

**MMA PNUD**  
**Difusão do Uso de Fluidos Alternativos em**  
**Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado**

***Substituição dos Fluidos***  
***Refrigerantes HCFCs***

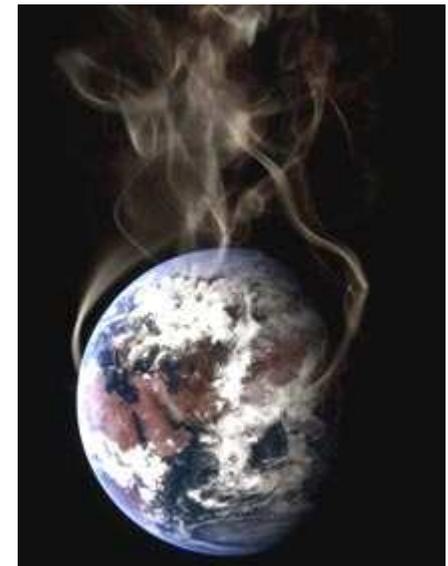
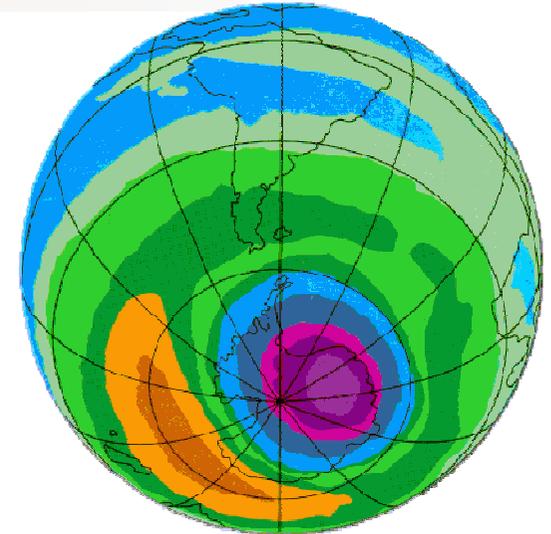


INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA - IMT

*Roberto de Aguiar Peixoto*

# Antecipação da Eliminação dos HCFCs

- A 19ª Reunião das Partes do Protocolo de Montreal, Setembro de 2007, mudou os prazos anteriormente fixados para eliminação dos HCFCs.
- Para os países em desenvolvimento, antes da alteração, o consumo poderia crescer indiscriminadamente até 2015, quando seria congelado. A eliminação só se daria em 2040, sem cronograma intermediário.
- Esta alteração levou em conta os benefícios para a recuperação da camada de ozônio e também para a proteção do clima. HCFCs, como CFCs e HFCs, são GEE



# Cronograma de Eliminação dos HCFCs

## Países em Desenvolvimento

### PAISES EM DESENVOLVIMENTO (A5) COMPROMISSOS EXISTENTES

### NOVOS COMPROMISSOS EM FUNÇÃO DO AJUSTE MONTREAL 2007

LINHA DE BASE - 2015

VALOR MÉDIO DA PRODUÇÃO E  
CONSUMO DE 2009 E 2010

CONGELAMENTO EM 2016

CONGELAMENTO EM 2013

S/ OBRIGAÇÕES

10% REDUÇÃO EM 2015

S/ OBRIGAÇÕES

35% REDUÇÃO EM 2020

S/ OBRIGAÇÕES

67,5% REDUÇÃO EM 2025

S/ OBRIGAÇÕES

97,5% REDUÇÃO EM 2030 \*

ELIMINAÇÃO EM 2040

INALTERADO

- *O valor médio anual de 2,5% é restrito a manutenção de equipamentos de refrigeração e ar condicionado*
  - *durante o período de 2030 – 2040 e sujeito a revisão em 2025.*



INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA - IMT

*Roberto de Aguiar Peixoto*

# Breve Histórico dos Refrigerantes

---

**1834:** Perkins refrigeração por compressão de vapor utilizando eter etílico

**1880 - 1920 :** amônia, ácido sulfúrico, dióxido de carbono e propano

**1930 - 1940 :** CFCs (R-12, R-11, R-114, R-113)

**1950s :** HCFCs (R-22, R-502)

**1974 :** Teoria da destruição do Ozônio (Molina e Rowland)

**1987 :** Protocolo de Montreal (eliminação de CFCs e HCFCs)

**1992 :** Convenção do Clima (UNFCCC)

**1997 :** Protocolo de Kyoto (redução das emissões de **HFCs**, PFCs, CO<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>)

**3º milênio :** Quais refrigerantes serão utilizados ?

HFCs, CO<sub>2</sub>, HCs, amônia, HFCs de baixo GWP ?



- <http://ozone.unep.org/teap/Reports/RTOC/index.shtml>



# USOS DE HCFCs COMO FLUIDO REFRIGERANTE

Refrigerante	Utilização
HCFC-22 (R-22)  <i>(O refrigerante mais utilizado atualmente)</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• ar condicionado residencial (splits e de janela)</li><li>• equipamentos para ar condicionado comercial (rooftop)</li><li>• bombas de calor (<i>no Brasil para aquecimento de piscinas</i>)</li><li>• sistemas de ar condicionado central (chillers)</li><li>• sistemas de refrigeração comercial para supermercados, armazenamento frigorificado, etc.</li></ul>
HCFC-123 (R-123)	<ul style="list-style-type: none"><li>• unidades de resfriamento de líquidos (chillers) centrífugos</li></ul>
Misturas de HCFC (R-401 A&B, 402A&B, 405A, 406A, 408A, 409A, 411A&B, 414A&B and 416A)	<ul style="list-style-type: none"><li>• equipamentos de refrigeração doméstica e comercial</li><li>• retrofit de sistemas que operam com CFC-12, R-502</li></ul>



# Protocolo de Kyoto 1997

## Substâncias Controladas

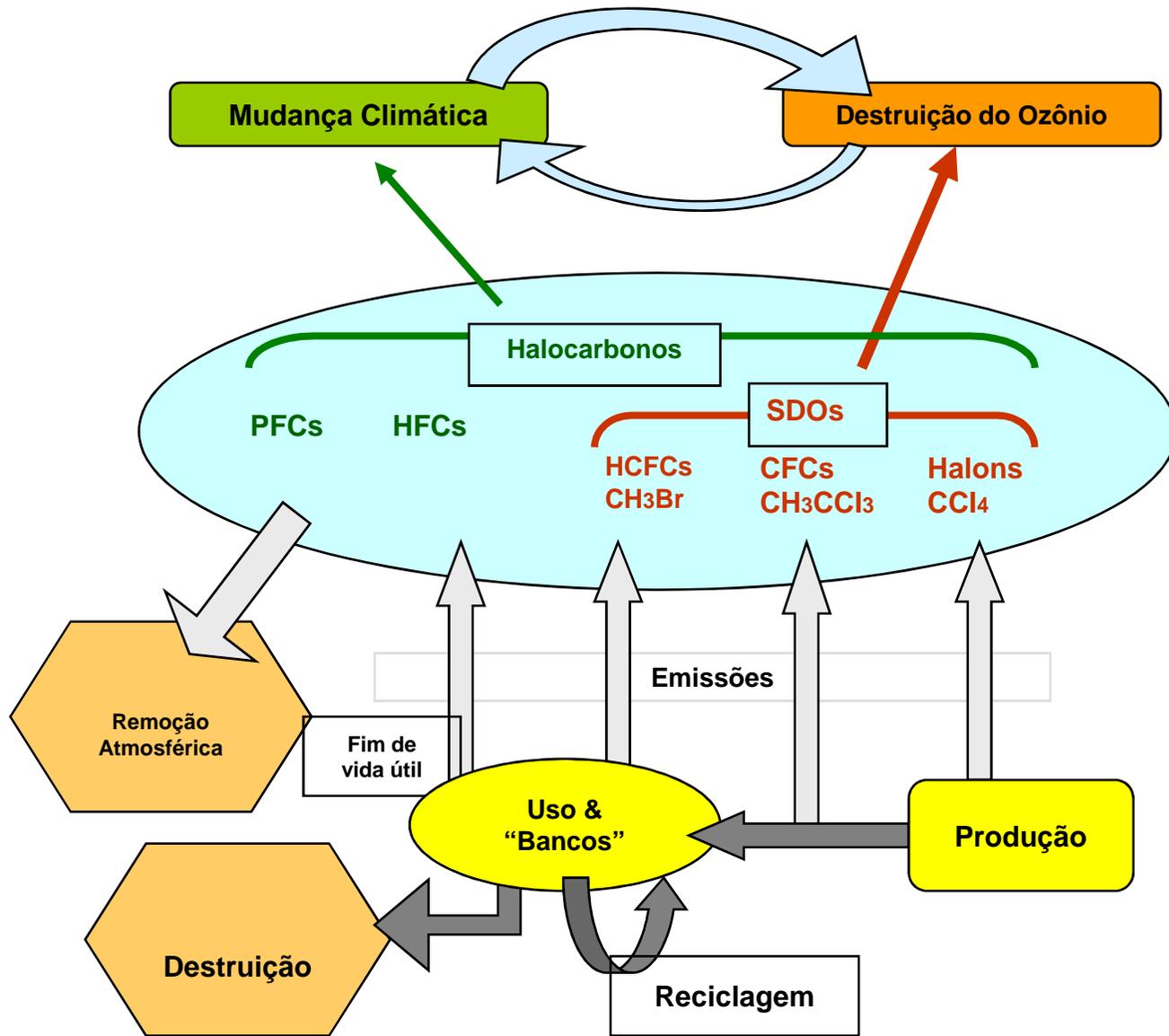
- $\text{CO}_2$ , PFCs,  $\text{SF}_6$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ , HFCs



## VALORES ATMOSFÉRICOS PARA VÁRIOS FLUIDOS REFRIGERANTES

DENOMINAÇÃO	DENOMINAÇÃO QUÍMICA	TEMPO DE VIDA ATMOSFÉRICO (anos)	GWP 100 anos	GWP 500 anos	GWP 1000 anos	ODP
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono	<sup>b</sup>	1	1	1	—
CFC- 11	Triclorofluormetano	45	4600	1,600	1125	1.0
CFC- 12	Diclorodifluormetano	100	10,600	5,200	NA	0.82
HCFC- 123	2,2- Dicloro- 1,1,1- trifluoretano	1.4	120	36	19	0.012
HCFC- 141b	1,1- Dicloro-1- fluoretano	9.2	700	220	115	0.086
HCFC- 22	Clorodifluorometano	11.8	1,900	590	324	0.034
HFC- 125	Pentafluoretano	32.6	3,800	1,200	651	0.000
HFC- 134a	1,1,1,2- Tetrafluoroetano	13.6	1,300	500	356	0.000
HFC- 152a	1,1- Difluoroetano	1.5	190	58	31	0.000
HFC- 227ea	1,1,1,2,3,3,3- heptafluorpropano	36.5	3,800	1,300	695	0.000
HFC- 245fa	1,1,1,3,3- Pentafluorpropano	8.8	820	NA	189	0.000
HFC- 32	Difluormetano	5.6	880	270	174	0.000
R- 717	Amônia	NA	< 1	NA	NA	0.000





# Legislação Européia sobre HFCs

- Decreto EC No 842/2006
  - contenção e manejo responsável;
  - Reciclagem e recolhimento na disposição final de equipamentos;
  - Treinamento e certificação de pessoal envolvido na contenção e recolhimento de HFCs;
  - Relato de quantidades produzidas, comercializadas e emitidas;
  - Rotulagem de produtos e equipamentos.



# A Opção Fluidos Refrigerantes Naturais

- Os hidrocarbonetos, a amônia, CO<sub>2</sub>, água e ar, fazem parte de um grupo de substâncias chamado de “refrigerantes naturais”.
- Todos "refrigerantes naturais" existem em ciclos materiais da natureza mesmo sem interferência humana
- Evolução e inovações tecnológicas ajudaram a considerar os refrigerantes naturais como uma solução segura econômica para determinadas aplicações.
- Sistemas de refrigeração com "refrigerantes naturais" deverão ter um papel cada vez mais importante no futuro como soluções técnicas.
- Por que ?



Table 1. Old “Natural” Working Fluids

Refrigerant	ASHRAE	Composition	Boiling Point °C	ODP	GWP
Ammonia	R-717	NH <sub>3</sub>	-33.6	0	~0
Propane	R-290	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-42.0	0	~0
Isobutane	R-600a	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	-11.9	0	~0
Water	R-718	H <sub>2</sub> O	100.0	0	~0
Carbon Dioxide	R-744	CO <sub>2</sub>	-78.4	0	1



**MONTREAL PROTOCOL  
ON SUBSTANCES THAT DEplete  
THE OZONE LAYER**



**UNEP  
2010 REPORT OF THE  
REFRIGERATION, AIR CONDITIONING AND HEAT PUMPS  
TECHNICAL OPTIONS COMMITTEE**



## 2006 → 2010 UNEP RTOC Report

### Refrigeração Doméstica

- Dois refrigerantes conhecidos tem sido utilizados, HFC-134a e HC-600a
- Conversão de HFC-134a para HC-600a está acontecendo (pode ser feita através de MDL); *market share* do HC-600a está crescendo
- A opção de baixo GWP é o HC-600a
- HC-600a tem baixa pressão o que tem aspectos favoráveis com relação ao ruído produzido pelo refrigerador
- HC-600a é um refrigerante muito eficiente (alta  $T_{crit}$ )
- Não há nenhuma vantagem para mudar para o uso de compostos de vida curta (HFC)



## 2006 → 2010 UNEP RTOC Report

### Refrigeração Doméstica

- Cerca de 60% dos novos refrigeradores empregam **HFC-134a**.
- Cerca de 36% empregam **hidrocarbonetos**, principalmente **HC-600a (isobutano)**
- Prevê-se que dentro de 10 anos, pelo menos, 75% dos novos produtos utilizarão **hidrocarbonetos**; mudanças nas normas estão sendo realizadas e a legislação pode facilitar a transição.
- Nenhuma tecnologia pode competir a médio prazo com a de compressão de vapor para produção em massa.



# Refrigeração Comercial

- Refrigeração comercial inclui 3 categorias de sistemas: equipamentos compactos “stand-alone”, unidades condensadoras, e sistemas centralizados de refrigeração para supermercados
- Soluções para substituir **HCFC-22** dependem das características de cada aplicação



# 2006 → 2010 UNEP RTOC Report

## Refrigeração Comercial

- Em produtos compactos (stand-alone) uma mudança de HFC-134a para HCs está ocorrendo, mas também para CO<sub>2</sub> (pequena quantidade) (vending machines da Coca Cola estão usando principalmente HCs atualmente)
- Unidades Condensadoras (usadas em padarias, açougues, pequenas lojas de conveniência, etc.) usam HCFC-22 (particularmente nos países A5), HFC-134a e R-404A
  - Primeira dificuldade é a conversão para eliminar o uso de is the HCFC-22 aqui
  - A dificuldade também está relacionada com os baixos custos que não permitem a introdução de soluções de baixo GWP competir
  - Há um pequeno movimento em direção a HCs e amônia (Japão);
  - CO<sub>2</sub> não é considerado neste subsetor.

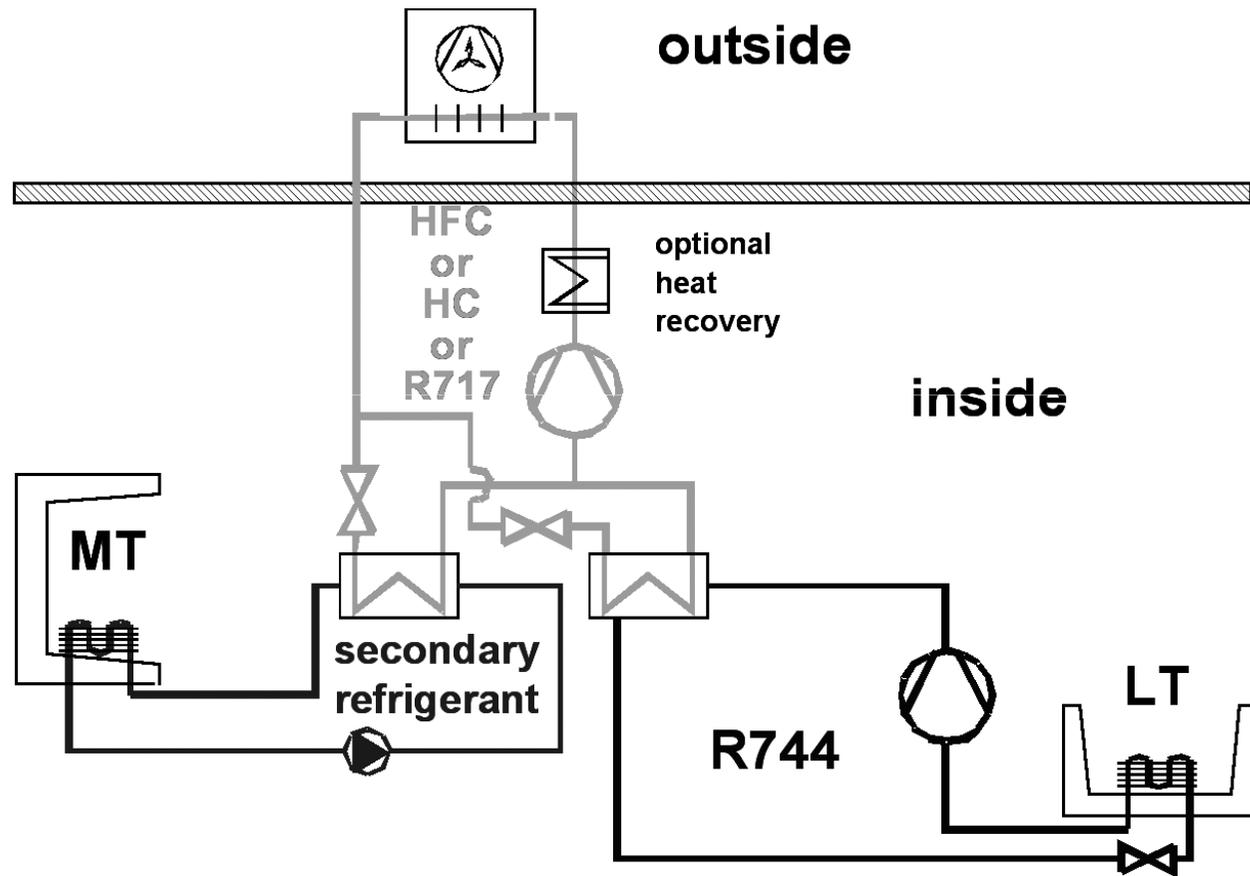


# 2006 → 2010 UNEP RTOC Report

## Refrigeração Comercial

- Sistemas Centrais em supermercados
  - Capacidade varia de 20 kW a 1 MW
  - Uso de refrigerantes alto GWP (e.g. R-404A com GWP 3900) não será parte de um futuro sustentável
  - Sistemas indiretos frequentemente utilizando CO<sub>2</sub> no circuito indireto
  - Sistemas em cascata com CO<sub>2</sub> como refrigerante no circuito de baixa temperatura e com opções de diversos refrigerantes no circuito primário (de HFCs a HCs e amônia)
  - Sistemas de dois estágios com CO<sub>2</sub> estão se tornando mais comuns



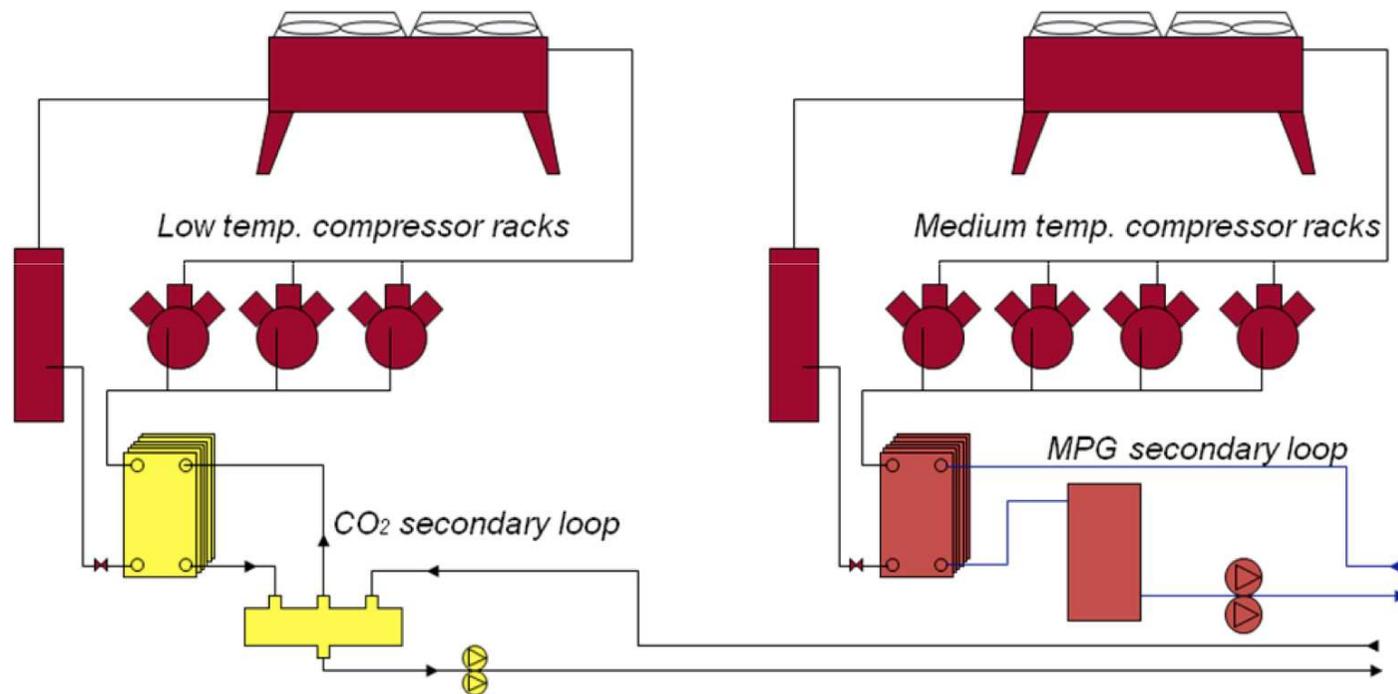


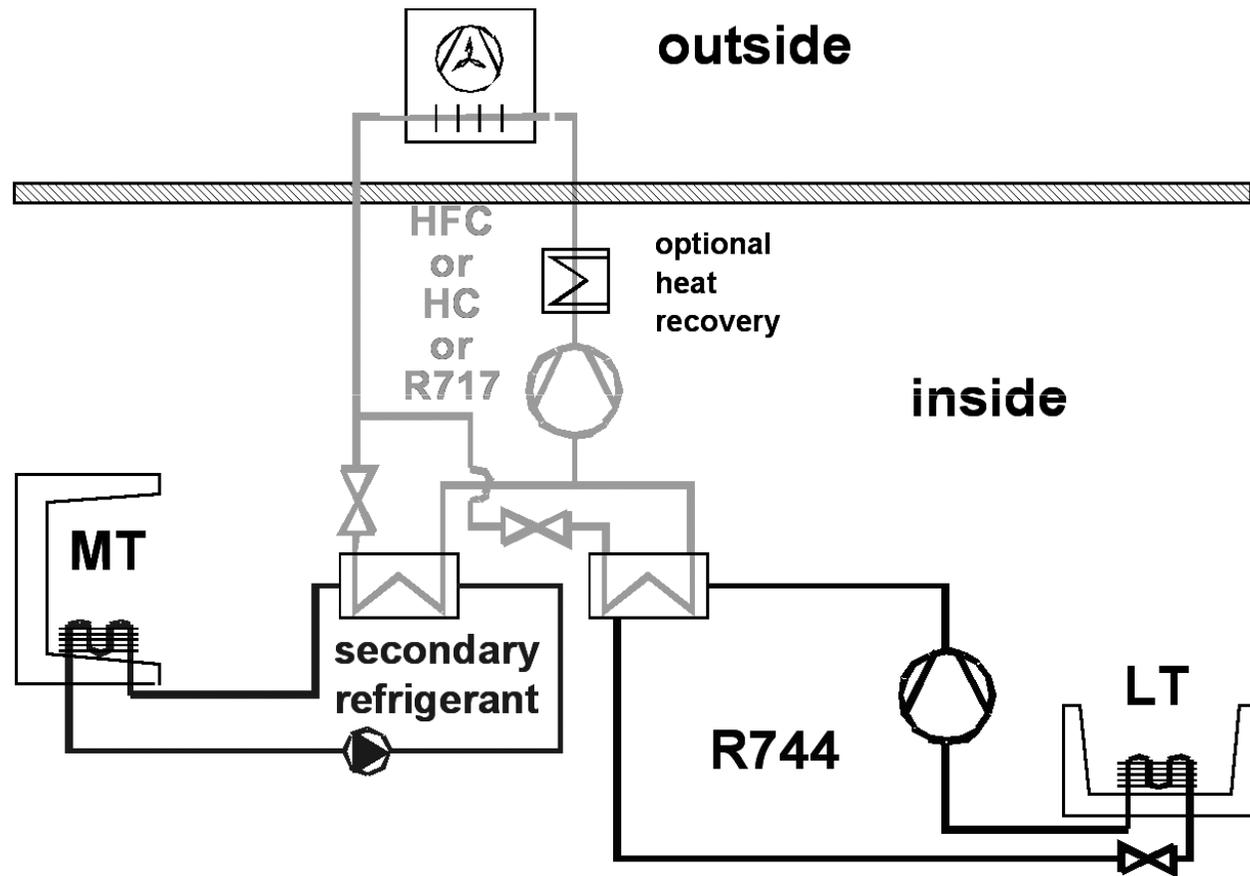
*Natural Refrigerants - GTZ*



INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA - IMT

*Roberto de Aguiar Peixoto*





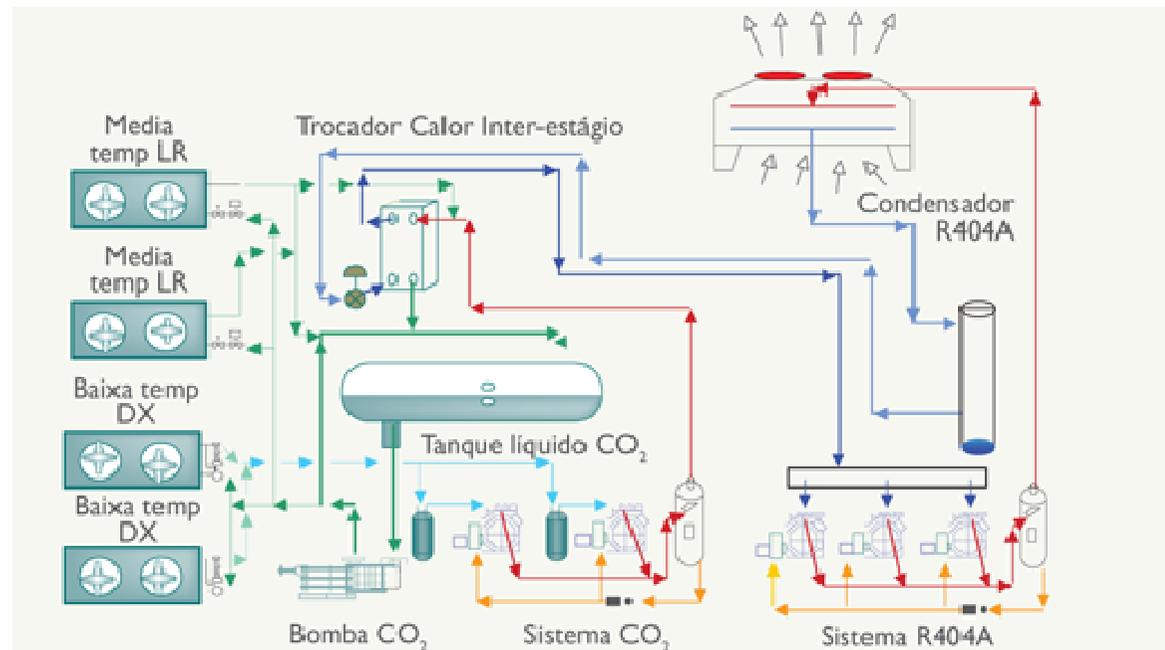
*Natural Refrigerants - GTZ*



INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA - IMT

*Roberto de Aguiar Peixoto*

# Sistema Cascata com CO<sub>2</sub>/R-404A



*Evaporadores de baixa temperatura com expansão direta e os de média temperatura com re-circulação de líquido*

*Climatização e Refrigeração*



## 2006 → 2010 UNEP RTOC Report

### Ar condicionado compacto

- Em termos globais equipamentos de ar condicionado e bombas de calor com condensação a ar, tem capacidade variando de 2 a 420 kW
  - Representam a grande maioria do mercado de AC abaixo da capacidade de 1.500 kW
- Praticamente todos equipamentos de AC e bombas de calor fabricados antes de 2000 usavam HCFC-22
- Podem ser classificados em quatro categorias distintas
  - equipamentos de janela (window and through-wall)
  - split residencial e comercial (sem dutos)
  - split residencial com dutos
  - split comercial com dutos e unidades autônomas (self-contained)



## Ar condicionado compacto - Situação atual

- HCFC-22 foi o refrigerante ideal no passado para AC e ainda está sendo utilizado intensamente nos países A5.
  - A transição para eliminação do HCFC-22 está praticamente completa (Europa em 2004) ou a caminho na maioria dos países desenvolvidos .
  - Refrigerantes, misturas de HFC, R-410A e R-407C tem sido utilizados como os substitutos dominantes para o HCFC-22 em todas as categorias de equipamentos compactos de AC em países desenvolvidos.
  - Hidrocarbonetos tem sido utilizados em algumas aplicações, incluindo unidades portáteis de baixa capacidade e splits
- A maioria dos países em desenvolvimento continua utilizando HCFC-22 como o refrigerante predominante em equipamentos de AC compacto.



## 2006 → 2010 UNEP RTOC Report

### Ar condicionado compacto – HFCs

- R-410A tem sido utilizado na maioria das aplicações em países desenvolvidos em substituição ao HCFC-22 e requer significativo reprojeto.
  - Países A5 podem seguir diferentes rotas para eliminação do HCFC-22
  - Como várias misturas de HFC contendo HFC-125, R-410A apresenta um decréscimo na capacidade e eficiência energética com altas temperaturas ambiente (muito mais que HFC-134a ou R-290, que tem uma temperatura crítica mais alta)



## 2006 → 2010 UNEP RTOC Report

### Ar condicionado compacto

- HC-290 é considerado como uma alternativa ao HCFC-22, particularmente in aplicações com baixa carga
  - IEC 60335-2-40 estabelece limites para cargas
- Uso amplo de HCs em equipamentos de ar condicionado compacto será mais difícil devido muitos equipamentos de AC tem carga alta
  - Progresso tem sido realizado na redução de carga de refrigerante via redesign e uso de trocadores de calor com *micro-channel*
  - HC-290 é considerado um dos candidatos no processo de eliminação de HCFC-22 em AC nos países A5; implicações no custo não estão ainda estabelecidas
- Esforços de pesquisa estão sendo conduzidos em sistemas com CO<sub>2</sub> (R-744) concentrados na questão de eficiência
- HFC-32: empresas japonesas e países A5 na Ásia estão considerando seu uso
- Não esta claro no momento se CO<sub>2</sub> pode ser considerado uma real alternativa



## 2006 → 2010 UNEP RTOC Report

### Ar condicionado compacto – tendências

- A indústria de AC esta explorando alternativas ao R-410A e R-407C, que tenham GWP mais baixo e /ou TEWI
- Alternativas incluem: *HFC-32, HC-290, CO<sub>2</sub>, HFC-152a e possivelmente HFC-1234yf*
- Desafios técnicos: inflamabilidade, toxicidade, eficiência e viabilidade econômica
- Produtos com *HC-290* foram desenvolvidos por alguns fabricantes
- Desenvolvimento de produtos com outras opções vai exigir esforço significativo de P&D



## Chillers – Refrigerantes no Passado e Atuais

- Antes do Protocolo de Montreal, chillers usavam:
  - Centrífugas : CFC-11, CFC-12, R-500
  - Alternativos e parafuso: CFC-12 e HCFC-22 com alguns usando R-717 (amônia)
- Atualmente chillers usam:
  - Centrífugas : HCFC-123, HFC-134a, HFC-245fa (uso limitado)
  - Parafuso e scroll : HCFC-22, HFC-134a, R-410A, R-407C (decrecendo)
  - Parafuso e alternativos – também disponíveis com R-717, R290
- HCFC-22 foi eliminado para uso em novos equipamentos em todos países desenvolvidos em 1 Janeiro 2010 (Europa, 2004)



## 2006 → 2010 UNEP RTOC Report

### Chillers usando Amônia e Água

- Usando compressores alternativos, chillers com **amônia** (R-717) estão disponíveis na faixa de 10-1600 kW e 100-7000 kW para compressores parafuso
  - Existem técnicas para redução carga e volume do sistema
  - O mercado para chillers com R-717 provavelmente deverá crescer no futuro
  - Cuidados devido a segurança em aplicações de AC conforto podem aumentar os custos
- Aplicações de água (R-718) como refrigerante tem sido feita em algumas instalações de refrigeração industrial
  - Algumas instalações na Europa
  - Deslocamento volumétrico exigido dos compressores é enorme (baixa densidade da água)
  - Utilizado em minas (África do Sul )
  - Altos custos (tamanho dos compressores)



## 2006 → 2010 UNEP RTOC Report

# Chillers com Propano e CO<sub>2</sub>

- Propano (HC-290) é usado em chillers (<300 kW) em aplicações industriais e prediais na Europa
  - Alguns países A5 como Indonésia, Malásia, e Filipinas estão utilizando chillers com HC em grandes instalações de AC
  - O uso de HC em chillers pequenos provavelmente devera crescer onde regulamentações permitirem
- Várias companhias iniciaram a produção de chillers com R-744 (CO<sub>2</sub>)
  - Como alternativas aos chillers com HFC no norte da Europa
  - R-744 chillers offer the advantage of being able to use waste heat to raise water to higher temperatures with higher efficiency than other refrigerants
  - Em aplicações onde o calor liberado é utilizado para aquecimento de água chillers R-744 apresentam boa eficiência



## 2006 → 2010 UNEP RTOC Report

### Chillers Centrífugos

- Nenhum substituto para HCFC-123 ou HFC-134a foi ainda comercializado
- Hidrocarbonetos são usados em chillers centrífugos em aplicações de processos industriais
- Água (R-718) exige compressores muito grande
- HFC-1234yf pode ser adequado para chillers centrífugos mas ainda é muito cedo
- Não está claro se o HFC-1234ze poderá ser utilizado em chillers



## 2006 → 2010 UNEP RTOC Report

# Industrial and Transport Refrigeration

- Large amount of industrial systems have been and are using HCFC-22
- HFCs have not been used that much as in other subsectors
- Ammonia and CO<sub>2</sub> first candidates, not so many HCs
- Transport refrigeration covers large amount of different subsectors, from trucks to ships and containers
- HCFC-22 difficult to replace (in particular on ships) and low-GWP solutions not often easy to introduce
- Use of HFCs (containers), some HCs, but also intermediate systems (with eutectic salts) in trucks



## 2006 → 2010 UNEP RTOC Report

### Mobile AC

- MAC was one of the sectors where the conversion to HFC-134a was complete at an early stage (nA5; A5)
- Candidates for conversion away from HFC-134a originally were CO<sub>2</sub> and HFC-152a; this is the reason for the GWP 150 limit in the EC directive
- Introduction of blends with short lived HFCs in 2005-2007 (however, not successful)
- Change to the HFC-1234yf candidate, which can be used in HFC-134a systems (no real converting yet)
- German position on “CO<sub>2</sub>” has not formally changed
- It has become clear that HFC-1234yf will be the future...



# 2006 → 2010 UNEP RTOC Report

## HCFC Replacement – A5 Factors

- Technical suitability
- Low capital conversion cost
- Low operating cost
- No further conversions required

	HCs	HFCs	CO2/ NH3	Unsatur. HFCs
Proven technical suitability	Yes	Yes	Yes	No
Acceptability	Depends	Yes	Depends	Yes/ ?
Low capital conversion cost	Depends	Yes/?	No/?	Yes
Low operating cost	Yes	No	Yes	No
No further conversions	Yes	No	Yes	??



# 2006 → 2010 UNEP RTOC Report

## Sumário

- HFCs
  - Tecnicamente adequado para todas aplicações
  - Alto GWPs
  - Altos custos operacionais
  - Tecnologia: de transição ou não ?
- Refrigerantes Naturais, HCs, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>
  - Tecnicamente adequado para todas aplicações
  - Em vários casos desempenho bom ou melhor
  - Baixos custos operacionais
  - Viabilidade de uso dependente de instalações das edificações e design do equipamento (acceptability)
- HFCs não saturados
  - Quando e quais vão estar disponíveis comercialmente?
  - Adequação técnica aos sub-setores e custos operacionais ?



# Transporte refrigerado

- Maioria dos equipamentos utiliza **HFCs**
- **HCFC-22** é usado em navios frigoríficos e transporte rodoviário em países em desenvolvimento
- Desenvolvimento de sistemas com substancias está em curso mas com diverso desafios técnicos e requisitos de segurança
- As substancias **baixo-GWP** mais promissoras são **hidrocarbonetos e dióxido de carbono**



# Refrigeracao Industrial

- **Amônia** é o refrigerante dominante nas aplicações de refrigeração de grande porte
- Nas aplicações onde a toxicidade da **amônia** não é aceitável, **dióxido de carbono** pode ser uma alternativa
- **HFCs alto-GWP** não são usados significativamente em sistemas de refrigeração de grande porte
- É improvável que os **HFCs baixo-GWP** desenvolvidos para outras aplicacoes (ar condicionado automotivo) sejam utilizados neste setor



# AC Unitário

- Quase todos equipamentos usavam **HCFC-22** antes de 2000, e a transição está completa ou quase finalizada nos países desenvolvidos
- Nos países desenvolvidos, **HFCs alto-GWP** tem sido as alternativas dominantes, sendo o **R-410A** o mais amplamente utilizado (**R-407C** é usado em certas regiões); **hidrocarbonetos** estão sendo utilizados em aplicações de baixa carga
- Em países em desenvolvimento, substituições de **HCFC-22** no curto prazo serão **R-407C** e **R-410A**, com **hidrocarbonetos** para aplicações de baixa carga



# Unitary AC

- **HFC-32** is a lower GWP alternative for **HCFC-22** than **R-410 A** (one third of the GWP)
- As experience with flammability increases, **HFC-32** is likely to become the future **HCFC-22** substitute, rather than **R-410A**
- Usage of **hydrocarbons** is expected to increase
- **Low-GWP HFCs** might become replacements for the **high-GWP HFC blends**; however,



# Chillers

- Centrifugas empregam **HFC-134a** e **HCFC-123**; neste momento não é possível dizer se as opções de baixo-GWP (como **HFCs baixo-GWP**, e.g. **HFC-1234yf**) serão consideradas adequadas para chillers centrífugos
- Uso de **amônia** em chillers é mais comum em equipamentos de tamanho pequeno (comp. deslocamento positivo); **HCs** também são utilizados em um número limitado de aplicações; a questão de segurança é uma preocupação em certas regiões



# Chillers

- Em regiões onde as empresas, o governo apoiam soluções com hidrocarbonetos, preocupações com segurança foram superadas por meio de engenharia, treinamento de técnicos e mudanças na legislação
- **Dióxido de carbono** é uma alternativa para chillers que também produzem água quente
- **Água (R-718)** tem sido aplicada em muitos poucos casos



# Ar Condicionado Automotivo

- **HCFCs** são principalmente utilizados em ar condicionado de ônibus e trens; as alternativas são **HFC-134a** e **dioxido de carbono**
- A substituição de **HFC-134a** em carros de passageiros vai continuar
- As opções iniciais de substituição do **HFC-134a** com  $GWP < 150$  são **carbon dioxide** e **HFC-152a**; atualmente a alternativa mais importante é o **HFC-1234yf**
- Todas opções tem “eficiência energética” comparável.
- Aparentemente a alternativa mais considerada pelas empresas automotivas é o **HFC-1234yf**



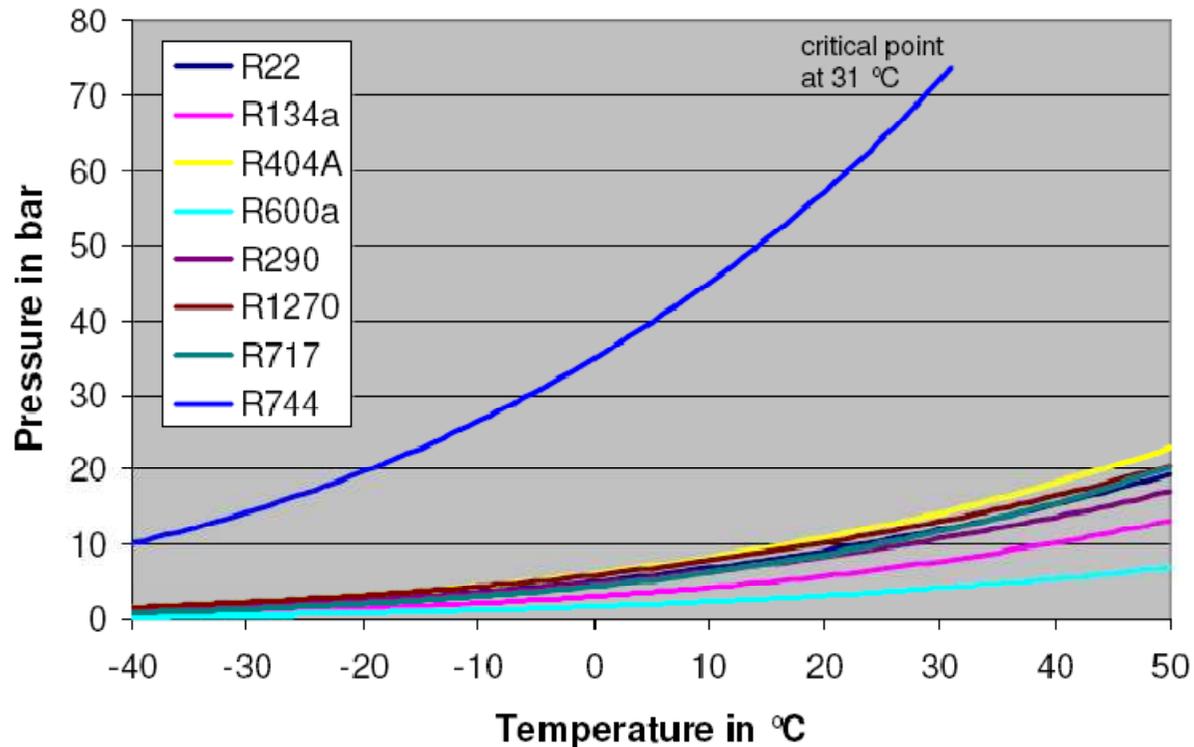
# Dióxido de Carbono ( CO<sub>2</sub>, R-744)

- Dióxido de carbono é um fluido refrigerantes que vem sendo utilizado há mais de um século.
- Tem boa compatibilidade química com os materiais comuns e uma solubilidade boa com diversos óleos lubrificantes.
- Não tem ODP e apresenta GWP insignificante.
- R-744 é classificado pelas normas como refrigerante A. Não inflamável, tóxico em concentrações moderadas, acima de 5% em volume no ar.
- É de baixo custo e disponível em qualquer quantidade em qualquer parte do mundo.
- Tem propriedades bem conhecidas e documentadas.



# Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>, R-744)

- A grande diferença entre CO<sub>2</sub> e outros refrigerantes comuns é sua relação pressão-temperatura, e particularmente sua baixa temperatura crítica de ~31 °C

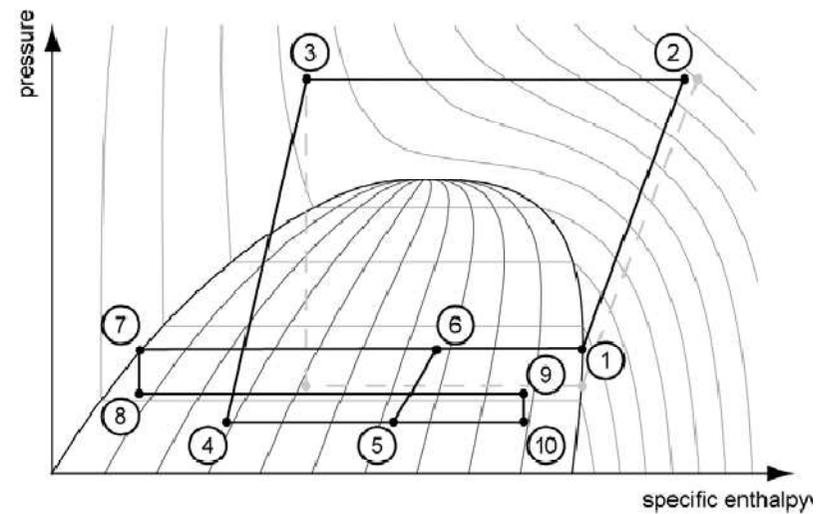
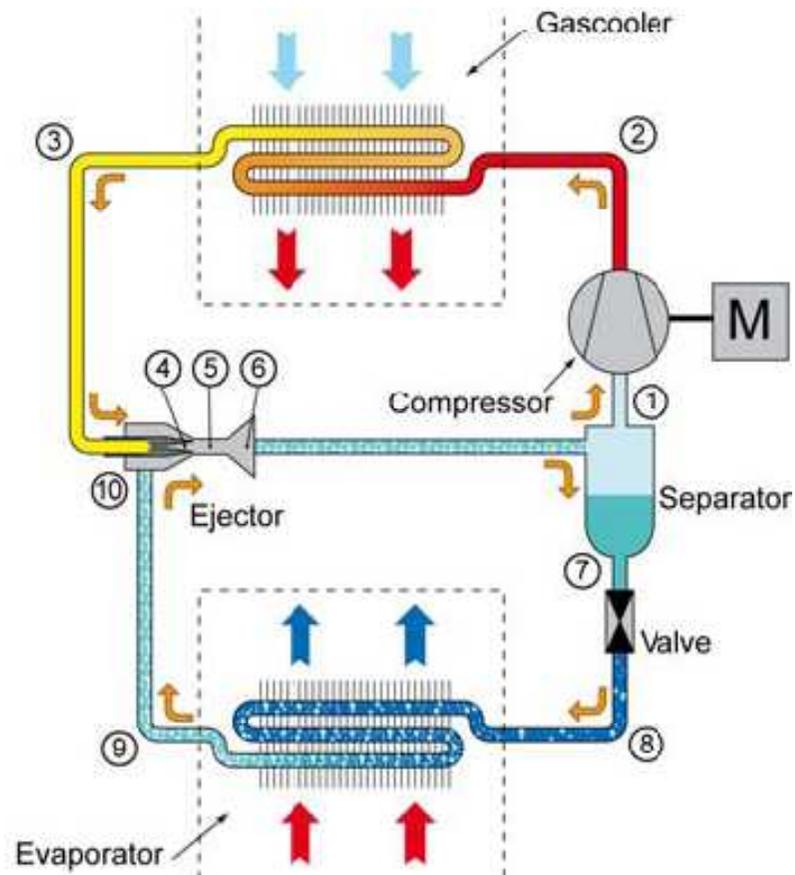


# Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>, R-744)

- O ciclo transcrito básico é potencialmente menos eficiente que um ciclo de compressão convencional em função das grandes perdas termodinâmicas.
- Esforços significativos de pesquisa e desenvolvimento estão em curso para aumentar a eficiência do ciclo, através de desenvolvimento de expansores (ao contrário de válvulas de expansão), ejetores de forma a recuperar as perdas.
- Dióxido de carbono está sendo considerado em sistemas de ref. para supermercados tanto em sistemas de expansão direta quanto em sistemas em cascata com dióxido de carbono no estágio de baixa temperatura e amônia ou R404A no estágio de média temperatura



# Ciclo com Ejetor - CO<sub>2</sub>



# Compressores para CO<sub>2</sub>



<http://www.r744.com/products>.



INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA - IMT

*Roberto de Aguiar Peixoto*

# Bombas de Calor CO<sub>2</sub>



# Amônia (NH<sub>3</sub>, R-717)

- No período de 1930 a 1990, quase todas legislações para construção de edifícios, normas para equipamentos e para projetos de sistemas de ar condicionado e procedimentos de instalação foram desenvolvidas para equipamentos e sistemas utilizando refrigerantes halogenados.
- Além disso, os fornecedores importantes de equipamentos desenvolveram produtos para atender estas normas que permitia somente o uso de refrigerantes halogenados.
- Os arquitetos, engenheiros, e empreiteiros utilizaram sistemas de refrigerantes halogenados em seus projetos e instalações de condicionamento de ar.
- Portanto, halogenados tornaram-se os refrigerantes escolhidos para aplicações comerciais e residenciais de condicionamento de ar, enquanto amônia permaneceu o refrigerante para refrigeração industrial.



# Amônia (NH<sub>3</sub>, R-717)

- A amônia (R-717) é um refrigerante sem impacto ambiental direto porque não destrói o ozônio atmosférico, tem um potencial de destruição de ozônio (ODP) zero, assim como não contribui para o aquecimento global, pois tem um potencial de aquecimento global (GWP) também zero.
- Em função de suas propriedades termodinâmicas excelentes para a utilização como fluido refrigerante em sistemas de refrigeração por compressão de vapor, o uso da amônia implica em um consumo menor de energia que o uso de outros refrigerantes em sistemas industriais de refrigeração de grande porte.
- Com relação à questão da segurança, amônia tem um histórico de bom desempenho comprovado em parte por causa do seu odor reconhecível e facilmente detectável, instalações implantadas em conformidade com normas da indústria, e de operadores bem treinados



# Amônia (NH<sub>3</sub>, R-717)

- a. Refrigeração Industrial e comercial: sistemas em cascata NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>
- b. Sistemas de absorção
- c. Carga pequena e sistema com menos fugas
- d. **Refrigeração Comercial Supermercados**  
**Sistemas Indiretos (típicos para amônia)**
  - **Monofásicos**
  - **Ice slurry**
  - **Dióxido de Carbono**



# Hidrocarbonetos (HCs)

- Os refrigerantes hidrocarbonetos foram introduzidos no começo do século XX (na Alemanha em 1916).
- Nos anos 20 e 30, refrigeradores foram desenvolvidos utilizando isobutano (R-600a) como fluido refrigerante.
- Gradualmente, os CFCs substituíram todos os outros refrigerantes, mesmo assim no início dos anos 50 podiam ser encontrados produtos novos no mercado europeu utilizando isobutano. Logo em seguida uma mudança mundial para CFC-12 se realizou.
- Seus usos como fluidos de trabalho se restringiram a grandes plantas de refrigeração industrial dentro da indústria do petróleo e de gás.



# Hidrocarbonetos (HCs)

- Os hidrocarbonetos são incolores e quase inodoros e têm potencial de esgotamento de ozônio zero (ODP = 0) e potencial de aquecimento global direto desprezível (GWP = 3).
- A opção de uso de hidrocarbonetos como refrigerantes alternativos aos CFCs recebeu atenção considerável na Alemanha em 1990/1991.
- Em 1993 uma companhia iniciou a venda de refrigeradores usando uma mistura de propano e isobutano como refrigerante.
- Como resultado de ações tomadas pelo Greenpeace, e aumento da consciência ambiental a opção hidrocarbonetos se tornou realidade.



# Hidrocarbonetos (HCs)

- Os hidrocarbonetos são tecnicamente viáveis para serem utilizados em todos tipos de sistemas mas aplicações práticas são restringidas por códigos de segurança e regulamentos nacionais.
- Os hidrocarbonetos são inflamáveis e medidas adequadas de segurança devem ser usadas durante manipulação, fabricação, manutenção e assistência técnica e disposição do equipamento.
- Diversos países têm legislação e normas técnicas sobre as limitações de uso e dos aspectos de segurança necessários.



# Hidrocarbonetos (HCs)

- a. Carga pequena e sistema com menos fugas
- b. Sistemas em cascata
- c. **Circuitos secundários (Refrigeração Supermercados)**



# Cenário Internacional



[www.refrigerantsnaturally.com](http://www.refrigerantsnaturally.com)

Refrigerants, Naturally is supported by Greenpeace and the United Nation Environment Programme and recognised as a "Partnership for Sustainable Development" by the UN Commission on Sustainable Development



INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA - IMT

*Roberto de Aguiar Peixoto*

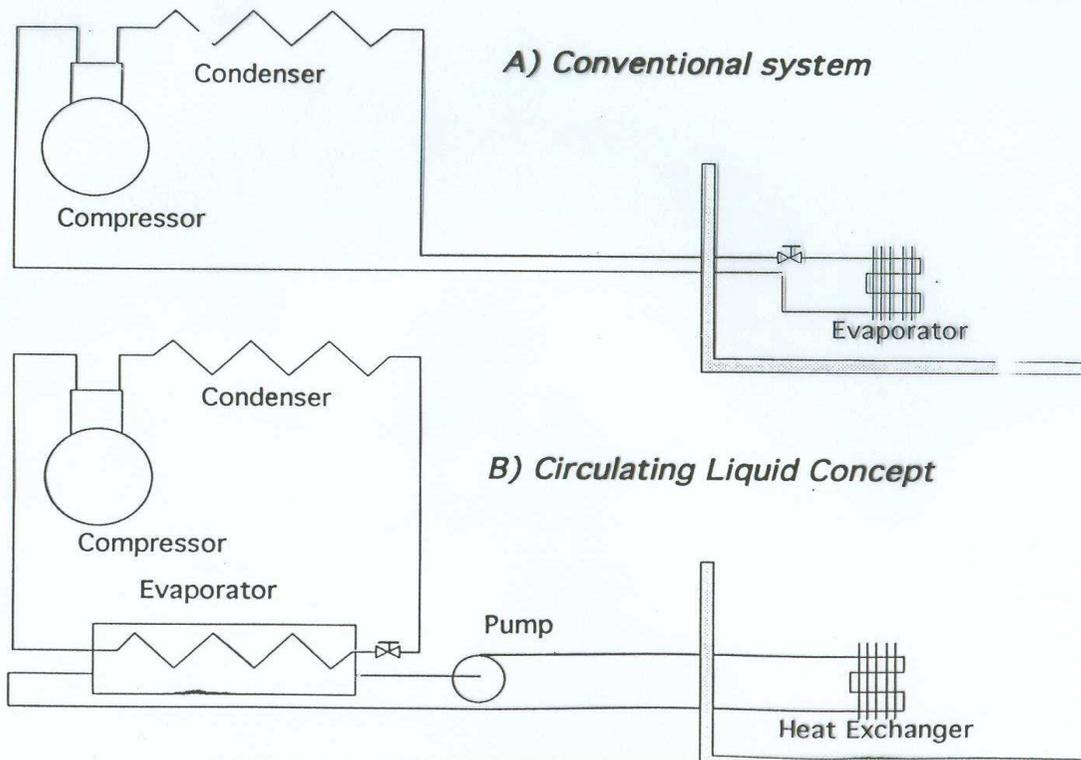
# Eurammon

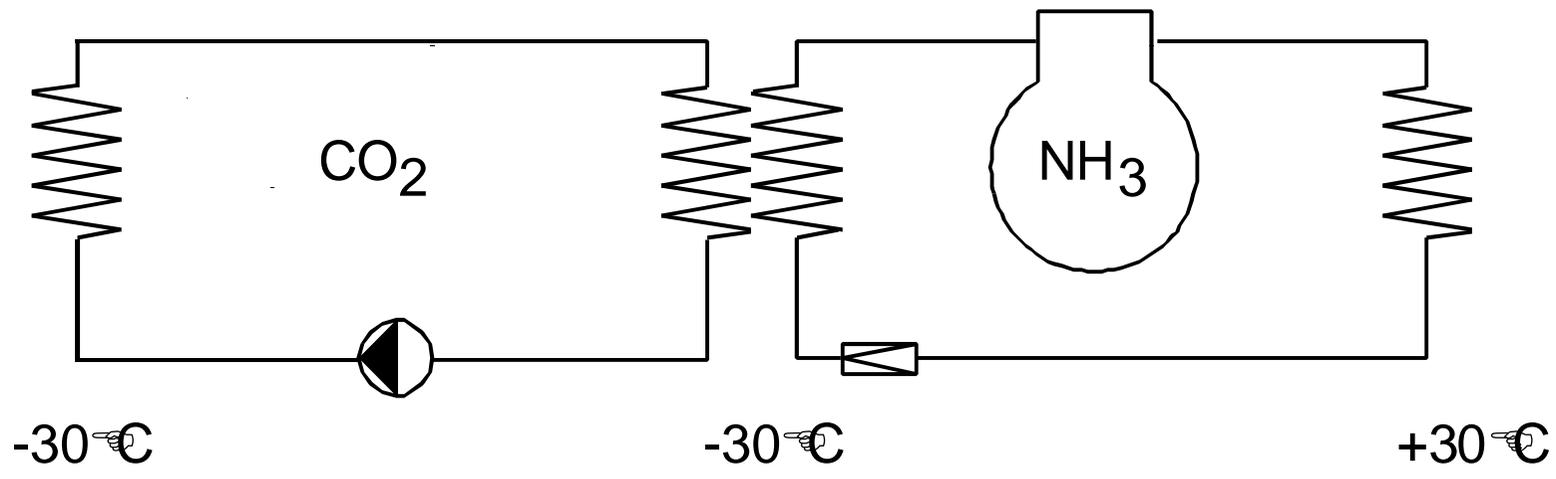
- O eurammon é uma iniciativa conjunta de empresas, instituições e indivíduos que estão comprometidos com o aumento do uso de refrigerantes naturais.
- Pode ser caracterizado como um centro de competência para o uso de fluidos de trabalho naturais em refrigeração.
- Sua missão é criar uma plataforma de informação e conhecimentos compartilhados com o objetivo de incentivar a consciência geral e a aceitação de refrigerantes naturais, promover seu uso nos interesses de um meio ambiente saudável e colaborar para desenvolver sistemas de refrigeração dentro do conceito do desenvolvimento sustentável  
([www.eurammon.com/englich/html/index.html](http://www.eurammon.com/englich/html/index.html))

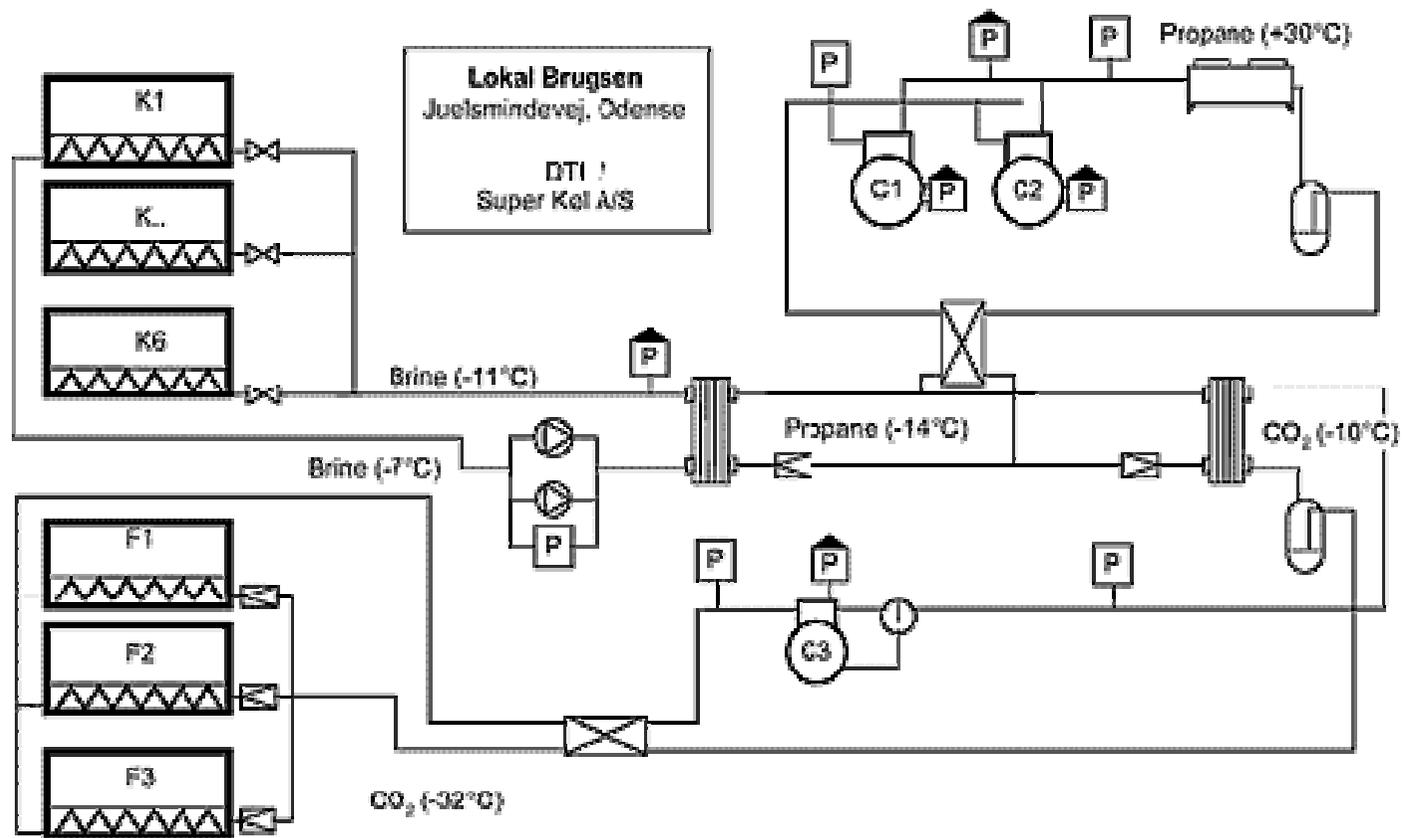


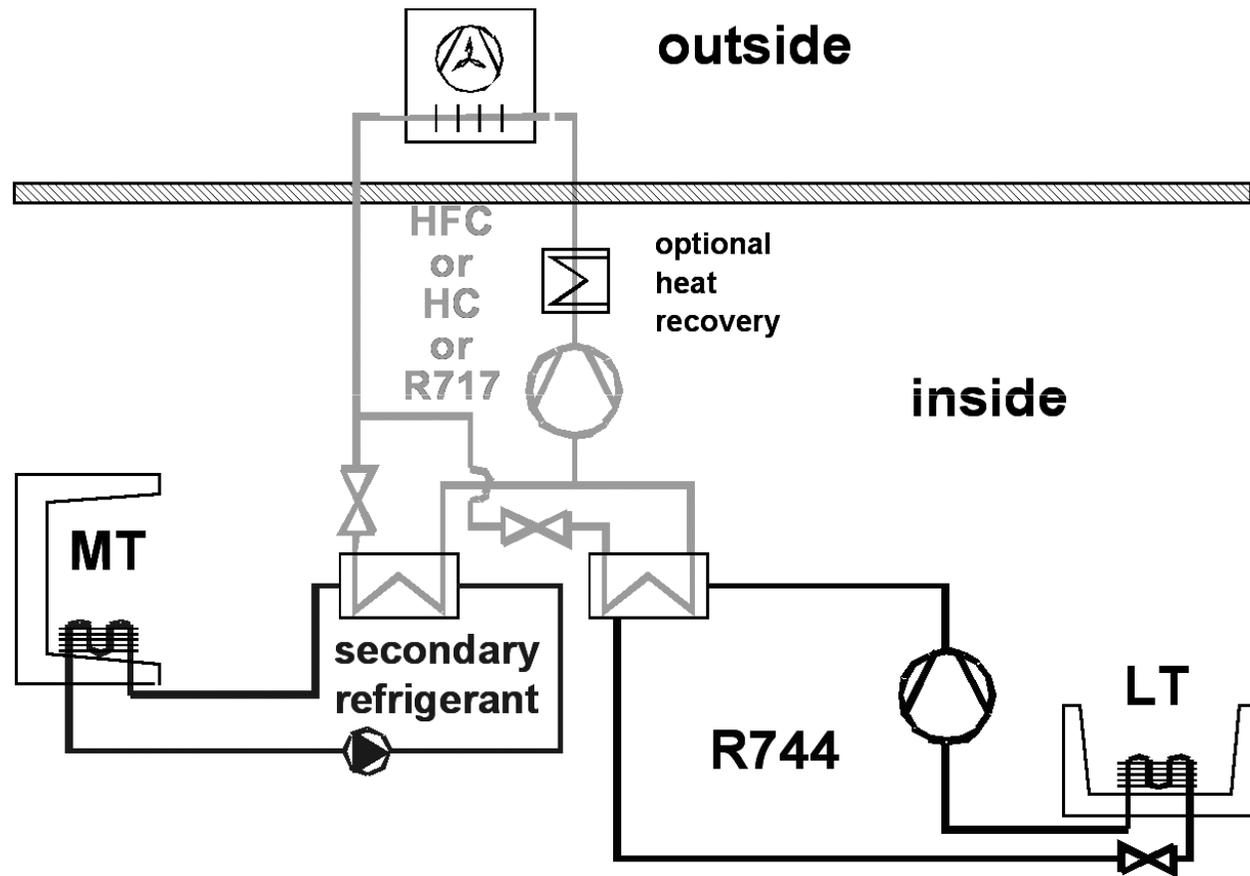
# Sistemas Indiretos de Refrigeração

## What is Indirect (Secondary) Refrigeration System









*Natural Refrigerants - GTZ*



INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA - IMT

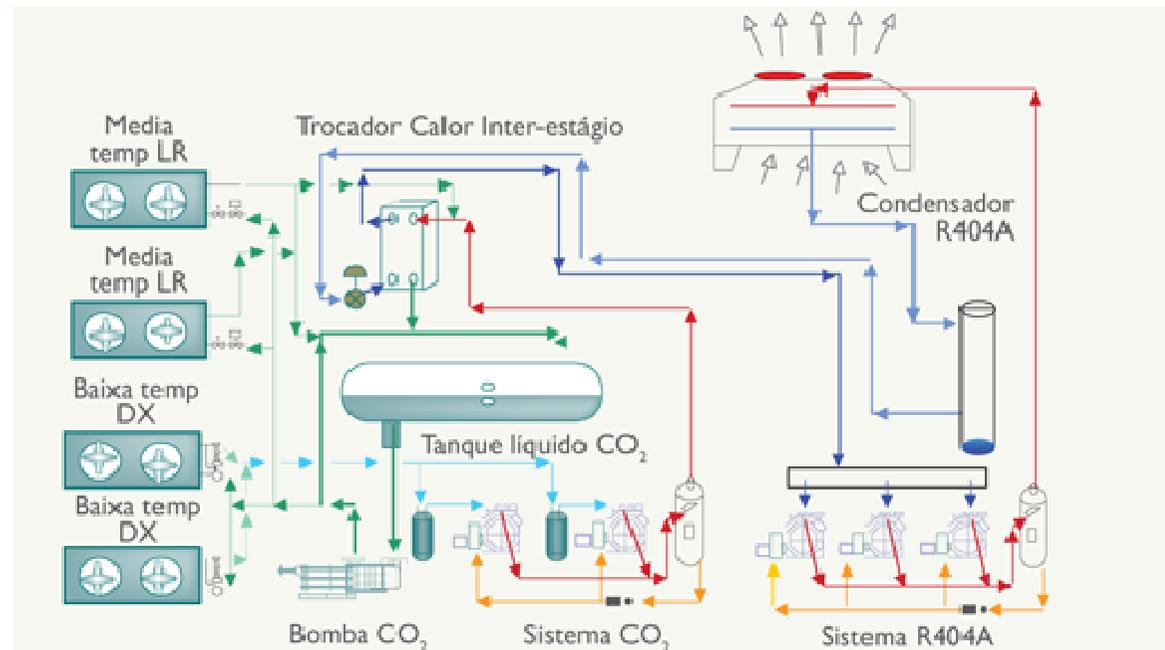
*Roberto de Aguiar Peixoto*

	GWP	Flam- mability	Toxicity	Price of Refrigerant	Price of System	Theoretica l system efficiency
HFCs	high	No	no	moderate	low	good
Hydrocarbons	low	Yes	no	low	low to medium	good
Carbon Dioxide	low	No	only at high concentr.	low	medium	medium
Ammonia	low	can be ignited	yes	low	medium to high	good

*Natural Refrigerants - GTZ*



# Sistema Cascata com CO<sub>2</sub>/R-404A



*Evaporadores de baixa temperatura com expansão direta e os de média temperatura com re-circulação de líquido*

*Climatização e Refrigeração*



INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA - IMT

*Roberto de Aguiar Peixoto*

# CONCLUSÕES REFRIGERANTES NATURAIS

- Na linha dos esforços globais para proteção do clima, há um interesse em "refrigerantes naturais".
- O uso de refrigerantes não-sintéticos, naturais, basicamente amônia (R-717), dióxido de carbono ( R-744) e HCs (R-600a, R-290, R-1270) está aumentando em função das suas características ambientais e de desempenho favoráveis
- Os refrigerantes naturais são muito baratos, o que tem um efeito positivo não só na carga inicial de uma instalação, mas também, considerando os custos operacionais devido aos vazamentos.
- Por outro lado devido à questão de segurança, estima-se que os custos de investimento para instalações usando refrigerantes naturais é mais alto que para instalações usando refrigerantes sintéticos, dependendo do tipo e tamanho do sistema.



# CONCLUSÕES REFRIGERANTES NATURAIS

- Não há atualmente um refrigerante ideal, deve-se considerar cada sistema de RAC dentro de suas particularidades para a escolha do refrigerante.
- Comparando com CFCs e HCFCs o uso destas alternativas apresenta desafios técnicos, incluindo as questões de segurança e eficiência.



# CONCLUSÕES

- O retorno a um conjunto padronizado constituído por um pequeno número de refrigerantes para a maioria das aplicações não deve ocorrer no médio prazo.
- A maior probabilidade é de um grupo formado por vários refrigerantes que continuará a desenvolver-se ao longo das próximas décadas.



# Fluidos Refrigerantes Candidatos

Table 1. Candidates' Components

Candidates	Considerations
"Natural refrigerants" (NH <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub> , HCs, H <sub>2</sub> O, air)	Efficiency, for NH <sub>3</sub> and HCs also flammability
Low GWP HFCs (R-32, R-152a, R-161...)	Flammability; most suppressants have high GWP
HFEs	Disappointing thus far, still?
HEs (R-E170...)	Flammability
Unsaturates (olefins) (R-1234yf...)	Short atmospheric lifetime and therefore low GWP flammability? Toxicity? Compatibility?
HFICs, FICs [R-311I (CH <sub>2</sub> FI), R-131I (CF <sub>3</sub> I)...]	Expensive, ODP>0 but not in MP some are toxic; compatibility?
Fluorinated alcohols (-OH) fluorinated ketones [-C(=O)-]	Efficiency? Flammability? Toxicity? Compatibility?
Others	??? — <u>no ideal refrigerants</u>

© 2006.10 James M. Cam

