




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


**Enio Bandarra**

11 de Setembro de 2009 – Porto Alegre - RS

[bandarra@mecanica.ufu.br](mailto: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.



**CO<sub>2</sub> - Dióxido de  
Carbono - R-744**



# HISTÓRICO



**CO<sub>2</sub>**

**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

- CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> foi sendo suprimido.
- Na década de 1990, devido às características ecológicas, como ODP e GWP, a discussão sobre o uso do CO<sub>2</sub> como refrigerante ressurgiu, junto com os hidrocarbonetos e amônia.



# Nomenclatura - Refrigerante

- **Dióxido de Carbono, CO<sub>2</sub> ou R-744**
- **(R – Refrigerante; 7 refere a Fluidos Inorgânicos; 44 – é a Massa Molecular)**
  - Ex. Amônia – NH<sub>3</sub> - R-717
  - Ex. Água – H<sub>2</sub>O – R-718
- **Série R-400 (Misturas Não Azeotrópicas) – Temp. Glide**
- **Série R-500 (Misturas Azeotrópicas) – Fluido Puro**

# Características

- $\text{CO}_2$  não é um refrigerante tóxico (torna-se tóxico em elevadas concentrações)
- $\text{CO}_2$  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.
- $\text{CO}_2$  é encontrado normalmente na Natureza em concentrações de 0,03 e 0,06% (em volume).

# Algumas características dos refrigerantes Fluorados e CO<sub>2</sub>

<b>Refrigerante</b>	<b>R12</b>	<b>R22</b>	<b>R134a</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
<b>Fluido Natural</b>	<b>Não</b>	<b>Não</b>	<b>Não</b>	<b>SIM</b>
<b>Agressão na Camada de Ozônio</b>	<b>1.0</b>	<b>0.05</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Potencial de Aquecimento Global</b>				
100 anos	<b>10890</b>	<b>1810</b>	<b>1430</b>	<b>1 (0)</b>
20 anos	<b>10990</b>	<b>5160</b>	<b>3830</b>	<b>1 (0)</b>
<b>Temperatura Crítica</b> em °C	<b>112</b>	<b>96.2</b>	<b>101.2</b>	<b>31.1</b>
<b>Pressão Crítica</b> em bar	<b>41.6</b>	<b>49.9</b>	<b>40.7</b>	<b>73.8</b>
<b>Inflamável ou Explosivo</b>	<b>Não</b>	<b>Não</b>	<b>Não</b>	<b>Não</b>
<b>Tóxico</b>	<b>Não</b>	<b>Não</b>	<b>Não</b>	<b>Não</b>
<b>Preço Relativo</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>	<b>4</b>	<b>0.05</b>
<b>Capacidade Volumétrica (Relativa)</b>	<b>1</b>	<b>1.6</b>	<b>1</b>	<b>8.4</b>

# Algumas características dos fluidos R-12, R-134a e CO<sub>2</sub>

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

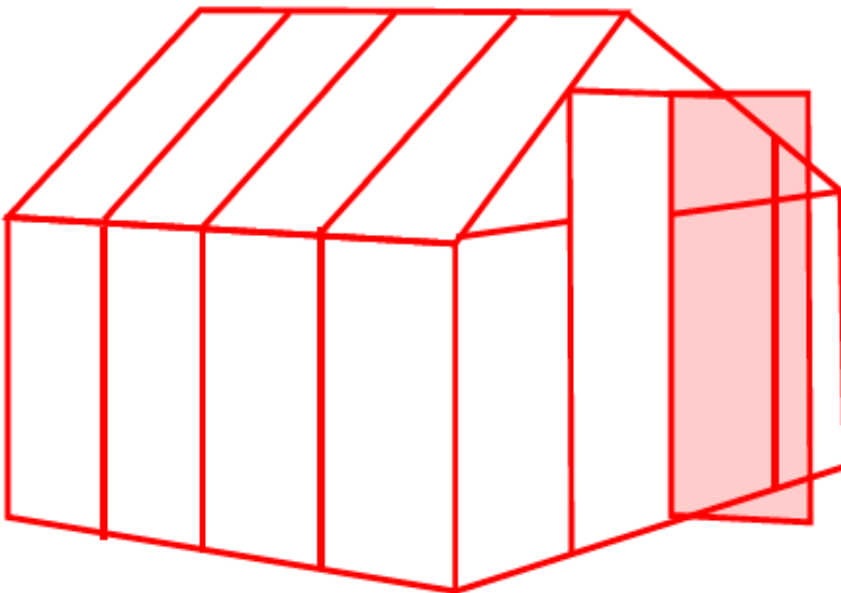


**Redução de 65%**



**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.

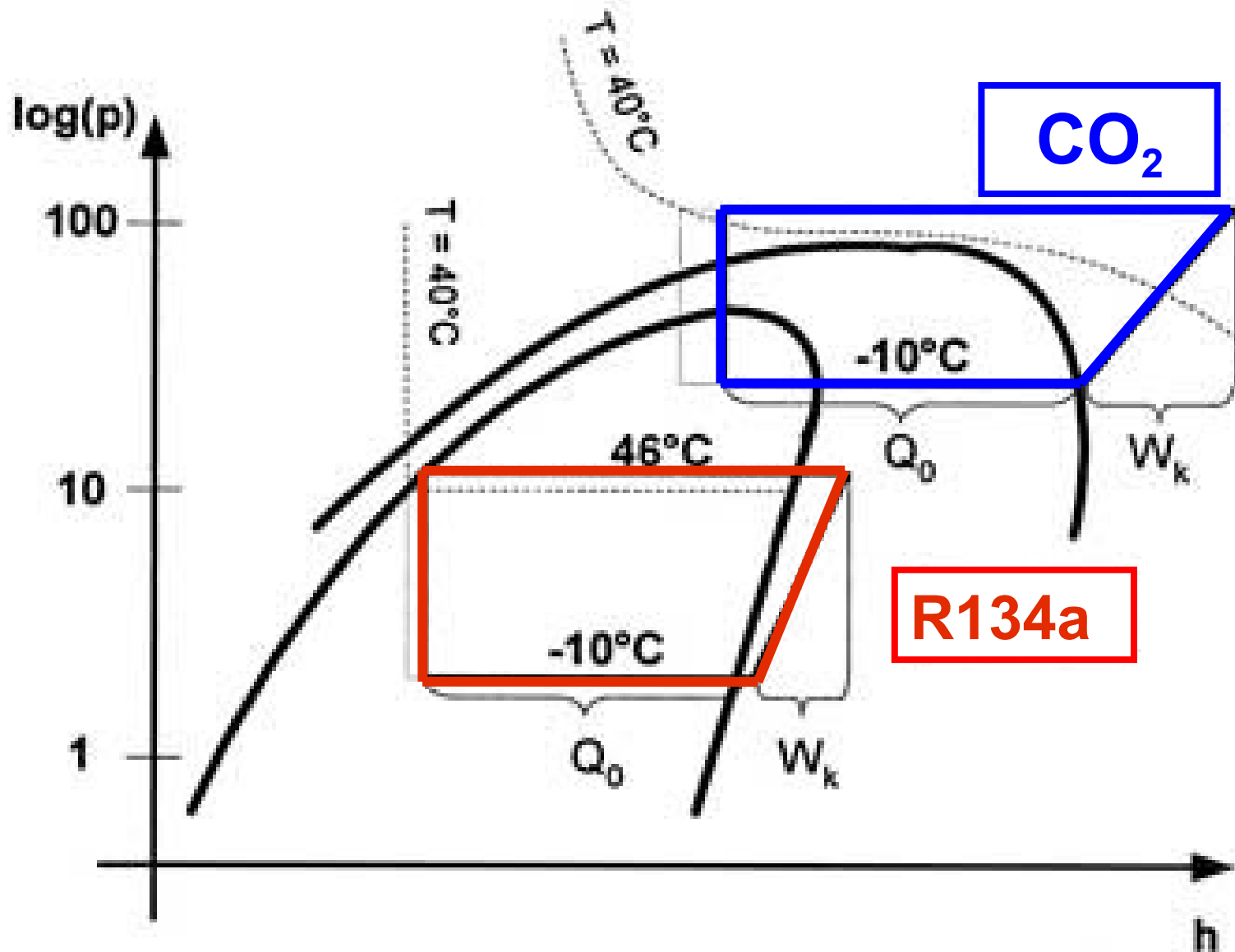




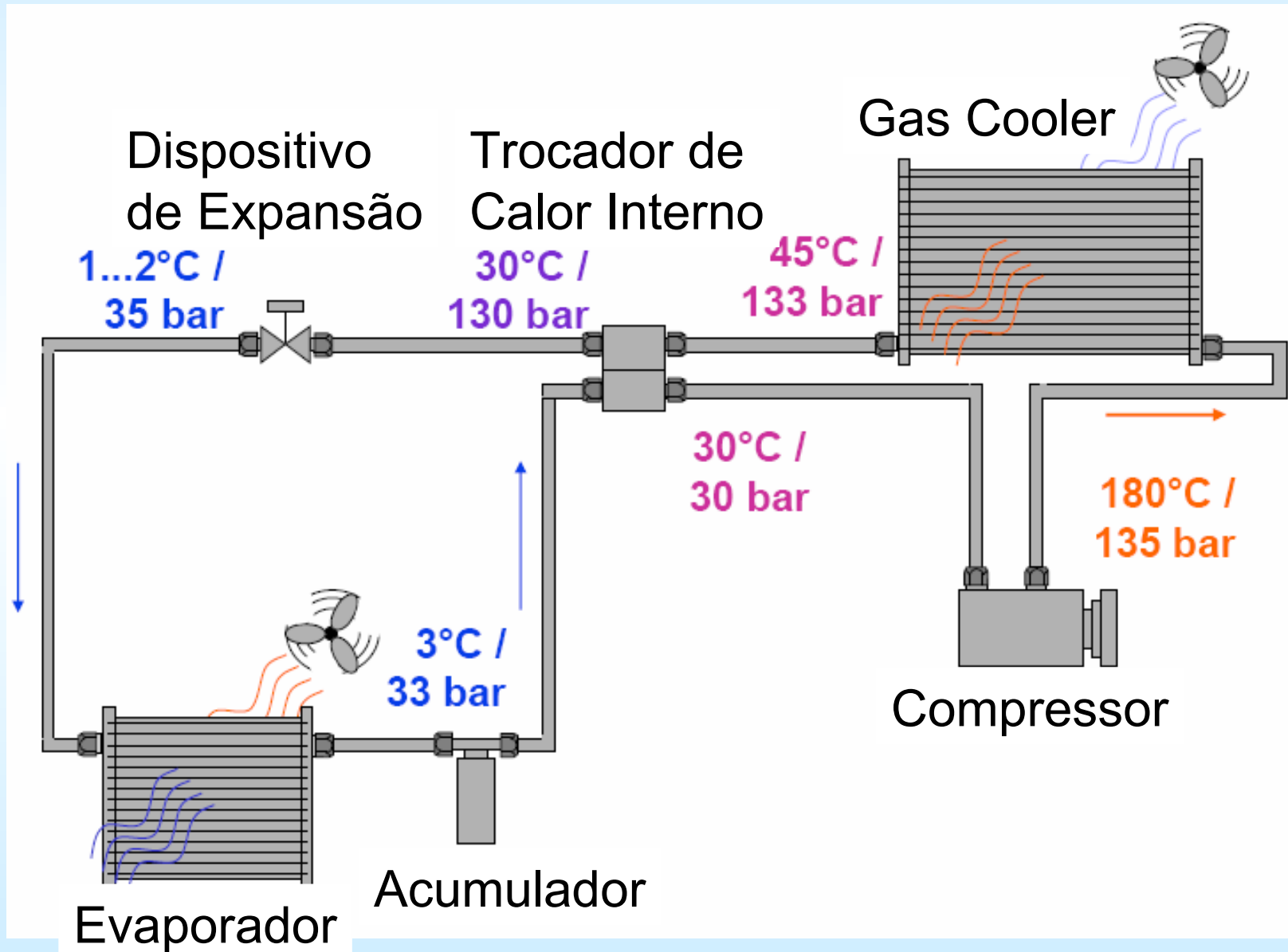
# **Ar Condicionado Automotivo**



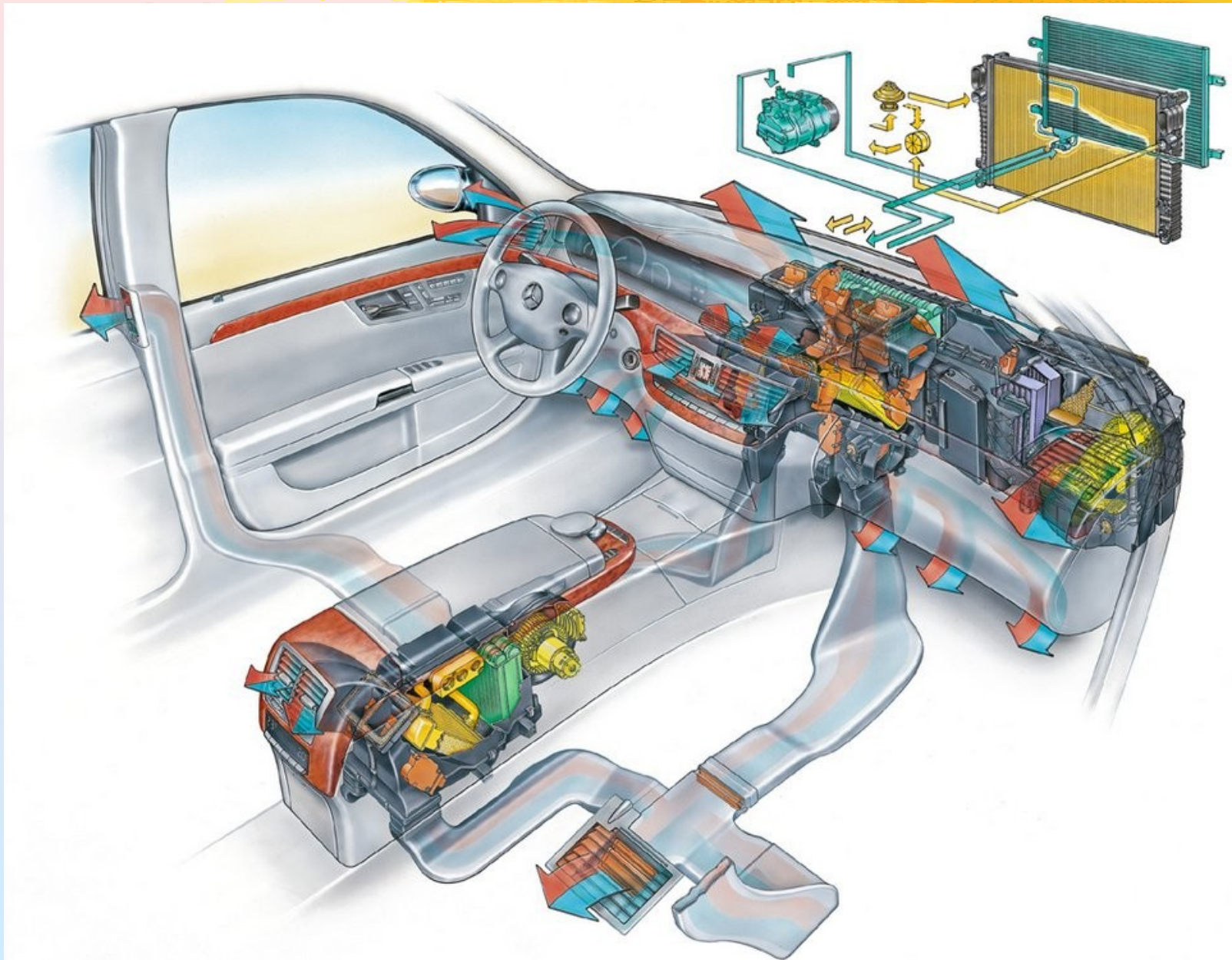
# Ar Condicionado Automotivo



# Sistema A/C com CO<sub>2</sub>



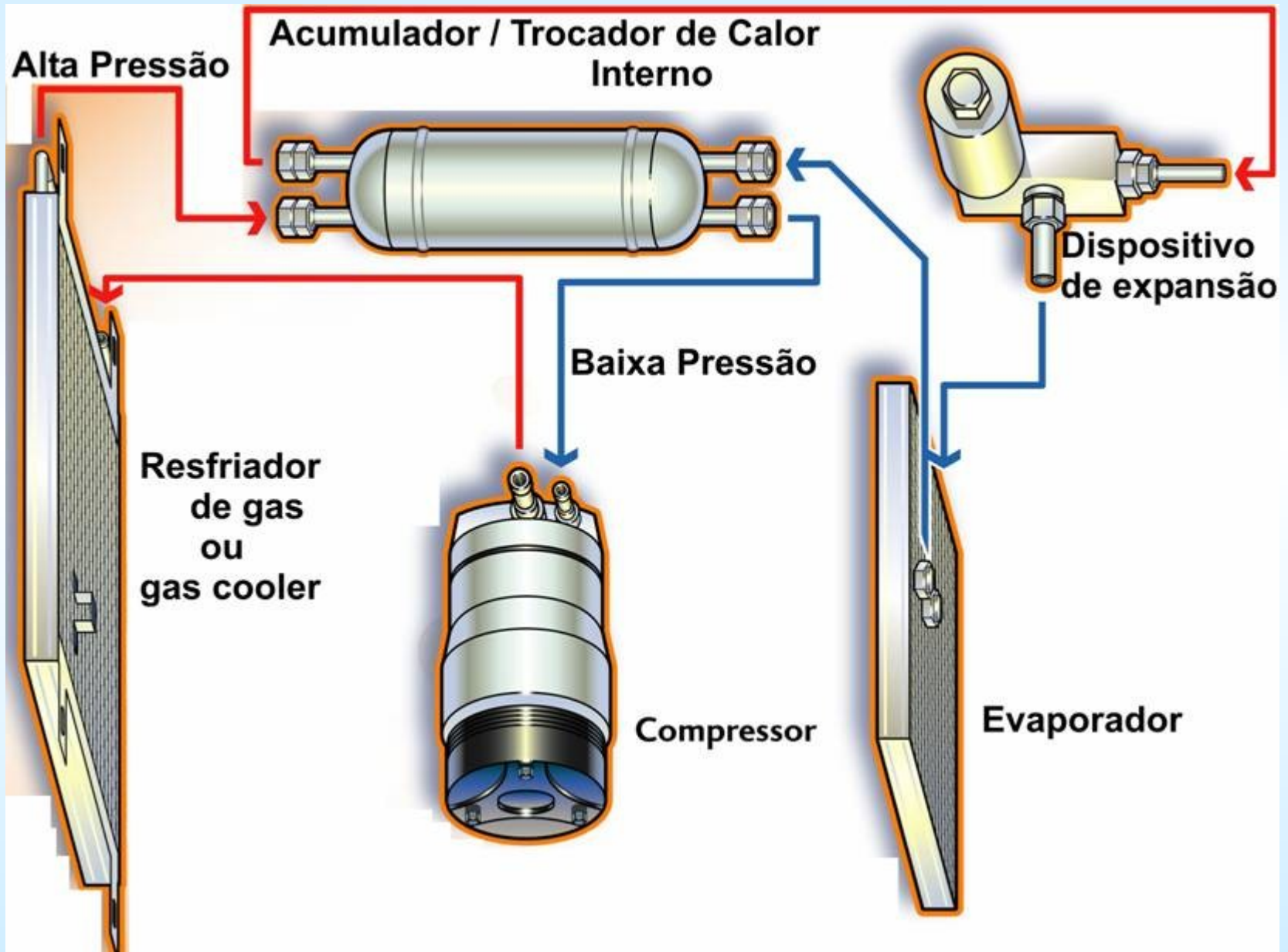
# Ar Condicionado Automotivo



# Ar Condicionado Automotivo

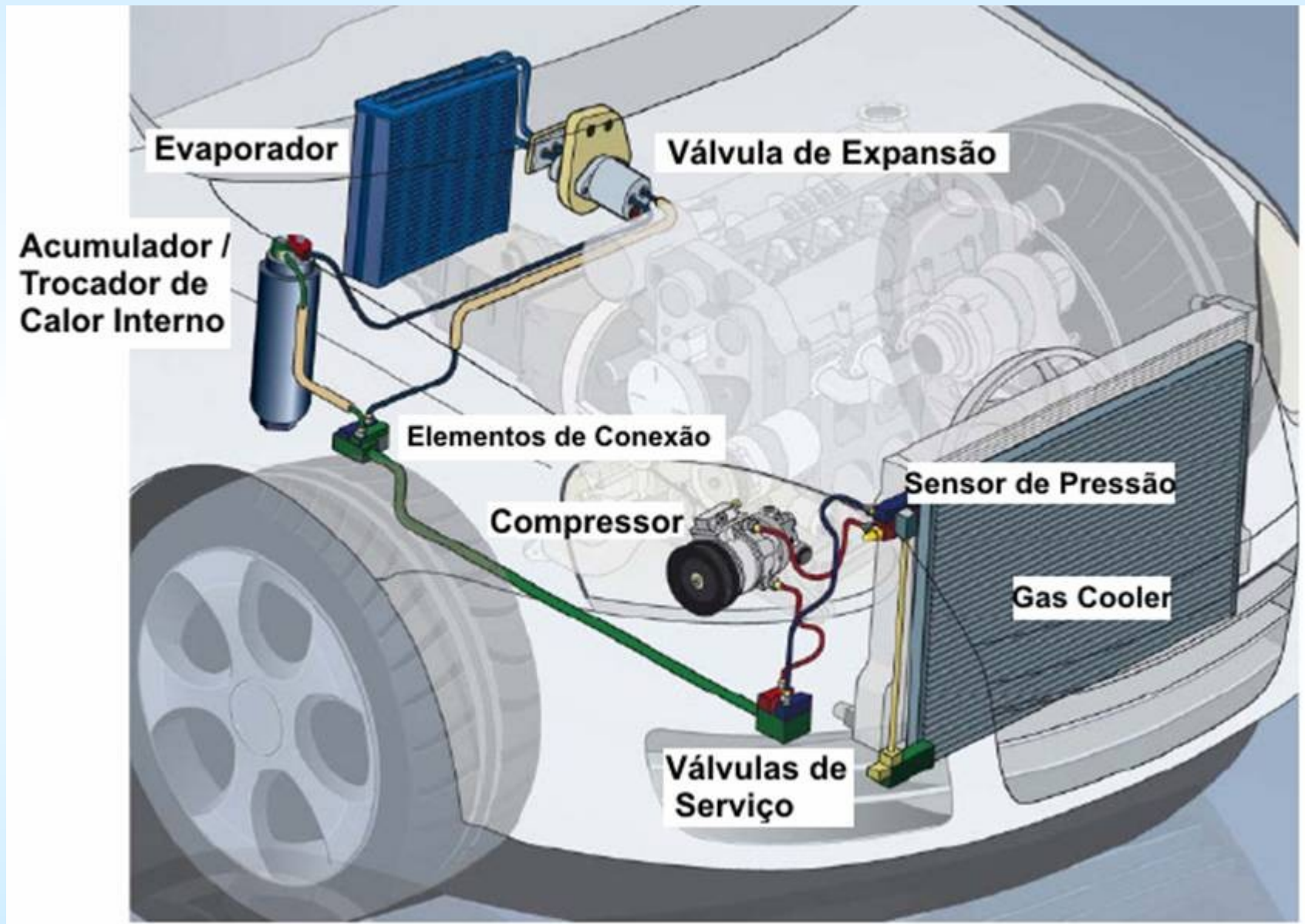


# Ar Condicionado Automotivo

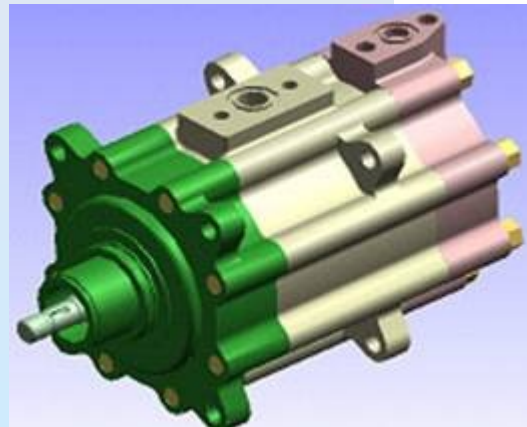
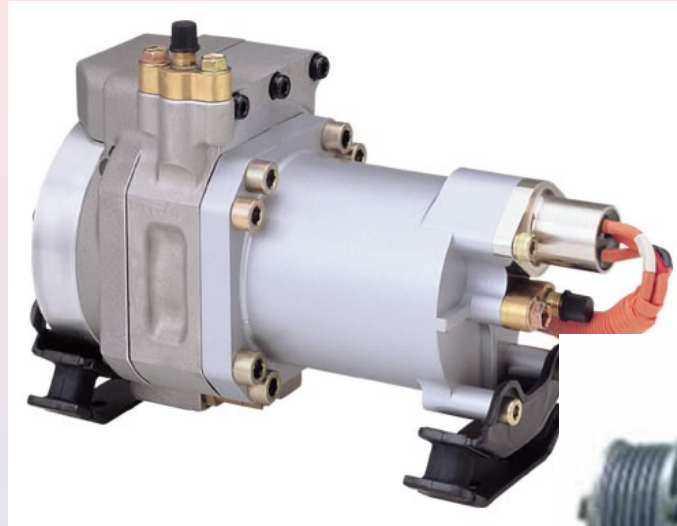




# Ar Condicionado Automotivo

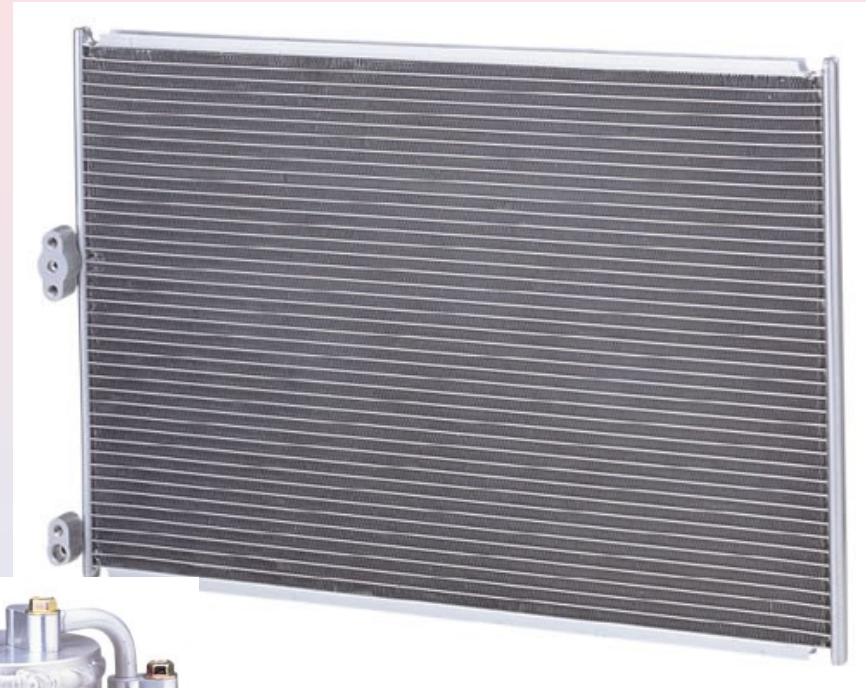


# Compressor

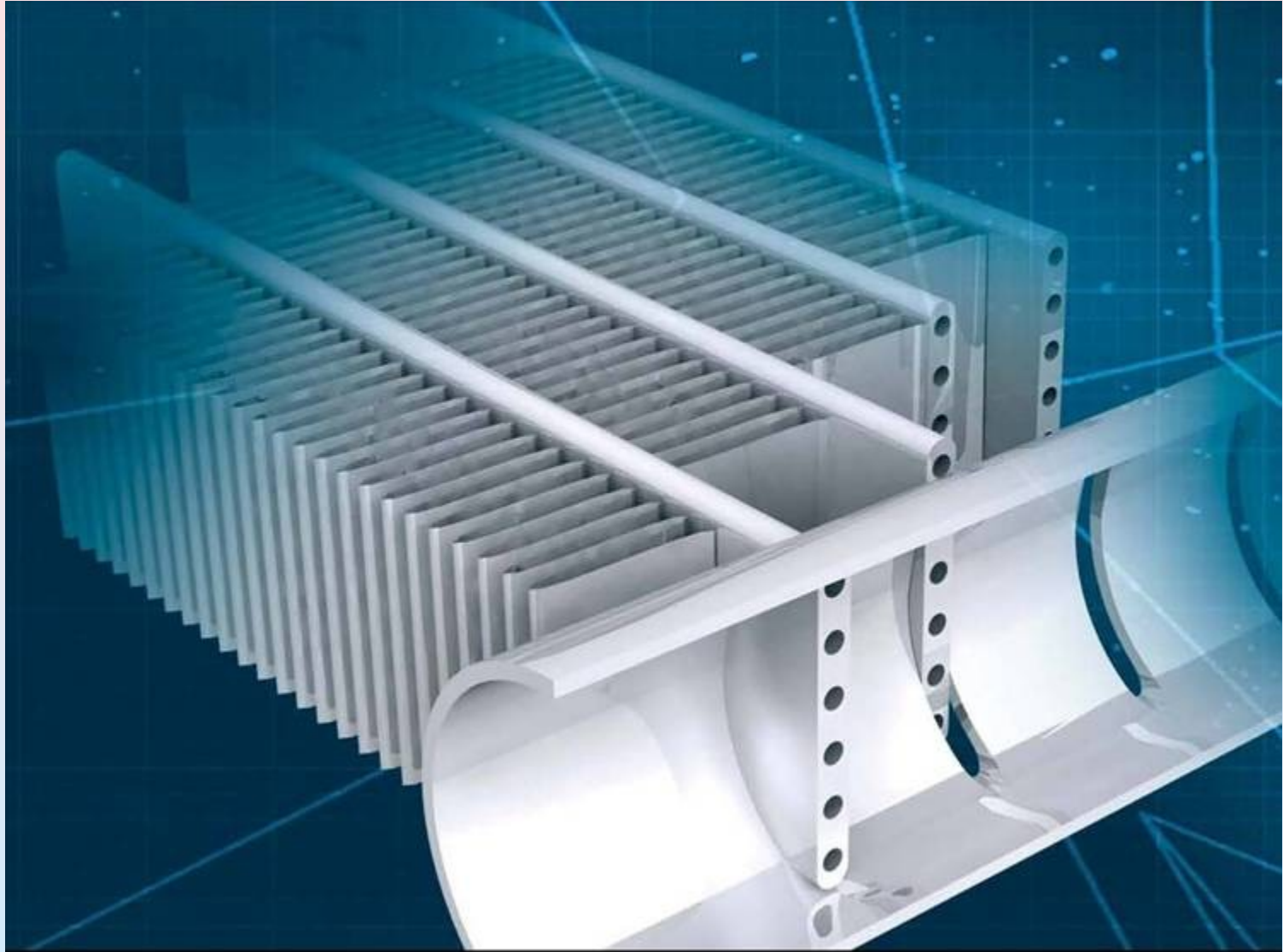




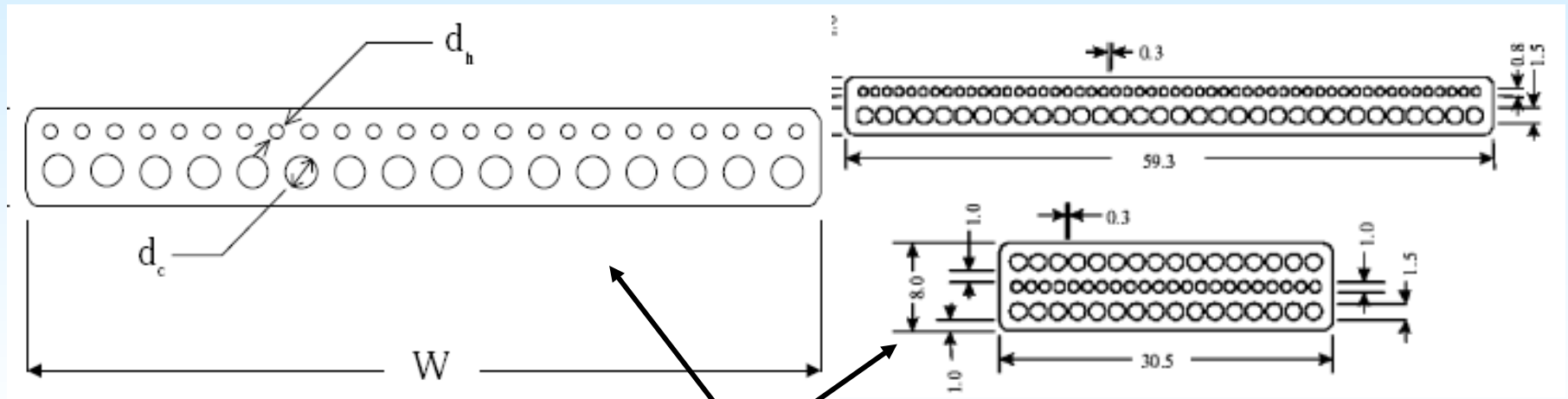
# Trocadores de Calor



# Gas Cooler e Evaporador

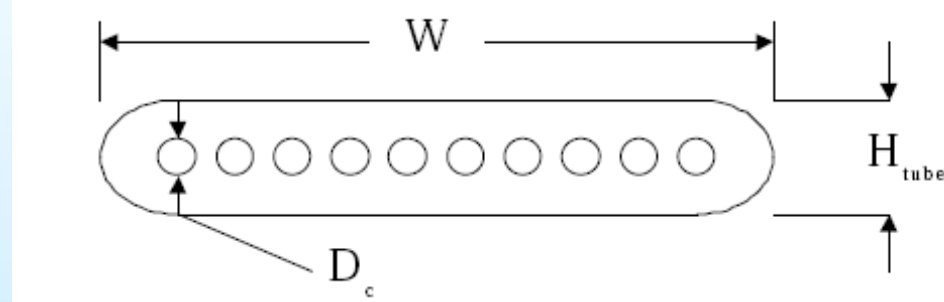



# Comparativo




Configuração de Trocador de Calor Interno

Configuração de Trocador de Calor – Gas Cooler

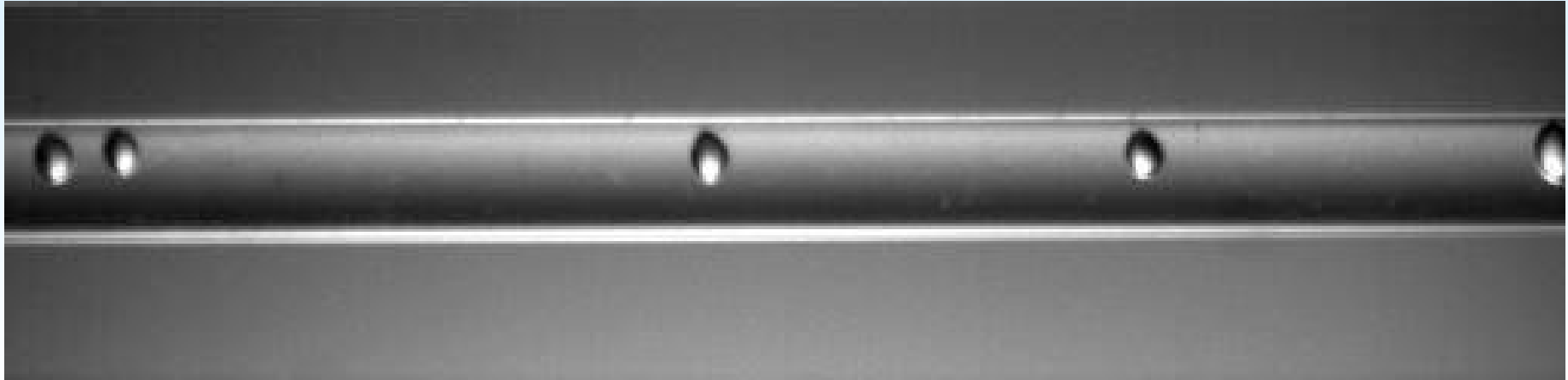




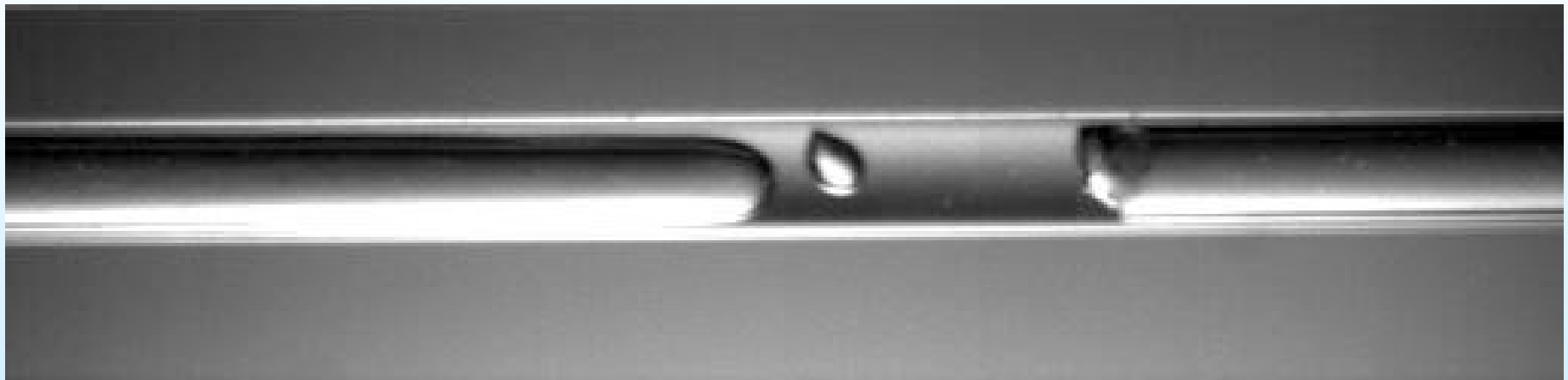
**Visualização do  
Escoamento no Interior  
de Trocadores de Calor  
tipo Microcanais**



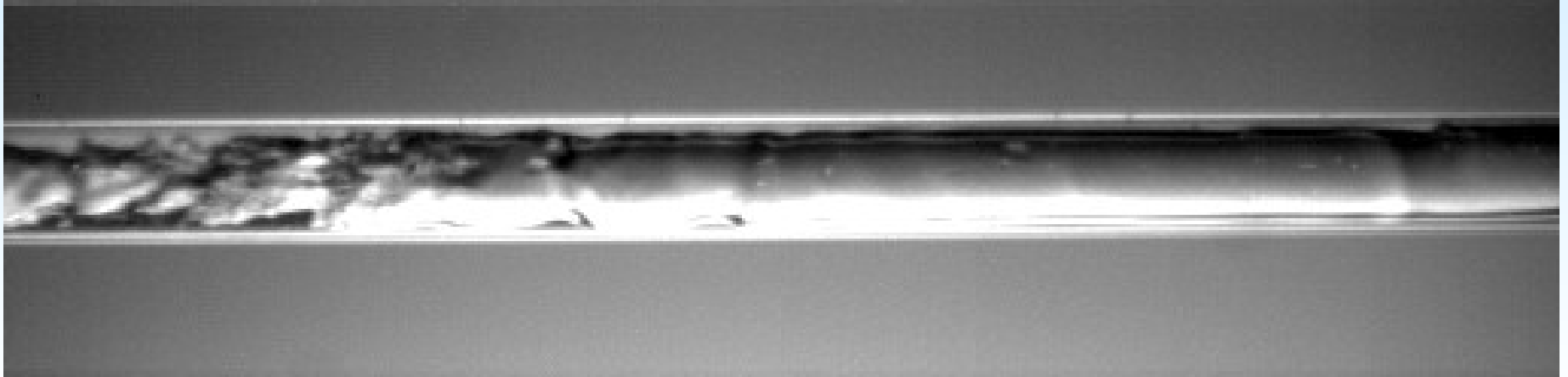
***Bolhas***



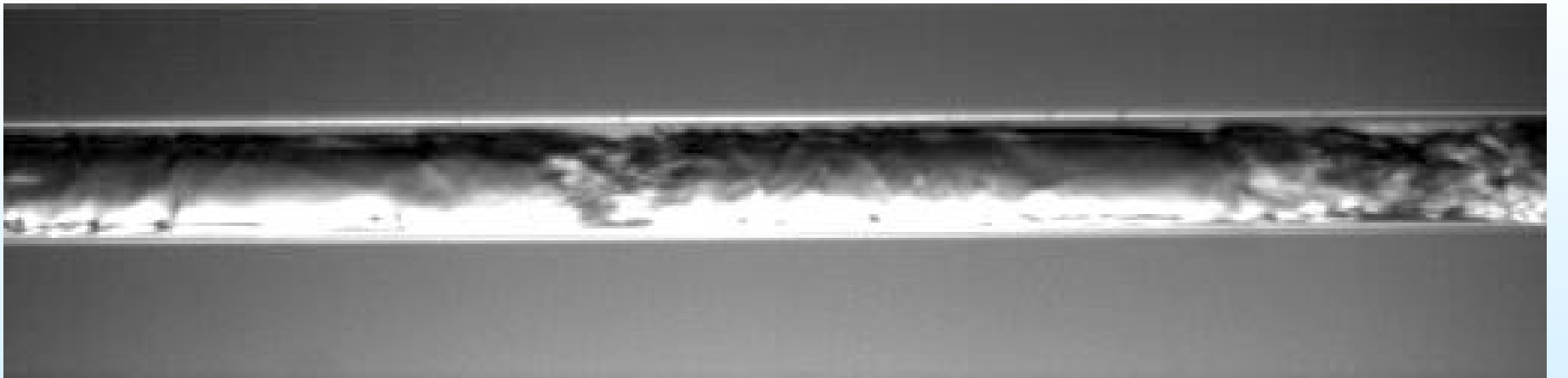
***Escoamento Intermitente***




## ***Escoamento Semi-Anular***




## ***Escoamento Annular***

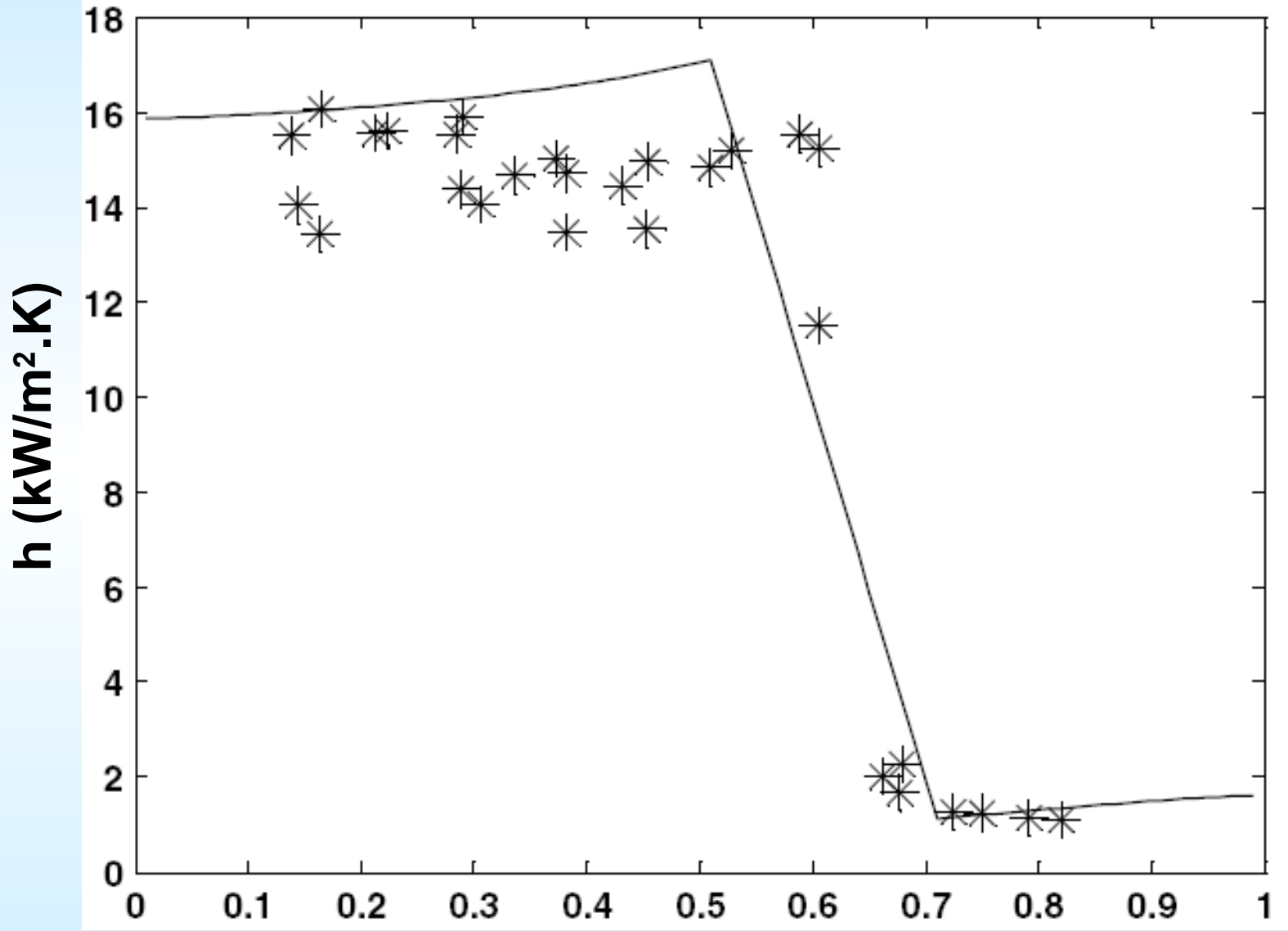




# **Comparação de Resultados Obtidos na Literatura**



**Modelo para cálculo do h em Evaporador com CO2**

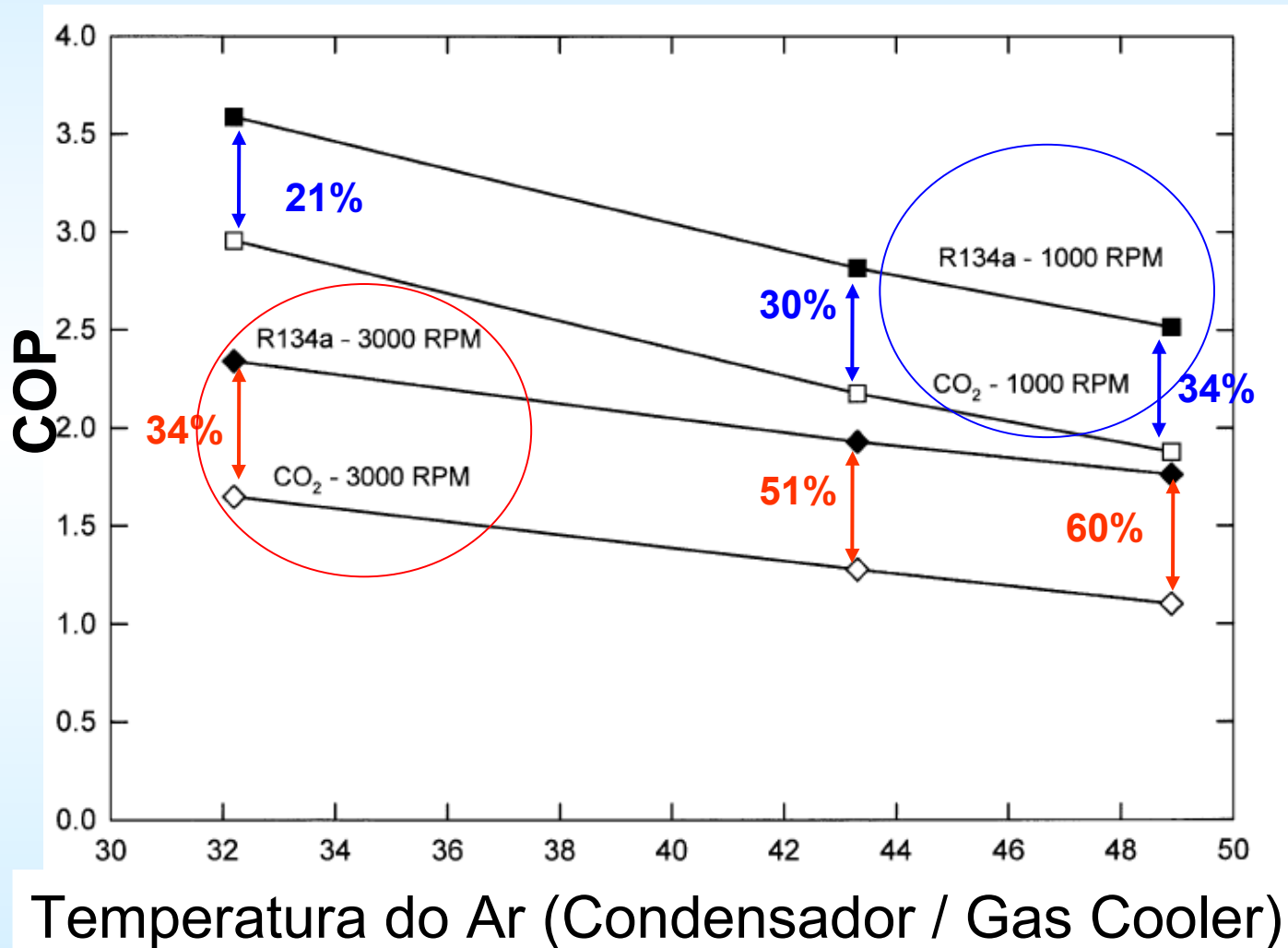


**Cheng, Ribatski and Thome (2007)**

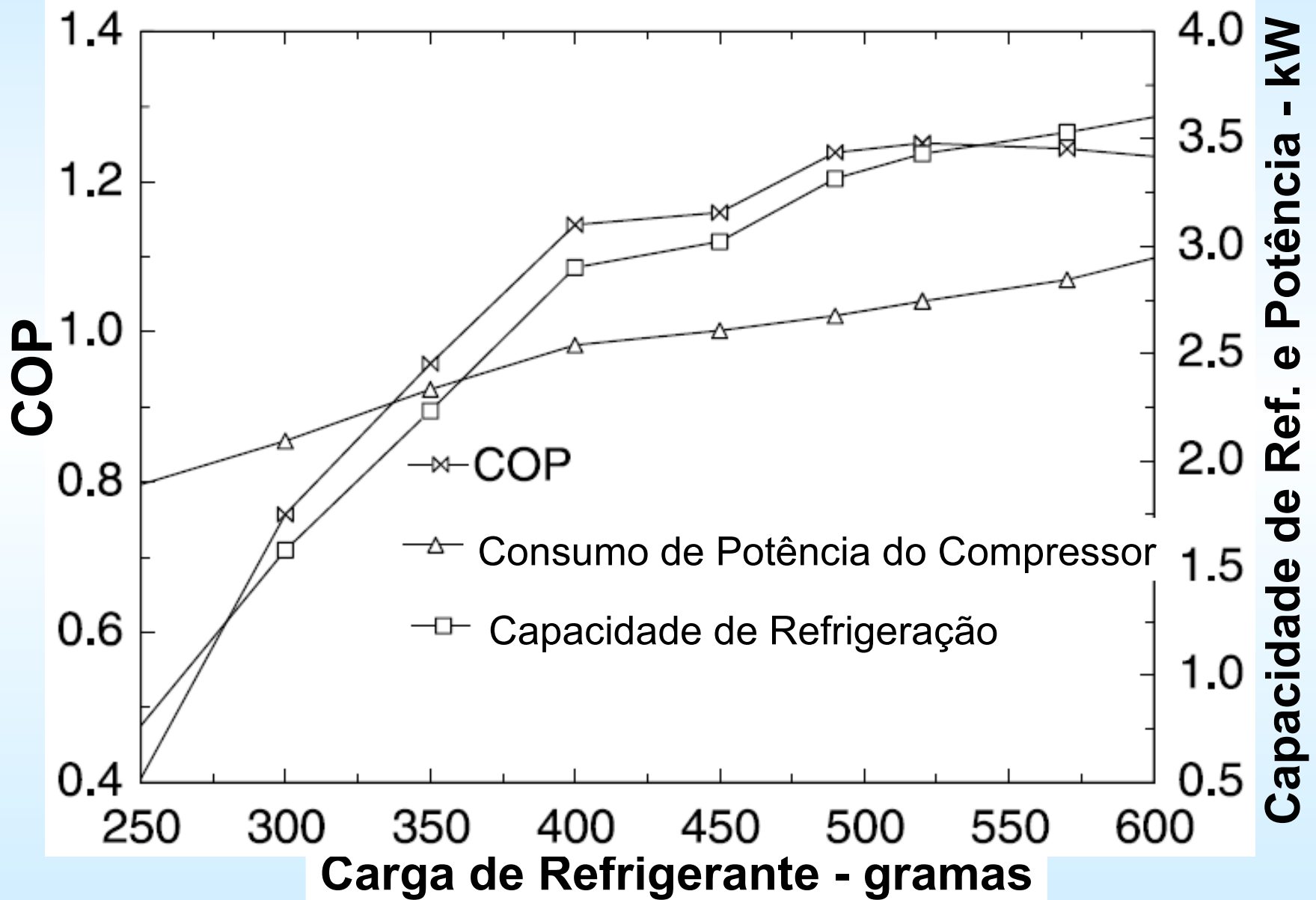


# Resultados Comparativos

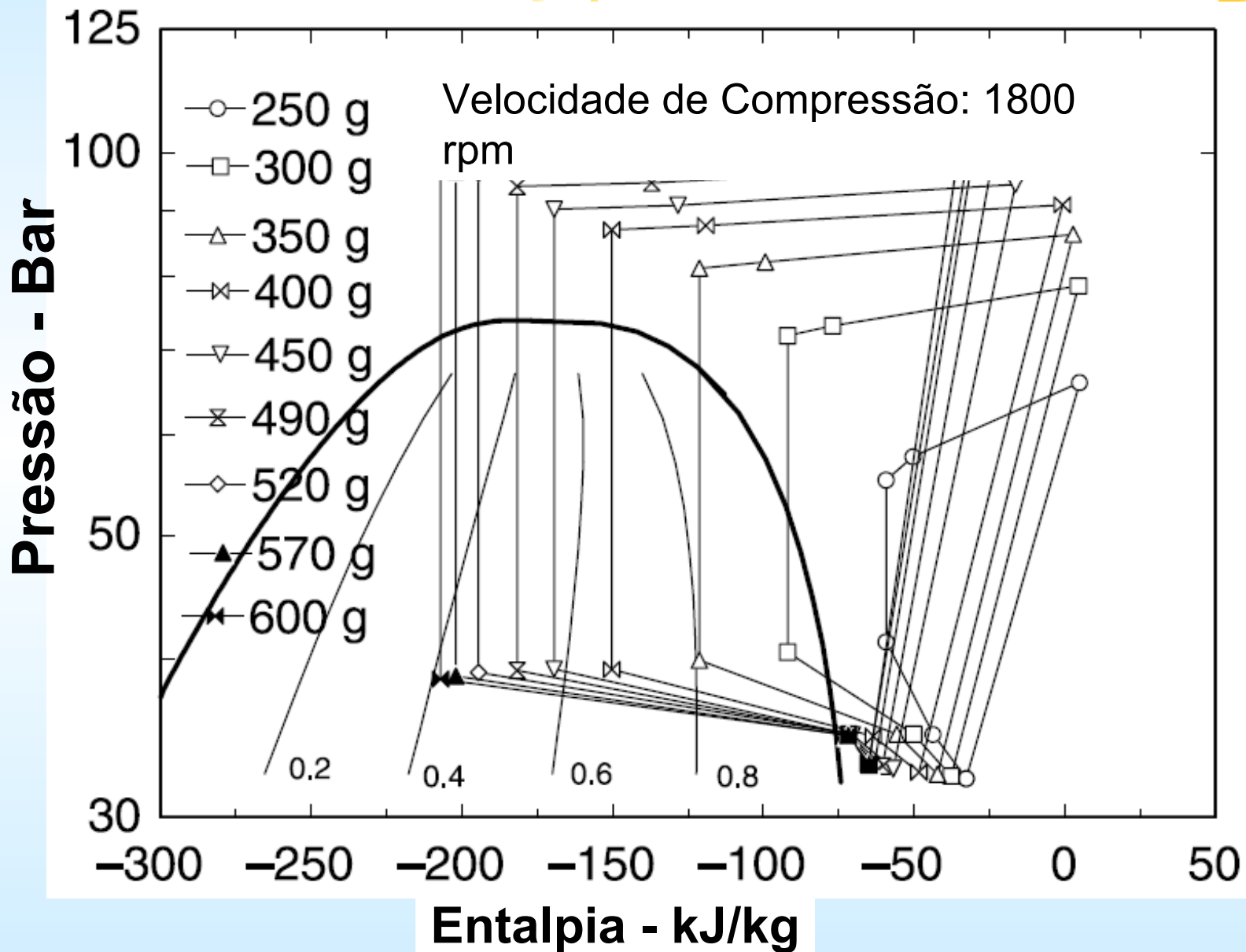
## Estados Unidos - 2002



# Resultados 2005 - China



# Resultados 2005 - China

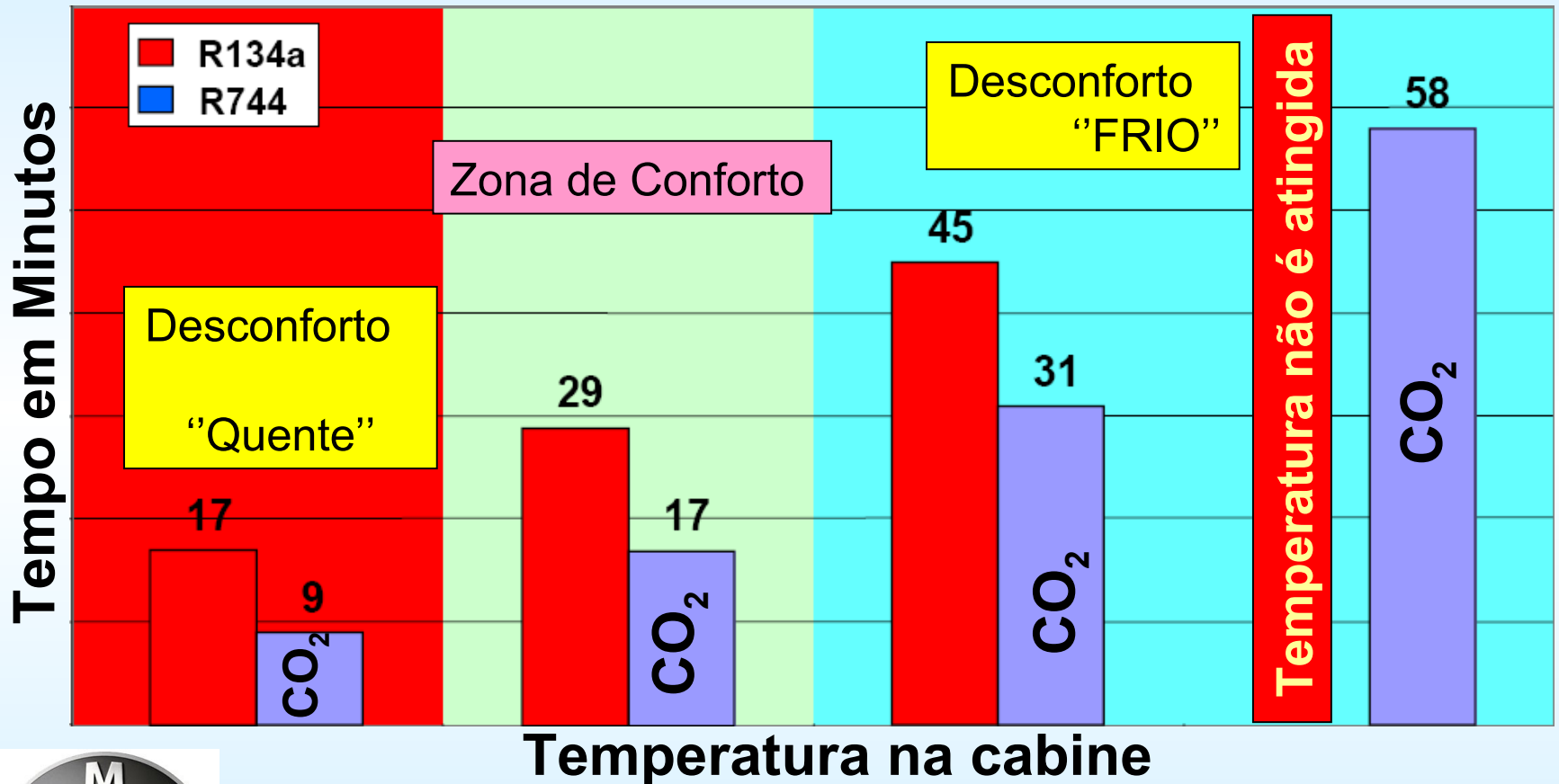


# Comparação de Resultados obtidos em Testes com Veículos

# Comparação R134a x CO<sub>2</sub>



# Comparação R134a x CO2



Série 3

Temperatura Inicial da cabine: 75°C

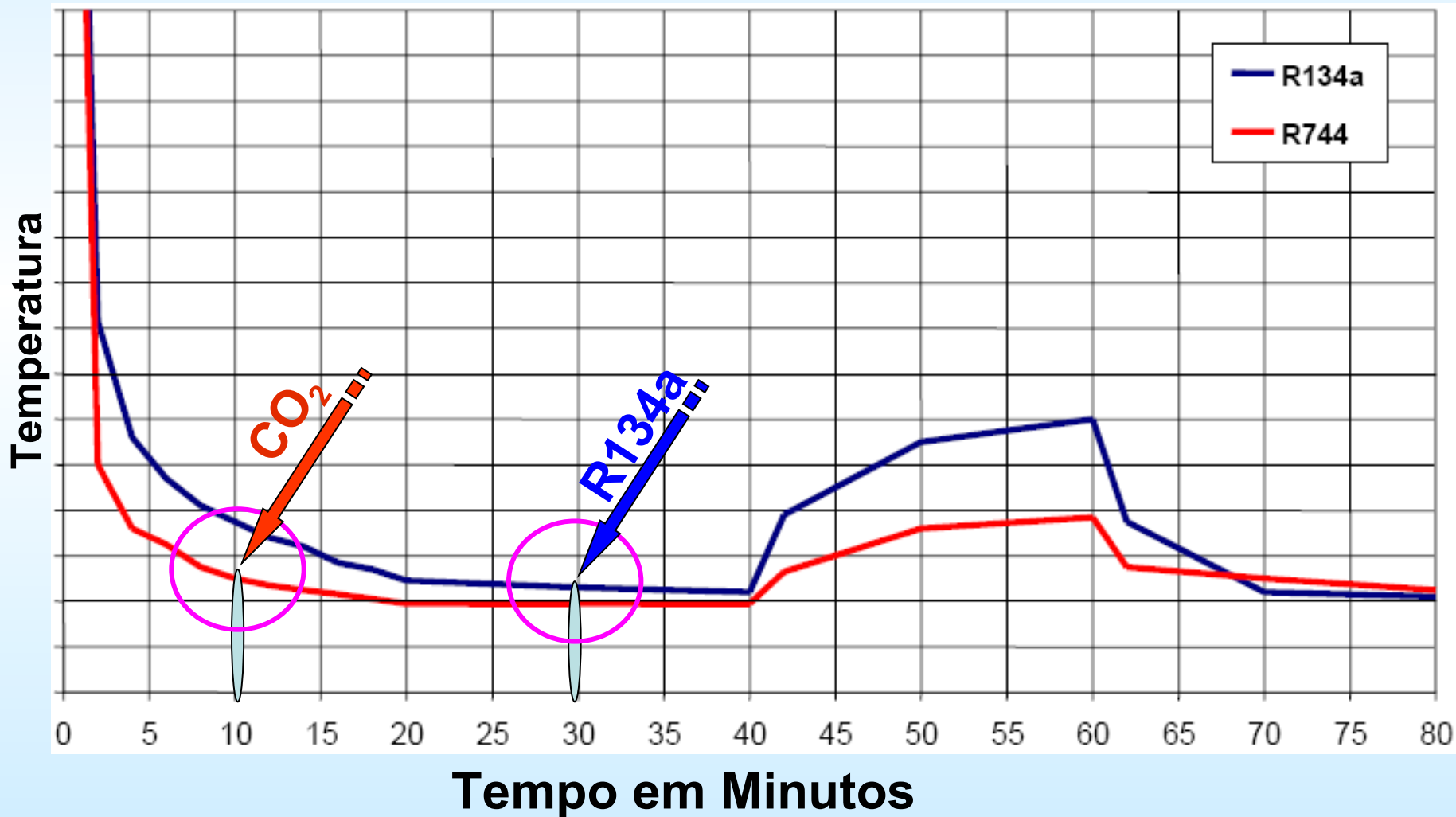
Sol: 1000 W/m<sup>2</sup>

Temperatura Ambiente: 40°C

# Comparação R134a x CO2

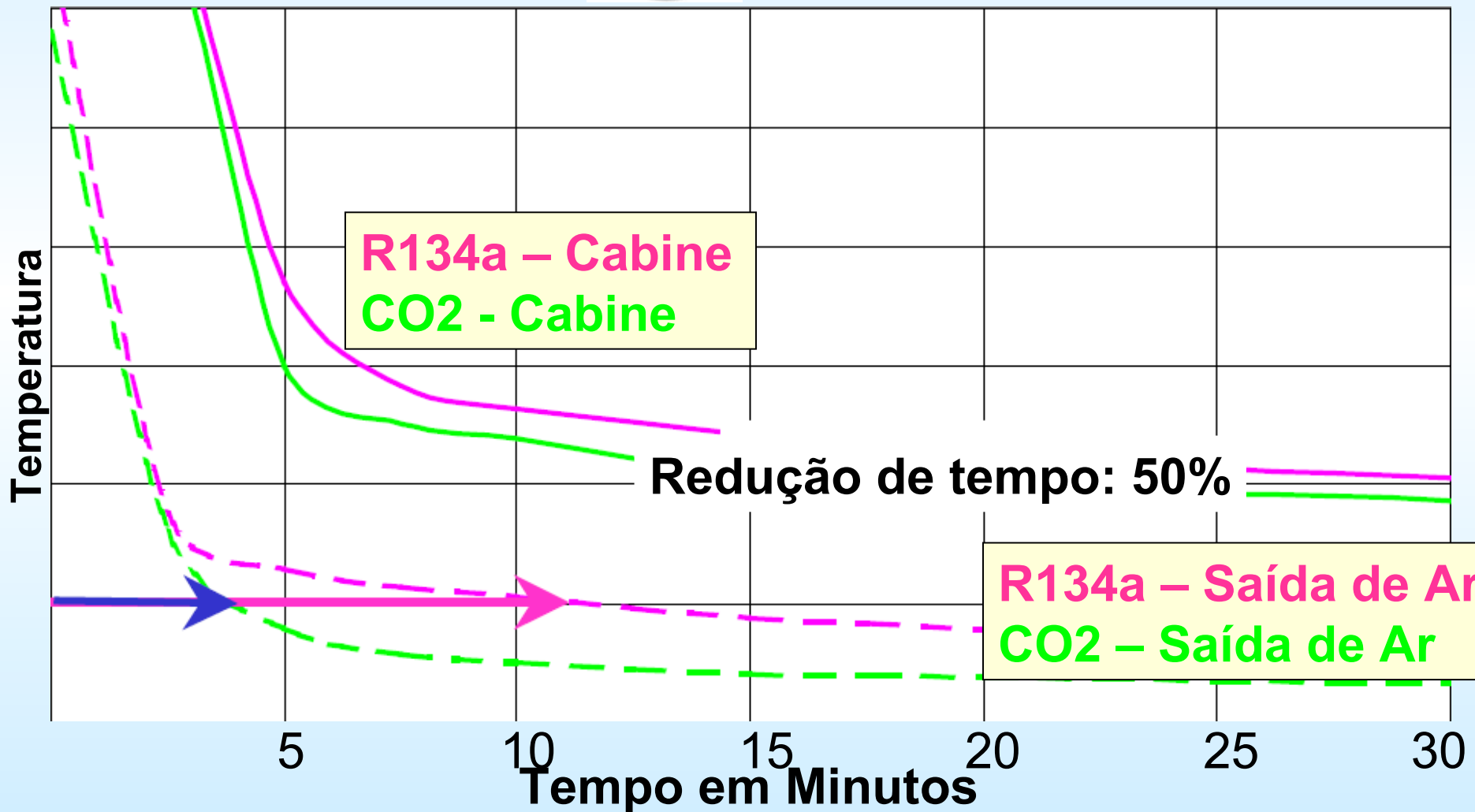


Audi A4





# Comparação R134a x CO2





# Resumo dos Testes

- O sistema com CO<sub>2</sub> 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.

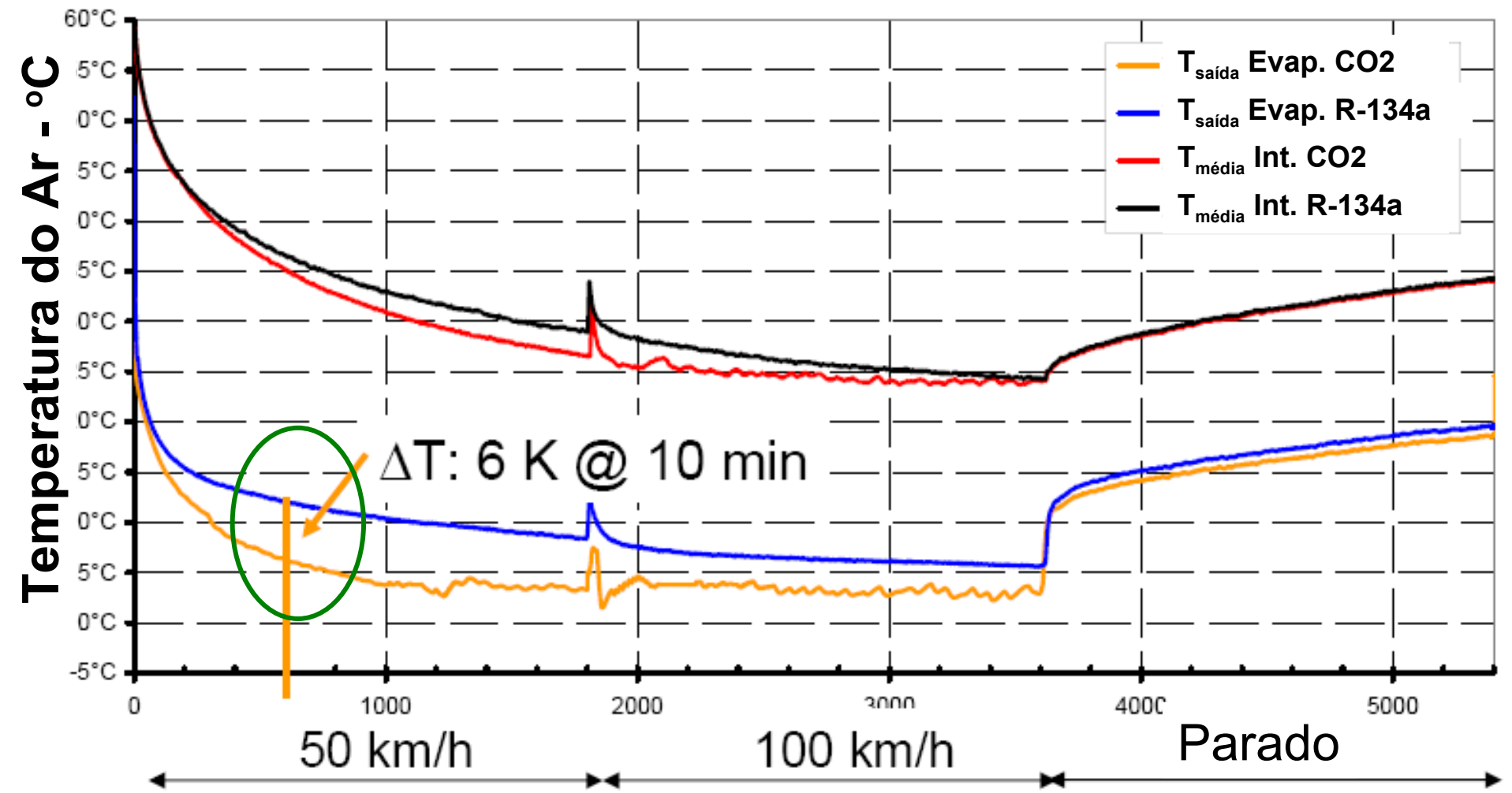
# Comparação R134a x CO2 – 1000cm<sup>3</sup>



all down test at 45 °C/40 % RH, sunload 1000 W/m<sup>2</sup>

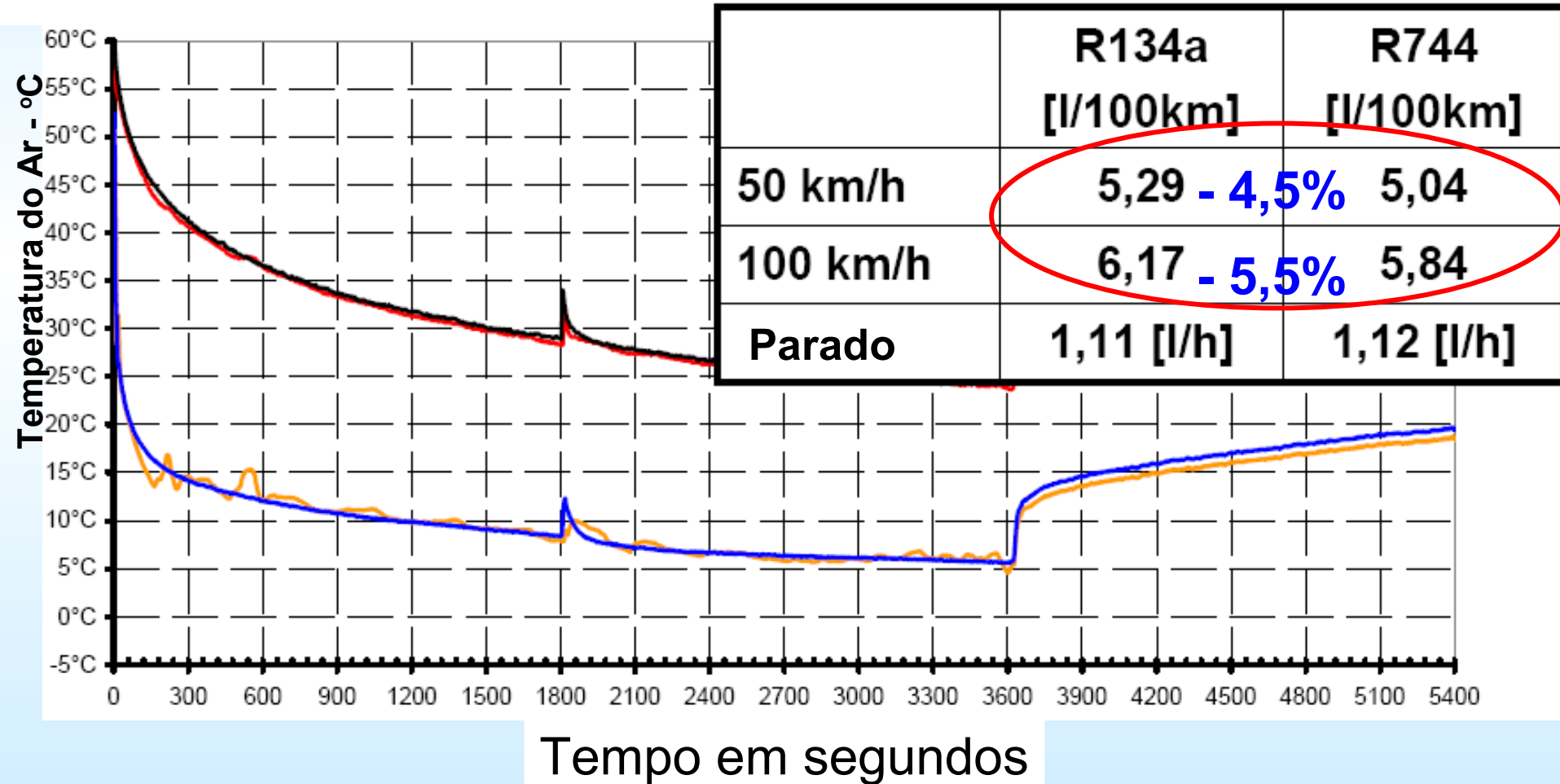
**R134a system:** good system for small vehicles class

**R744 system:** improved cooling performance

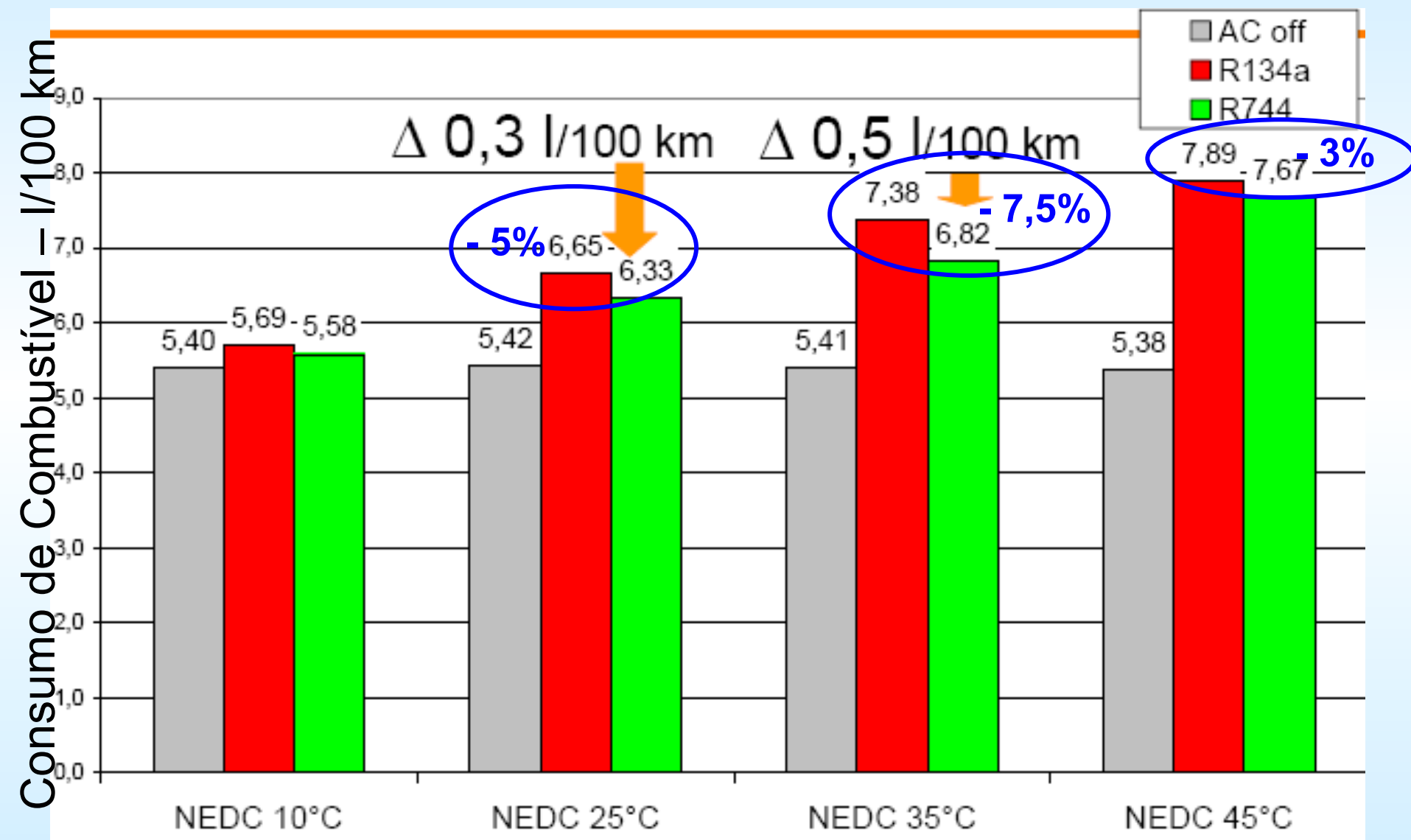


# Comparação R134a x CO<sub>2</sub> – 1000cm<sup>3</sup>

Testes nas mesmas condições anteriores  
CO<sub>2</sub> foi levado às mesmas condições do R134a

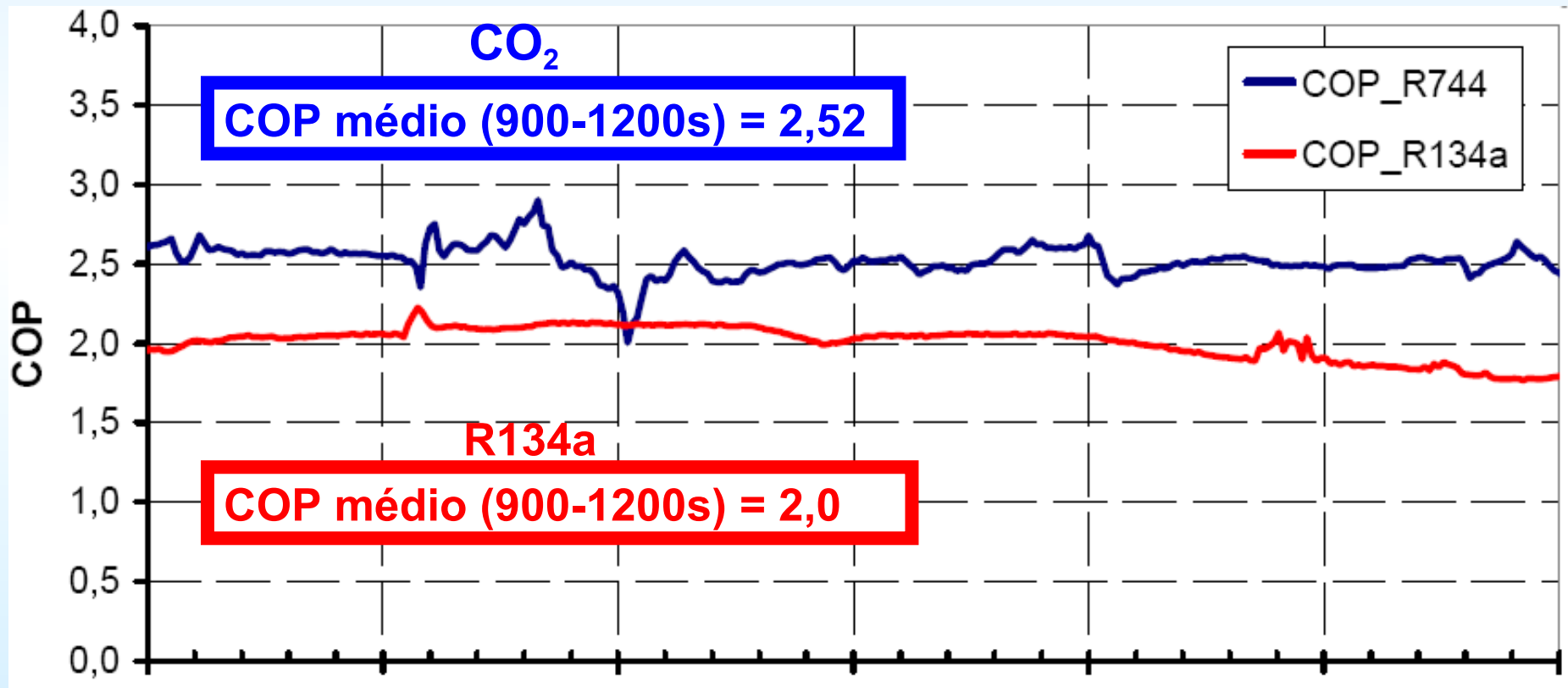


# Comparação R134a x CO2 – 1000cm<sup>3</sup>



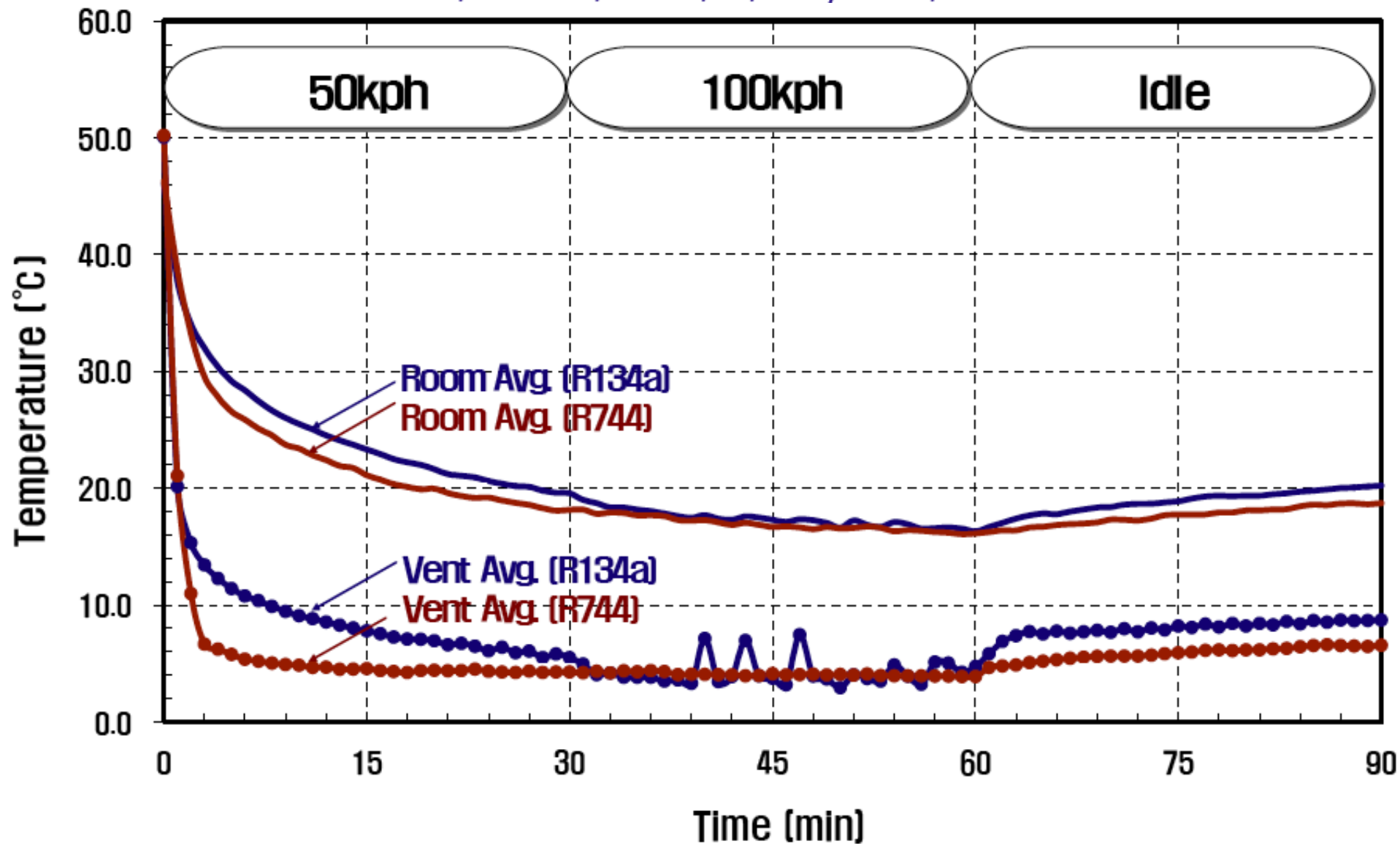
# Comparação R134a x CO<sub>2</sub> – 1000cm<sup>3</sup>

Comparação com Temperatura de 45°C

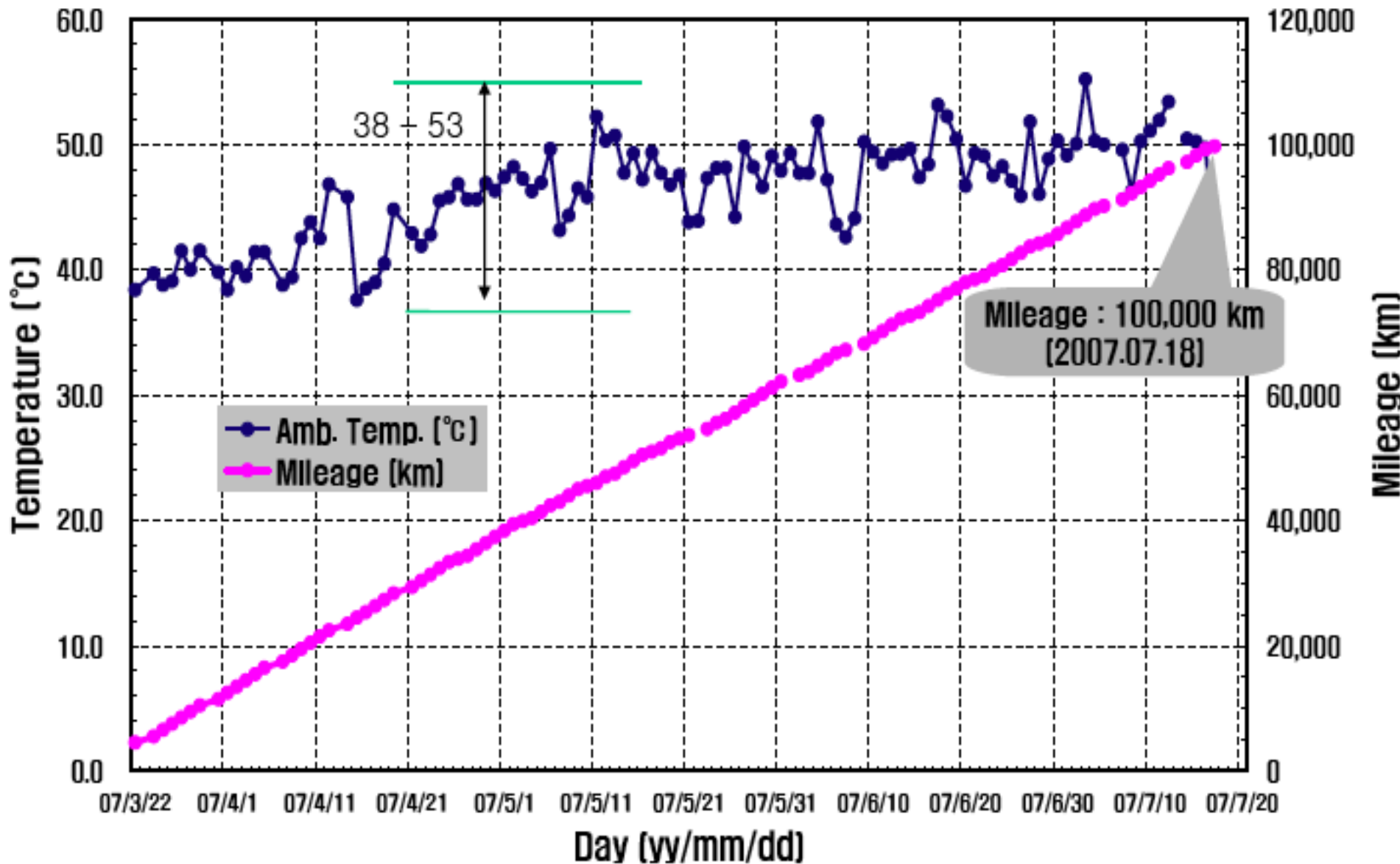


# Comparação R134a x CO<sub>2</sub> – Utilitário - 2007

Test condition : Ambient 35 °C, 60%RH, 800W/m<sup>2</sup>, Recycle Air, Blower Max. with SUV Vehicle



# Teste de Durabilidade - CO<sub>2</sub>



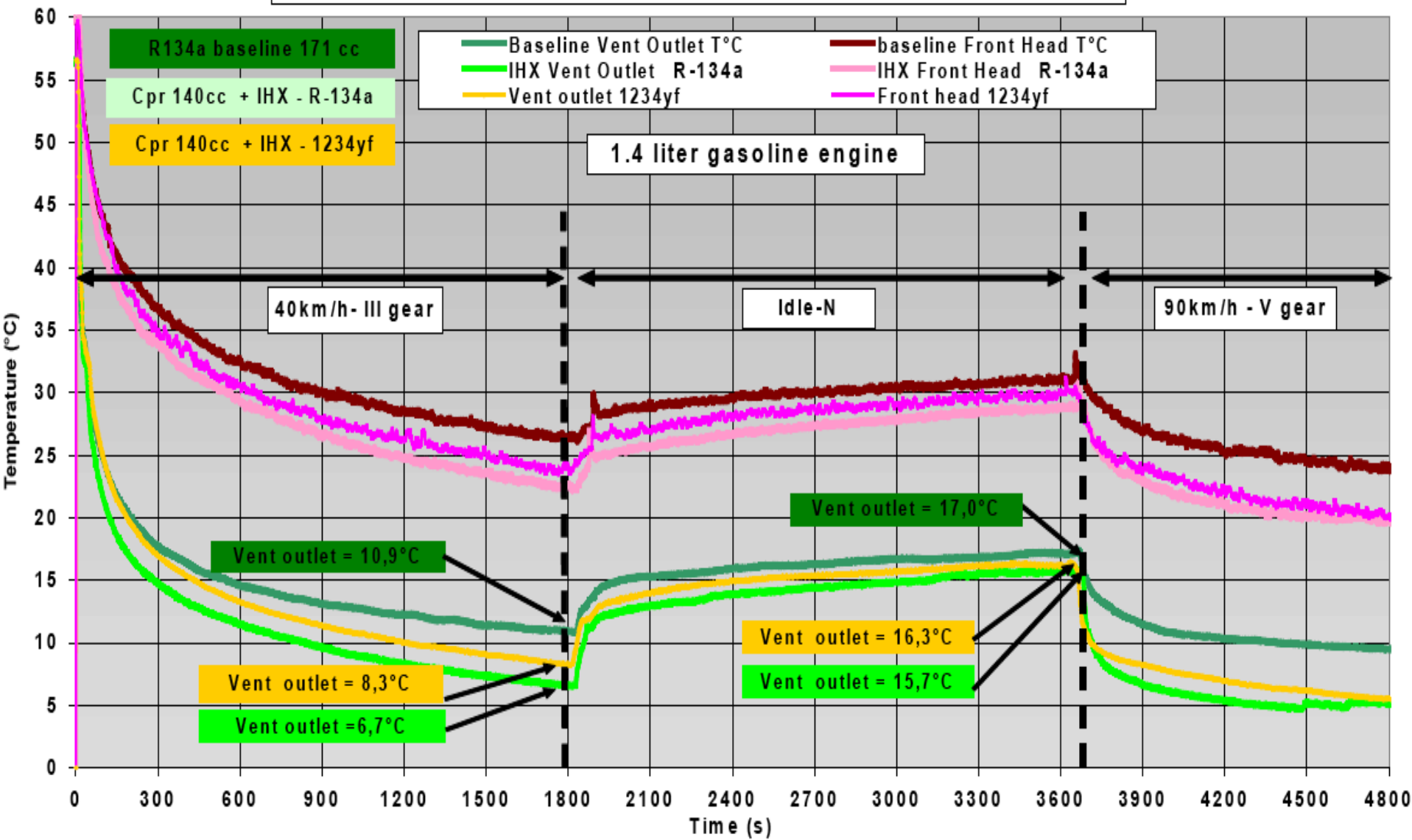


# Marcas – HFO-1234yf (aguardando resultados)

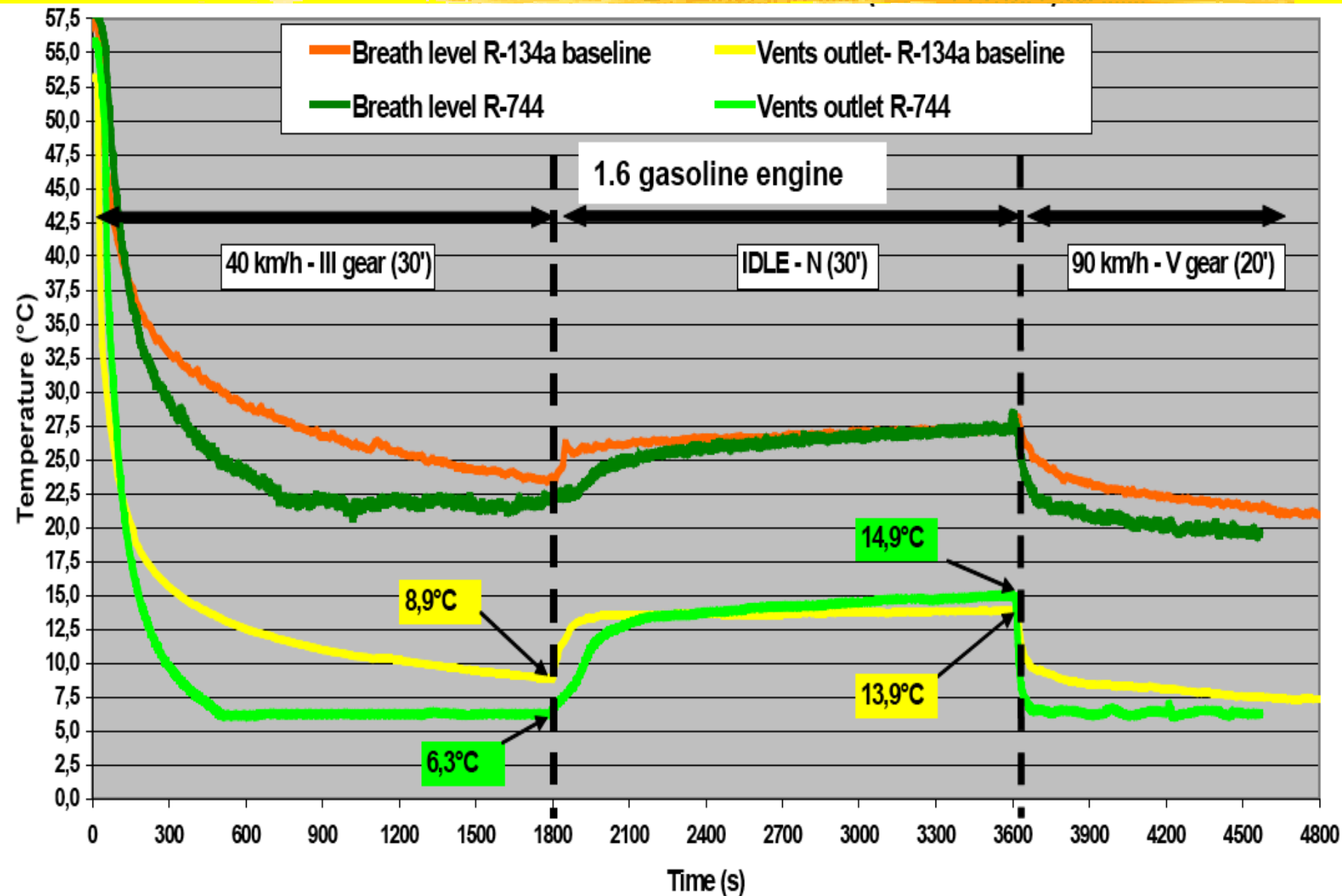



# Testes – 2008 - R134a x HFO1234yf – 1.4l

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



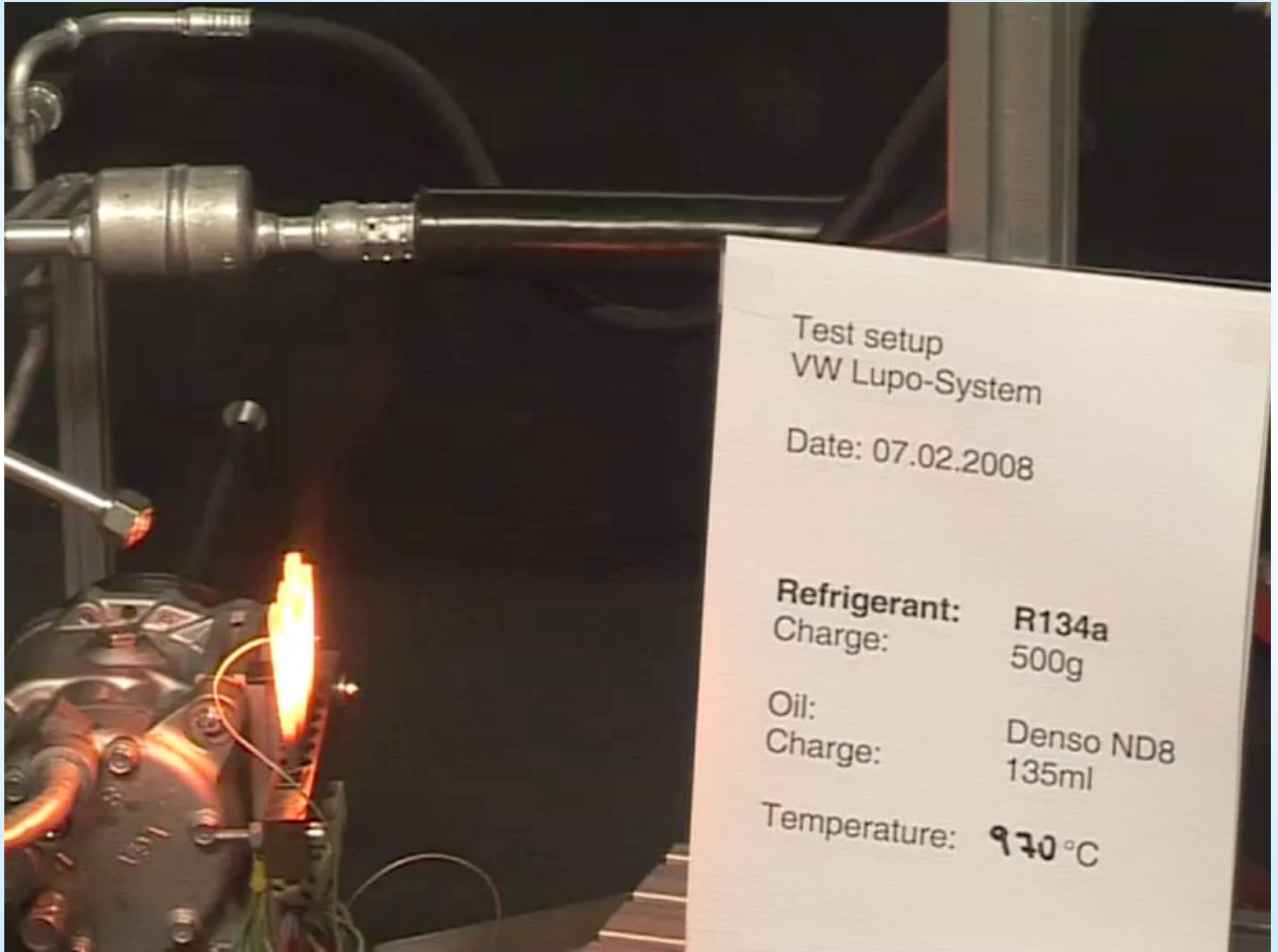


# Vídeos - Ensaaios de Inflamabilidade

R-134a, CO2 e R-1234yf



# Testes – com R-134a, CO2 e R-1234yf



# Testes – com R-134a, CO2 e R-1234yf

Test setup  
VW Lupo-System

Date: 07.02.2008

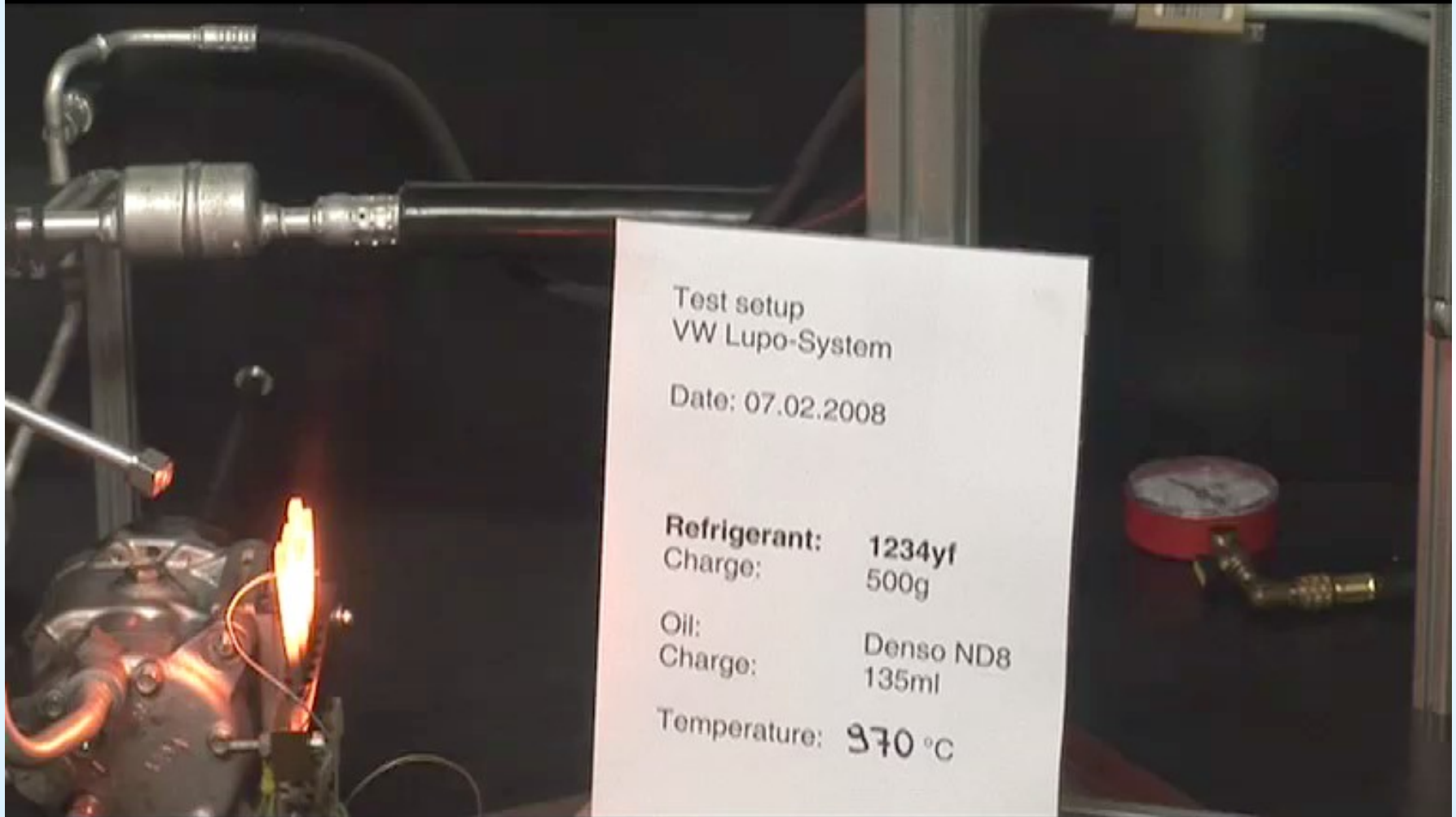
Refrigerant: CO<sub>2</sub>  
Charge:

Oil: Denso ND8  
Charge: 135ml

Temperature: 970°C



# Testes – com R-134a, CO2 e R-1234yf

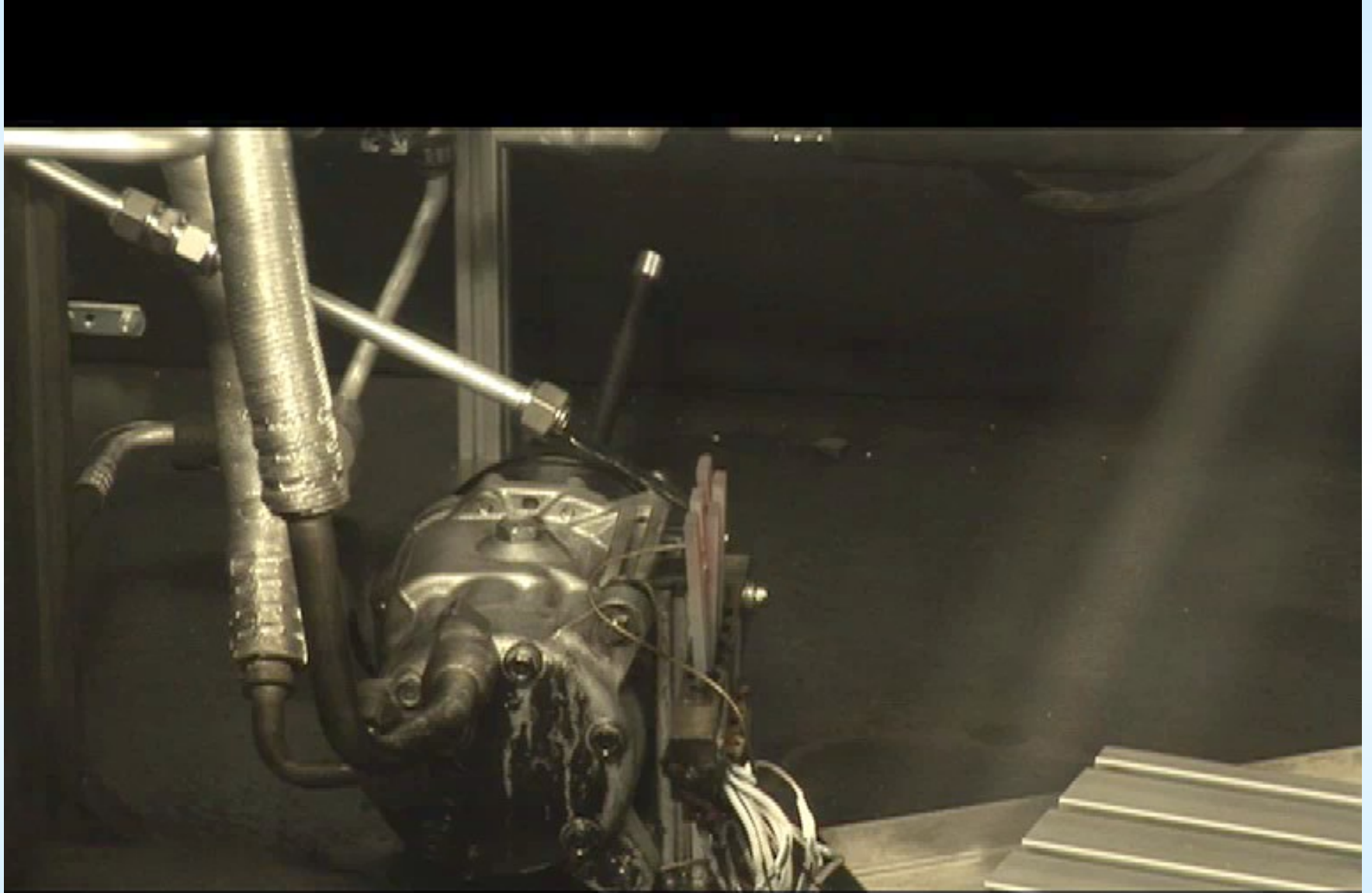


# Testes – com R-1234yf





# Testes – com óleo PAG



# Resumo dos Testes

- Sistema com CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>. Isso pode levar a uma redução na emissão de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>.
- Testes com o HFO-1234yf mostraram o elevado risco de incêndio em vazamento ou colisão.

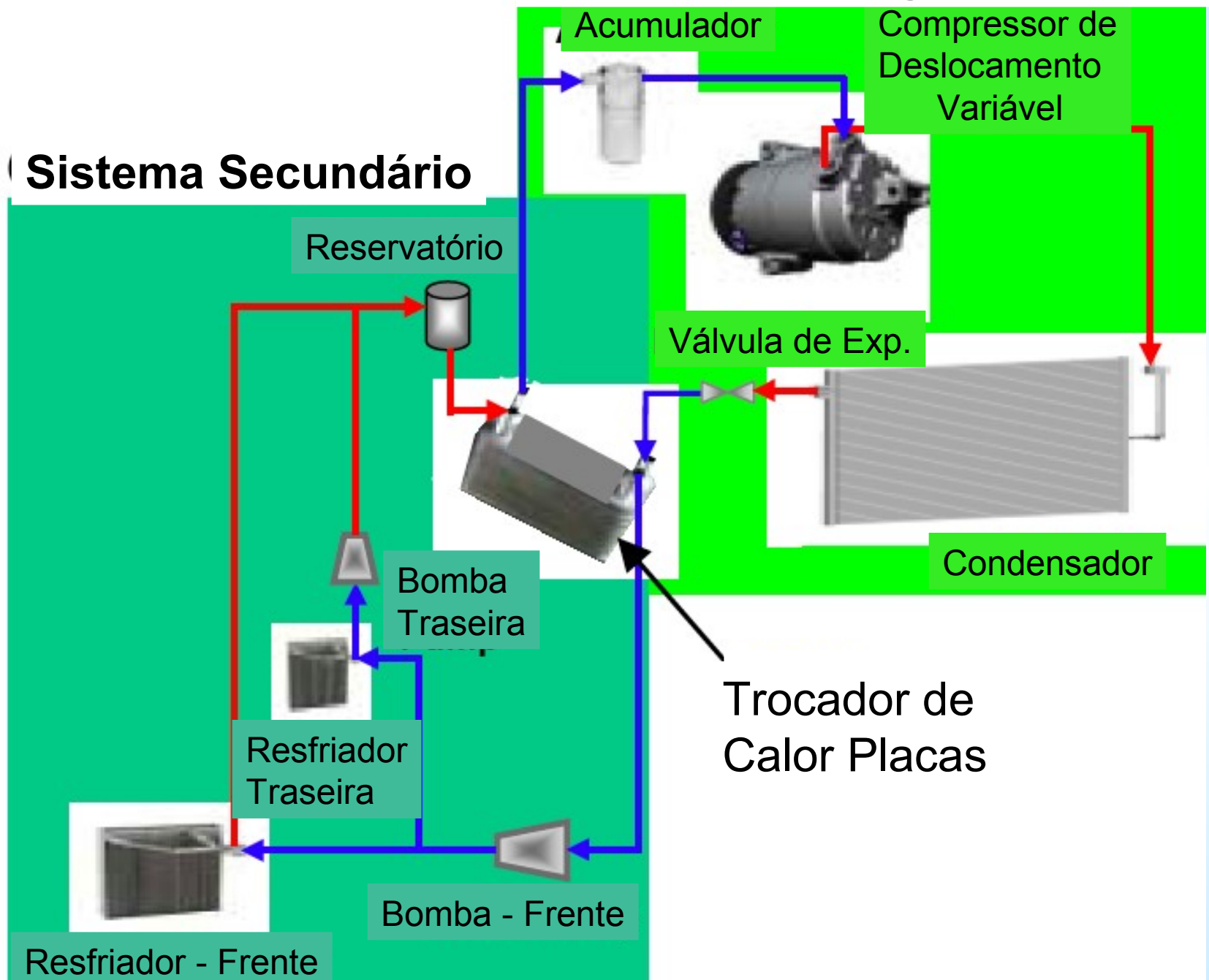


# Sistemas com R-152a



# Sistema de Refrigeração – R152a

## Sistema Secundário



# Prós e Contras

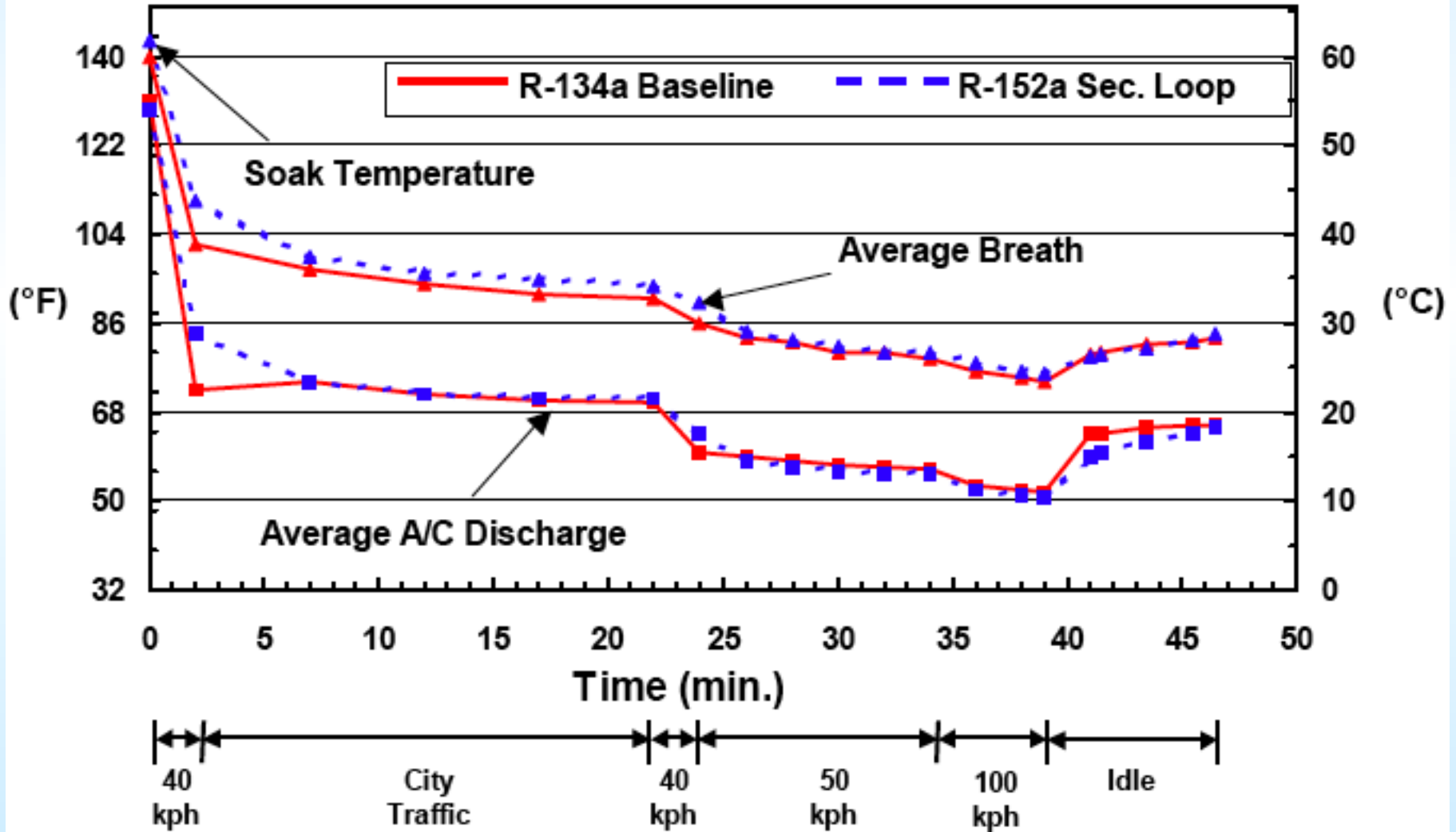
- Carga de Refrigerante é menor que sistemas convencionais,
- Aplicação em Multi-zonas sem aumento na carga de refrigerante
- Pontos adicionais sem limite e sem aumento da carga,
- Não há ruído na cabine pelo dispositivo de expansão,
- Não há variação de temperatura devido à má distribuição de refrigerante 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.)



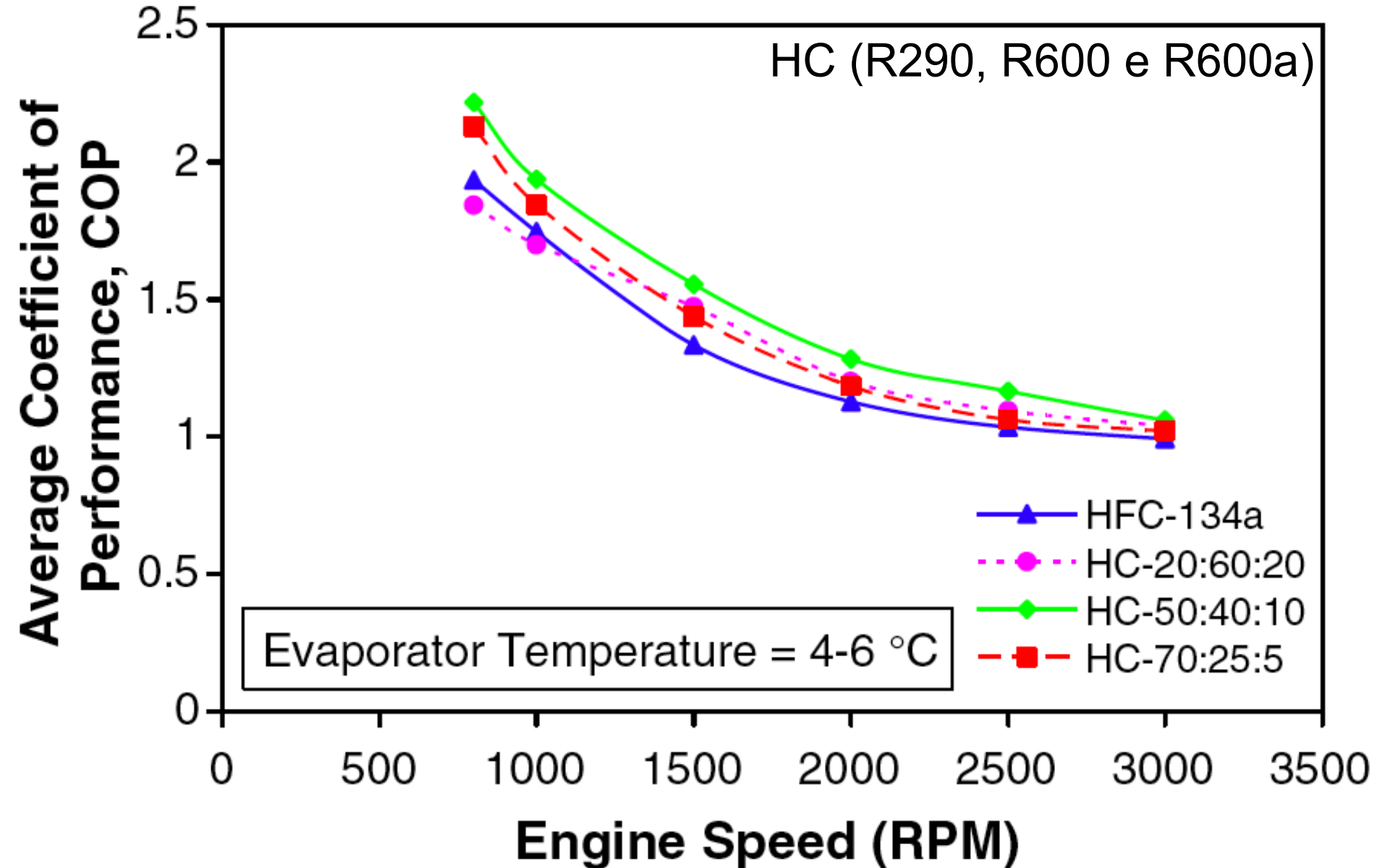


# Sistemas com HFC



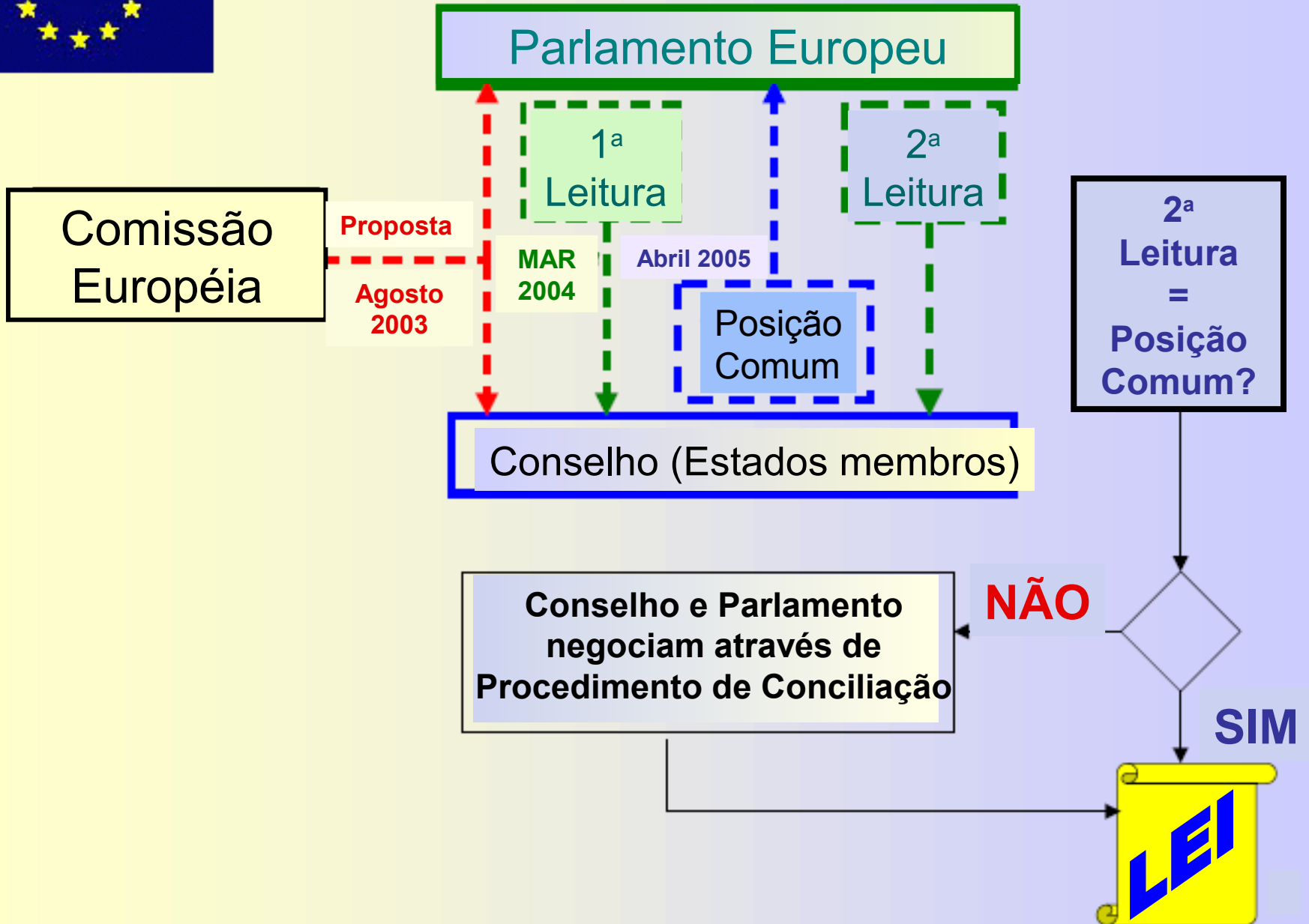


# Comparativo HC x R134a





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

**Emissões  
Diretas**

**Emissões  
Indiretas**



\* Vazamentos  
\* Acidentes   
\* Fim de Vida

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

# Considerações Finais

- \* O CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>.
- \* Em 2011 a Toyota já produzirá veículos com CO<sub>2</sub>, 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 \$



CO<sub>2</sub> não é Inflamável e  
não é Tóxico

# Considerações Finais

- \* Sistemas com CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub> 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?**



