

ANÁLISE TEÓRICA-EXPERIMENTAL DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO OPERANDO COM OS HIDROCARBONETOS (R-600a e R-290)

José de Castro Silva – castro.silva@univasf.edu.br

Ana Cristina G. Castro Silva – castroanasilva@gmail.com

UNIVASF (Universidade Federal do Vale do São Francisco)

Avenida ACM, 510 – Juazeiro/BA

Resumo. Diante da necessidade de substituição dos gases nocivos ao planeta CFCs (clorofluorcarbonos) e HCFCs (hidroclorofluorcarbonos), os hidrocarbonetos (HC) apresentam-se como bons candidatos a fluidos refrigerantes alternativos, pela ausência de átomos de cloro em sua estrutura e por não destruírem a camada de ozônio. Esses fatos, aliados a um baixo potencial de causar aquecimento global, fazem dos hidrocarbonetos bons candidatos ao uso em sistemas de refrigeração. Os sistemas estudados foram testados com os fluidos refrigerantes (hidrocarbonetos): propano (R-290), isobutano (R-600a) e uma mistura de ambos em substituição aos fluidos originais dos sistemas testados, o R-134a e o R-12.

Todos os testes foram realizados em condições normais de operação. Os resultados experimentais indicam que a mistura propano e isobutano mostra-se como a melhor opção como fluido alternativo em sistemas de refrigeração de pequeno porte utilizadores do R-12 ou R-134a. Em segundo lugar apresentou-se o R-600a. Na comparação individual, o R-600a mostrou-se como a melhor opção para sistemas de refrigeração de pequeno porte ao invés do R-290.

Palavras-chave: Refrigeração, Hidrocarbonetos, R-600a, R-290.

1. INTRODUÇÃO

Devido à importância do fluido refrigerante nos ciclos de refrigeração por compressão de vapor e visando atender às necessidades do mercado atual de refrigeração residencial e comercial, que buscam novas alternativas à exigência de substituição gradual dos fluidos refrigerantes que contribuem para a destruição da camada de ozônio (ODP) e para o efeito estufa (GWP), este trabalho analisa experimentalmente dois sistemas operando com os fluidos refrigerantes hidrocarbonetos, o propano (R-290), o isobutano (R-600a) e suas misturas em substituição aos fluidos refrigerantes originais, o CFC R-12 e o HFC R-134a. Na grande maioria dos trabalhos acadêmicos pesquisados, os estudos colocam os fluidos refrigerantes nas mesmas condições de evaporação e condensação e não nas mesmas condições mecânicas em um sistema de refrigeração. Necessita-se, portanto, de estudos que analisem o uso dos hidrocarbonetos propano e isobutano como fluidos alternativos em sistemas de refrigeração de pequeno e médio porte, sem haver a necessidade de alteração física dos componentes (compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador) existentes no equipamento de refrigeração residencial e/ou comercial.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O setor de refrigeração e ar condicionado por compressão de vapor tem voltado suas atenções para os hidrocarbonetos (HCs). Entretanto, a escolha desses gases como fluidos de trabalho exige que engenheiros e técnicos envolvidos no desenvolvimento, fabricação, projeto, instalação, operação e assistência técnica, tenham orientação e treinamentos específicos com relação aos procedimentos adicionais e precauções associadas ao uso de fluidos refrigerantes inflamáveis. Empresas multinacionais famosas como a Unilever e Coca-Cola se comprometeram a não utilizar mais HFCs nos seus equipamentos de refrigeração e de aumentar eficiência energética de seus equipamentos, sendo o uso de fluidos refrigerantes HCs uma das alternativas em implantação (Peixoto, 2007). Praticamente todas as necessidades dos sistemas de refrigeração convencionais e bombas de

calor são atendidas por três fluido refrigerantes naturais abundantemente disponíveis: amônia, dióxido de carbono e hidrocarbonetos com suas misturas (Pimenta, 2004 citando Lorentzen, 1995).

Em termos de instalações destinadas a hidrocarbonetos e suas diversas aplicações existe, para sistemas de refrigeração doméstica, um mercado muito bem estabelecido no continente europeu. As experiências adquiridas são favoráveis, especialmente em termos da aceitação pelo mercado consumidor. Nenhum acidente grave foi relatado e a aceitação pelo público se concentra em países como Áustria, Dinamarca, Finlândia, Alemanha, Holanda, Noruega, Suécia, Reino Unido, Itália e Espanha. Além disso, verifica-se uma aceitação cada vez maior dos refrigerantes hidrocarbonetos em outros países europeus e do sudeste asiático (Pimenta, 2004 citando Granryd, 2001).

Segundo Pimenta (2004), para o caso brasileiro, as vantagens alcançadas por uma substituição de importações dos fluidos sintéticos pelos refrigerantes naturais como os hidrocarbonetos, tornaria a adoção destas substâncias uma necessidade, além de se tornar um ponto forte para a economia nacional. Hoje o Brasil importa 100% do seu consumo de gases de refrigeração. O total anualmente importado é da ordem de 20.000 toneladas, trazendo um gasto para o país de aproximadamente 50 milhões de dólares. No Brasil, no final de 1995, foi encerrada a produção de CFC-11, CFC-12 e HCFC-22 pela Hoechst e em 1999 a planta da DuPont foi fechada.

M. Fatouh e M. El Kafafy (2006) estudaram a possibilidade de utilizar as misturas de hidrocarbonetos para substituir o R-134a em sistemas domésticos. As características de desempenho dos sistemas domésticos foram analisadas através do coeficiente de desempenho (COP), capacidade de resfriamento, capacidade do condensador, pressões, etc. Os resultados mostraram que o propano puro não poderia ser utilizado como um substituto em sistemas domésticos originais com o R-134a, em virtude de seus valores nas zonas de alta e baixa pressão. A mistura (propano/isobutano/butano) mostrou-se como o melhor substituto para o R134a em sistemas domésticos em condições normais de funcionamento. Os hidrocarbonetos possuem os desejáveis requisitos ambientais, ou seja, zero potencial de depleção do ozônio e aproximadamente zero potencial de aquecimento global.

Corberán J. M., et al (2008), fizeram uma investigação experimental para avaliar a influência da carga do fluido refrigerante R-290 tanto sobre o desempenho do sistema como um todo e em relação a cada componente individualmente. Quanto a distribuição do fluido refrigerante nos componentes do circuito, verificou-se que a maior parte da carga foi encontrada no condensador (50%) e uma parte considerável no evaporador (15%) e o percentual de fluido refrigerante dissolvido no óleo lubrificante do compressor ficou com um alto valor (30%).

3. ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

As atividades experimentais foram realizadas com dois tipos de circuitos frigorígenos, representativos de duas classes de equipamentos de refrigeração: um circuito de um bebedouro doméstico e outro circuito de um expositor frigorífico comercial. As especificações técnicas do bebedouro está na Tab. 1 e do expositor na Tab. 2.

Tabela 1. Especificações técnicas do Bebedouro.

Alimentação	220V
Corrente	0,65A
Gás Original	R-12 (65g)
Compressor	Embraco (EM20BR)

Tabela 2. Especificações técnicas do Expositor Frigorífico.

Alimentação	127V
Corrente	7A
Gás Original	R-134a (230g)
Compressor	Embraco (FFI12BX)

3.1 Etapas

Os estudos foram realizados no Laboratório de Termodinâmica (LABTERMO) do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco. A sequência empregada para os experimentos com o bebedouro e com o expositor após a instalação da instrumentação é indicada a seguir:

- 1º) Produção de “vácuo” no sistema (Evacuação do circuito frigorígeno);
- 2º) Conexão da garrafa do fluido refrigerante a ser adicionado no circuito e posicionamento da garrafa do fluido refrigerante sobre a balança digital;
- 4º) Adição de fluido refrigerante alternativo até 50% da carga do fluido original;
- 5º) Acionamento do compressor;
- 6º) Verificação da existência de congelamento na saída do dispositivo de expansão. Caso ocorra, procede-se a uma nova adição de fluido refrigerante com o compressor ligado até que o congelamento na saída do dispositivo de expansão desapareça. Registra-se então a massa total que entrou no circuito frigorígeno;
- 7º) Monitoramento e registro os valores de pressões, temperaturas e corrente elétrica, conforme pontos mostrados na Fig. 1.

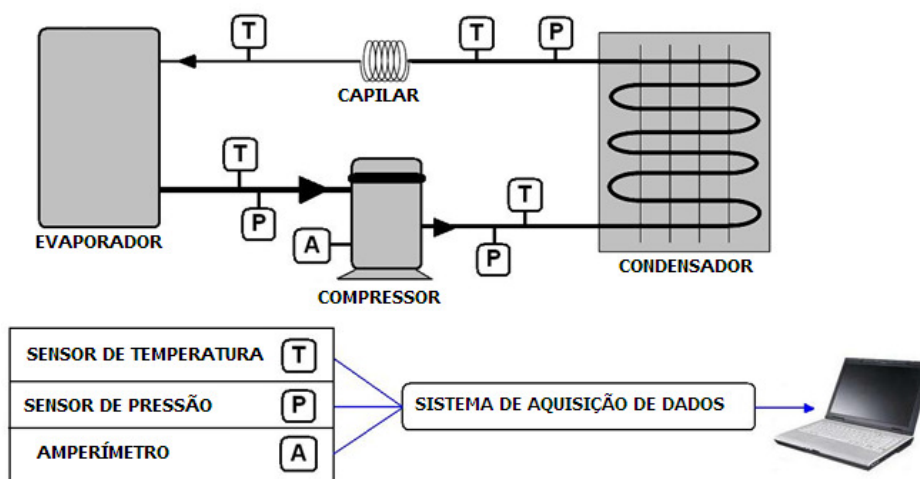


Figura 1 – Diagrama esquemático do experimento.

3.2 Exemplo de carga

A Figura 2 mostra o registro da carga de 150g de R-600a com o uso de uma balança digital de precisão.



Figura 2 – Exemplo de uma carga de gás (150g / R-600a).

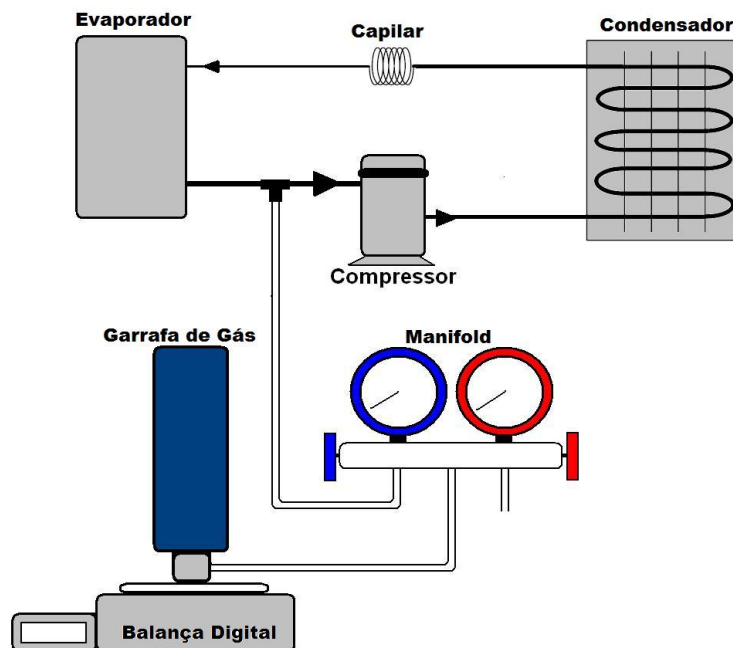


Figura 3 – Montagem esquemática das cargas de gás.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item são apresentados e discutidos os resultados dos experimentos com os fluidos refrigerantes R-600a, R-290 e uma mistura dos gases R-600a e R-290, além dos resultados da análise termodinâmica através do uso dos Softwares CoolPack versão 1.46 (Technical University of Denmark, 2000) e EES (Engineering Equation Solver).

Essa mistura dos gases R-290 e R-600a foi obtida mantendo-se sempre a proporção 50%/50% adicionando-os até o desaparecimento do congelamento na saída do dispositivo de expansão.

Salienta-se que os componentes mecânicos do circuito frigorígeno (compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador) dos dois equipamentos estudados (Bebedouro e Expositor) não sofreram alterações, as quais poderiam favorecer o uso de um ou outro refrigerante. Os gases R-290, R-600a e a mistura de gases foram utilizadas no mesmo equipamento, sob as mesmas condições. Devido a isso não foi possível deixar fixas (para todos os gases) as temperaturas de evaporação e condensação.

4.1 Sistema de refrigeração doméstica (residencial)

Nos experimentos foi utilizado um bebedouro doméstico como exemplo de um sistema de refrigeração de pequeno porte. Uma indicação de bom funcionamento para esse equipamento refere-se ao tempo de resfriamento de um determinado volume de água. Seguindo a metodologia experimental exposta no item 3.1, o comportamento térmico do bebedouro foi analisado para os diferentes gases e mistura de gases. A Fig. 4 mostra o tempo de resfriamento de 2 litros de água desde a temperatura de 26°C até a temperatura de 18°C, em comparação ao fluido refrigerante original (R-12), que levou 40min. Verifica-se que a mistura de gases obteve o melhor rendimento (menor tempo de resfriamento, 30min), apresentando-se como a melhor opção como um fluido alternativo em sistemas de refrigeração de pequeno porte, em segundo lugar aparece o R-600a (40min). O R-290 teve o pior rendimento (maior tempo de resfriamento, 50min).

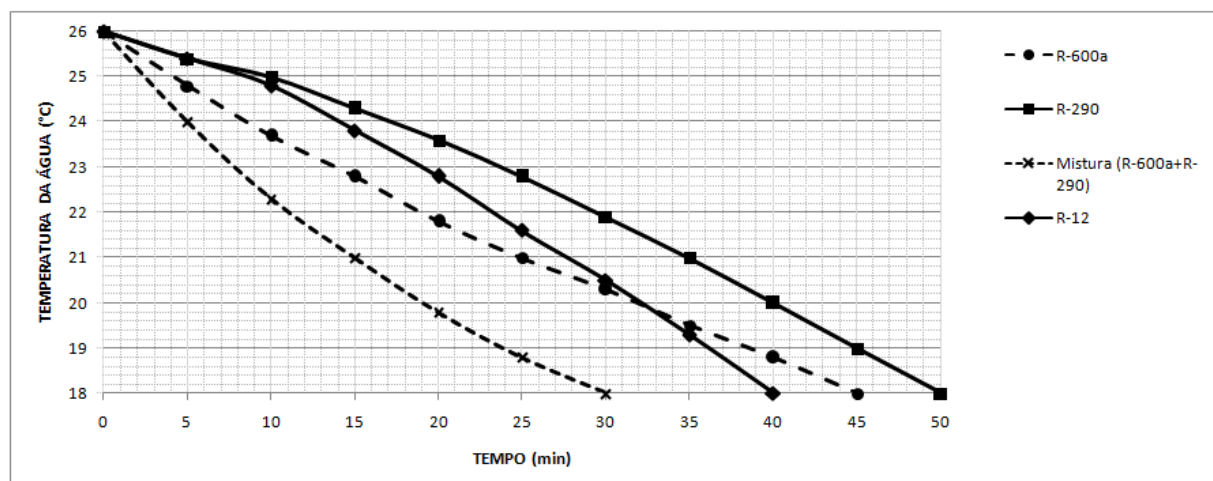


Figura 4 - Resfriamento de 2 litros de água de 26°C até 18°C.

A Tabela 3 mostra os valores do Superaquecimento e Subresfriamento, as análises do fluido original (R-12) não foram efetuadas porque o circuito estava lacrado, não se podendo coletar as pressões. Posteriormente não foram coletadas as pressões devido a indisponibilidade do R-12.

Verifica-se que o Superaquecimento do R-290 apresentou-se muito alto. Sabe-se que esse fato é prejudicial, pois indica que boa parte do evaporador não está sendo ocupada por fluido refrigerante no estado líquido. Por outro lado, seu Subresfriamento ficou variando entre valores muito baixos. Isso explica o baixo rendimento para o R-290. Já o Superaquecimento do R-600a e da Mistura ficou variando entre 5K e 10K e o Subresfriamento variou entre 10K e 14K, valores recomendados pela grande maioria dos fabricantes de equipamentos e sistemas de refrigeração.

Tabela 3. Superaquecimento (SUP) e Subresfriamento (SUB).

ΔT (K)	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a
SUP. R-600a	5,6	7,8	7,7	9	7,6	8	7,7
SUP. R-290	44,8	43,8	42,2	41	40,8	39	42
SUB. R-600a	10,7	11,8	12,1	11,8	12,5	13,3	12,1
SUB. R-290	3,24	3,24	2,8	1,3	1,2	1,3	2,3
SUP. Mistura	13,5	10,3	8	8,1	8,3	8,8	8,5
SUB. Mistura	8	7,4	7,8	8	8,3	8,4	8,4

Portanto, para sistemas de pequeno porte, indica-se, através dos resultados obtidos para o tempo de resfriamento da água, que o R-600a se apresenta como um bom refrigerante alternativo. A segunda melhor opção pode ser a mistura dos gases R-290 e R-600a, na proporção de 50% de R-290 e 50% de R-600a.

A Figura 5 mostra a corrente elétrica do motor do compressor durante o tempo de resfriamento de 2 litros de água de 26°C até 18°C. Verifica-se que a mistura dos gases R-600a e R-290, além de obter o melhor rendimento (menor tempo de resfriamento) proporcionou um valor mais baixo para a corrente elétrica no motor do compressor, em comparação ao fluido refrigerante original (R-12). Isso é benéfico ao motor do compressor. Já o R-290, além de ter o pior rendimento (maior tempo de resfriamento), proporcionou a maior corrente elétrica no motor do compressor em comparação ao fluido refrigerante original (R-12).

A mistura de gases mostra-se a melhor opção como um fluido alternativo em sistemas de refrigeração de pequeno porte, em segundo lugar aparece o R-600a.

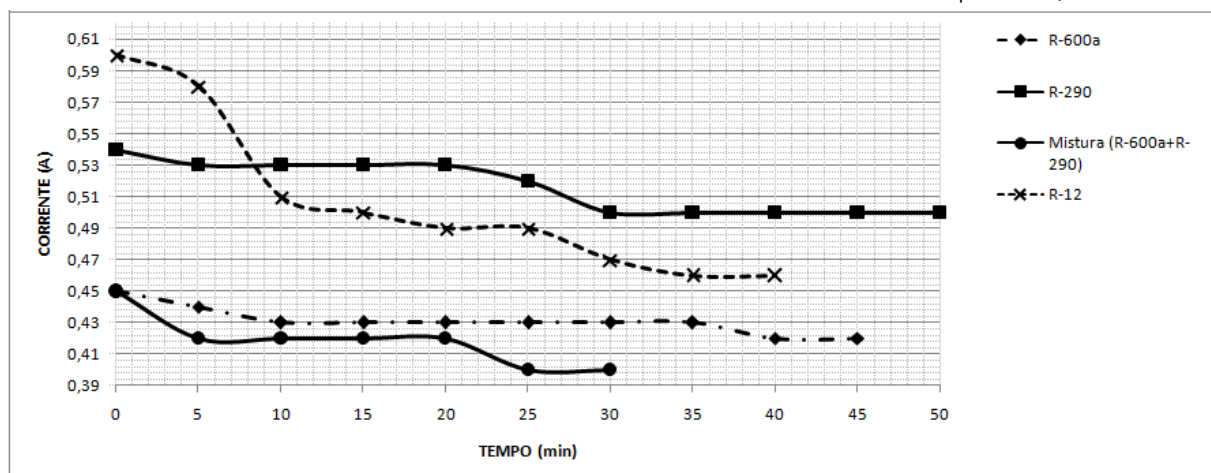


Figura 5 – Consumo de corrente elétrica no sistema de pequeno porte.

A Figura 6 mostra a variação da Pressão de Sucção (Pressão de Baixa) e a Fig. 7 a variação da Pressão de Descarga (Pressão de Alta) durante o tempo de resfriamento de 2 litros de água de 26°C até 18°C. Como foi pontuado anteriormente, as análises do fluido original (R-12) não foram efetuadas porque o circuito estava lacrado, não se podendo coletar as pressões. Verifica-se que as pressões de sucção ficaram oscilando e as pressões de descarga foram bem constantes. Essas oscilações da sucção devem-se ao fato do compressor utilizado ser de um circuito projetado para o R-12. Com o R-600a o compressor obteve menores pressões de sucção e descarga. Com isso conclui-se que além da mistura, o R-600a seria a melhor opção, porque o R-290 apresentou os maiores valores de pressões de descarga, justificando os maiores valores de corrente elétrica, ou seja, com o R-290 o mesmo motor do compressor necessita de um torque maior, aumentando o consumo de energia elétrica.

Conforme comentado anteriormente, para resfriar o mesmo volume de 2 litros de água de 26°C até 18°C, verifica-se que a mistura obteve o tempo de resfriamento de 30min, em segundo lugar aparece o R-600a (40min). O R-290 teve o pior rendimento (maior tempo de resfriamento, 50min).

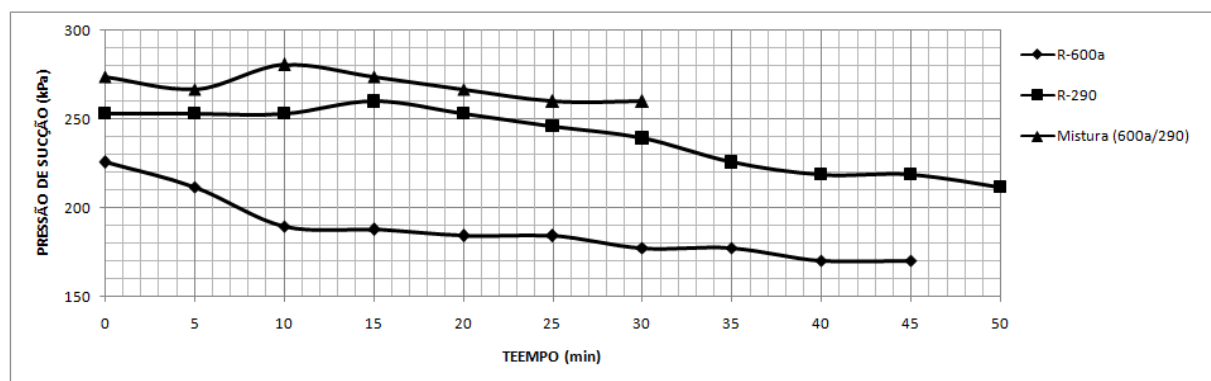


Figura 6 – Valores das pressões de sucção no sistema de pequeno porte.

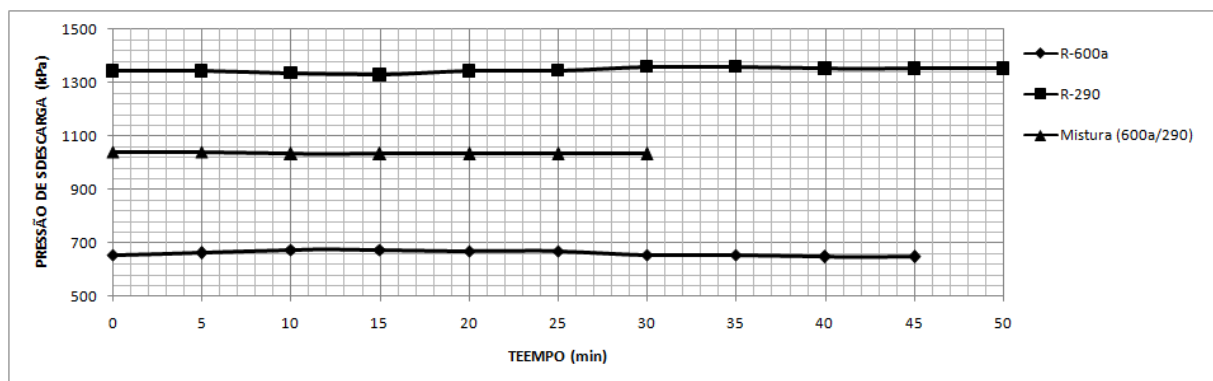


Figura 7 – Valores das pressões de descarga no sistema de pequeno porte.

Verificou-se que os valores do trabalho de compressão do sistema, quando está operando com o R-600a, variou entre valores inferiores ao R-290. O trabalho de compressão com o R-600a variou entre 41,8 kJ/kg e 51kJ/kg. O trabalho de compressão para o R-290 variou entre 92,2 kJ/kg e 104,4 kJ/kg justificando os maiores valores de pressões e corrente elétrica. Devido aos maiores valores para os COPs e menores valores no trabalho de compressão, conclui-se novamente que, comparando os dois fluidos individualmente, o R-600a é a melhor opção para sistemas de refrigeração de pequeno porte, ao invés do R-290.

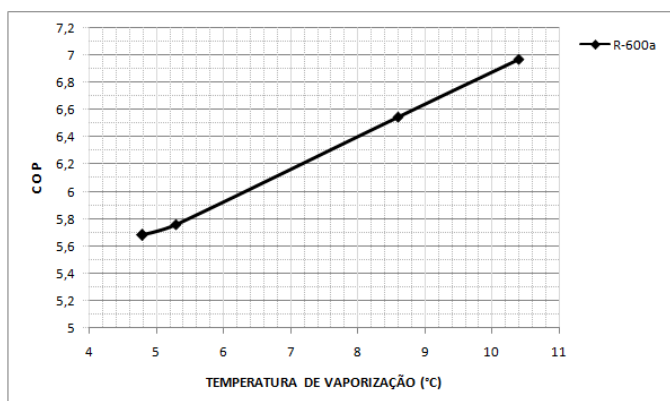


Figura 8 – Coeficiente de Performance (COP) R-600a (Software CoolPack v1.46).

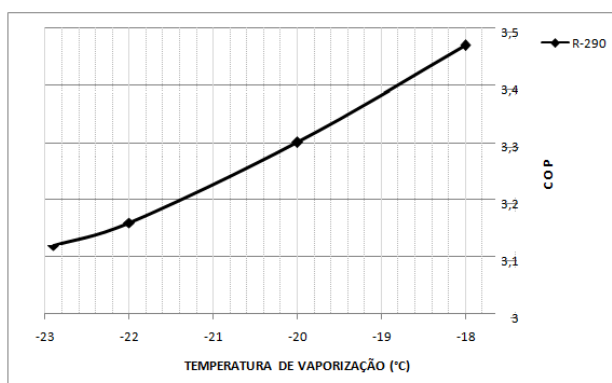


Figura 9 - Coeficiente de Performance (COP) R-290 (Software CoolPack v1.46).

4.2 Sistema de refrigeração (expositor frigorífico)

Nestes experimentos foi utilizado um expositor frigorífico como exemplo de um sistema de refrigeração de médio porte. Excluindo o fluido refrigerante original (R-134a) inicialmente da análise e focando apenas nos fluidos alternativos, verificou-se que a mistura de gases obteve o melhor rendimento, com uma menor temperatura de resfriamento de 0,2°C (Fig. 10). Esses resultados apresentam-na como uma possível opção como um fluido alternativo ao HFC R-134a no sistema de refrigeração comercial estudado. Em segundo lugar aparece o R-600a, com uma menor temperatura de resfriamento de 2,6°C. O R-290 teve o pior rendimento, com uma menor temperatura de resfriamento atingida de 3,3°C.

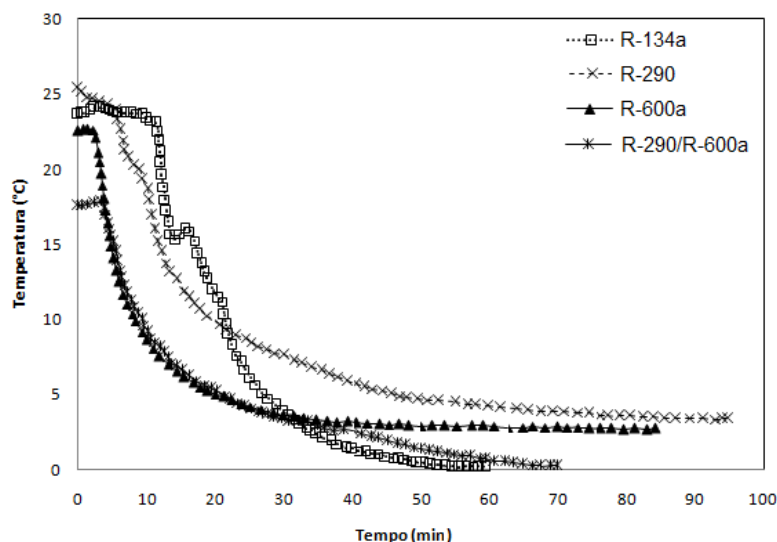


Figura 10 – Variação da temperatura de saída do ar do sistema de médio porte.

A Figura 11 mostra a variação do Superaquecimento e Subresfriamento durante as medições. Analisando os fluidos alternativos (R-600a e R-290), verifica-se que o Superaquecimento do R-290 ficou muito alto (45K a 50K), sendo prejudicial, pois verifica-se que boa parte do evaporador não está sendo ocupado por fluido refrigerante no estado líquido, isso explica o baixo rendimento para o R-290.

Já o Superaquecimento do R-600a variou entre 8K e 11K e o Subresfriamento do R-600a variou entre 13K e 16K, valores recomendados pela grande maioria dos fabricantes de equipamentos e sistemas de refrigeração. Esse fato indica que o R-600a, individualmente, é um bom candidato a refrigerante alternativo para sistemas de refrigeração de médio porte.

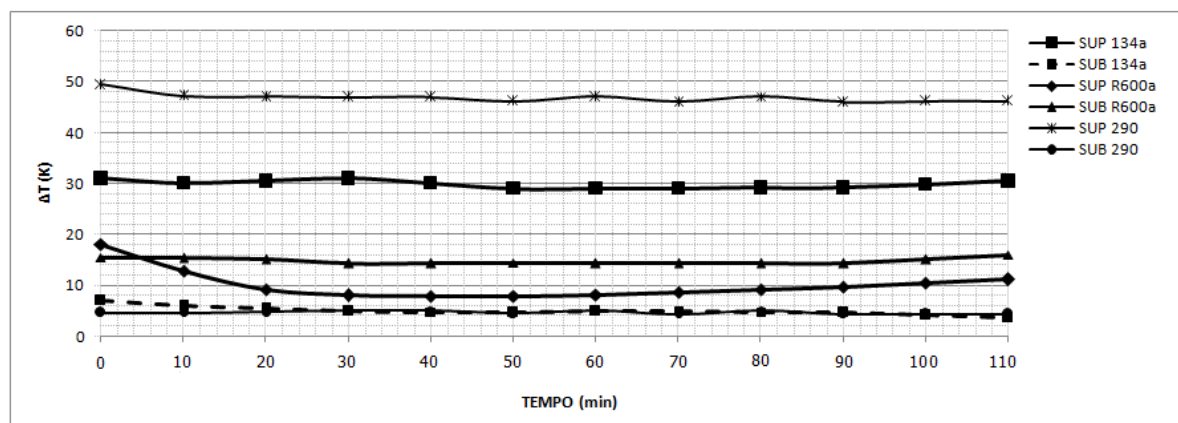


Figura 11 – Superaquecimento (SUP) e Subresfriamento (SUB).

O R-290, além de não ter obtido um bom rendimento (maior temperatura de insuflamento), proporcionou oscilações na corrente elétrica no motor do compressor, chegando a ter picos de 8A (Fig. 12). Verifica-se que o R-600a proporcionou um valor mais baixo para a corrente elétrica no motor do compressor, oscilando próximo aos valores obtidos com o fluido original (R-134a). A mistura proporcionou os maiores valores médios de corrente elétrica.

As pressões de sucção (Fig. 13) também ficaram oscilando e as pressões de descarga foram bem constantes. As oscilações na sucção devem-se ao fato do compressor utilizado ser de um circuito projetado para o R-134a.

Como ocorrido nos experimentos com o bebedouro, verifica-se que, com o R-600a o compressor obteve menores pressões de sucção e descarga. Esse fato corrobora para a verificação de que, analisando os fluidos alternativos individualmente, o R-600a seja a melhor opção dentre as estudadas, lembrando que o R-290 apresentou os maiores valores de pressões de descarga, justificando os maiores valores de corrente elétrica.

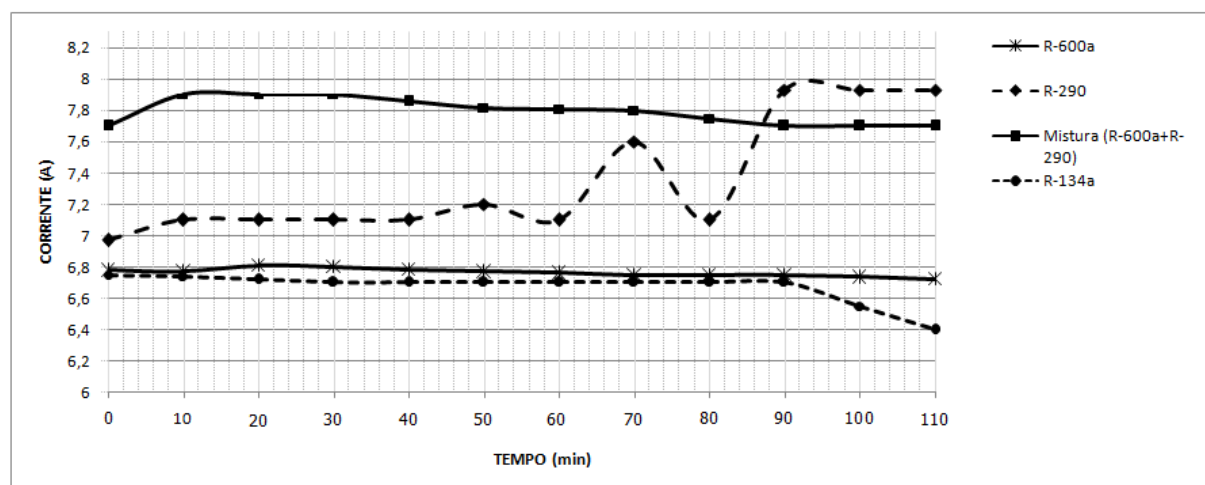


Figura 12 – Consumo de corrente elétrica no sistema de médio porte.

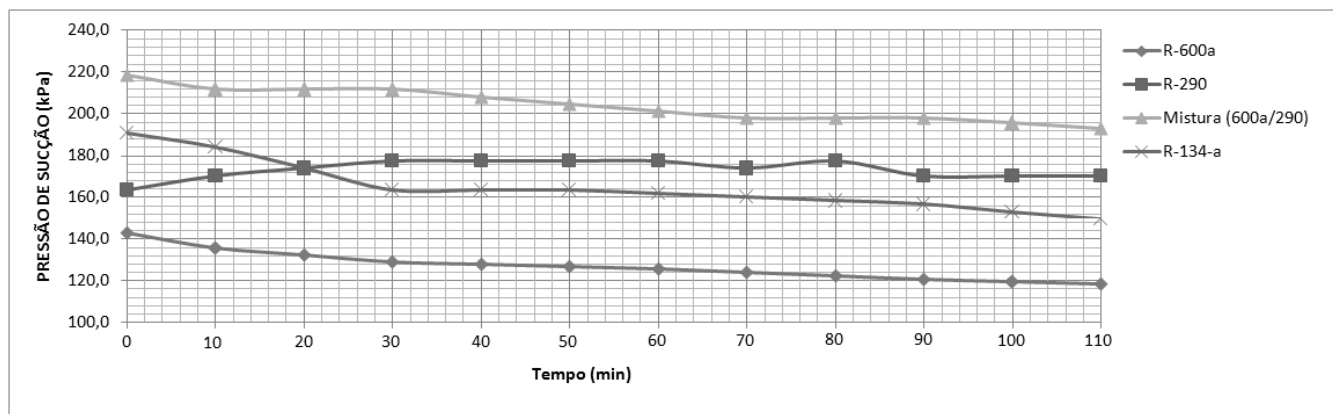


Figura 13 – Valores das pressões de sucção no sistema de médio porte.

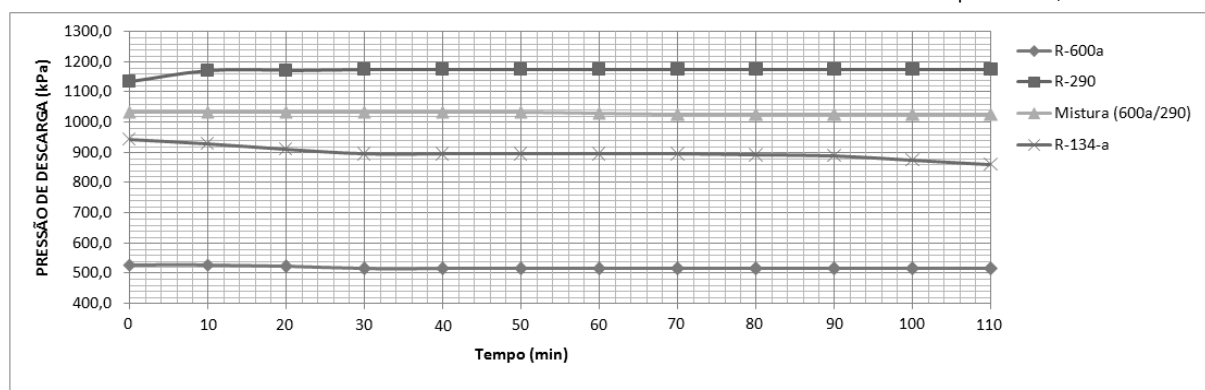


Figura 14 – Valores das pressões de descarga no sistema de médio porte.

Este estudo não colocou os fluidos refrigerantes nas mesmas condições de evaporação e condensação e sim nas mesmas condições mecânicas em um único sistema de refrigeração, dessa forma, os diversos equipamentos que atualmente estão em operação com fluidos CFCs, HCFCs ou HFCs terão alternativas de atualização sem a necessidade da modificação dos componentes que formam o sistema de refrigeração (circuito frigorígeno). O R-600a e a Mistura tiveram as temperaturas de vaporização (evaporação) mais próximas em relação ao fluido original (R-134a). Esse é mais um ponto a favor de tornar o R600a a melhor alternativa à substituição do R-134a sem a necessidade de modificações nos componentes (compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador) do sistema de refrigeração (circuito frigorígeno).

5. CONCLUSÕES

Conforme observado anteriormente, em diversos trabalhos acadêmicos os fluidos refrigerantes são comparados através da manutenção das mesmas condições de evaporação e condensação. Entretanto, no presente estudo não se trabalhou dessa forma, pois buscou-se a comparação entre os fluidos refrigerantes mantendo os componentes originais (compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador) do circuito frigorígeno. Dessa forma, os diversos equipamentos que atualmente estão em operação com fluidos CFCs, HCFCs ou HFCs terão alternativas reais de substituição, sem a necessidade da modificação dos componentes que formam o sistema de refrigeração.

O comportamento térmico de um sistema de refrigeração de pequeno porte (bebedouro) foi estudado para os fluidos refrigerantes R-290, R-600a e uma mistura dos dois gases, R-290 e R-600a. Os resultados foram comparados com o fluido de trabalho original do bebedouro, o R-12.

Essa mistura dos gases R-290 e R-600a foi obtida mantendo-se sempre a proporção 50%/50% adicionando-os até o desaparecimento do congelamento na saída do dispositivo de expansão.

O R-290 apresentou um superaquecimento bastante elevado. O superaquecimento do R-600a variou entre 5K e 10K e o seu subresfriamento variou entre 10K e 14K.

A mistura dos gases R-600a e R-290, além de obter o melhor rendimento (menor tempo de resfriamento) proporcionou um valor mais baixo para a corrente elétrica no motor do compressor, em comparação ao fluido refrigerante original (R-12).

A mistura dos fluidos refrigerantes (R290+R600a) e o próprio R-600a são os melhores candidatos a substituir o R-12 em sistemas de refrigeração de pequeno porte, tipo bebedouro, sem que haja a necessidade de modificações nos componentes (compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador) do sistema de refrigeração (circuito frigorígeno).

O comportamento térmico de um sistema de refrigeração comercial de médio porte (expositor frigorífico) foi estudado para os fluidos refrigerantes R-290, R-600a e uma mistura dos dois gases, R-290 e R-600a. Os resultados foram comparados com o fluido de trabalho original do expositor frigorífico, o R-134a. Essa mistura dos gases R-290 e R-600a foi obtida mantendo-se sempre a proporção 50%/50% adicionando-os até o desaparecimento do congelamento na saída do dispositivo de expansão (Tubo capilar).

Verificou-se que a mistura de gases obteve o melhor rendimento, com uma menor temperatura de resfriamento, de 0,2°C, apresentando-se como a melhor opção como um fluido alternativo ao HFC R-134a em sistemas de refrigeração comercial equivalente.

O R-600a proporcionou valores mais baixos para a corrente elétrica no motor do compressor, oscilando próximo aos valores obtidos com o fluido original (R-134a).

REFERÊNCIAS

- Corberán J. M. , Martínez I. O., González J., 2008, " Charge optimisation study of a reversible water-to-water propane heat pump". International Journal of Refrigeration, 31 pp. 716-726.
- Fatouh M., El Kafafy M., 2006, "Assessment of propane/commercial butane mixtures as possible alternatives to R134a in domestic refrigerators". Energy Conversion and Management 47pp. 2644–2658.
- M. Fatouh, M. El Kafafy. 2006. "Assessment of propane/commercial butane mixtures as possible alternatives to R134a in domestic refrigerators". Energy Conversion and Management 47, PP. 2644-2658.
- Pimenta J. M., Teixeira P. S., 2004. "Estudo Da Aplicação De Hidrocarbonetos Como Fluidos Refrigerantes." Instituto Politécnico, Nova Friburgo, Paper CRE04-TE15.
- Pimenta J. M., 2006. "Utilização de hidrocarbonetos em instalações de médio porte - Parte I". Revista Climatização & Refrigeração, Fevereiro, p 52-55.
- Pimenta J. M., 2006. "Utilização de hidrocarbonetos em instalações de médio porte - Parte II". Revista Climatização & Refrigeração, Março, p 38-43.
- Pimenta J. W., 2006. " Avaliação da Degradação do Desempenho de um Compressor Operando com Hidrocarbonetos." 16º Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - FEMEC/UFU, Uberlândia-MG.
- Peixoto R. A, 2007. "Hidrocarbonetos: estado atual e tendências". Revista Climatização & Refrigeração, nº 83. Disponível em: (www.nteditorial.com.br).

Abstract. Facing the necessity of replacement of those dangerous gases CFC (chlorofluorocarbons) and HCFC (hydrochlorofluorocarbons), the hydrocarbons (HC) are good candidate to alternative refrigerants, because of the absence of chlorine atoms in their structure. Those facts, allied to their low global warming potential (GWP), grant to the hydrocarbons a place among the refrigerants for refrigeration systems.

The studied systems were tested using hydrocarbons: propane (R-290), isobutane (R-600a) and a mixture of both in replacement to the original fluids, R-134a and R-12.

All tests were carried out in normal conditions of operation. The experimental results indicate that the mixture propane-isobutane proved to be the best alternative for refrigeration systems of small charge using R-12 or R-134a. In second place appears the R600a. As an individual comparison, R-600a is the best option for small charge refrigeration systems, instead of R-290.

Key words: Refrigeration, hydrocarbons, R-600a, R-290.