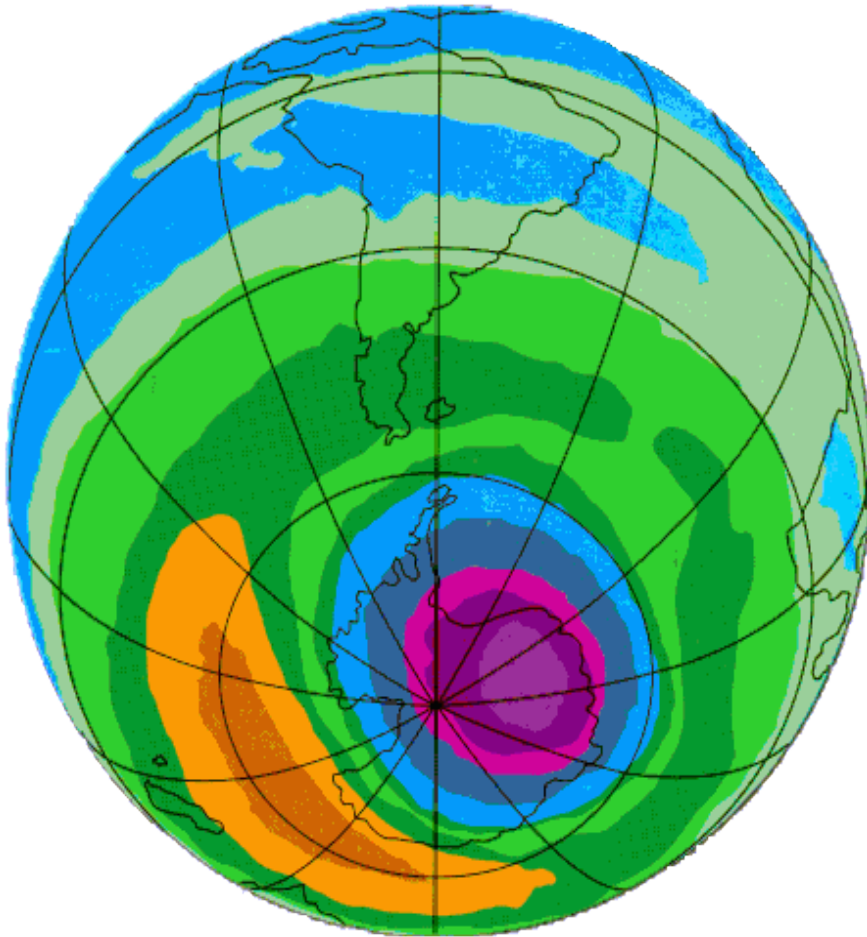


***Uso de Fluidos Refrigerantes
Hidrocarbonetos em
Refrigeração Doméstica, Comercial e
Ar Condicionado Estacionário***



Contexto Ambiental – Questões Globais



INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA - IMT

Roberto A. Peixoto

Cronograma de Eliminação dos HCFCs

Países Industrializados

**PAÍSES DESENVOLVIDOS (Ñ A5)
COMPROMISSOS EXISTENTES**

**NOVOS COMPROMISSOS EM FUNÇÃO
DO AJUSTE MONTREAL 2007**

LINHA DE BASE – 2.8% CFC1989 MAIS
100% HCFC 1989

INALTERADO

CONGELAMENTO - 1996

INALTERADO

35% REDUÇÃO EM 2004

75% REDUÇÃO EM 2010

65% REDUÇÃO EM 2010

90% REDUÇÃO EM 2015

99,5% REDUÇÃO EM 2020 *

INALTERADO

ELIMINAÇÃO EM 2030

INALTERADO

- O valor médio anual de 0,5% é restrito a manutenção de equipamentos de refrigeração e ar condicionado*
- durante o período de 2020 – 2030 e sujeito a revisão em 2015.*



Cronograma de Eliminação dos HCFCs

Países em Desenvolvimento

PAÍSES 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.*



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, CO₂, SF₆, N₂O, CH₄)

3º milênio : Quais refrigerantes serão utilizados ?



Opções para Refrigerantes

- Desde o estabelecimento do Protocolo de Montreal, a indústria de refrigeração tem procurado substitutos para os refrigerantes CFCs e HCFCs.
- Nos últimos 15 anos, os fluidos refrigerantes utilizados evoluíram de três ou quatro substâncias destruidoras de ozônio (SDOs) (basicamente CFC-11, CFC-12, HCFC-22 e R-502), para perto de cem fluidos incluindo hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), amônia, dióxido de carbono e hidrocarbonetos (HCs).
- Desta forma, fabricantes de equipamento, projetistas, instaladores e usuários finais tem que tomar decisões sobre quais refrigerantes escolher para substituir SDOs.
- Isto deu origem a questionamentos com respeito a implicações energéticas, ambientais e de segurança das novas substâncias, com a conclusão que não há mais um número pequeno de soluções simples.



Fluidos Refrigerantes Naturais

- Os hidrocarbonetos, a amônia, CO_2 , água e ar, fazem parte de um grupo 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.



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 refrigerant 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 destruição da camada 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 alemã (FORON) com o apoio do Greenpeace 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)

- Graças as suas destacadas características termodinâmicas, os hidrocarbonetos se constituem em eficiente refrigerantes contribuindo para sistemas de refrigeração energeticamente.
- São mais pesados que ar e tem efeito anestésico e asfixiante em altas concentrações. Outro aspecto a destacar e que os hidrocarbonetos estão disponíveis a baixo custo no mundo inteiro.
- Os hidrocarbonetos são solúveis em todos lubrificantes e compatíveis com materiais tais como metais e elastômeros que tradicionalmente são usados em equipamento de refrigeração



Hidrocarbonetos (HCs)

- Várias referências da literatura informam que sistemas com refrigerantes HCs tem eficiência mais alta comparados com sistemas equivalentes utilizando HFCs.
- Outras reivindicam que essa eficiência mais alta pode ser alcançada com sistemas de HFC se os custos extras usados para os requisitos de segurança necessários aos sistemas com HCs forem usados para melhorar a eficiência de sistemas com HFCs.



Refrigeração Doméstica

- No panorama global, HC-600a e HFC-134a continuam a ser as alternativas dominantes para refrigerantes substitutos do CFC-12 em novos equipamentos de refrigeração doméstica.
- Estima-se que 63% da produção atual de refrigeradores domésticos emprega HFC-134a e 35% utiliza refrigerantes hidrocarbonetos (basicamente HC-600a).
- 350 milhões de refrigeradores com HC-600a estão em operação em vários países da Europa, América latina, e na China, Japão, Rússia, Índia, Austrália
- Estados Unidos: GE anunciou que vai utilizar refrigerante isobutano nos seus refrigeradores



- Aspectos comerciais tal como custo, disponibilidade de materiais apropriados e componentes, acesso a assistência técnica, disponibilidade de suporte de serviços e infra-estrutura de treinamento devem ser integrados com os aspectos técnicos para uma avaliação completa.
- Características
 - Baixo nível de ruído devido a pressões mais baixas;
 - Possibilidade de uso de óleo mineral;
 - Vida útil dos componentes alta, por ex. Compressores;
 - Baixas temperaturas de descarga.
- Questões relativas a reparos e manutenção no campo



- Embraco desenvolveu um microcompressor com HC-600a, para aplicações nas áreas de tecnologia de informação, telecomunicações, refrigeradores portáteis, equipamentos médicos e militares, com previsão de entrar no mercado em 2010
- Dimensões: 25 x 100mm



Refrigeração comercial

- Refrigeração comercial é composta por três tipos de equipamentos:
 - unidades compactas ("stand-alone");
 - unidades condensadoras;
 - sistemas centralizados.



Uso de HCs em Refrigeração Comercial

- Alguns equipamentos autônomos ("stand-alone"), que tem tecnologia semelhante a dos refrigeradores domésticos, e que usam hidrocarbonetos como refrigerantes estão disponíveis em países europeus
- Expositores, "vending machines" e equipamentos comerciais compactos de pequeno porte foram desenvolvidos por várias companhias em vários países usando HC-600a, HC-290 e misturas de HC como refrigerante.
- AHT (Gra- Bretanha) 3 milhões refrigeradores e congeladores para sorvetes e bebidas (ice cream cabinets, bottle coolers) (2004)
- Cargas de HC tendem a ser aproximadamente 50% menores que as equivalentes de HFCs e HCFCs, devido à baixa densidade do refrigerante HC, o que reduz o impacto de tais limites.





Uso de HCs em Refrigeração Comercial

- As limitações da carga de refrigerante HC são especificadas nas normas de segurança (e.g. EN 378, IEC 60335-2-89), onde as máximas quantidades por circuito depende da aplicação.
- A norma europeia EN 378 se refere a requisitos de segurança e ambientais de sistemas de refrigeração
- Princípios adotados pela Unilever, Coca-cola, PepsCo, para eliminação de HFCs
- Pepsi: 5.000 vending machines com HCs
- Unilever: 300.000 ice cream cabinets
- Hidrocarbonetos x CO₂



Uso de HCs em Refrigeração Comercial

- Na área de refrigeração para supermercados na Europa, sistemas indiretos estão recebendo cada vez mais atenção
- Objetivo: limitar a carga de refrigerante (independente do tipo de refrigerante) ou permitir o uso de refrigerantes amônia ou hidrocarbonetos.
- Sistemas com amônia e hidrocarbonetos como refrigerantes primários em sistemas indiretos (incluindo HC 1270, HC 290 e misturas HC290/170) estão implantados e operando em vários países europeus.

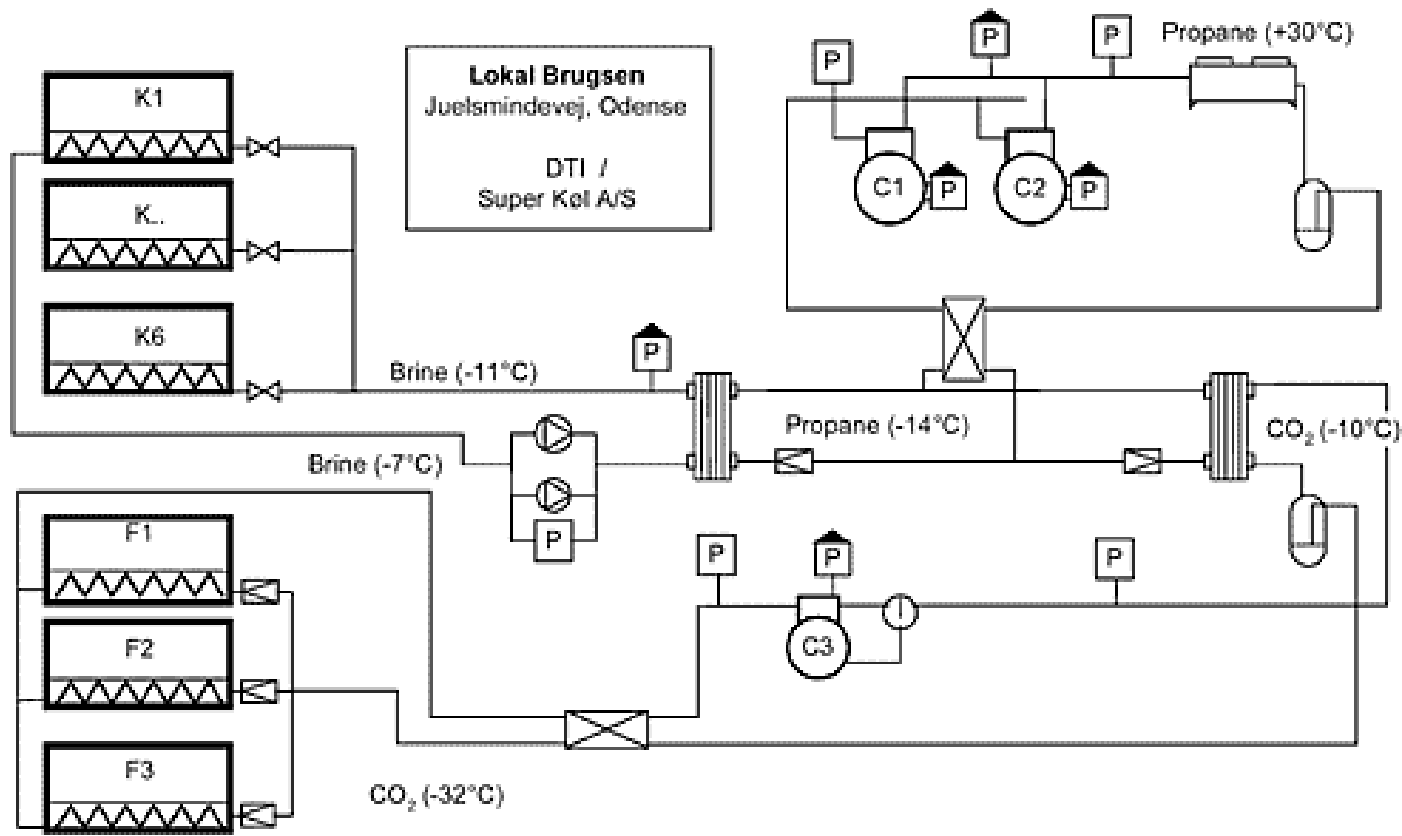


Uso de HCs em Refrigeração Comercial

- Alguns resultados iniciais publicados mostram que sistemas indiretos com amônia e hidrocarbonetos apresentavam custo inicial 10% a 35% maior e consumo de energia 5% a 20% maior que sistemas de expansão direta, devido aos requisitos adicionais do sistema (trocadores de calor e bombas para circulação com seus custos e penalidades de consumo de energia).
- Hoje pode-se dizer que um sistema indireto bem projetado e instalado apresenta custos e consumo de energia muito próximos de sistemas de expansão direta.
- O trabalho de aprimoramento dos projetos de sistemas indiretos continua com as metas de reduzir o custo o consumo de energia nestes sistemas.
 - a. Carga pequena e sistema com menos fugas
 - b. sistemas em cascata



Uso de HCs em Refrigeração Comercial



Uso de HCs em Equipamentos de Ar Condicionado Compactos

- Em algumas categorias de produtos, equipamentos com baixa carga de refrigerante, os refrigerantes hidrocarbonetos também podem ser substitutos adequados para o HCFC-22.
- Normas internacionais de segurança foram desenvolvidas (IEC 60335-2-89) para definir os requisitos específicos de projeto e de aplicação (instalação, manutenção, etc.).



- Informações detalhadas para o projeto de equipamentos com HCs são fornecidas em “*Guidelines for the Safe Use of Hydrocarbon Refrigerants*”, *Air Conditioning and Refrigeration Industry Board*”, um documento que apresenta diretrizes para o projeto de sistemas de refrigeração e ar condicionado usando refrigerantes hidrocarbonetos, **ACRIB**, UK, 2000.
- Equipamentos compactos de ar condicionado de pequeno porte com baixa carga de refrigerante hidrocarboneto (HC-290) são fabricados em alguns países da Europa (por exemplo, os condicionadores de ar portáteis fabricados pela empresa DeLonghi na Itália).



Uso de HCs em Unidades Resfriadoras de Líquidos ("Chillers")

- Embora refrigerantes hidrocarbonetos tenham uma longa história de aplicação em chillers industriais em plantas petroquímicas, antes de 1997/98 eles não eram usados em chillers para aplicações de condicionamento de ar devido a questões relativas à segurança dos sistemas.
- Atualmente, vários fabricantes europeus comercializam chillers com refrigerantes hidrocarbonetos para diversas capacidades e aplicações.



- Existem no mercado chillers resfriados (com condensação) a ar e a água para aplicações de temperaturas de evaporação médias e altas usando refrigerantes HC-1270 (propileno), HC-290 (propano), e uma mistura HC-290/HC-170 (propano/etano).
- As capacidades de refrigeração variam de 20 kW a 300 kW para as unidades de alta temperatura e de 30 kW a 150 kW para as unidades de temperaturas médias, sendo que a carga de refrigerante varia de 3 a 34 kg. Chillers resfriados a água e a ar para aplicações de baixa temperatura de evaporação são também oferecidos com capacidades de refrigeração de até 45 kW.



Uso de HCs em Unidades Resfriadoras de Líquidos ("Chillers")

- As vendas anuais de chillers com hidrocarboneto têm sido nos últimos anos de 100 a 150 unidades.
- Os mercados mais importantes são edifícios de escritório, resfriamento de processos industriais e supermercados, onde são utilizados em sistemas secundários de refrigeração.
- Nestes casos, o chiller é, em geral, instalado numa sala de máquinas com um ventilador a prova de explosão (sem faíscas) para ventilação constante ao exterior da sala.



- Uma configuração alternativa é a instalação externa do chiller, ao ar livre.
- Os refrigerantes hidrocarbonetos são usados em chillers centrífugos em plantas petroquímicas, onde materiais muito perigosos são usados rotineiramente e o pessoal é altamente qualificado em medidas de segurança e respostas a situações de emergência



Uso de HCs em Unidades Resfriadoras de Líquidos ("Chillers")

- Refrigerantes hidrocarbonetos não tem sido usado em chillers centrífugos para condicionamento ar devido a preocupação com segurança de sistemas com grandes cargas de refrigerantes inflamáveis.
- Os hidrocarbonetos HC-601 (pentano) e HC-601a (isopentano) foram propostos como alternativas aos fluidos refrigerantes halocarbonos em chillers centrífugos.
- Estes refrigerantes têm sido considerados como capazes de fornecer um bom desempenho.



REQUISITOS COM RELAÇÃO À CARGA DE REFRIGERANTE HC APRESENTADOS NAS PRINCIPAIS NORMAS

Norma	Tipo de equipamento	Limites de carga máxima para HCs	Outros aspectos tratados pela norma
EN 378	Comercial e industrial	<ul style="list-style-type: none"> carga < 150 g: (sem requisitos de segurança para sistemas herméticos) carga > 150g: (requisitos com relação ao volume da sala e ventilação natural) carga > 5kg: (requisitos com relação válvula de segurança, detector de HC, ventilação mecânica) 	Componentes, dispositivos de segurança, local de instalação, manutenção
ISO 5149	Comercial e industrial	Depende da aplicação	
IEC 60335-2-24	Pequenos refrigeradores e congeladores	150 g	Testes de pressão
IEC 60335-2-40	Equipamentos compactos de ar condicionado e bombas de calor	1 kg ou 5 kg em ambientes externos	Testes de pressão Manutenção
IEC 60335-2-89	Refrigeradores e congeladores comerciais compactos	150 g	Testes de pressão



Questões a Serem Resolvidas no Brasil

- Normas Técnicas (ref. EN 378,...)
- Treinamento capacitação de mecânicos de refrigeração
- Suprimento
- Controle do uso: certificação de mecânicos



Cenário Internacional



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

<http://www.hydrocarbons21.com/>



INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA - IMT

Roberto A. Peixoto

Cenário Internacional

- **ASHRAE publicou um artigo de avaliação “position paper” sobre hidrocarbonetos e refrigerantes naturais, destacando as propriedades e o potencial de minimizar os impactos ambientais com seu uso**



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/englisch/html/index.html)



Avaliação do Impacto Climático e Ambiental

- Comparações entre tecnologias e equipamentos/sistemas com relação ao impacto ambiental são feitas sistematicamente usando procedimentos padronizados (“ferramentas”) e fatores de emissão e não fornecem informação "genérica".
- Ferramentas utilizadas: **TEWI**, **LCCP** (só impactos climáticos), **LCA** (mais amplo inclui impactos ambientais)



Avaliação do Impacto Climático e Ambiental

- **A Avaliação de Ciclo de Vida (LCA):** é o enfoque formalmente mais completo para avaliar e comparar os impactos ambientais de tecnologias. A metodologia para LCAs foi desenvolvido na série de normas internacionais ISO 14040.
- **Impacto Equivalente Total de Aquecimento (TEWI)** tem o alcance mais limitado, mas tem sido o mais aplicado para as tecnologias de RAC. Leva em conta as emissões diretas e indiretas durante a vida útil e o sucateamento do equipamento
$$TEWIs = \sum ORi \times GWPi + \sum DRi \times GWPi + EI$$



Avaliação do Impacto Climático e Ambiental

- **Desempenho Climático no Ciclo de Vida (LCCP)** foi originado do conceito inicial de TEWI e calcula o impacto ao longo da vida útil das emissões diretas e indiretas (consumo de energia) incluindo: emissões não intencionais durante o processo de produção das substâncias químicas, as emissões durante a operação e as emissões quando da disposição final ou reciclagem.

$$\text{LCCPS} = \text{TEWIS} + \sum \text{OR}_i \times (\text{EE}_i + \text{FE}_i) + \sum \text{DR}_i \times (\text{EE}_i + \text{FE}_i)$$



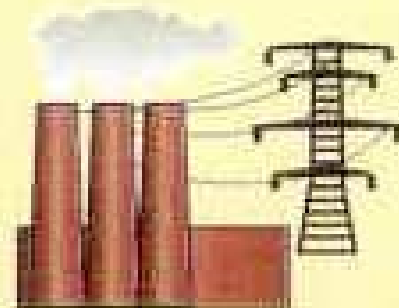
Efeito direto



(emissão de refrigerantes)

+

Efeito indireto



(CO₂ proveniente da produção de energia)



	Carbon dioxide		Carbon dioxide
Country	intensity of Electricity	Country	intensity of Electricity
	(kgCO ₂)kWh ⁻¹		(kgCO ₂)kWh ⁻¹
Argentina	0.319	Netherlands	0.487
Australia	0.885	Norway	0.003
<u>Brazil</u>	<u>0.087</u>	Pakistan	0.524
Canada	0.225	Philippines	0.534
<u>China</u>	<u>1.049</u>	Russia	0.347
France	0.078	S Africa	0.941
Germany	0.512	Saudi Arabia	0.545
Greece	0.876	Singapore	0.816
<u>India</u>	<u>1.003</u>	Sweden	0.041
Indonesia	0.715	Switzerland	0.007
Italy	0.527	Taiwan	0.626
Japan	0.389	UK	0.507
Malaysia	0.465	USA	0.610
Mexico	0.689		



	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

