

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES FLUIDOS REFRIGERANTES NO COEFICIENTE DE DESEMPENHO DO CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO A VAPOR IDEAL

Nathamy Freitas Alves¹

Stéfanny Guimarães Rodrigues²

RESUMO

Este trabalho visa analisar o coeficiente de desempenho de diferentes fluidos refrigerantes em um ciclo de refrigeração por compressão de vapor ideal. O coeficiente de desempenho é de grande importância na análise de instalações frigoríficas. Para este estudo selecionou-se os fluidos R-410A, R-134a e R407C, por serem os mais indicados para substituir o R-22, que deverá ser abolido até 2040, por ser prejudicial a camada de ozônio. Analisou-se as entalpias para cada fluido refrigerante a partir do programa Computer-Aided Thermodynamic Tables 3; posteriormente, substituiu-se estes valores na fórmula e obteve-se o coeficiente de desempenho. Os resultados indicam que o fluido refrigerante R-134a, mesmo em temperaturas mais elevadas, possui um COP superior comparado ao demais fluidos, porém, em um sistema operante com um fluido refrigerante R-22, não se deve fazer a substituição do fluido sem que haja um retrofit do sistema. O estudo mostrou, ainda, que em novos sistemas de refrigeração em que se utiliza R-22 o fluido mais viável a se utilizar é o R-410A, devido a sua maior pressão e capacidade de refrigeração.

Palavras-chave: Fluido Refrigerante. Refrigeração Por Compressão a Vapor Ideal. Coeficiente de Performance.

¹ Graduando da Engenharia Mecânica pela Universidade Rio Verde, Rio Verde, GO.

² Orientadora, Professora da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde – UniRV.

1 INTRODUÇÃO

A refrigeração é utilizada desde o início dos tempos e vem facilitando a vida do ser humano. Ela baseia-se em retirar calor de um corpo e rejeitá-lo para o meio ou outro corpo a uma temperatura maior. É aplicada para realizar conforto térmico, processamento, armazenamento, conservação de alimentos e climatização de ambientes industriais, entre outros (SILVA, SOUZA, ROCHA, 2014).

Dentre os ciclos de refrigeração existem dois básicos: o ciclo de refrigeração por compressão a vapor e o ciclo de refrigeração por absorção. O sistema por compressão a vapor é o mais utilizado. Para este estudo foi analisado o ciclo de refrigeração por compressão a vapor, composto por cinco componentes básicos, que são: compressor, condensador, válvula de expansão, evaporador e fluido refrigerante (PIRANI, 2001).

O desempenho do ciclo de refrigeração por compressão a vapor depende, em particular, do fluido refrigerante; por isso, é importante a análise do coeficiente de desempenho do ciclo. Com esse dado, é possível determinar qual fluido é mais viável para ser utilizado. Ele normalmente é medido por meio do Coeficiente de Performance (COP) (MARQUES, 2010).

É necessário que os fluidos atendam a critérios de propriedades termodinâmicas (entropia, entalpia, temperatura, pressão), inflamabilidade, toxicidade, impactos ambientais, preços moderados e facilidade de disponibilidade (CLUBE DA REFRIGERAÇÃO, 2014).

Segundo Venturini e Pirani (2005), o Brasil sofreu uma grande crise de fornecimento no setor elétrico em 2001; com isso, uma das consequências positivas foi a valorização da eficiência no uso da energia. Instalações de refrigeração e ar condicionado baseados em sistemas de compressão de vapor são responsáveis por uma parcela muito significativa do consumo de energia global; portanto, um aumento da eficiência desse sistema provocaria uma diminuição no consumo energético.

O presente trabalho tem como objetivo identificar qual fluido refrigerante apresenta melhor coeficiente de desempenho no ciclo de refrigeração escolhido, podendo, assim, aliar esse dado às características físicas dos fluidos.

1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1.1 Refrigeração

A refrigeração é definida como a ciência relacionada à transferência de energia térmica com o objetivo de resfriar sistemas para temperaturas inferiores às disponíveis em um determinado local e instante (GOSNEY, 1982).

Em 1755, Willian Cullen utilizou a evaporação do éter baixando sua pressão para acelerar e simplificar o processo de remoção de calor de uma pequena quantidade de água. Havia uma desvantagem, pois era necessária a constante reposição do éter. Com isso, foi criada uma solução: um sistema fechado onde o éter vaporizado era comprimido para se condensar novamente. Jacob Perkins, em 1834, patenteou o primeiro equipamento para produção de gelo. Entre 1856 e 1857 foi criado por James Harrison o primeiro sistema real de refrigeração (CLUBE DA REFRIGERAÇÃO, 2016).

Dentre os sistemas de refrigeração conhecidos, os mais utilizados são: refrigeração por compressão mecânica a vapor, refrigeração a ar, refrigeração por absorção, refrigeração termoelétrica e refrigeração termo-magnética. (HERMES, 2006; MARTINHO, 2003; NUNES, 2015). Nos dias atuais, a maioria dos sistemas utiliza refrigeração por compressão a vapor, como no caso de refrigeradores domésticos ou sistemas industriais de grande porte. Já os outros sistemas de refrigeração são utilizados em circunstâncias específicas. Por exemplo, no ciclo por absorção utiliza-se calor como fonte de energia, bastante similar à refrigeração a vapor (GENIER, 2013).

Já na refrigeração termoelétrica, a refrigeração é feita “eletronicamente” e funciona de acordo com princípio do efeito Seebeck/Peltier, em que uma corrente elétrica é induzida ou pode induzir entre dois extremos de um condutor uma diferença de temperatura, porém, apresenta alto custo comparado a outros sistemas e baixa eficiência. Na refrigeração a ar, a temperatura é reduzida por um processo de expansão (COSTA, 1982).

1.1.2 Sistemas de refrigeração por compressão de vapor

Segundo Stoecker e Jones (1985), neste ciclo o vapor é comprimido e condensado, tendo posteriormente sua pressão diminuída de modo que o fluido possa evaporar a baixa

pressão. A Figura 1 apresenta os processos e os principais componentes do ciclo de compressão a vapor através do diagrama de p versus h .

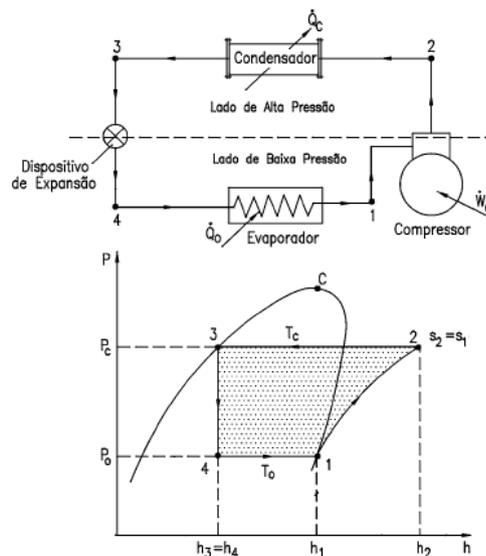
1-2 Acontece no compressor, sendo um processo isentrópico desde o estado de vapor saturado até a pressão de condensação;

2-3 Ocorre no condensador, onde há uma redução da temperatura de vapor de condensação até a forma de saturação com pressão constante;

3-4 Ocorre no dispositivo de expansão, sendo uma expansão irreversível à entalpia constante desde o estado de líquido saturado até a pressão de evaporação;

4-1 Ocorre no evaporador a uma temperatura constante, evaporação até o estado de vapor saturado e pressão constante.

FIGURA 1- Ciclo teórico de compressão a vapor



Fonte: Pirani, 2005

Cada componente do sistema de compressão a vapor - compressor, condensador, dispositivos de expansão, evaporador e fluido refrigerante - tem suas características, porém, ao mesmo tempo, cada um sofre uma influência dos outros componentes (STOECKER e JONES, 1985).

1.1.3 Coeficiente de performance do ciclo (COP)

Segundo Salvador (1999), o coeficiente de performance do ciclo ou coeficiente de desempenho é um parâmetro de grande importância na análise de instalações frigoríficas. O COP está em função somente das propriedades do refrigerante e, conseqüentemente, depende das temperaturas de condensação e vaporização. O coeficiente é a razão entre o efeito de refrigeração e o trabalho de compressão, a equação a para obtenção do coeficiente de desempenho e mostrada a baixo:

$$\text{COP} = \frac{\text{Calor rejeitado pelo ciclo}}{\text{trabalho necessário}} = \frac{Q}{W} = \frac{h_1 - h_4}{h_1 - h_2} \quad (1)$$

Quanto menor o valor do COP, menos eficiente é o sistema. A elevação do COP está relacionada à redução da temperatura de condensação ou ao aumento da temperatura de evaporação (SALVADOR, 1999).

1.1.4 Componentes do sistema de compressão de vapor

1.1.4.1 Compressores

O compressor é o coração do sistema de compressão a vapor. Sua função é aumentar a pressão do fluido refrigerante para que possa evaporar e promover sua circulação no sistema. Podem ser refrigerados a água ou ar e são os componentes mecanicamente mais complexos. Os principais tipos de compressores frigoríficos são: alternativos, palhetas, centrífugo e parafuso. A escolha do modelo de compressor depende particularmente do fluido frigorífico, da temperatura de vaporização e da capacidade da instalação (FIORELLI, 2010; PIRANI, 2001).

Segundo Stoecker e Jabardo (2002), na maioria das instalações os compressores são os que mais consomem energia, com isso, é de fundamental importância a análise para determinar qual tem um melhor custo benefício. A Figura 2 ilustra um modelo de compressor.

FIGURA 2: Modelo de um compressor



Fonte: Clube da refrigeração, 2012.

1.1.4.2 Condensadores

São trocadores de calor que exercem maior influência no desempenho de trocas térmicas. O condensador recebe o fluido refrigerante superaquecido com uma alta pressão e temperatura, ocasionando a transferência de calor do fluido refrigerante para o meio de resfriamento, que pode ser o ar ou a água, ou a combinação de ambos (BRANDÃO, 2005; MENDES, 2012).

Segundo Silva (2014), os condensadores a ar devem ser instalados elevados ao solo por causa de impurezas que podem se acumular nas serpentinas. Devido à grande quantidade de ar geralmente tem-se bastante ruído, por isso, devem ser levados em conta diversos fatores antes da instalação, tais como: nível de ruído, consumo de energia, disponibilidade, entre outros. Já os condensadores resfriados a água operam de forma mais eficiente do que os resfriados a ar, quando limpos e devidamente dimensionados.

Entre os tipos mais comuns de condensadores resfriados a água tem-se: casco-e-tubo, casco-e-serpentina, tubo-e-tubo e trocador a placas. Para se selecionar o condensador

adequado deve-se analisar o fluido refrigerante, a carga térmica, vazão de água que pode ser calculada, custo de instalações e operação (ASHRAE, 1997).

Os condensadores duplo-tubo são formados por dois tubos; o refrigerante troca calor com a água que, em movimento, circula por um tubo interno. A Figura 3 representa um condensador tipo tubo (COSTA, 1982).

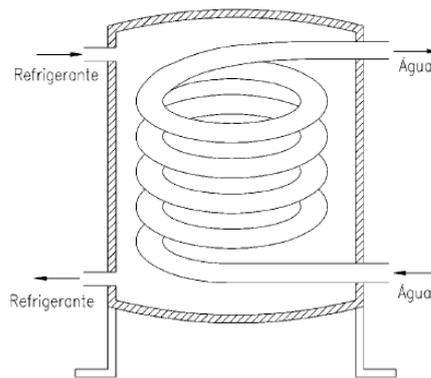
FIGURA 3- Condensador tipo tubo



Fonte: Machado, 2009.

Os condensadores tipo casco-e-serpentina são compostos por uma ou mais serpentinas. A água de resfriamento flui pelos tubos e o refrigerante escoo pelo casco. A Figura 4 mostra um condensador tipo casco-e-serpentina (MARQUES, 2010).

FIGURA 4- Condensador tipo Casco e Serpentina



Fonte: Venturine, 2005.

Os condensadores tipo tubo-e-carcaça são formados por um tubo cilíndrico fechado. É instalada uma determinada quantidade de tubos horizontais e paralelos. A água de resfriamento circula por dentro dos tubos e o refrigerante escoar dentro da carcaça, em volta dos tubos (SILVA, 2014).

1.1.4.3 Dispositivos de expansão

Os dispositivos de expansão têm como objetivo reduzir a pressão do refrigerante líquido e a regularização da vazão do refrigerante que entra no evaporador. A Figura 5 ilustra um dispositivo de expansão tipo tubo capilar. Os tipos mais comuns de dispositivos de expansão são: válvula de expansão e tubo capilar. (MARQUES, 2010)

Ao sair do condensador, o fluido refrigerante, no estado de líquido sub-resfriado ou mistura de líquido e vapor, entra no dispositivo de expansão, onde ocorre uma expansão que ocasiona uma queda de pressão e temperatura. (MENDES, 2012).

FIGURA 5 – Válvula de expansão tipo tubo capilar



Fonte: Mendes, 2008.

1.1.4.4 Evaporador

É o componente responsável pela retirada de calor que ocorre diretamente pela vaporização do fluido refrigerante em baixa pressão e temperatura, resultante do dispositivo de expansão (MENDES, 2012).

Os evaporadores podem ser classificados quanto ao sistema de alimentação em: secos e inundados. Quanto ao fluido a se resfriar, podem ser classificados em: evaporadores para ar, evaporadores para líquidos e evaporadores de contato (NUNES, 2015). A Figura 6 representa um evaporador de condicionamento de ar.

FIGURA 6 – Evaporador de condicionamento de ar



Fonte: <http://www.autoclub.com.br/produtos/64/evaporador/evaporador-/evaporador-palio-9698/>.

1.1.4.5. Fluidos refrigerantes

Qualquer substância que é instável e líquida à temperatura desejada no compressor pode ser usada como fluido no sistema de refrigeração. Sua principal função é o transporte de calor. Devem ser considerados diversos fatores para a escolha de fluidos refrigerantes (GOSNEY, 1982; SARBU, 2014).

É de grande importância na determinação da eficiência do equipamento de refrigeração o conhecimento das propriedades termodinâmicas do fluido refrigerante. Conforme a temperatura, as pressões no sistema variam e são diferentes para cada fluido (NUNES, 2015).

Segundo Marques (2010), de uma forma geral, os fluidos refrigerantes podem ser classificados da seguinte forma: hidrocarbonetos halogenados, misturas azeotrópicas de hidrocarbonetos halogenados, misturas não azeotrópicas de hidrocarbonetos halogenados, compostos orgânicos e compostos inorgânicos.

1.1.4.5.1 Evolução

Inicialmente, foram empregados como fluidos refrigerantes substâncias com NH_3 , CO_2 , SO_2 , CH_3CL , entre outras. Com o desenvolvimento de novos equipamentos, cresceu a demanda por novos fluidos. A indústria pensou ter descoberto os fluidos ideais para os sistemas de compressão a vapor: os CFC_s (hidrocarbonetos a base de flúor e cloro). Os CFC_s apresentavam várias características desejáveis: não são inflamáveis, explosivos ou corrosivos; são extremamente estáveis e muito pouco tóxicos. Com isso, os refrigerantes R11 e R12 se destacavam e foram amplamente adotados em processos industriais devido a suas características químicas (SELLENT, 2011).

Na década de 70, foi descoberto que essas substâncias destruíam a camada de gás ozônio. Por serem altamente voláteis, conseguiam, antes de serem destruídas, atingir a estratosfera. Foram, então, condenadas como maiores responsáveis pelo buraco na camada de ozônio. (SILVA, 2009).

Em 1986, o protocolo de Montreal determinou a substituição dos CFCs, que deveriam ser proibidos até 2010 em países menos desenvolvidos, o que deu origem a uma revolução nos sistemas frigoríficos (Stoecker e Jabardo). Na década de 1980, inúmeros substitutos surgiram. Um deles foi os compostos parcialmente halogenados, com o intuito de substituir os CFCs, que são conhecidos como hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs) e os hidrofluorcarbonos (HFCs). No entanto, os HCFs também colaboram para o efeito estufa e devem ser progressivamente reduzidos até 2040 (MMA, 2005).

1.1.4.5.2 Características desejáveis

Segundo Venturini e Pirani (2005), as características desejáveis de um fluido são: pressão de vaporização não muito baixa; pressão de condensação não muito alta; calor latente de vaporização não muito alto; coeficiente de performance elevado – deve-se gerar um coeficiente elevado, pois está essencialmente relacionado o custo de operação; não ser tóxico nem inflamável; fácil detecção para vazamento; disponível a baixo custo; não ser poluente.

1.1.4.5.3 Fluidos selecionados

Na década de 1990, os principais substitutos para os CFCs foram o HCFCs, com destaque para o R-22, que é bastante utilizado em sistemas de refrigeração; porém, como o seu vazamento contribui para a destruição da camada de ozônio, seu uso vem sendo reduzido de acordo com as metas estabelecidas pelo Protocolo de Montreal (MMA, 2005).

Segundo a EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), algumas das alternativas para substituição do R-22 são o R-410A, o R-134a e o R-407C.

Os substitutos são compostos por átomos de carbono, hidrogênio e flúor. Não são prejudiciais à camada de ozônio por não possuírem cloro em sua composição (CORRÊA, 2010).

Dentre os fluidos alternativos, o R-410A, mistura binária de 50% de HCF 32 e 50% de HCF 125, possui uma capacidade maior de refrigeração e uma menor temperatura de descarga quando comparado ao R-22 (FERREIRA, 2012).

O R-407C é composto por 52% HCF 134a, 25% HCF 125 e 23% de HCF 32; não é inflamável, possui baixa toxicidade e sua refrigeração é similar ao R-22.

O R-134a é também utilizado para substituir o R-12. É utilizado em ar-condicionado automotivo e para refrigeradores e seu desempenho pode ser reduzido em temperaturas baixas. Além disso, possui propriedades termodinâmicas adequadas, não é inflamável e nem tóxico e é compatível com todas as ligas e materiais utilizados em equipamento de refrigeração (PIRANI, 2001).

2 MATERIAIS E MÉTODO

Para obtenção dos resultados analisados, utilizou-se os seguintes materiais:

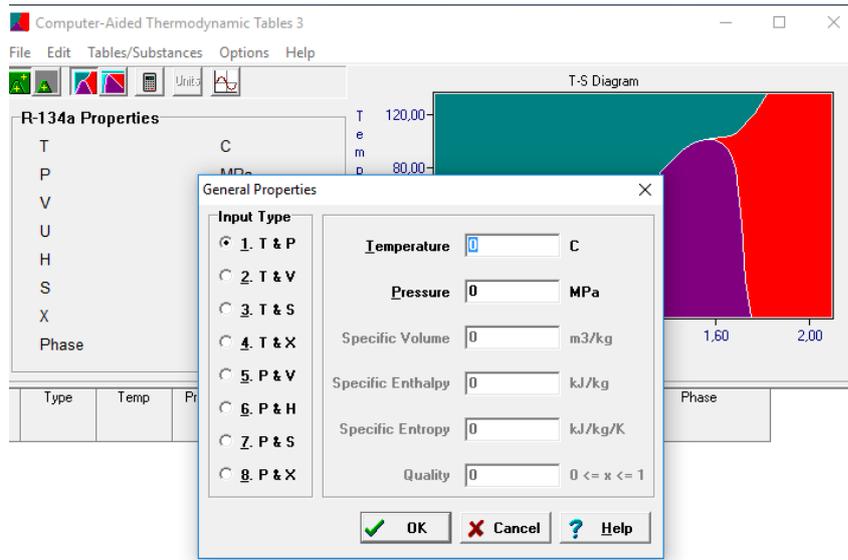
- a) Ciclo de refrigeração por compressão a vapor ideal;
- b) Fluidos refrigerantes: R-134a, R-407C e R-410A;
- c) Fórmula para obtenção do COP;
- d) Temperaturas mais utilizadas em fontes didáticas com valores de evaporação e condensação respectivamente iguais a 0 °C e 40 °C e, posteriormente, 10°C e 30°C;
- e) Programa Computer-Aided Thermodynamic Tables 3.

Para obtenção do valor do COP, utilizou-se as seguintes etapas:

Para cada fluido refrigerante selecionado, fez-se a coleta de dados termodinâmicos utilizando o programa Computer-Aided Thermodynamic Tables 3. Esses dados são substituídos na fórmula (1) para obter o valor do coeficiente de desempenho.

O programa Computer-Aided Thermodynamic Tables 3 é utilizado para a consulta de propriedades termodinâmicas; as tabelas incluídas nele são de água, fluidos refrigerantes, criogênicos, ar, gases ideais, psicometria e compressibilidade, que são apresentadas em formas de gráficos ou planilhas. Com o programa, é possível analisar as características dos fluidos refrigerantes conhecendo apenas duas propriedades em que o fluido se encontra. A Figura 7 ilustra as opções de dados que o usuário pode escolher para obter as demais propriedades termodinâmicas necessárias.

FIGURA 7- Interface do programa Computer-Aided Thermodynamic Tables 3



Fonte: Computer-Aided Thermodynamic Tables 3, 2017.

Com a análise dos componentes do sistema mostrado na Figura 1, entra-se com as características termodinâmicas para fluido no programa.

Característica 1: Temperatura de evaporação e título 1 (T, X);

Característica 3: Temperatura de condensação e título 0 (T, X);

Característica 2: Entropia de saída do compressor ideal igual à de entrada e pressão constante no condensador (P,S);

Característica 4: Entalpia de saída do condensador igual à entalpia da válvula de expansão e pressão de entrada do evaporador igual à de saída (P,H).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para efeito de comparação foram analisados três fluidos refrigerantes, onde se obteve o coeficiente de performance a partir de temperaturas diferentes.

3.1 RESULTADOS PARA TEMPERATURA DE EVAPORAÇÃO E CONDENSAÇÃO, RESPECTIVAMENTE IGUAIS A 0°C E 40°C

A Tabela 1 ilustra os dados coletados para o fluido refrigerante R-410A.

TABELA 1- Propriedades termodinâmicas do fluido refrigerante R-410A

Descrição	Temperatura (°C)	Título	Pressão (MPa)	Entalpia (KJ/KG)	Entropia (KJ/KGk)
Ponto 1	0	1	0,7987	279,1	1,037
Ponto 2	57,21	...	2,421	309,4	1,037
Ponto 3	40	0	2,421	124,1	0,4473
Ponto 4	0	...	0,7987	124,1	0,4693

Fonte: Computer-Aided Thermodynamic Tables 3, 2017.

A partir da fórmula 1 obteve-se o seguinte valor de COP para o R-410A:

$$\text{COP} = \frac{Ql}{|W|} = \frac{h1-h4}{h1-h2} = \frac{279,1-124,1}{|279,1-309,4|} = \frac{155}{|-30,3|} = 5,115$$

A Tabela 2 ilustra os dados coletados para o fluido refrigerante R-134a.

TABELA 2- Propriedades termodinâmicas do fluido refrigerante R-134a

Descrição	Temperatura (°C)	Título	Pressão (MPa)	Entalpia (KJ/KG)	Entropia (KJ/KGk)
Ponto 1	0	1	0,2928	398,6	1,727
Ponto 2	44,46	...	1,017	424,5	1,727
Ponto 3	40	0	1,017	256,4	1,19
Ponto 4	0	...	0,2928	256,4	1,206

Fonte: Computer-Aided Thermodynamic Tables 3, 2017.

A partir da fórmula 1 obteve-se o seguinte valor de COP para o R-134a:

$$\text{COP} = \frac{Ql}{|W|} = \frac{h1-h4}{h1-h2} = \frac{398,6-256,4}{|398,6-424,5|} = \frac{142,2}{|-25,9|} = 5,4903$$

A Tabela 3 ilustra os dados coletados para o fluido refrigerante R-407C.

TABELA 3- Propriedades termodinâmicas do fluido refrigerante R-407C

Descrição	Temperatura (°C)	Título	Pressão (MPa)	Entalpia (KJ/KG)	Entropia (KJ/KGk)
Ponto 1	0	1	0,5139	262,3	0,9752
Ponto 2	50,63	...	1,646	289,9	0,9752
Ponto 3	40	0	1,646	115	0,4173
Ponto 4	0	...	0,5139	115	0,5139

Fonte: Computer-Aided Thermodynamic Tables 3, 2017.

A partir da fórmula 1 obteve-se o seguinte valor de COP para o R-407C:

$$\text{COP} = \frac{Ql}{|W|} \frac{h1-h4}{h1-h2} = \frac{262,3-115}{|262,3-289,9|} = \frac{147,3}{|-27,6|} = 5,3370$$

Para efeito de comparação, fez-se também a análise para o fluido R-22. A Tabela 4 ilustra os dados coletados para o fluido refrigerante R-22.

TABELA 4- Propriedades termodinâmicas do fluido refrigerante R-22

Descrição	Temperatura (°C)	Título	Pressão (MPa)	Entalpia (KJ/KG)	Entropia (KJ/KGk)
Ponto 1	0	1	0,4976	249,9	0,9269
Ponto 2	58,43	...	1,534	278	0,9269
Ponto 3	40	0	1,534	94,27	0,3417
Ponto 4	0	...	0,4976	94,27	0,357

Fonte: Computer-aided thermodynamic tables 3, 2017.

A partir da fórmula 1 obteve-se o seguinte valor de COP para o R-22:

$$\text{COP} = \frac{Ql}{|W|} \frac{h1-h4}{h1-h2} = \frac{249,9-94,27}{|249,9-278|} = \frac{155,63}{|-28,1|} = 5,5384$$

3.2 RESULTADOS PARA TEMPERATURAS DE EVAPORAÇÃO E DE CONDENSAÇÃO RESPECTIVAMENTE IGUAIS A 10°C E 30°C

A Tabela 5 ilustra os dados coletados para o fluido refrigerante R-410A.

TABELA 5- Propriedades termodinâmicas do fluido refrigerante R-410A, com temperaturas de 10°C e 30°C

Descrição	Temperatura (°C)	Título	Pressão (MPa)	Entalpia (KJ/KG)	Entropia (KJ/KGk)
Ponto 1	10	1	1,086	281,8	1,018
Ponto 2	38,58	...	1,885	296,4	1,018
Ponto 3	30	0	1,885	106,1	0,3908
Ponto 4	10	...	1,086	106,1	0,3972

Fonte: Computer-Aided Thermodynamic Tables 3, 2017.

A partir da fórmula 1 obteve-se o seguinte valor de COP para o R-410A:

$$\text{COP} = \frac{Q_l}{|W|} = \frac{h_1 - h_4}{h_1 - h_2} = \frac{281,8 - 106,1}{|281,8 - 296,4|} = \frac{175,7}{|-14,6|} = 12,0342$$

A Tabela 6 ilustra os dados coletados para o fluido refrigerante R-134a.

TABELA 6- Propriedades termodinâmicas do fluido refrigerante R-134a, com temperaturas de 10°C e 30°C

Descrição	Temperatura (°C)	Título	Pressão (MPa)	Entalpia (KJ/KG)	Entropia (KJ/KGk)
Ponto 1	10	1	0,4146	404,3	1,722
Ponto 2	32,16	...	0,7702	417,1	1,722
Ponto 3	30	0	0,7702	241,7	1,144
Ponto 4	10	...	0,4146	241,7	1,148

Fonte: Computer-Aided Thermodynamic Tables 3, 2017.

A partir da fórmula 1 obteve-se o seguinte valor de COP para o R-134a:

$$\text{COP} = \frac{Q}{W} = \frac{h1-h4}{h1-h2} = \frac{404,3-241,7}{|404,3-417,1|} = \frac{162,6}{|-12,8|} = 12,70$$

A Tabela 7 ilustra os dados coletados para o fluido refrigerante R-407C.

TABELA 7- Propriedades termodinâmicas do fluido refrigerante R-407C, com temperaturas de 10°C e 30°C

Descrição	Temperatura (°C)	Título	Pressão (MPa)	Entalpia (KJ/KG)	Entropia (KJ/KGk)
Ponto 1	10	1	0,7105	266,7	0,9641
Ponto 2	35,34	...	1,286	280,2	0,9641
Ponto 3	30	0	1,286	99,01	0,3666
Ponto 4	10	...	0,7105	99,01	0,3718

Fonte: Computer-Aided Thermodynamic Tables 3, 2017.

A partir da fórmula 1 obteve-se o seguinte valor de COP para o R-407C:

$$\text{COP} = \frac{Q}{W} = \frac{h1-h4}{h1-h2} = \frac{266,7-99,01}{|266,7-280,2|} = \frac{167,69}{|-13,5|} = 12,42$$

Para efeito de comparação, fez-se também a análise para o fluido R-22. A Tabela 4 ilustra os dados coletados para o fluido refrigerante R-22.

TABELA 8- Propriedades termodinâmicas do fluido refrigerante R-22, com temperaturas de 10°C e 30°C

Descrição	Temperatura (°C)	Título	Pressão (MPa)	Entalpia (KJ/KG)	Entropia (KJ/KGk)
Ponto 1	10	1	0,9807	253,4	0,9129
Ponto 2	39,18	...	1,192	267,1	0,9129
Ponto 3	30	0	1,192	81,25	0,3004
Ponto 4	10	...	0,9807	81,25	0,3048

Fonte: Computer-Aided Thermodynamic Tables 3, 2017.

A partir da fórmula 1 obteve-se o seguinte valor de COP para o R-22:

$$\text{COP} = \frac{Q}{W} = \frac{h_1 - h_4}{h_1 - h_2} = \frac{253,4 - 81,25}{|253,4 - 267,1|} = \frac{172,15}{|-13,7|} = 12,56$$

Para trocar o fluido refrigerante de um sistema de refrigeração que opera com o fluido refrigerante R-22 é necessário fazer a troca dos componentes que é chamado de retrofit. Os fluidos refrigerantes possuem características que são totalmente diferentes entre si. Realizar a troca do fluido sem fazer um retrofit pode levar à explosão do sistema.

Segundo a Embraco, os impactos são maiores quando se migra para o R-134a, sendo necessárias as seguintes medidas: limpeza do sistema com solventes; troca do compressor devido à baixa capacidade de refrigeração do R-134a, que provoca um aumento de 45% no volume de deslocamento comparado ao R-22; em alguns casos, faz-se necessário trocar o evaporador por um com maior área de troca térmica; a válvula de expansão deve ser substituída por um modelo compatível ao R-134a; deve-se reduzir o diâmetro interno do tubo capilar e aumentar seu comprimento.

Para o fluido R-407C é necessário o esvaziamento do óleo original por lubrificantes a base de poliéster; não é recomendado para compressores centrífugos nem para evaporadores inundados e exige a troca do dispositivo de expansão (PANATO, 2015).

O R-410A trabalha com pressões superiores ao R-22. Seus componentes devem suportar o aumento de pressão, e pode-se usar um evaporador menor devido sua elevada capacidade de refrigeração comparada ao R-22. Gera menos impacto ambiental por causa da menor utilização de fluido refrigerante. Devido às pressões de trabalho, o R-410A não se adapta à reconversão dos componentes do sistema que já trabalham com o R-22. Tem sido amplamente utilizado em refrigeração residencial e comercial, consequência da sua maior capacidade de refrigeração em relação ao R-22 (PANATO, 2015).

4 CONCLUSÃO

O desenvolvimento da pesquisa teve como objetivo avaliar qual fluido refrigerante substituto ao R-22 teve um melhor COP. O programa Computer-Aided Thermodynamic

Table 3 mostrou as entalpias necessárias de cada fluido para obtenção do COP. Em temperaturas de evaporação mais baixas, os valores foram menores.

A pesquisa realizada demonstra que o fluido refrigerante R-134a tem um maior coeficiente de desempenho comparado aos fluidos R-407A e R-410A, mesmo com diferentes temperaturas. Ao se utilizar o R-134a como substituto ao R-22 obtêm-se vantagens termodinâmicas, além de ter um índice zero na destruição da camada de ozônio, mas faz-se necessário o retrofit, do qual deve-se analisar a viabilidade econômica em relação a um novo equipamento.

Os resultados obtidos para o fluido R-407C foram similares ao R-134a. Devido à menor troca de componentes internos no retrofit, ele é o mais viável no ponto de vista econômico.

O refrigerante R-410A teve o menor COP; por outro lado é o que possui a maior capacidade de refrigeração. Devido às altas pressões, este necessita de menos fluido refrigerante, o que o torna menos prejudicial ao meio ambiente; logo, é o mais indicado.

*ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF DIFFERENT REFRIGERANT FLUIDS
WITHOUT COEFFICIENT OF PERFORMANCE OF THE IDEAL STEAM
COMPRESSION REFRIGERATION CYCLE*

ABSTRACT

This work aims to analyze the coefficient of performance among different coolant fluids in an ideal refrigeration compression cycle. The coefficient of performance is of great importance in the analysis of cold storage facilities. For this study, fluids R-410A, R-134a, and R407C were selected because they are best suited to replace R-22, it should be abolished until 2040. The enthalpies for each coolant were analyzed from the computer program-aided thermodynamic table 3, then these values are replaced in the formula and the coefficient of performance is obtained. The results indicate that R-134a coolant fluid, even at higher temperatures, has a higher COP compared to other fluids, but in a system with an R-22 coolant, the fluid should not be replaced without a Retrofit system. The study also showed that in new refrigeration systems where R-22 is used the most viable fluid to use is R-410A due to its higher pressure and cooling capacity.

Keywords: Fluid Soft drink. Cooling For Compression to Ideal Steam. Coefficient of Performance.

REFERÊNCIA

- ASHRAE. 1997. *Ashrae Handbook: 1997 Fundamentals*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, 1997.
- BRANDÃO, M. M. *Modelagem numérica de sistemas de refrigeração por compressão de vapor*. 2005. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 2005.
- CLUBE DA REFRIGERAÇÃO. *Eletrodoméstico e compressores se transformam em novos produtos*. Revista Clube da refrigeração São Paulo: n118, p 17-20. Disponível em: http://www.clubedarefrigeracao.com.br/wp-content/blogs.dir/1/files_mf/1404831112CR118sitenovo.pdf. Acesso em: 12 nov. 2016.
- CLUBE DA REFRIGERAÇÃO. *História da refrigeração*. São Paulo. Não paginado. Disponível em: <http://www.clubedarefrigeracao.com.br/apresentacao>. Acesso em: 12 nov. 2016.
- CORRÊA, J. E. *Refrigeração e Climatização*. 2010. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ. Faculdade de Engenharia Mecânica.
- COSTA, E. C. *Refrigeração*. 3 ed. São Paulo: Ed. Edgar Blucher Ltda, 1982. 322p.
- FERREIRA, T. I. B. *Simulação da performance de um condicionador de ar operando com fluido refrigerante r-410a em substituição ao r-22*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2012.
- FIGLIOLI, F. A. S. *Análise do escoamento de fluidos refrigerantes alternativos ao HCFC 22 em tubos capilares adiabáticos*. 2000. 207 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.
- GENIÊR, F. S. *Ciclos de refrigeração: conceitos e estudos de eficiência*. Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2013.
- GOSNEY, W.B., *Principles of Refrigeration*, London, Cambridge University Press, 1982.
- HERMES, C. J. L. *Uma metodologia para a simulação transiente de refrigeradores domésticos*. 2006. 297f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina.
- MACHADO, J. C. B. *Análise de desempenho de um refrigerador de pequeno porte com drop in de refrigerantes hidrocarbonetos*. 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- MACHADO, H. A. *Refrigeração e ar condicionado*. Rio de Janeiro, 2009. (apostila)
- MARQUES, J. C. B. *Análise de desempenho de um refrigerador de pequeno porte com drop in de refrigerantes hidrocarbonetos*. 2010. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2010.

- MARTINHO, L. C. S. *Modelagem, simulação e otimização de refrigeradores por absorção*. 2013. 141f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná. 2013.
- MENDES, T. *Diagnóstico termodinâmico aplicado a um sistema de refrigeração por compressão de vapor*. 2012. 204f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais. 2012.
- NUNES, T. K. *Modelagem, simulação e otimização de sistemas de refrigeração por compressão de vapor*. 2015. 94f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2015.
- PANATO, V. H. *Análise experimental da operação de substituição do R22 em um sistema de refrigeração operando com o compressor scroll*. 2015. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais. 2015.
- PIRANI, M. J. *Refrigeração e Ar Condicionado: Parte I Refrigeração*. (2001).
- SALVADOR, F. *Projeto de um sistema de refrigeração industrial com “set-point” variável*. 1999. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica)- Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.
- SARBU, I. A review on substitution strategy of non-ecological refrigerants from vapour compression-based refrigeration, air-conditioning and heat pump systems. *International Journal of Refrigeration*, v. 46, 123 e141, 2014.
- SELLENT, J. J. *Refrigerador de bebidas de alto rendimento*. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Medianeira. 2011.
- SILVA, H. D. Protocolos de Montreal e Kyoto: pontos em comum e diferenças fundamentais. *Rev. bras. polít. int.* vol.52 no.2 Brasília July/Dec. 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-73292009000200009. Acesso em: 10 nov. 2016.
- SILVA, J. C.; SOUZA, G. J.; ROCHA, S. P. *Desenho técnico para refrigeração e climatização*. 1.ed. São José: [S.n.], 2014. 134p.
- SILVA, F. P. *Análise da eficácia de um refrigerador doméstico com condensador modificado: Revestimento com meio poroso dissipativo*. 2014. 79f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2014.
- SILVA, H. D. Protocolos de Montreal e Kyoto: pontos em comum e diferenças fundamentais. *Rev. bras. polít. int.* vol.52 no.2 Brasília July/Dec. 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-73292009000200009. Acesso em: 10 nov. 2016.
- STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. S. *Refrigeração Industrial*. 2 ed. São Paulo: Ed. Edgar Blucher Ltda, 2002.
- STOECKER, W. F.; JONES, J.W. *Refrigeração e ar condicionado*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.

VENTURINI, O. J.; PIRANI, M. J. *Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial*. Rio De Janeiro: Eletrobrás, 2005. 316p.