



PONTIFÍCIA  
UNIVERSIDADE  
CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO

# Medidas para a Redução da Carga de Refrigerante em Sistemas de Refrigeração e de Condicionamento de Ar

**José Alberto R. Parise**

Departamento de Engenharia Mecânica  
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Seminário

Difusão do Uso de Fluidos Refrigerantes Alternativos em Sistemas de Refrigeração e Ar-Condicionado

Manaus, 24 de setembro de 2010



PONTIFÍCIA  
UNIVERSIDADE  
CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO

# Medidas para a Redução da Carga de Refrigerante em Sistemas de Refrigeração e de Condicionamento de Ar

- Introdução – Justificativa para a Redução da Carga de Refrigerante
- Influência da Carga de Refrigerante no Desempenho do Sistema
- Sistemas de Refrigeração com Carga Reduzida de Refrigerante
- Conclusões



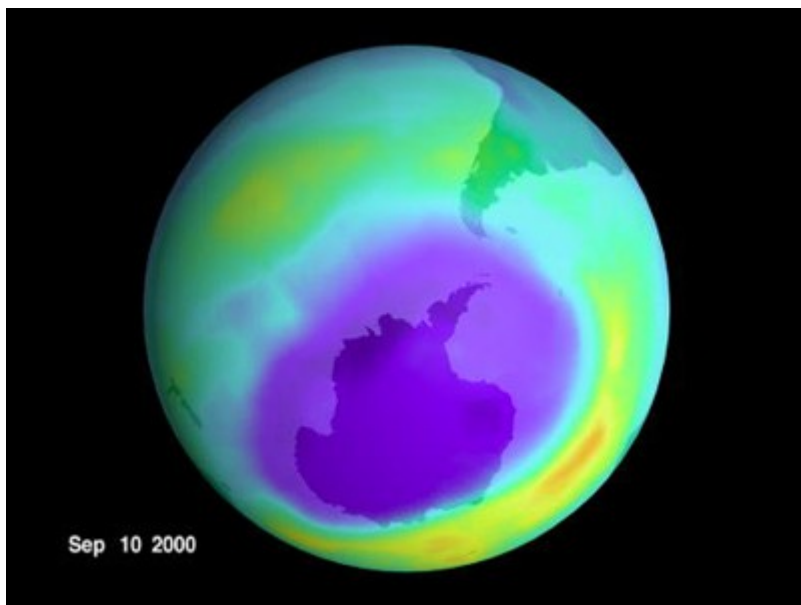
PONTIFÍCIA  
UNIVERSIDADE  
CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO

# *Introdução – Justificativa para a Redução da Carga de Refrigerante*

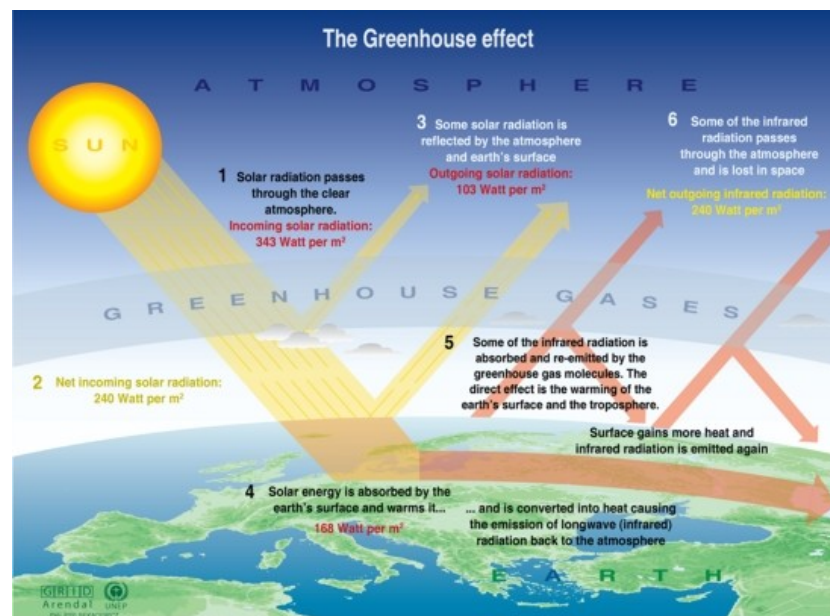


PONTIFÍCIA  
UNIVERSIDADE  
CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO

# Introdução – Justificativa para a Redução da Carga de Refrigerante



Destruição da camada de ozônio



Sources: Okanagan university college in Canada, Department of geography, University of Oxford, school of geography; United States Environmental Protection Agency (EPA), Washington; Climate change 1995, The science of climate change, contribution of working group 1 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge university press, 1996.

Aquecimento global



PONTIFÍCIA  
UNIVERSIDADE  
CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO

# *Introdução – Justificativa para a Redução da Carga de Refrigerante*



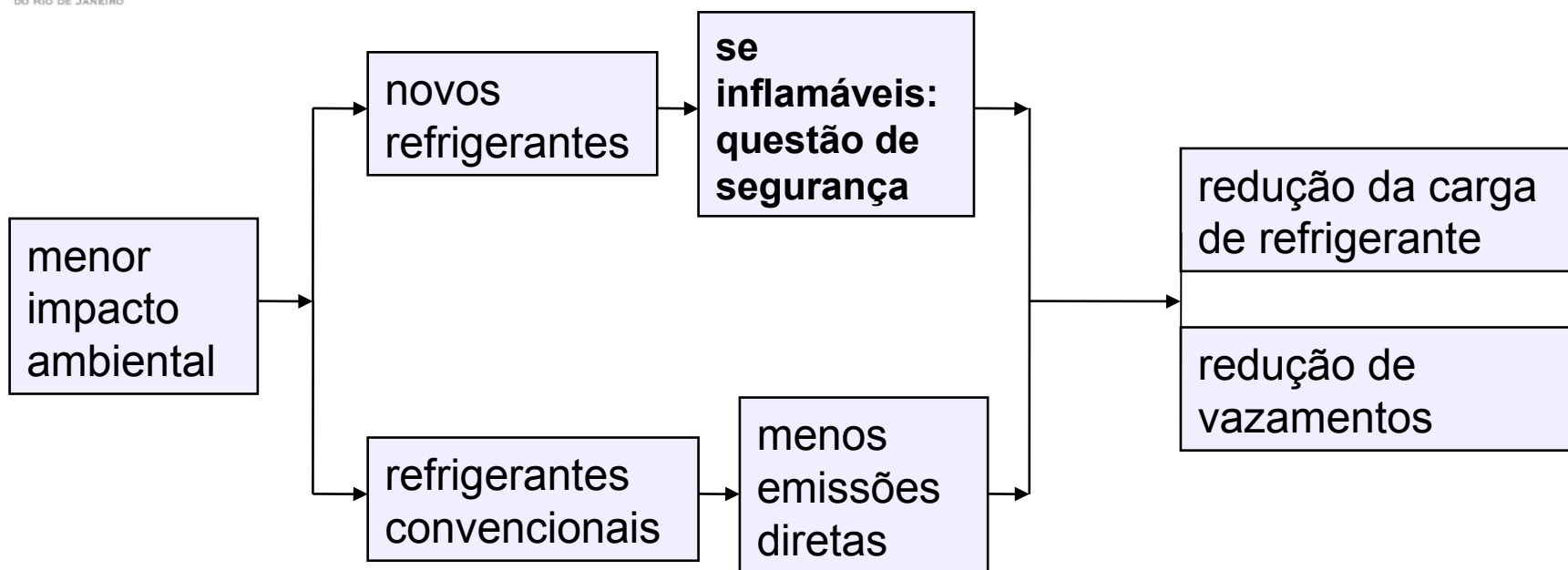
Efeito direto: vazamentos



Efeito indireto: produção de energia elétrica



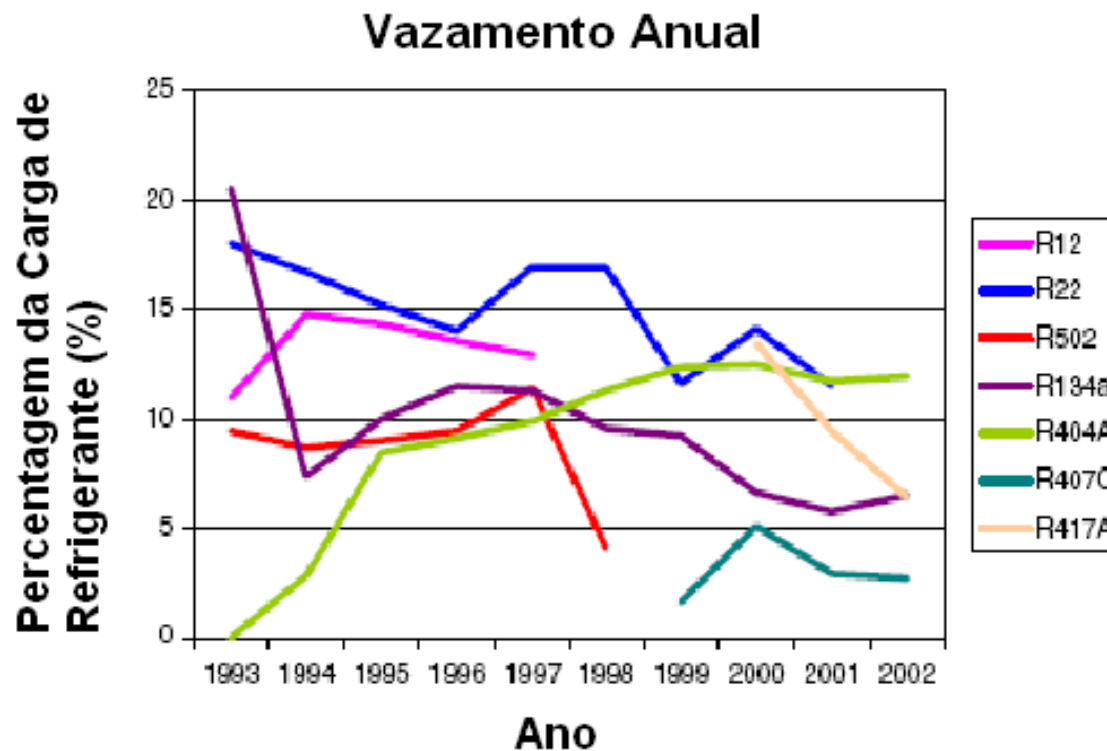
# Introdução – Justificativa para a Redução da Carga de Refrigerante





# Introdução

## *Evolução dos Vazamentos em Supermercados (Suécia)*

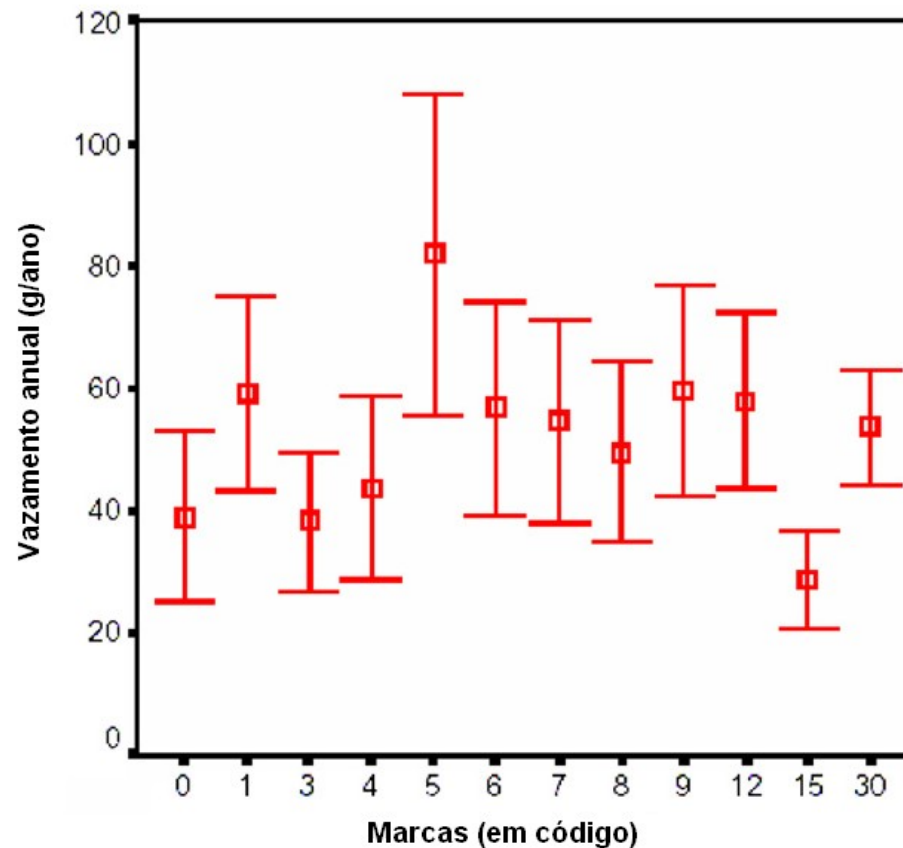


**Fonte:** Björn Palm, Refrigeration systems with minimum charge of refrigerant. Applied Thermal Engineering 27 (2007) 1693–1701.

# Introdução

## Vazamentos em Sistemas A/C Automotivos

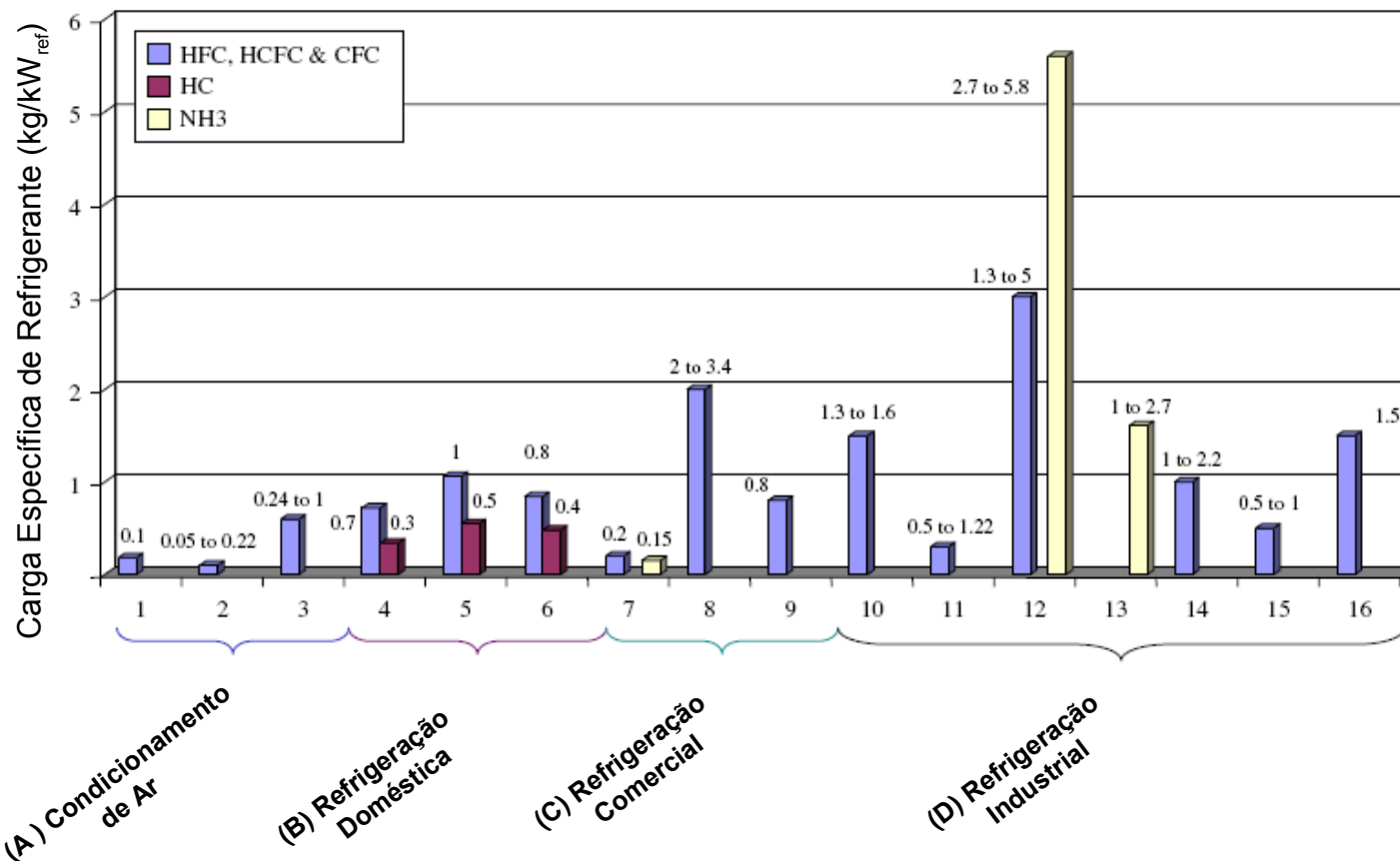
Vazamento em Sistemas  
Condicionadores de Ar Automotivos



Fonte: Björn Palm, Refrigeration systems with minimum charge of refrigerant. Applied Thermal Engineering 27 (2007) 1693–1701.



# Carga Específica de Refrigerante por Aplicação



1. A/C automotivo
2. A/C doméstico, "parede"
3. A/C doméstico, "split"

1. Geladeira
2. Freezer
3. Geladeira/freezer

1. Chiller água-água
2. Refrigeração com evaporador de expansão direta
9. Refrigeração com fluido secundário

10. Congelamento direto com EV DX
11. Congelamento com fluido secundário com EV DX
12. Congelamento direto com EV inundado
13. Congelamento com fluido secundário e evaporador inundado
14. Refrigeração com evaporador de expansão direta
15. Refrigeração com fluido secundário e evaporador de expansão direta
16. Refrigeração direta com evaporador inundado

Fonte: F. Poggia, H. Macchi-Tejeda, D. Leducq, A. Bontemps, 2008. Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction. International Journal of Refrigeration, n 31, pp. 353-370.

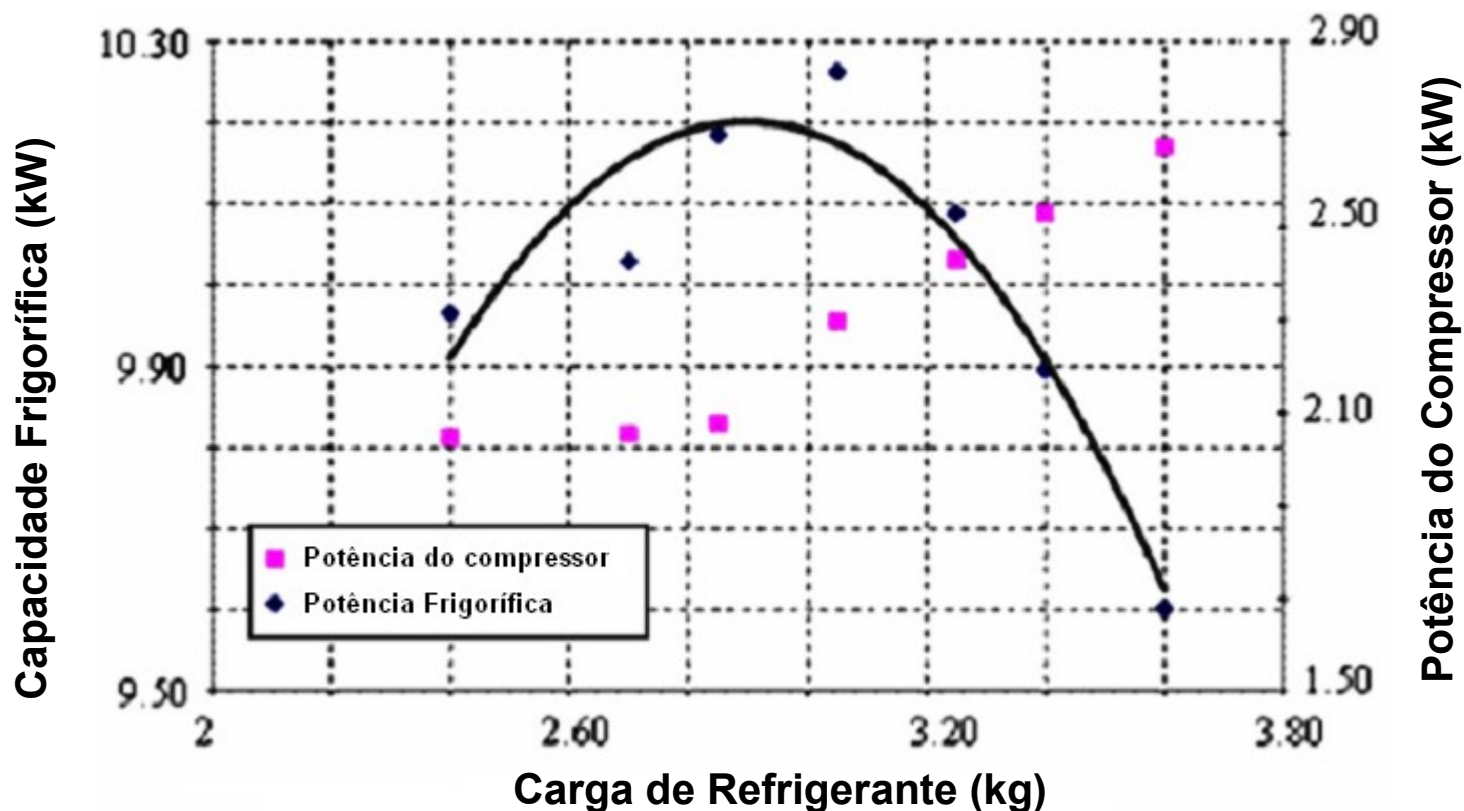


PONTIFÍCIA  
UNIVERSIDADE  
CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO

# *Influência da Carga de Refrigerante no Desempenho do Sistema*



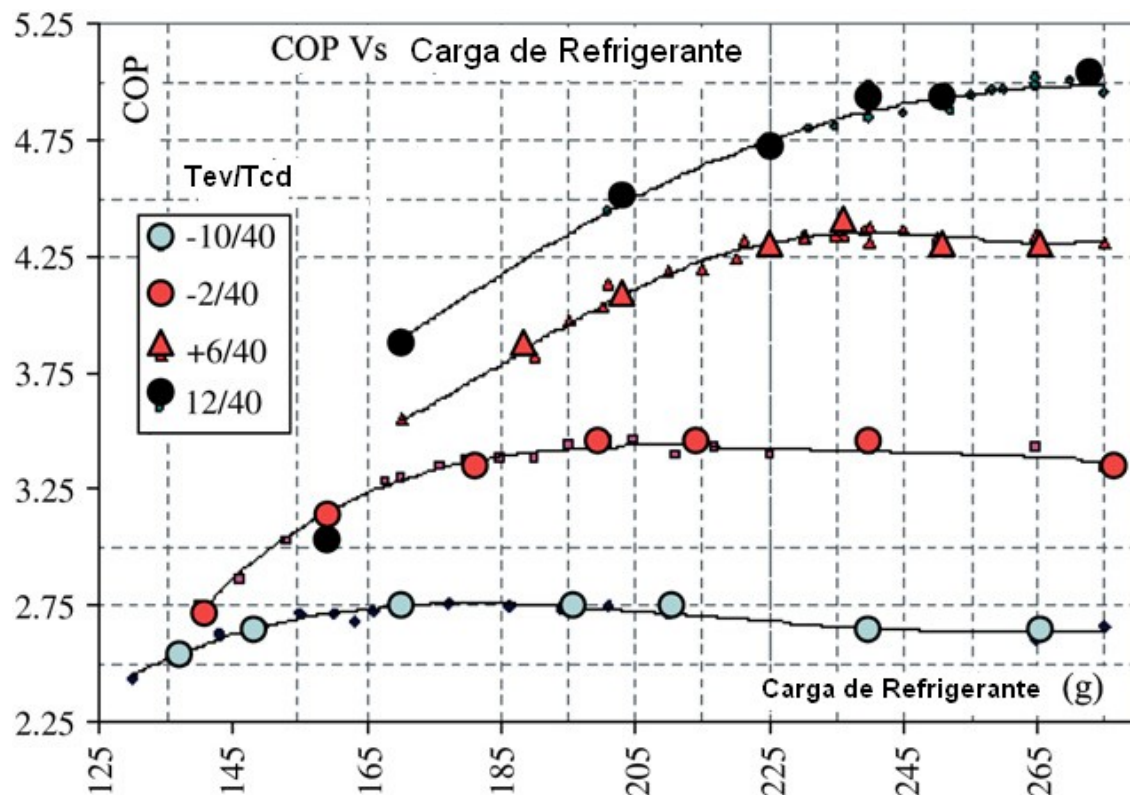
# Influência da Carga de Refrigerante no Desempenho do Sistema



Fonte: Colasson, S., Mercier, P., Lebouche, M., 2001. Effect of the R-407C charge on the behaviour of a liquid chiller with plate heat exchangers. In: Commissions B1, B2 with E1, E2. IIF-IIR, Dubrovnik, Croatia, 11 pp. (conference RQO-18).



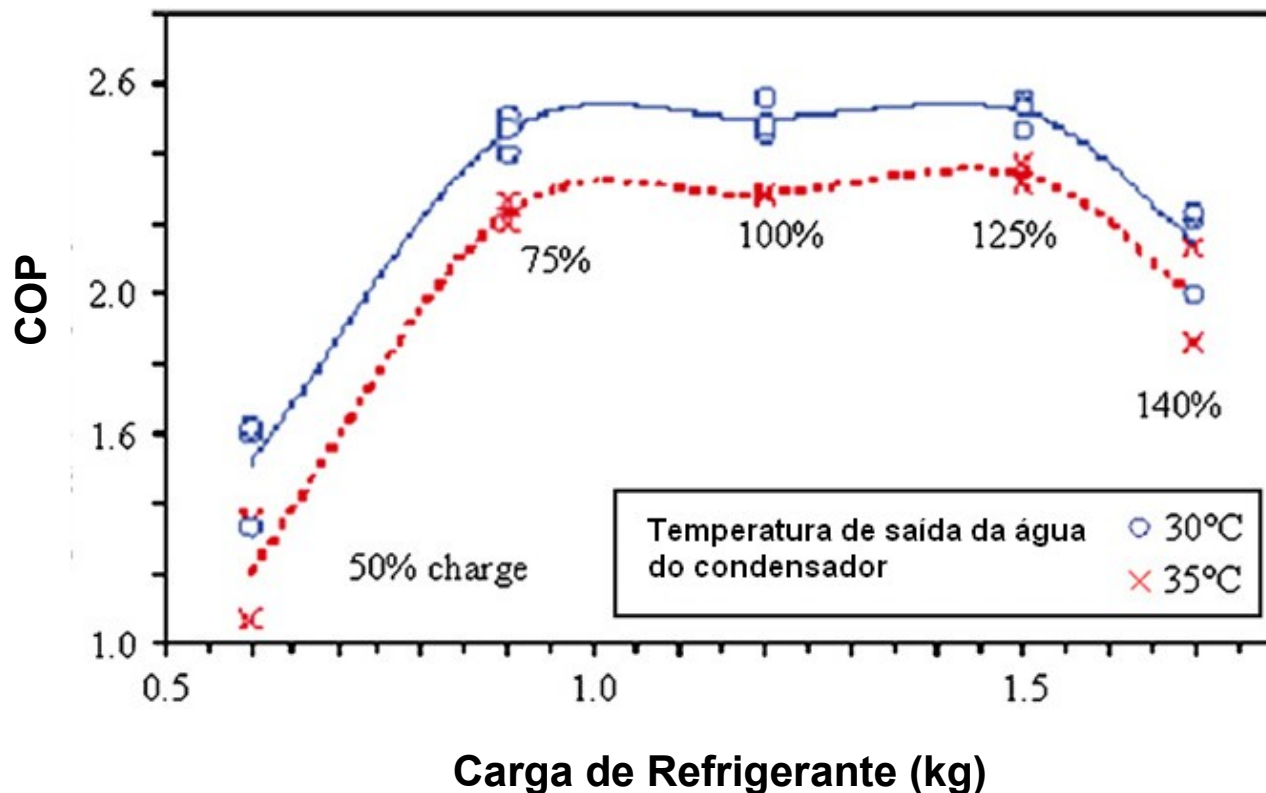
# Influência da Carga de Refrigerante no Desempenho do Sistema



Fonte: Primal, F., et al., 2002. The behaviour of small capacity (5 kW) heat pump with micro-channelled flat tube heat exchangers. In: Zero Leakage – Minimum Charge. CZ9, Stockholm, Sweden, pp. 179–186.



# Influência da Carga de Refrigerante no Desempenho do Sistema



Fonte: Grace, I.N., Datta, D., Tassou, S.A., 2005. Sensitivity of refrigeration system performance to charge levels and parameters for on-line leak detection. Applied Thermal Engineering 25 (4), 557–566.



PONTIFÍCIA  
UNIVERSIDADE  
CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO

# *Sistemas de Refrigeração com Carga Reduzida de Refrigerante*



PONTIFÍCIA  
UNIVERSIDADE  
CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO

# *Sistemas de Refrigeração com Carga Reduzida de Refrigerante*

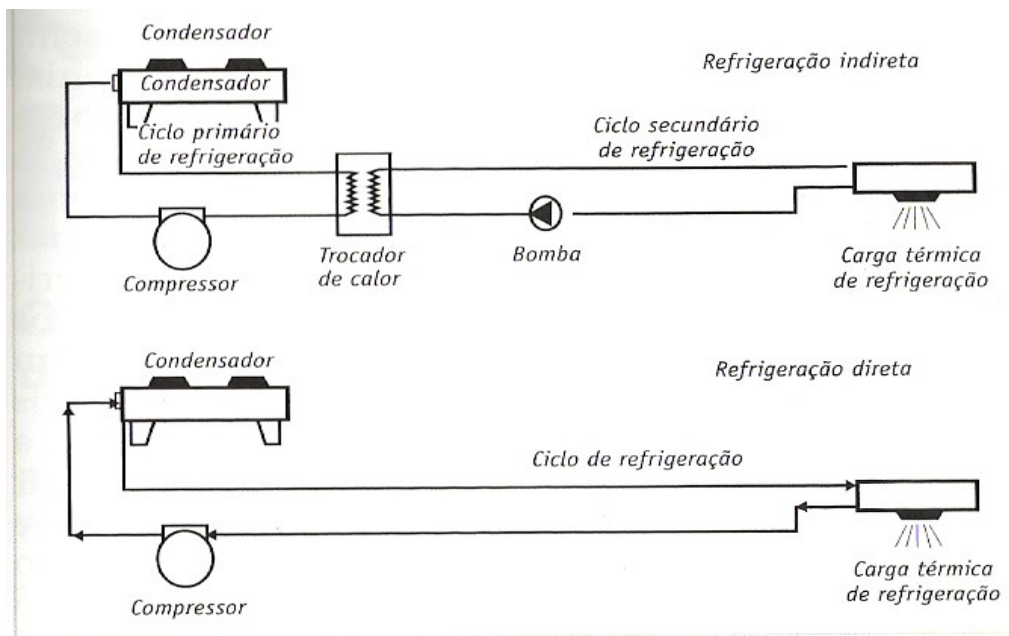
1. Arquitetura do sistema
2. Escolha do refrigerante
3. Dimensionamento de tubulação
4. Dimensionamento e carregamento dos reservatórios de líquido
5. Tipo de trocadores de calor
6. Tipo de dispositivo de expansão
7. Escolha do compressor
8. Otimização global da carga de refrigerante

**Fonte:** F. Poggia, H. Macchi-Tejeda, D. Leducq, A. Bontemps, 2008. Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction. *International Journal of Refrigeration*, n 31, pp. 353-370.



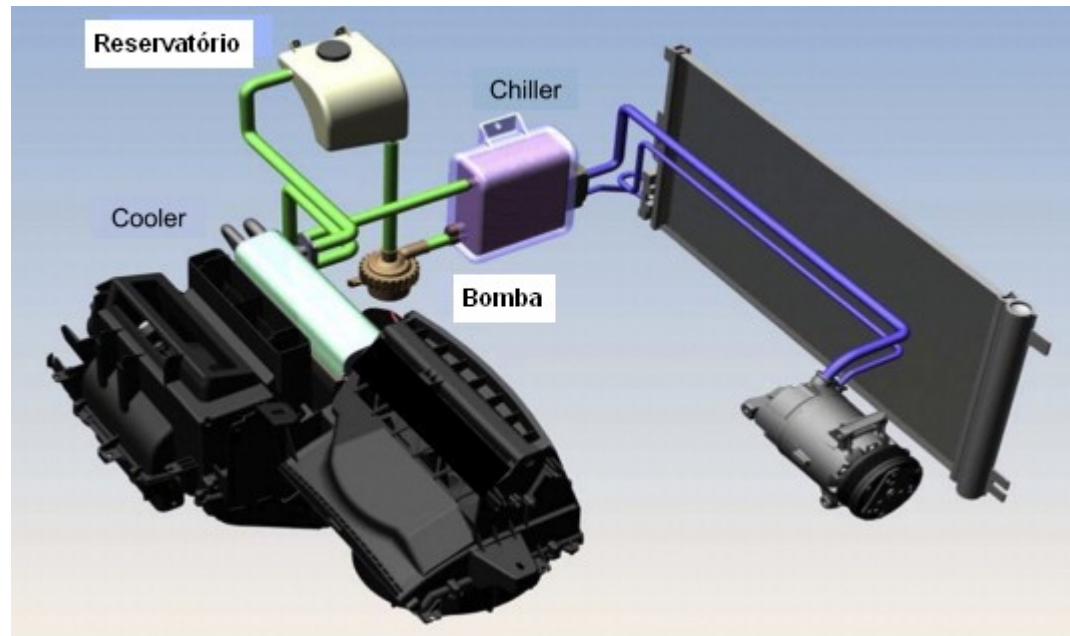
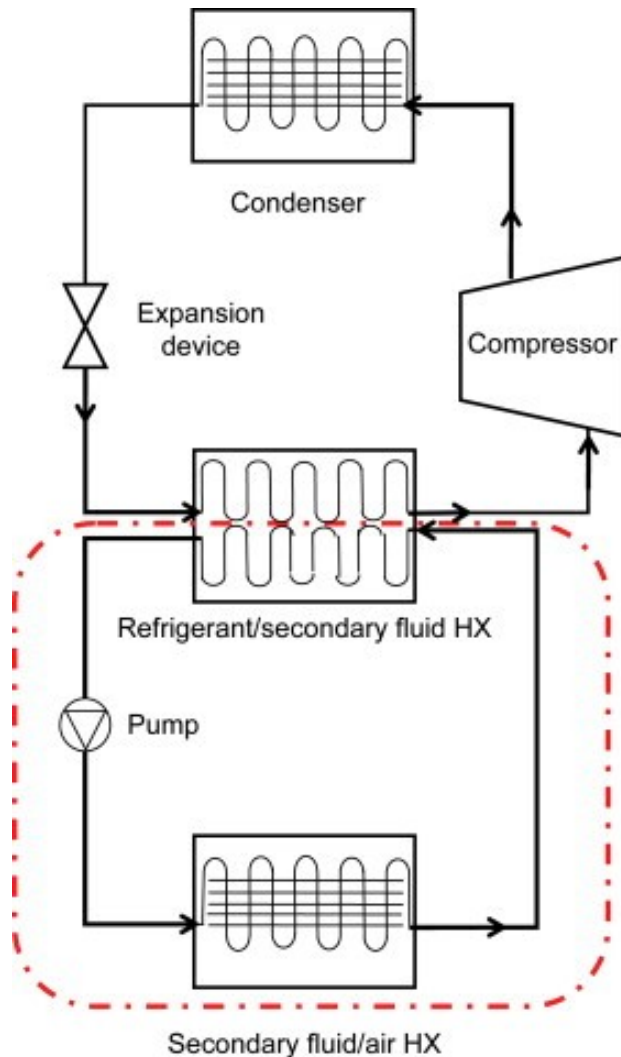
# Arquitetura do Sistema Refrigeração Direta X Indireta

Sistema	Carga de Refrigerante	Eficiência Energética
Refrigeração Indireta	- 60%	-5%
Refrigeração Direta	-	-



Fonte: F. Poggia, H. Macchi-Tejeda, D. Leducq, A. Bontemps, 2008. Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction. International Journal of Refrigeration, n 31, pp. 353-370.

# Sistema com Fluido Secundário



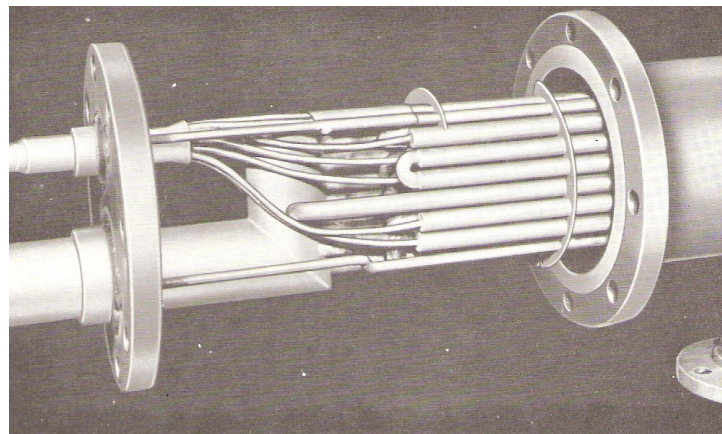
Sistema condicionador de ar automotivo (R152a) com circuito secundário

**Fonte:** K.Wang, M. Eisele, Y. Hwang, R. Radermacher, International Journal of Refrigeration, Volume 33, Issue 2, March 2010, Pages 212-234

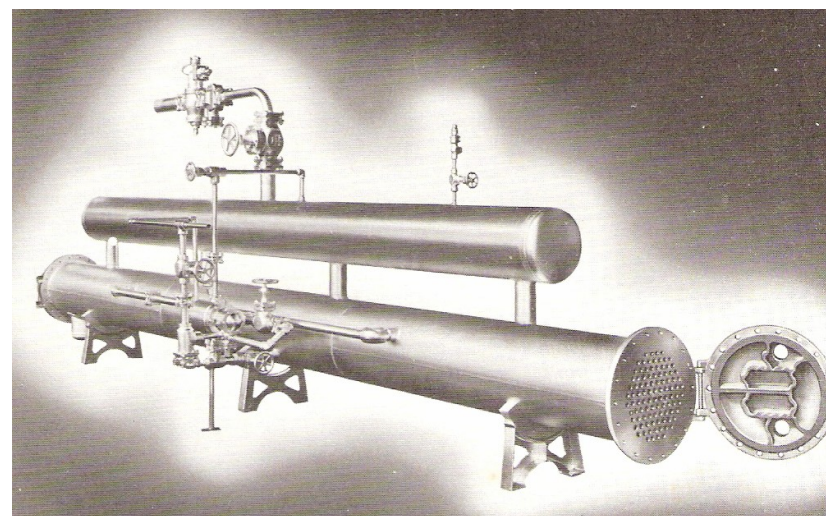
# Arquitetura do Sistema

## Evaporador: Expansão direta X Inundado

Evaporador	Carga de Refrigerante	Eficiência Energética
Expansão Direta	- 50%	equivalente
Inundado	-	-



Evaporador de Expansão Direta



Evaporador Inundado

- líquido a baixa pressão
- tubulações de conexão

Fonte: F. Poggia, H. Macchi-Tejeda, D. Leducq, A. Bontemps, 2008. Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction. International Journal of Refrigeration, n 31, pp. 353-370.

# Escolha do Refrigerante

## Propriedades relevantes à carga de refrigerante

Propriedade	HCFC22	HC290 (Propano)	R717 (amônia)	HFC134a	R410A	R404A	R407C
Densidade do Líquido a 20°C (kg/m <sup>3</sup> )	1413,0	582,0	682,0	1206,0	1085,0	1066,0	1159,0
Calor Latente de Vaporização a 1 atm (kJ/kg)	233,9	413,9	1371,2	215,9	271,7	200,5	248,2

**Fonte:** F. Poggia, H. Macchi-Tejeda, D. Leducq, A. Bontemps, 2008. Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction. International Journal of Refrigeration, n 31, pp. 353-370.

# Dimensionamento de Tubulação

## Importância da Linha de Líquido

Componente	Distribuição da Carga de Refrigerante
Linha de Líquido, alta pressão	60%
Condensador	20%
Evaporador	9%
Reservatório, alta pressão	7%
Linha de sucção	4%
Compressor	1%

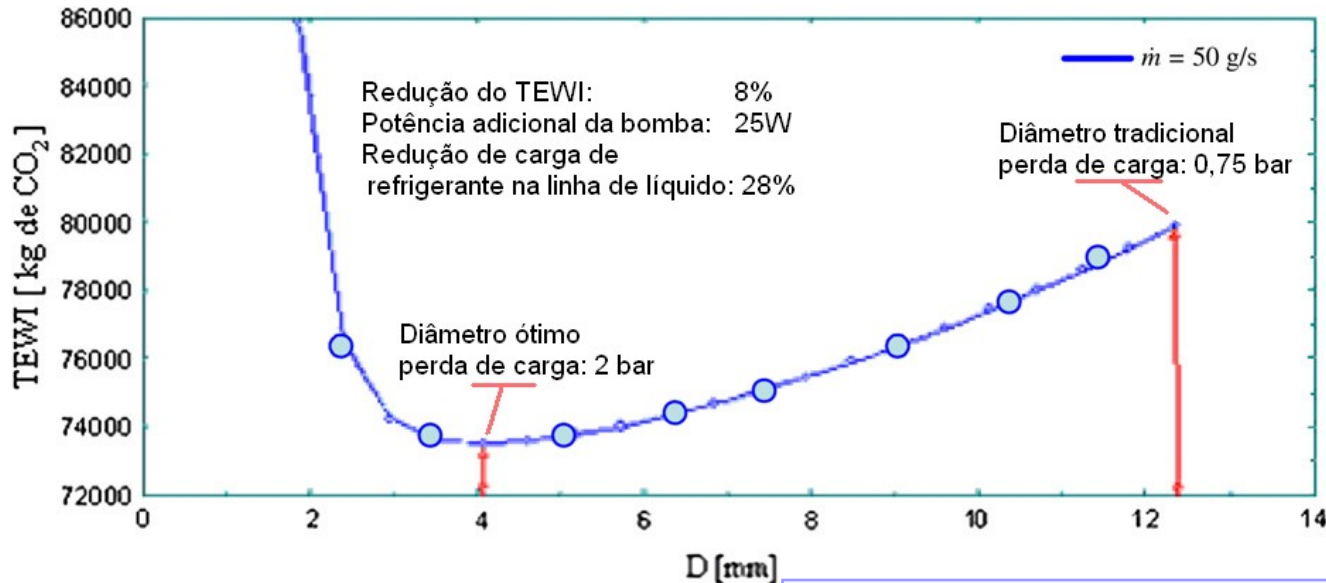
**Sistema:**

- Expansão direta
- 300 kW
- -10°C / 35°C
- carga total: 273kg

**Fonte:** Macchi, H., Guilpart, J., Mahungu, A., 1999. Reduction de charge: comparaison entre detente directe, recirculation et refrigeration indirecte. Journée Française du Froid – Interclima, 47–63.



## Dimensionamento de Tubulação Importância da Linha de Líquido



### Sistema:

- Evaporador de expansão direta
- 5 kW
- -28°C / 40°C
- vazão mássica: 50 g/s

$$\Delta P_{lam} \propto \frac{1}{D^4}$$

Queda de pressão, escoamento laminar

Fonte: Azzouz, K., 2003. Conception optimisée d'un système frigorifique à TEWI minimum équipé d'échangeurs à mini-canaux. Rapport de stage de DEA. Cemagref, Antony, 39 pp. + annexes, unpublished.

**TEWI:** Total Equivalent Warming Impact (impacto total equivalente no aquecimento global)  
**TEWI = {emissão direta} + {emissão indireta} = GWP x M + a x B**  
**GWP relativo ao CO<sub>2</sub> (GWP[CO<sub>2</sub>] = 1)**  
**M = massa total de refrigerante liberado (kg)**  
**a = quantidade de CO<sub>2</sub> liberado na geração de eletricidade (kgCO<sub>2</sub>/kWh)**  
**Geração hidroelétrica: a = 0**  
**Geração termoelétrica: a = 0.8 kg CO<sub>2</sub>/kWh**  
**B = consumo de energia do sistema ao longo de sua vida útil (kWh)**

## *Redução da Carga de Refrigerante*

# Dimensionamento e carregamento dos reservatórios de líquido

Componente	Distribuição da Carga de Refrigerante
Linha de Líquido, alta pressão	18%
Condensador	22%
Evaporador	16%
<b>Reservatório, alta pressão</b>	<b>43%</b>
Compressor	1%

### Sistema:

- Split
- 5 kW
- -28°C / 40°C
- carga total: 7kg

Fonte: David, L., 2002. Instrumentation et caracterisation du fonctionnement d'une installation frigorifique classique. Rapport de stage de DESS. Université Pierre et Marie Curie, GPAN – Cemagref, Antony, 38 pp. + annexes, unpublished.

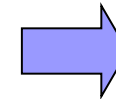


## Dimensionamento e carregamento dos reservatórios de líquido



### ASHRAE Handbook 2006, Refrigeration, Ch. 2

- Oferecer capacidade de armazenamento de refrigerante
- Lidar com excesso de refrigerante no sistema
- Acomodar flutuação da carga térmica no evaporador
- Ter capacidade de armazenar refrigerante em operação modulada do EV



**Problema:**  
**Superdimensionamento do reservatório**

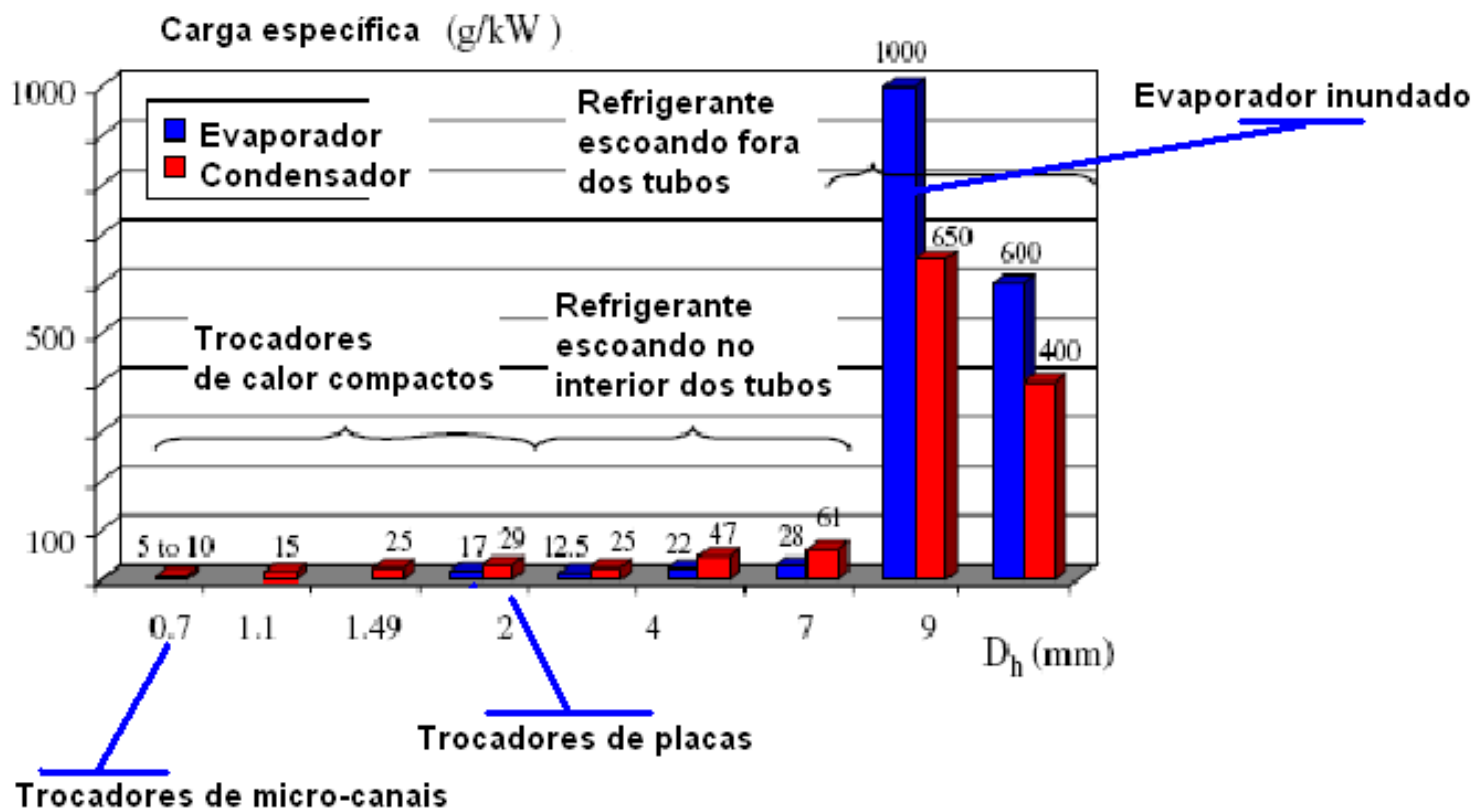
Mahungu, K.A., 1998. Influence des réservoirs sur la masse de frigorigène contenue dans une installation frigorifique industrielle. In: Mémoire d'ingénieur CNAM. Cemagref, Antony, Paris, p. 125, unpublished.

**Fonte:** F. Poggia, H. Macchi-Tejeda, D. Leducq, A. Bontemps, 2008. Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction. International Journal of Refrigeration, n 31, pp. 353-370.



# Redução da Carga de Refrigerante

## Tipo de trocadores de calor



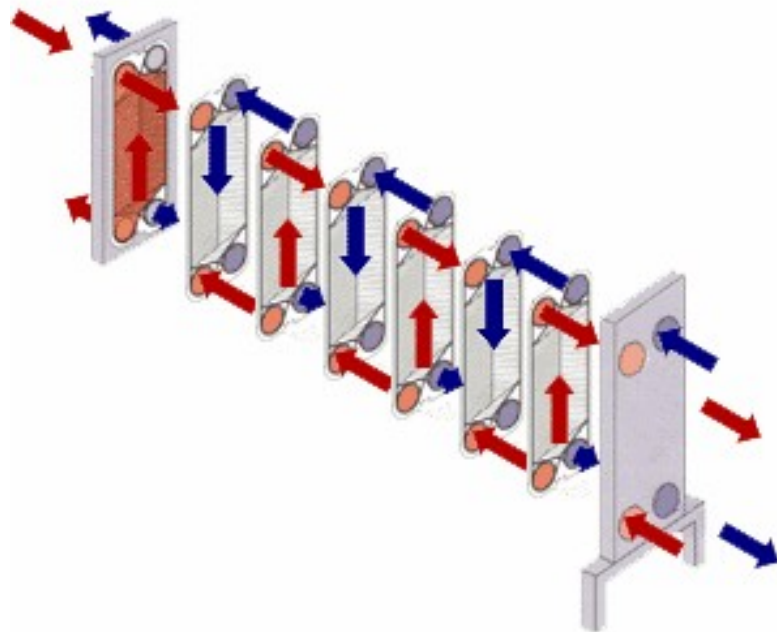
Fonte: F. Poggia, H. Macchi-Tejeda, D. Leducq, A. Bontemps, 2008. Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction. International Journal of Refrigeration, n 31, pp. 353-370.



PONTIFÍCIA  
UNIVERSIDADE  
CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO

## Redução da Carga de Refrigerante

# Trocadores de calor de placas



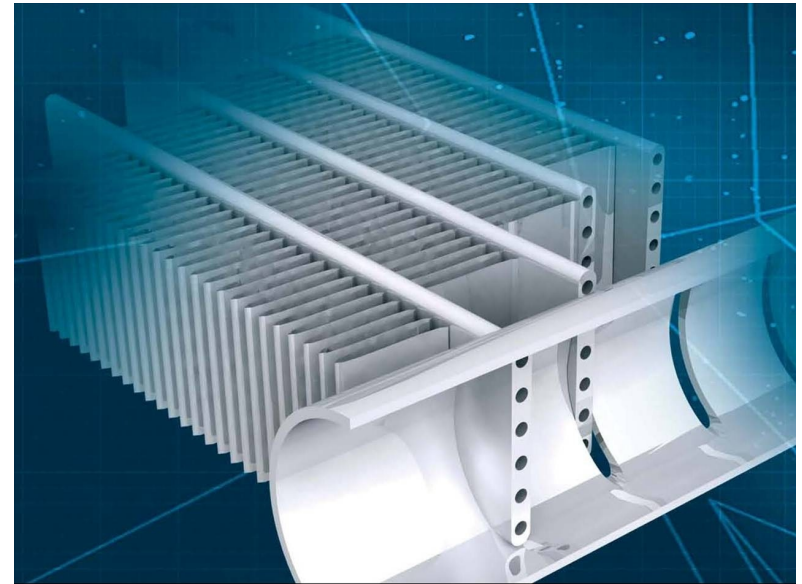
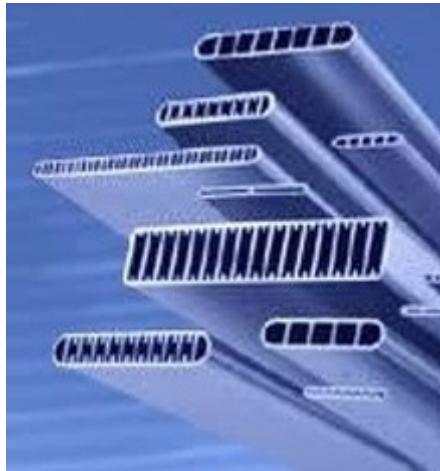
WCR Benelux BV



Trocadores AlfaLaval

# Redução da Carga de Refrigerante

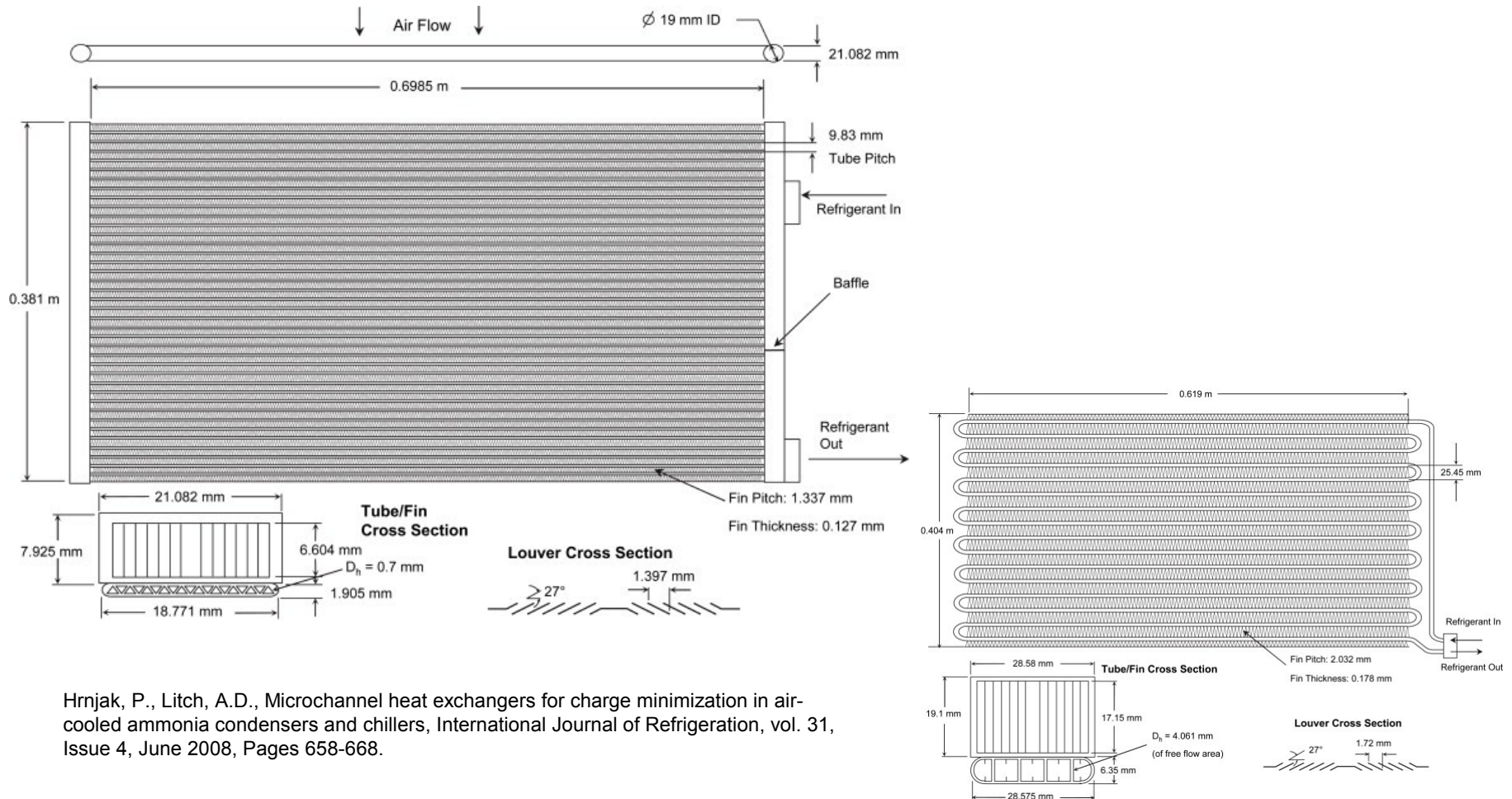
## Trocadores de calor de micro e mini-canais



Carrier

# Redução da Carga de Refrigerante

## Trocadores de calor de micro-canais

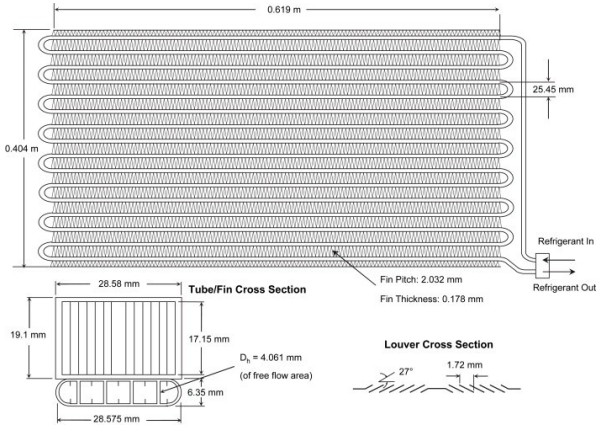


Hrnjak, P., Litch, A.D., Microchannel heat exchangers for charge minimization in air-cooled ammonia condensers and chillers, International Journal of Refrigeration, vol. 31, Issue 4, June 2008, Pages 658-668.

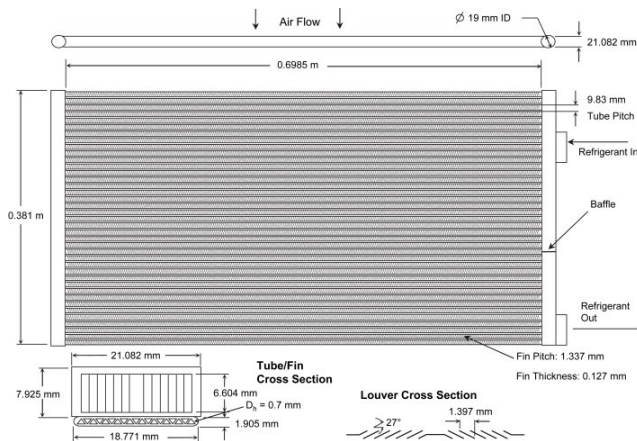
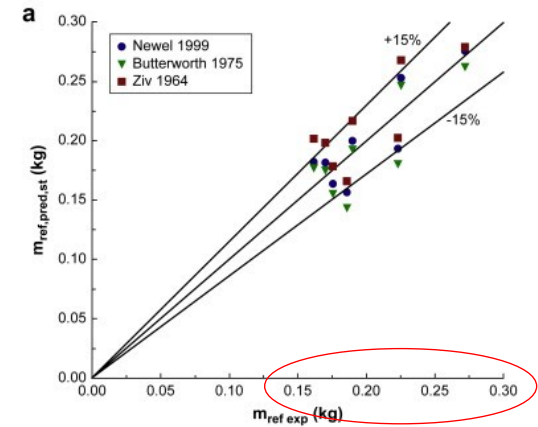
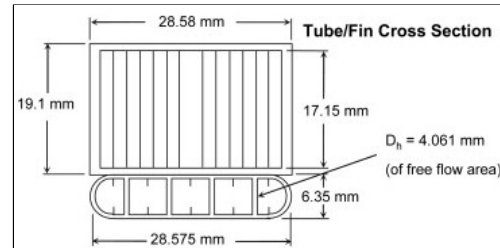


# Redução da Carga de Refrigerante

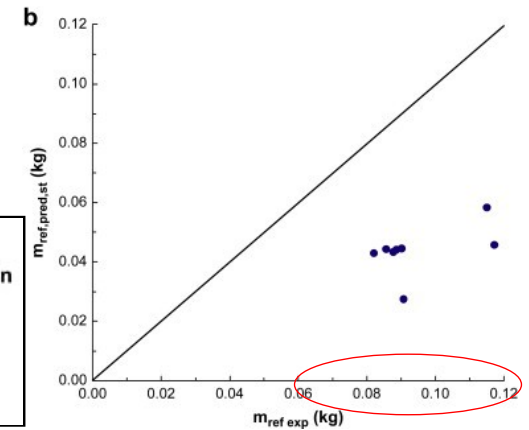
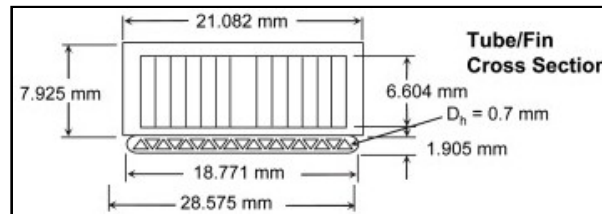
## Trocadores de calor de micro-canais



**Condensador de serpentina**



**Condensador de micro-canais**



Hrnjak, P., Litch, A.D., Microchannel heat exchangers for charge minimization in air-cooled ammonia condensers and chillers, International Journal of Refrigeration, vol. 31, Issue 4, June 2008, Pages 658-668.



# *Redução da Carga de Refrigerante*

## **Tipo de dispositivo de expansão**

Tubo capilar X Válvula de expansão eletrônica





## Redução da Carga de Refrigerante

# Tipo de dispositivo de expansão

### Bomba de Calor Água-água

**Compressor:** tipo scroll, 3,5 kW

**Condensador:** tubo duplo  
L= 4787mm  
diâmetros 9.52mm/15.88mm

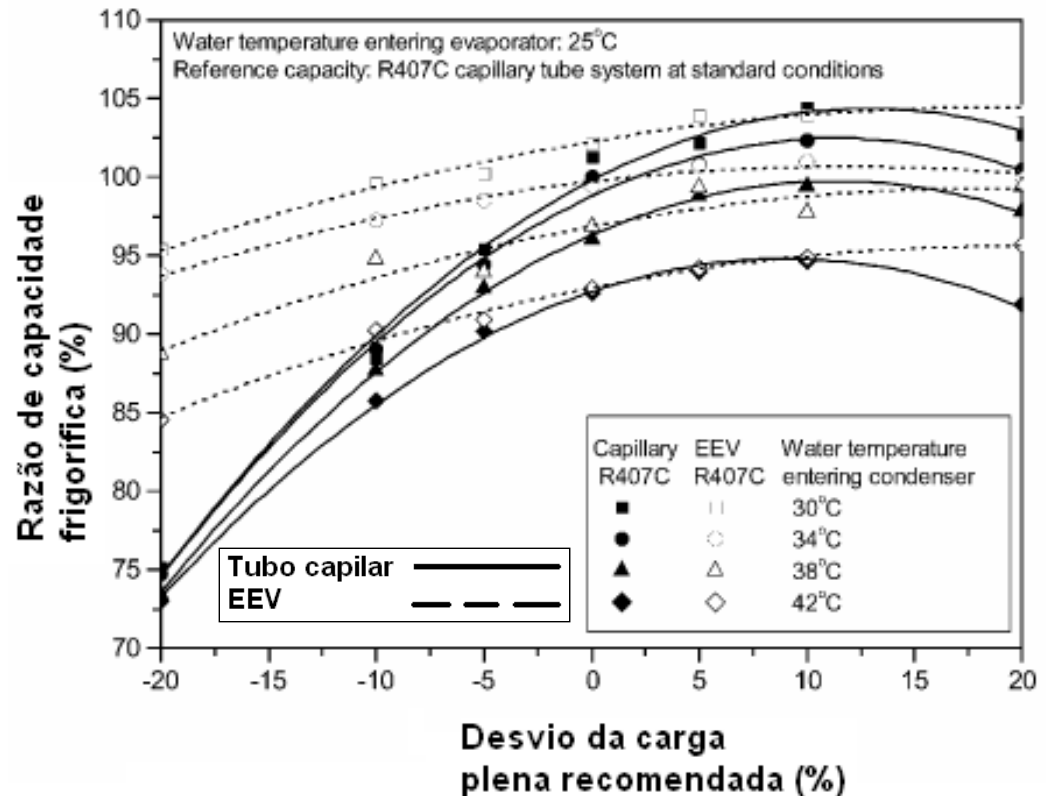
**Evaporador:** tubo duplo  
L= 3564mm  
diâmetros 9.52mm/15.88mm

**Refrigerante:** R407C

**Dispositivo de expansão:**

1) **Tubo capilar:** 900mm X 1,2 mm

- **Válvula de expansão eletrônica**  
EEV Manufacturer Saginomiya Co.  
Model No. DKV-14D13  
Step (pulse) 0–480  
Diâmetro do orifício (mm) 1,4  
comprimento (mm) 3

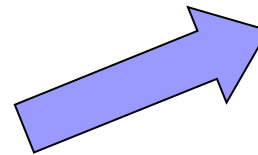


Fonte: Choi J., Kim Y., Influence of the expansion device on the performance of a heat pump using R407C under a range of charging conditions, International Journal of Refrigeration 27 (2004) 378–384.

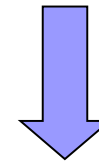
# Redução da Carga de Refrigerante

## Escolha do compressor

Componente	Distribuição da Carga de Refrigerante
Linha de Líquido, alta pressão	60%
Condensador	20%
Evaporador	9%
Reservatório, alta pressão	7%
Linha de sucção	4%
<b>Compressor</b>	<b>1%</b>



Sistemas com carga de refrigerante reduzida



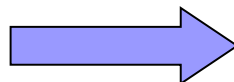
Óleo lubrificante + **refrigerante**

**Fonte:** F. Poggia, H. Macchi-Tejeda, D. Leducq, A. Bontemps, 2008. Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction. International Journal of Refrigeration, n 31, pp. 353-370.

# *Redução da Carga de Refrigerante*

## Otimização global da carga de refrigerante

Redução da carga de refrigerante



Minimização do impacto ambiental

**Fonte:** F. Poggia, H. Macchi-Tejeda, D. Leducq, A. Bontemps, 2008. Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction. International Journal of Refrigeration, n 31, pp. 353-370.



PONTIFÍCIA  
UNIVERSIDADE  
CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO

# *Conclusões*



## *Redução da Carga de Refrigerante*

# Conclusão - Resumo

## **Redução da Carga de Refrigerante**

- Impacto ambiental ou segurança
- Sistemas com fluidos secundários
- **Reservatórios de líquido**
- **Evaporadores inundados**
- Trocadores de calor compactos >> micro-canais
- Válvulas de expansão eletrônicas

**Fonte:** F. Poggia, H. Macchi-Tejeda, D. Leducq, A. Bontemps, 2008. Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction. International Journal of Refrigeration, n 31, pp. 353-370.



*Redução do Impacto Ambiental*

## Conclusão - Resumo

- **Carga de Refrigerante Mínima**
- **Vazamento Zero**

**Fonte:** F. Poggia, H. Macchi-Tejeda, D. Leducq, A. Bontemps, 2008. Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction. International Journal of Refrigeration, n 31, pp. 353-370.





PONTIFÍCIA  
UNIVERSIDADE  
CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO

*Obrigado*

*parise@puc-rio.br*