



## ADAPTAÇÃO DE UM COMPRESSOR ALTERNATIVO DE REFRIGERAÇÃO ISENTO DE ÓLEO

José de Castro <sup>(1)</sup> ([castro.silva@univasf.edu.br](mailto:castro.silva@univasf.edu.br)), Alan Christie Dantas <sup>(2)</sup> ([alan.dantas@univasf.edu.br](mailto:alan.dantas@univasf.edu.br)), Alan Murilo Ferreira <sup>(3)</sup> ([murilosferreira@hotmail.com](mailto:murilosferreira@hotmail.com)), Anderson Breno <sup>(4)</sup> ([anderson\\_breno@hotmail.com](mailto:anderson_breno@hotmail.com)).

<sup>(1)</sup> Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF); Docente do Colegiado de Eng. Mecânica

<sup>(2)</sup> Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF); Docente do Colegiado de Eng. Mecânica

<sup>(3)</sup> Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF); Discente do Colegiado de Eng. Mecânica

<sup>(4)</sup> Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF); Discente do Colegiado de Eng. Mecânica

**RESUMO:** *Diante dos problemas ambientais que convivemos atualmente, a busca incessante por tecnologias mais eficientes aparecem como determinantes para a manutenção dos recursos naturais do planeta. Neste cenário, os compressores utilizados em refrigeração doméstica surgem como protagonistas devido a sua imensa difusão. Estes compressores carregam consigo uma determinada quantidade de óleo lubrificante. Devido à presença do óleo é necessário à adição de alguns componentes ao ciclo de refrigeração e, ao se misturar com o fluido refrigerante, o óleo cria uma camada de isolamento térmico nos evaporadores, sendo assim responsável pela redução da capacidade frigorífica dos sistemas. Assim, este artigo é uma síntese do processo de adaptação e construção de um compressor alternativo de refrigeração isento de óleo (CARIO) aplicado em um sistema de refrigeração doméstico. Após projetar e aplicar os novos componentes necessários para a adaptação foram realizados testes onde a corrente elétrica se manteve a 2,3A que atende a faixa de operação recomendada pelo fabricante, não houve superaquecimento ou geração excessiva de calor, o desgaste dos componentes não foi excessivo e os ruídos se mantiveram na média de 86dB.*

**PALAVRAS-CHAVE:** *Refrigeração, isento de óleo, compressor alternativo.*

### ADAPTATION OF AN ALTERNATIVE OIL FREE REFRIGERATION COMPRESSOR

**ABSTRACT:** *Given the environmental problems that currently coexist, the relentless pursuit of more efficient technologies appear as crucial in maintaining the planet's natural resources. In this scenario, the compressors used in household refrigeration play an important role due to their widespread use. These compressors carry a certain amount of lubricating oil. Due to the presence of oil, the addition of certain components to the refrigeration cycle is required and, when mixed with the refrigerant, the oil creates a thermal insulation layer in the evaporators, which in turn reduces the cooling capacity of the systems. So this article is a synthesis of the adaptation and construction of an alternative oil free refrigeration compressor (CARIO) used in a domestic refrigeration system. After designing and implementing the new components needed for adaptation, tests were carried out while the electric current was maintained at 2.3A, which meets the operating range recommended by the manufacturer. Also no overheating or excessive heat generation were observed, component wear was not excessive and noise remained on average at 86dB during tests.*

**KEYWORDS:** *Refrigeration, oil free, alternative compressor.*

## 1. INTRODUÇÃO

(PIZARRO, 2007) *Desde a Antiguidade, coisas tão simples como armazenar alimentos ou manter água fria por um período prolongado foram tornando-se essenciais para o estilo de vida adquirido pela humanidade. Com o objetivo de poder suprir estas necessidades, que se faziam a cada dia mais indispensáveis, o homem teve que recorrer a toda a sua engenhosidade para poder dominar a produção do tão almejado frio.*

Para o alcance de tal objetivo, surgiram no século XIX os ciclos de compressão mecânica de vapor. Estes ciclos caracterizavam-se por possuir essencialmente cinco componentes: Compressor, condensador, dispositivo de expansão, evaporador e o fluido refrigerante. Dentre estes o compressor tem a finalidade de aumentar a pressão do sistema e conseqüentemente bombear o fluido refrigerante para que o segundo possa percorrer todo o ciclo retirando calor do ambiente refrigerado e descartando-o posteriormente.

(GOMES; DESCHAMPS, 2006) *Até meados da década de 70, os compressores alternativos dominavam o mercado de refrigeração e condicionamento de ar. A confiabilidade era o fator de maior interesse e parâmetros como eficiência, peso e tamanho não tinham a mesma importância. Porém, com o aumento do preço dos combustíveis e a necessidade crescente de conservação dos recursos energéticos, estes parâmetros começaram a ser requisitos cruciais para a indústria de refrigeração e condicionamento de ar. Com isso o compressor alternativo sofreu inúmeras modificações de projeto a fim de atender as novas necessidades.*

Dentre estes estudos visando o aumento da eficiência do ciclo de refrigeração por compressão de vapor como um todo, Silva J.C. (2010) utilizou um compressor alternativo isento de óleo, projetado de início para sistemas de ar comprimido, em refrigerador doméstico utilizando como fluido refrigerante o R-600a (isobutano). Como resultado atestou que o referente compressor apresentou níveis aceitáveis de pressão e concluiu preliminarmente que há possibilidade de se utilizar compressores isentos de óleo.

Atualmente o óleo lubrificante é parte comum de sistemas de refrigeração por compressão de vapor. Porém, são muitos os prejuízos ambientais e econômicos ocasionados por sua aplicação. Ao passar pelo compressor o fluido refrigerante se mistura com o óleo, arrastando-o pela tubulação. Devido à presença deste óleo se fazem necessários, em alguns casos, componentes adicionais nos equipamentos de refrigeração visando o bom funcionamento do sistema. Além disso, o óleo lubrificante do compressor ao entrar em contato com o evaporador cria sobre eles um isolamento térmico impedindo a perfeita retirada de calor do ambiente, causando assim, queda da eficiência energética do sistema.

(MARCELINO NETO, 2011) *A indústria da refrigeração tem pautado suas transformações na busca por fluidos refrigerantes ecologicamente corretos e no melhoramento da eficiência energética de seus sistemas em todos os segmentos de aplicação, pois no que se refere especificamente à indústria da refrigeração, o aquecimento global não é resultado apenas de emissões diretas, ou seja, aquelas resultantes de vazamentos de fluido refrigerante durante a vida útil das instalações e aparelhos e no seu descarte, como também do excesso de energia causado pelo mau desempenho dos compressores e sistemas de refrigeração.*

O mesmo Marcelino Neto (2011) analisou a termodinâmica e fenômenos de absorção em misturas de óleos lubrificantes e fluidos refrigerantes de baixo impacto ambiental, concluindo que, a depender da quantidade de óleo lubrificante, constata-se uma queda da capacidade frigorífica do sistema, aumento do trabalho de compressão, necessidade de maior pressão de evaporação a fim de manter o superaquecimento e conseqüente redução do coeficiente de performance (COP).

### **1.1 Objetivo**

O presente artigo tem por finalidade apresentar o processo de produção de um compressor alternativo de refrigeração isento de óleo. Aplicando-o posteriormente, num outro trabalho, em refrigeração doméstica a fim de analisar seu comportamento, atestando ou não, sua viabilidade. Para tal, utilizou-se um compressor habitual de refrigerador doméstico que utiliza óleo lubrificante e um compressor odontológico isento de óleo, onde se estudou as características de construção de cada um deles, os materiais utilizados e quais adaptações necessárias. Para os testes foi escolhido como fluido refrigerante o R-600a devido as suas baixas pressões de trabalho.

## **2. METODOLOGIA**

A execução do projeto foi dividida em quatro fases:

1. Estudo construtivo de cada um dos compressores;
2. Caracterização dos materiais utilizados em suas construções;
3. Projeto de adaptação e construção do C.A.R.I.O;
4. Validação dos meios utilizados através de testes.

### **2.1 Estudo construtivo dos compressores**

Os dois compressores foram abertos com a finalidade de serem avaliadas suas diferenças construtivas analisando detalhadamente cada componente que os diferem entre si. Apenas as diferenças relacionadas às câmaras de compressão foram consideradas, já que o intuito do presente

trabalho é relacionado apenas ao processo compressivo, independente dos componentes responsáveis pelo acionamento de cada compressor. Assim, as principais diferenças identificadas foram as seguintes:

- Presença de rolamentos na biela do compressor isento de óleo com a finalidade de reduzir o atrito;
- Anéis de seguimento e de vedação do compressor isento de óleo construídos com material polimérico para vedação do fluido e redução do atrito;
- Camisa com material diferente da carcaça do compressor isento de óleo;
- Junta de vedação entre as válvulas responsáveis pela descarga e sucção no compressor isento de óleo;
- Carcaça aletada da câmara de compressão no compressor isento de óleo.

## 2.2 Caracterização do materiais

Foram coletadas amostras dos elementos diferentes que compõem a câmara de compressão de cada um dos modelos.

De início, foi coletada uma amostra de 5g do material polimérico do anel de segmento e do anel de vedação do compressor odontológico, mostrados na Fig. 1, para análise laboratorial no espectrofotômetro infravermelho por transformada de Fourier modelo IR Prestige 21 marca Shimadzu com varredura de 400 a 4500 cm<sup>-1</sup>.



**FIGURA 1.** Foto dos anéis de vedação e guia do compressor odontológico.

Os metais foram separados em três amostras que continham amostras do pistão do compressor odontológico e do refrigerador doméstico, além da carcaça e camisa do pistão do compressor isento de óleo como evidenciados na Fig. 2. Posteriormente as amostras coletadas foram encaminhadas para análise da composição química no Microscópio Eletrônico de Varredura de Bancada HITACHI TM-1000, e análise metalográfica.



**FIGURA 2.** Foto das amostras coletadas do pistão do compressor isento de óleo.

As amostras foram embutidas à quente com baquelite, lixadas na politriz com lixas d'água, polidas e atacadas quimicamente utilizando o teste de contrastação com o reagente de Keller, onde este (NASCIMENTO, 2007) *evidencia os limites de grão e diferencia os precipitados*. O reagente de Keller é composto por 2ml de HF, 3ml de HCl, 5ml de HNO<sub>3</sub> e 190ml de água.

### **2.3 Projetos de dimensionamento e adaptação de C.A.R.I.O**

Diante dos resultados obtidos na caracterização dos materiais, foi projetada a adaptação e o dimensionamento de cada um dos novos componentes, selecionando os materiais semelhantes e usinando-os posteriormente. Assim, foram construídos:

- Um pistão a ser utilizado no C.A.R.I.O semelhante ao pistão do compressor odontológico isento de óleo;
- Uma camisa para o cilindro de compressão;
- Anéis de segmento e vedação a partir do material polimérico utilizado no compressor odontológico.
- No processo adaptativo recorreu-se a adição de rolamentos na cabeça e no pé da biela visando à redução do atrito, além de que, foi necessário o dimensionamento da nova biela com base na biela do compressor odontológico isento de óleo. Para melhorar o acesso ao C.A.R.I.O, sua carcaça foi adaptada para permitir remontagem e ajustes do mesmo.

### **2.4 Testes e implementações**

Após a construção e adaptação das peças projetadas uma banca de testes foi montada para que fossem avaliados parâmetros como nível de ruídos do compressor, comportamento do material polimérico na camisa do cilindro, desgastes nos mancais e nas partes móveis, temperaturas internas do compressor, da manivela do rotor, na região da camisa e ainda avaliada a corrente elétrica, tudo

isto após o compressor iniciar operação. No decorrer do teste foram necessários ajustes devido a folgas ocasionadas pelas inconformidades entre as peças projetadas e as reais.

### 3. RESULTADOS OBTIDOS

#### 3.1 Caracterização dos materiais

A partir da análise espectrográfica identificou-se que o material utilizado nos anéis de vedação e o guia é o Politetrafluoretileno mais conhecido como Teflon e que a camisa do compressor odontológico é uma liga de cobre-zinco, conhecida como latão, mais precisamente o latão alpha devido a sua porcentagem de zinco no composto.

‘O resultado do ataque de Keller identificou que os metais utilizados apresentaram características de fundido para carcaças e pistões.

Para os pistões, em ambos os compressores identificou-se como composição química uma liga de alumínio-silício, sendo diferenciados apenas pela quantidade de silício, onde no compressor isento de óleo esta quantidade foi maior que no compressor de refrigeração doméstica.

Na carcaça do compressor isento de óleo, pela espectrografia, identificou-se uma liga de alumínio-silício-ferro-cobre.

Abaixo, será apresentada a tabela 1 que evidencia e resume a porcentagem de cada elemento encontrada nos materiais avaliados.

**TABELA 1.** Resultado da porcentagem de cada elemento que compõe metais dos componentes

<b>Componente</b>	<b>Elemento</b>	<b>Peso%</b>
<b>Carcaça do compressor isento de óleo</b>	<b>Alumínio</b>	<b>79,5</b>
	Silício	15,8
	<b>Ferro</b>	<b>4,5</b>
	Cobre	0,3
<b>Camisa do compressor isento de óleo</b>	Cobre	62,7
	<b>Zinco</b>	<b>37,3</b>
<b>Pistão do compressor de refrigeração</b>	<b>Alumínio</b>	<b>94,4</b>
	Silício	5,2
	<b>Cobre</b>	<b>0,4</b>
<b>Pistão do compressor isento de óleo</b>	<b>Alumínio</b>	<b>88,9</b>
	Silício	11,1

## **3.2 Adaptação dos componentes**

### **3.2.1 Dimensionamento do pistão**

Visando a manutenção das características do compressor de refrigeração doméstica como razão de compressão, razão volumétrica e pressões da trabalho, o novo pistão foi dimensionado de maneira semelhante ao original, apenas diferenciando-se por agora conter rasgos para abrigar o anel de vedação e anel guia advindos do compressor odontológico.

Para construção do novo pistão foi utilizado o alumínio 6351 devido às semelhanças entre suas propriedades mecânicas com as propriedades mecânica do material do pistão do compressor isento de óleo. Tanto o novo pistão quanto os anéis foram confeccionados no torno universal Nardini MS 2206 Gold.

### **3.2.2 Dimensionamento da biela**

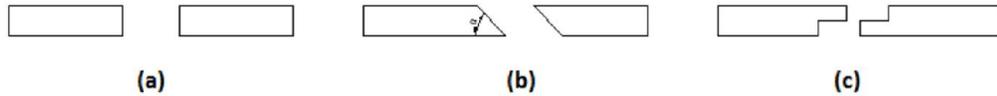
A construção da nova biela teve por inspiração a biela do compressor odontológico. No segundo, a biela é acompanhada por rolamentos a fim de se minimizar o atrito. Para a construção foi mantida a distancia entre os eixos para que não houvesse alteração nas propriedades do C.A.R.I.O em comparação com o compressor de refrigeração doméstico.

O material escolhido para a biela foi o mesmo do pistão do C.A.R.I.O, alumínio 6351, usinado através do Centro de Usinagem CNC Romi D600.

Considerando as dimensões da biela, foi escolhido como melhor rolamento aplicável ao sistema o do tipo agulha. Para a cabeça da biela o modelo do rolamento foi o HK 0709 e para o pé da biela HK 1210.

### **3.2.3 Dimensionamento dos anéis de vedação e guia**

Os anéis foram dimensionados para que houvesse o perfeito encaixe no pistão do C.A.R.I.O e foram confeccionados com Politetrafluoretileno assim como no compressor odontológico. Esses elementos são responsáveis pelas maiores diferenças entre os compressores usados como base, já que, no compressor isento de óleo o material polimérico reveste praticamente toda a área externa do êmbolo. Visando uma maior vedação, foram confeccionados os anéis com gap sobreposto. Segundo Silva (2009) o gap é a folga que deve existir entre as pontas dos anéis de vedação, e também nos anéis guias, partidos, após a montagem do pistão na camisa do cilindro para acomodar dilatação do anel quando submetido à temperatura de trabalho. Estes podem ser de três formas:



**FIGURA 3.** Tipos de gaps. (a) Ponta reta, (b) Ponta com ângulo e (c) Sobreposto.

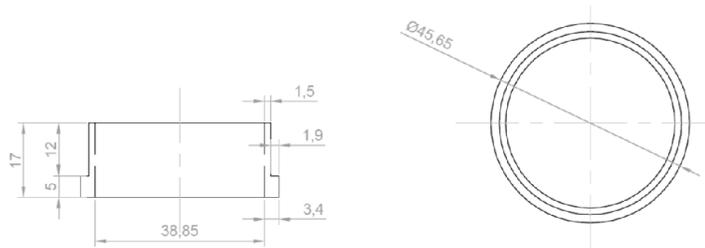
### 3.2.4 Adaptação da camisa do cilindro

A camisa do cilindro não foi alterada, já que, as camisas são utilizadas habitualmente em cilindros que comprimem gases corrosivos a médias e altas pressões. Os fabricantes de compressores que trabalham a baixa pressão e com gases não corrosivos ainda utilizam camisa nos cilindros em seus projetos pelo fato de que ao ocorrer o desgaste apenas a camisa seria trocada e não o cilindro completamente para os casos onde não as existam. Outro ponto que foi considerado para que não fosse confeccionada uma nova camisa do cilindro foi sua dificuldade de construção.

Foi realizada a medição da rugosidade da camisa do cilindro obtendo como valor  $0,172\mu\text{m}$ . Este valor está abaixo do que se considera ideal (entre  $8\mu\text{m}$  e  $12\mu\text{m}$ ) porém para o nosso intuito ele é válido. Isto porque o valor abaixo indica que a parede da camisa é muito lisa e isto faria com que o atrito entre os anéis e a parede fosse mínimo, ocasionando em pouca geração de calor e desgaste do material.

### 3.2.5 Dimensionamento dos mancais de rolamento

Sabendo das regiões do compressor onde o atrito deve ser considerado, foram utilizados artifícios para minimizá-los. No caso do eixo do rotor, este apresenta três pontos de contato que merecem maior atenção. O primeiro trata-se do pé da biela onde, como já foi comentado, foi adicionado um rolamento. O segundo ponto é a região onde gira o rotor do virabrequim onde foi adicionada uma pequena bucha de politetrafluoretileno para minimizar o atrito, como é demonstrado na Fig. 4. Para o terceiro ponto de contato, na base do compressor, foi realizada uma alteração visando a adição de um rolamento. O rolamento de esfera 61804-2RS1 foi o melhor para a situação por ser blindado e não necessitar de lubrificação constante.



**FIGURA 4.** Bucha de politetrafluoretileno utilizada como mancal

### 3.2.5 Adaptação da carcaça do compressor

Para facilitar o acesso ao compressor, sabendo do fato de que este é um protótipo experimental que requer ajustes, aproveitou-se a abertura necessária para adaptação dos componentes, adicionando um flange superior a fim de transformar a parte de cima do compressor em uma tampa. Entre esta tampa e a parte inferior do compressor foi adicionada uma borracha para que fosse evitado o vazamento do fluido refrigerante do sistema. Esta borracha é um anel para vedação de amônia muito utilizada na vedação de fluido refrigerante de plantas de grande porte. A tampa foi então fixada na parte inferior do compressor por doze parafusos sextavados de  $\frac{1}{4}$ ” com porcas e arruelas.

### 3.3 Testes de validação

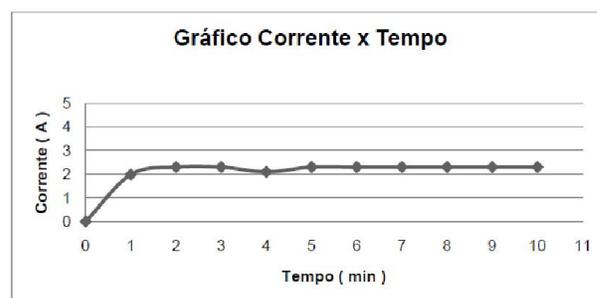
Após alterações, foi realizado um pré-teste no compressor adaptado onde o motor indicou uma amperagem de 2,3A, dentro dos padrões do fabricante, elevado ruído e nenhum desgaste aparente. O ruído foi devido a presença de cantos vivos nos componentes. Para minimizá-lo foi efetuado pequenos chanfros de 1 mm nas respectivas peças.

Então, mais um teste foi realizado colocando o C.A.R.I.O. em funcionamento e, a cada minuto, foram coletado dados como ruído, temperatura nos pontos onde o Politetrafluoretileno foi inserido, corrente do motor elétrico.

O teste transcorreu normalmente até o minuto 14 de funcionamento quando o motor elétrico apresentou dificuldade de rotação elevando assim a corrente elétrica.

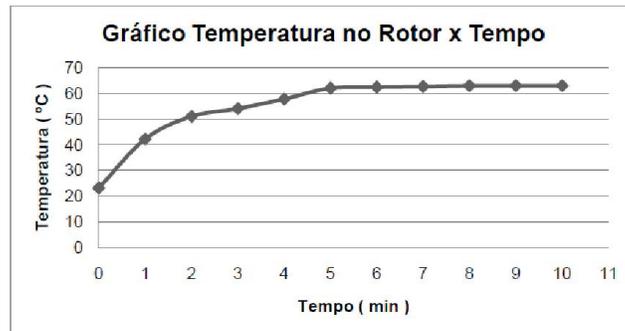
Após desligar o motor e analisá-lo constatou-se que o problema ocorreu devido a uma folga ocasionada por desgaste da bucha de Politetrafluoretileno dimensionada para funcionar como mancal de rolamento. O travamento ocorreu, pois o calor dilatou a bucha e esta passou a girar em conjunto com o motor criando interferência entre o rotor e a carcaça.

A figura 5 apresenta o gráfico da corrente do C.A.R.I.O. onde a partir dele fica explicito que a corrente permaneceu bem próxima a faixa de recomendação do fabricante de 2A.

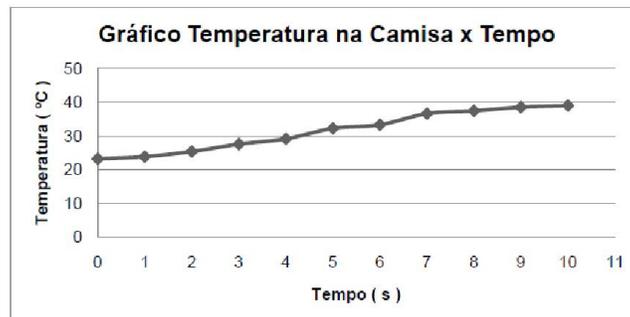


**FIGURA 5.** Gráfico da corrente no C.A.R.I.O.

Os dois gráficos que serão apresentados abaixo correspondem as temperaturas medidas. A figura 6 evidencia que a temperatura no rotor da manivela cresceu rapidamente e se estabilizou na casa de 63° C. Isto ocorreu devido a geração de calor proveniente da rotação do eixo e do contato do rotor com a bucha. Para a leitura da temperatura da camisa, a figura 7 mostra que esta cresceu de maneira mais sutil atingindo um máximo de 63° C sendo proveniente mais do calor dissipado do rotor do que por qualquer contato de atrito ou de outra fonte geradora.



**FIGURA 6.** Gráfico da temperatura no rotor.



**FIGURA 7.** Gráfico da temperatura na camisa.

Quanto aos desgastes dos componentes durante os testes, nenhum tipo de desgaste ou ranhura foi constatado na camisa evidenciando um dimensionamento eficiente das peças que compõem a câmara de compressão.

No conjunto pistão biela nenhum ponto de desgaste foi detectado, assim como no anel guia e nos anéis de vedação.

No mancal de Politetrafluoretileno foi identificado um desgaste de 0,5mm entre o diâmetro interno da bucha de Politetrafluoretileno e o diâmetro externo do rotor. Além de um desgaste de 0,83mm entre o diâmetro externo da mesma bucha e o diâmetro interno da carcaça. Estes desgastes

evidenciam o fato de que mesmo funcionando bem o mancal de Politetrafluoretileno não é uma solução de longa duração para testes ou produção em escala industrial.

No geral, o compressor alternativo isento de óleo fruto da adaptação planejada apresentou desempenho satisfatório nos testes realizados mostrando coerência com finalidade de eliminar o óleo de um compressor normalmente lubrificado.

#### **4. CONCLUSÃO**

Diante do contexto atual de busca por equipamentos mais energeticamente eficientes, um compressor isento de óleo lubrificante aparece como uma alternativa para tal, eliminando custos adicionais de equipamentos auxiliares necessários e garantindo uma melhor capacidade de refrigeração com a manutenção das perfeitas condições do sistema.

Para que haja a adaptação de um compressor lubrificado a óleo em um compressor isento de óleo, são necessários componentes capazes de reduzir o atrito causado pelo contato entre as peças do compressor. Então, eis que surge o papel do Politetrafluoretileno na confecção destas peças acompanhado do auxílio de rolamentos visando à redução do atrito.

O compressor isento de óleo projetado a partir de adaptações funcionou de maneira satisfatória nos testes realizados apresentando níveis aceitáveis para parâmetros térmicos, mecânicos e de corrente para o motor elétrico, mostrando-se semelhante aos compressores comuns de refrigeração. Em suma, o C.A.R.I.O. manteve sua geração de calor estável, não apresentou desgastes na câmara de compressão, dimensionamento do pistão e da biela projetados, e nem nos rolamentos adaptados. Os anéis confeccionados de Politetrafluoretileno cumpriram perfeitamente seu propósito de vedação do sistema e minimização do atrito. Foi identificado apenas um desgaste no mancal de rolamento que aconteceu devido a inconformidades durante a usinagem, gerando algumas folgas.

A próxima etapa é a aplicação e testes do mesmo num ciclo de refrigeração por compressão de vapor de pequeno porte.

## REFERÊNCIAS

FERREIRA, M. S. Adaptação de um compressor alternativo de refrigeração isento de óleo. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2013.

GOMES, A. R., DESCHAMPS, C.J. Análise do vazamento interno de gás sobre o desempenho de compressores de pistão rolante, Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, Curitiba, Brazil, 2006.

MARCELINO NETO, J. A. Termodinâmica e fenômenos de absorção em misturas de óleos lubrificantes e fluidos refrigerantes de baixo impacto ambiental. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

NASCIMENTO, F. M. F. Caracterização e análise de ligas de alumínio processadas AA5083-O e AA7022-T6, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais - Universidade Técnica de Lisboa, 2007.

PIZARRO, R. A. Influência do óleo lubrificante na transferência de calor em um compressor hermético alternativo, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

SILVA, J. C. Estudo experimental de um sistema de refrigeração com compressor alternativo isento de óleo utilizando o fluido r-600a (isobutano), Proceedings of the National congress of mechanical engineering VI, Campina Grande, Brazil, 2010.

SILVA, N. F. Compressores alternativos industriais: Teoria e Prática, ed. Interciência, Rio de Janeiro, Brazil, 2009.