



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

Porto Alegre, 11 de setembro de 2009



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

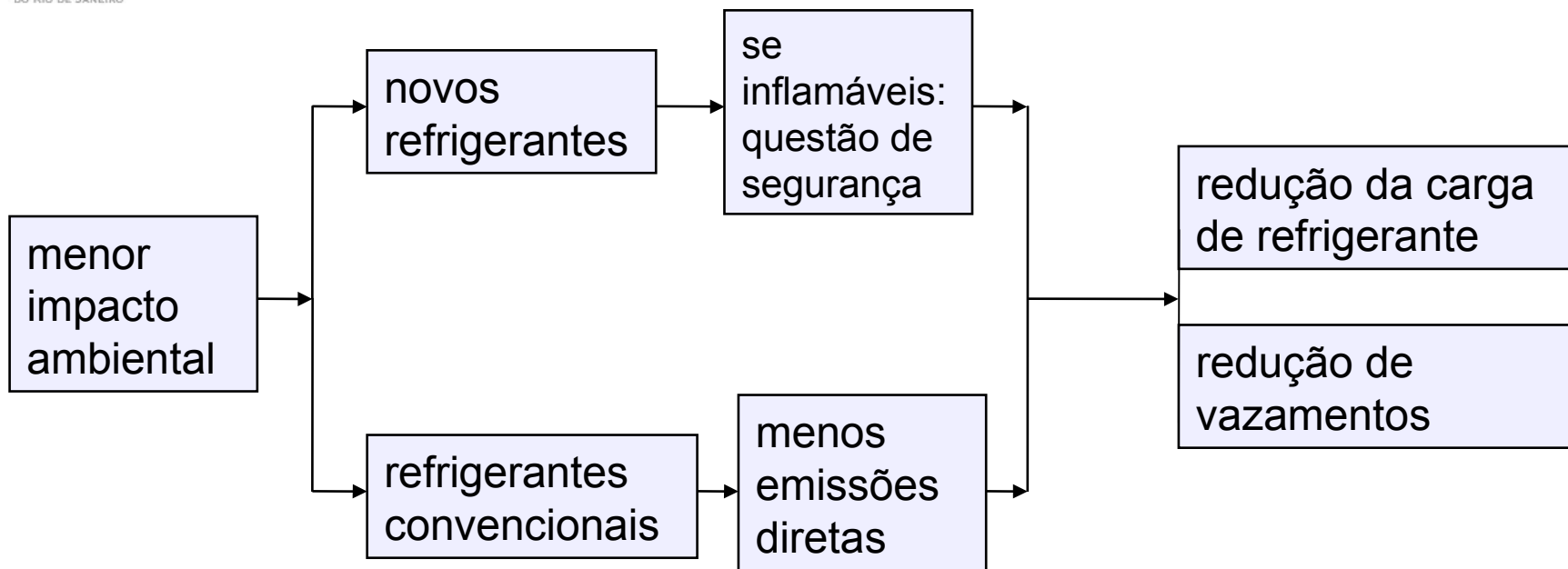
- Introdução – Justificativa para a Redução da Carga de Refrigerante
- Influência da Carga de Refrigerante no Desempenho do Sistema
- Sistemas de Refrigeração com Carga Reduzida de Refrigerante
- Conclusões



Introdução – Justificativa para a Redução da Carga de Refrigerante

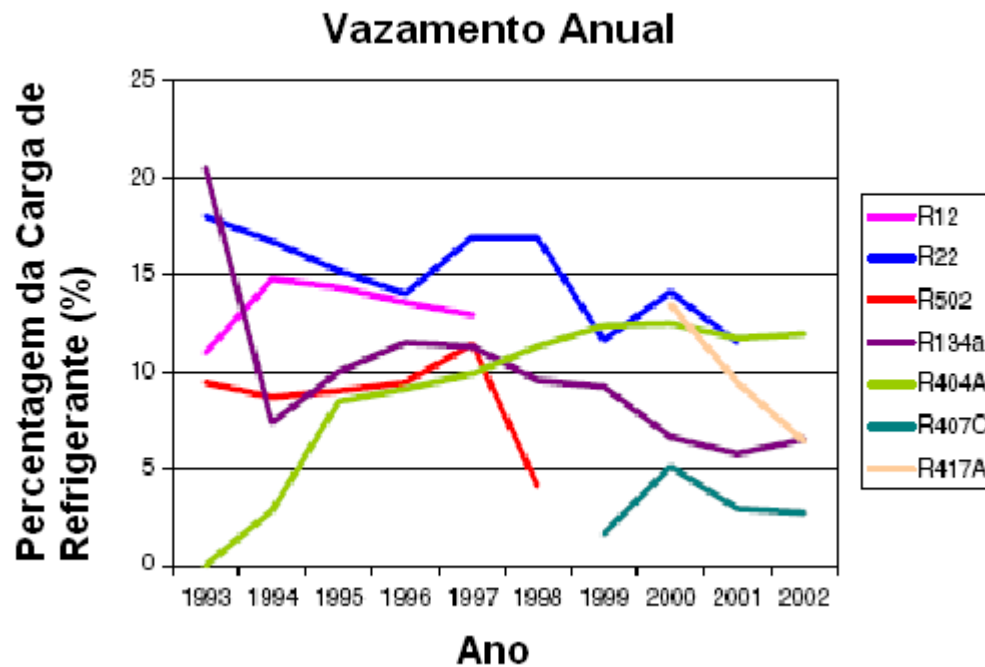


Introdução – Justificativa para a Redução da Carga de Refrigerante



Introdução

Evolução dos Vazamentos em Supermercados (Suécia)

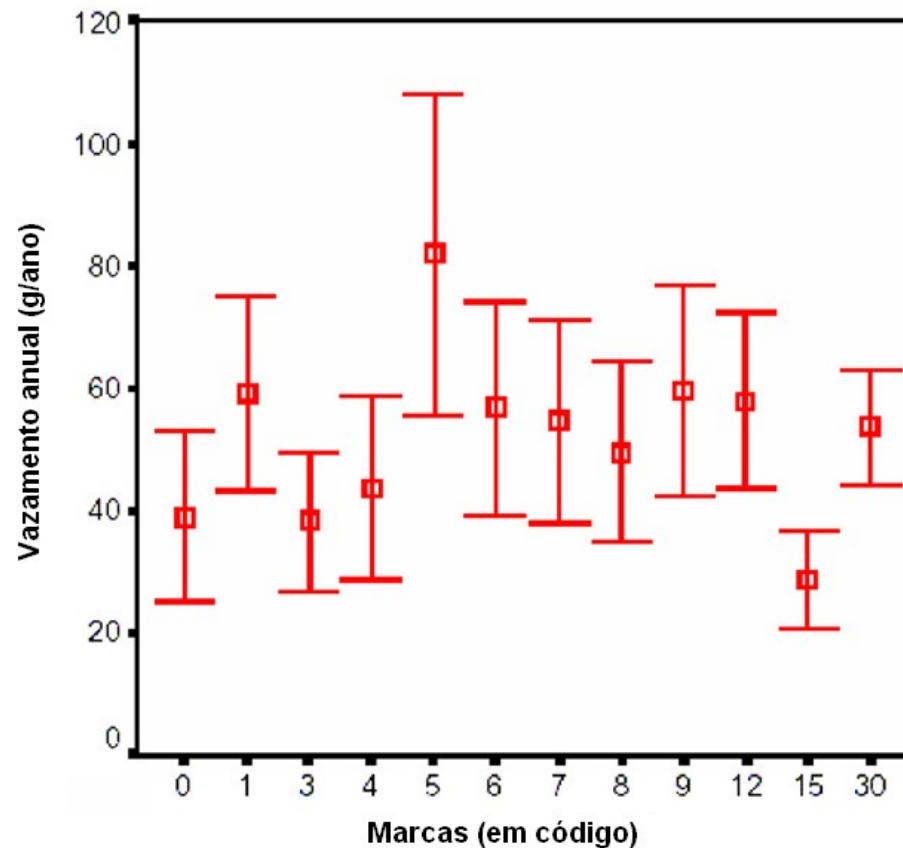


Fonte: Björn Palm, Refrigeration systems with minimum charge of refrigerant. Applied Thermal Engineering 27 (2007) 1693–1701.

Introdução

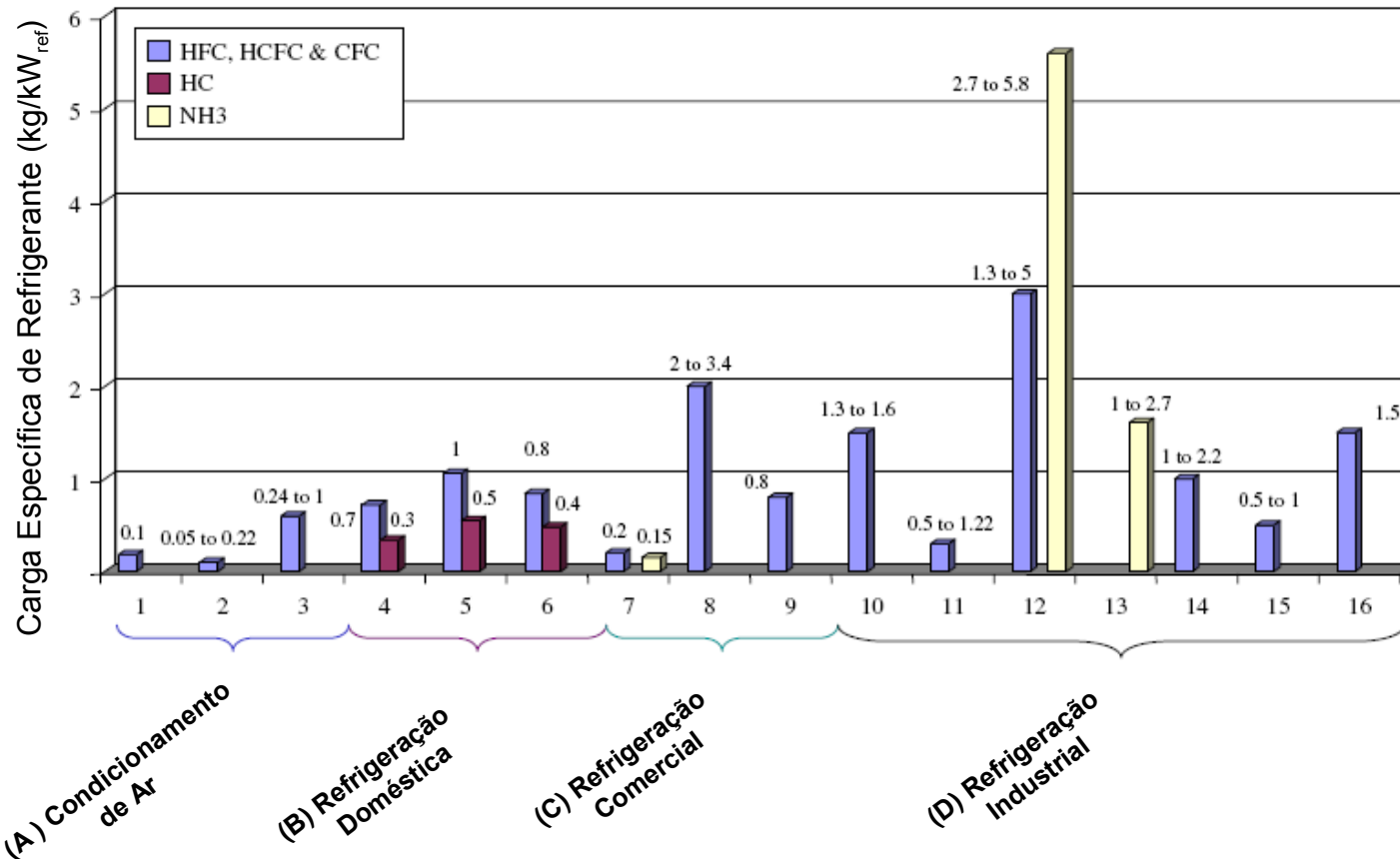
Vazamentos em Sistemas A/C Automotivos

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"
- A/C doméstico, "split"
- Geladeira
- Freezer
- Geladeira/freezer
- Chiller água-água
- Refrigeração com evaporador de expansão direta
9. Refrigeração com fluido secundário
10. Congelamento direto com EV DX
11. Congelamento com fluido secundário com EVDX
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

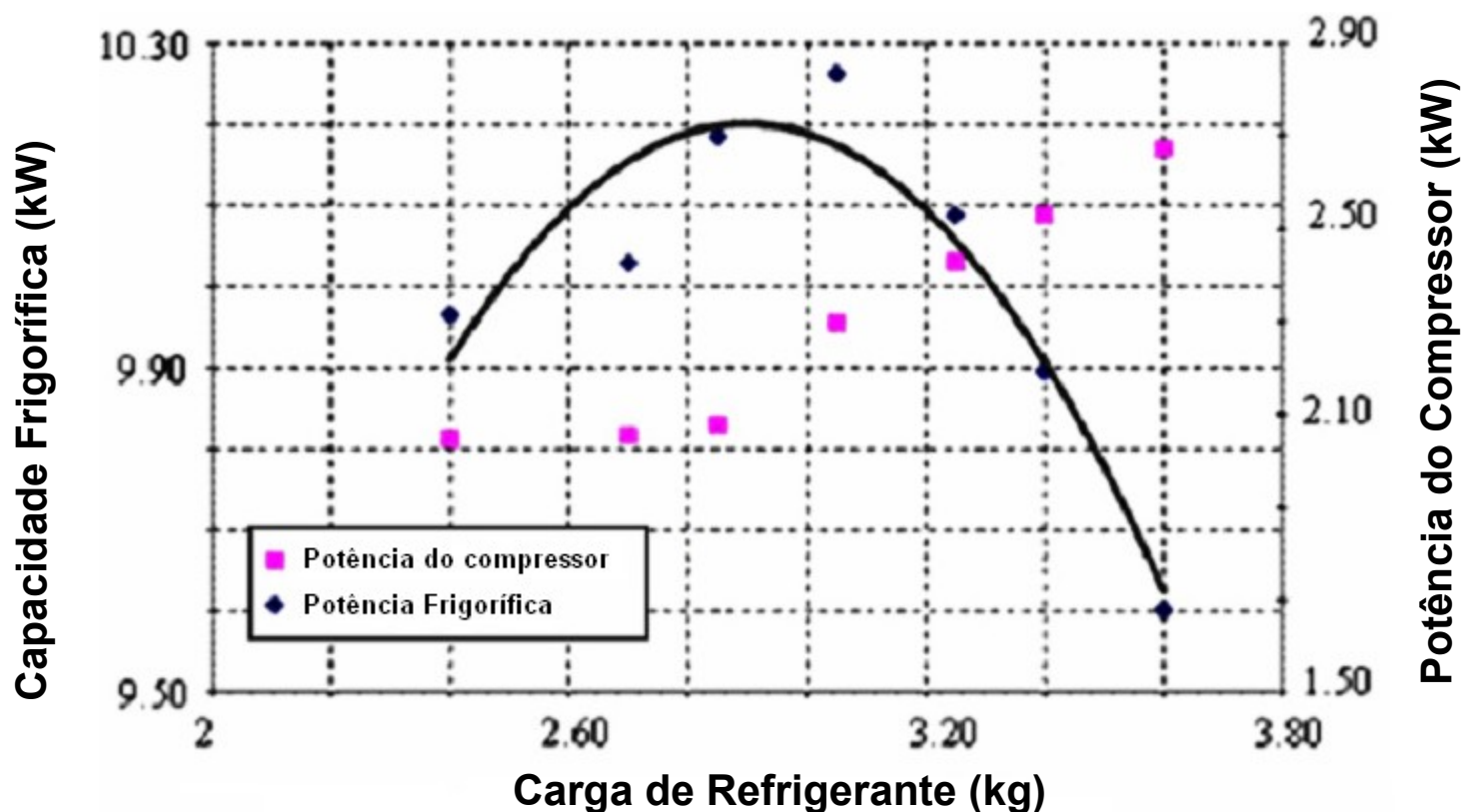
Fonte: F. Poggia, H. Macchi-Tejeda, D. Leducq, A. Bontemps, 2008. Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction. International Journal of Refrigeration, n 31, pp. 353-370.



Influência da Carga de Refrigerante no Desempenho do Sistema



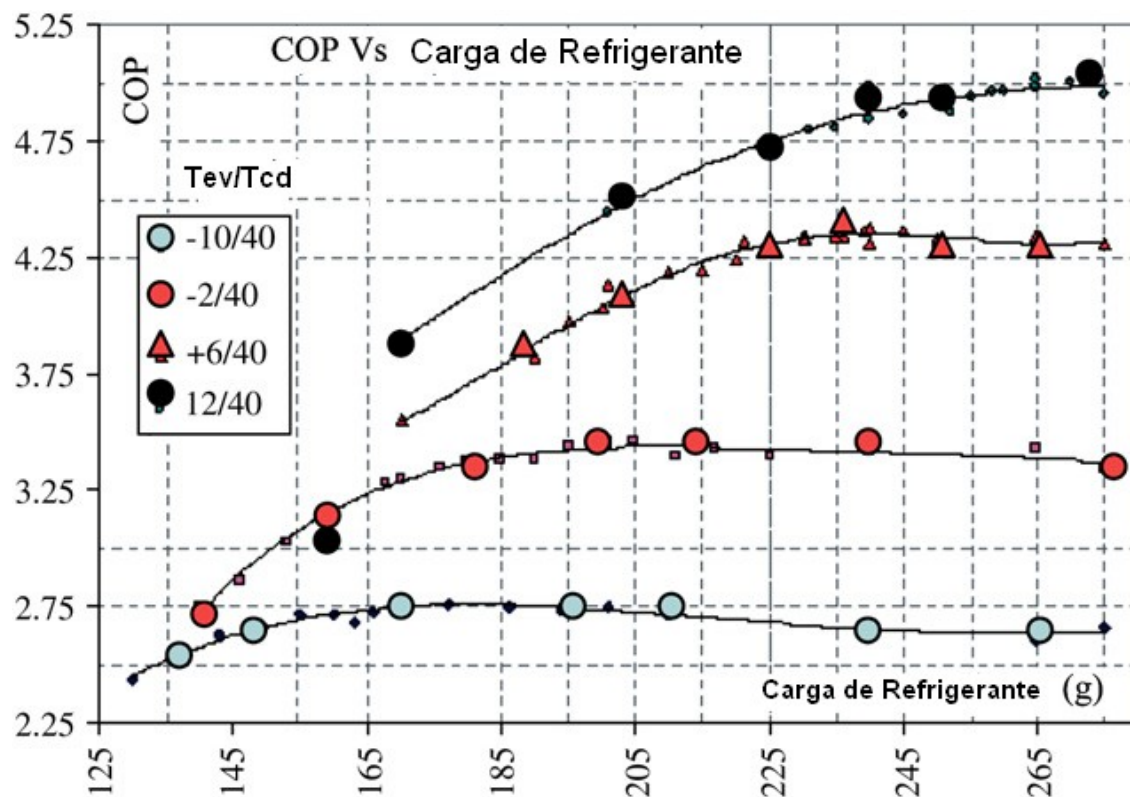
Influência da Carga de Refrigerante no Desempenho do Sistema



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).



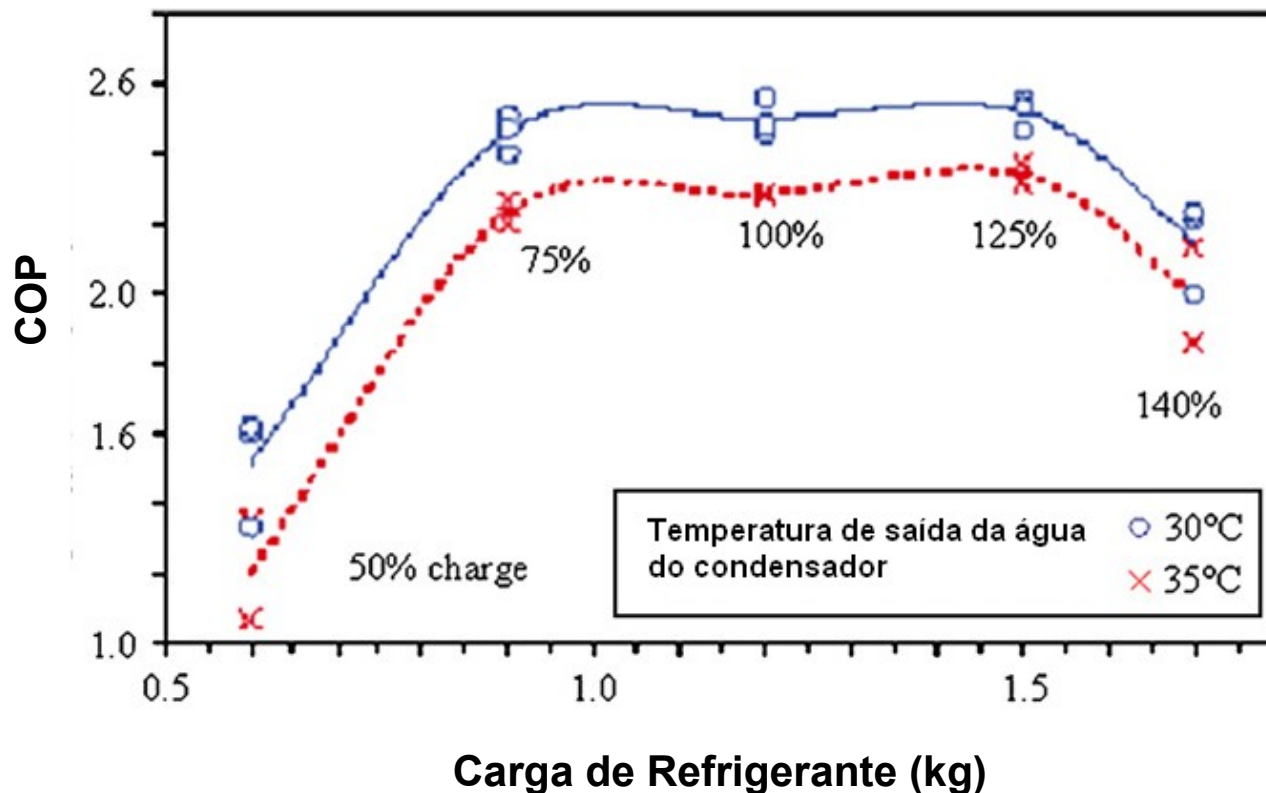
Influência da Carga de Refrigerante no Desempenho do Sistema



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.



Sistemas de Refrigeração com Carga Reduzida de Refrigerante



PONTIFÍCIA
UNIVERSIDADE
CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO

Sistemas de Refrigeração com Carga Reduzida de Refrigerante

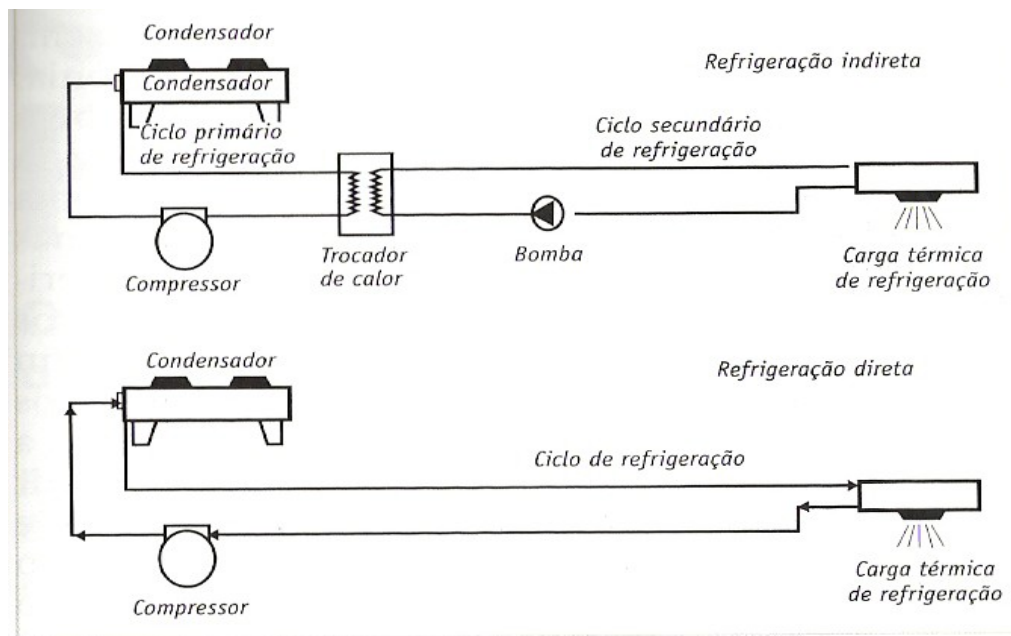
1. Arquitetura do sistema
2. Escolha do refrigerante
3. Dimensionamento de tubulação
4. Dimensionamento e carregamento dos reservatórios de líquido
5. Tipo de trocadores de calor
6. Tipo de dispositivo de expansão
7. Escolha do compressor
8. Otimização global da carga de refrigerante

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	-	-

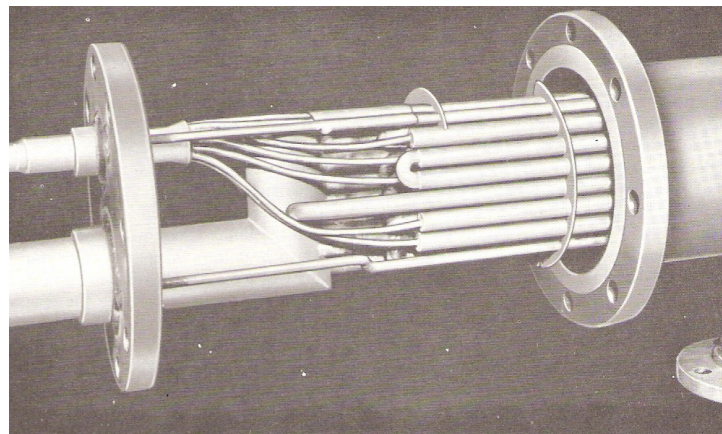


Fonte: F. Poggia, H. Macchi-Tejeda, D. Leducq, A. Bontemps, 2008. Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction. International Journal of Refrigeration, n 31, pp. 353-370.

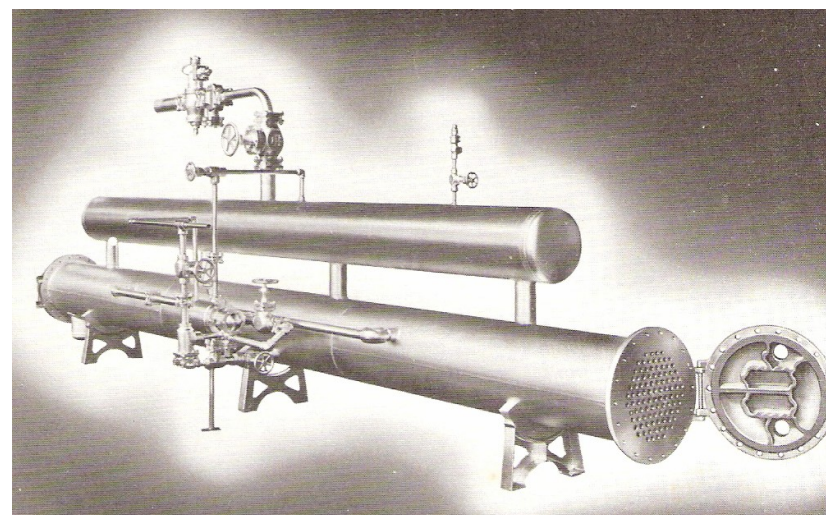
Arquitetura do Sistema

Evaporador: Expansão direta X Inundado

Evaporador	Carga de Refrigerante	Eficiência Energética
<i>Expansão Direta</i>	- 50%	equivalente
<i>Inundado</i>	-	-



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 ³)	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

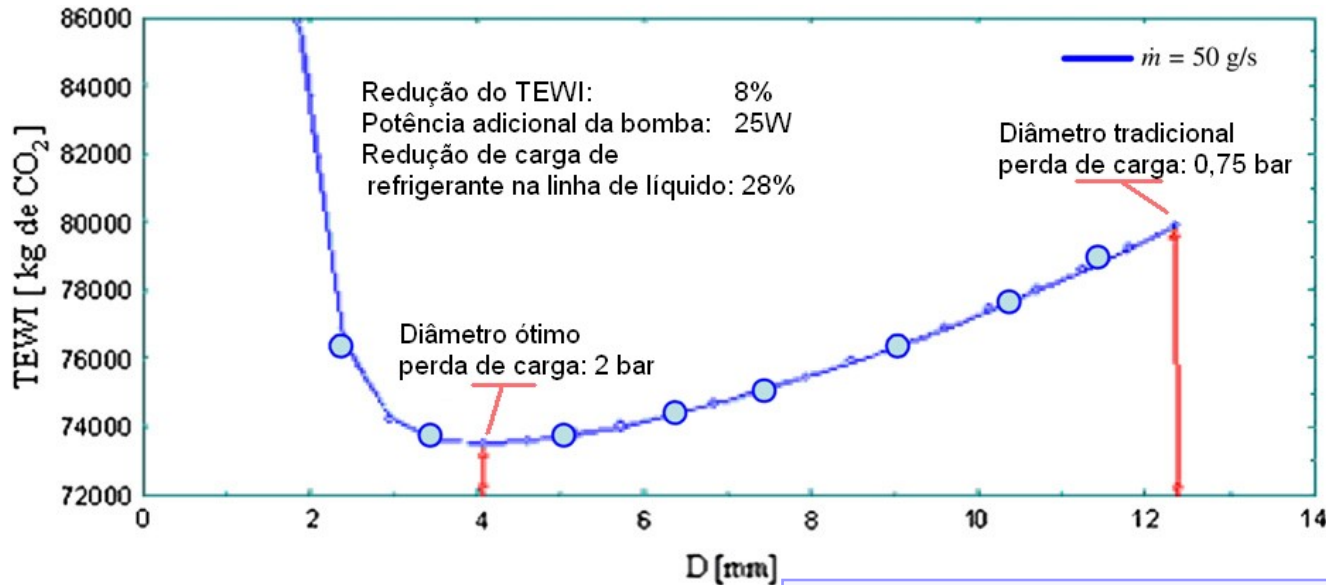
Componente	Distribuição da Carga de Refrigerante
Linha de Líquido, alta pressão	60%
Condensador	20%
Evaporador	9%
Reservatório, alta pressão	7%
Linha de sucção	4%
Compressor	1%

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 CO₂ (GWP[CO₂] = 1)
M = massa total de refrigerante liberado (kg)
a = quantidade de CO₂ liberado na geração de eletricidade (kgCO₂/kWh)
Geração hidroelétrica: a = 0
Geração termoelétrica: a = 0.8 kg CO₂/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%
Reservatório, alta pressão	43%
Compressor	1%

Sistema:

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

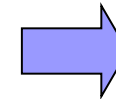
Fonte: David, L., 2002. Instrumentation et caracterisation du fonctionnement d'une installation frigorifique classique. Rapport de stage de DESS. Université Pierre et Marie Curie, GPAN – Cemagref, Antony, 38 pp. + annexes, unpublished.

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:
Sobre-dimensionamento
do reservatório**

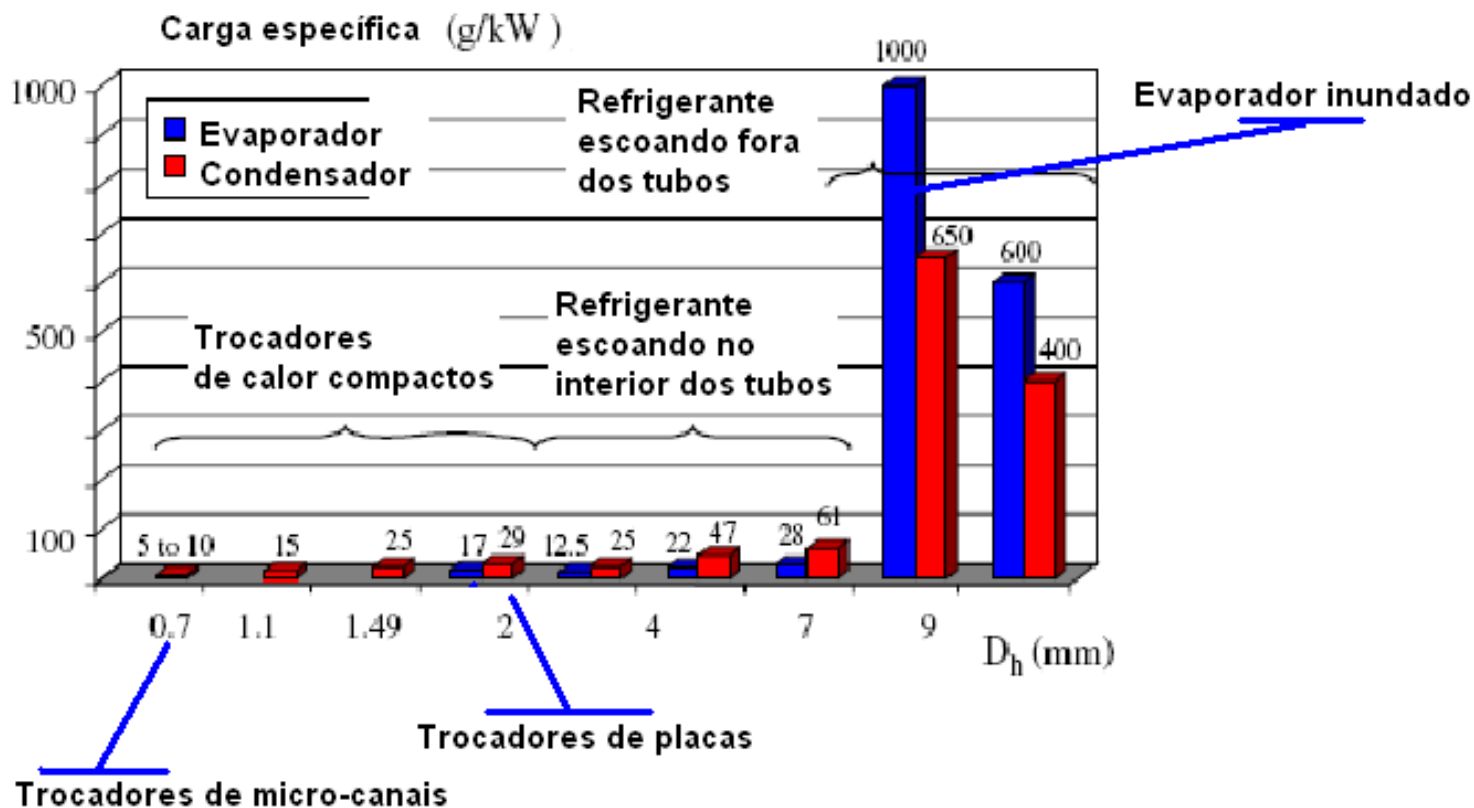
Mahungu, K.A., 1998. Influence des réservoirs sur la masse de frigorigène contenue dans une installation frigorifique industrielle. In: Mémoire d'ingénieur CNAM. Cemagref, Antony, Paris, p. 125, unpublished.

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



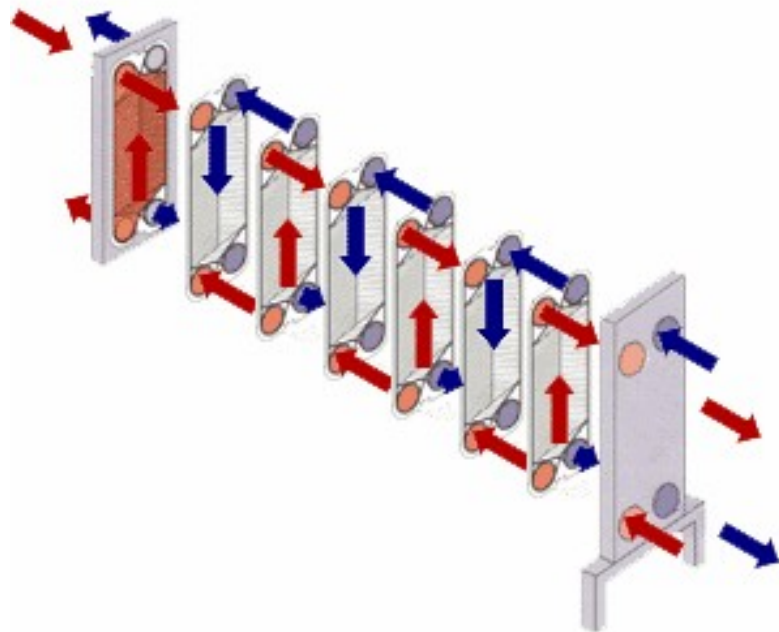
Fonte: F. Poggia, H. Macchi-Tejeda, D. Leducq, A. Bontemps, 2008. Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction. International Journal of Refrigeration, n 31, pp. 353-370.



PONTIFÍCIA
UNIVERSIDADE
CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO

Redução da Carga de Refrigerante

Trocadores de calor de placas



WCR Benelux BV



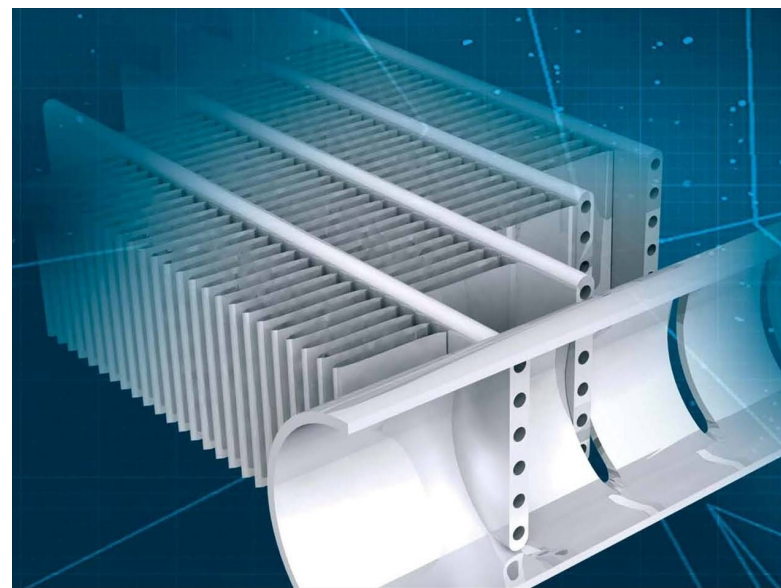
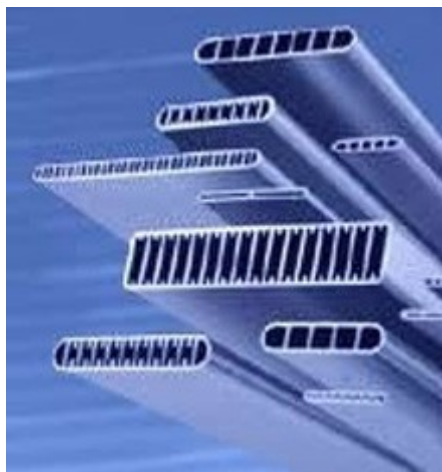
Trocadores AlfaLaval



PONTIFÍCIA
UNIVERSIDADE
CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO

Redução da Carga de Refrigerante

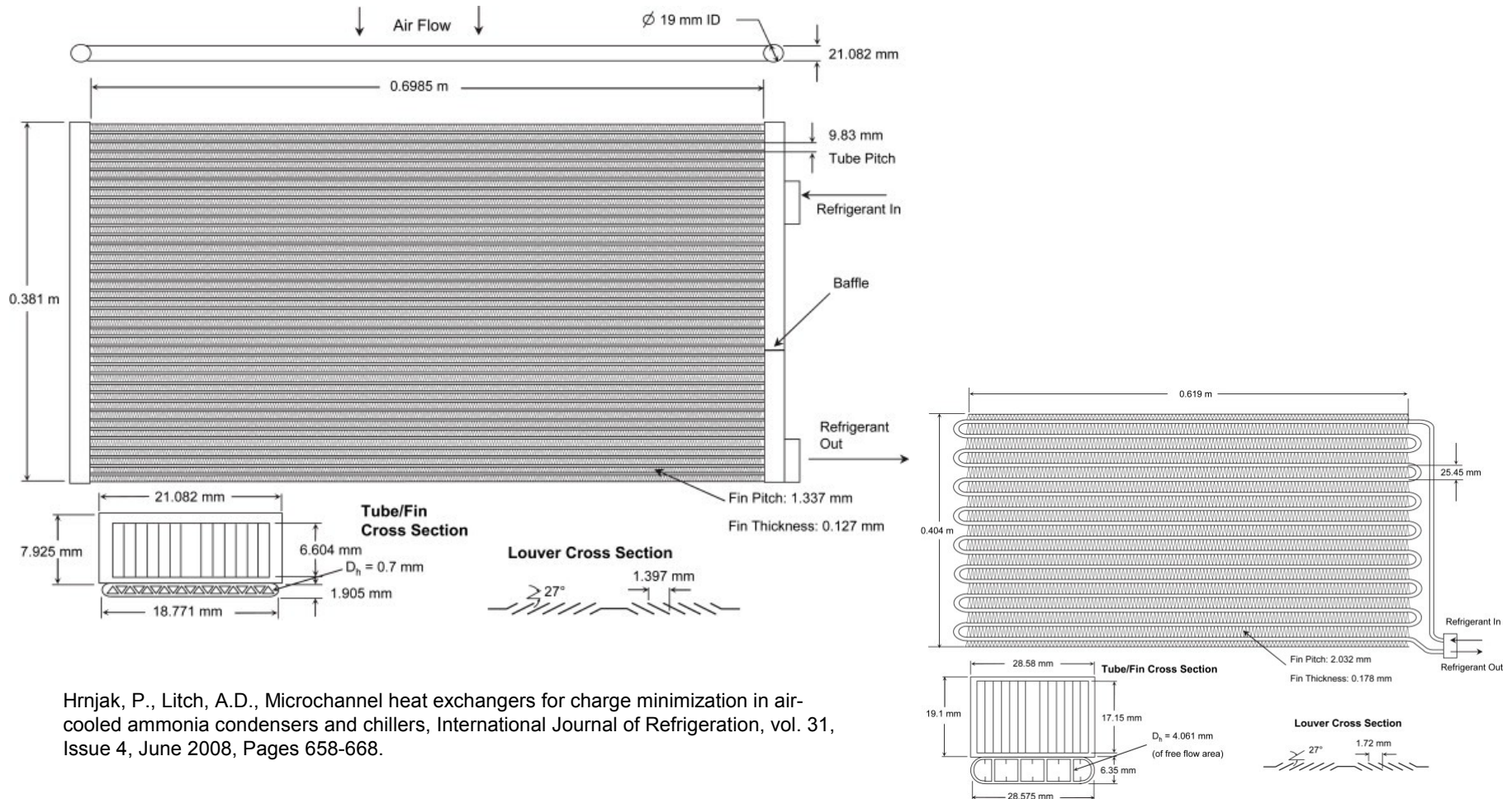
Trocadores de calor de micro e mini-canais



Carrier

Redução da Carga de Refrigerante

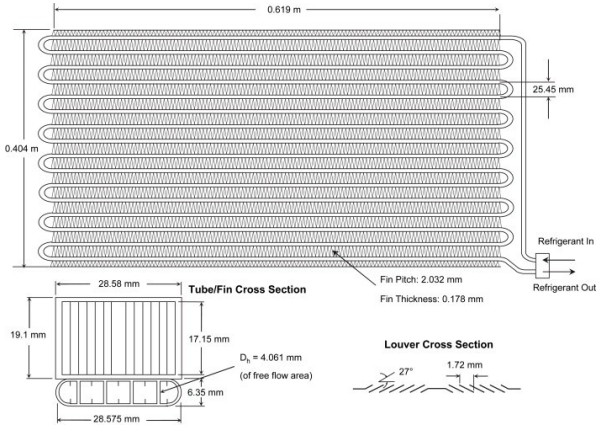
Trocadores de calor de micro-canais



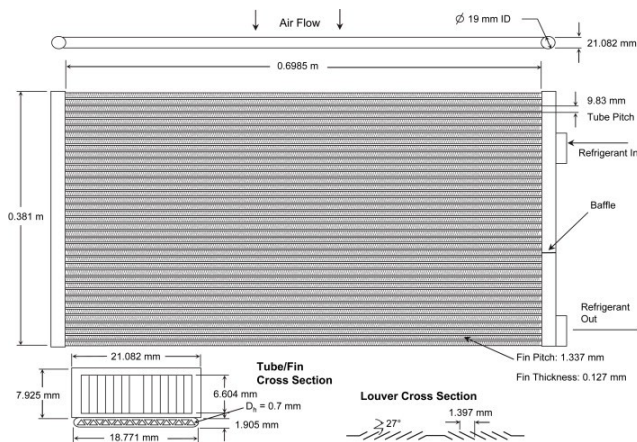
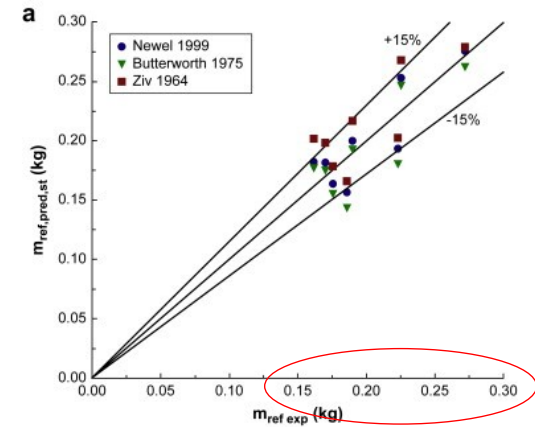
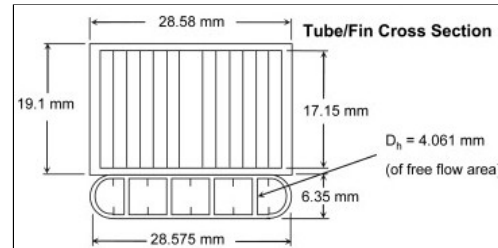
Hrnjak, P., Litch, A.D., Microchannel heat exchangers for charge minimization in air-cooled ammonia condensers and chillers, International Journal of Refrigeration, vol. 31, Issue 4, June 2008, Pages 658-668.

Redução da Carga de Refrigerante

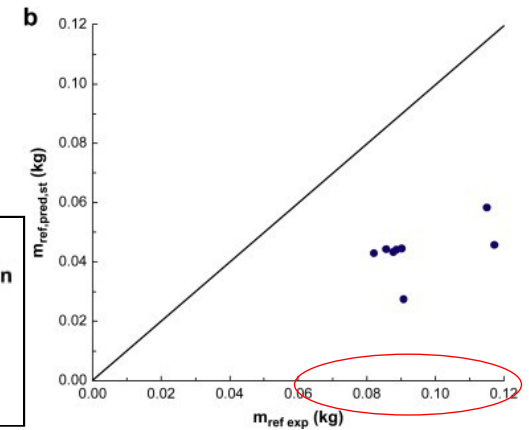
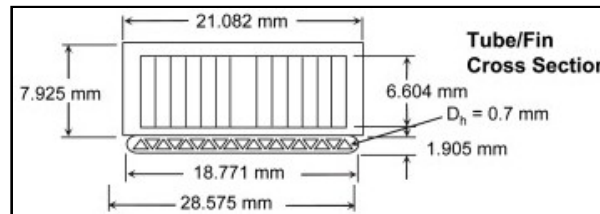
Trocadores de calor de micro-canais



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

Bomba de Calor Água-água

Compressor: tipo scroll, 3,5 kW

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

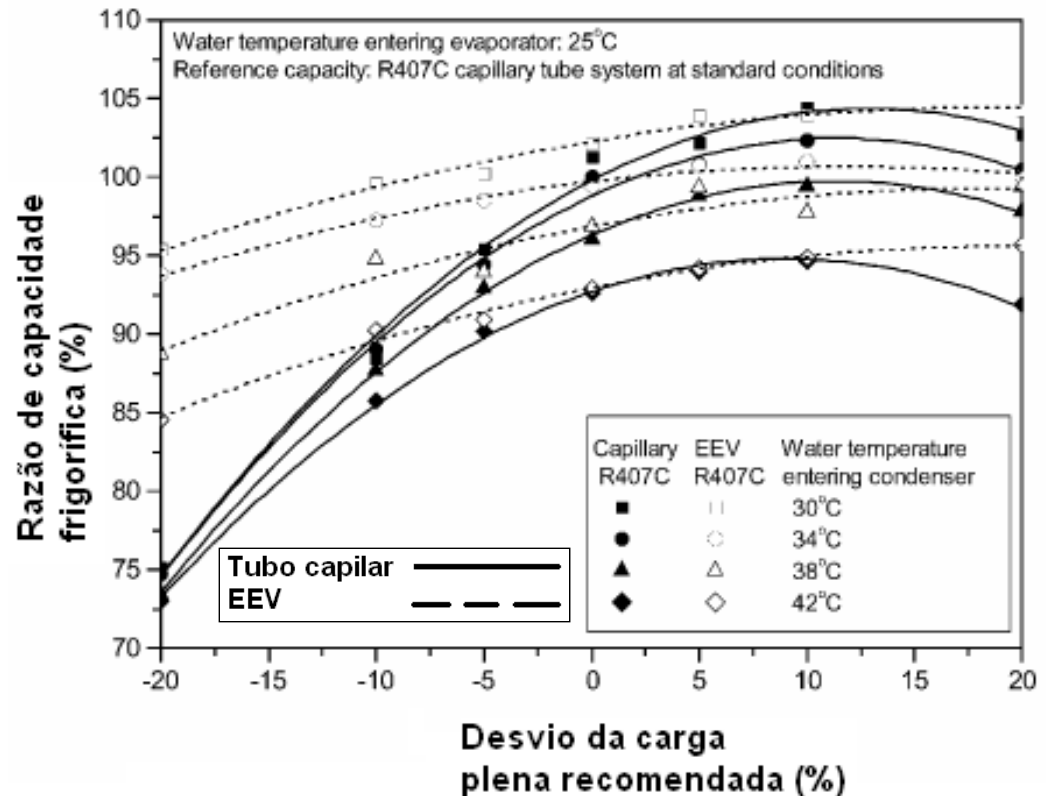
Evaporador: tubo duplo
L= 3564mm
diâmetros 9.52mm/15.88mm

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

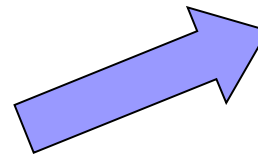


Fonte: Choi J., Kim Y., Influence of the expansion device on the performance of a heat pump using R407C under a range of charging conditions, International Journal of Refrigeration 27 (2004) 378–384.

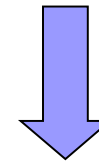
Redução da Carga de Refrigerante

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%
Compressor	1%



Sistemas com carga de refrigerante reduzida



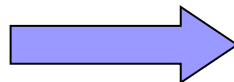
Óleo lubrificante + **refrigerante**

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.



Obrigado

parise@puc-rio.br