomas Andrews (1813-1885) para o dióxido de carbono era aplicável a todos os gases.

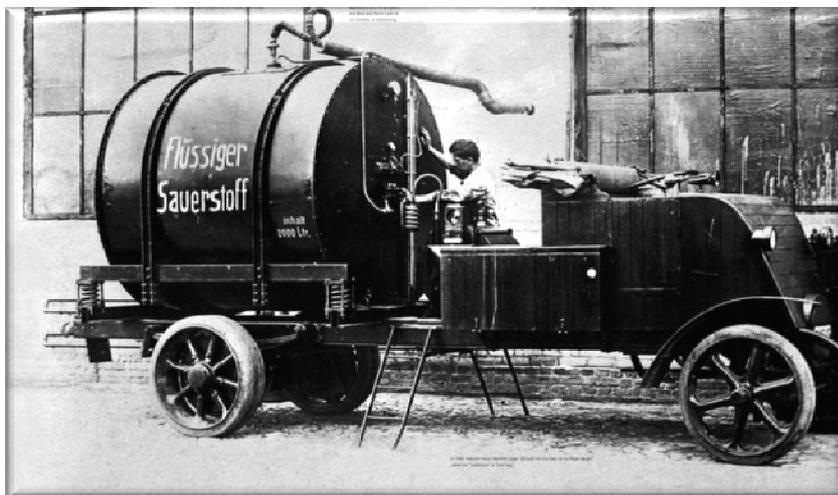
Em 1878 Dewar obteve sucesso na produção de oxigênio líquido na Inglaterra pela primeira vez. Ele realizou muitas experiências com o líquido e em 1891 mostrou que este era magnético. Foi a primeira pessoa a obter oxigênio sólido.

Ele constantemente melhorou seu equipamento até que fosse capaz de produzir rotineiramente grandes quantidades de oxigênio líquido e materiais líquidos, que seriam um grande fator de ajuda em suas novas conquistas. Seu próximo objetivo maior era tentar liquefazer o hidrogênio. A dificuldade do problema pode ser compreendida a partir do fato que a temperatura crítica do hidrogênio é 33.3 K de onde a temperatura mais baixa possível de se obter com o bombeamento de ar líquido (o meio de resfriamento disponível naquela época) está em torno de 70 K. As experiências de Dewar na liquefação do hidrogênio foram realizadas no Royal Institution em Londres. Em 10 de maio de 1898, depois de várias tentativas, que foram impedidas devido a presença de impurezas no ar e no equipamento, ele finalmente obteve sucesso em liquefazer o hidrogênio. De acordo com suas Anotações de Laboratório: “Logo depois do início a conexão do bocal, por sorte, se soltou e quase que imediatamente gotas do líquido começaram a cair... e logo acumulou-se 20 cc. O hidrogênio era um líquido claro transparente e de curva superficial definida ...” Quando Dewar imergiu um tubo selado contendo hélio no hidrogênio líquido ele “pode ver o líquido transformado. Este tudo não mostrava nada quando colocado no ar líquido.” Ele repetiu a experiência vários dias depois e achou que o hidrogênio líquido se parecia “mais brilhante do que o ar líquido”.

Dewar apresentou seus resultados à Royal Society em 12 de maio de 1898, e afirmou que ele fora capaz de liquefazer tanto o hidrogênio quando o hélio; somente em meados de Junho ele parou de mencionar a liquefação do hélio

depois que compreendeu que o que ele considerava como hélio condensado eram traços de impurezas.

Figura 92 - Em 1900, o inventor Paulus Heylandt construiu o primeiro carro tanque para oxigênio líquido chamado de “Laubfrosch” ou “Rã de Árvore”

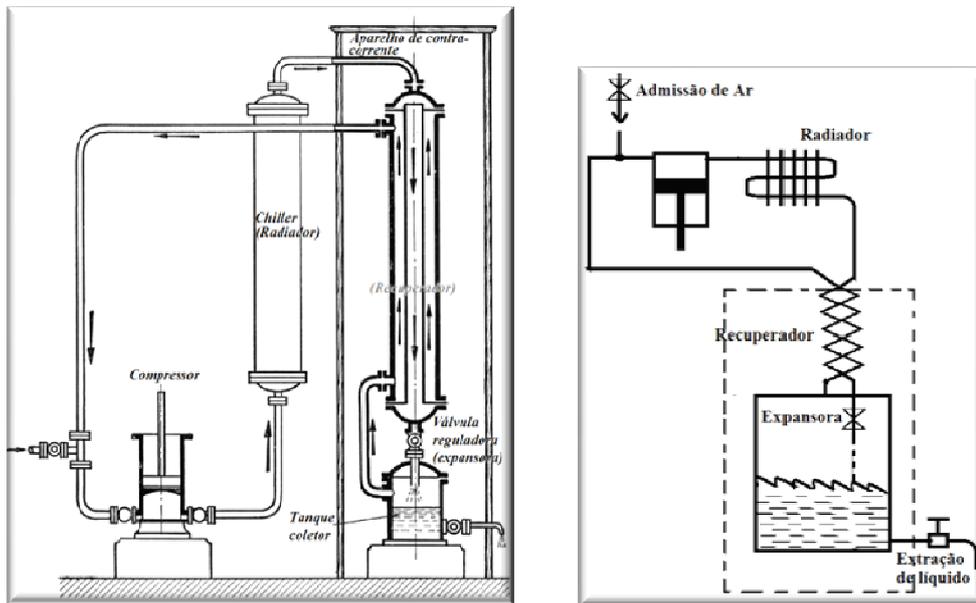


Fonte: 125 Years of Linde - A Chronicle Publisher Linde AG, Wiesbaden-Germany. 2004.

Linde se deu conta que não conseguiria atingir temperaturas extremamente baixas que pudessem liquefazer o ar (cerca de menos 190 graus) somente a partir da expansão da alta pressão para a baixa, seguindo os princípios do efeito Joule-Thomson. Alguma técnica complementar de resfriamento haveria de ser desenvolvida. Linde constatou (o que já houvera sido enunciado por Houle-Thomson) que à medida que o ar é comprimido, mas frio é gerado quando submetido à expansão. E mais, constatou que este efeito era exponencialmente incrementado, com o pré-resfriamento do ar e conforme o ar é comprimido em estágios anteriores.

Sucessivas etapas de resfriamento–expansão poderia ser a solução. A genialidade da invenção de Linde veio quando criou uma técnica de resfriamento à qual denominou de “contra-corrência”: o resfriamento a que linde buscava viria do próprio gás em expansão, numa espécie de ciclo regenerativo, onde um trocador de calor anteposto ao módulo de expansão seria submetido ao fluxo do próprio gás em expansão agindo como meio refrigerante, habilitando-o às sucessivas etapas de elevação de pressão, necessárias à liquefação do gás. O ar, uma vez arrefecido a partir da expansão e consequente resfriamento, é utilizado para arrefecer mais ar comprimido que, por sua vez, irá arrefecer o próximo volume de ar, e assim sucessivamente. A repetição contínua deste processo, numa espécie de círculo virtuoso, irá fazer descer a temperatura ainda mais a cada etapa, até que por volta de -190°C se liquefaz.

Figura 93 - Desenho original conforme patente Alemã e ilustração livre para o processo



Fonte: 125 Years of Linde - A Chronicle Publisher Linde AG, Wiesbaden-Germany. 2004.

À esquerda, desenho original conforme patente Alemã (com tradução livre para a devida compreensão) do modelo de Linde. À direita, ilustração livre para o processo.

O sistema é basicamente composto de um compressor, de onde o ar comprimido é descarregado em um pequeno radiador com o objetivo de remover o calor da compressão; O ar é então direcionado para um recuperador que é basicamente um tubo de cobre enrolado que funciona como um trocador de calor, de cujo extremo deriva uma válvula de expansão. O gás quando se expande através de uma válvula como esta, pelo menos a maioria dos gases, são ligeiramente resfriados, digamos que de 10 a 20 graus celsius de resfriamento. Isto normalmente não liquefaz o gás. Mas quando o gás assim resfriado retorna através do recuperador ele resfria o gás que se admite na expansora. Assim, basicamente o ar que se desloca ciclicamente através do recuperador fica de 10 a 20 graus mais frio em cada ciclo e isto eventualmente vai tornar o ar frio o suficiente ao ponto de se liquefazer.

O efeito Joule-Thomson aumenta com a queda de temperatura. Ao se diminuir a temperatura de entrada no resfriador de contra corrente, isto é, pré-resfriando-se o ar, consegue-se com isto aumentar a capacidade de refrigeração. Se, por exemplo, o ar for pré-resfriado a  $-50^{\circ}\text{C}$ , o efeito Joule-Thomson e a capacidade de refrigeração são cerca de duas vezes maior que uma temperatura de entrada de  $+15^{\circ}\text{C}$ .

Quando o nível de líquido no tanque se eleva, pode-se extrair ar líquido pela torneira do tanque. E à medida que o ar se liquefaz, ar extra é admitido para eventualmente substituir o ar que foi removido do sistema.

Ao estrangular-se o ar atmosférico, partindo da pressão inicial  $p_1$  e temperatura  $T_1$ , e permitindo que o ar após a restrição se despressurize, seu resfriamento  $\Delta T$  é estabelecido conforme a tabela seguinte.<sup>109</sup>

Tabela 01 – Resfriamento  $\Delta T$  em função pressão  $p$

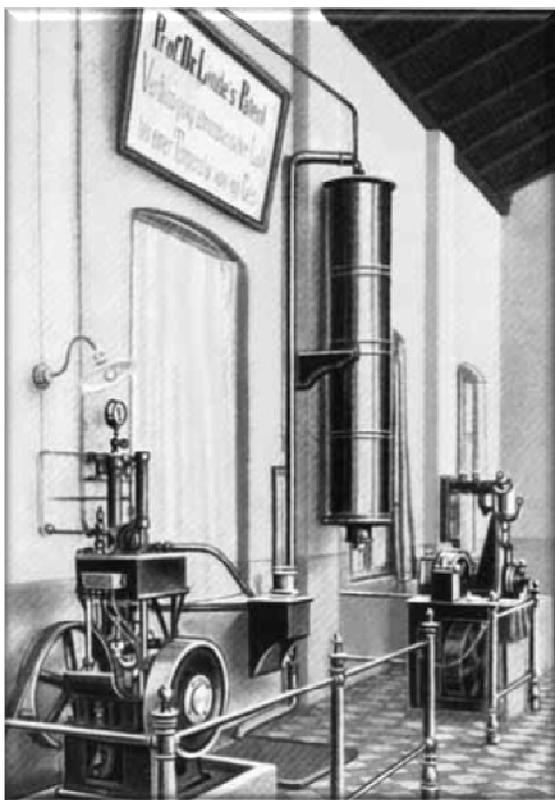
$T_1$	$t_1(^{\circ}\text{C})$	$\Delta T$ a $p_1=50 \text{ atm}$	$\Delta T$ a $p_1=100 \text{ atm}$	$\Delta T$ a $p_1=200$ atm
288	15	11.6°	22.5°	39.0°
253	-20	16.0°	30.8°	55.0°
223	-50	21.4°	42.7°	71.5°

Fonte: Linde Jubilee volume, 1929, disponível em [www.  
http://thewaythetruthandthelife.net/index/2\\_background/2-1\\_cosmological/physics/j12.htm](http://thewaythetruthandthelife.net/index/2_background/2-1_cosmological/physics/j12.htm).

Por outro lado, a conexão entre  $\Delta T$  e a temperatura de partida e a diferença de pressão antes e após a válvula de estrangulamento elucidou completamente a investigação, necessária para a liquefação de gás. É muito mais complicado do que a simples expressão da fórmula de Joule-Thomson.

Uma vez que as técnicas de compressão e pré-resfriamento já estavam bem definidas, Linde e seu filho Friedrich, um recém pós-graduado em física, tinham agora como principal desafio a elaboração de um aparelho de contra-corrência que atendesse à demanda que o projeto exigia. Um tubo de aço de 100 metros de comprimento, enrolado em espiral e adequadamente isolado com lã no interior de uma caixa de madeira, foi a solução inicial.

Figura 94 - Uma pequena planta de liquefação de Linde pôde ser vista na “Bavarian Industrial and Commercial Exhibition” em Nuremberg no ano de 1896



Fonte: 125 Years of Linde - A Chronicle Publisher Linde AG, Wiesbaden-Germany. 2004.

Em seus escritos de memória, “Aus meinem Leben und von meiner Arbeit,” Carl von Linde escreveu: “Feliz e excitado, assistimos à temperatura cair de acordo com o efeito descrito por Thoson e Joule, mesmo depois que tínhamos de longe superado os limites com o qual aqueles pesquisadores tinham trabalhado.”

Após três dias de expectativas, com variações intempestivas de temperatura que oscilava entre quedas durante o dia e razoáveis elevações durante a noite, o aparelho de 1300 kilogramas finalmente marcou história, para o que Linde declarou: “Com nuvens brilhando por todo lado, o belo líquido levemente azulado fluía para uma grande cuba metálica. A produção horária era de cerca de três litros. Pela primeira vez em tal escala o ar tinha sido liquefeito, e usando ferramentas de estonteante simplicidade comparada com o que tinha sido utilizado anteriormente.”

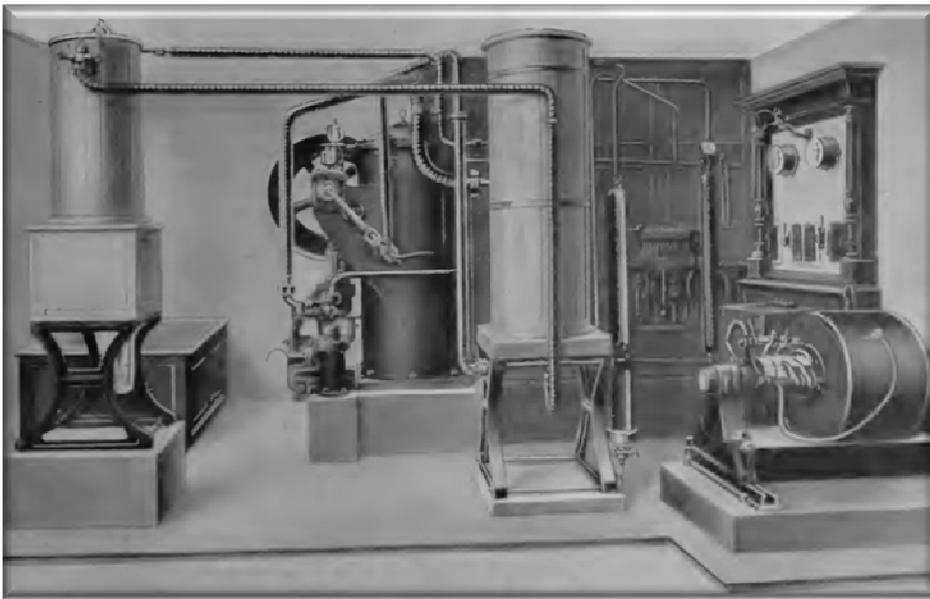
Uma versão melhorada do processo, com vistas à redução no tempo necessário à liquefação, veio com o aumento na pressão de condensação do ar para 200 atmosferas no compressor e uma nova versão do aparelho de contra corrente fabricado em tubos de cobre. Com isto conseguiu reduzir consideravelmente o tempo de produção de três dias iniciais, para

15 horas e depois para cerca de 1 hora. Melhorias posteriores tornaram a produção disponível para apenas 15 minutos.

Das 72 unidades inicialmente construídas, a grande maioria foi dedicado às instituições científicas, e algumas para demonstrações públicas.

Fato notório pôde ser constatado em 1898, durante a “Segunda Exibição de Máquinas e Motores Industriais,” em que uma pequena planta de produção no Pavilhão Diesel foi acionada por um motor Diesel de 10hp - era o apogeu da engenharia térmica: Os fundamentos introdutórios advindos das ideias de Carnot, Joule, Thomson e de outros importantes pesquisadores que se empenharam em teorizar os princípios termodinâmicos em suas diferentes aplicações, agora eram concebidos nas realizações de Linde e do não menos ilustre Rudolf Diesel que compartilhavam em uma única demonstração impressionante duas invenções de contribuição inestimável para a revolução industrial. Linde ainda arrebatou, na Feira Mundial de Paris de 1900, com sua planta de liquefação de ar, o mais cobiçado prêmio da exibição: o Grand Prix.

Figura 95 - Aparelho de liquefação do ar



Fonte: 125 Years of Linde - A Chronicle Publisher Linde AG, Wiesbaden-Germany. 2004.

Carl Von Linde ficou maravilhado quando na Feira Mundial de 1900 em Paris seu aparelho de liquefação do ar levou o cobiçado Grand Prix. A instalação foi adquirida posteriormente pelo College of France.

O projeto de Linde foi a base para a produção futura de gases como o nitrogênio, hidrogênio e outros gases inertes.

Figura 96 - Vista de uma instalação de oxigênio puro no sistema Linde pertencente à M. Bardo, de Paris. Capacidade de produção de 20 metros cúbicos por hora



Fonte: 125 Years of Linde - A Chronicle Publisher Linde AG, Wiesbaden-Germany. 2004.

Linde com sua visionária percepção para os negócios, não se contentou com a mera produção o dióxido de carbono na forma que até então disponibilizara em atendimento à solicitação da cervejaria. Uma forma comercial acessível de aplicação à sua invenção tomar-lhe-ia um pouco mais de tempo. O líquido obtido com o processo de liquefação proposto por Linde continha, na realidade, uma mistura de gases, e Linde percebeu que a separação destes gases em seus compostos, principalmente o nitrogênio e o oxigênio seria um negócio viável. Partindo do princípio de que os gases possuem diferentes pontos de ebulição – nitrogênio a menos 196 graus Celsius e Oxigênio a menos 183 graus Celsius, – Linde promoveu a separação entre ambos os gases na forma líquida com pequenos aumentos de temperatura. À medida que o ar líquido é aquecido seus compostos são “fracionados” e os diferentes constituintes podem assim ser isolados. O nitrogênio evaporando-se 13 graus mais cedo que o oxigênio, pôde assim ser razoavelmente dissociado do composto líquido. No entanto, devido a diferenças de temperatura tão próximas, não foi possível uma segregação absoluta e o máximo que Linde conseguiu foi uma mistura 50/50 de oxigênio e nitrogênio, que se tornou conhecido como o “ar de Linde”.

A mistura de gás rico em oxigênio encontrou um mercado promissor logo de imediato, principalmente na indústria química. Testes de explosão por ocasião da construção do Túnel

Suiço Simplon reforçaram as expectativas de comercialização do “ar de Linde” como explosivo. Nem a indústria química nem a engenharia de construção foram de encontro às expectativas comercial do produto. A demanda industrial por misturas de gás rico em oxigênio logo caiu.

O interesse comercial tomou outro rumo. A necessidade crescente de gases, principalmente oxigênio e nitrogênio, cada vez mais puros. Em 1904, uma importante invenção vinda da França fez crescer ainda mais a demanda por oxigênio puro. A invenção da tocha de oxiacetileno e com isto as mudanças nos métodos de fabricação a corte e solda autógena promoveram importantes avanços nas indústrias de construção naval e edificações civil. Von Linde partiu intensamente em busca de um método de separação do oxigênio puro com vistas a este novo paradigma de produção industrial que surgia com todo vigor na Europa do início do século.

Um método de retificação em amplo uso na indústria química consistia na separação do álcool e água. Uma massa fermentada era aquecida até que o álcool se evaporava. O calor retirado do vapor de álcool com o resfriamento promovido pela água, precipitava o álcool (retificação) que era então coletado.

Friedrich, seu filho e o professor de química Hempel foram convencidos por Linde a tentarem o método de retificação. Uma descrição mais acentuada das técnicas empregadas por Linde e sua equipe fogem ao escopo deste trabalho.

Valendo-se de um processo de retificação modificado, por volta de 1903, a equipe de Linde conseguiu a purificação do nitrogênio puro e em 1910 tinham desenvolvido um “equipamento de duas colunas,” que era capaz de fornecer oxigênio puro e nitrogênio puro simultaneamente com custos viáveis.

### 6.3 Usos avançados da retificação

Com o advento da lâmpada incandescente houve uma súbita e crescente demanda por gás inerte utilizado no preenchimento dos bulbos. A partir em 1906 1912 um processo modificado de separação deu início à produção do argônio. A partir de 1906 diversos peritos em cooperação com o Prof. Adolf Frank e Heinrich Caro deram início a um processo avançado de separação de gás de água em suas partes constituintes hidrogênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono, nitrogênio e metano.

Após testes extensivos de pesquisa em 1901 e 1910 a equipe de Höllriegelskreuth conseguiu produzir hidrogênio puro. Os membros da cooperativa de estudo juntaram-se para formar uma companhia e tirar vantagem do “processo Linde-Frank-Caro,” com direitos de vendas exclusivos para Linde. Uma planta pioneira com uma produção horária de 2.000 pés cúbicos de hidrogênio e 700 metros cúbicos de nitrogênio foi vendida para a Badische Anilin- und Sodafabrik (BASF) para a produção sintética de amônia. Outras plantas foram encomendadas por fábricas de margarina para uso em hidrogenização. A experiência com a separação de gás de água levou nos anos de 1920 à separação do gás de coque em baixas temperaturas em seus valiosos componentes de hidrogênio, nitrogênio, metano e etileno, no qual a retificação desempenhou um papel importantíssimo.

O conhecimento necessário para o complexo processo de separação do gás de coque finalmente surgiu do princípio para a produção a partir do gás e óleo natural – um pré-requisito importantíssimo para a produção de plásticos após a Segunda Guerra Mundial.

Primeiro, no entanto, tiveram que trabalhar no florescente mercado de oxigênio quase que com exclusividade. Ao final disso, a Companhia Linde se juntou em 1904 com seus dois potenciais competidores na Alemanha na produção química de oxigênio formando a *Vereinigte Sauerstoffwerke*

*GmbH (VSW)*. Esta companhia recebeu o direito exclusivo de vender o oxigênio produzido por suas companhias membro por um preço ajustado. Por volta de 1910, a Companhia Linde tinha gradualmente adquirido todas as cotas na VSW e as transformou na *Sauerstoffwerke GmbH* em Berlin.

Nem Hampson nem von Linde manusearam a liquefação do hidrogênio, o qual devido ao seu baixo ponto de ebulição e baixo ponto de inversão – a temperatura abaixo da qual deve ser resfriado para que o efeito Joule-Thomson funcione – provou ser uma árdua tarefa. Foi o químico escocês James Dewar quem finalmente obteve sucesso, em Maio de 1898, usando o processo de von Lide em um recipiente isolado a vácuo resfriado a nitrogênio que ele tinha

desenvolvido, conhecido como frasco Dewar, mais atualmente como Termo frascos. Os vasos de Dewar se tornaram inestimáveis para armazenar e transportar gases líquidos, e mantém-se em uso até os dias atuais.

Ao mesmo tempo Fritz Haber e outros tentavam extrair nitrogênio do ar, o que abriu caminho para os fertilizantes sintéticos e criou uma demanda pesada por nitrogênio. O nitrogênio utilizado como um gás de enchimento para lâmpadas incandescentes estendeu sua vida útil significativamente comparado com outras versões anteriores que utilizavam o vácuo, e os pesquisadores de biologia logo descobriram como instantaneamente congelar amostras utilizando o nitrogênio líquido.

A separação do ar – especialmente com o uso da máquina de ar de Hampson – também abriu caminho para a descoberta de vários gases nobres. Hampson entregava vários lotes de ar líquido que ele havia produzido com sua máquina na Brin's Oxygen Company para William Ramsay na University College London. A partir destes lotes Ramsay em 1898 isolou o gás nobre neon, kryptonio e xenônio. Por estas descobertas ele foi agraciado com o Premio Nobel de Química em 1904.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle do frio imputou sérias transformações à vida em sociedade. A expansão geográfica e demográfica dos grandes centros urbanos é sem dúvida em parte devido à possibilidade de que um grande número de pessoas podem viver longe dos grandes e distantes centros de produção. O ar condicionado promoveu o crescimento vertical das grandes cidades. No passado houve uma séria limitação à altura máxima permitida para construção dos edifícios, que eram limitados pelas correntes de ar que tornavam impraticáveis manterem-se as janelas abertas. Com as janelas fechadas era inconcebível, nos picos de calor dos verões escaldantes, qualquer modo alternativo de subsistência com o mínimo de conforto. O ar condicionado mudou este conceito e os arranha-céus surgiram aos milhares por todo o mundo em alturas antes nunca imagináveis. As tecnologias que surgiram não promoveram apenas uma forma de isolar a sociedade dos males ou desconforto do frio, mas pelo contrário, transformaram o frio num recurso produtivo, manipulável e eficaz.

O motor a vapor e os sistemas de refrigeração são dois símbolos do mundo do século XIX que alteraram dramaticamente a sociedade e a economia do planeta. O agente “maligno”, temido, e outrora proibitivo com que se referendou o “frio” foi convertido numa força da natureza com a qual se pode lucrar.

Os diversos agentes que se alternaram ao longo destes últimos séculos, as lições herdadas de nossos antepassados distantes com suas técnicas de produção natural do frio, os desbravadores que souberam promover o suficiente da refrigeração natural em prol do conforto humano, até que inevitavelmente o espírito inventivo do homem pudesse prover seus próprios meios de produção em larga escala, sem dúvida que marcarão seu tempo nesta etapa de nossa subsistência como seres humanos e desbravadores que somos.

São para todos estes nobres cientistas, alquimistas, experimentadores e inventores do acaso que dedico este trabalho de pesquisas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- SHACHTMAN, Tom. “Absolute zero and the conquest of cold” New York: Ed. A Mariner Book. 2000.
- 2- ADAMS, James Truslow. “*Provincial Society, 1690-1763*, vol. III of *A History of American Life*, ed. by Arthur M. Schlesinger e Dixon e Ryan Fox (New York, 1927), p. 9. Disponível em: <[http://oudl.osmania.ac.in/bitstream/handle/OU DL/2032/218490\\_The\\_Irrepressible\\_Conflict\\_1850\\_1865.pdf?sequence=2](http://oudl.osmania.ac.in/bitstream/handle/OU DL/2032/218490_The_Irrepressible_Conflict_1850_1865.pdf?sequence=2)> Acesso em: 01 set. 2014.
- 3- MOORE, T. “An Essay on the Most Eligible Construction of Ice-Houses. Also, A Description of the Newly Invented Machine Called the Refrigerator”. Baltimore: Printed by Bonsal & Niles (1803) p. 16-21. 1803.
- 4- LINDE AG. “125 Years of Linde - A Chronicle”. Wiesbaden-Germany: Linde AG Publisher,. 2004, Disponível em <<http://www.linde.se>> Acesso em: 01 set. 2014.
- 5- RAY, F. “Harper's Weekly”, New York: Harper & Brothers Publishers, 30 de Agosto de 1884. New York: Harper Brothers. 1884
- 6- NEUBERGER, A. “*The Technical Arts and Sciences of the Ancients*”, New York: The Macmillan Co. 1930. p. 122-123.
- 7- DHARAMPAL. “COLLECTED WRITINGS, Volume I, Indian Science and Technology in the Eighteenth Century”, Mapusa (Goa, India): Other India Press. 2000
- 8- WELLS, William Charles, “*An Essay on Dew and Several Appearances Connected With it*”, London: Longmans, Green, Reader and Dyer. 1866.
- 9- Documentário da BBC, baseado no livro “Absolute Zero and The Conquest of Cold”, de Tom Schachtman, produzido e dirigido por David Dugan, 2007.
- 10- SHACHTMAN, Tom “Absolute zero and the conquest of cold”. New York: Ed. A Mariner Book. 2000.
- 11- “Third original Fahrenheit thermometer surfaces”. Disponível em <<http://www.thehistoryblog.com/archives/19606>> Acesso em: 29 ago. 2014.
- 12- “An original thermometer invented by Daniel Gabriel Fahrenheit to fetch \$157,000 at London auction” Disponível em: <http://brandontiminsky.com/blog/an-original-thermometer-invented-by-daniel-gabriel-fahrenheit-to-fetch-157000-at-london-auction/> - Acesso em: 29 ago. 2014.
- 13- GEORGE, Claude. “Liquid Air Oxygen Nitrogen” Printed by Adlard and Son, pg. 28. Originals pertencentes à University of Toronto Library com data de publicação não disponível ou visualizada. Disponível em: <<https://ia700301.us.archive.org/27/items/liquidairoxygenn00clauuoft/liquidairoxygenn00clauuoft.pdf>> Acesso em: 01 set. 2014.
- 14- GEORGE, Claude. “Liquid Air Oxygen Nitrogen” Printed by Adlard and Son, pg. 30-31. Originals pertencentes à University of Toronto Library com data de publicação não disponível ou visualizada. Disponível em:

<<https://ia700301.us.archive.org/27/items/liquidairoxygenn00clauuoft/liquidairoxygenn00clauuoft.pdf>> Acesso em: 01 set. 2014.

15- GEORGE, Claude. "Liquid Air Oxygen Nitrogen" Printed by Adlard and Son, pg. 31-32. Originais pertencentes à University of Toronto Library com data de publicação não disponível ou visualizada. Disponível em:

<<https://ia700301.us.archive.org/27/items/liquidairoxygenn00clauuoft/liquidairoxygenn00clauuoft.pdf>> Acesso em: 01 set. 2014.

16- CUMMINGS. "The American Ice Industry" California: University of California Press. pg. 85-89. 1949.

17- CUMMINGS. op. cit.: pg. 84-86.

18- "Specifications of American Patents," Journal of the Franklin Institute, XXIII n.s. pg. 244-245. 1839

19- SMITH, Philip Chadwick Foster "Crystal Blocks of Yankee Coldness – The Development of the Massachusetts Ice Trade from FREDERIC TUDOR TO WENHAM LAKE 1806-1886" The Essex Institute Historical Collections – 1961, disponível em <<http://www.iceharvestingusa.com/crystalblocks1.html>>. Acesso em 01 set. 2014.

20- CUMMINGS. op. cit.: pg. 100-102.

21- TUDOR, Frederic "Ice King". Bulletin of the Business Historical Society 6, 4. (September 1932): pg. 1-8

22- MORISON, S.E. "The Maritime History of Massachusetts, 1783-1860". London: William Heinemann. 1921, PG. 282-283.

23- HEMANS, Isaac J. Smith. "A Cyclopedia of Commerce and Commercial Navigation. New York: Harper & Brothers Publishers, 1860. Pg. 1003.

24- BAKER, John M. "A View of the Commerce between the United States and Rio de Janeiro, Brazil". Washington D.C.: Office of the Democratic Review. pg. 12-15. 1838.

25- THORNTON, Tamara Plakins "Review (untitled)," The New England Quarterly 78, 1 (March 2005): pg.148.

26- "Ice in the Tropics: the Export of 'Crystal Blocks of Yankee Coldness' to India and Brazil", disponível em <http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/EspacoAcademico/article/view/15209/8153>. Acesso em: 01 set. 2014.

27- RIPPY, James Fred. "Latin America and the Industrial Age" New York: G. P. Putnam's Sons. pg. 213. 1944.

28- "Ice in the Tropics," Ice and Refrigeration 3, 6 (December 1892). Pg. 92.

29- "Ice Plants in Brazil," Cold Storage and Ice Trade Journal Vol. 34, No. 3 (September 1907). Pg. 47.

30- SANTOS, Sergio de Paula. "Os Primórdios da Cerveja no Brasil". Cotia: Atelie Editorial. pg. 24. 2004.

- 31- FURNISS, H.W. "Manufacture of Ice in Latin America: Brazil," *Consular Reports on Commerce, Manufactures, Etc.* 269-271 Vol. 63, No. 238 (July 1900).
- 32- FURNISS, op.cit.: No. 269.
- 33- GRIMONDI, John J. "Ice Machines Wanted in South America," *Ice and Refrigeration* 20, 2. pg.71. (February 1901).
- 34- "A Brazilian Ice Syndicate," *Ice and Refrigeration* 14, 2 Pg. 87. (February 1898).
- 35- KENNEDY K. K. "Belém-Pará, Commercial Relations of the United States with Foreign Countries for the Year 1899 Vol. 1". Washington: Government Printing Office, 1900; pg. 614-616.
- 36- "A Brazilian Ice Syndicate." op. cit.: 89
- 37- LOBATO, Celio Claudio de Queiroz, ARRUDA, Eurler Santos, Ramos, Andrea Helyette Gomes, "Palacete Bolonha Uma Promessa de Amor". Belem do Para: Editora Universitária UFPA, 2007.
- 38- HALLIDAY, David & RESNICK, Robert em *Fundamentos da Física*, 8º edição. São Paulo: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora SA. 2009.
- 39- KOSTIC, Milivoje M. "Sadi Carnot's Ingenious Reasoning of Ideal Heat Engine Reversible Cycle", Department of Mechanical Engineering Northern Illinois University DeKalb, IL 60115, U.S.A. – 4th IASME/WSEAS International Conference on ENERGY, ENVIRONMENT, ECOSYSTEMS and SUSTAINABLE DEVELOPMENT (EEESD'08), Algarve, Portugal, June 11-13, 2008, disponível em <<http://www.kostic.niu.edu>> Acesso em: 01 set. 2014.
- 40- NEUBERGER, A. "The Technical Arts and Sciences of the Ancients", New York, (Editora desconhecida). pg. 123. 1930.
- 41- GOOSMAN, J. C. "History of Refrigeration," *Ice and Refrigeration* LXVII pg. 329. 1924.
- 42- NICKERSON, J. F. "The Development of Refrigeration in the United States," *Ice and Refrigeration*, XLIX. pg. 170. (1915).
- 43- EWING, J. A. "The Mechanical Production of Cold", 2nd Edn. Cambridge: Cambridge University Press Warehouse. pg. 47-48. 1921.
- 44- EVANS, O. "The Young Steam Engineer's Guide – Philadelphia: Fry and Kammerer. pg. 137-139. 1805
- 45- PERKINS, Jacob. "an apparatus and means for producing ice, and in cooling fluids," 1834. Disponível em <<http://www.archpatent.com/search>> Acesso em: 01 set. 2014.
- 46- O Jornal da Nova Zelândia "Southland Times" - Issue 10151 - 1st May 1889 (cujos originais são de propriedade da **National Library of New Zealand**), disponível em <http://www.bphs.net/EarlyHistory/EarlyInventions/> Acesso em: 01 set. 2014.
- 47- CRITCHELL, J. T. Critchell e RAYMOND, J. "A History of the Frozen Meat Trade", 2nd edn. London: Bradbury, Agnew, & Co. I, pg. 4-5. 1912.

- 48- TRAVERS, M. W. "Liquefaction of Gases," em Encyclopedia Britannica XIV. Chicago: pg. 172-173. 1946.
- 49- EWING, J. A. op. cit.: pg. 43.
- 50- U.S. Department of State, Patent Office, Report of th Commissioner of Patents for the Year 1846 [Washington, 1847], pg. 148, 295.
- 51- GORRIE, J. "On the Nature of Malaria, and Prevention of its Morbid Agency," The New Orleans Medical and Surgical Journal, XI pg.619-620, 750-760, 767. 1854-1855
- 52- MIER, R. E. e GORRIE, John Gorrie "Florida Medical Pioneer and Harbinger of Air Conditioning" [dissertação de mestrado não publicada, John B. Stetson University], pg. 51.
- 53- MIER, R. E. e GORRIE, John Gorrie "Florida Medical Pioneer and Harbinger of Air Conditioning" [dissertação de mestrado não publicada, John B. Stetson University], pg.53, 57, 58, 64. (já foi descrita em 52)
- 54- J. C. C. "Ice Made by Mechanical Power," Scientific American, Sept. 22, pg. 3. 1849.
- 55- GRRIE, John. USA Pat. Nº 8,080 de 1851 "Ice Machine"– Disponível em: Banco de Patentes Americana.
- 56- ARROWOOD, Milton W. "Refrigeration – A Practical Treatise on the Production of Low Temperatures as Applied to the Manufacture of Ice and to the Design and Operation of Cold Storage Plants" – Graduate, United States Naval Academy Refrigerating and Mechanical Engineer with the Triumph Ice Machine Co., Copyright: American School of Correspondence. 1913
- 57- EWING, J. A. op. cit.: pg. 31, 39.
- 58- ROELKER, H. B. "The Allen Dense Air Refrigerating Machine," Transactions of the American Society of Refrigerating Engineers, II. pg. 52, 54. 1906.
- 59- GOOSMAN, J. C. op. cit.: pg. 429.
- 60- EWING, J. A. op. cit.: pg. 34, 38, 39.
- 61-SMITH, E. C. "Pioneers of Refrigerationm," Nature, CLI 413. (April 10, 1943).
- 62- Munton, R. & Stott, J. R. em "Refrigeration at Sea", Maclaren and Sons Ltda, London, 1967
- 63- EWING, J. A. op. cit.: pg. 46, 47.
- 64- EWING, J. A. op. cit.: pg. 47-48.
- 65- EWING, J. A. op. cit.: pg. 52, 53.
- 66- GOOSMAN, J. C. op. cit.: Vol. LXVIII pg. 71 (1925); Vol.LXIX pg. 99-100. (1925).
- 67- IBRAHIM, Dincer & MEHMET, Kanoglu em "Refrigeration Systems and Applications". United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd. pg.182. 2010
- 68- EWING, J. A. op. cit.: pg. 48, 51.

- 69 GOOSMAN, J. C. op. cit.: pg. 330.
- 70- DOSSAT, Roy J. “Princípios de Refrigeração” São Paulo: Editora Hemus. pg. 172-175. 1987.
- 71- TWINING, A.C. “The Manufacture of Ice on a Commercial Sale and with Commercial Economy, by Steam or Water Power . . . “ New Haven: pg. 4-6, 8-9. 1857.
- 72- GOOSMAN, J. C. op. cit.: pg. 430.
- 73- TWINING, A.C. “Manufacture of Ice”, Pat. Nº 10,221, Nov. 8, 1853; In a Plea for Extension, Before the Committee on Patents in the House of Representatives of the United States . . . Washington: pg. 2-3, 14-21. 1870.
- 74- “Artificial Ice,” Revista: The Builder, XX pg.272. (April 19, 1862)
- 75-WOOLRICH, W. R. “Mechanical Refrigeration – Its American Birthright,” Revista: Refrigerating Engineering, LIII pg.250. 1947.
- 76- NICKERSON, J. F. “The Development of Refrigeration in the United States,” Revista: Ice and Refrigeration, XLIX pg. 171. 1915.
- 77-WOOLRICH, R. op. cit.: pg. 246;
- 78- GOOSMAN, J. C. op. cit.: pg. 99.
- 79- GOOSMAN, J. C. op. cit.: pg. 100-101.
- 80- EWING, J. A. op. cit.: pg. 84.
- 81- EWING, J. A. op. cit.: pg. 94.
- 82- WOOLRICH, R. op. cit.: pg. 248.
- 83- WOOLRICH, R. op. cit.: pg. 196
- 84- GOOSMAN, J. C. op. cit.: Vol. LXVIII pg. 413. (1925).
- 85- AWBERRY, J. H. “Carl von Linde: A Pioneer of ‘Deep’ Refrigeration,” Revista: Nature, CXLIX pg. 630. (June 6, 1942).
- 86- EWING, J. A. op. cit.: pg. pg. 86
- 87- Stoecker, W. F. & Jabardo, J. M. Saiz, em Refrigeração Industrial, Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 2002
- 88- CUMMINGS. op. cit.: pg 134-138, 140; “The New Refrigerator,” Revista: New-York Mirror, XVI. pg.23. (July 14, 1838).
- 89- CUMMINGS. op. cit.: pg, 138-139.
- 90- “The New Refrigerator,” op. cit.: pg 23.
- 91- SCHOOLEY, J. C. “A Process of Obtaining a Dry Cold Current of Air From Ice, and Its Different Applications” Cincinnati: pg. 1-5, 11-15. 1855.

- 92- HARNDEN, S. Harnden, Description of Schooley's Improved Patent Refrigerator and Fruit Preserver ... Revista: Reading, Mass. pg. 3-6. 1861.
- 93- CUMMINGS. "The American Ice Harvests" California: pg. 59-60.
- 94- TAYLOR, W.A "The Influence of Refrigeration on the Fruit Industry," U. S. Department of Agriculture, Yearbook..., 1900 Washington: pg. 564. 1901; COOPER, M. "Cold Storage By Means of Ice," Revista: Transactions of the American Society of Refrigerating Engineers, III pg.45. 1907.
- 95- GREENE, Arthur M. "The Elements of Refrigeration, a Text Book for Students, Engineers and Warehousemen" London:John Wiley & Sons, Inc. pg. 5. 1916.
- 96- BIRDSEYE, Clarence. Patente americana nº 1,608,832, "Method in Preparing Foods and the Product Obtained Thereby". United States Patent Office. 1926.
- 97- WALES,Nathaniel B. Patente americana 2.093.856. United States Patent Office. 1937.
- 98- BECHTOLD, Reuben E. & MELLOWES, Alfred W. Patente americana 1.276.612. United States Patent Office. 1918.
- 99- Provérbios 25:13.
- 100- OLDHAM, B. "The history of refrigeration." The Journal of Refrigeration 8(May): pg.147-149. 1965.
- 101- Anonymous. "The tenth anniversary of Ice and Refrigeration." Revista:. Ice and Refrigeration 21(July). pg.7,8. 1901.
- 102- Anonymous. "Cooling of hospitals". Journal of the A.S.H.V.E. 27(October). Pg.763-764. 1921.
- 103- Disponível em <http://www.ellisac.com/throwback-thursdays-air-conditioning-in-cars/>
- 104- CLAUDE, George op. cit.
- 105- Carl Linde, 'Professor of Munich, Process and Apparatus for liquefying gases or gaseous mixtures, and for producing cold, more particularly applicable for separating oxygen from atmospheric air', Br. Pat. no. 12526, provisional application 28/6/1895, complete application 25/3/1896. (The German patent of 1895 is no. 88824). Banco de Patentes da Grã Bretanha. 1896.
- 106- CLAUDE, George op. Cit.
- 107- Rowlinson, J. S. "James Joule, William Thomson and the concept of a perfect gas", The Royal Society Journal of the History of Science, 2014 disponível em <http://rsnr.royalsocietypublishing.org/> acesso em: 01 set. 2014.
- 108- Wisniak, Jaime – Indian Journal of Chemical Technology, Vol. 10, July 2003.
- 109- Linde Jubilee volume, 1929, disponível em [http://www.thewaythetruthandthelife.net/index/2\\_background/2-1\\_cosmological/physics/j12.htm](http://www.thewaythetruthandthelife.net/index/2_background/2-1_cosmological/physics/j12.htm).> Acesso em 01 set. 2014.