




Tendências do Uso de Fluidos Refrigerantes Alternativos em Sistemas de Ar Condicionado Automotivo


28 de Maio de 2009 – Recife - PE

Enio Bandarra

bandarra@mecanica.ufu.br



INTRODUÇÃO



Ar Condicionado Automotivo



Sistemas de A/C Automotivo

- CFC-12 e HCFC-22 eram os fluidos utilizados até o final da década de 80.
- Na década de 90, os sistemas de A/C foram adaptados para o HFC-134a.
- No início do século XXI, devido ao Potencial de Aquecimento Global (GWP), passou-se a estudar diversas possibilidades. Na Europa, fluidos com $GWP > 150$ serão proibidos em 2011.
- PERGUNTA: Qual alternativa ao HFC-134a é melhor????

Fluidos Alternativos

- HFC-152a ou R-152a em sistema indireto, já que $GWP=124$, porém é inflamável.
- Novos Fluidos Químicos propostos pelas indústrias, como por exemplo o HFO-1234yf, cujo $GWP=4$.
- Utilização do refrigerante natural CO_2 , que possui $GWP=1$ (referência), porém sua pressão de trabalho é elevadíssima.



**CO₂ - Dióxido de
Carbono - R-744**



HISTÓRICO

CO₂

REFRIGERATION

CARBONIC SAFETY SYSTEM
MEANS BEST (REG. U. S. PAT. OFF.) IN REFRIGERATION

American Carbonic Machinery Co.
WISCONSIN RAPIDS, WISCONSIN

NEW YORK 30 CHURCH STREET CLEVELAND 6TH AND EUCLID AVENUE CHICAGO 1631 MONADNOCK BLDG. ST. PAUL 42 W. 4th STREET

CARBONIC SAFETY SYSTEM

HISTÓRICO

- CO₂ não é um novo fluido refrigerante, ele já foi proposto como refrigerante em 1850.
- Houve um pico de utilização em sistemas de refrigeração entre 1920 e 1930.
- Com a introdução dos Refrigerantes Halogenados o uso de CO₂ foi sendo suprimido.
- Na década de 1990, devido às características ecológicas, como ODP e GWP, a discussão sobre o uso do CO₂ como refrigerante ressurgiu, junto com os hidrocarbonetos e amônia.

Nomenclatura - Refrigerante

- **Dióxido de Carbono, CO₂ ou R-744**
- **(R – Refrigerante; 7 refere a Fluidos Inorgânicos; 44 – é a Massa Molecular)**
 - Ex. Amônia – NH₃ - R-717
 - Ex. Água – H₂O – R-718
- **Série R-400 (Misturas Não Azeotrópicas) – Temp. Glide**
- **Série R-500 (Misturas Azeotrópicas) – Fluido Puro**

Características

- CO₂ não é um refrigerante tóxico (torna-se tóxico em elevadas concentrações)
- CO₂ não é inflamável.
- Possui um duplo papel na Meio Ambiente: (1) é imprescindível à vida na Terra e (2) colabora (em menor escala) para o Aquecimento Global.
- CO₂ é encontrado normalmente na Natureza em concentrações de 0,03 e 0,06% (em volume).

Algumas características dos refrigerantes Fluorados e CO₂

Refrigerante	R12	R22	R134a	CO₂
Fluido Natural	Não	Não	Não	SIM
Agressão na Camada de Ozônio	1.0	0.05	0	0
Potencial de Aquecimento Global	100 anos 20 anos	10890 10990	1810 5160	1430 3830
Temperatura Crítica em °C	112	96.2	101.2	31.1
Pressão Crítica em bar	41.6	49.9	40.7	73.8
Inflamável ou Explosivo	Não	Não	Não	Não
Tóxico	Não	Não	Não	Não
Preço Relativo	1	0.5	4	0.05
Capacidade Volumétrica (Relativa)	1	1.6	1	8.4

Algumas características dos fluidos R-12, R-134a e CO₂

Refrigerante	R12	R134a	CO ₂
Potencial da Destruição da Camada de Ozônio	SIM	SIM	NÃO
Potencial de Aquecimento Global	GWP=10890	GWP=1430	GWP=1
Emissão de CO ₂ – Operação (consumo de combustível e vazamento)	2600 kg/carro	2600 kg/carro	1800 kg/carro
Emissão de CO ₂ Equivalente	7623 kg/carro (700gr)	1001 kg/carro (700 gr)	0,50 kg/carro (500 gr)
TOTAL	10223 kg/carro	3601 kg/carro	1800 kg/carro

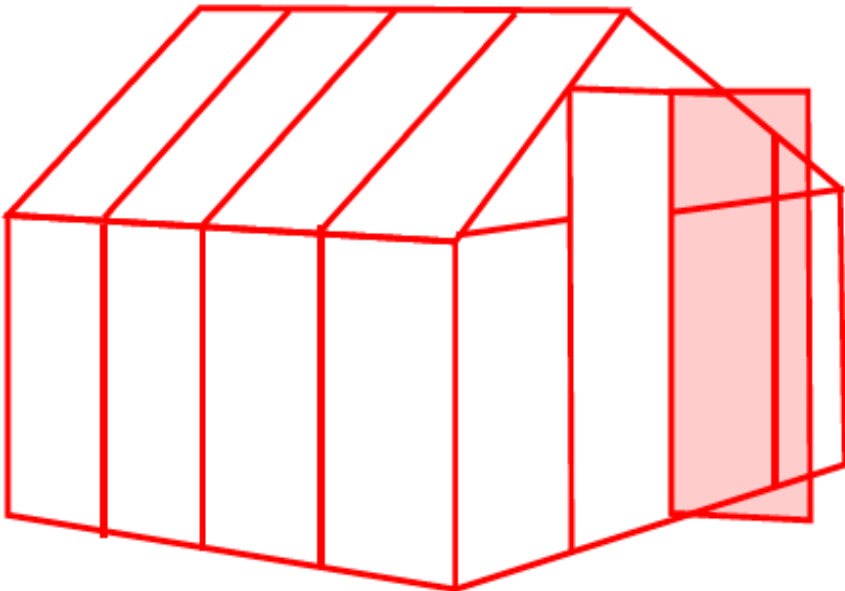


Redução de 65%



Redução de 50%

Comparativo



R134a
GWP 1430



EU 2011
GWP < 150



R152a - 124
Blend 'H' > 10
DP-1 > 40
Auto AC-1 < 150
HFO-1234yf - 4



CO2
GWP 1



Aquecimento Global



- Os veículos são responsáveis por **10%** de toda a emissão de gases que colaboram para o Efeito Estufa.
- Esse número tende a aumentar, desde que mais carros deixam a fábrica com o sistema de ar condicionado instalado.
- Os sistemas de A/C atuais tem elevado impacto no total de emissões, seja por vazamentos, consumo de combustível e também na recuperação e reciclagem dos refrigerantes.

Aspectos de Segurança

- **0,03 a 0,06%** - *Concentração na atmosfera*
- **2%** - 50% de aumento na taxa de respiração.
- **3%** - *Limite de exposição de 10 minutos; dobra a taxa de respiração.*
- **5%** - 300% aumento na taxa de respiração, dor de cabeça (Obs: A maioria das pessoas suportam isso, porém há excessões.)
- **8%** - *Curto tempo de exposição - Perigo.*

Aspectos de Segurança

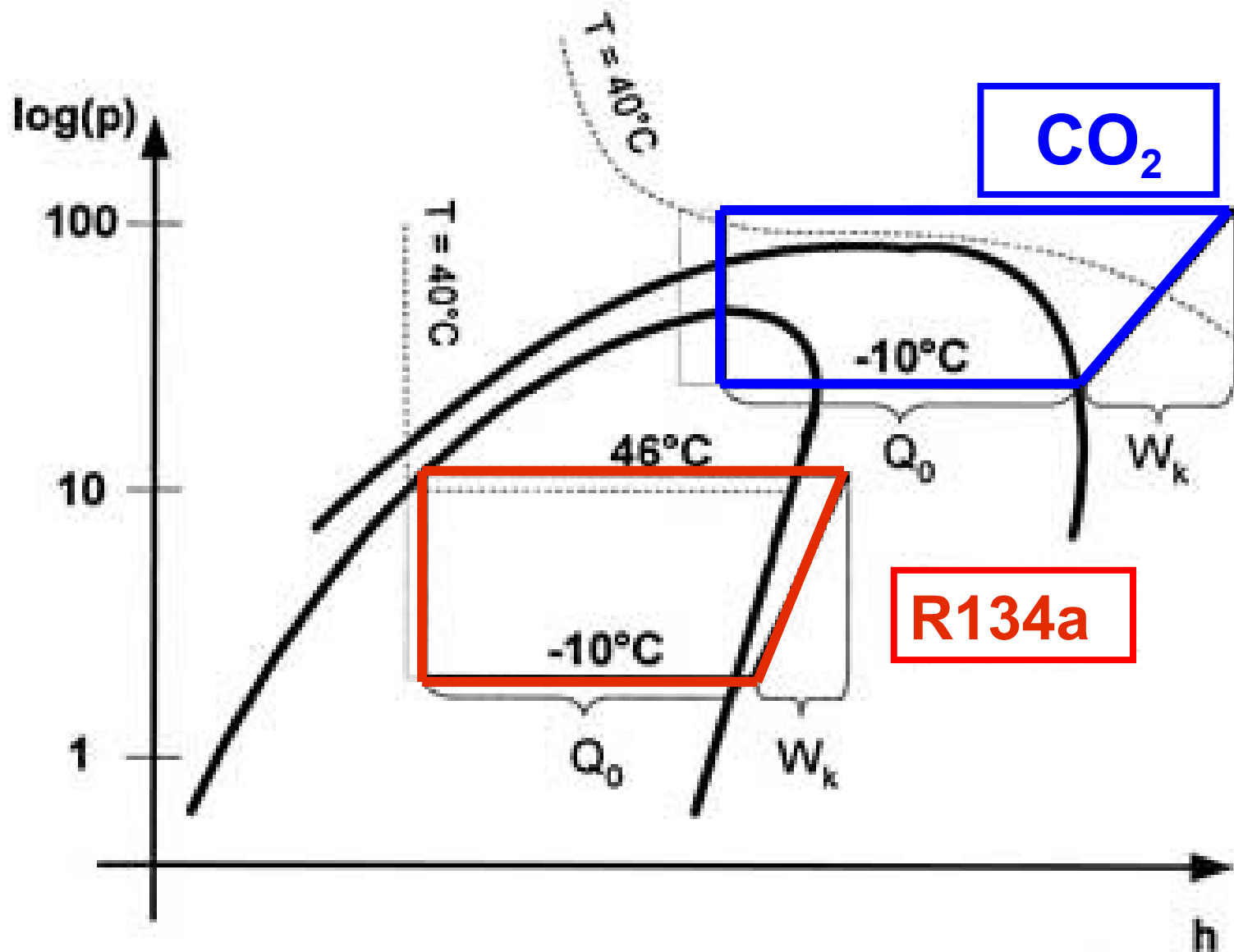
- **8-10%** - Dor de cabeça após 10-15 min. aumento na pressão sanguínea e na frequência cardíaca.
- **10-18%** - Após alguns minutos de exposição, pode levar a perda de consciência e entrar em estado de choque.
- **18-20%** - Sintomas similar a um Derrame.



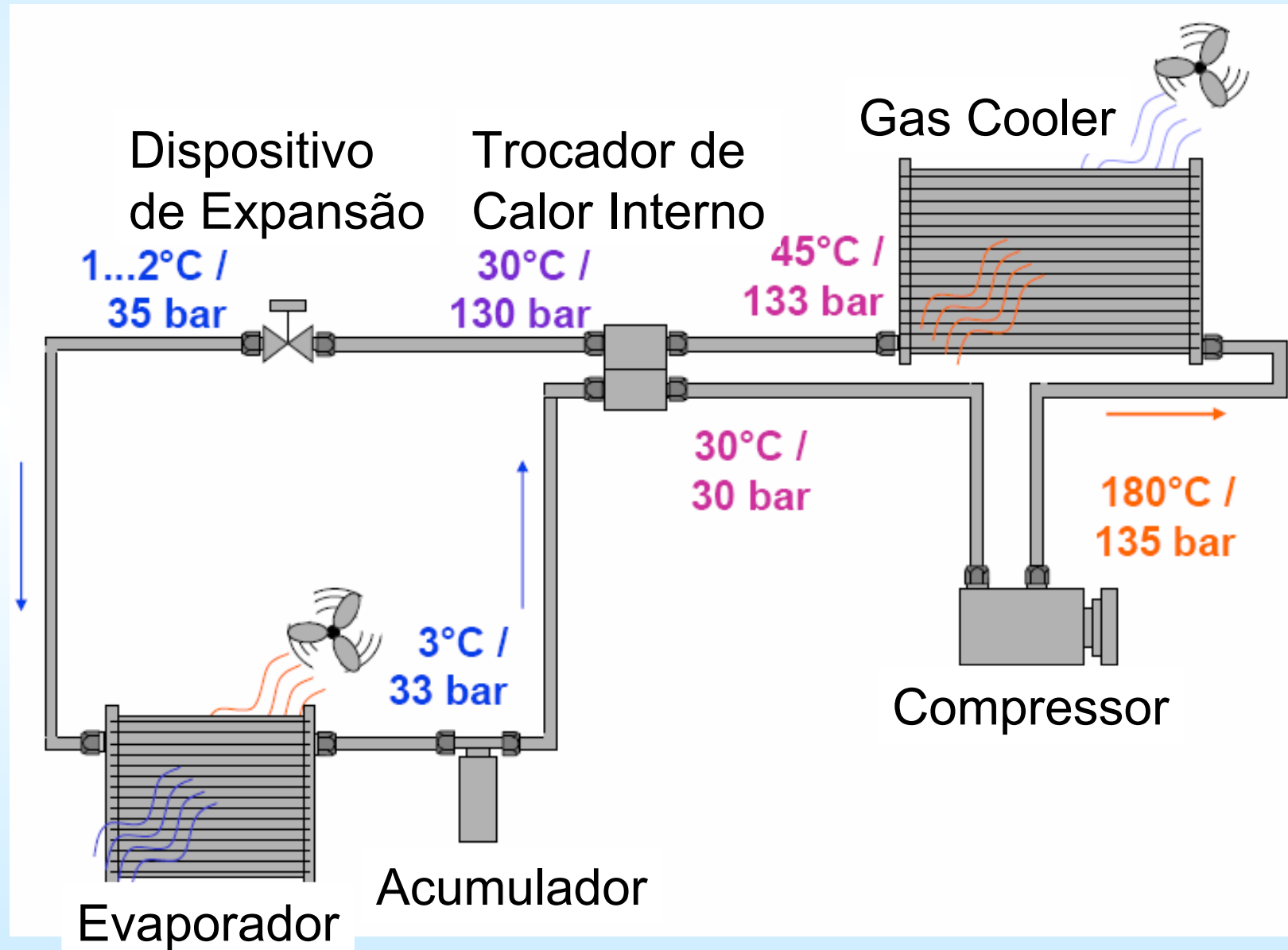
Ar Condicionado Automotivo



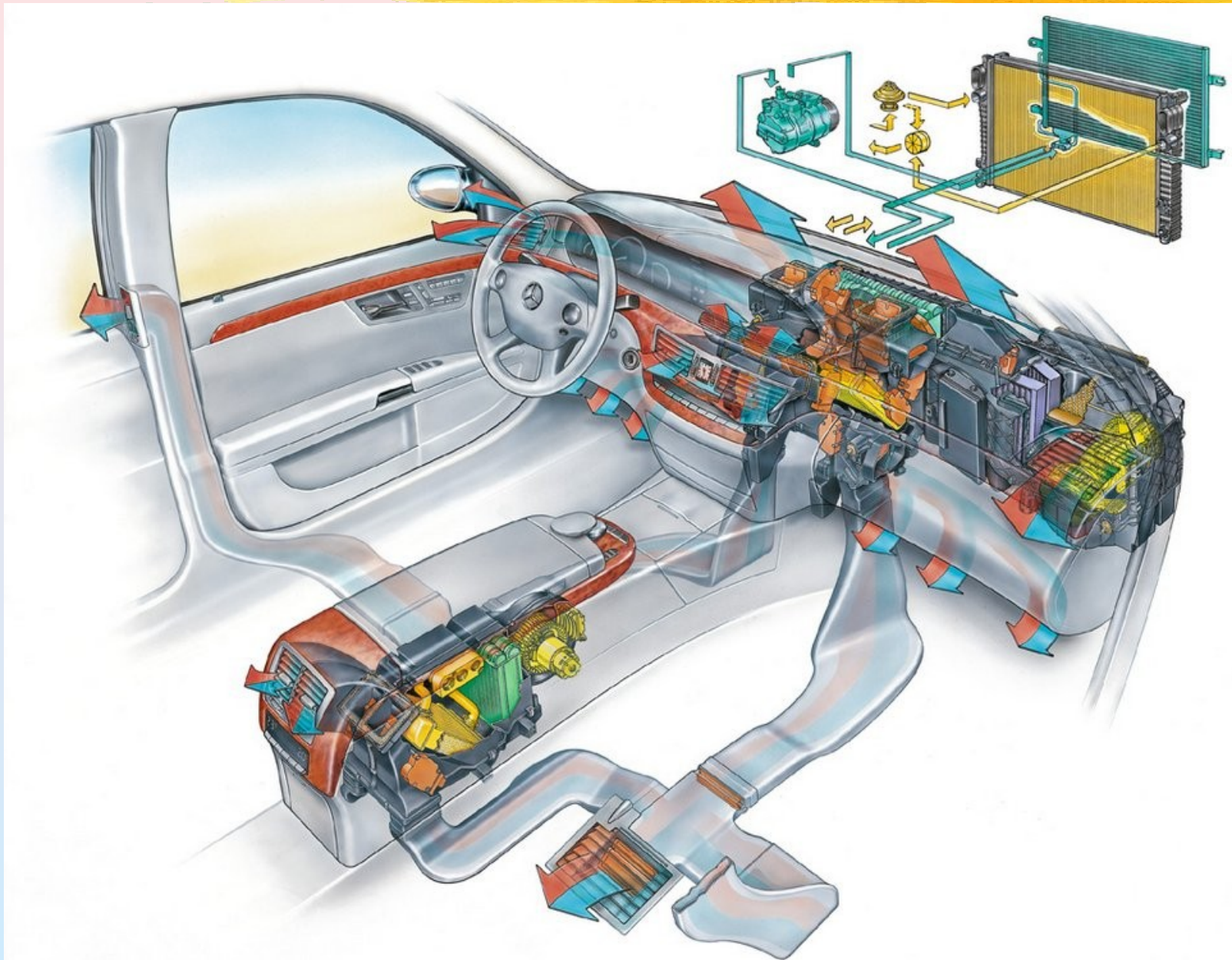
Ar Condicionado Automotivo



Sistema A/C com CO₂



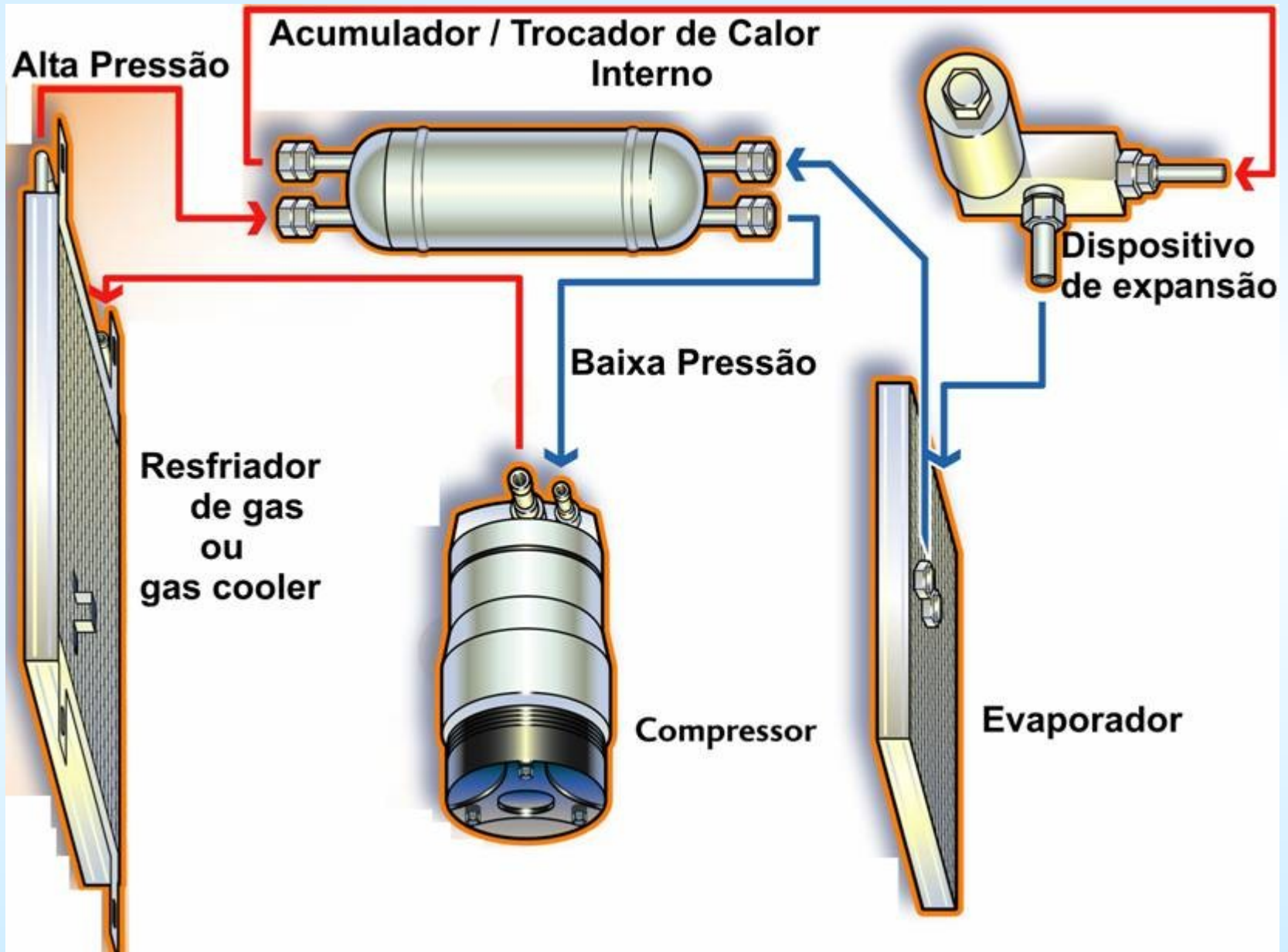
Ar Condicionado Automotivo



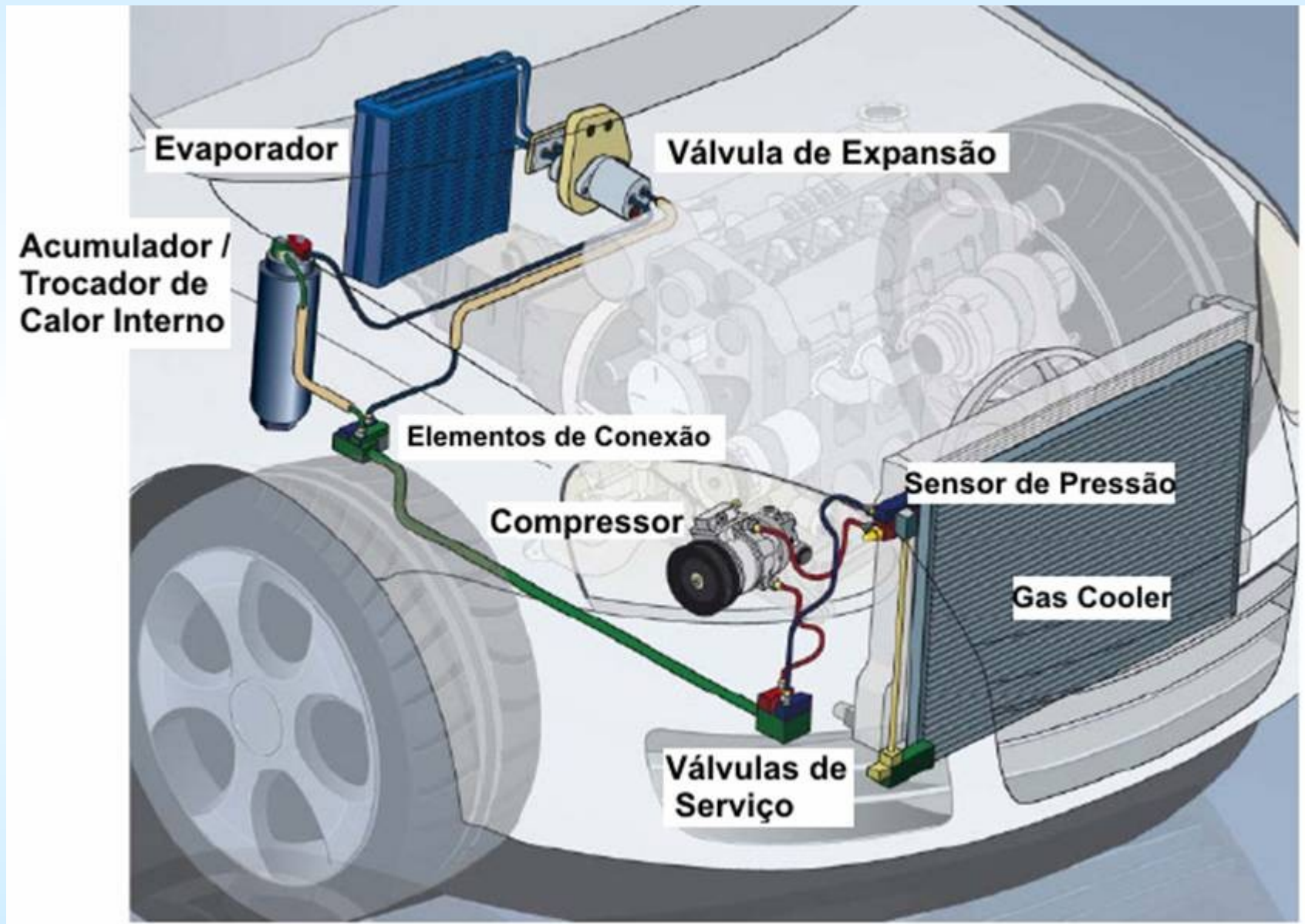
Ar Condicionado Automotivo



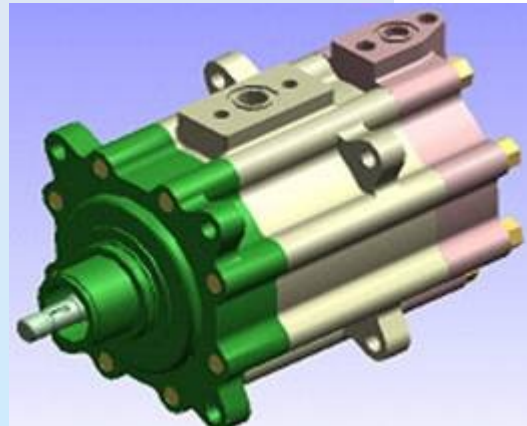
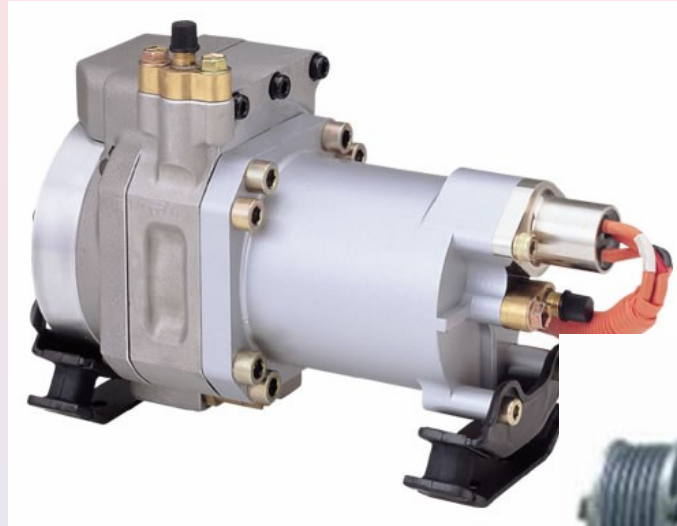
Ar Condicionado Automotivo



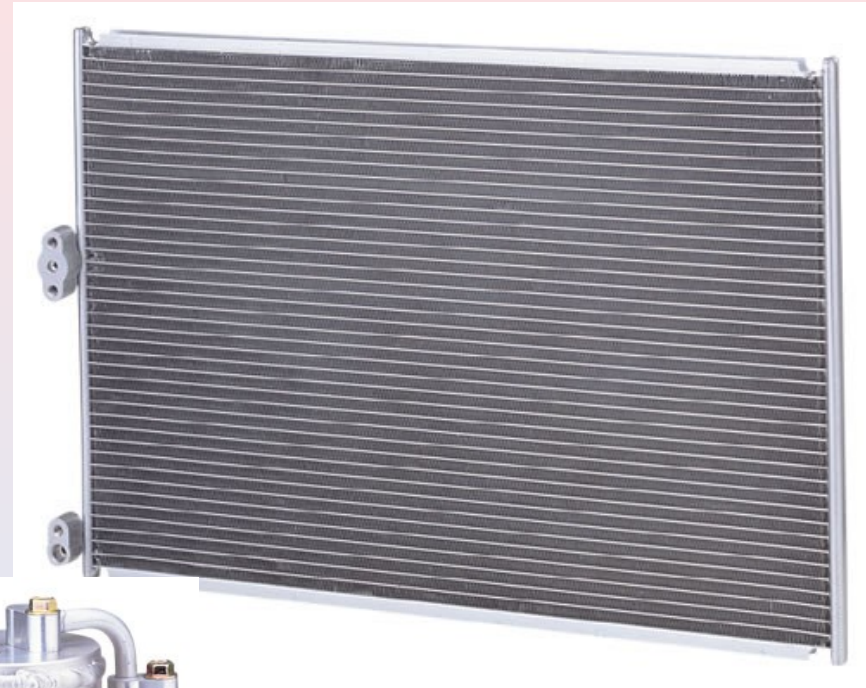
Ar Condicionado Automotivo



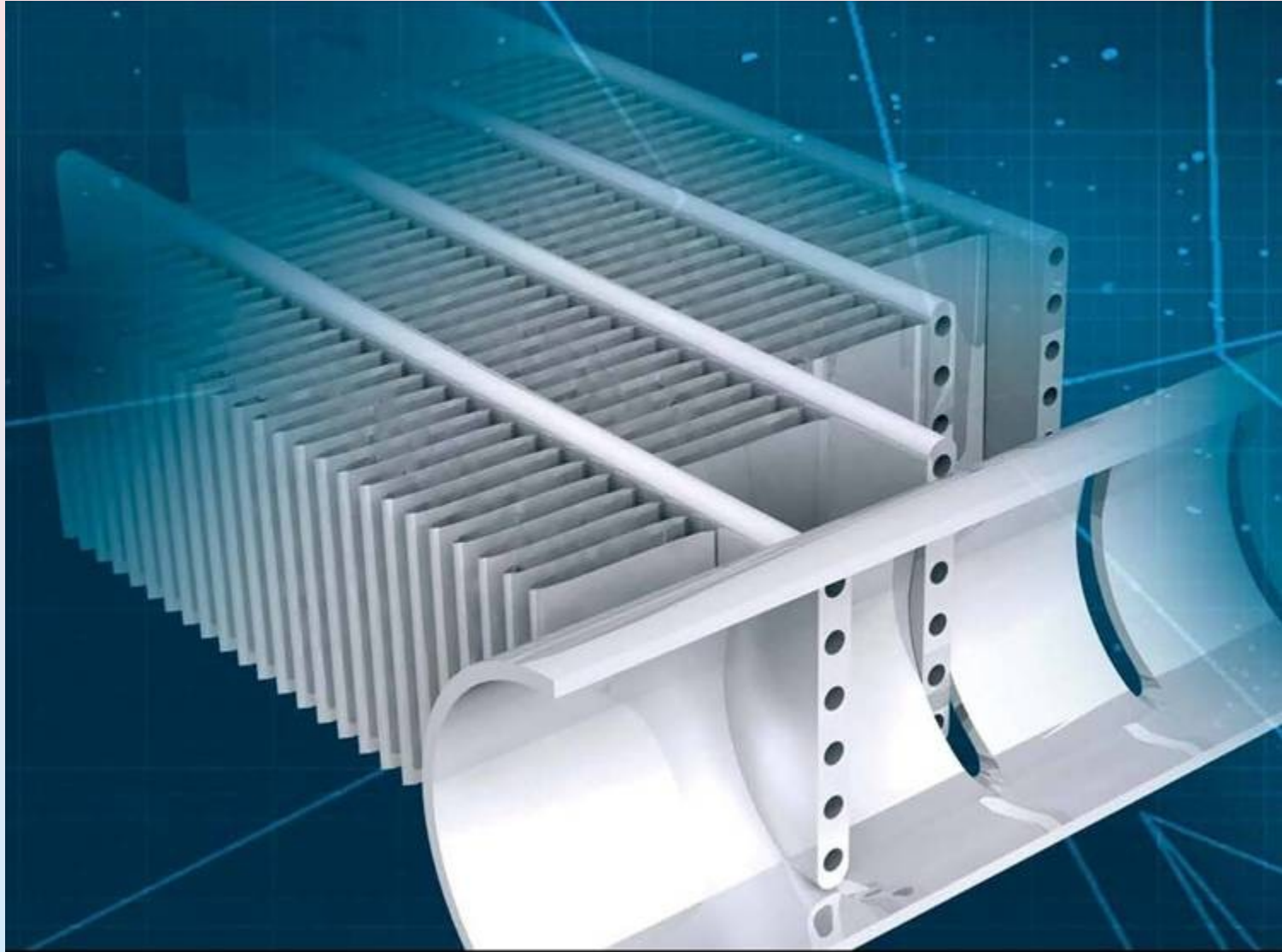
Compressor



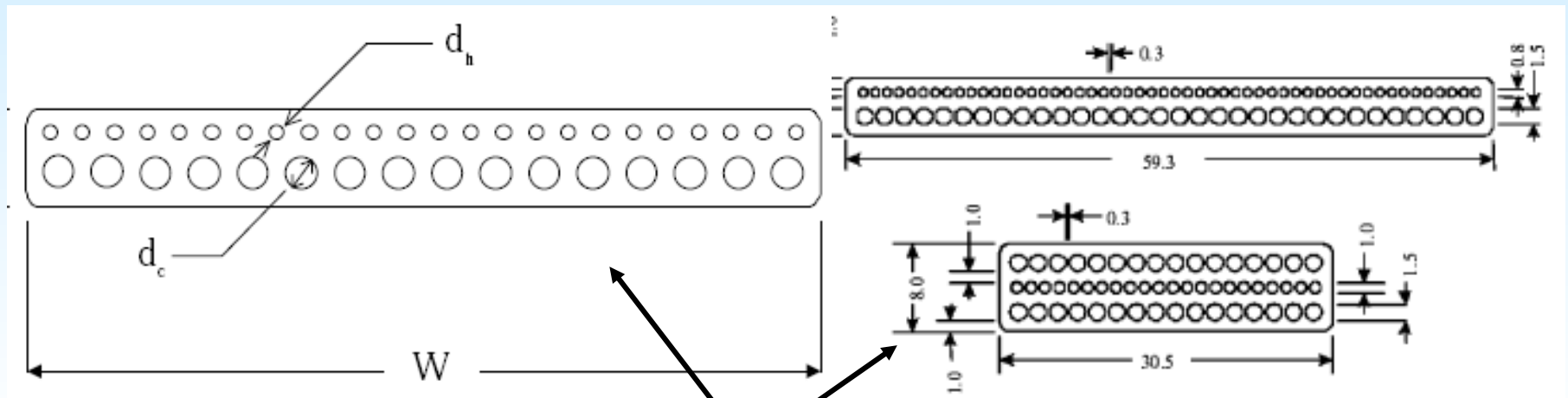
Trocadores de Calor



Gas Cooler e Evaporador

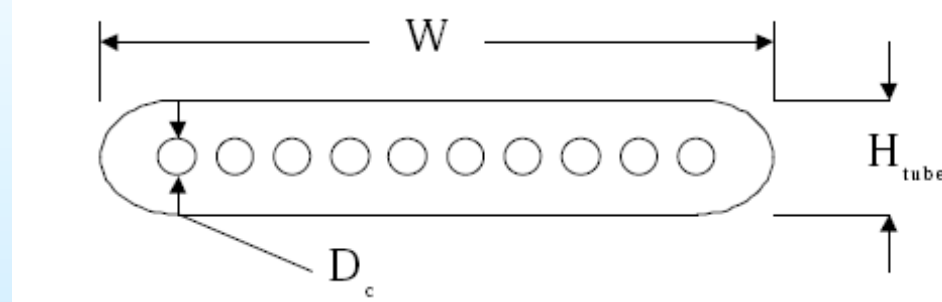



Comparativo




Configuração de Trocador de Calor Interno

Configuração de Trocador de Calor – Gas Cooler

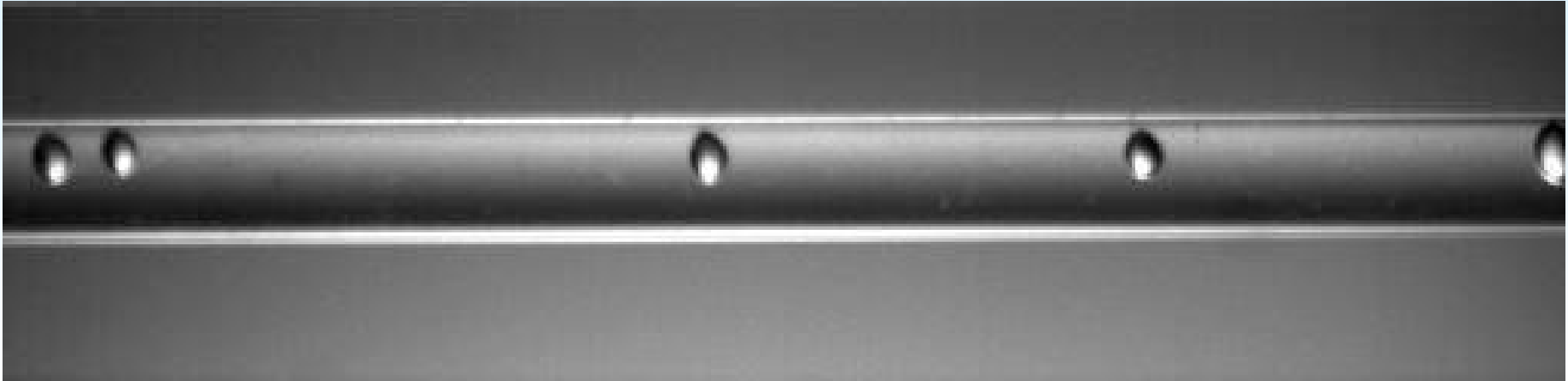




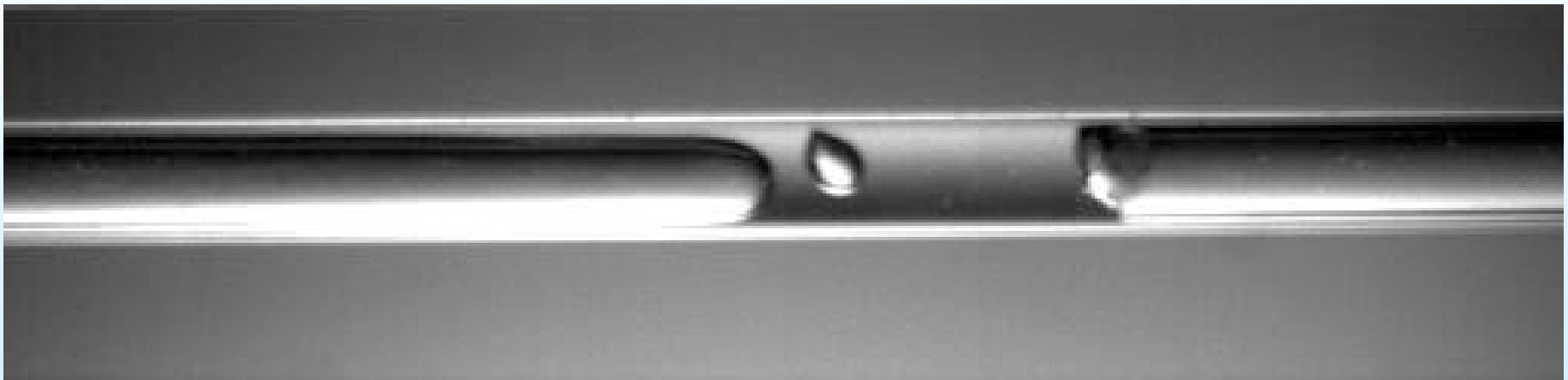
**Visualização do
Escoamento no Interior
de Trocadores de Calor
tipo Microcanais**



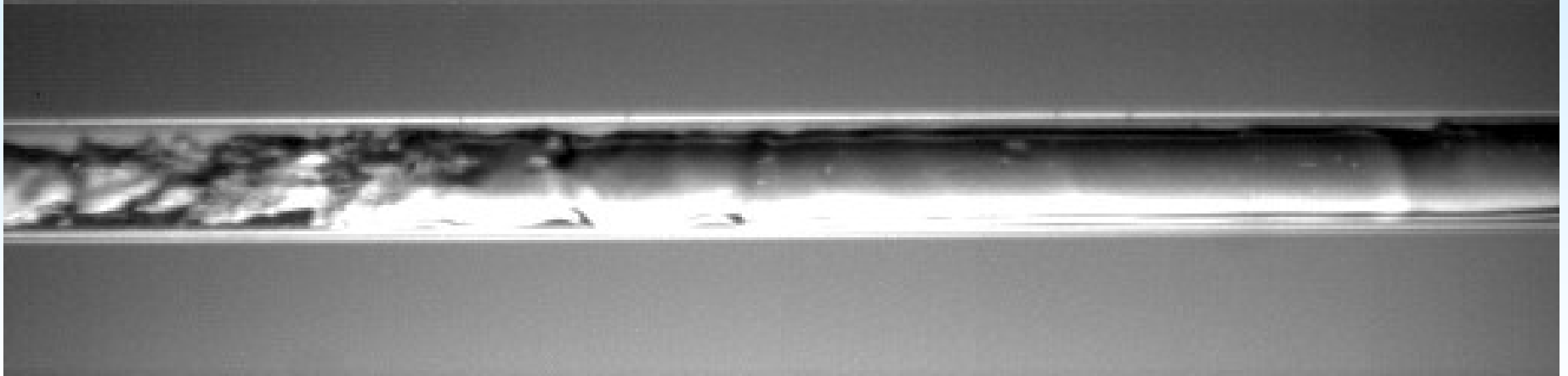
Bolhas



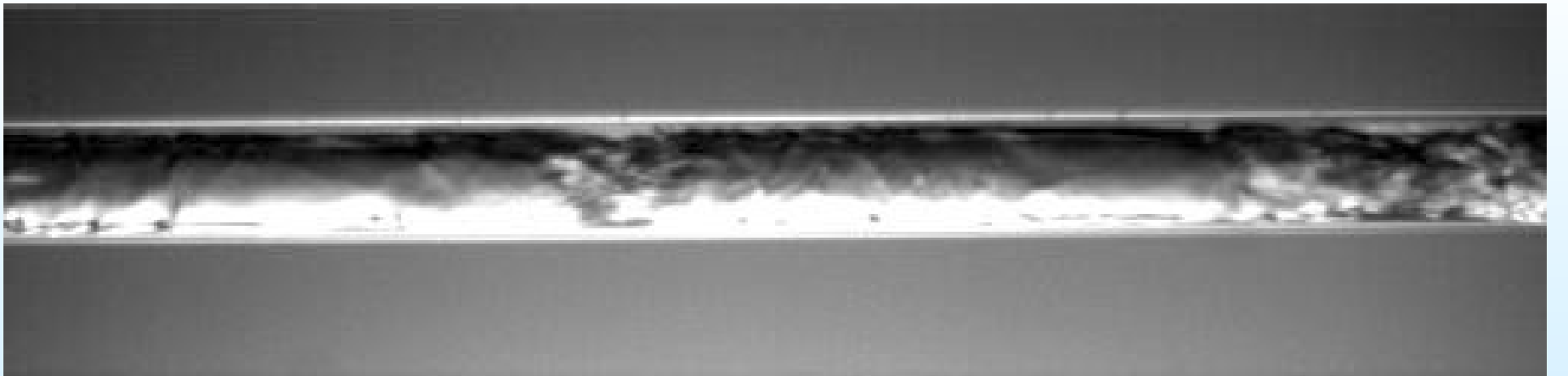
Escoamento Intermitente




Escoamento Semi-Anular




Escoamento Annular

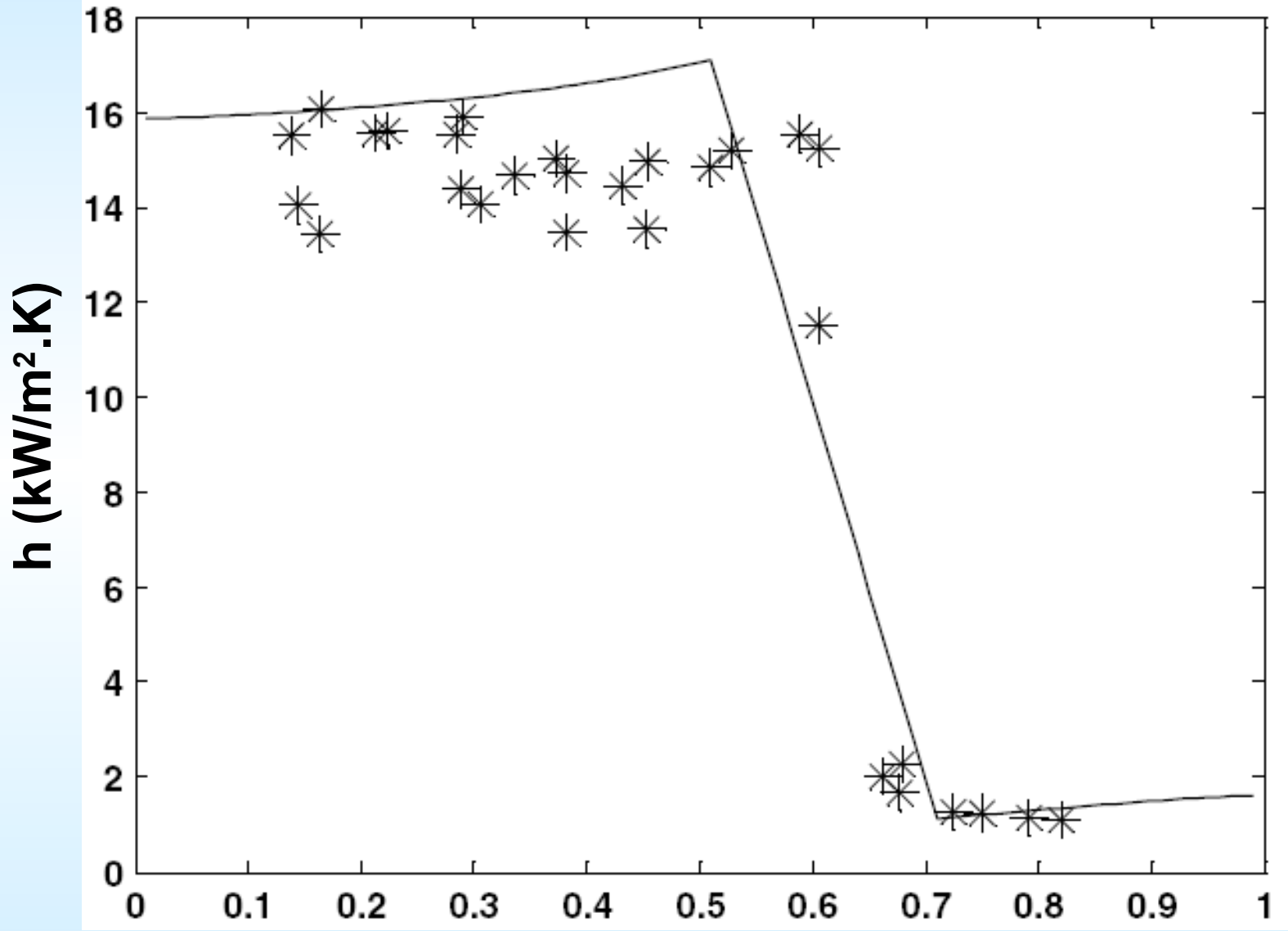




**Comparação de
Resultados Obtidos na
Literatura**



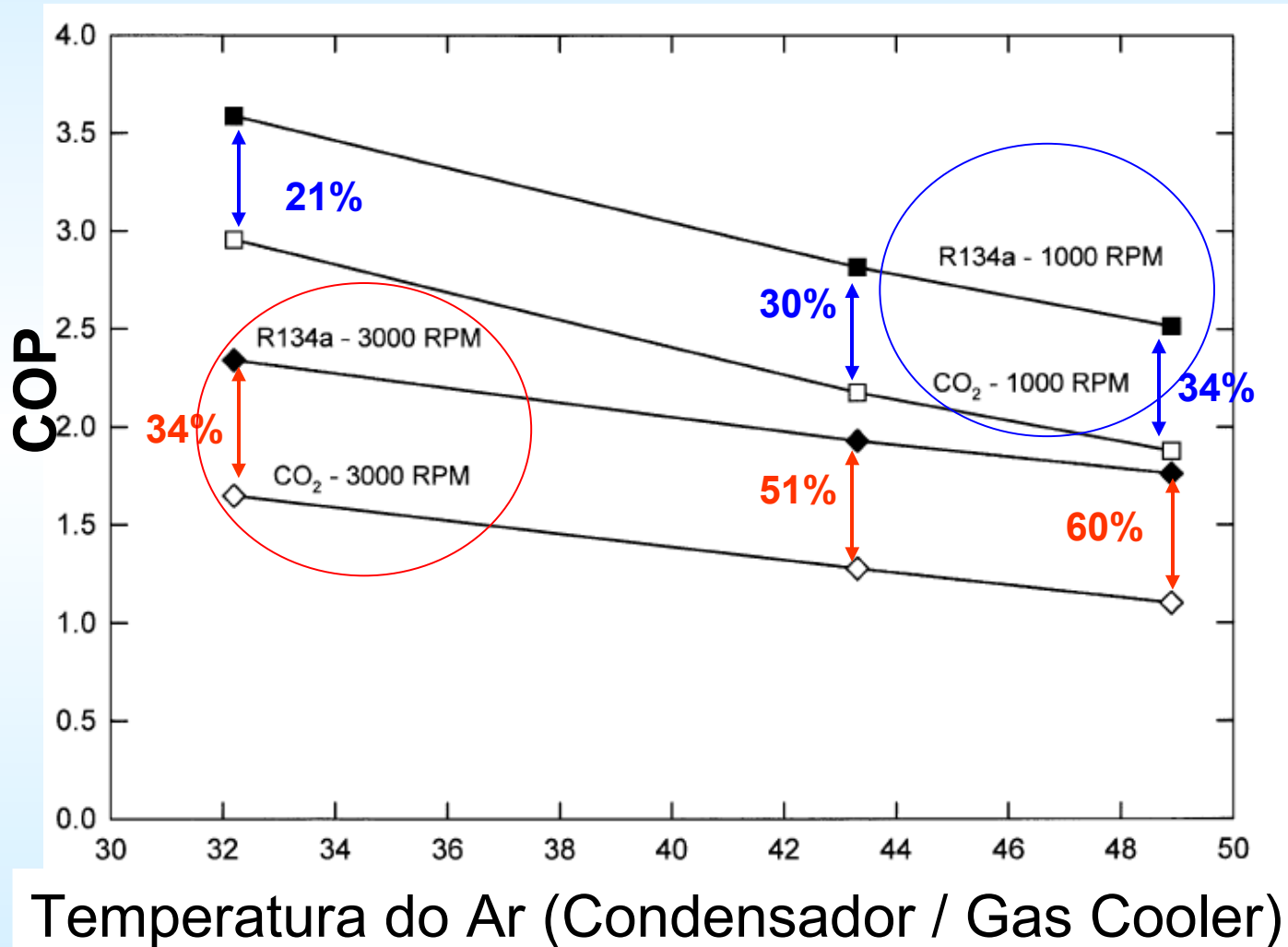
Modelo para cálculo do h em Evaporador com CO2



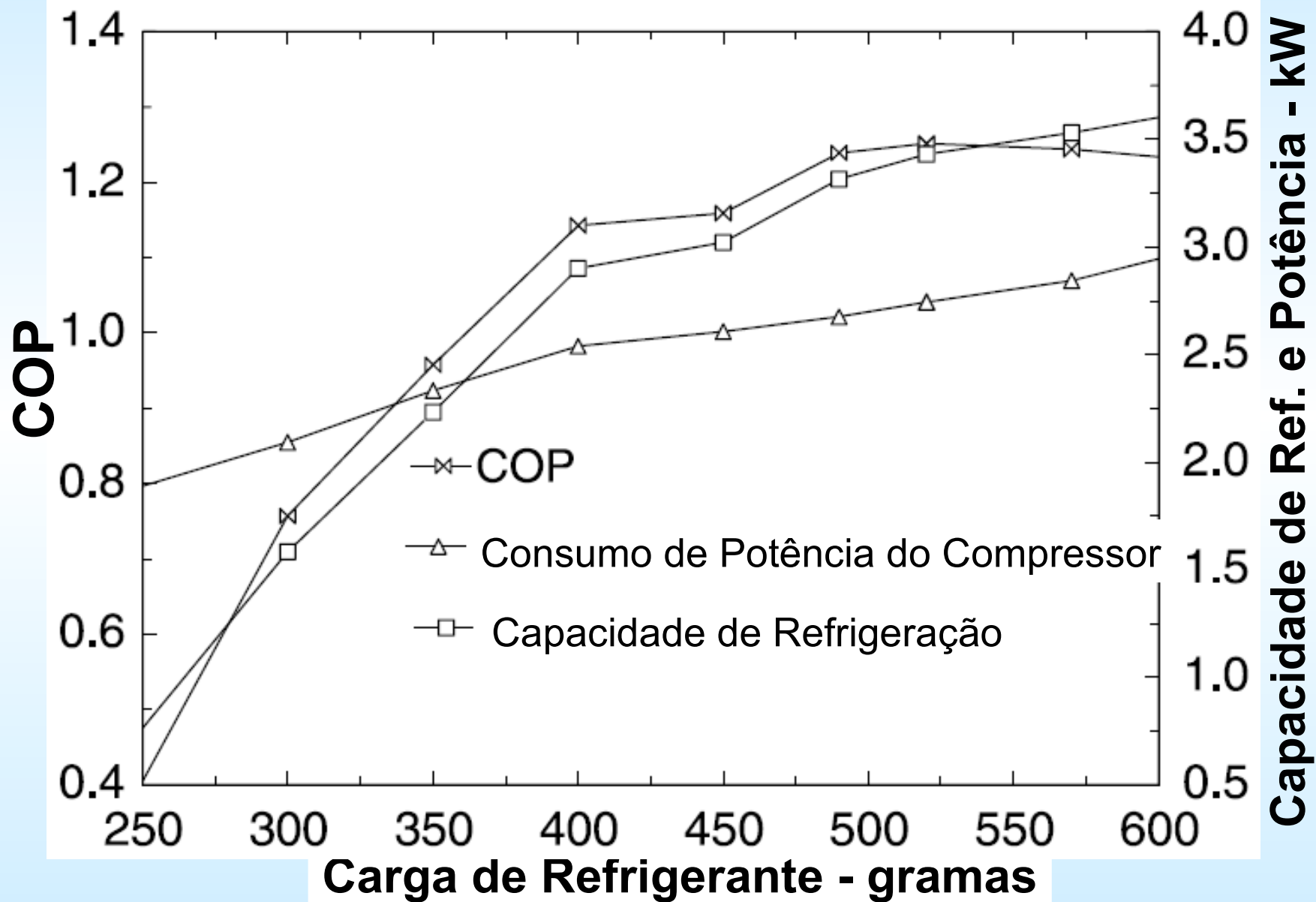
Cheng, Ribatski and Thome (2007)

Resultados Comparativos

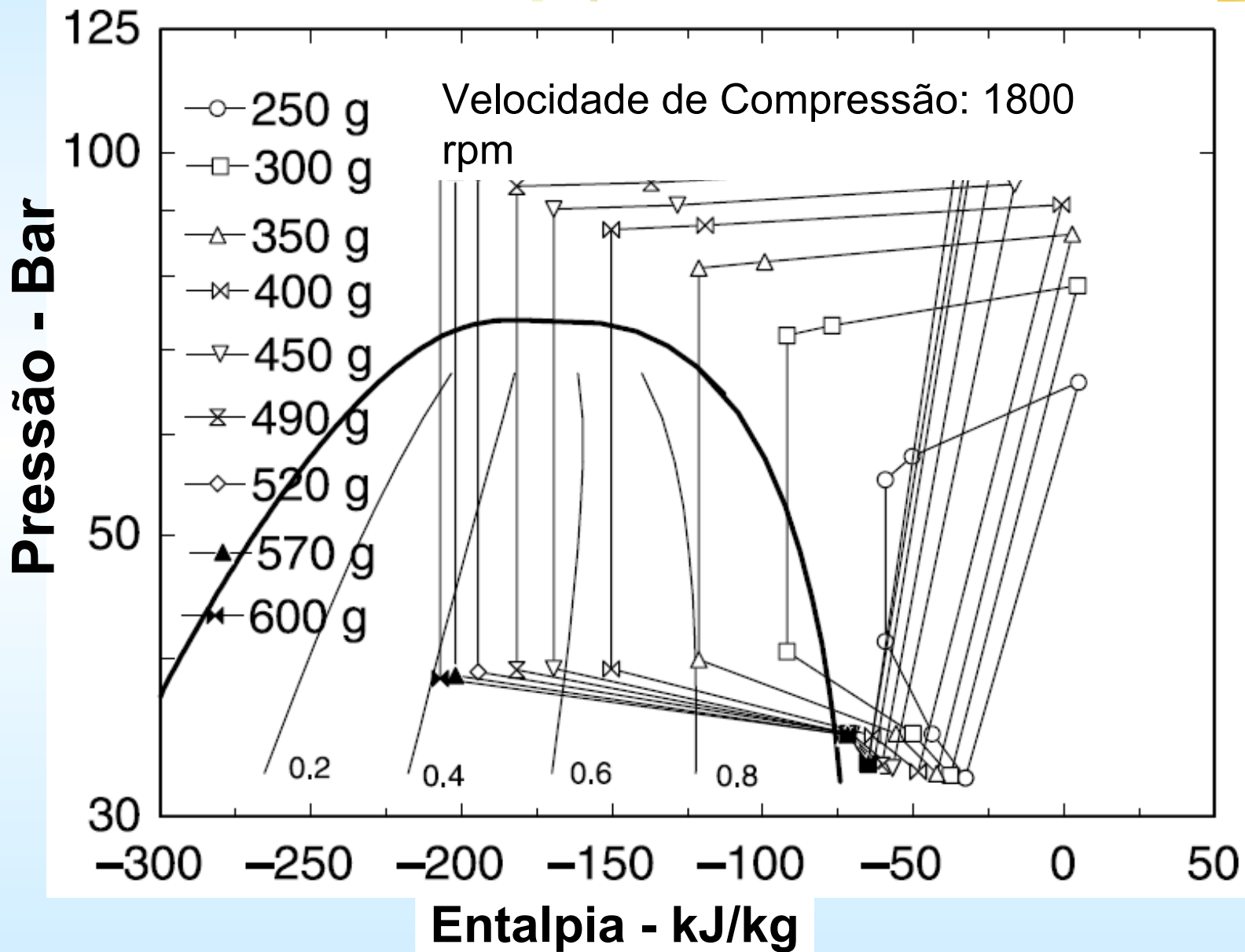
Estados Unidos - 2002




Resultados 2005 - China




Resultados 2005 - China





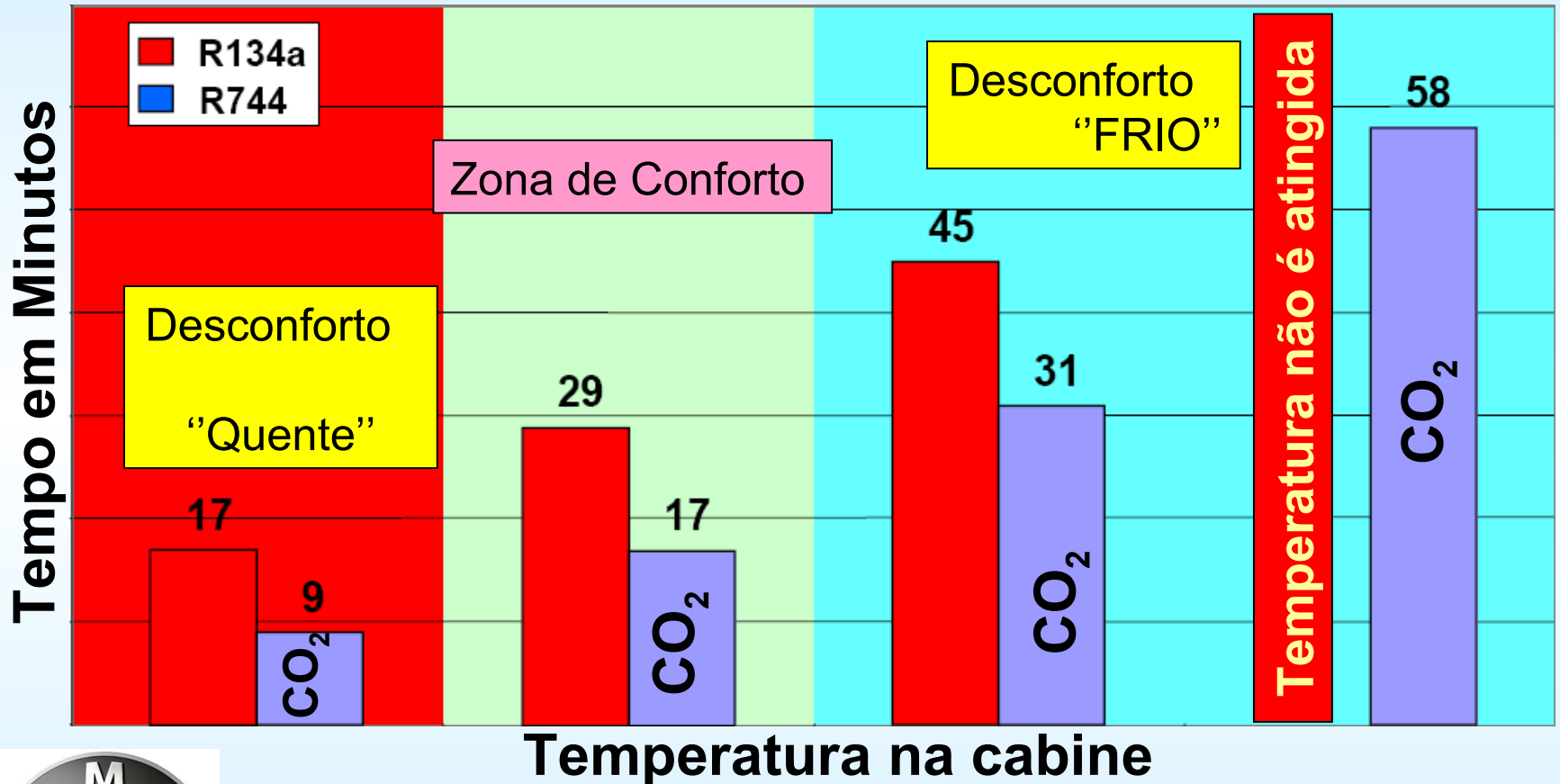
Comparação de Resultados obtidos em Testes com Veículos



Comparação R134a x CO₂



Comparação R134a x CO2



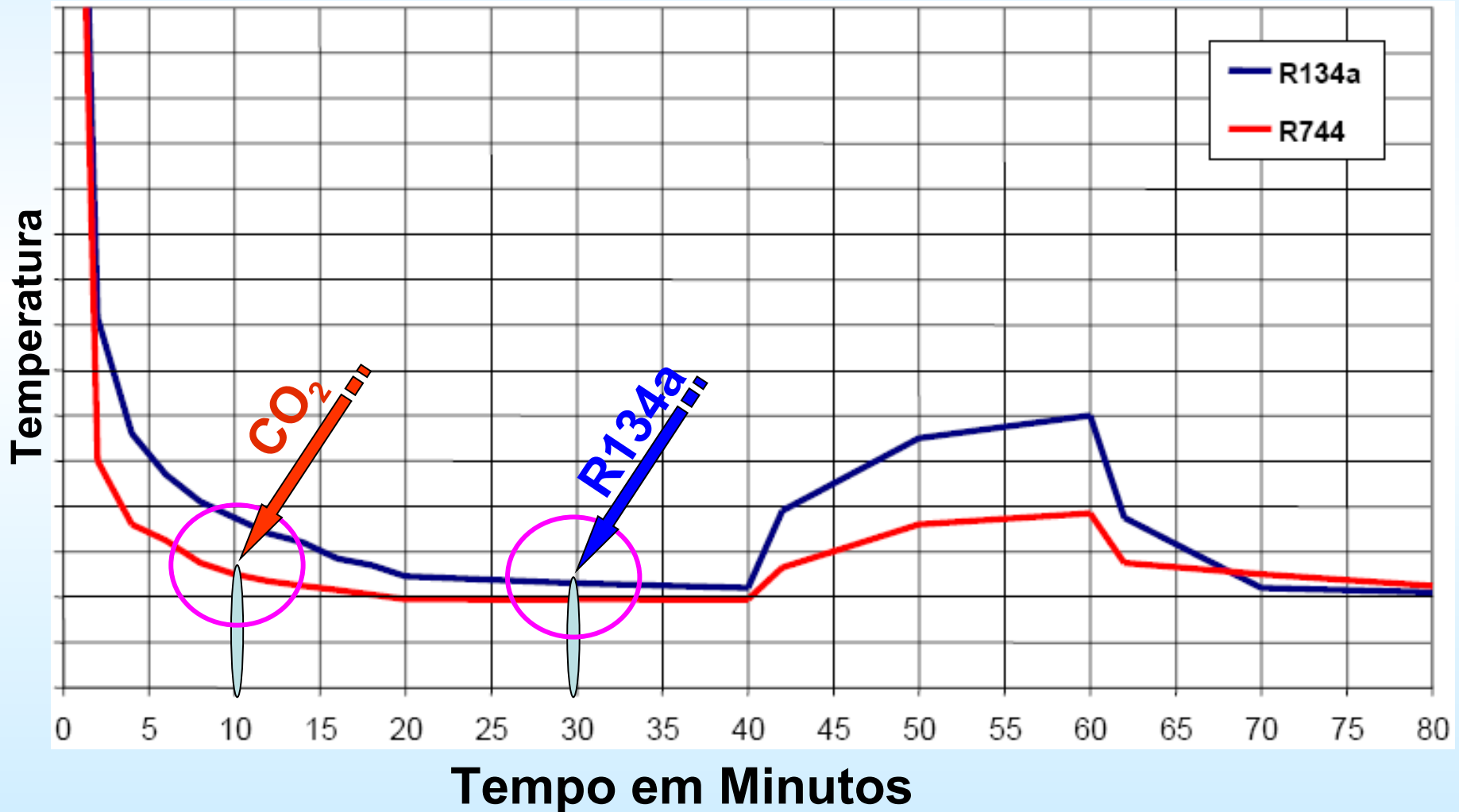
Série 3

Temperatura Inicial da cabine: 75°C
Sol: 1000 W/m²
Temperatura Ambiente: 40°C

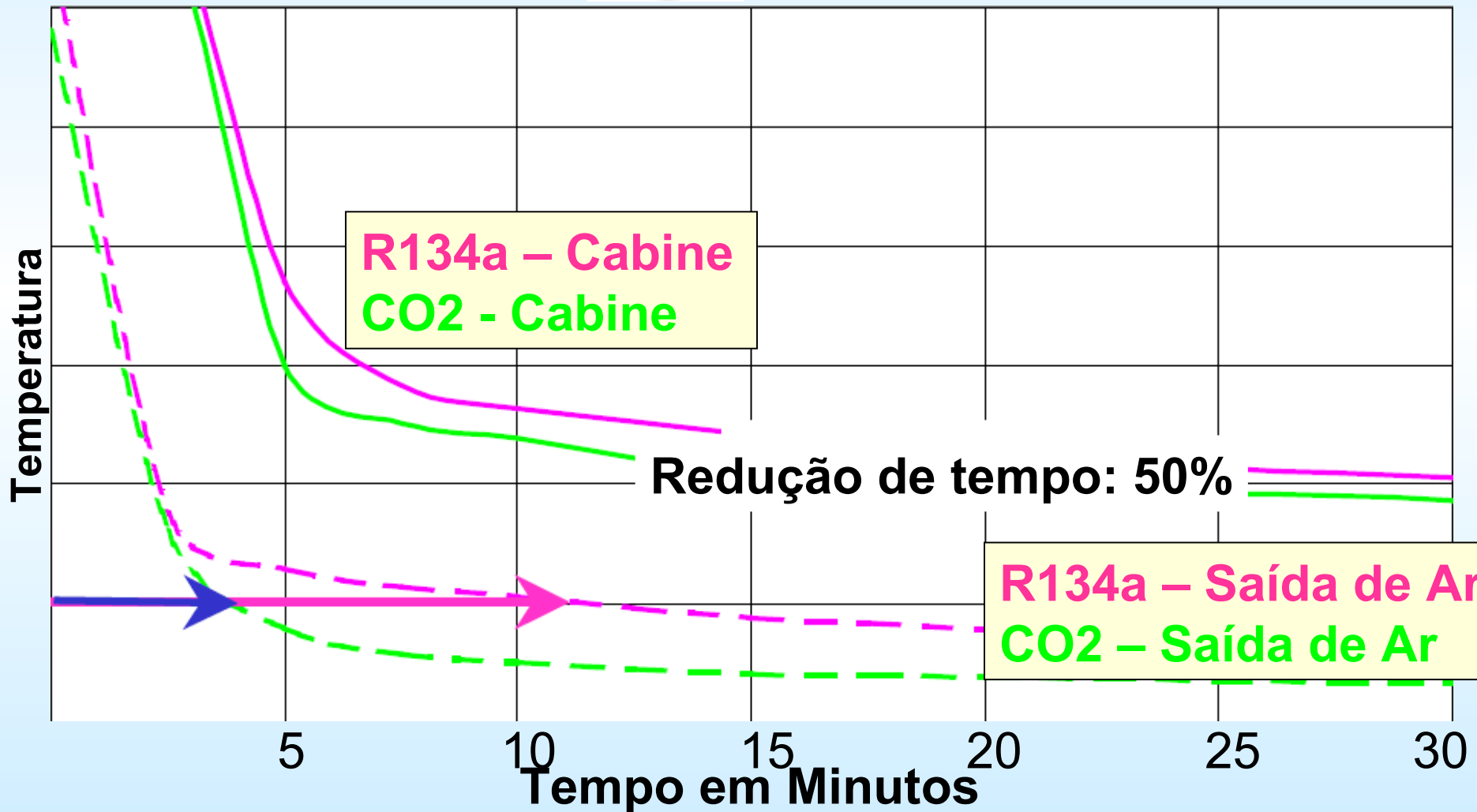
Comparação R134a x CO2



Audi A4



Comparação R134a x CO2



Resumo dos Testes

- O sistema com CO₂ mostrou melhor desempenho para atingir a temperatura desejada,
- Alcança valores reduzidos da temperatura da cabine,
- Elevado potencial no desenvolvimento de componentes com melhor desempenho,
- Redução no consumo de combustível comparado ao sistema com R-134a.

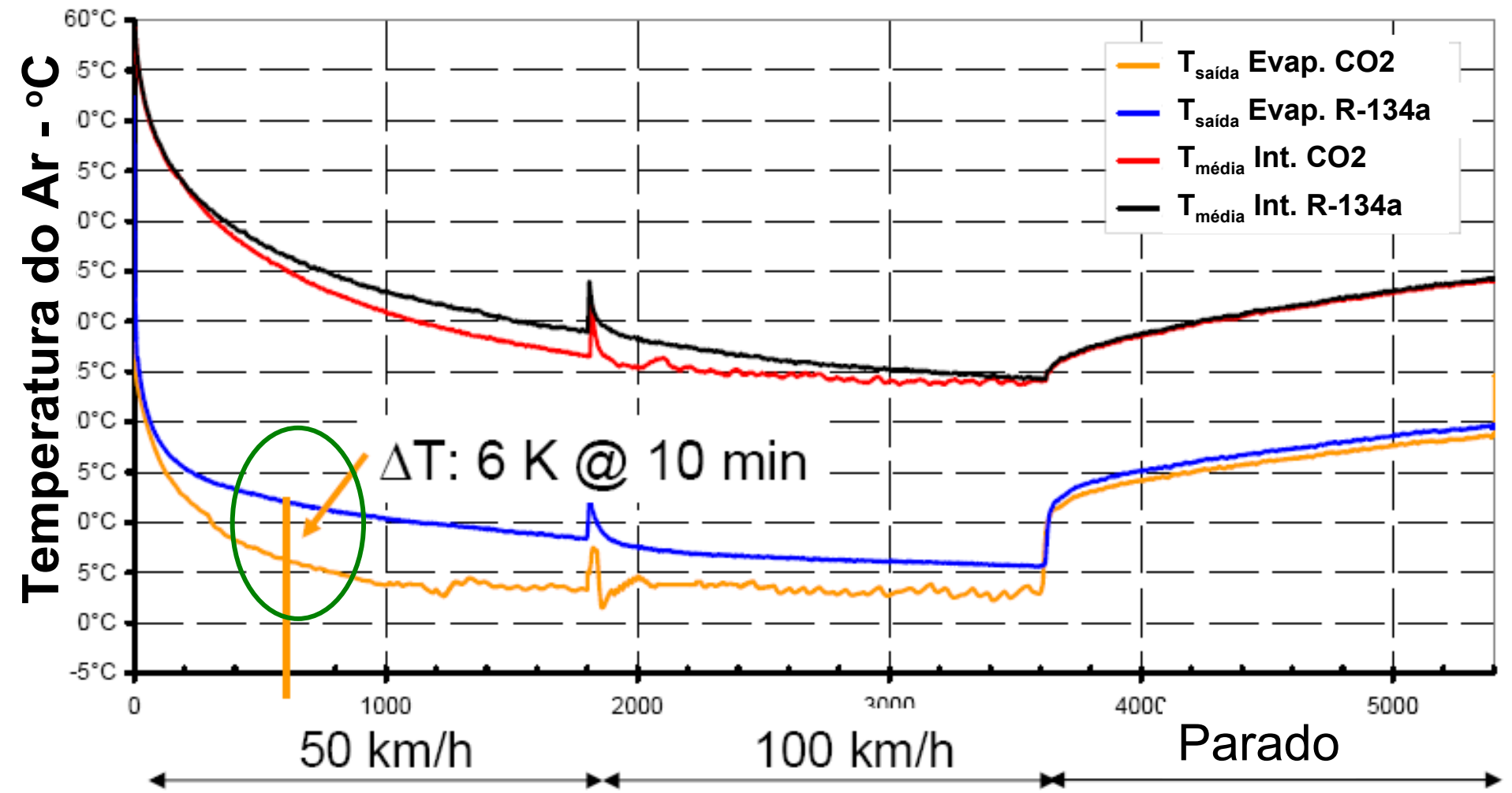
Comparação R134a x CO2 – 1000cm³



all down test at 45 °C/40 % RH, sunload 1000 W/m²

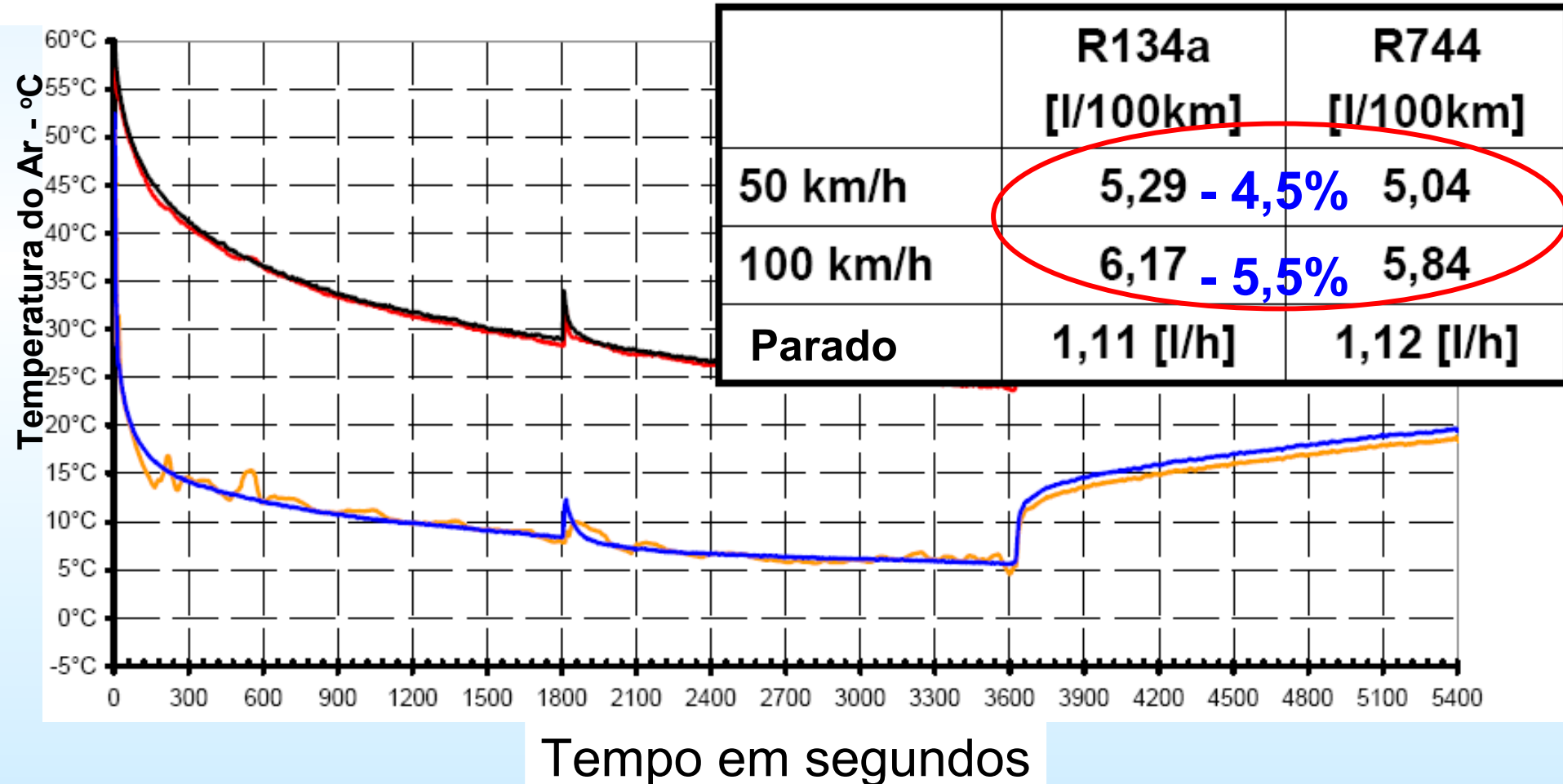
R134a system: good system for small vehicles class

R744 system: improved cooling performance

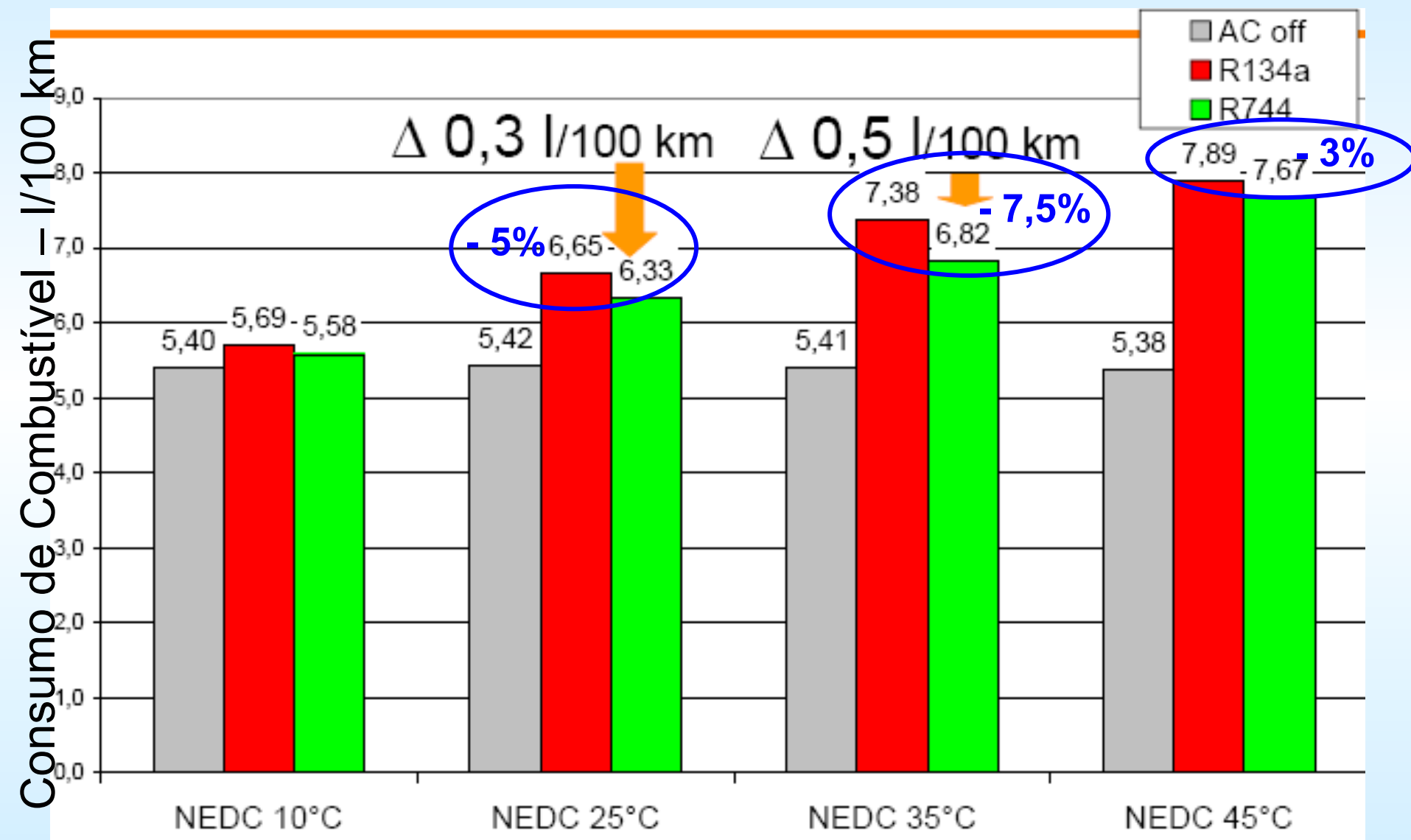


Comparação R134a x CO₂ – 1000cm³

Testes nas mesmas condições anteriores
CO₂ foi levado às mesmas condições do R134a

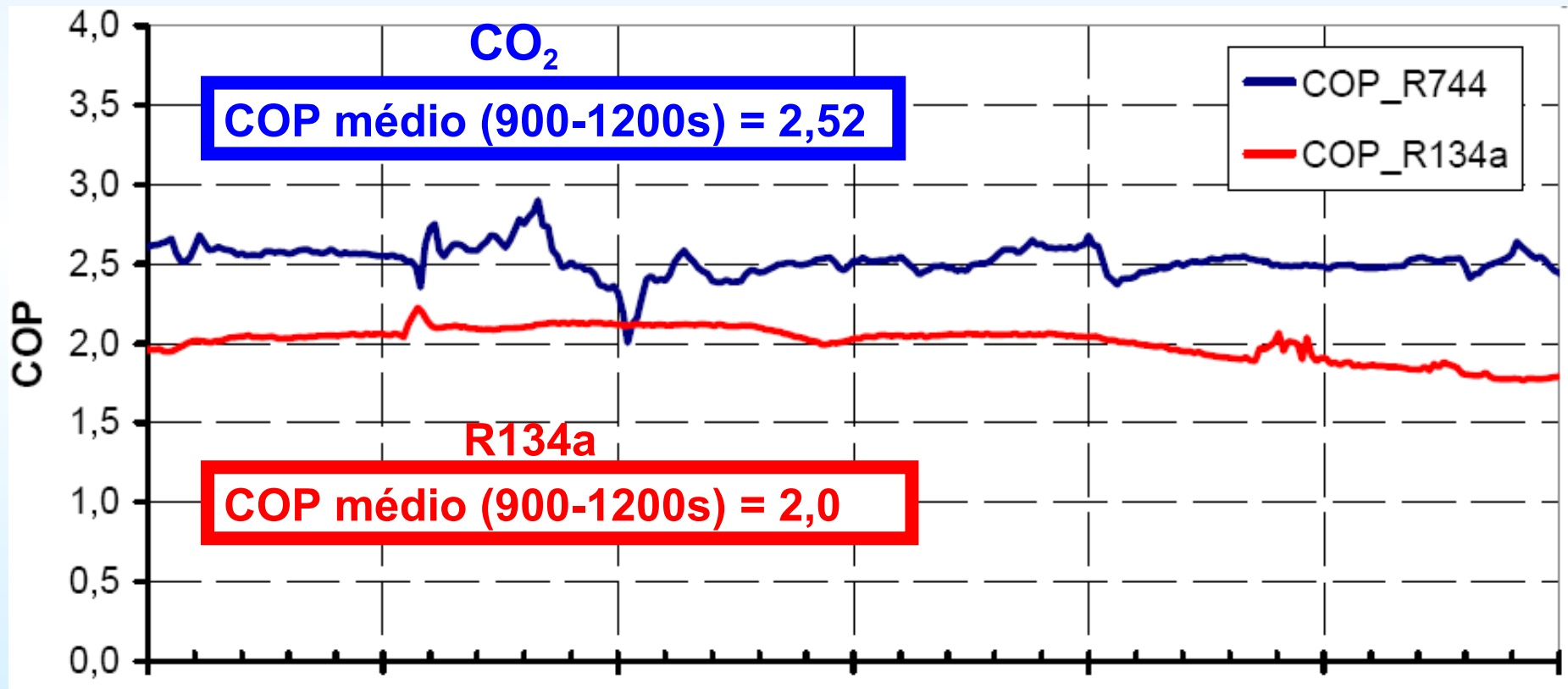


Comparação R134a x CO2 – 1000cm³



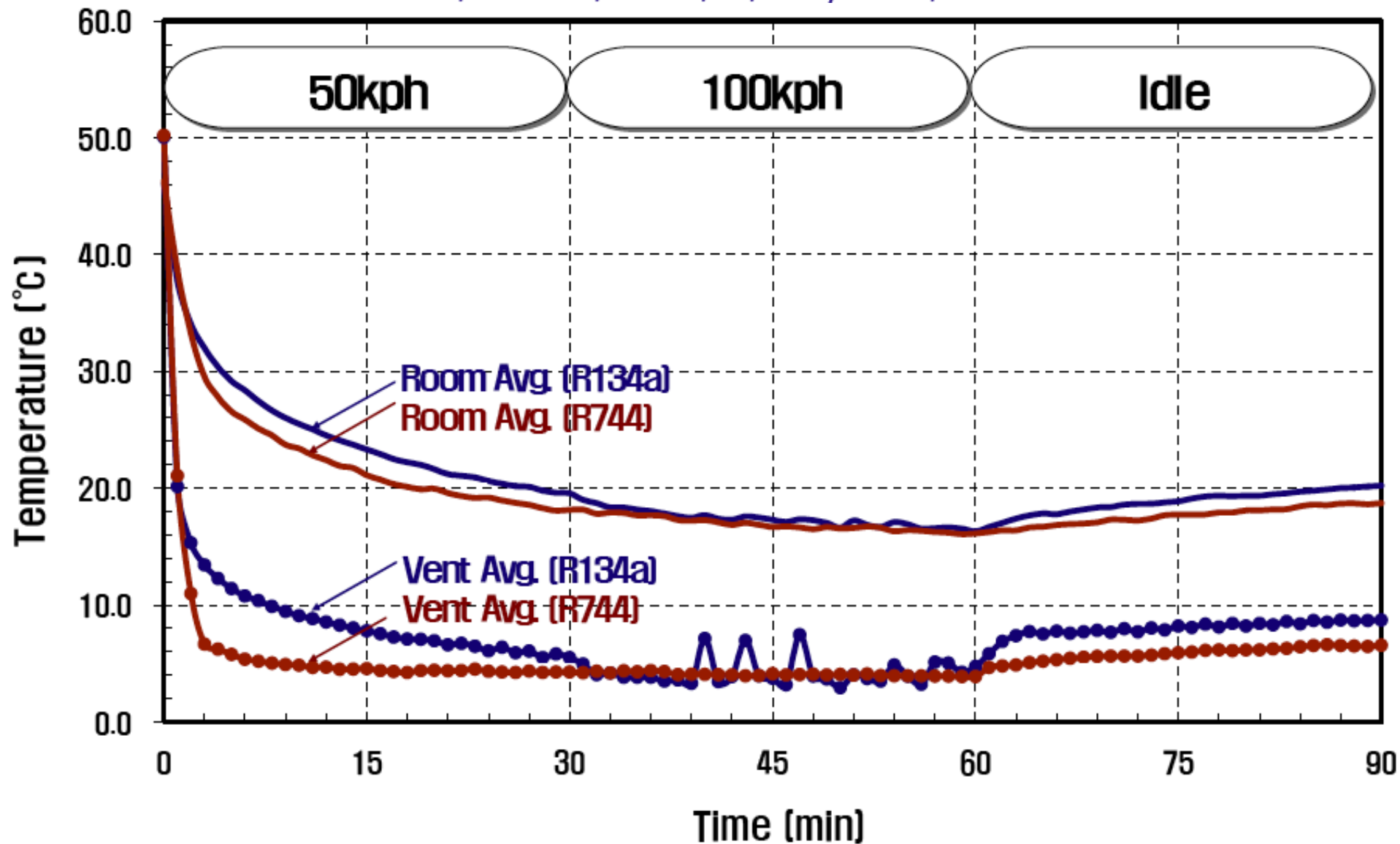
Comparação R134a x CO₂ – 1000cm³

Comparação com Temperatura de 45°C

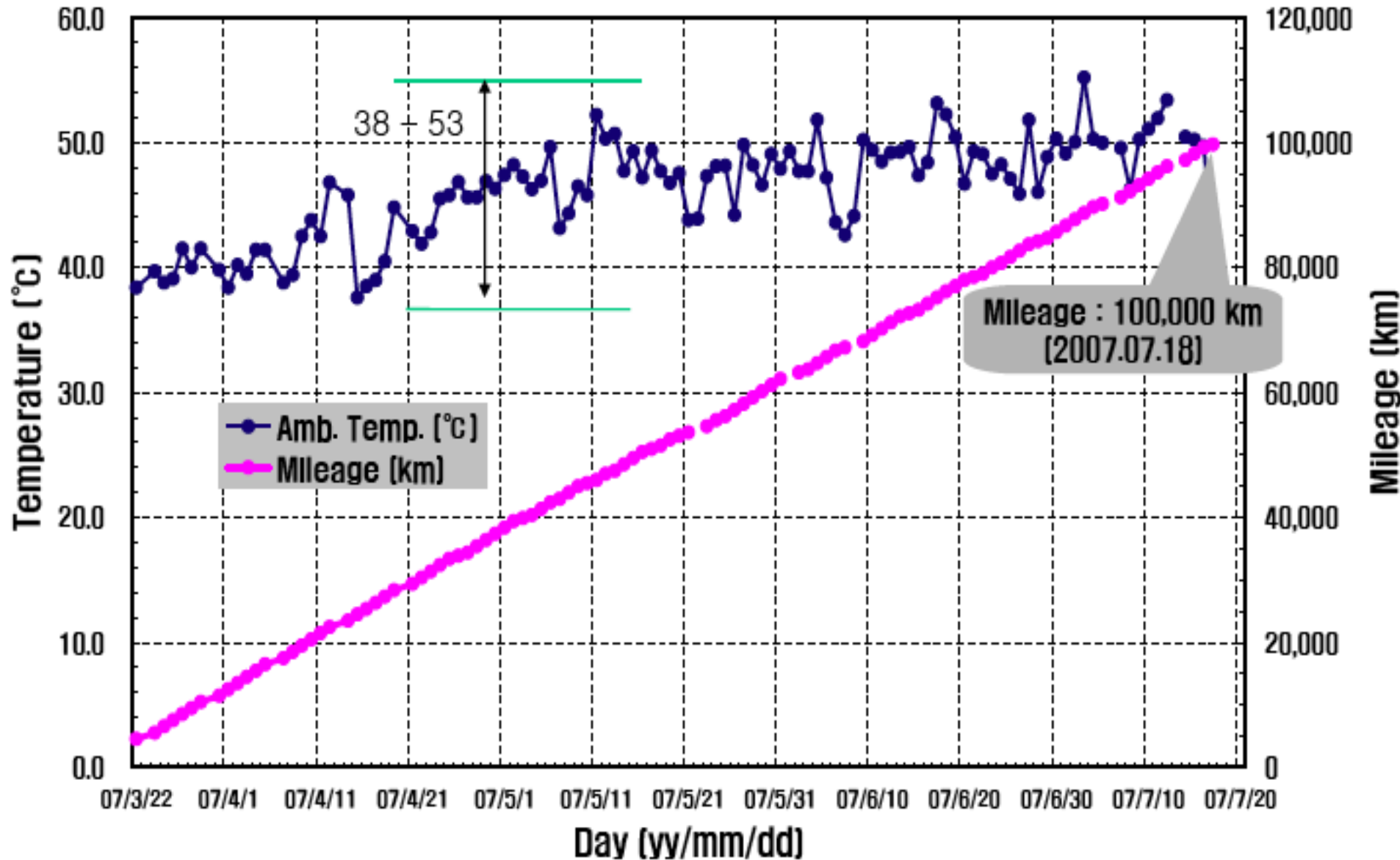


Comparação R134a x CO₂ – Utilitário - 2007

Test condition : Ambient 35 °C, 60%RH, 800W/m², Recycle Air, Blower Max. with SUV Vehicle



Teste de Durabilidade - CO₂

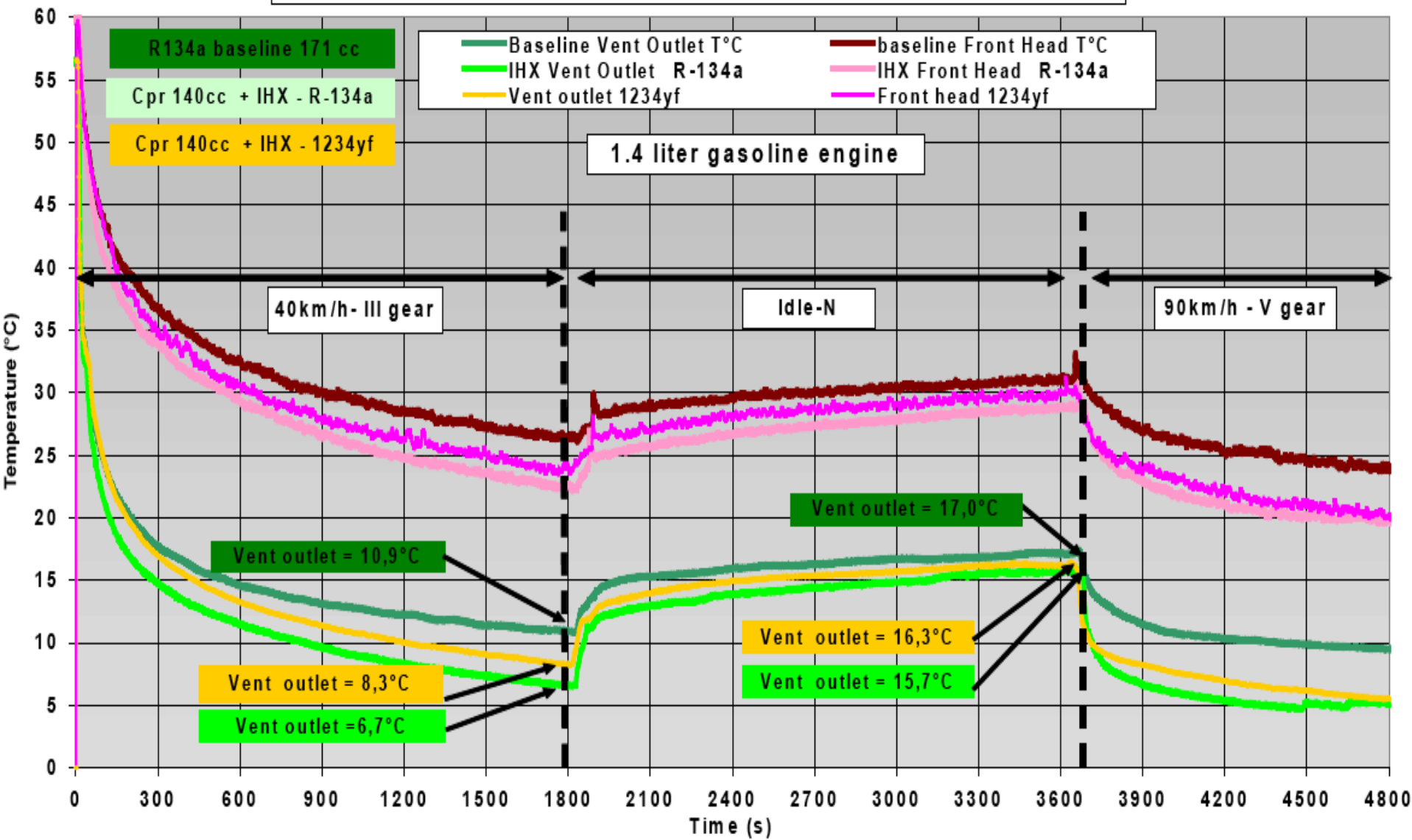


Marcas – HFO-1234yf (aguardando resultados)

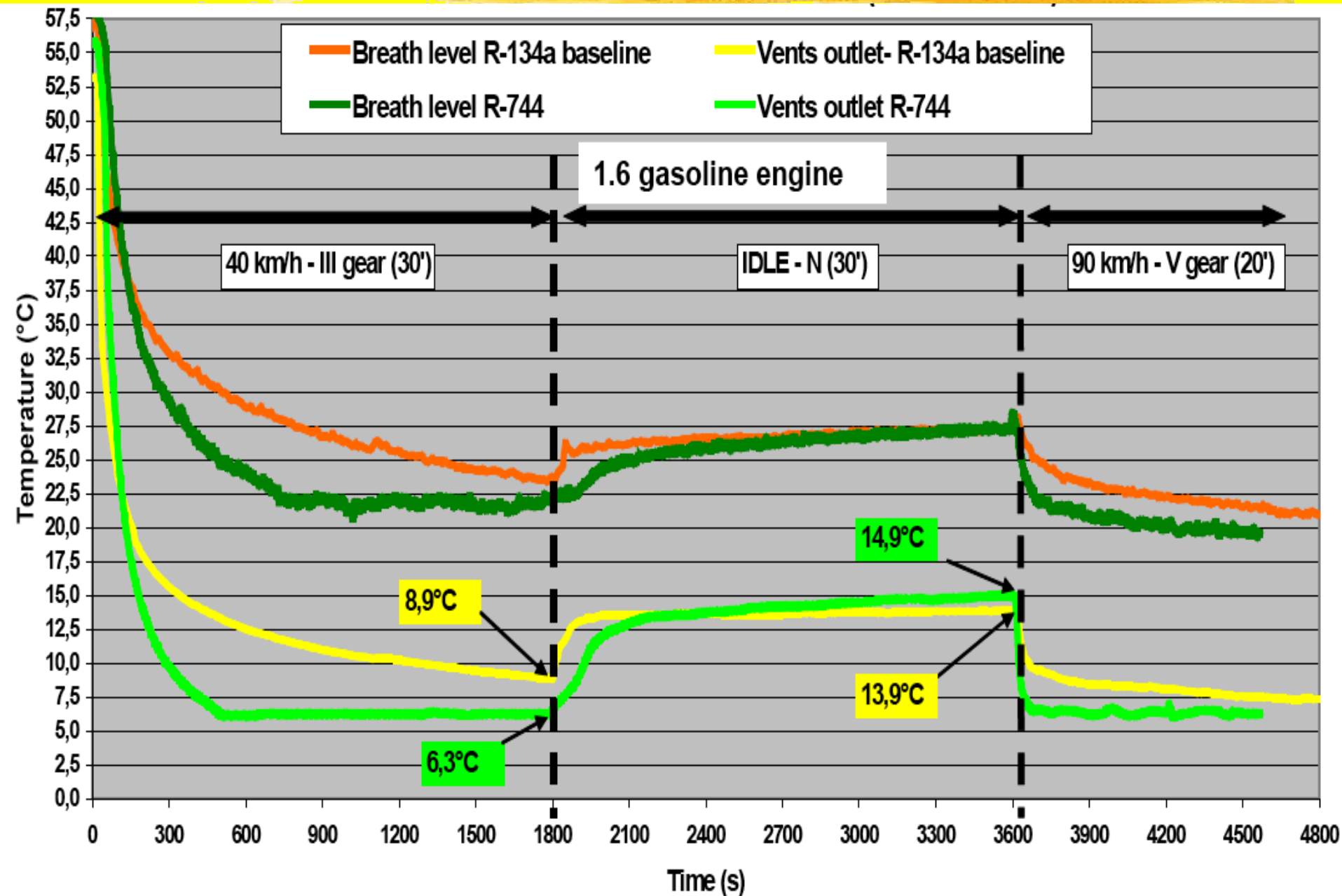



Testes – 2008 - R134a x HFO1234yf – 1.4l

LV Windtunnel tests - Valeo cool down R134a vs. HFO 1234yf
Ambient air conditions 45°C & 40% RH (recirculation)




Testes – 2008 - R134a x R744 – 1.6l



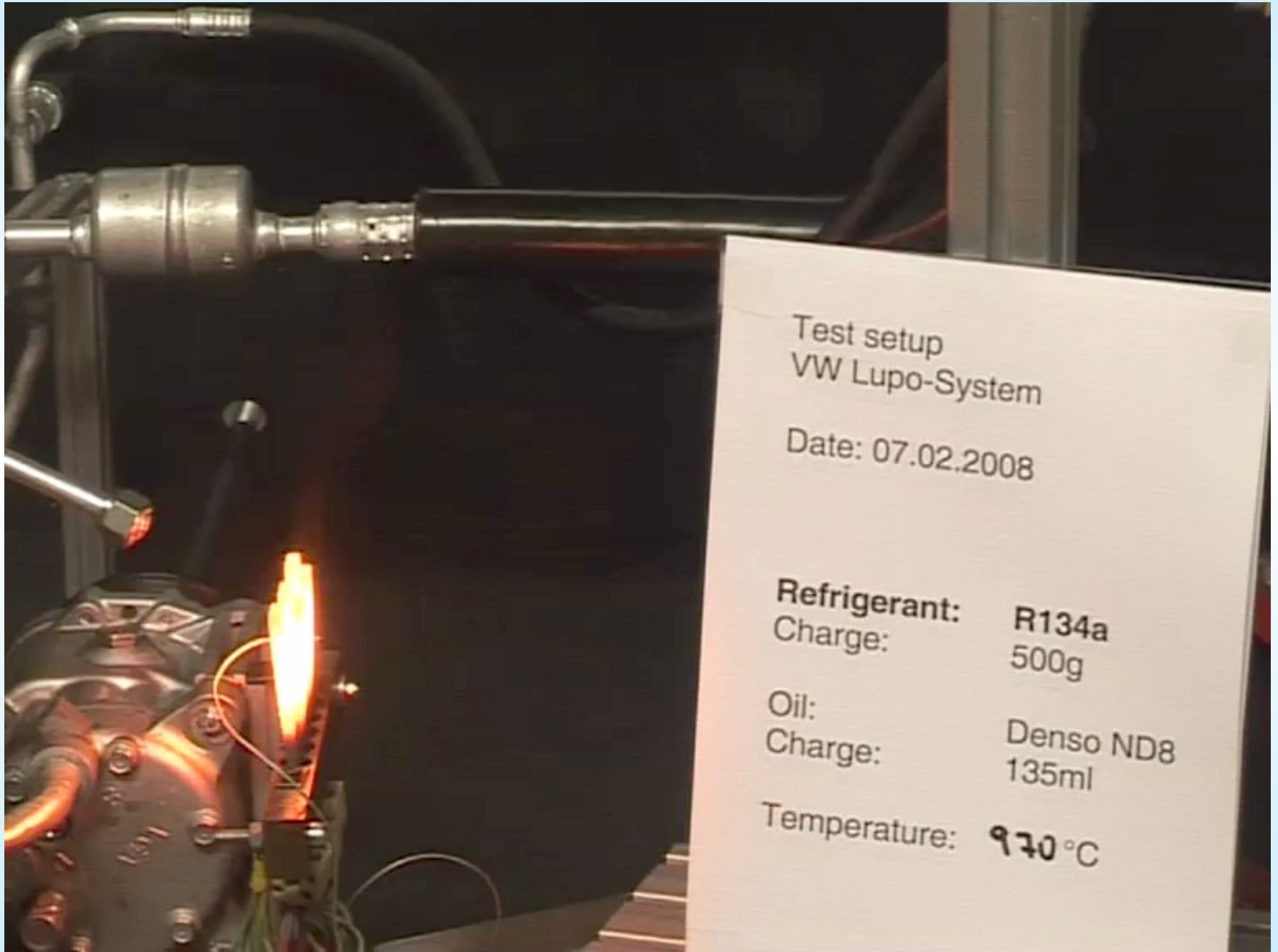


Vídeos - Ensaaios de Inflamabilidade

R-134a, CO2 e R-1234yf



Testes – com R-134a, CO2 e R-1234yf



Test setup
VW Lupo-System

Date: 07.02.2008

Refrigerant: R134a
Charge: 500g

Oil: Denso ND8
Charge: 135ml

Temperature: 970 °C

Testes – com R-134a, CO2 e R-1234yf

Test setup
VW Lupo-System

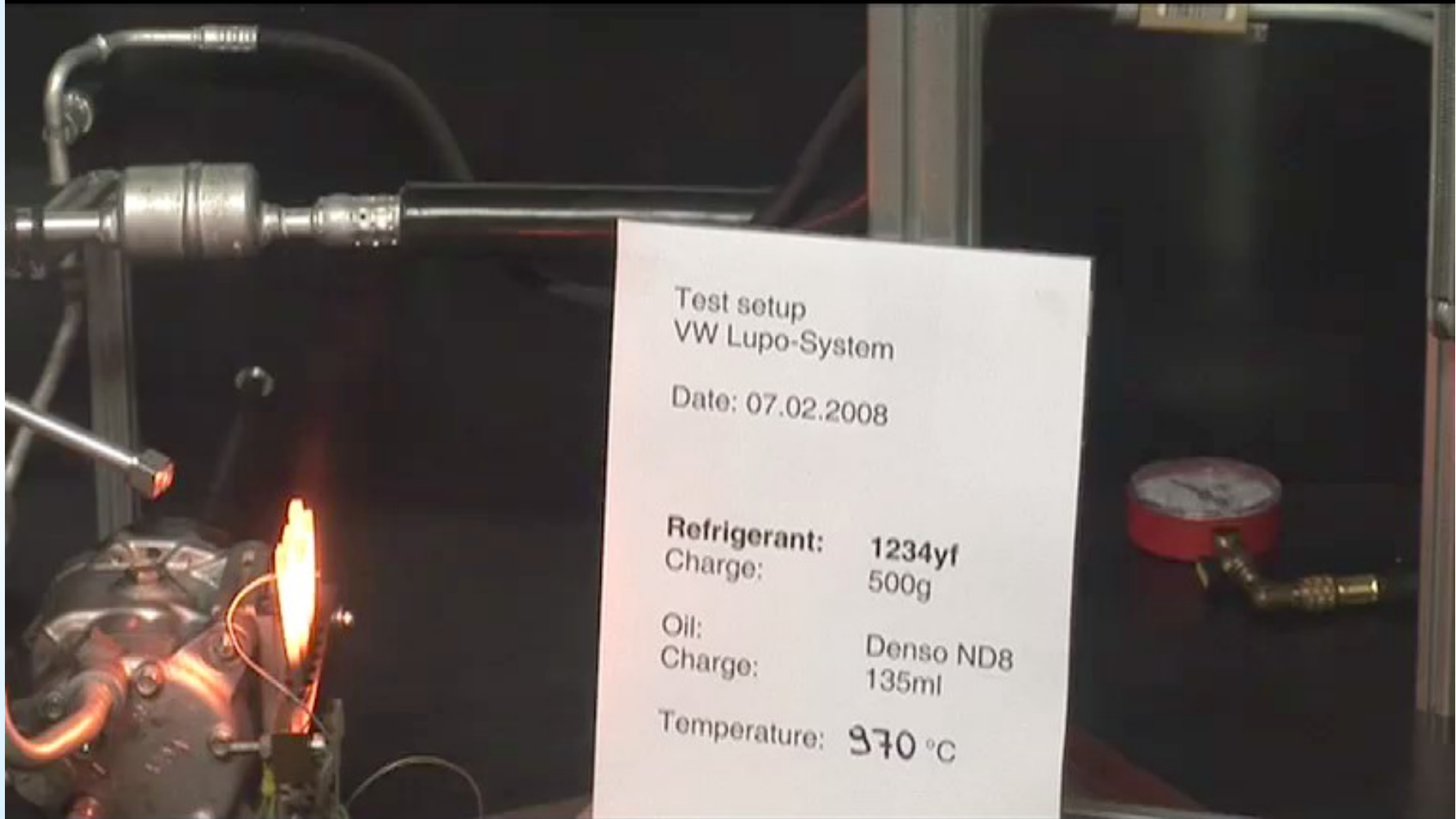
Date: 07.02.2008

Refrigerant: CO₂
Charge:

Oil: Denso ND8
Charge: 135ml

Temperature: 970°C

Testes – com R-134a, CO2 e R-1234yf



Test setup
VW Lupo-System

Date: 07.02.2008

Refrigerant: 1234yf
Charge: 500g

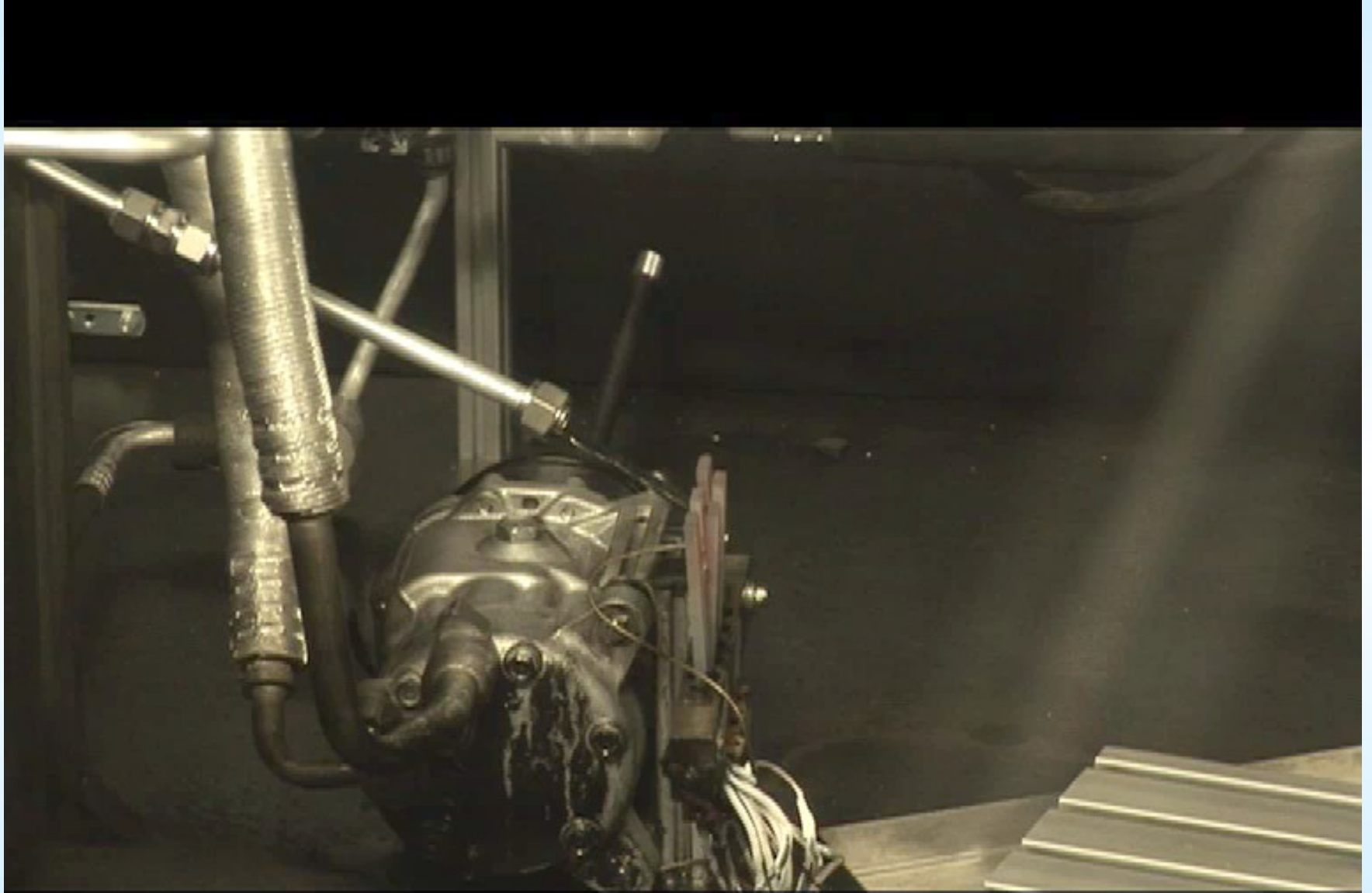
Oil: Denso ND8
Charge: 135ml

Temperature: 97.0 °C

Testes – com R-1234yf



Testes – com óleo PAG



Resumo dos Testes

- Sistema com CO₂ para Veículos de baixa potência provou ser viável e pode ser projetado com os componentes padrões.
- Consumo de combustível em média 5% menor com o CO₂. Isso pode levar a uma redução na emissão de CO₂ pelo escapamento entre 6 e 10 g/km.
- Isso leva a crer que a medida que forem projetados equipamentos melhores, a tendência é de maior vantagem para utilização do CO₂.
- Testes com o HFO-1234yf mostraram o elevado risco de incêndio em vazamento ou colisão.

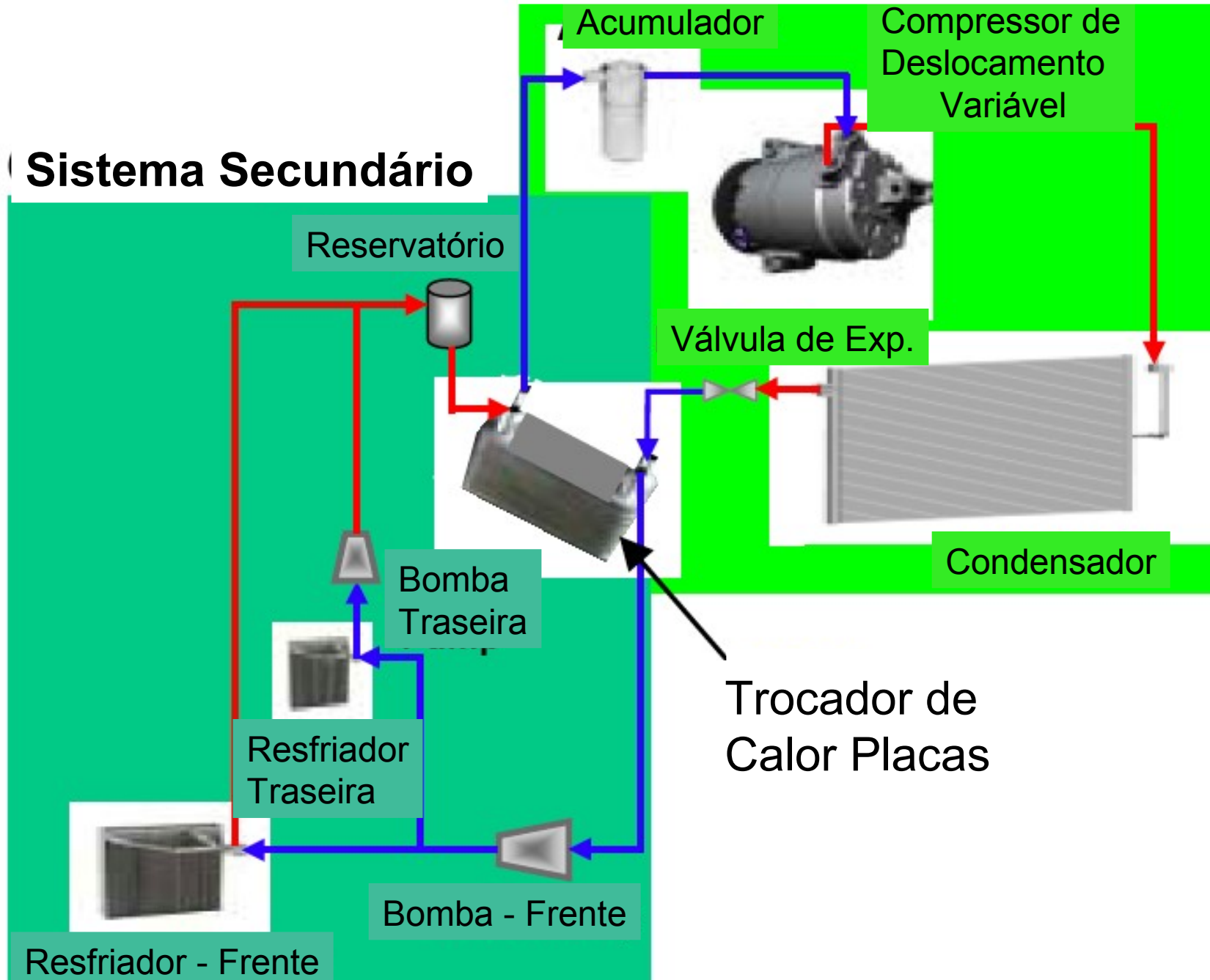


Sistemas com R-152a



Sistema de Refrigeração – R152a

Sistema Secundário



Prós e Contras

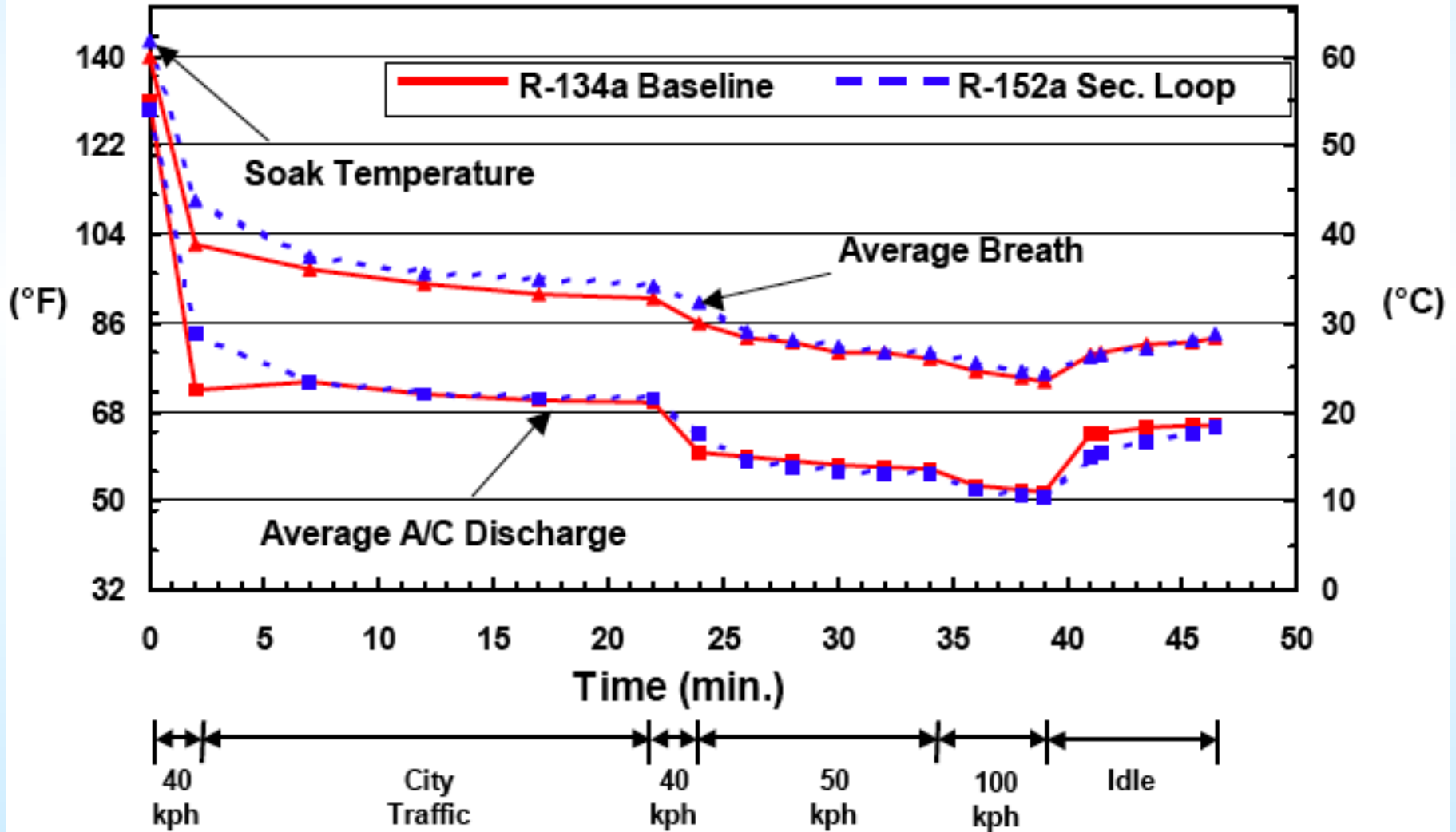
- Carga de Refrigerante é menor que sistemas convencionais,
- Aplicação em Multi-zonas sem aumento na carga de refrigerante
- Pontos adicionais sem limite e sem aumento da carga,
- Não há ruído na cabine pelo dispositivo de expansão,
- Não há variação de temperatura devido à má distribuição de refrigerante no evaporador.

Prós e Contras

- Peso total da Unidade de A/C,
- Mais componentes que fazem parte do sistema (Bombas, reservatório, entre outros)
- Maior potência elétrica necessária,
- Menor eficiência do Ciclo (COP),
- Menor desempenho no resfriamento (Cool Down) e no aquecimento.
- R-152a é um fluido INFLAMÁVEL

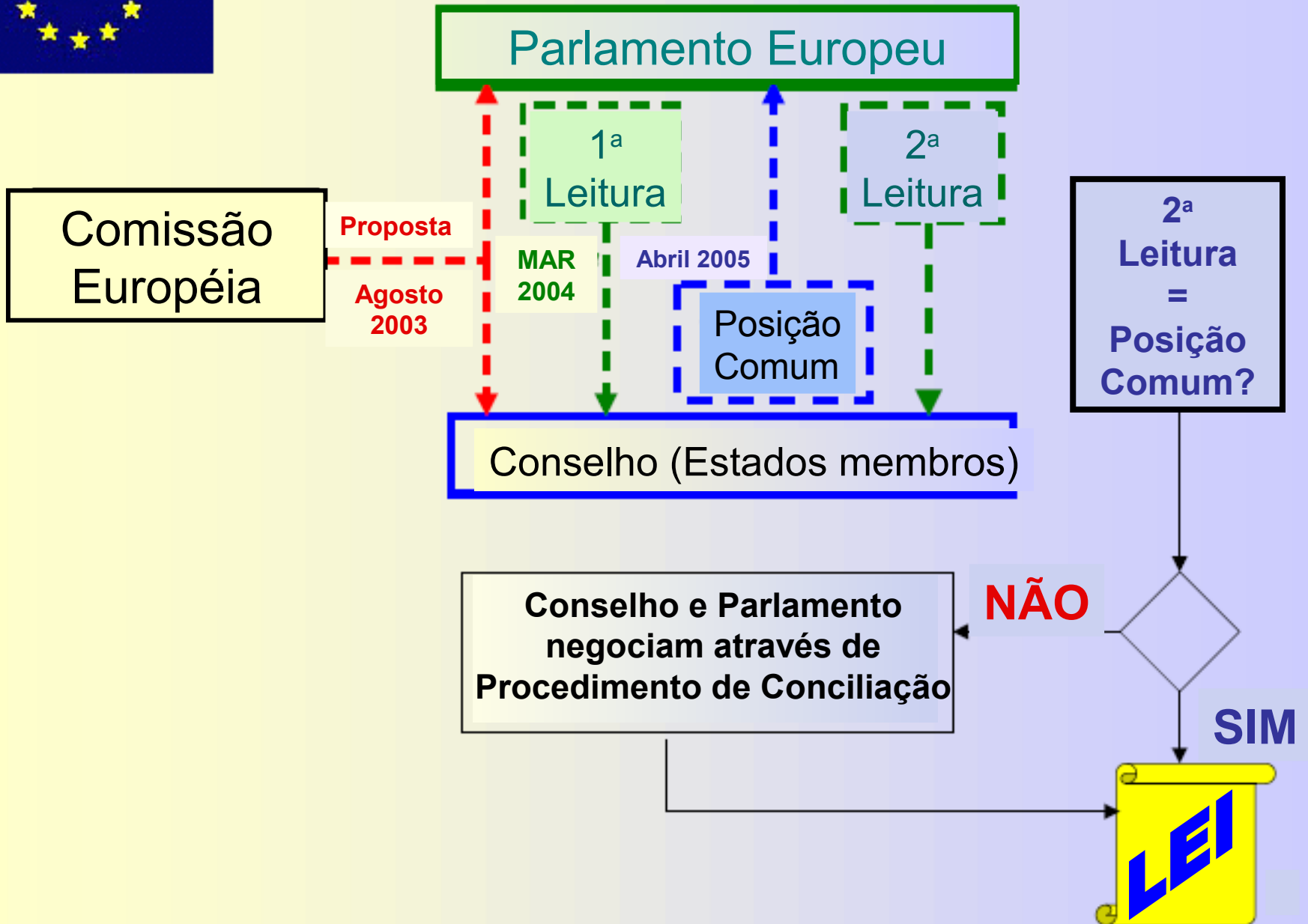
Comparativo entre R-152a e R-134a

XC90 A/C Cool-Down Performance Comparison
@ 115°F x 25% R.H. (46°C x 25% R.H.)





Decisão da Legislação da Comunidade Europeia sobre os Gases Fluorados



Proposta da Comissão Europeia

- Propuseram a retirada (phase-out) dos compostos fluorados entre 2009 e 2013.
- Propuseram a inclusão do HFC-152a como opção.
- Redução nos níveis de vazamentos dos gases fluorados nos equipamentos.


Com a implementação dessas medidas, teria-se uma redução desses gases fluorados em cerca de 30 milhões de Toneladas de CO₂ equivalente por ano.

Posição Parlamento Europeu


- Na 1a. Leitura, (Março 2004), o Parlamento concordou com a necessidade de retirada do HFC 134a.
- Propuseram a retirada (phase-out) dos compostos fluorados entre 2011 e 2014.
- Propuseram a EXCLUSÃO do HFC-152a.

Posição do Conselho Europeu

- Concordam com a necessidade de retirada do HFC 134a.
- Propuseram que a retirada (phase-out) dos compostos fluorados seja entre 2011 e 2017.
- Propuseram a INCLUSÃO do HFC-152a.
- Concordaram a redução nos níveis de vazamentos desses gases nos equipamentos.



Considerações Finais



Emissões de CO₂ para Atmosfera

**Emissões
Diretas**

**Emissões
Indiretas**



*** Vazamentos**
*** Acidentes**
*** Fim de Vida**

Escapamento
*** Combustível**
*** Peso do A/C**

Considerações Finais

- * O CO₂ já tem tecnologia desenvolvida para utilização em sistemas de Ar Condicionado automotivo.
- * Na Europa, a BMW e a Mercedes afirmaram que já iniciarão a instalação do A/C com CO₂.
- * Em 2011 a Toyota já produzirá veículos com CO₂, incluindo aqueles com motor 1.0.
- * Estima-se que haja somente na Europa um mercado de 15 milhões de novas unidades, podendo atingir 5 bilhões de Euros.

Considerações Finais



Resfriamento
mais rápido

75°C para
25°C em
10 min.



Aquecimento
mais rápido
utilizando o
mesmo
equipamento



- * Menor Consumo de Combustível
- * Menor Emissão
- * Economia de \$



CO₂ não é Inflamável e
não é Tóxico

Considerações Finais

- ✳ **Sistemas com CO₂ tem melhor eficiência em pelo menos 90% das condições.**
- ✳ **São menores em tamanho e apesar do reforço devido à pressão, são cerca de 2kg mais leves que os atuais sistemas.**
- ✳ **Com a utilização do CO₂, poderá haver uma redução de 5% do total das emissões indiretas e 7% das emissões diretas.**
- ✳ **Na Europa há a possibilidade de se reduzir 30 milhões de toneladas até 2011 com a introdução de 3 milhões de novas unidades de A/C com CO₂ a partir de 2008.**

Referências e Links úteis

➤ <http://www.r744.com>



➤ <http://www.valeo.com/>



➤ <http://www.visteon.com/>



➤ <http://www.globaldenso.com>

DENSO

➤ <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l24280.htm>

Obrigado pela atenção

Perguntas ou Comentários?

