

**Universidade de Taubaté**

**Leandro Ribeiro**

**Julian Ubukata**

**Análise energética de propano R290 em substituição aos fluídos CFC e HCFC**

**Taubaté – SP**

**2017**

**Leandro Ribeiro**  
**Julian Ubukata**

# **Análise energética de propano R290 em substituição aos fluídos CFC e HCFC**

Trabalho de graduação apresentada para obtenção do Certificado de Graduação pelo Curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia da Universidade de Taubaté,  
Orientador: Prof. Msc. Ivair Alves dos Santos

**Taubaté – SP**  
**2017**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado  
de Bibliotecas / UNITAU - Biblioteca das Engenharias**

U15a Ubukata, Julian Massayoshi  
Análise energética de propano R290 em substituição aos  
fluídos CFC e HCFC. / Julian Massayoshi Ubukata, Leandro  
Ribeiro. - 2017.

33f. : il; 30 cm.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) –  
Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Me-  
cânica e Elétrica, 2017

Orientador: Prof. Me Ivair Alves dos Santos,  
Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.

1. CFCs. 2. HCFCs. 3. HFCs. 4. R290. I. Título.

**Leandro Ribeiro  
Julian Ubukata**

**Análise energética de propano R290 em substituição aos fluídos CFC e HCFC**

Trabalho de graduação para obtenção do  
Certificado de Graduação pelo Curso de En-  
genharia Mecânica do Departamento de En-  
genharia da Universidade de Taubaté,  
Área de Concentração: Engenharia Mecâ-  
nica

Data: 16/11/2017

Resultado: APROVADO

BANCA EXAMINADORA

Assinatura 

Prof. Msc. Ivair Alves dos Santos

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura 

Prof. Fabio Henrique Fonseca Santejani

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

*Dedico primeiramente a Deus e minha família por estar sempre ao meu lado em momentos bons e ruins. Enfim, muito obrigado a todos. (Leandro Ribeiro)*

*Dedico este trabalho, aos meus pais, pela força e empenho demonstrado com o intuito de oferecer a melhor formação possível. (Julian Ubukata)*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu professor orientador Msc. Ivair Alves dos Santos pelo empenho, dedicação e por ter acreditado que juntos seríamos capazes de elaborar e desenvolver este trabalho.

Agradeço à Universidade de Taubaté por procurar ter ótimos professores e sempre estar melhorando suas condições de ensino e também ao Julian Ubukata pela compreensão e pelo trabalho em equipe (Leandro Ribeiro).

Agradeço a Deus, por ter me dado plenas condições de desempenhar o melhor trabalho possível, a minha mãe Sônia Maria Juvenário, pelo esforço e dedicação prestada para que eu pudesse percorrer meu próprio caminho e ir em busca dos meus objetivos.

Agradeço também ao meu pai Hiromichi Ubukata, por oferecer plenas condições para que eu pudesse ter uma formação de alto nível.

Meus sinceros agradecimentos ao professor e mestre Ivair Alves dos Santos pelo apoio e oportunidade de realização deste trabalho e ao amigo Leandro Ribeiro pela força e dedicação prestada (Julian Ubukata).

“A mente que se abre a uma nova ideia, jamais voltará ao seu tamanho original.”

(Albert Einstein)

“No fim tudo dá certo, e se não deu certo é porque ainda não chegou ao fim”

(Fernando Sabino)

## RESUMO

Este trabalho foi motivado pelas resoluções do Protocolo de Montreal, que preveem a eliminação e redução da produção e consumo de CFCs e HCFCs a partir de cotas pré-definidas e diferenciadas entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. O trabalho dedica-se a necessidade do estudo sobre o desempenho de fluidos alternativos ecologicamente aceitáveis nos sistemas de refrigeração, seus componentes e segurança com a aplicação de fluido refrigerante propano R290 em sistema de refrigeração comercial. É apresentado o histórico do sistema evolutivo do fluido com a inclusão das principais características para um melhor desempenho do fluido refrigerante em um ciclo de simples estágio e medidas de segurança prevista no projeto, em função dessa tecnologia também disponível, fabricantes de compressores, componentes e controles entendem e acompanham toda evolução para aplicação de fluidos naturais, sendo importante o amplo conhecimento sobre o comportamento das condições do fluido e projeto para que seja operado de maneira segura e confiável. Deste modo, o trabalho será apresentado a partir de resultados de várias simulações utilizando o software de refrigeração "*Product Selection Software*". Será realizado simulações para um ciclo de refrigeração por compressão à vapor de simples estágio, comparando os valores de seus respectivos coeficientes de performance "COP" em função de variáveis operacionais de temperatura de evaporação, condensação, grau de superaquecimento e sub-resfriamento. Por fim, pode-se indicar as vantagens e desvantagens da aplicação de propano R290 como alternativa de fluido refrigerante comercial.

**Palavras-chave:** CFCs; HCFCs; R290; propano; sistemas de refrigeração.

## ABSTRACT

This work was motivated by the Montreal Protocol resolutions, which provide for the elimination and reduction of production and consumption of CFCs and HCFCs from pre-defined and differentiated quotas between developed and developing countries. The work is dedicated to the study of the performance of ecologically acceptable alternative fluids in refrigeration systems, their components and safety with the application of R290 propane refrigerant in a commercial refrigeration system. The history of the evolutionary system of the fluid is presented with the inclusion of the main characteristics for a better performance of the refrigerant in a single stage cycle and safety measures foreseen in the project, due to this technology also available, manufacturers of compressors, components and controls understand and follow all evolution for the application of natural fluids, being important the wide knowledge about the behavior of the fluid conditions and the design so that it is operated in a safe and reliable way. In this way, the work will be presented from the results of several simulations using the Product Selection software. Simulations will be performed for a simple stage steam compression refrigeration cycle, comparing the values of their respective performance coefficients "COP" as a function of operating variables of evaporation temperature, condensation, degree of overheating and subcooling. Finally, one can point out the advantages and disadvantages of applying propane R290 as an alternative to commercial refrigerant.

**Keywords:** CFCs; HCFCs; R290; propane; refrigeration systems.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Propriedade termo físicas, segurança e ambiental .....22 dos fluídos frigoríficos.	22
Figura 2 – Características de fluídos frigoríficos, em .....23 destaque os valores de PDO e GWP.	23
Figura 3 – Software de capacidade de compressores .....26	26
Figura 4 – Software de capacidade de compressores .....27	27
Figura 5 – Software de Capacidade de Compressores.....27	27
Figura 6 – Comparativo de Eficiência Energética.....28	28
Figura 7 – Envelope do Compressor R290 .....30	30
Figura 8 – Envelope do Compressor R22 .....30	30
Figura 9 – Envelope do Compressor R404a .....31	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cronograma de redução da produção e consumo de HCFCs.....	21
Tabela 2 – Comparação de impacto ambiental dos refrigerantes .....	22

## LISTA DE ABREVIATURAS

- HCFC** – Hidroclorofluorcarboneto
- HFC** – Hidrofluorcarboneto
- CFC** – Clorofluorcarbono
- PDO** – Potencial de destruição do ozônio
- GWP** – Potencial de aquecimento global
- HC** – Hidrocarboneto

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA .....	15
2.1 Vantagens e desvantagens da utilização dos hidrocarbonetos .....	16
2.2 Uso do propano r290 como fluido refrigerante .....	17
2.2.1 Projetos frigoríficos .....	17
2.2.2 Considerações relacionadas ao projeto e à instalação da tubulação .....	18
2.2.3 Considerações relacionadas ao projeto e à instalação .....	19
dos principais componentes do sistema.	
2.2.4 Considerações relacionadas às seleções das válvulas .....	19
3 METODOLOGIA .....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
4.1 Temperatura de evaporação .....	29
4.2 Temperatura de condensação.....	29
5 CONCLUSÃO .....	32
REFERÊNCIAS.....	33

## 1 INTRODUÇÃO

O objetivo do trabalho é o estudo sobre o desempenho de fluidos alternativos ecologicamente aceitáveis nos sistemas de refrigeração, seus componentes e segurança com a aplicação de fluido refrigerante propano R290 em sistema de refrigeração comercial.

Com a proximidade do término da utilização de fluidos refrigerantes como o HCFCs, HFC e CFCs que provocam a deterioração da camada de ozônio e contribuem para o aquecimento global, diversas tecnologias estão sendo estudadas alinhadas com os aspectos sustentáveis.

As razões para substituição dos CFCs, HCFCs e HFC em favor dos refrigerantes ecologicamente corretos, especialmente os refrigerantes naturais são de eliminar os refrigerantes que destroem a camada de ozônio e os que contribuem para o aquecimento global (efeito estufa).

No ano de 1930, Thomas Midgley Jr realizou a descoberta que os clorofluorcarbonos (CFC) poderiam ser utilizados como fluidos refrigerantes, devido as suas características, sendo elas: desejáveis propriedades termodinâmicas, boa transferência de calor, compressibilidade, baixíssimo custo e fácil sintetização. Tais características aplicáveis à refrigeração. Dentre os refrigerantes mais utilizados naquela época, destacou-se o R12 (Diclorodifluormetano), usado desde grandes sistemas de refrigeração até refrigeradores caseiros, mas também é um potencial destruidor da camada de ozônio (SILVA, 2015).

Em 1974, Crutzen, Rowland e Molina, em uma pesquisa inédita confirmaram que os refrigerantes (CFC's), causava a destruição da camada de ozônio e do aquecimento global. Com isso, a humanidade vem procurando soluções alternativas, conhecidas como resoluções do Protocolo de Montreal, onde foi estabelecido metas para controlar e eliminar o uso de gases CFC's (SILVA, 2015).

Foi determinado pelo Protocolo de Montreal, que a produção e consumo dos gases CFCs seja reduzido ano a ano, a partir de certas cotas já definidas e diferenciadas pelos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Mudando o processo industrial foi fundamental para que os objetivos fossem alcançados com mais facilidade. Para isto, CFCs foram substituídos na fabricação de muitos itens por gases

alternativos, como Hidroclorofluorcarbonetos HCFCs e Hidrofluorcarbonetos HFCs, entretanto os CFCs remanescentes e essas substâncias alternativas ameaça ainda a saúde climática do planeta. Conforme o Protocolo de Montreal, os países desenvolvidos teriam que ter uma redução do uso de HCFCs de 75% até 2010 e de 99,5% até 2020. Como a produção global desses gases é crescente nos países em desenvolvimento foi previsto para 2040. Apenas no Brasil, com a antecipação da eliminação dos gases CFC's determinada pela a resolução 267/2000 do Conama evitou o consumo de 36,5 mil toneladas PDO (Potencial de Destruição de Ozônio) de CFC's, o que equivale, a 360 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. Em comparação, com o Proálcool, o mais bem-sucedido programa de combustíveis renováveis do mundo, evitou de 1975 a 2005 a emissão de 650 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (SILVA, 2015).

Nos anos 90, as indústrias passaram a produzir, vender e utilizar os HCFCs, considerando que não afetaria a camada de ozônio, entretanto, foram incluídos entre substâncias que eram controladas pelo Protocolo de Quioto, pois elas ajudam com o aquecimento global, essas exigências atingem diretamente o comercio do setor de refrigeração, reduzindo a disponibilidade dos gases R22 e R404A para venda no mercado, sendo esses o que mais se utilizava. Desde então, as indústrias de refrigeração procuram gases para substituir os refrigerantes CFCs, HFC e HCFCs. Então com a utilização de gases naturais como o CO<sub>2</sub>, hidrocarbonetos e amônia vem tendo uma importância alta no mercado brasileiro, alguns equipamentos desenvolvidos para substituir os CFCs, HFC e HCFCs já é uma realidade de várias instalações no Brasil, principalmente a refrigeração comercial. Com esta tecnologia alinhada mundialmente para alcançar a sustentabilidade e direcionando muitos supermercados a fazer a substituição e vim a utilizar refrigerantes ecológicos como o R290 gás propano (SILVA, 2015).

Portanto, as pesquisas realizadas no desenvolvimento na área de Refrigeração e Ar Condicionado sobre os fluidos refrigerantes não está somente interligada a preservação do meio ambiente, está ligada também ao aumento da eficiência energética. Pois os equipamentos refrigerados representam um dos maiores consumos residenciais de eletricidade do Brasil. Em 2004, essa participação foi estimada em 30%, um consumo de eletricidade de aproximadamente em 23.000 GWh, cerca de 6,3% do consumo da eletricidade do país (SILVA, 2015).

Os fluidos frigoríficos hidrocarbonetos foram introduzidos no começo do século XX (na Alemanha, em 1916). Nos anos 20 e 30, refrigeradores foram desenvolvidos

utilizando isobutano (R600a) como fluido frigorífico. Gradualmente, os CFCs substituíram todos os outros fluidos, mesmo assim, no início dos anos 50 ainda podiam ser encontrados produtos novos no mercado europeu utilizando isobutano. Em seguida, uma mudança mundial para o CFC-12 se realizou e o uso dos hidrocarbonetos como fluido de trabalho se restringiu a grandes plantas de refrigeração industrial na indústria química e de petróleo. Os hidrocarbonetos são incolores e quase inodoros, têm zero potencial de destruição do ozônio (PDO = 0) e potencial de aquecimento global direto desprezível (GWP = 3) (SILVA, 2015).

A opção de uso de hidrocarbonetos como fluidos alternativos aos CFCs recebeu atenção considerável na Alemanha em 1990/1991. Em 1993, uma companhia iniciou a venda de refrigeradores usando uma mistura de propano e isobutano como fluido frigorífico. Como resultado de ações tomadas pelo Greenpeace, e com o aumento da consciência ambiental, a opção hidrocarbonetos se tornou realidade (SILVA, 2015).

Graças às suas destacadas características termodinâmicas, os hidrocarbonetos contribuem para que os sistemas de refrigeração sejam energeticamente eficientes. Entretanto, eles são mais pesados que o ar e têm efeito anestésico e asfíxiante para altas concentrações. Os hidrocarbonetos estão disponíveis a baixo custo no mundo inteiro, são solúveis em todos os lubrificantes e compatíveis com diversos tipos de materiais, tais como metais e elastômeros, tradicionalmente usados em equipamento de refrigeração. Suas aplicações geram níveis de ruído mais baixos, devido às menores pressões de trabalho, e ainda há a possibilidade de uso de óleo mineral e baixas temperaturas de descarga, permitindo aumentar a vida útil do compressor (SILVA, 2015).

Na área de refrigeração para supermercados na Europa, sistemas indiretos estão recebendo cada vez mais atenção. O objetivo é limitar a carga dos hidrocarbonetos como fluidos frigoríficos primários em sistemas indiretos (incluindo o R1270, R290 e misturas R290/170), que estão sendo implantados e operando em vários países europeus (SILVA, 2015).

Os hidrocarbonetos são tecnicamente viáveis para serem utilizados em vários tipos de sistemas de refrigeração, mas aplicações práticas são restringidas por códigos de segurança e regulamentos nacionais. Os hidrocarbonetos são inflamáveis e medidas adequadas de segurança devem ser usadas durante a manipulação, fabricação, manutenção, assistência técnica e descarte do equipamento (SILVA, 2015).

Diversos países contam com legislação e normas técnicas sobre as limitações de uso e os aspectos de segurança necessários. As limitações da carga de hidrocarbonetos são especificadas por normas de segurança (e.g. EN 378 e IEC 60335-2-89), onde as máximas quantidades por circuito dependem da aplicação. A norma europeia EN 378 se refere aos requisitos de segurança e ambientais para sistemas de refrigeração (SILVA, 2015).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A área de indústrias da refrigeração vem abrangendo grandes sistemas de refrigeração industrial, vamos citar como um deles o ciclo de compressão simples estágio, dois estágios, cascata, inundado, etc. Geralmente está sendo utilizado em aplicações industriais alimentícia e em indústria de bebidas, como seu fluido principal o refrigerante Amônia (R-717). Estes são ainda incluídos na aplicação em indústrias químicas e petroquímicas, sendo utilizado como principal fluido os halogênados (HFCs e, no Brasil, ainda o HCFC R-22), além do refrigerante Amônia e de outros hidrocarbonetos (R-1270, R-290 e misturas) suas aplicações de ar condicionado industrial (como principal temos as indústrias farmacêuticas e as automotivas), que é utilizado os HFCs (CLETO, 2008).

Apesar da Amônia e dos hidrocarbonetos estando entre os fluidos refrigerantes naturais (dado nome por ser tirado dos ciclos naturais da terra), todos possuem certas restrições que limita seu uso (CLETO, 2008).

A amônia, e suas características exemplares para ser utilizada em sistemas de refrigeração, tem várias restrições de sua aplicação, pois apresenta o mais alto índice de toxicidade comparado aos outros HFCs. Em alguns países, incluindo o Brasil, tem legislações que pedem vários cuidados, desde um projeto até operar o funcionamento de um sistema de refrigeração, tendo como uma carga muito alta de refrigerante no sistema e o ambiente onde será instalado, poderá até ocorrer a inviabilidade de sua aplicação (CLETO, 2008).

Tendo como exemplo recentemente muitas instalações de refrigeração que havia altas cargas de Amônia, contidas em locais bastante povoados, está sendo feita mudanças para locais industriais isolados, tendo então um impacto que o vazamento de Amônia vinha a ser bem menor. Em 1993 á 2008, apenas na cidade de São Paulo, cerca de 15 instalações, somando uma carga de Amônia de 600 toneladas, foi transferida para locais isolados (CLETO, 2008).

Os hidrocarbonetos têm um grande índice de inflamabilidade e quando são utilizados em grandes sistemas de refrigeração, alguns equipamentos desse local e requer uma classificação específica referente a explosão. Nas instalações químicas e petroquímicas, várias vezes seus produtos de manufatura são inflamáveis, tornando uma área classificada independente do refrigerante que está sendo usado. Más, se

está carga de hidrocarboneto for em grande escala, o risco desta área terá um nível maior (PEIXOTO, 2008).

Nessas áreas, com sistemas de temperaturas de operação variada em  $-30^{\circ}\text{C}$  e  $-55^{\circ}\text{C}$  tem como alternativa utilizar o sistema cascata, o  $\text{CO}_2$  em ciclo subcrítico em baixa temperatura e Amônia ou hidrocarboneto neste ciclo tendo a rejeição do calor final para a atmosfera. Estes em equipamentos compactos, tem cargas extremamente reduzidas (SILVA, 2008).

Além disso, para sistemas de refrigeração por Amônia, com vários níveis de temperaturas de operação (ex.: para sistemas de duplo estágio, com produtos congelados a  $-40^{\circ}\text{C}$  e resfriados a  $-10^{\circ}\text{C}$ ), o  $\text{CO}_2$  pode ser utilizado como fluido secundário bombeado, utilizando calor latente, para o sistema de temperatura intermediária (de  $-15^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ ), reduzindo ainda mais a carga de Amônia no sistema (SILVA, 2008).

Hammad e Alsaad (1999) investigaram os parâmetros de desempenho de refrigerador doméstico sem modificações quando 100% de R290; ou 75% de R290, 19,1% de R600, 5,9% de R600a; 50% de R290, 38,3% de R600, 11,7% de R600a; ou 25% de R290, 57,5% de R600 e 17,5% de R600a são usados como possíveis alternativas de substituição ao R12. Os autores mostraram que a mistura de hidrocarbonetos com 50% de R290, 38,3% de R600 e 11,7% de R600a são o melhor refrigerante alternativo.

Tashtoush, Tahat e Shudeifat (2002) apresentaram um estudo experimental sobre a performance de refrigeradores domésticos por compressão de vapor com novas misturas de hidrocarbonetos/Hidrofluorcarbonetos como refrigerantes para substituição do CFC12. Os resultados revelaram que a mistura de R600, R290 e HFC134a apresenta excelente performance.

## **2.1 Vantagens e Desvantagens da Utilização dos Hidrocarbonetos**

Alguns resultados iniciais publicados mostram que sistemas indiretos com hidrocarbonetos possuem maior consumo de energia em relação aos sistemas de expansão direta com R22 e R404A. Essa penalidade do consumo energético é devida aos requisitos adicionais do sistema, tais como trocadores de calor e bombas para circulação (SILVA, 2008).

Mas, atualmente, pode-se dizer que um sistema indireto bem projetado e instalado apresenta consumo de energia muito próximo aos dos sistemas de expansão

direta. O trabalho de aprimoramento dos projetos de sistemas indiretos continua em desenvolvimento, juntamente com as metas de reduzir os custos e o consumo de energia nestes sistemas. A carga de fluido frigorífico é outro aspecto importante a ser verificado (SILVA, 2008).

## **2.2 Uso do propano R290 como fluido refrigerante**

### **2.2.1 Projetos frigoríficos.**

É essencial evitar vazamento de fluido frigorífico por razões tanto de segurança quanto ambientais. Em termos de segurança, se a chance de um vazamento de fluido frigorífico pode ser minimizada, então, o risco de inflamabilidade também é reduzido. Em relação ao impacto ambiental, embora os HCs possuam zero PDO e GWP insignificante, a perda de fluido frigorífico de um sistema irá levar à redução da eficiência do sistema e capacidade de refrigeração, aumentando assim o consumo de energia (PROKLIMA, 2015).

Dependendo do tipo de sistema, uma perda de poucos gramas de carga de fluido frigorífico pode aumentar o consumo de energia em vários percentuais. Além disso, as temperaturas de projeto do sistema de refrigeração podem não ser mais atingidas, e há ainda outros custos adicionais associados com a substituição do fluido frigorífico perdido e o trabalho de reparo (PROKLIMA, 2015).

Segundo Proklima (2015), a prevenção de vazamento pode ser realizada tratando-se vários estágios de manuseio do sistema:

- projeto de sistema, seleção de componentes e layout apropriados;
- instalação adequada e teste de estanqueidade/práticas de verificação de vazamento;
- manutenção regular e verificações gerais da condição de funcionamento de todo o sistema;
- serviços executados por técnicos competentes, usando equipamento adequado;

### 2.2.2 Considerações relacionadas ao projeto e à instalação da tubulação

De acordo com PROKLIMA (2015), durante o projeto e a instalação da tubulação, um número de considerações importantes deve ser obedecido:

- a tubulação e os componentes devem ser protegidos contra impacto, intempérie, corrosão externa e corrosão eletrolítica na junção de metais diferentes;
- deve-se tomar cuidado para garantir que todas as juntas estejam soldadas corretamente;
- a tubulação não deve ser instalada de maneira que dobre ou que as uniões sejam forçadas;
- onde for usado isolamento, deve-se tomar cuidado para garantir que a água não seja coletada entre o tubo e isolamento;
- a tubulação de aço tem propriedades superiores à tubulação cobre com respeito à força mecânica e faltam de suscetibilidade a vibração e endurecimento, contudo, a tubulação de metal está sujeita a corrosão externa e deve ser protegida adequadamente contra ela;
- os tubos devem ser suportados adequadamente, de acordo com o diâmetro do tubo, número de juntas, peso e distância de entre os tubos;
- a tubulação não deve ser montada onde é provável que se ande sobre ela, ou usada como barra de carga, onde isso é impossível, tampas de proteção e rótulos de advertência devem ser fornecidas;
- o encaminhamento dos tubos deve ser projetado para permitir sua expansão e contração;
- a tubulação deve ser projetada para minimizar os efeitos da vibração;
- a necessidade de se evitar golpe de líquido deve ser levada em conta, no projeto de encaminhamento da tubulação e seleção de tipos de válvulas;
- é necessário o uso de dispositivos para conter pulsações nas tubulações, caso seja decidido pelo uso de válvulas de fechamento rápido em linhas de longa distância;
- o uso de juntas mecânicas deve ser minimizado, pois os melhores métodos de junção são a solda e a brasagem. Principalmente, as conexões roscadas devem ser evitadas, já que são uma das principais fontes de vazamento;

- onde for necessário o uso de tubos e conexões flexíveis para eliminar vibrações, eles devem ser instalados em total conformidade com as instruções dos fabricantes, para assegurar que não irão causar vazamentos catastróficos.

### **2.2.3 Considerações relacionadas ao projeto e à instalação dos principais componentes do sistema**

Segundo PROKLIMA (2015), durante o projeto e instalação de outros componentes do sistema, um número de considerações importantes deve ser obedecido:

- trocadores de calor devem ser protegidos contra possíveis danos mecânicos;
- trocadores de calor que contenham água devem ser protegidos contra congelamento;
- deve-se prever a disponibilidade de acesso para o teste de vazamento de compressores, evaporadores, condensadores e componentes associados;
- onde houver risco de vazamento de fluido refrigerante para dentro da água ou outros fluidos dissipadores de calor (secundários), deve haver formas de retirar esse fluido ou fazer uma amostragem;
- os resfriadores de ar de baixa temperatura (evaporadores) e bandejas de drenagem devem ser completamente descongelados durante todo ciclo de degelo;
- os controles de degelo devem ser projetados e ajustados para evitar quaisquer operações de degelo desnecessárias, a fim de minimizar a tensão térmica;
- os trocadores de calor que contenham água devem ser protegidos contra o congelamento;
- os compressores devem ser instalados em suportes anti vibração.

### **2.2.4 Considerações relacionadas às seleções das válvulas**

De acordo com PROKLIMA (2015), as orientações seguintes devem ser levadas em consideração durante a seleção e escolha de válvulas:

devem ser providenciadas válvulas suficientes, para garantir que o serviço e a manutenção sejam realizados sem que causem perda significativa de fluido refrigerante;

- é necessário cuidado para evitar altas pressões (acima dos limites de segurança) em seções de circuito isoladas contendo fluido refrigerante líquido;

- onde for razoavelmente viável, devem ser usadas válvulas que tenham fole ou diafragma, em vez de válvulas que tenham vedação na haste;
- as válvulas com anel de vedação na haste devem ser usadas com preferência sobre as válvulas com gaxeta de vedação na haste, dado que o material do anel seja adequado para as temperaturas e fluidos envolvidos;
- onde não houver material elastômero disponível, devem ser usadas gaxetas de vedação;
- as tampas de vedação sempre devem ser encaixadas em todas as válvulas;
- sempre que possível, a válvula de segurança ou outro dispositivo, que proteja o lado de alta pressão do circuito de refrigeração, deve ser liberado para o lado de baixa pressão, mas não deve liberar o fluido diretamente para a atmosfera. Contudo, o acesso de manutenção ao dispositivo deve ser possível sem o uso de válvulas de bloqueio para intervenção;
- no lado de baixa pressão do sistema deve haver uma válvula para liberar o fluido frigorífico para a atmosfera, se a pressão continuar alta (acima do projetado);
- o lado de alta pressão do sistema não deve ser protegido por disco de ruptura, que libera o fluido para a atmosfera;
- o uso de válvulas de alívio duplo deve ser estimulado para facilitar a substituição rápida em intervalos de serviço obrigatórios e para manter a operação da planta;
- um dispositivo de indicação deve ser colocado nas saídas das válvulas de forma que seja possível verificar, durante a manutenção, se as válvulas liberaram o fluido para a atmosfera.

Com o intuito de se analisar a melhor opção em função do fluido refrigerante de melhor eficiência, a Tabela 1 apresenta o cronograma de redução e eliminação da produção e consumo de hidroclorofluorcarbonos HCFCs em favor dos refrigerantes ecologicamente corretos, conforme fontes do MMA, programa brasileiro de eliminação dos gases HCFCs.

Tabela 1: Cronograma de redução da produção e consumo de HCFSs.

	Linha de base	Congelamento	2010	2015 <sup>1</sup>	2020 <sup>2</sup>	2025 <sup>3</sup>	2030	2040
Países Artigo 5	Consumo: média 2009/2010	2013		10,0%	35,0%	67,5%	97,5%	100,0%
	Produção: média 2009/2010							
Países Artigo 2	Consumo de HCFC em 1989 + 2,8% do consumo de CFC em 1989	1996	75%	90%	99,5% (serviço)		100%	
	Produção: média da produção de HCFC de 1989 + 2,8% da produção de CFC em 1989 + 2,8% do consumo de CFC em 1989							

1 Limite para as Partes do Artigo 2 encaminharem a possibilidade ou necessidade de uso essencial de 5% para serviços;

2 Limite para as Partes do Artigo 5 encaminharem a possibilidade ou necessidade de uso essencial;

3 Limite para as Partes do Artigo 5 revisarem a necessidade de 2,5% para serviços.

Fonte: PBH Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs, 2008.

Exemplificando a classe que estão sendo substituídos, abaixo à nomenclatura técnica e norma ARSHARE de fluídos refrigerantes.

- CFC: Clorofluorcarbono, composto químico de alto poder de destruição da camada de ozônio (ODP), pois contém cloro e flúor que são poderosos gases estufa. Exemplos: R11, R12, R13 (ODP: 1,0; 0,82 e 1,0).
- HCFC: Hidroclorofluorcarbono, composto químico de menor destruição da camada de ozônio (ODP), pois contém cloro, flúor e hidrogênio e são poderosos gases estufa. Exemplos: R22, R123 (ODP: 0,05 e 0,014).
- HFC: Hidrofluorcarbono, livre de cloro, composto químico com zero de ODP, pois possui apenas hidrogênio e flúor e são poderosos gases estufa. Exemplos: R134A, R404A, R407C, R410A, R507 (ODP:0,0).

A Tabela 2 apresenta uma comparação de impacto ambiental referente aos fluídos refrigerantes, conforme fonte da cartilha de boas práticas de refrigeração para supermercados – edição 2009 do MMA, ABRAS e ABRAVA.

Tabela 2: Comparação de impacto ambiental dos refrigerantes.

Refrigerantes	R22	R404A	R507A	R134a	R410A	R407C	R422D	R427A	R717	R744	R290	R1270
Substância Natural	não	não	não	não	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim
Nome Comercial	-	-	-	-	-	-	Isceon MO29	FX100	Amônia	Dióxido Carbono	Propano	Propileno
Destruição Camada Ozônio (ODP)	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Potencial Aquecimento Global (GWP)	1500	3260	3300	1300	1725	1525	2230	1830	0	1	3	3
Inflamabilidade	não	não	não	não	não	não	não	não	baixa	não	alta	alta
Toxicidade	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	alta	baixa	baixa	baixa
Tipo de óleo lubrificante	MO/AB/MO+AB	POE	POE	POE	POE	POE	MO/AB/POE	MO/AB/POE	MO/PAO	POE	MO/PAO/POE	MO/PAO/POE
Tipo de aplicação	HT / MT / LT	MT / LT	MT / LT	HT	HT	HT	HT / MT / LT	HT / MT / LT	HT / MT / LT (Sist. Indiretos)	MT e LT	HT / MT / LT (Sist. Indiretos)	MT / LT (Sist. Indiretos)
Equipamentos	-	Novos	Novos	Novos	Novos	Novos	Existentes	Existentes	Novos	Novos	Novos	Novos

Fonte: PBH Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs, 2008.

Como critério de análise, foram pesquisadas algumas variáveis de segurança e impacto ambiental em comparação aos fluídos naturais.

A Figura 1 mostra as principais propriedades termo física, ambientais e de segurança de alguns fluidos frigoríficos naturais.

Figura 1 – Propriedade termo físicas, segurança e ambiental dos fluídos frigoríficos.

Fluido Frigorífico	CO <sub>2</sub>	R290	R1270	R600a	R717
Temperatura ebulição normal (°C)	-78,5	-42,1	-47,7	-11,61	-33,3
Pressão crítica (bar <sub>abs</sub> )	73,6	42,48	46,65	36,31	113,3
Temperatura crítica (°C)	31,1	96,7	92,40	134,70	132,3
Massa Molecular (g/mol)	44,01	44,10	42,08	58,12	17,03
Limite de inflamabilidade (% volume ar)	Inferior	Nenhum	2,1	1,8	16
	Superior	Nenhum	9,5	10,1	28
Calor de combustão (MJ/Kg)	Nenhum	53,3	50,5	49,4	22,5
Tempo de vida na atmosfera (anos)	>50	0,041	0,001	0,016	<0,02

Fonte: PBH Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs, 2015.

Os fluidos naturais se apresentam como uma alternativa promissora para o setor de refrigeração comercial, pois além de minimizarem os impactos ambientais, também podem gerar menor consumo de energia, com diversos fatores positivos e relevantes, quando comparados aos fluidos sintéticos. A Figura 2 apresenta os valores de PDO e GWP de vários fluidos frigoríficos sintéticos e naturais (SILVA, 2015).

**Figura 2 – Características de fluidos frigoríficos, em destaque os valores de PDO e GWP.**

Fluidos Frigoríficos	PDO (R11=1,0)	GWP (100) [CO <sub>2</sub> =1,0] (*2) (*3)	Grupo de segurança (*4)	Limite prático [kg/m <sup>3</sup> ] (*2)
<b>Misturas HFO e HFO/HFC</b>				
HFO-1234yf	0	4	A2(L)	0,058
HFO-1234ze(E)		6	A2(L)	N/A
Opteon XP-10		<600	A1	0,35
Solstice N-13		<600	A1	N/A
<b>Fluidos livres de Halogenos</b>				
R717	0	0	B2	0,00035
R723		8	B2	N/A
R600a		3	A3	0,011
R290		3	A3	0,008
R1270		3	A3	0,008
R170 (*1)		3	A3	0,008
R744		1	A1	0,07

Fonte: PBH Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs, 2015.

Existem vários tipos de sistemas de refrigeração por compressão a vapor, podendo ser com ciclo de compressão simples estágio, dois estágios, cascata, inundado, fluido intermediário, etc.

Este trabalho utilizou como base de cálculo o software de simulação de sistemas de refrigeração “*Product Selection Software*” que utiliza como base a plataforma “EES” (*Engineering Equation Solver*). As simulações foram realizadas considerando-se ciclo de refrigeração por compressão à vapor de simples estágio.

Comparou-se o efeito de diferentes variáveis sobre a performance do sistema de refrigeração definida pelo “COP” (Coeficiente de *Performance*) dos fluidos refrigerante R-22 e R-404A em relação ao fluido em estudo R290. As variáveis utilizadas para análise foram, temperatura de evaporação e condensação, sub-resfriamento e superaquecimento. Para analisar o efeito coeficiente de performance “COP”, foram mantidas fixas as demais variáveis do processo durante na simulação.

As seguintes variáveis utilizadas nas análises são definidas a seguir:

1. Temperaturas: TE, é a temperatura de evaporação do refrigerante (°C); TC é a temperatura de condensação do refrigerante (°C); ΔTSH é o grau de

superaquecimento (K) e  $\Delta T_{SC}$  é o grau de sub-resfriamento do líquido refrigerante (K).

2. Taxas de Transferência de calor:  $Q_E$  é a taxa de transferência de calor do evaporador (kW);  $Q_C$  é a taxa de transferência de calor do condensador (kW);  $W$  é o trabalho do compressor.

O princípio foi tomado como base um ciclo de refrigeração de simples estágio com temperaturas usuais de funcionamento para um ciclo operando com o fluido refrigerante R-22, R404a em comparação ao R290. Para esta simulação foi admitido que as perdas de pressão das linhas de sucção e descarga do compressor, as perdas de calor do compressor, as perdas de calor da linha de sucção e os graus de superaquecimento e sub-resfriamento foram considerados nulos. A eficiência isentrópica do compressor foi admitida 100%.

De posse de suas características foi determinado que a temperatura de evaporação estará operando à  $-10^{\circ}\text{C}$  (regime de média temperatura),  $-30^{\circ}\text{C}$  (regime de baixa temperatura) e temperatura de condensação de  $45^{\circ}\text{C}$  e em seguida foi feita uma primeira comparação entre ambos os refrigerantes.

### 3 METODOLOGIA

Nesse capítulo é apresentada a metodologia empregada para o estudo de caso para análise de eficiência da aplicação do efeito de diferentes variáveis sobre a performance do sistema de refrigeração definida pelo “COP” (Coeficiente de *Performance*) dos fluidos refrigerante R-22 e R-404A em relação ao fluido em estudo R290.

Shehata (2009) realizou as ações para melhoria na eficiência e otimização de um sistema de refrigeração industrial devem avaliar a o sistema de refrigeração, desde a sua geração na sala de máquinas, envolvendo o sistema de compressão e Condensação e consumo nos evaporadores.

Silva (2015) afirmou que existem vários tipos de sistemas de refrigeração por compressão a vapor, podendo ser com ciclo de compressão simples estágio, dois estágios, cascata, inundado, fluido intermediário, etc.

Este trabalho utilizou como base de cálculo o software de simulação de sistemas de refrigeração “*Product Selection Software*” que utiliza como base a plataforma “EES” (*Engineering Equation Solver*). As simulações foram realizadas considerando-se ciclo de refrigeração por compressão à vapor de simples estágio. As variáveis utilizadas para análise foram, temperatura de evaporação e condensação, sub-resfriamento e superaquecimento. Para analisar o efeito coeficiente de performance “COP”, foram mantidas fixas as demais variáveis do processo durante na simulação.

As seguintes variáveis utilizadas nas análises são definidas a seguir:

- Temperaturas: TE, é a temperatura de evaporação do refrigerante (°C); TC é a temperatura de condensação do refrigerante (°C);  $\Delta TSH$  é o grau de superaquecimento (K) e  $\Delta TSC$  é o grau de sub-resfriamento do líquido refrigerante (K).
- 2. Taxas de Transferência de calor: QE é a taxa de transferência de calor do evaporador (kW); QC é a taxa de transferência de calor do condensador (kW); W é o trabalho do compressor.

O princípio foi tomado como base um ciclo de refrigeração de simples estágio com temperaturas usuais de funcionamento para um ciclo operando com o fluido refrigerante R-22, R404a em comparação ao R290. Para esta simulação foi admitido que as perdas de pressão das linhas de sucção e descarga do compressor, as perdas de calor do compressor, as perdas de calor da linha de sucção e os graus de

superaquecimento e sub-resfriamento foram considerados nulos. A eficiência isentrópica do compressor foi admitida 100% (SILVA, 2015).

De posse de suas características foi determinado que a temperatura de evaporação estará operando à  $-10^{\circ}\text{C}$  (regime de média temperatura) e temperatura de condensação de  $45^{\circ}\text{C}$  e em seguida foi feita uma primeira comparação entre ambos os refrigerantes.

O sistema em análise, é composto por um circuito frigorífico de simples estágio de expansão direta para utilização do R290 (propano), com compressor *Scroll* e condensador a ar.

Descrição dos principais componentes em análise:

- Compressor: *Copeland* modelo ZB49KCU / ZB48KCE
- Temperatura de evaporação:  $-10^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de condensação:  $45^{\circ}\text{C}$
- Diferencial de sub-resfriamento:  $5^{\circ}\text{C}$
- Diferencial de superaquecimento:  $10^{\circ}\text{C}$

**Figura 3 – Software de Capacidade de Compressores**

Informação do Compressor			
Modelo do Compressor:	ZB49KCU-TFM	Fase:	3
Refrigerante:	R-290	Frequencia (Hz):	50
Volts:	380-420	Aplicação:	Medium Temperature
RLA (MCC/1.4) (Amps):	0.0	MCC (Amps):	0.0
RLA (MCC/1.56) (Amps):	0.0	LRA (Amps):	102.0
HP:	NA	Status	OEM Production
Basis:	Dew Point		

Entrada			
Temperatura Condensação ( $^{\circ}\text{C}$ ):	45.0	Superaquecimento do Evaporador (K):	5.0
Temperatura de Evaporação ( $^{\circ}\text{C}$ ):	-10.0	Superaquecimento Compressor (K):	10.0
Temp. Retorno do Gás ( $^{\circ}\text{C}$ ):	0.0	Sub-Resfriamento Total (K):	5.0

Resultados			
Capacidade do Compressor (W):	10,950	Taxa de Fluxo de Refrigerante (gm/s):	40.0
Efeito de Refrigeração Líquida (W):	10,650	Corrente (Amps):	8.0
Potência (W)	4,290	Isentropic Efficiency (%):	69.1
Compressor COP:	2.55	Temp de Líquido ( $^{\circ}\text{C}$ ):	40.0
Evaporador COP:	2.48	Temp. De Descarga ( $^{\circ}\text{C}$ ):	73.0
Calor Rejeitado no Condensador (W):	15,240		

Fonte: Ubukata e Ribeiro, 2017.

**Figura 4 – Software de Capacidade de Compressores**

Informação do Compressor			
Modelo do Compressor:	ZB48KCE-TFD	Fase:	3
Refrigerante:	R-22	Frequencia (Hz):	50
Volts:	380-420	Aplicação:	High Temp
RLA (MCC/1.4) (Amps):	12.1	MCC (Amps):	17.0
RLA (MCC/1.56) (Amps):	10.9	LRA (Amps):	101.0
HP:	6.5	Status	OEM Production
Basis:	Dew Point		

Entrada			
Temperatura Condensação (°C):	45.0	Superaquecimento do Evaporador (K):	5.0
Temperatura de Evaporação (°C):	-10.0	Superaquecimento Compressor (K):	10.0
Temp. Retorno do Gás (°C):	0.0	Sub-Resfriamento Total (K):	5.0

Resultados			
Capacidade do Compressor (W):	10,850	Taxa de Fluxo de Refrigerante (gm/s):	69.0
Efeito de Refrigeração Líquida (W):	10,600	Corrente (Amps):	9.1
Potência (W)	4,630	Iseotropic Efficiency (%):	62.5
Compressor COP:	2.34	Temp de Líquido (°C):	40.0
Evaporador COP:	2.29	Temp. De Descarga (°C):	103.0
Calor Rejeitado no Condensador (W):	15,480		

Fonte: Ubukata e Ribeiro, 2017.

**Figura 5 – Software de Capacidade de Compressores**

Informação do Compressor			
Modelo do Compressor:	ZB48KCE-TFD	Fase:	3
Refrigerante:	R-404A , Dew Pt.	Frequencia (Hz):	50
Volts:	380-420	Aplicação:	Medium Temperature
RLA (MCC/1.4) (Amps):	13.6	MCC (Amps):	19.1
RLA (MCC/1.56) (Amps):	12.2	LRA (Amps):	101.0
HP:	6.5	Status	OEM Production
Basis:	Dew Point		

Entrada			
Temperatura Condensação (°C):	45.0	Superaquecimento do Evaporador (K):	5.0
Temperatura de Evaporação (°C):	-10.0	Superaquecimento Compressor (K):	10.0
Temp. Retorno do Gás (°C):	0.0	Sub-Resfriamento Total (K):	5.0

Resultados			
Capacidade do Compressor (W):	11,700	Taxa de Fluxo de Refrigerante (gm/s):	106.0
Efeito de Refrigeração Líquida (W):	11,200	Corrente (Amps):	10.3
Potência (W)	5,520	Iseotropic Efficiency (%):	63.1
Compressor COP:	2.12	Temp de Líquido (°C):	39.7
Evaporador COP:	2.03	Temp. De Descarga (°C):	73.0
Calor Rejeitado no Condensador (W):	17,220		

Fonte: Ubukata e Ribeiro, 2017.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 6 apresenta os resultados obtidos no software “*Product Selection Software*”, onde a partir dele foi feito o comparativo de capacidade frigorífica, eficiência térmica do sistema e potência consumida.

**Figura 6 – Comparativo de Eficiência Energética**

Comparativo de Eficiência Enérgica - Ciclo de Compressão à Vapor (Expansão Direta)			
Fluído Refrigerante	R290	R404A	R22
Tipo de Fluído	Natural	HFC	HCFC
Condição de projeto média temperatura	Tevaporação = -10°C Tcondensação = 45°C	Tevaporação = -10°C Tcondensação = 45°C	Tevaporação = -10°C Tcondensação = 45°C
Compressores Scroll	01 x ZB49KCU	01 x ZB48KCE	01 x ZB48KCE
Capacidade Requerida	10 kW	10 kW	10 kW
Capacidade Fornecida	10,95 kW	11,7 kW	10,85 kW
Potência consumida	4,29 kW	5,52 kW	4,63 kW
Coeficiente de performance COP	2,55	2,12	2,34
Eficiência Energética R290 X R404a	29% mais econômico		
Eficiência Energética R290 X R22	8% mais econômico		

Fonte: Ubukata e Ribeiro, 2017.

#### **4.1 Temperatura de Evaporação**

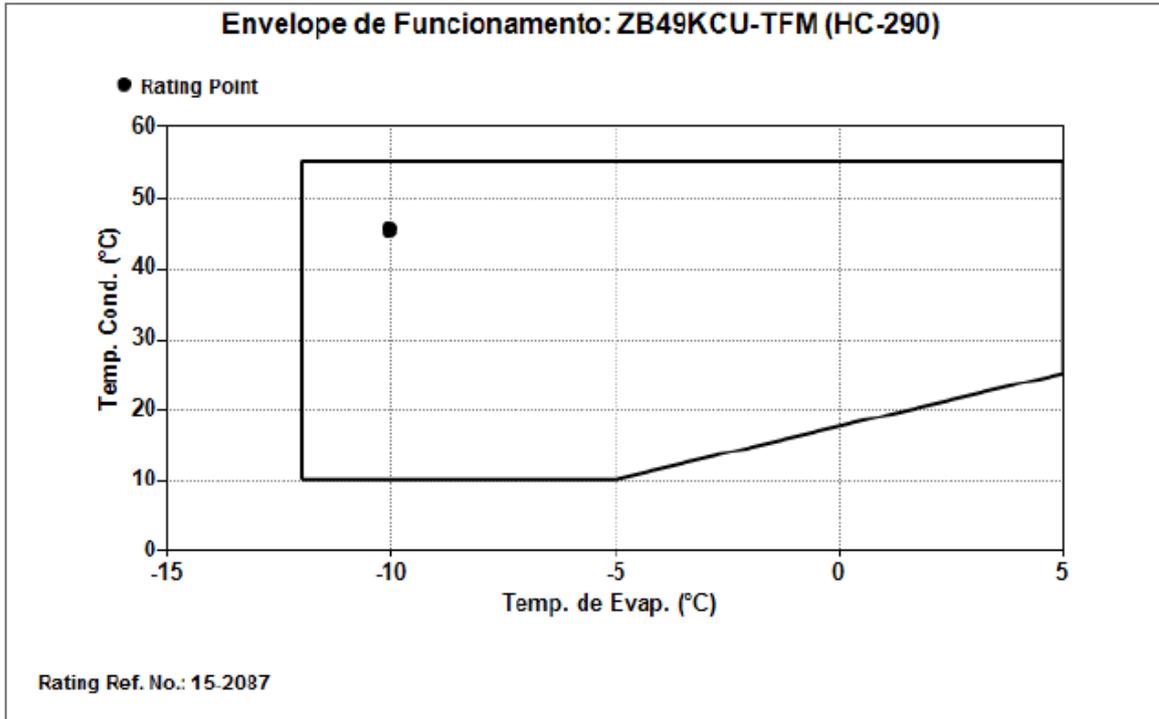
Com a variação de fluido refrigerante pode se verificar que a performance de transferência de calor com o R290 é superior ao R404a e R22 para a temperatura de evaporação em estudo, pois a relação de quanto se gera de energia térmica e os gastos de energia elétrica é consideravelmente alto em relação ao R404a e relativamente maior que o R22, sempre considerando que o comparativo é de fluido natural em relação aos fluidos sintéticos que destroem a camada de ozônio e contribuem para o aquecimento global.

#### **4.2 Temperatura de Condensação**

A variação na temperatura de condensação para os fluidos em estudo tem uma variação de 1% na capacidade, sendo praticamente desprezível. Podemos verificar também que a temperatura de condensação nos comparativos de fluidos tem uma diferença considerável, em função da faixa permitida para trabalho do compressor, conforme Figuras 7, 8 e 9.

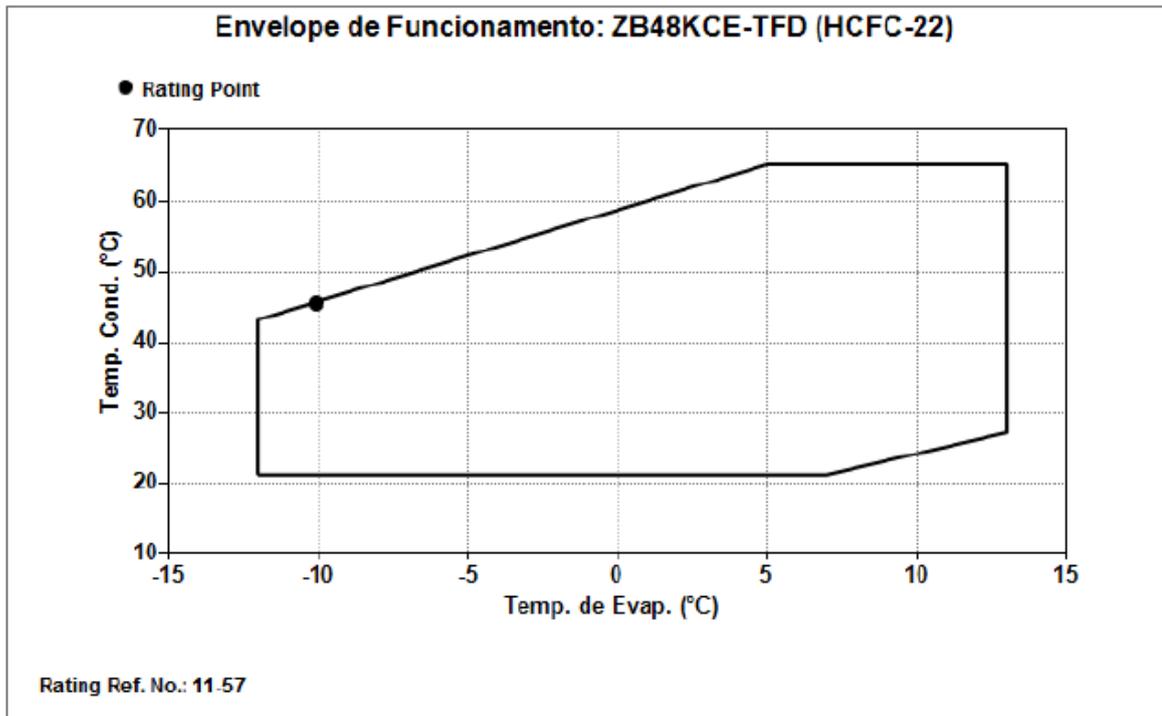
Na análise em questão, também podemos verificar que a faixa permitida pelo compressor também é definida não só pelas características termodinâmica do fluido de ponto crítico onde não é possível ocorrer a condensação, mas também devido a altas temperaturas de descarga, onde se limita a faixa de operação devido ao trabalho de alta temperatura no motor do compressor e conseqüente deterioração do óleo e queima do motor ou quebra do compressor.

**Figura 7 – Envelope do Compressor R290**



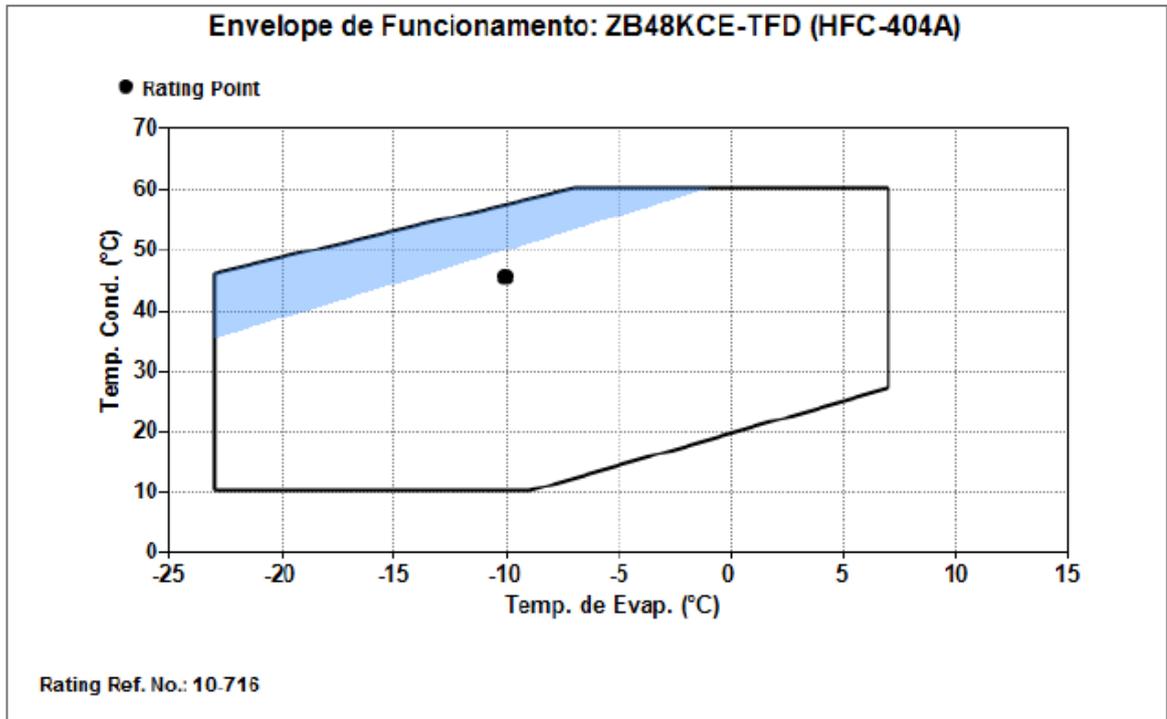
Fonte: Ubukata e Ribeiro, 2017.

**Figura 8 – Envelope do Compressor R22**



Fonte: Ubukata e Ribeiro, 2017.

Figura 9 – Envelope do Compressor R404a



Fonte: Ubukata e Ribeiro, 2017.

## 5 CONCLUSÃO

Em um cenário como este, com base nos resultados obtidos, pode se concluir como alternativa para aplicações em média temperatura, a utilização do R290 (propano), com compressores *scroll* e condensador a ar satisfazem algumas vantagens técnicas e ecológicas, tendo seu coeficiente de *performance* “COP” elevado, garantido um nível satisfatório na relação de energia produzida versus consumida, tendo dentre suas características termodinâmicas uma pressão de evaporação não muito baixa, evitando o compressor trabalhar em vácuo e baixa eficiência volumétrica. Dentre outras características observadas, o elevado calor latente de vaporização, reduzindo a vazão de refrigerante para uma determinada capacidade de refrigeração e alta condutibilidade térmica, favorecendo a transferência de calor e não sendo prejudicial ao meio ambiente, preservando a camada de ozônio e aquecimento global.

Quanto à segurança operacional, com pequena carga de fluido refrigerante, respeitando os critérios de ventilação e boas práticas de instalação e manutenção, minimizam o máximo os riscos de um eventual incêndio. A inovação tecnológica tem contribuído para utilização de fluidos refrigerantes naturais como uma solução segura e econômica.

Conclui-se que o fluido refrigerante natural R290, projetado e operado dentro os cuidados previstos no projeto e operado nas boas práticas, é uma excelente opção para substituição dos fluidos sintéticos considerados não ecológicos.

## REFERÊNCIAS

- CLETO, L. T. **Aplicação de CO<sub>2</sub> como fluido refrigerante no setor de refrigeração industrial.** São Paulo, 2008. Disponível em:<<http://protocolodemontreal.org.br/eficiente/repositorio/publicacoes/601.pdf>>, Acesso em: 14 maio 2017.
- HAMMAD, M.A., ALSAAD, M.A., *The use of hydrocarbon mixtures as refrigerants in domestic refrigerators.* *Applied Thermal Engineering* 19 (1999) 1181-1189
- PEIXOTO, R. A., **Uso de fluidos refrigerantes hidrocarbonetos – Estado atual e tendências.** São Paulo, 2008. Disponível em:<<http://protocolodemontreal.org.br/eficiente/repositorio/publicacoes/601.pdf>>, acesso em: 14 maio 2017.
- PROKLIMA, D. C., **Orientações para uso seguro de fluidos frigoríficos hidrocarbonetos.** Brasília, 2015. Disponível em:<<http://boaspraticasrefrigeracao.com.br/publicacoes>>, acesso em: 15 maio 2017.
- SILVA, A., **Aplicação de CO<sub>2</sub> no setor de refrigeração comercial para supermercados.** São Paulo, 2008. Disponível em:<<http://protocolodemontreal.org.br/eficiente/repositorio/publicacoes/601.pdf>>, acesso em: 14 maio 2017.
- SILVA, A., **Fluidos Frigoríficos Naturais em Sistemas de Refrigeração Comercial.** Brasília, 2015. Disponível em:<<http://boaspraticasrefrigeracao.com.br/publicacoes>>, acesso em: 15 maio 2017.
- TASHTOUSH, B., TAHAT, M., SHUDEIFAT, M.A., *Experimental study of new refrigerant mixtures to replace R12 in domestic refrigerators.* *Applied Thermal Engineering* 22 (2002) 495-506.
- EMERSON CLIMATE TECHNOLOGIES., **Product Selection Software: Compressor Performance Calculator and Energy Calculator.** Disponível em:<[http://www.emersonclimate.com/en-us/resources/calculators/Pages/product\\_selection\\_software.aspx](http://www.emersonclimate.com/en-us/resources/calculators/Pages/product_selection_software.aspx)>. Acesso em: 10 out. 2017.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (Org.). **AÇÕES BRASILEIRAS PARA PROTEÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO: Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs - PBH.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/protacao-da-camada-de-ozonio/acoes-brasileiras-para-protacao-da-camada-de-ozonio/programa-brasileiro-de-eliminacao-dos-hcfc-pbh>>. Acesso em: 30 maio 2017.

SHEHATA, B. **Refrigeration Optimization**. Anheuser-Busch InBev. Nova York, 2009.