SISTEMAS DE ÁGUA GELADA

PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs

Projeto para o Gerenciamento de Chillers

Projeto Demonstrativo para o Gerenciamento Integrado no Setor de Chillers

FLUIDOS REFRIGERANTES COM BAIXO GWP – SITUAÇÃO ATUAL E TENDÊNCIAS

Prof. Dr. Roberto Peixoto

27/04/2016 – São Paulo

Execução

SOMAR

Implementação

PNUD

Empoderando vidas. Fortalecendo nações.

Realização

Ministério do Meio Ambiente

GOVERNO FEDERAL BRASIL PÁTRIA EDUCADORA

Sumário

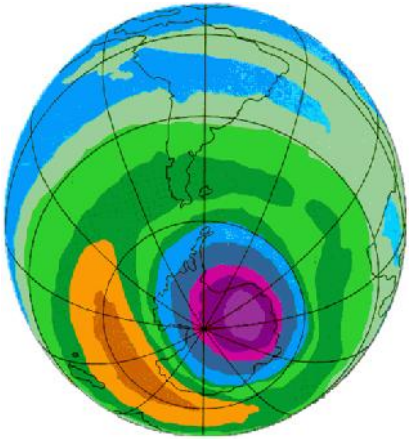
- Situação atual, tendências
- Legislação e políticas de controle dos HFCs
  - Controle dos HFCs pelo Prot. de Montreal
- Alternativas aos HCFCs e aos HFCs de alto potencial de aquecimento global (GWP)
  - Aspectos gerais
  - Alternativas para sistemas de ar condicionado

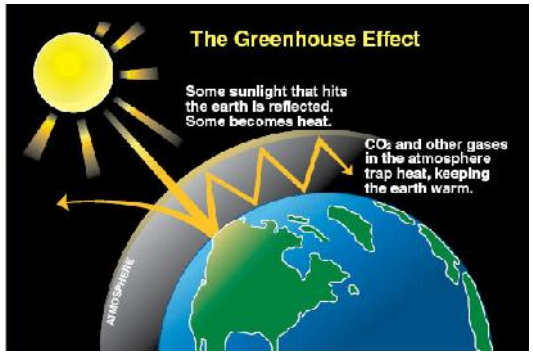
Programa de Eliminação dos HCFCs

- **HCFC-22 (R-22) é o refrigerante mais utilizado em todos os países em desenvolvimento (artigo 5), e tem a maior quantidade instalada (banco) nos equipamentos em operação.**

- **Em 2007 houve um acordo para ajustar a programação do Protocolo de Montreal para acelerar a eliminação progressiva da produção e do consumo de HCFCs.**

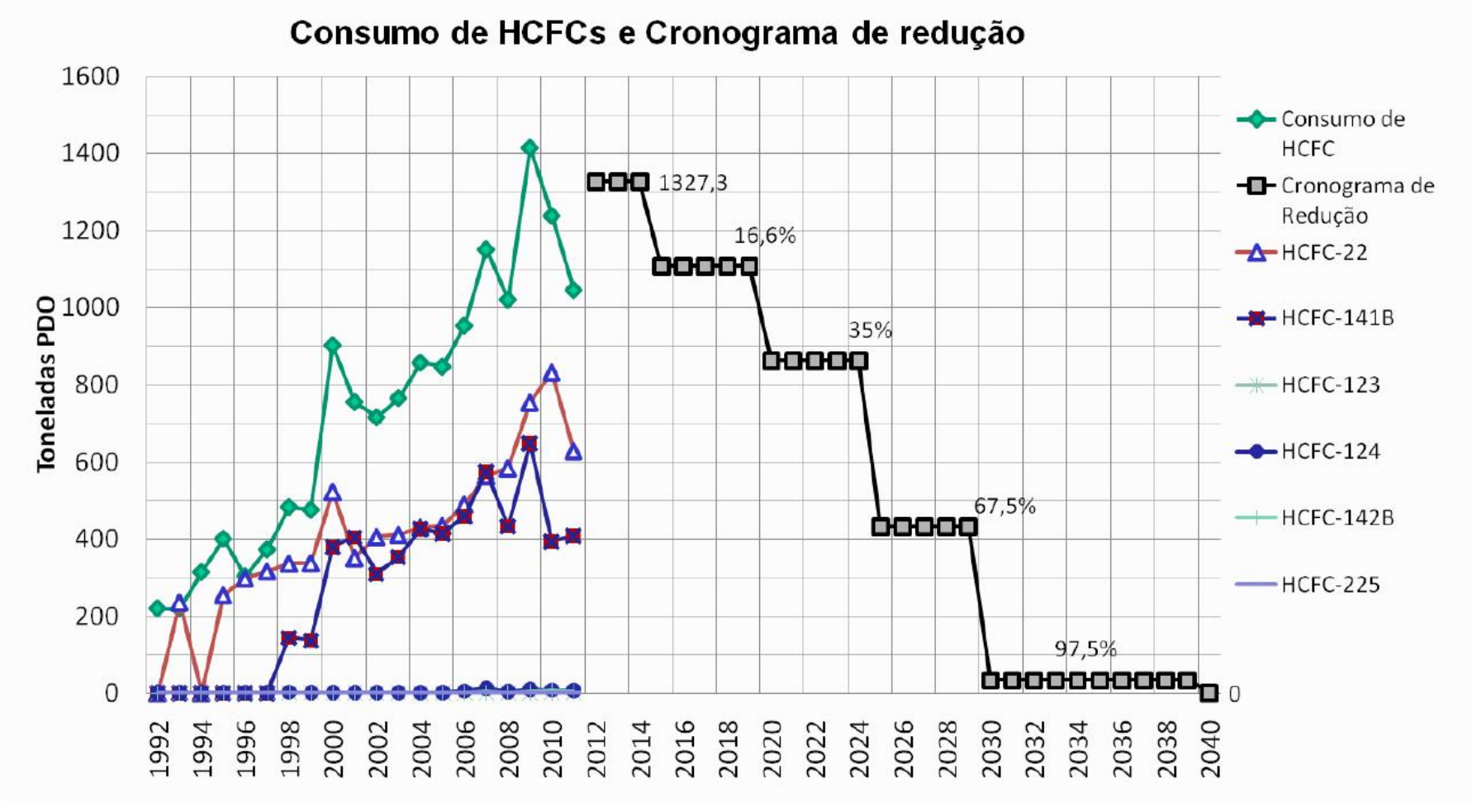
- **Esta decisão foi tomada levando em conta a proteção da camada de ozônio, e com a intenção de reduzir também o impacto do aquecimento global.**





Fonte: http://www.acaire.org/doc/home/hcfc.pdf

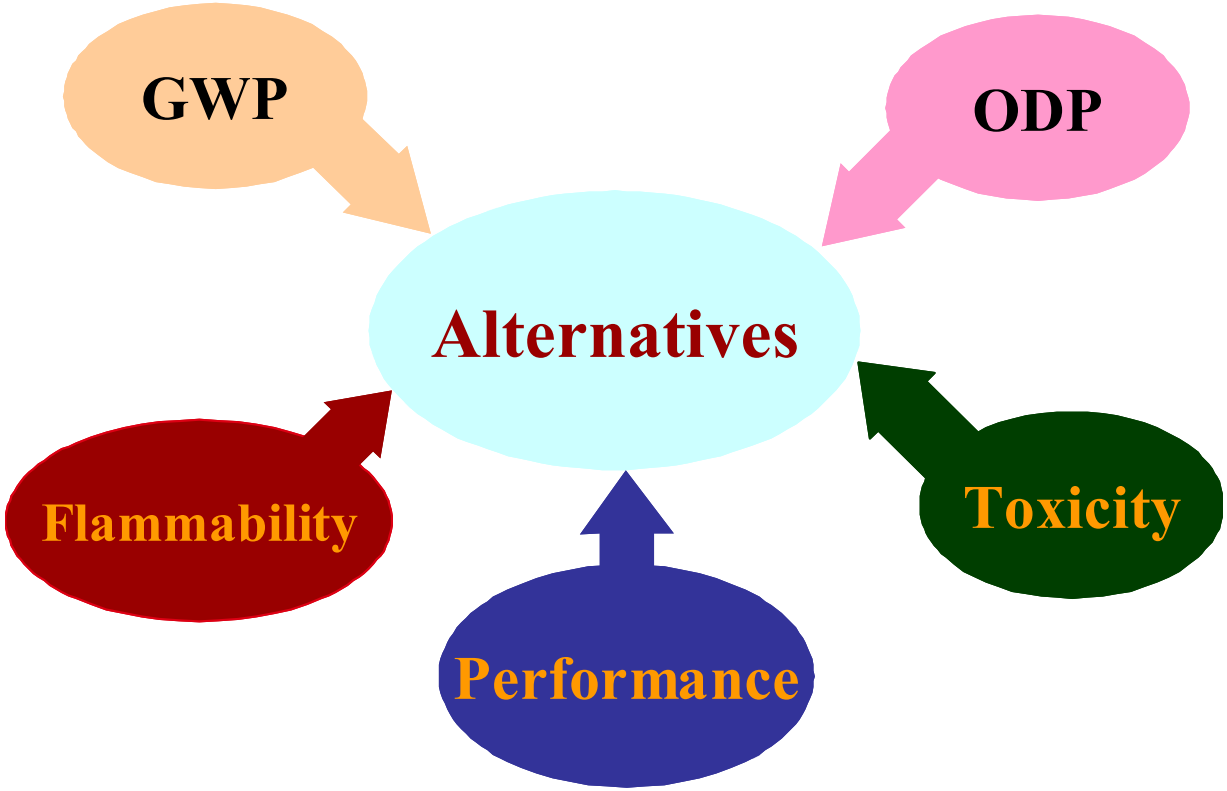
PBH – Cronograma de Redução



A Pergunta Principal:

Quais refrigerantes com baixo GWP substituirão os refrigerantes HCFCs (e HFCs) em uso atualmente?

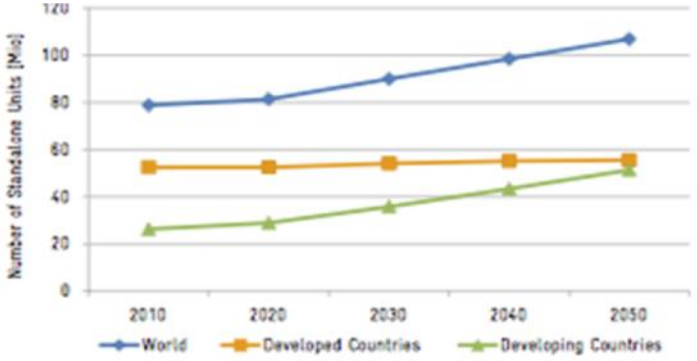
Selection Criteria

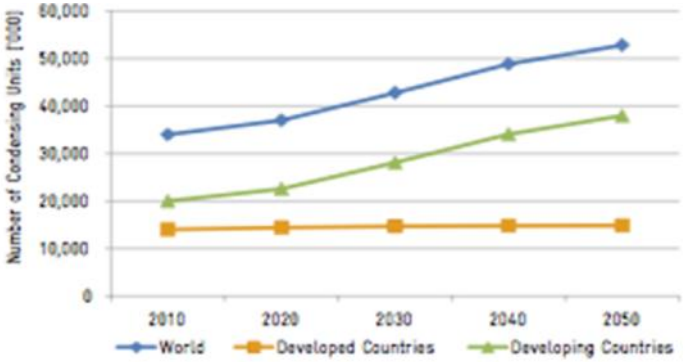


Crescimento do setor de RAC e uso de Refrigerantes

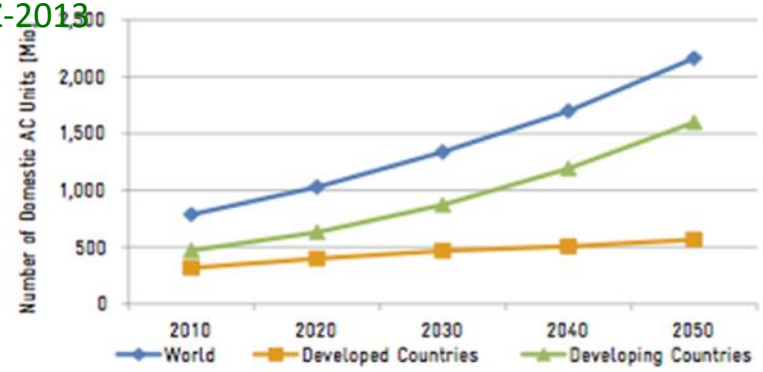
Número de produtos RAC aumentará fortemente nos países em desenvolvimento

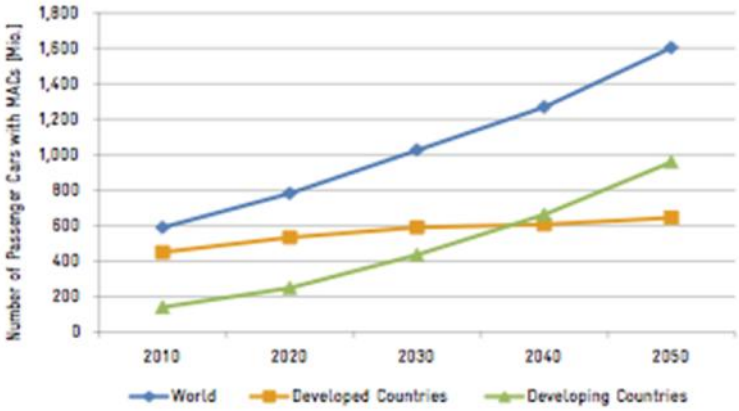
- o crescimento populacional, urbanização rápida, eletrificação e as mudanças nos padrões de consumo
- desenvolvimento da cadeia do frio, refrigeração, ar condicionado comercial e automotivo (MAC)





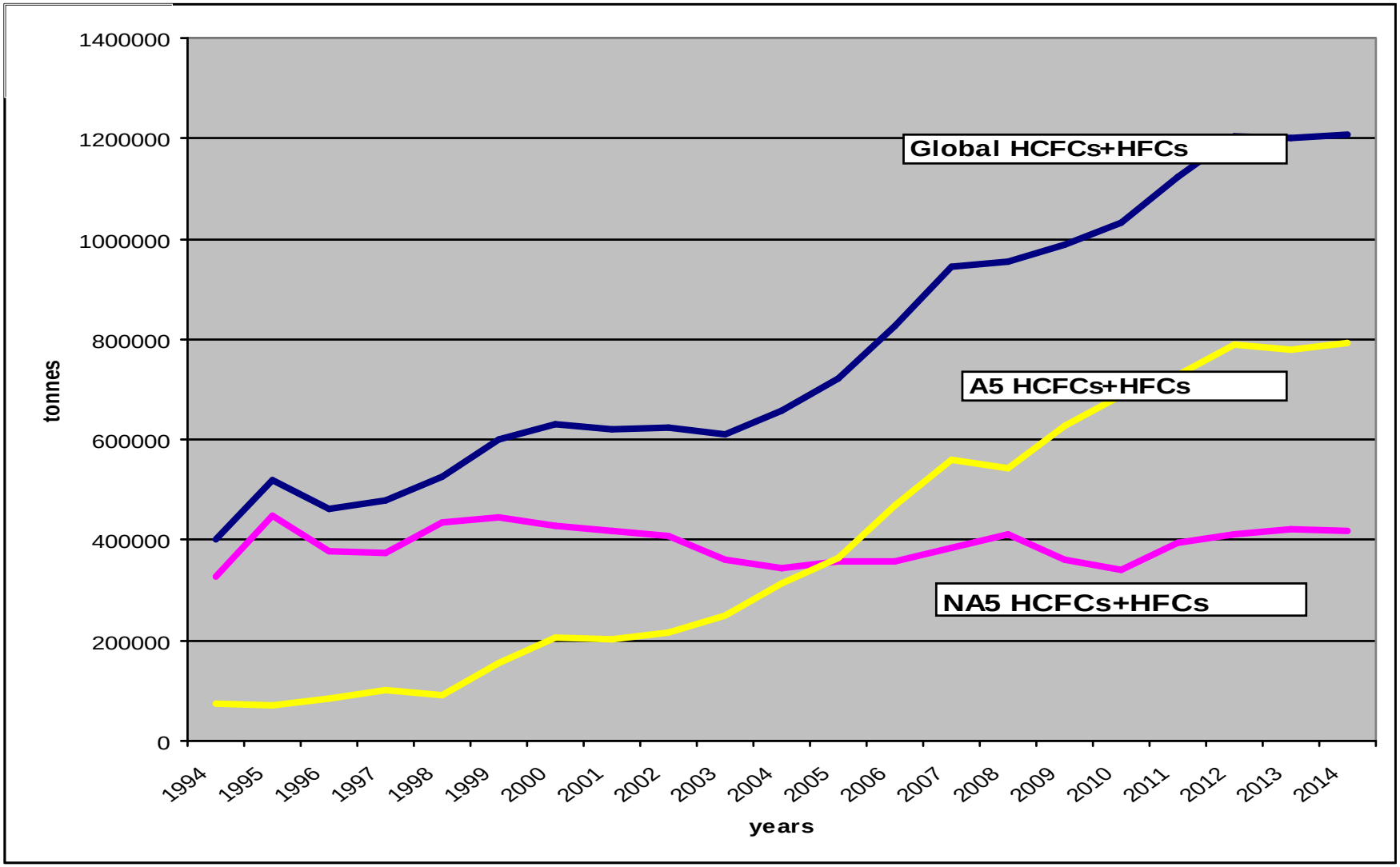
Source: GIZ-2013





Mira
Optician
पाटील ज्यूस सेंटर
PATIL JUICE CENTRE

Crescimento do uso de HCFCs e HFCs



Breve Histórico dos Refrigerantes

1834: refrigeração por compressão de vapor: refrigerante éter etílico

1880 - 1920: amônia, ácido sulfúrico, CO2 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 estratosférico(Molina e Rowland)

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

1992: Convenção do Clima (UNFCCC)

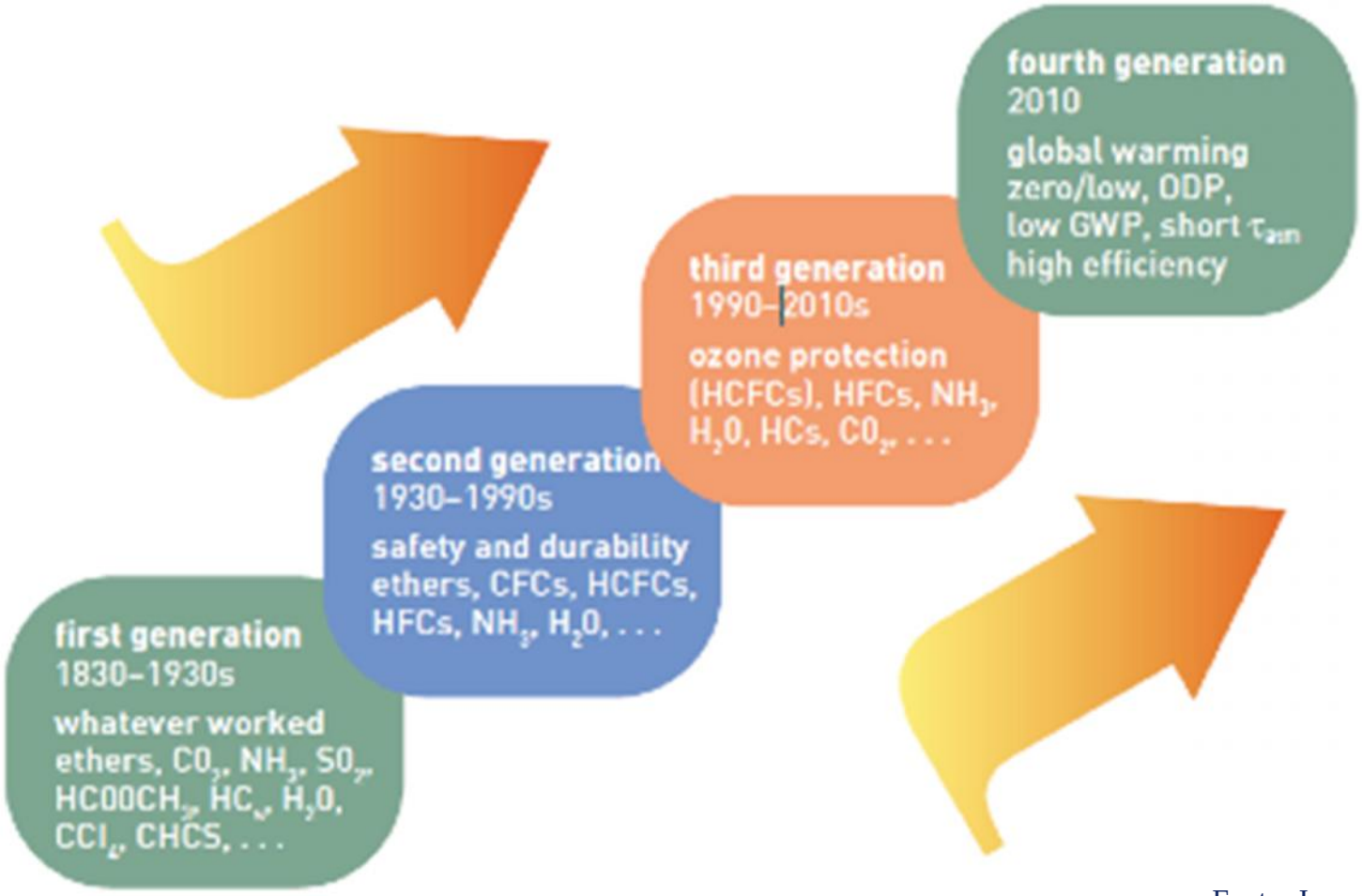
1997: Protocolo de Kyoto (redução de emissões de **HFCs**, PFCs, CO_2, SF_6, N_2O, CH_4)

2010: Eliminação do consumo de CFCs

2013: Congelamento do consumo de HCFCs

2040: Eliminação do consumo de HCFCs

Próxima Geração de Fluidos Refrigerantes



Fonte: James M Calm, 2008

To slash or to trim

Emission reductions by policies/actions, bn tonnes CO_2 equivalent

Policy/Action	Cumulative emissions	Period	Annual emissions*
Montreal protocol[1]	135.0bn	1989-2013	5.6bn
Hydropower worldwide[2]	2.8bn	2010	2.8bn
Nuclear power worldwide[2]	2.2bn	2010	2.2bn
China one-child policy[3]	1.3bn	2005	1.3bn
Other renewables worldwide[2]	600m	2010	600m
US vehicle emissions & fuel economy standards†[4]	6.0bn	2012-25	460m
Brazil forest preservation[5]	3.2bn	2005-13	400m
India land-use change[6]	177m	2007	177m
Clean Development Mechanism[7]	1.5bn	2004-14	150m
US building & appliances codes[4]	3.0bn	2008-30	136m
China SOE efficiency targets[8]	1.9bn	2005-20	126m
Collapse of USSR[9]	709m	1992-98	118m
Global Environment Facility[10]	2.3bn	1991-2014	100m
EU energy efficiency[11]	230m	2008-12	58m
US vehicle emissions & fuel economy standards‡[4]	270m	2014-18	54m
EU renewables[11]	117m	2008-12	29m
US building codes (2013)[12]	230m	2014-30	10m
US appliances (2013)[12]	158m	2014-30	10m
Clean technology fund[13]	1.7bn	*project lifetime*	*na*
EU vehicle emission standards[14]	140m	2020	*na*

CATEGORIES:
Energy production
Transport
Other regulations
Global treaties
Land & forests
Other

See following panel for sources and explanations

*Annual emissions are cumulative emissions divided by the relevant period. The estimate for the current emissions avoided under the Montreal protocol is eight billion tonnes of CO_2e. The annual figure for the collapse of the USSR refers to the years 1992-98. †Cars and light trucks ‡Heavy trucks

- **Fonte:** http://www.economist.com/news/briefing/21618680-our-guide-actions-have-done-most-slow-global-warming-deepest-cuts

Legislações e Políticas de Controle dos HFCs

Legislação Europeia sobre HFCs

- **Legislação "F-gas"**
- **No 842/2006**
  - **Contenção através do uso e manuseio responsáveis**
  - **Reciclagem e recuperação ao fim da vida útil**
  - **Treinamento e certificação de técnicos**
  - **Relatórios das quantidades produzidas, fornecidas, utilizadas e emitidas**
  - **Etiquetas nos produtos e equipamentos**

"F" Gas:

CO_2, PFCs, SF_6, N_2O, CH_4, HFCs

Legislação Europeia F-Gas

- **Na Europa, a legislação F-gas 517/2014 entrou em vigor em 05/2014.**
- **O Regulamento limita o consumo de HFCs de alto GWP (como o R-404A) a partir de 2020;**
- **Limita também consumo dos HFCs em ar condicionado estacionário a partir de 2025.**
- **É um regulamento baseado em proibições de uso de refrigerantes de alto GWP em equipamentos específicos.**

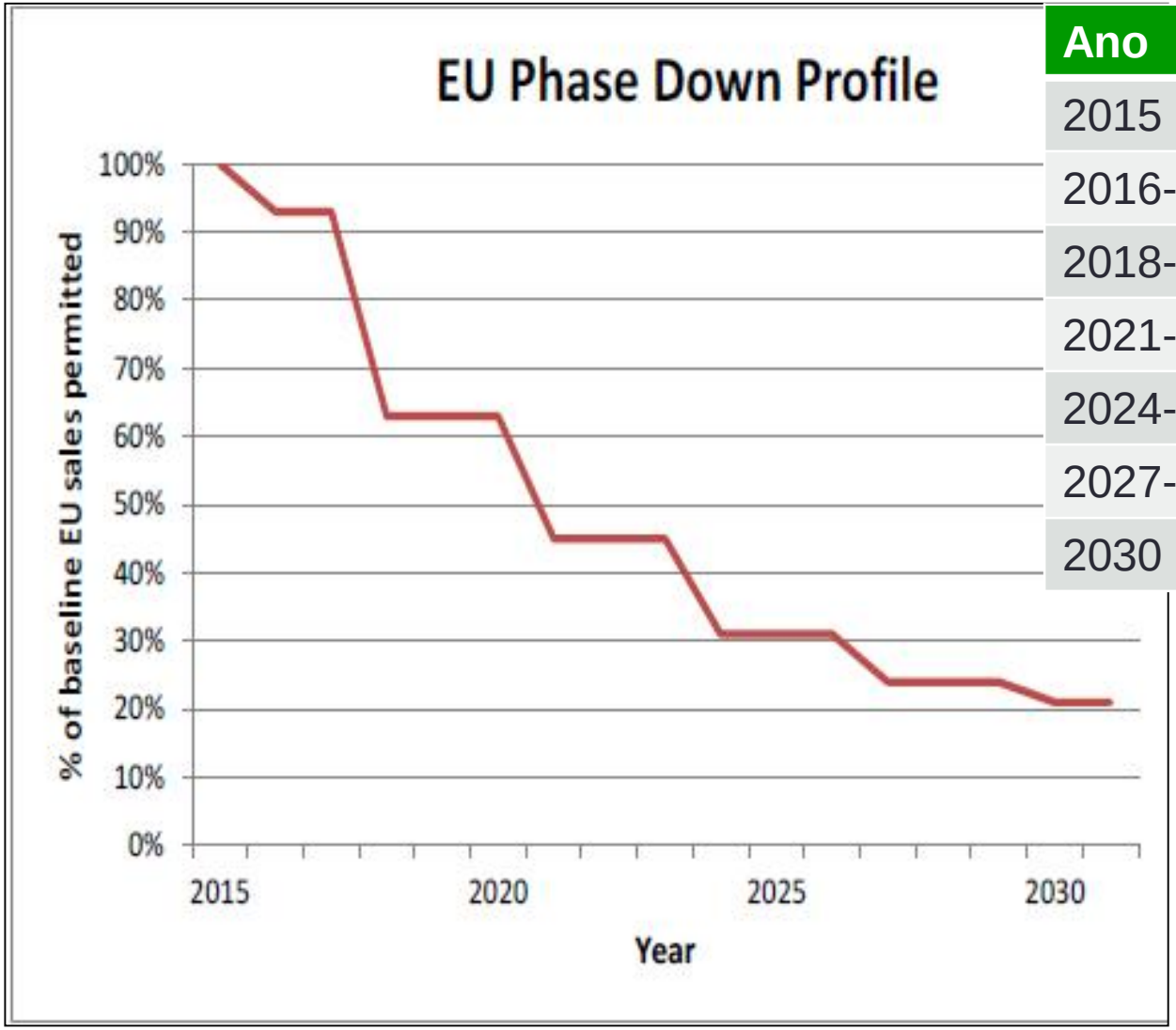
REGULAMENTO DA UE

Ano	Medidas específicas
2015	Equipamentos domésticos GWP < 150
2020	Unidades de AC móveis GWP < 150
2020	Refrigeração estacionaria GWP < 2500
2022	Sistemas Multipack GWP < 150
2025	Split Individual AC < 3 kg, GWP < 750

- objetivo da regulação é a redução das emissões de HFCs em CO_{2eq} de 79% para o ano 2030 em comparação com 2015.

- Alguns países europeus têm legislações mais rígidas
  - ✧ Na Dinamarca, Áustria o uso dos HFCs está sendo eliminado

REGULAMENTO DA UE



Ano	Redução
2015	100% (“*freeze*”)
2016-2017	93%
2018-2020	63%
2021-2023	45%
2024-2026	31%
2027-2029	24%
2030	21%

Source: European Commission

Oportunidades para Eliminação

	RAC Market	% 2010 HFC Demand	Approximate GWP Threshold for New Product Ban				Comments
			150	700	1400	2500	
Refrigeration	Domestic refrigeration	0.2%	🟢				Already banned from 2015
	Commercial Small Hermetic	0.2%	🟢				Already banned from 2020. Needs new definition
	Commercial Condensing Units	4%	🔴	🟡	🟢	🟢	Use of mildly flammable refrigerants possible. Early R404A ban recommended
	Commercial Multipack	33%	🟢	🟢		🟢	CO_2 looking a good option on large packs. Smaller packs may need GWP 700
	Transport Refrigeration	1%	🟡	🟡		🟡	CO_2 being piloted. R404A ban from 2020
	Industrial Small / Medium DX	8%	🔴	🟡	🟢	🟢	Many variants. De facto R404A ban
	Industrial Large DX	3%	🟢			🟢	Ammonia and CO_2. May need exemptions
	Industrial chillers	1%	🟢	🟢			Large chillers < 150; small chillers < 700
	Industrial flooded	0.1%	🟢			🟢	Ammonia and CO_2. May need exemptions

Source: SKM Enviros / European Commission

Oportunidades para Eliminação

	RAC Market	% 2010 HFC Demand	Approximate GWP Threshold for New Product Ban				Comments
			150	700	1400	2500	
Air-Conditioning and Heat Pumps	Small portable units	1%	🟢				Already banned from 2020
	Split systems	20%	🔴	🟡			Almost green! Good possibilities for mildly flammable refrigerants at small end of size range, but still much development needed. May need safety exemptions
	Packaged systems	0.4%	🔴	🟡			Good possibilities for mildly flammable refrigerants if safety Regulations allow high charge. Needs further development,
	VRF systems	2%	🔴	🟡			
	Small and medium chillers	6%	🟡	🟢			Good possibilities for mildly flammable refrigerants. May need safety exemptions
	Large chillers	2%	🟢				
	Domestic hydronic heat pumps	1%	🔴	🟡			Mildly flammable refrigerants may be suitable if efficiencies good enough
	Other heat pumps	1%	🔴	🟡			
	MAC: cars and vans	10%	🟢				Already banned via MAC Directive
	MAC: large vehicles	7%	🟡	🟡			Many variants and safety issues

Source: SKM Enviros / European Commission

HFCs no Protocolo de Montreal

- **Propostas de emenda ao Protocolo de Montreal para a redução do consumo ("*Phase down*") dos HFCs**
  - **EUA + Canadá + México**
  - **País insulares do Pacífico**
  - **UE**
  - **Índia**
  - **Grupo de países Africanos (não formalizada)**

Propostas de Emenda

Elemento Chave	Norte-Americana	Índia	União Europeia	Países Insulares do Pacífico
HFCs a controlar	19 HFCs	19 HFCs	19 HFCs	22 HFCs (Incl. 3 HFO)
Período de graça	2 anos	15 anos	Não	3 anos
Período de controle	2021 - 2046	2031 - 2050	2019 - 2040	2020 - 2040

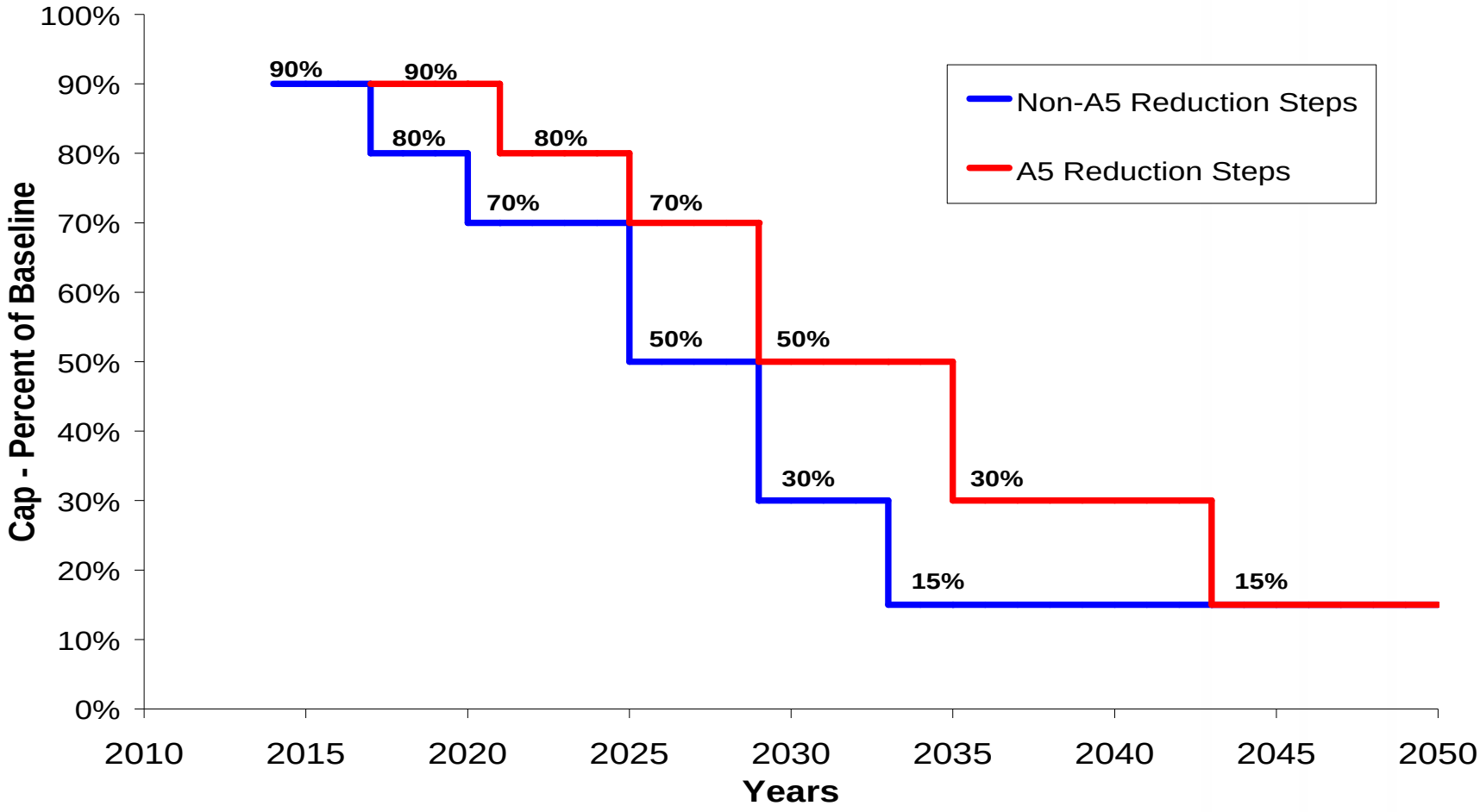
Propostas de Emenda

Elemento chave	Norte-Americana	Índia	União Europeia	Países insulares do Pacífico
Linha Base (em GWP)	**Consumo:** média de consumo de HFC + 50% de HCFC em 2011-2013 **Produção:** média de produção de HFC + 50% de HCFC em 2011-2013	**Consumo:** média de consumo de HFC + 32.5% de HCFC em 2028-2030 **Produção:** média de produção de HFC + 32.5% de HCFC em 2028- 2030	**Consumo:** média de consumo HFC + HCFC em 2015-2016 **Produção:** média de produção de HFC + 70% de HCFC em 2009-2012	**Consumo:** média de consumo de HFC em 2015-2017 + 65% de LB de HCFC **Produção:** média de produção de HFC em 2015-2017 + 65% de LB de HCFC

Propostas de Emenda

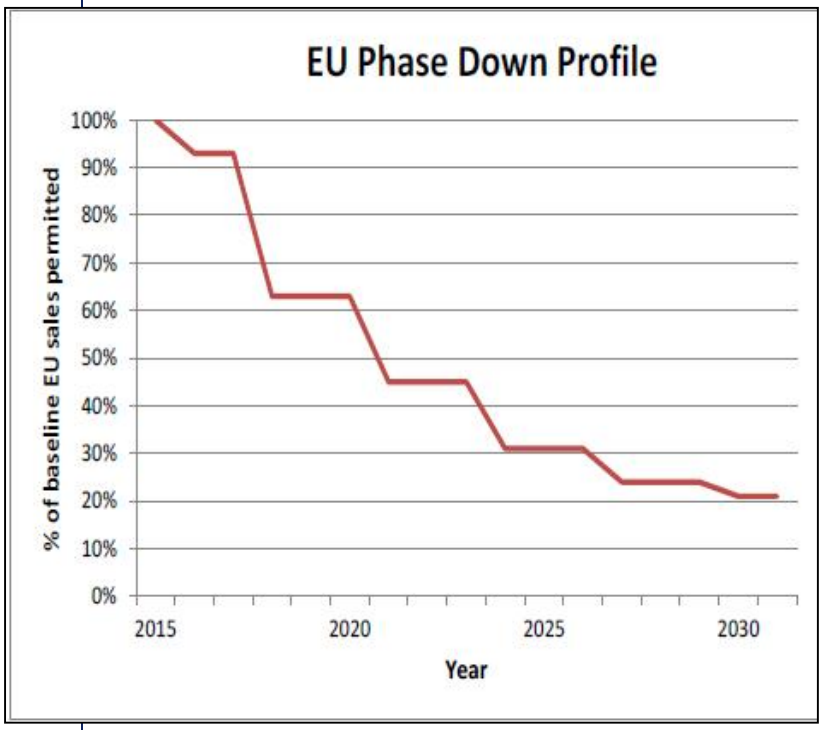
Elemento chave	Norte-Americana	Índia	União Europeia	Países insulares do Pacífico
Medidas de controle (% LB)	2021 – 100% 2026 – 80% 2032 – 40% 2046 – 15%	2031 – 100% 2050 – 15% Metas acordadas cada 5 anos.	Consumo: 2019 – 100% Produção: 2019 – 100% 2040 – 15% Metas intermediarias acordadas em 2020.	2020 – 85% 2025 – 65% 2030 – 45% 2035 – 25% 2040 – 10%

Proposta Norte-americana de cronograma de eliminação gradual dos HFCs



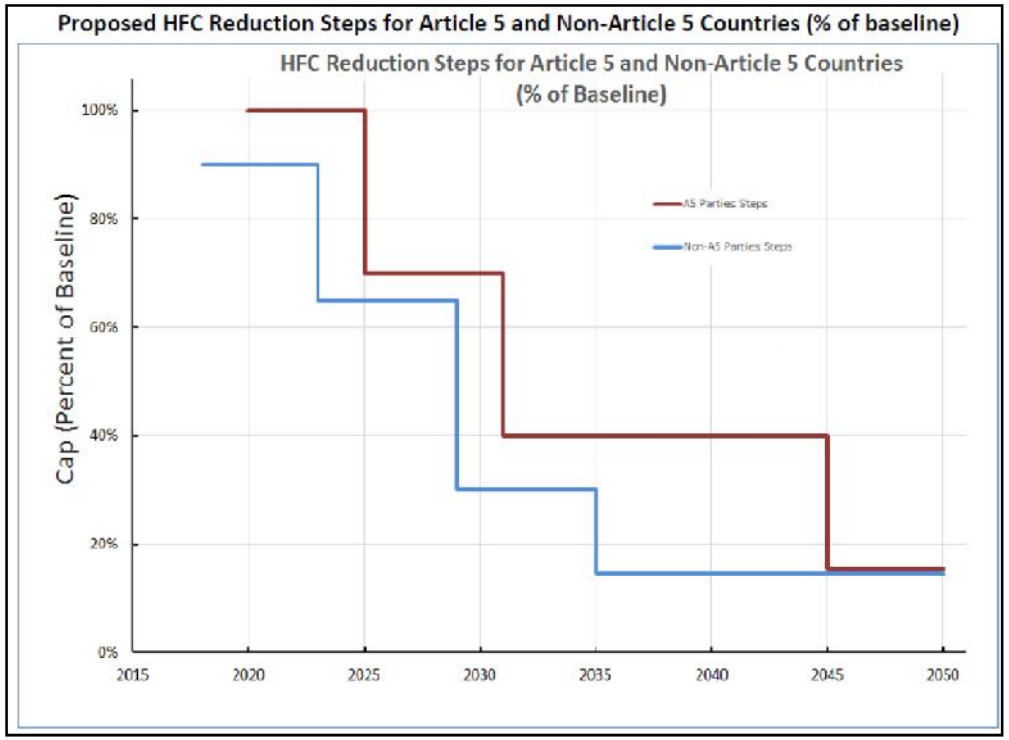
PROPOSTAS DE PHASEDOWN

EU F-gas



Source: European Commission

North American Amendment



Source: http://www.state.gov/documents/organization/226046.pdf

OUTRAS POLITICAS E REGULAÇÕES

- **No marco do Plano de Ação pelo Clima, os EUA estão discutindo propostas para limitar o evitar o uso de HFC de alto GWP.**
- **US-EPA propõe considerar HFC-134a como não aceitável para os novos MACs a partir de 2021.**
- **Para refrigeração comercial (incluindo unidades independentes e *vending-machines*) se propõe considerar HFC-134a, HFC-227ea e as misturas de HFC, R-507A e 404A, como não aceitáveis partir de janeiro de 2016.**
- **No Japão, foram propostas uma serie de medidas, que são menos estritas: um limite de GWP 150 para os MAC em 2023, e um limite de GWP 750 para ar condicionado em uma data futura.**

Alternativas ao HCFC-22

Alternativas aos HFCs de Alto Potencial de Aquecimento Global (GWP)

Aspectos Gerais

Alternativas - Aspectos Gerais

- Opções de baixo potencial de aquecimento atmosférico (GWP):
  - Refrigerantes Naturais: HCs, CO2, Amônia, Água
  - HFCs Não Saturados (HFOs), com um GWP muito baixo
- O primeiro setor de aplicação específica dos HFOs foi o setor de MAC (HFC-1234yf)
- Para muitas aplicações o uso destes refrigerantes não seria satisfatória
- Industria química desenvolveu misturas contendo HFC de alto GWP, HFC de baixo GWP, HFC-32, Hidrocarbonetos e CO2.

Misturas com HFCs Não Saturados (HFOs)

- Muitas misturas desenvolvidas têm GWP em torno de 300, as vezes um pouco mais alto.
- Estes refrigerantes e misturas de refrigerantes HFCs não saturados são as alternativas químicas sintéticas de baixos GWP para os próximos anos.
- Desenvolvimentos estão ainda em curso, com relação aos testes das misturas e o desenvolvimento de novos refrigerantes sintéticos puros com baixos GWP.

Misturas com HFCs Não Saturados (HFOs)

Designação	Refrigerantes	Composição	GWP	Substituto para
R-444A	HFC-32 /-152a/-1234ze	12/5/83	92	HFC-134a en *MAC*
R-444B	HFC-32/-152a/-1234ze	41.5/10/48.5	296	HCFC-22
R-445A	R-744/-134a/-1234ze	6/9/85	135	HFC-134a en *MAC*
R-446A	HFC-32/-1234ze/HC-600	68/29/3	461	R-410A
R-447A	HFC-32/-125/-1234ze	68/3.5/28.5	583	R-410A
R-450A	HFC-134a/-1234ze	42/58	605	HFC-134a
R-513A	HFC-134a/-1234ef	44/56	630	HFC-134a
R-448A	HFC-32/-125/-1234ef/ -134a/-1234ze	26/26/20/ 21/7	1390	R-404A
R-449A	HFC-32/-125/-134a/-1234ef	24.3/24.7/25.3/25.7	1400	R-404A
R-452A	HFC-32/-125/-1234ef	11/59/30	2140	R-404A (transporte refrigerado)

Situação Atual e Alternativas

Ar condicionado compacto

- R-407C foi utilizado inicialmente para substituir o HCFC-22.
- Mais recente, o R-410A está sendo utilizado em unidades pequenas autônomas.
- R-410A se utiliza na maioria de equipamentos, onde se utilizava HCFC-22 (não é possível o Drop-In).
- O projeto dos componentes do sistema é diferente devido a pressão de operação superior.
- A eficiência energética é similar a do R-22.
- Geralmente os sistemas são mais caros que os com HCFC-22.

Situação Atual e Alternativas

- HFC-32 começa a ser utilizado.
- As misturas de R-446A, R-447a, R-444B e "DR5" são factíveis de serem utilizadas em equipamentos compactos pequenos.
- A maioria das empresas japonesas deixaram de fabricar produtos mini-split com R-410A e estão utilizando HFC-32.
- HC-290: algumas empresas estão desenvolvendo e produzindo unidades em uma escala maior.

Situação Atual e Alternativas

- R-444B é factível de ser utilizado em unidades tipo Split para substituir o HCFC-22 ou R-407C, os testes estão em curso.
- O uso de R-744 (CO_2) se limita às regiões do hemisfério norte onde as temperaturas ambiente são mais baixas.

Situação Atual e Alternativas

Chillers

- R-407C, R-410A e o HFC-134a são amplamente utilizados nos chillers.
- R-717 (amônia) se utiliza em aplicações de refrigeração industrial e em algumas plantas, principalmente na Europa, de ar condicionado com central de água gelada.
- R-744 (CO_2) se utiliza em alguns chillers no Norte da Europa, com recuperação de calor.

Situação Atual e Alternativas

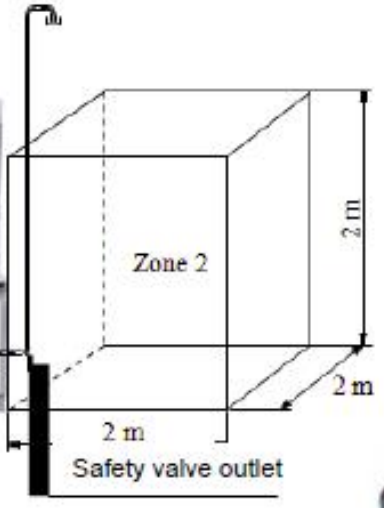
- A produção de chillers com HC-290 e HC-1270, vem crescendo na Europa, principalmente os de pequena capacidade, com baixa carga de fluido refrigerante.
- HFC-1234yf e HFC-1234ze são considerados adequados para uso em chillers e tem sido testados.
- As misturas R-444B, R-446A, R-447A e “DR-5” podem ser utilizadas como substitutos dos HCFC-22, R-407C ou R-410A.

Situação Atual e Alternativas

CHILLERS COM HCs

Gas alarm

Ventilator



Gas detector mounted:

At 5% (LEL): Starts ventilator, and the cabinet is ventilated.
At 15% (LEL): Cuts off motor and expansion valve.
At 25% (LEL): Kills all electrical equipment (except for ventilator & gas detector).

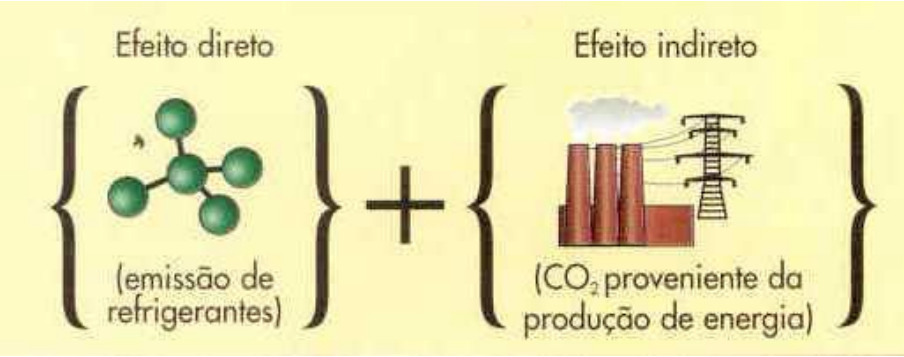
Alternativas Atuais

Sector	CFCs	HCFCs	HFCs Puro y mezclas	HCs	CO2 Amoníaco	HFCs Puro insaturados	Mezclas con HFCs insaturados
Refrigeración doméstica	CFC-12		HFC-134a	HC-600a		HFC-1234yf	R-450A, XP-10,
Refrigeración Comercial (SA, CU, CS)	CFC-12 R-502	HCFC-22	HFC-134a R-404A R-407A R-407F	HC-600a HC-290	CO2 Ammonia	HFC-1234yf HFC-1234ze(E)	R-450A, "L-40", R-444B, "L-41" "DR-5", R-450A, "XP-10", R-448A, R-449A
Transporte Refrigerado		HCFC-22	HFC-134a R-410A R-407C	HC-290 HC-1270	CO2	HFC-1234yf	R-450A, "L-40", R-444B, "L-41" "DR-5", R-450A, "XP-10", R-448A, R-449A
Refrigeración Industrial		HCFC-22	HCFC-22 HCFC-123	HC-1270 HC-290	Ammonia CO2	HFC-1234yf	R-450A, "L-40", R-444B, "L-41" "DR-5", R-450A, "XP-10", R-448A, R-449A
Bombas de calor para calentamiento de agua		HCFC-22	HCFO-1233zd(E)	HC-290 HC-600a	CO2 Ammonia	HFC-1234yf HFC-1234ze(E)	R-450A, "L-40", R-444B, "L-41" "DR-5", R-450A, "XP-10", R-448A, R-449A
Equipes de Aire Acondicionado		HCFC-22	HFC-134a HFC-32 R-410A R-407C	HC-290	CO2	HFC-1234yf	R-450A, "L-40", R-444B, "L-41" "DR-5", R-450A, "XP-10", R-448A, R-449A
Chillers	CFC-12 CFC-11	HCFC-22 HCFC-123 HCFO-1233zd(E)	HFC-134a R-404A R-410A R-407C	HC-290 HC-1270	Ammonia CO2	HFC-1234yf HFC-1234ze(E)	R-450A, "L-40", R-444B, "L-41" "DR-5", R-450A, "XP-10", R-448A, R-449A
Aire acondicionado móvil	CFC-12		HFC-134a R-410A R-407C		CO2	HFC-1234yf	R-450A, "XP-10"

Historical use
Current use on a commercial-scale
Potentially feasible or limited use such as for demonstration, trials, niche applications, etc

"Enfoque holístico"

- **Impacto Ambiental**
  - **GWP**
  - **Eficiência energética**
- **Impacto de Segurança**
  - **Inflamabilidade**
  - **Toxicidade**
- **Performance do Sistema**
- **Propriedades do refrigerante**
- **Aspectos Económicos**
  - **Custo do Sistema**
- **Mudanças Tecnológicas**
- **Serviços e manutenção**



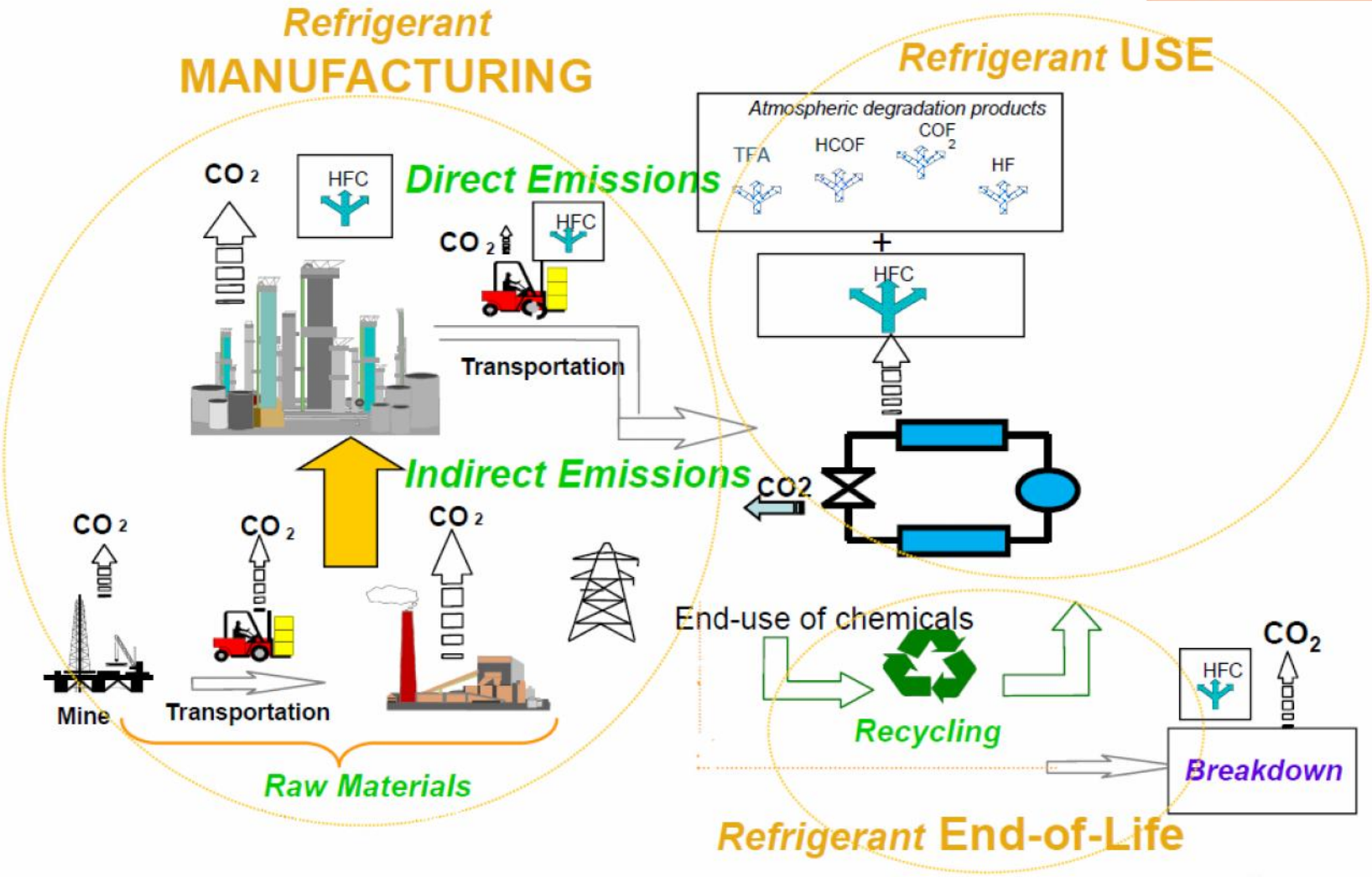
(“*TEWI*”)

Avaliação do Impacto Climático e Ambiental

Desempenho Climático no Ciclo de Vida (LCCP)

Originado do conceito inicial de TEWI e calcula o impacto durante a vida útil, considerando as emissões diretas (GWP) 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.

$$LCCPS = TEWIS + \sum ORi \times (EEi + FEi) + \sum DRi \times (EEi + FEi)$$



fonte: Tiecher, 2014

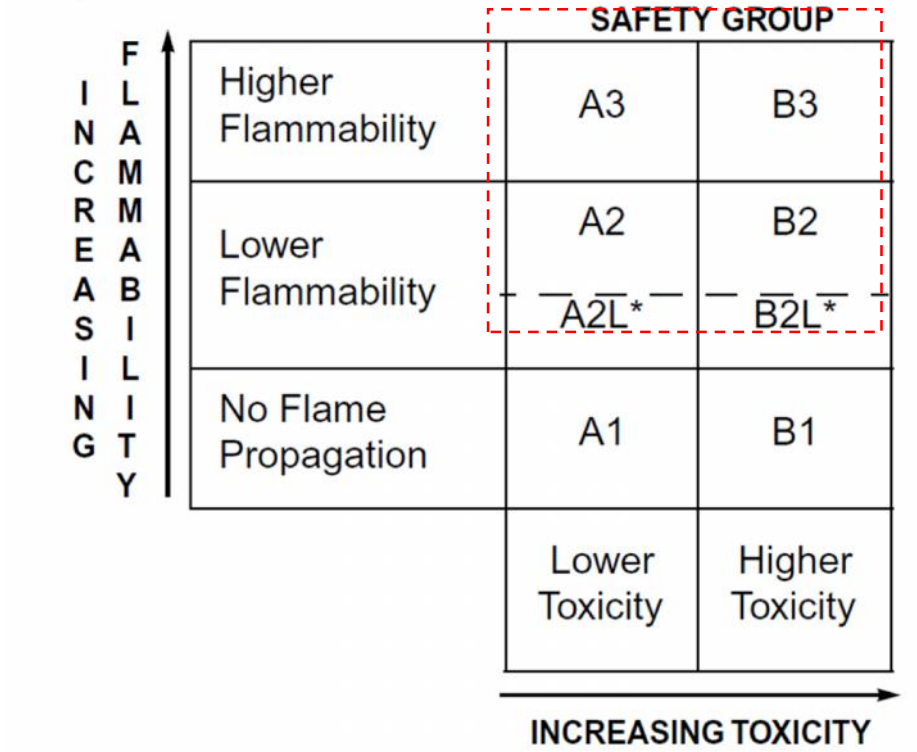
Fatores de Projeto que Afetam a Eficiência do Equipamento de RAC

Há vários fatores que afetam a eficiência do sistema, incluindo:

- Propriedades dos refrigerantes;
- Rendimento do compressor ;
- Eficiência dos trocadores de calor;
- Perda de carga na tubulação de refrigerante;
- Controle da válvula de expansão;
- Carga de refrigerante;
- Eficiência da lubrificação.

A questão da Inflamabilidade

ASHRAE Standard 34 Classification



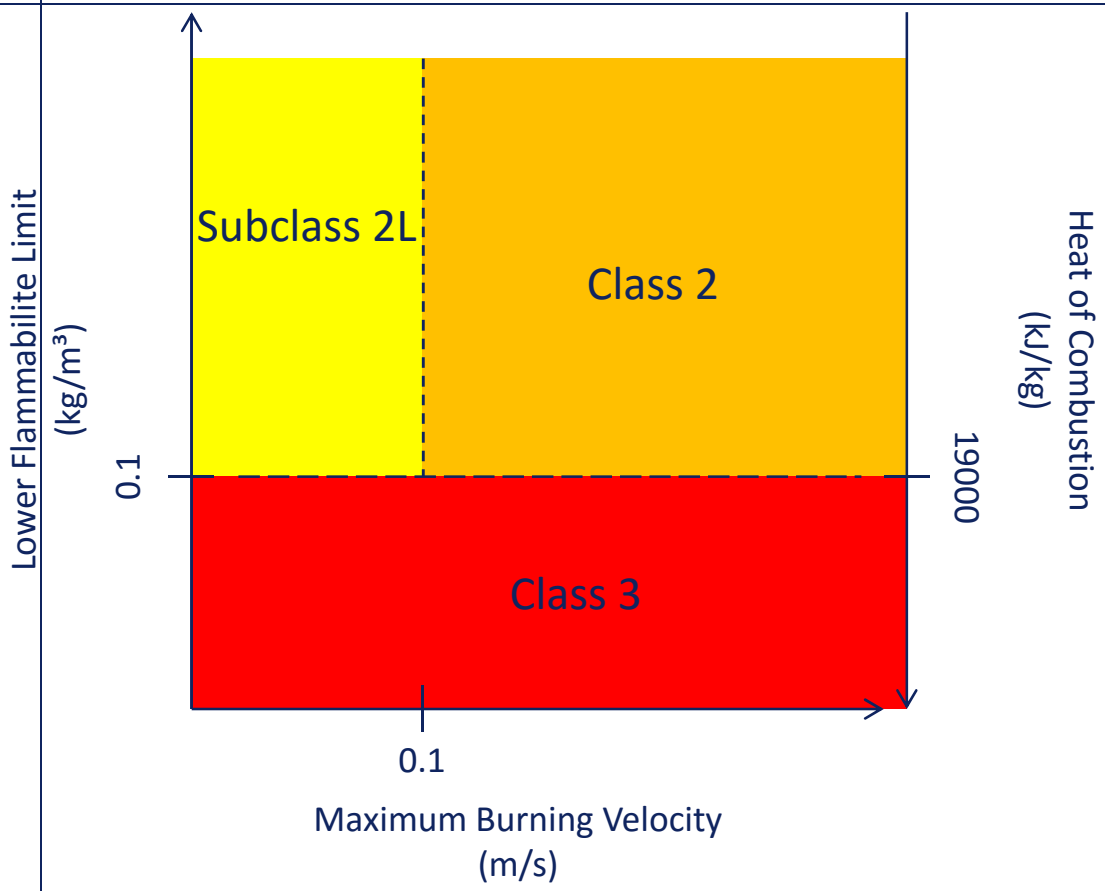
* A2L and B2L are lower flammability refrigerants with a maximum burning velocity of ≤3.9 in./s (10 cm/s).

FIGURE 6.1.4 Refrigerant safety group classification.

- **Toxicity classification:**
  - **Class A: lower degree of toxicite**
  - **Class B: higher degree of toxicite**
- **Flammability classification:**
  - **Class 1, 2, 2L (an optional subclass), or 3**

from: ASHRAE Standard 34-2013

Fluidos Refrigerantes “2L”



- **Exhibit flame propagation when tested at 60°C**
- **LFL > 0.10 kg/m³**
- **HOC < 19000 kJ/kg**
- **$S_U \leq 0.1$ m/s**

Slide Source: P. Johnson, ASHRAE 2012 Annual Meeting Seminar 11

Fluidos Refrigerantes “2L”

Class 1	Class 2L	Class 2	Class 3
Not flammable	Slightle flammable burning voocite ≤10 cm/s	Low flammable	Highle flammable
R744 (CO2)	R1234yf / ze	R152a	R290
R410A	R32		
	R717 (Ammonia)		

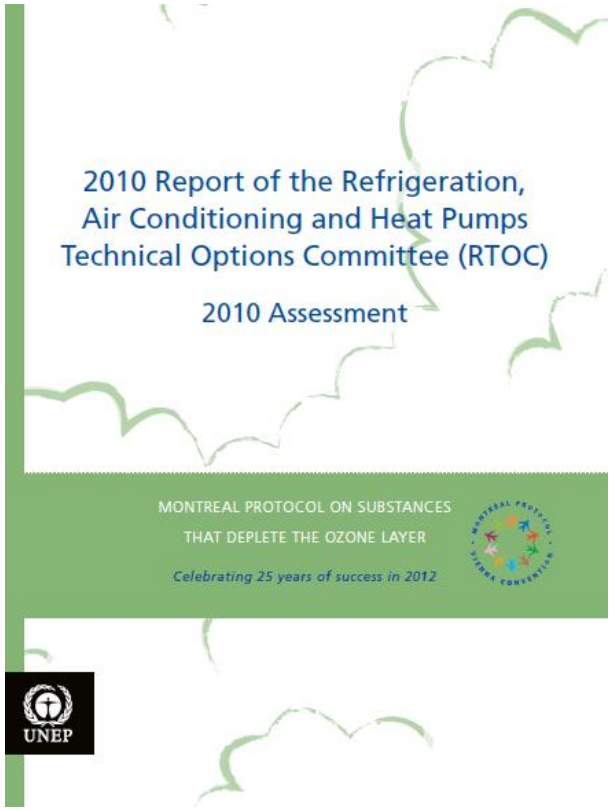
Flammabilite of 2L refrigerants is vere low.
The burning velocite (≤ 10 cm/s) is too slow to cause horizontal flame propagation or explosion.
Classification according to ASHRAE34 & ISO817.

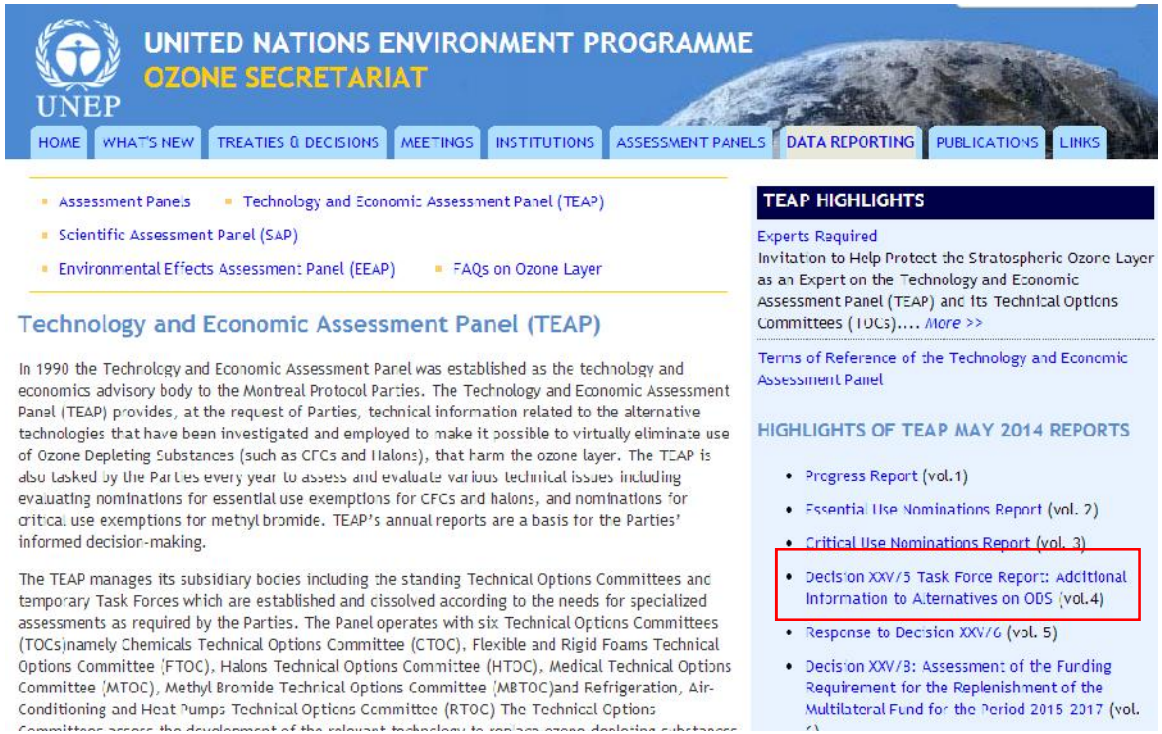
Fuente: DAIKIN

ABNT NBR 16069:2010
Segurança em Sistemas de Refrigeração

- **Desenvolvida pela Comissão de Estudos de Refrigeração Industrial (CE-55:001.04), do CB-55, da ABNT.**
- **Norma geral sobre aspectos de segurança em sistemas de refrigeração.**
- **Baseada no ANSI/ASHRAE Standard 15-2007, tendo ainda o Standard EN 378:2008 (Parts I – IV) e o ANSI/IIAR Standard 2-2008, como referência.**

Fontes de Informação





Overview of Alternatives and Climate Impact Scenarios Report of Decision XXV-5

Report available:

http://ozone.unep.org/new_site/en/assessment_panos_bodies.php?committee_id=6

Observações Finais

Situação atual:

- **Soluções de baixo impacto climático são possíveis em quase todas as aplicações, com diferentes fluidos Refrigerantes Naturais e Fluorquímicos de baixo potencial de aquecimento atmosférico (GWP)**

Cenário futuro:

- **Qual será a cota de mercado de cada tipo de fluido refrigerante na próxima década?**

SISTEMAS DE ÁGUA GELADA

PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DOS HCFCs
Projeto para o Gerenciamento de Chillers

Apoio Institucional:

ASHRAE Brasil Chapter

ABRAVA
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO

ABESCO
Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia

ABRAFAC
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FACILITIES

ANPRAC
Associação Nacional dos Profissionais de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento

ASBRAV
Associação Bal Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Aquecimento e Ventilação

GBC BRASIL

BCxA Building Commissioning Association
BRASIL CHAPTER

SINDRATAR

Execução

SOMAR

Implementação

PNUD
Empoderando vidas.
Fortalecendo nações.

Ministério do Meio Ambiente

Realização

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PÁTRIA EDUCADORA