

**UnirV – UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE UM CONDENSADOR ARAME SOBRE TUBO

JOÃO DE SOUSA NEVES NETO

Orientador: Prof. Me. PAULO HENRIQUE NEVES PIMENTA

Trabalho apresentado à faculdade de Engenharia Mecânica da UNIRV – Universidade de Rio Verde – Como parte das exigências para obtenção da nota da disciplina Trabalho Conclusão de Curso II.

RIO VERDE – GOIÁS

2015

**UnirV – UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE UM CONDENSADOR ARAME SOBRE TUBO

JOÃO DE SOUSA NEVES NETO

Orientador: Prof. Me. PAULO HENRIQUE NEVES PIMENTA

**Trabalho apresentado à faculdade de
Engenharia Mecânica da UNIRV –
Universidade de Rio Verde – Como parte das
exigências para obtenção da nota da disciplina
Trabalho Conclusão de Curso II.**

RIO VERDE – GOIÁS

2015

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE UM CONDENSADOR ARAME SOBRE TUBO

JOÃO DE SOUSA NEVES NETO

Esta monografia foi julgada adequada para a obtenção da nota da disciplina Trabalho
Conclusão II do Curso de Engenharia Mecânica.

Prof. Me. Paulo Henrique Neves Pimenta
Orientador

Prof. Me. Fábio Vieira de Andrade Borges
Examinador

Prof. Rodrigo Francisco Lourenço
Examinador

Prof. Dr. Warley Augusto Pereira
Diretor da Faculdade de Engenharia Mecânica

Rio Verde-GO
2015

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia primeiramente a Deus, por me dar forças e nunca ter me deixado desistir, mesmo nos momentos difíceis. Dedico de maneira especial aos meus pais, Vantuil Paula de Oliveira e Rozilene de Faria Neves Oliveira, que são tudo para mim, sem eles não sei se conseguiria chegar aonde cheguei, pois sempre me fizeram acreditar na realização dos meus sonhos e trabalharam muito para que eu pudesse realizá-los, ao meu irmão Gabriel Neves Oliveira que sempre me apoiou, aos meus avós maternos, João de Sousa Neves e Oscalina de Faria Neves que são muito especiais para mim, e que também sempre estiveram ao meu lado e me deram forças para vencer, aos meus avós paternos, Acácio Paula de Oliveira (In memória) e Irene dos Santos de Oliveira (In memória), que mesmo não os conhecendo, tive a certeza que torceram por mim e estão felizes assim como nós. Também dedico a minha namorada Jeovana Dias Pereira, que sempre me apoiou e esteve sempre comigo, a todos os meus familiares e amigos que de alguma forma contribuíram para que hoje pudesse comemorar esta grande conquista.

Obrigado à todos por fazerem parte da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades durante esses cinco anos.

Ao meu primo e professor orientador Paulo Henrique Neves Pimenta, pelo apoio e orientações.

A todos os meus professores do curso de Engenharia Mecânica que contribuíram durante todo o meu curso com seus conhecimentos, conselhos ou experiências.

Aos meus amigos e colegas de faculdade que me ajudaram e me deram força para vencer.

Ao meu irmão Gabriel Neves Oliveira, por tudo que ele já fez e continua fazendo por mim.

Agradeço também a minha namorada Jeovana Dias Pereira, que sempre esteve presente junto comigo me ajudando, me dando apoio e força para chegar aonde cheguei.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para conclusão desse trabalho, meus sinceros agradecimentos.

E por fim, agradeço as duas pessoas mais importantes da minha vida, meu pai Vantuil Paula de Oliveira e minha mãe Rozilene de Faria Neves Oliveira que estiveram ao longo desta caminhada me apoiando com todo o seu amor. Sinto-me feliz por ser motivo de orgulho para vocês! Obrigado por tudo!

RESUMO

NETO, J. S. N. **ANÁLISE EXPERIMENTAL DE UM CONDENSADOR ARAME SOBRE TUBO.** 2015 Monografias¹ (Graduação em Engenharia Mecânica) – UNIRV – Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2015.

Condensador é um dispositivo de transferência de calor. Ele é utilizado para remover calor do vapor de refrigerante quente. Usando algum método de resfriamento o condensador transforma o vapor em um líquido. O condensador a ser analisado é um trocador de calor do tipo arame sobre tubo, no qual tanto a serpentina como as aletas são fabricadas em aço. Neste componente, o refrigerante circula internamente pelo tubo de seção circular, de cima para baixo, enquanto o ar escoar no lado externo por convecção natural, de baixo para cima. As aletas, na forma cilíndrica, uniformemente distribuída, são soldadas em ambos os lados dos tubos, arranjando uma serpentina vertical de passes paralelos. Na linha de descarga, totalmente desprovida de aletas, o refrigerante escoar no sentido ascendente, paralelo ao fluxo de ar. O Presente trabalho tem por finalidade avaliar experimentalmente o desempenho de um condensador de arame sobre tubo em um ciclo real de refrigeração, determinando-se a queda de pressão e de temperatura do refrigerante ao escoar pelo condensador, e a capacidade de transferência de calor por unidade de massa de refrigerante que escoar pelo equipamento. Verificou-se que quando se diminui a vazão de ar no evaporador, a variação média de pressão no condensador variou na entrada 10,89 kPa e na saída 9,48 kPa, em relação a temperatura variou em média na entrada 0,27 °C e na saída 2,31 °C e em relação a taxa de transferência de calor específica a variação média foi de 6,15 kJ/kg.

PALAVRAS-CHAVE

Condensador de Arame Tubular, Refrigeração, Escoamento Bifásico.

¹**Orientador:** Professo Paulo Henrique Neves Pimenta. Banca: Prof. Me. Fábio Vieira de Andrade Borges e Prof. Rodrigo Francisco Lourenço

ABSTRACT

NETO, J. S. N. **EXPERIMENTAL ANALYSIS OF A WIRE ON TUBE CONDENSER. 2015 Monograph (Undergraduate in Mechanical Engineering) - UNIRV - University of Rio Verde, Rio Verde, 2015.**

Condenser is a heat transfer device. It is used to remove heat from the hot refrigerant steam. Using a method of cooling, the condenser transforms the steam into a liquid. The capacitor to be analyzed is a heat exchanger of the type tube-to-wire, in which both the coil and the fins are made of steel. In this component, the refrigerant circulates inside the circular section tube, from top to bottom, while the air flows to the outside by natural convection, from bottom to top. Fins in the form of cylindrical uniformly distributed, are welded on both sides of tubes arranged parallel vertical serpentine passes. In the discharge line, totally devoid of fins, the refrigerant flows upwardly parallel to the air flow. The present study aims to experimentally evaluate the performance of a condenser of a real-cycle refrigeration, in order to verify the influence of the refrigerant mass rate, air flow, and condensation pressure, among others. The present work is to experimentally evaluate the performance of a wire - on - tube condenser in a real -cycle refrigeration , determining the pressure drop and the coolant temperature to flow through the condenser , and the per unit heat transfer capability refrigerant mass flows through the equipment. It was found that when reducing the flow rate of air in the evaporator , the average change in pressure in the condenser varied at the entrance and exit 10,89 kPa 9.48 kPa , regarding the temperature change in average entry 0.27 ° C and output compared to 2.31 ° C and specific heat transfer rate of the average variation was 6.15 kJ / kg .

KEY WORDS

Tubular Wire Condenser , Cooling , Two-Phase Flow

¹**Advisor:** Professor Paulo Henrique Neves Pimenta. Banca: Prof. Me. Fábio Vieira de Andrade Borges e Prof. Rodrigo Francisco Lourenço

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Condensador do tipo Arame Sobre Tubo do Refrigerador da Brastemp BRM35ABBNA.	16
Figura 2 - Tubo capilar.	17
Figura 3 - Compressor 1/4 HP 220V Modelo Tecumeh TW140RS.	17
Figura 4 - Evaporador do Refrigerador da Brastemp BRM35ABBNA.	18
Figura 5 - Coolers.	18
Figura 6 - Evaporador e coolers adaptado no túnel de vento.	19
Figura 7 - Unidade controladora de coolers.	19
Figura 8 - Manômetro.	20
Figura 9 - Sensor de Temperatura DS18B20.	20
Figura 10 - Sensor de Umidade Relativa DHT22.	21
Figura 11 - Medidor de Velocidade do Ar.	21
Figura 12 - Arduino.	22
Figura 13 - Pressão de entrada e saída do condensador em função do tempo (Coolers com 50% da capacidade).	25
Figura 14 - Temperatura de entrada e saída do condensador em função do tempo (Coolers com 50% da capacidade).	26
Figura 15 - Pressão de entrada e saída do condensador em função do tempo (Coolers com 100% da capacidade).	27
Figura 16 - Temperatura de entrada e saída do condensador em função do tempo (Coolers com 100% da capacidade).	28
Figura 17 - Transferência de Calor em função do tempo.	29

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

g – É a aceleração da gravidade $[m/s^2]$

h_e – É a entalpia que entra no volume de controle $[kJ/kg]$

h_s – É a entalpia que sai do volume de controle $[kJ/kg]$

\dot{Q} – É a transferência de calor no volume de controle $[kJ/kg]$

\dot{m}_e – É o fluxo de massa entrando no volume de controle $[kg/s]$

\dot{m}_s – É o fluxo de massa saindo do volume de controle $[kg/s]$

V – É a velocidade do fluido cruzando o volume de controle $[m/s]$

\dot{W} – É o trabalho realizado pelo volume de controle $[Kw]$

z – É a elevação de um ponto horizontal de referência do volume de controle $[m]$

COP – Coeficiente de desempenho do ciclo de refrigeração.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivo.....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	Revisões de literatura	12
3	MÉTODOS DE ANÁLISES	16
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1	Introdução	24
4.2	Teste com uma vazão volumétrica de ar de 0,0168 m ³ /s	25
4.3	Teste com uma vazão volumétrica de ar de 0,0273 m ³ /s	27
4.4	Transferência de calor específico dos testes	29
5	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1 INTRODUÇÃO

Os condensadores são trocadores de calor que removem calor de um determinado refrigerante na fase de vapor até que a temperatura do refrigerante reduza a temperatura de saturação, na qual ocorre a mudança da fase de vapor para líquido (MILLER, REX, 2008).

No sistema de refrigeração o condensador é responsável por rejeitar o calor absorvido pelo fluido refrigerante, até condensar todo o vapor produzido pelo compressor. Os condensadores de modo geral podem ser definidos em três tipos: condensadores resfriados a ar, condensadores resfriados a água e condensadores evaporativos (LIMA, 2008):

i. Os condensadores resfriados a ar resfriam o fluido refrigerante através do ar ambiente. Essa perda de calor pode acontecer de duas formas, por convecção natural ou por convecção forçada onde se utiliza um ventilador. Esses condensadores são empregados geralmente em instalações menores, como aparelhos de ar condicionado e refrigeradores domésticos. O uso desses condensadores em grandes instalações, como indústrias vem crescendo muito, devido à preocupação de racionamento de água, pois os condensadores resfriados a água causam problemas de incrustação e elevado custo no tratamento da água. Os condensadores resfriados a ar geralmente são compostos por tubos lisos ou aletados em modos de radiador, placas ou serpentina. Os condensadores utilizados em refrigeradores domésticos são normalmente conhecidos como condensadores arame sobre tubo.

ii. Em grandes instalações são usados os condensadores resfriados a água, e juntamente com esses condensadores precisa-se de torres de resfriamento para recuar para a atmosfera todo o calor derivado da água de arrefecimento. Existem três tipos de condensadores resfriados a água: casco e tubo, casco e serpentina e duplo tubo. Esses condensadores são classificados de acordo com a carga e temperatura da água de arrefecimento, o tamanho, a pressão de operação, o custo de montagem e manutenção e a quantidade de água que pode ser circulada.

iii. As torres de resfriamento rejeitam o calor do fluido refrigerante e transfere para água, que ulteriormente rejeitam ao meio ambiente.

Dentre os componentes de sistemas de refrigeração, os compressores, os evaporadores, os condensadores e os dispositivos de expansão têm sido extensivamente os

objetos de inúmeras pesquisas e grandes investimentos na área de refrigeração. Tais pesquisas têm como objetivo principal o aumento no coeficiente de desempenho dos sistemas de refrigeração e condicionamento de ar e a busca de soluções que reduzam o custo de produção e consumo de energia elétrica, conseqüentemente, reduzindo-se o consumo energético do planeta (PIMENTA, 2015).

A motivação deste presente trabalho é analisar experimentalmente o desempenho de um dos componentes do ciclo de refrigeração, o condensador de arame sobre tubo usado em refrigeradores domésticos.

1.1 Objetivo

O Presente trabalho tem por objetivo avaliar experimentalmente o desempenho de um condensador de arame sobre tubo em um ciclo real de refrigeração, determinando-se a queda de pressão e de temperatura do refrigerante ao escoar pelo condensador, e a capacidade de transferência de calor por unidade de massa de refrigerante que escoar pelo equipamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão revisadas as principais particularidades dos condensadores do tipo arame sobre tubo, assim como os principais modelos de refrigeração disponíveis na literatura para análise e projeto desse equipamento.

2.1 Revisões de literatura

Lima (2008) simulou escoamento transiente de fluidos refrigerantes ao longo de condensadores do tipo arame sobre tubo, normalmente usados em refrigeradores domésticos que utilizam ciclo de compressão de vapor. Através da simulação analisou o escoamento do fluido refrigerante no interior do tubo, a transferência de calor por convecção natural, a radiação entre a superfície externa do tubo, as aletas em forma de arame cilíndricos e o ar externo. Para realizar a simulação do condensador em regime transiente, utilizou-se o mesmo procedimento adotado por Hermes (2000), que realizou apenas simulações no regime transiente de partida (*pull-down*).

Os resultados obtidos mostram uma boa concordância com os resultados obtidos por Hermes (2000), e que os condensadores são relativamente complexos de serem modelados em razão dos escoamentos envolvidos.

Erazo e Seixlack (2011) analisaram o desempenho de condensadores do tipo arame-sobre-tubo, normalmente usados em refrigeradores domésticos que utilizam o ciclo de compressão de vapor. Para a análise, foi utilizado um modelo desenvolvido que simula o escoamento do fluido refrigerante no interior do tubo, a transferência de calor por radiação e convecção natural entre a superfície externa do tubo, as aletas em forma de arames cilíndricos e o ar externo.

O modelo escolhido e testado na primeira etapa foi de Oliveira (2009), a partir deste modelo foram realizadas melhoras no código, destacando uma nova equação para o cálculo da malha computacional e notou-se a influência do refino da malha sobre as propriedades de

escoamento. Desta maneira, para obter resultados mais precisos na região inicial do escoamento onde há maiores variações, poderá ser utilizada a equação de geração da malha.

Lauar (2011) relaciona o desenvolvimento de um modelo de simulação de condensadores de tubo aletado e desenvolve uma comparação dos resultados da simulação com os resultados obtidos com o programa *COILDESIGNER*, disponível comercialmente. Os resultados mostram que o modelo matemático proposto, baseado nas leis de conservação de energia e no método de efetividade - NUT, atinge resultados satisfatórios na faixa de vazão de ar testada (0,1 a 0,5 m³/s). E considerando que este modelo fornece dados importantes de um projeto de condensador ao usuário, pode se concluir que em todas as análises executadas na utilização de uma correlação de condensação, em detrimento da outra, não provocaria erros tão relevantes.

Conclui-se, observando a análise de desempenho realizada sobre o condensador que o aumento da área, seja ela, pelo aumento do diâmetro externo dos tubos, pelo número de tubos ou pelo passo das aletas, repercute em um aumento no número de geração de entropia.

Hermes (2006) propõe criar uma metodologia para a simulação computacional do comportamento transiente de refrigeradores domésticos. A metodologia proposta pode ser entendida a quaisquer refrigeradores, porém foi aplicada a um refrigerador de 440 litros com dois compartimentos refrigerados. A temperatura em um dos compartimentos é controlada por um damper termostático e no outro é regulada através do acionamento e desligamento do compressor, sendo cada componente modelado separadamente.

Os resultados mostram que foi desenvolvida e aplicada à análise térmica de um refrigerador de ventilador e damper uma nova metodologia para a simulação do comportamento transiente de refrigeradores doméstico.

Arini (2008) analisou experimentalmente um sistema de refrigeração por compressão de vapor, operando com o hidrocarboneto propano (R290), substituindo o refrigerante HCF22. Buscando atender as necessidades do mercado de refrigeração comercial, que busca substituir o refrigerante hidroclorofluorcarbonados (HCFC's), realizou em um mini-tanque, o estudo do resfriamento do leite, no qual é produzido comercialmente para operar com o refrigerante 22.

Os dados obtidos mostram que é possível substituir o refrigerante R22 pelo R290 no sistema estudado, e que os desempenhos energéticos são equivalentes, a eficiência energética foi igual ou superior e observou um consumo de energia elétrica menor.

Pereira (2010) apresentou uma proposta de metodologia para avaliar o impacto da utilização dos sistemas de refrigeração doméstica no meio ambiente, principalmente no

aquecimento global. A metodologia proposta consistiu na revisão profunda e detalhada da influência de componentes no sistema de refrigeração. A metodologia proposta foi testada em um sistema de refrigeração doméstica, modelada matematicamente e funcionando sob pré-condições de operações e os resultados obtidos foram confrontados com os valores calculados pelo método tradicional.

Os resultados da comparação indicaram que a metodologia retrata mais fielmente a influência de um sistema de refrigeração no aquecimento global, durante o tempo de utilização.

Rangel (2007) fez uma simulação transiente de um sistema de refrigeração doméstico de compressão a vapor, e considerou para procedimento o modelo de JAKOBSEN (1995). Foi empregado um modelo matemático que se baseia em equações algébrico-diferenciais (EAD) de primeira ordem. O modelo matemático empregado permite dizer com antecedência o consumo de energia, determinar por meio de cálculos a eficiência do sistema de refrigeração, distinguir termodinamicamente o sistema de refrigeração e suas interações e indicar a quantidade de perdas termodinâmicas do sistema funcionando em regime de operação.

Os resultados obtidos demonstram que o programa computacional e o modelo matemático utilizado, permitem descrever o comportamento de um sistema de refrigeração doméstica corretamente, resultando numa ferramenta muito útil para aproveitar ao máximo a capacidade dos refrigeradores domésticos.

Brandão (2005) realizou estudo de um modelo numérico com finalidade de simular sistemas de refrigeração por compressão de vapor. Para cada componente encontrado na literatura do sistema de refrigeração, foram analisados e discutidos os principais métodos de modelagem. Através da comparação de resultados experimentais aos resultados numéricos, foi validada a confiabilidade do modelo numérico.

Os resultados obtidos numericamente e os ensaios experimentais mostraram comportamento semelhante, com variações aceitáveis devido a pequenas imprecisões dos equipamentos de medição e pelas simplificações no modelamento. A partir de tal estudo, tornou-se possível otimizar o COP dos sistemas através da escolha das medidas mais adequadas para cada equipamento.

A partir dessa revisão bibliográfica, embora se encontrem na literatura estudos, tanto computacionais, quanto experimentais, sobre condensadores do tipo arame sobre tubo, apenas nos trabalhos de Lima (2008), Erazo e Seixlack (2011) foram realizados a análise do desempenho e a análise numérica do condensador do tipo arame sobre tubo, nos trabalhos de Arini (2008), Brandão (2005) e Rangel (2007) foram realizados estudos com finalidade de

simular sistemas de refrigeração por compressão de vapor, nos trabalhos de Pereira (2010) e Hermes (2006) propõe criar metodologias para refrigeradores domésticos e por fim Lauar (2011) analisa o desenvolvimento de um modelo de simulação de condensadores de tubo aletado.

Portanto, como existem poucos trabalhos sobre análise experimental de um condensador do tipo arame sobre tubo, pretende-se avaliar experimentalmente o desempenho de um condensador do tipo arame sobre tubo.

3 MÉTODOS DE ANÁLISES

Será analisado experimentalmente o desempenho de um condensador do tipo arame sobre tubo em uma bancada de refrigeração construída pelo próprio autor, a Figura 1 mostra o modelo do condensador usado.

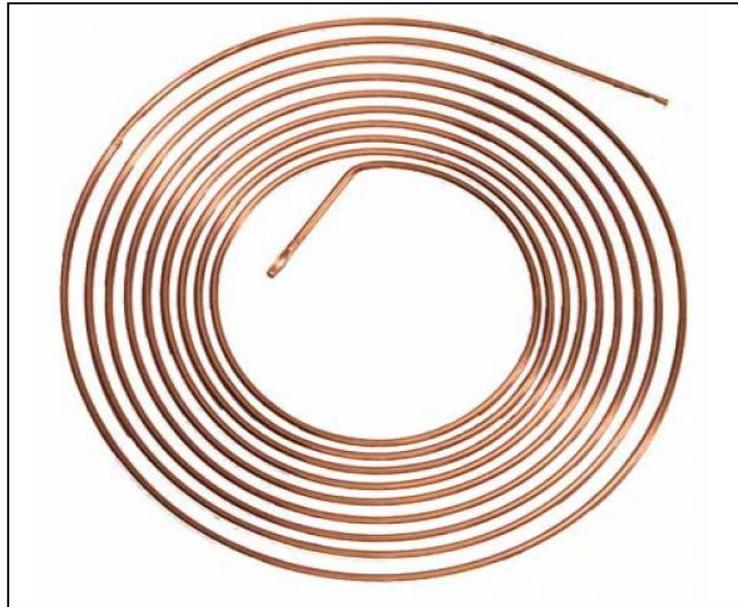


Fonte: Próprio autor.

Figura 1 - Condensador do tipo Arame Sobre Tubo do Refrigerador da Brastemp BRM35ABBNA.

A bancada de refrigeração será construída em uma mesa de madeira, será utilizado além do condensador, um evaporador, um compressor, um capilar, quatro coolers, chapas de acrílico e tubos de cobre. Nas Figuras 2, 3, 4 e 5, demonstra-se alguns dos equipamentos utilizados para a fabricação do ciclo de refrigeração.

A Figura 2 mostra o tubo capilar que foi utilizado na bancada de refrigeração.



Fonte: Próprio autor.

Figura 2 - Tubo capilar.

A Figura 3 mostra o modelo do compressor utilizado na bancada de refrigeração.



Fonte: Próprio autor.

Figura 3 - Compressor 1/4 HP 220V Modelo Tecumeh TW140RS.

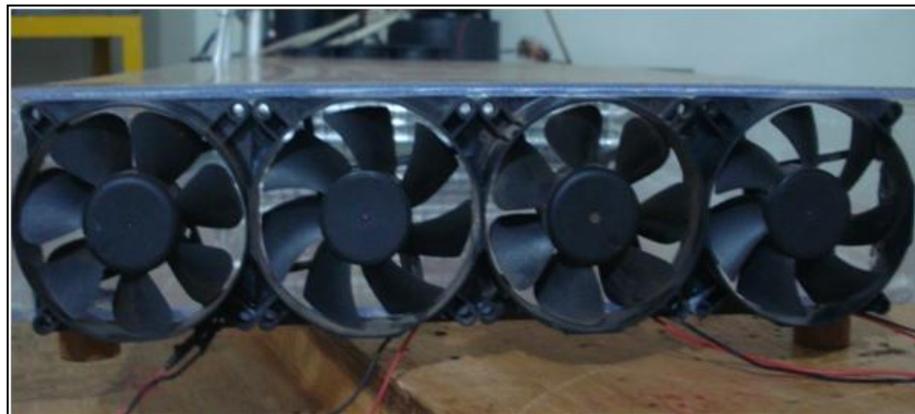
A Figura 4 mostra o modelo de evaporador utilizado na bancada de refrigeração.



Fonte: Próprio autor.

Figura 4 - Evaporador do Refrigerador da Brastemp BRM35ABBNA.

A Figura 5 mostra o modelo dos coolers utilizados no túnel de vento.



Fonte: Próprio autor.

Figura 5 - Coolers.

As chapas de acrílico serão usadas para a construção de um túnel de vento, na qual serão adaptados na entrada do túnel os coolers e no centro do túnel o evaporador, sendo a sua base feita de chapa de aço, a Figura 6 mostra o modelo. A velocidade do vento será produzida por quatro coolers que serão controlados por uma unidade controladora de coolers, como mostra a Figura 7.



Fonte: Próprio autor.

Figura 6 - Evaporador e coolers adaptado no túnel de vento.



Fonte: Próprio autor.

Figura 7 - Unidade controladora de coolers.

Para executar a análise da bancada será retirado as seguintes informações: as temperaturas, a umidade relativa do ar, as pressões, a velocidade do ar no túnel de vento e a transferência de calor específico.

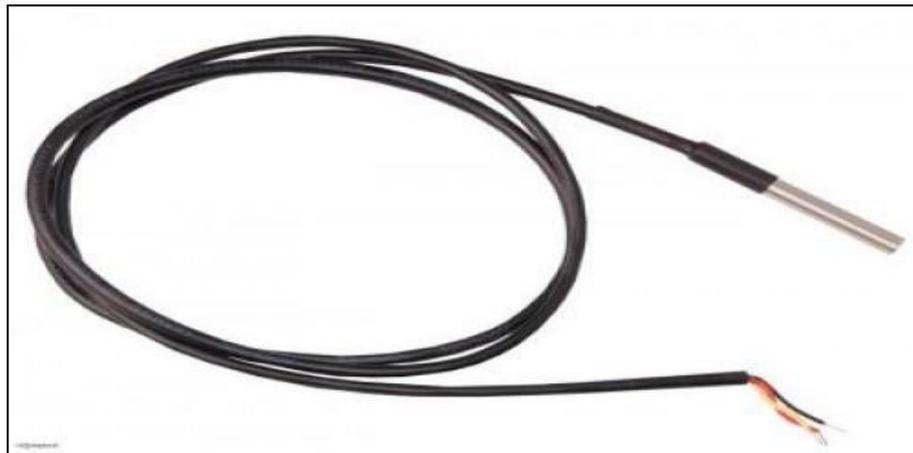
Esses dados serão retirados do ciclo de refrigeração com ajuda de manuais de instrução dos equipamentos utilizados na bancada, sensores de temperatura, manômetros, anemômetros e por bibliotecas termodinâmicas. A seguir veja alguns dos instrumentos utilizados para retirar os dados.

A Figura 8 mostra o modelo do manômetro utilizado na bancada de refrigeração, para medir a pressão na entrada e saída do condensador.



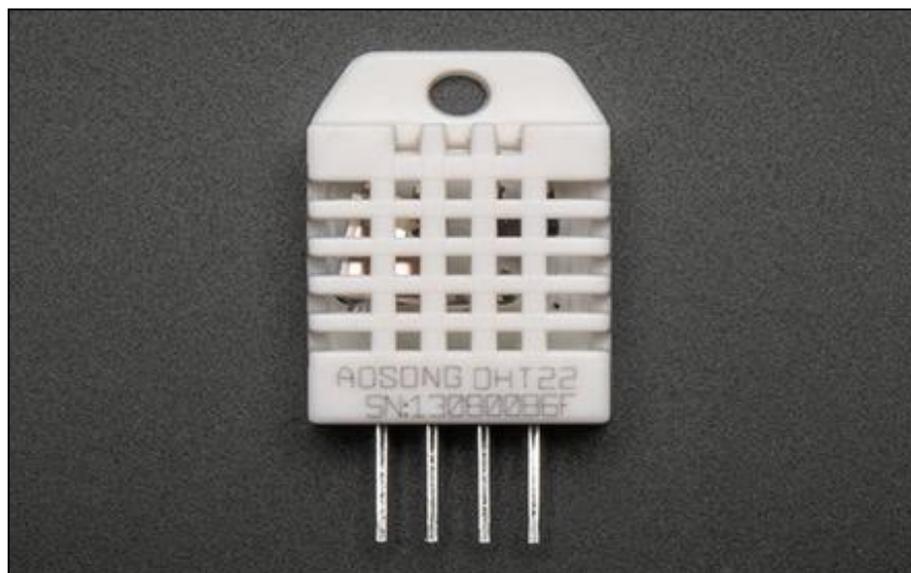
Fonte: Próprio autor.
Figura 8 - Manômetro.

A Figura 9 mostra o modelo do sensor de temperatura utilizado na bancada de refrigeração, para medir a temperatura do fluido refrigerante.



Fonte: Próprio autor.
Figura 9 - Sensor de Temperatura DS18B20.

A Figura 10 mostra o modelo do sensor de umidade utilizado na bancada de refrigeração, para medir a umidade relativa do ar.



Fonte: Próprio autor.

Figura 10 - Sensor de Umidade Relativa DHT22.

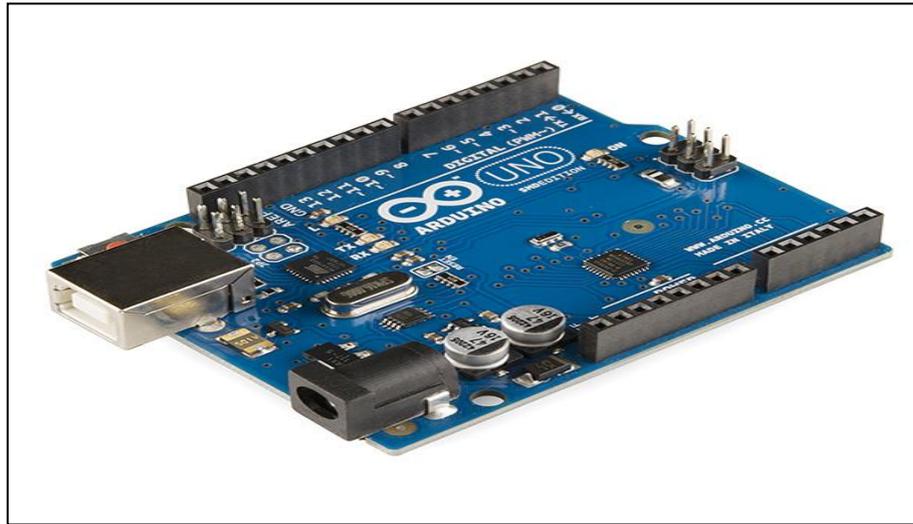
A Figura 11 mostra o modelo do anemômetro utilizado na bancada de refrigeração, para medir a velocidade que o ar escoar pelo o túnel de vento.



Fonte: Próprio autor.

Figura 11 - Medidor de Velocidade do Ar.

Os sensores de umidade relativa do ar e temperatura serão utilizados para enviar um sinal para um Arduino, no qual será utilizado um programa para converter as temperaturas e umidades em um gráfico escalonado. Na bancada será utilizado um medidor de velocidade do ar, dois sensores de umidade relativa do ar, quatro manômetros, seis sensores de temperatura, e um Arduino para fazer as leituras dos sensores. A Figura 12 mostra o exemplo do Arduino utilizado.



Fonte: Próprio autor.

Figura 12 - Arduino.

Para a análise de desempenho do condensador serão feitas variações em pontos estratégicos, como por exemplo: a velocidade do ar na saída do túnel de vento, as pressões do fluido refrigerante na entrada e na saída do condensador, as temperaturas do ar na entrada e na saída do túnel de vento, as umidades relativas do ar na entrada e na saída do túnel de vento e as temperaturas do fluido refrigerante na entrada e na saída do condensador.

Os resultados para a capacidade de refrigeração serão obtidos por meio de simplificações da Primeira Lei da termodinâmica e da conservação da massa, tais equações são dadas como segue:

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum \dot{m}_s \left(h_s + \frac{V_s^2}{2} + gz_s \right) \quad (3.1)$$

$$\frac{dm}{dt} = \sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_s \quad (3.2)$$

Nas quais, \dot{Q} é a taxa de transferência de calor do volume de controle, W é o trabalho realizado pelo volume de controle, \dot{m} é o fluxo de massa cruzando o sistema, h_e é a entalpia entrando no volume de controle, h_s é a entalpia saindo do volume de controle, V_e é a velocidade de entrada do fluido que cruza o volume de controle, V_s é a velocidade de saída do fluido do volume de controle, g é a aceleração da gravidade, Z_e é a elevação acima de um ponto de referência na entrada do sistema, Z_s é a elevação acima de um ponto de referência na saída do volume de controle.

Os resultados obtidos serão representados em gráficos. A partir dos gráficos será discutido como se comporta um condensador de arame sobre tubo durante um ciclo de refrigeração.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos para avaliar o desempenho do condensador de arame sobre tubo em uma bancada de refrigeração. Os dados obtidos foram retirados através de medidores de pressão e sensores de temperatura.

A pressão foi obtida por meio de dois manômetros instalados na entrada e na saída do condensador, da mesma forma foram instalados os sensores de temperatura, porém os dados da temperatura foram obtidos por um sensor de temperatura DS18B20 que comunica com um arduino, gerando dados através de um algoritmo criado usando duas bibliotecas: One Wire e Dallas Temperatura.

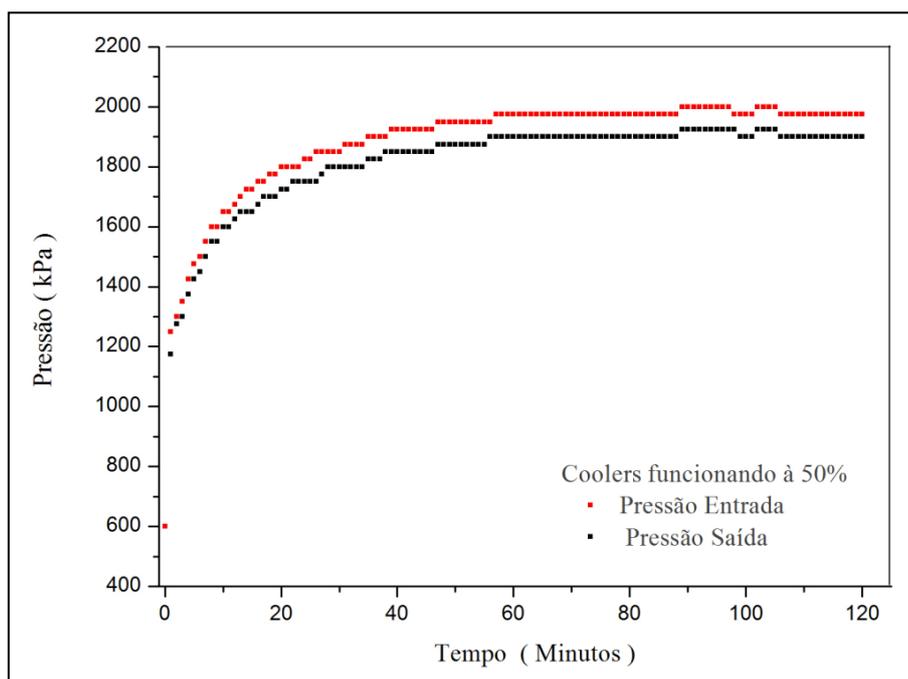
As propriedades termofísicas do fluido refrigerante utilizadas para o cálculo da transferência de calor específica foram obtidas por meio de uma biblioteca termodinâmica Computer Aided Thermodynamic Tables 3.

Os testes foram realizados utilizando-se o fluido refrigerante R134a. Dois testes foram feitos, no quais, em um deles a unidade controladora de coolers, controla os coolers com 50% da capacidade, com isso obteve-se na saída do túnel de vento uma vazão volumétrica de ar de $0,0168 \text{ m}^3/\text{s}$, durante um período de duas horas e outro teste com 100% da capacidade, onde se obteve na saída do túnel de vento, uma vazão volumétrica de ar de $0,0273 \text{ m}^3/\text{s}$ durante um período de uma hora e quarenta e cinco minutos.

Os testes foram planejados para um período de duas horas, porém o teste com os coolers funcionando com 100% da capacidade teve um tempo de análise reduzido, pois o compressor possui um sensor de temperatura que o desarma após atingir uma temperatura superior a temperatura de desarme do mesmo, para não queimar o equipamento.

4.2 Teste com uma vazão volumétrica de ar de 0,0168 m³/s

Nas Figuras 13 e 14 apresentam-se as variações da pressão e temperatura, respectivamente, em função do tempo de operação do ciclo. Os dados foram obtidos realizando o teste para os coolers com 50% da capacidade, a uma temperatura ambiente de 25 °C, a uma pressão inicial na entrada e na saída de 600 kPa e a umidade relativa do ar 32%.



Fonte: Próprio autor.

Figura 13 - Pressão de entrada e saída do condensador em função do tempo (Coolers com 50% da capacidade).

Na Figura 13 nota-se que a pressão comporta-se em regime transiente até aproximadamente 1 hora de funcionamento, depois se admite que a pressão comporta-se em regime permanente, pois se mantém praticamente constante e a uma variação muito pequena com o tempo.

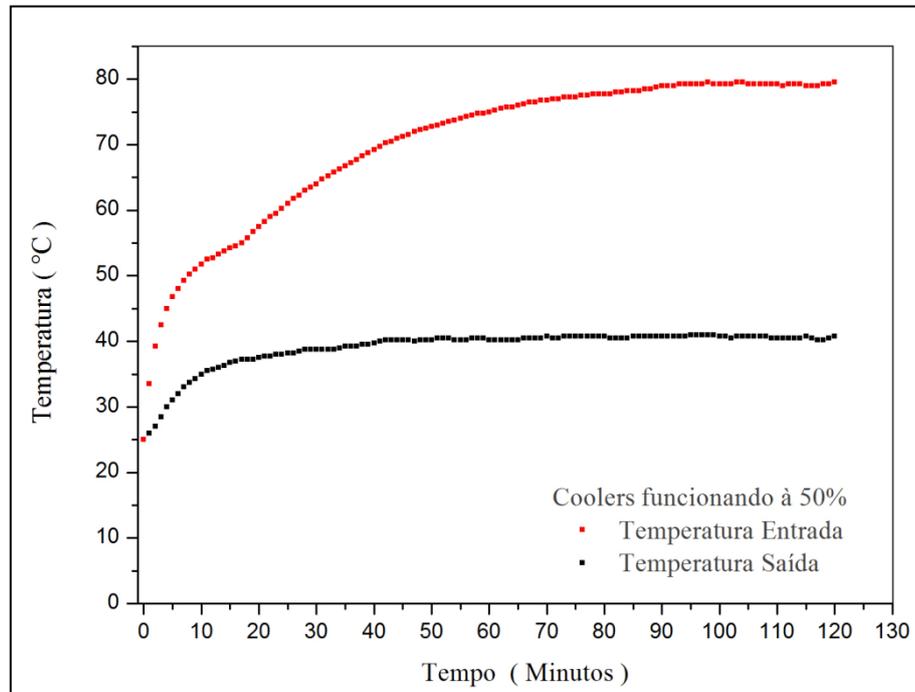
A maior pressão retirada em todo o teste na entrada do condensador foi de 2000 kPa e na saída de 1925 kPa durante todo o período e a pressão média final obtida na entrada e na saída foram respectivamente, 1881,40 kPa e 1811,36 kPa.

A pressão do fluido refrigerante no escoamento diminui em média 70 kPa ao longo de todo período, isso ocorre em função dos efeitos viscosos.

Esses efeitos estão relacionados a diversos motivos:

- Área de contato e o atrito entre o fluido e a parede do tubo;

- Velocidade de escoamento;
- Presença de acessórios;
- Mudança de direção no escoamento.



Fonte: Próprio autor.

Figura 14 - Temperatura de entrada e saída do condensador em função do tempo (Coolers com 50% da capacidade).

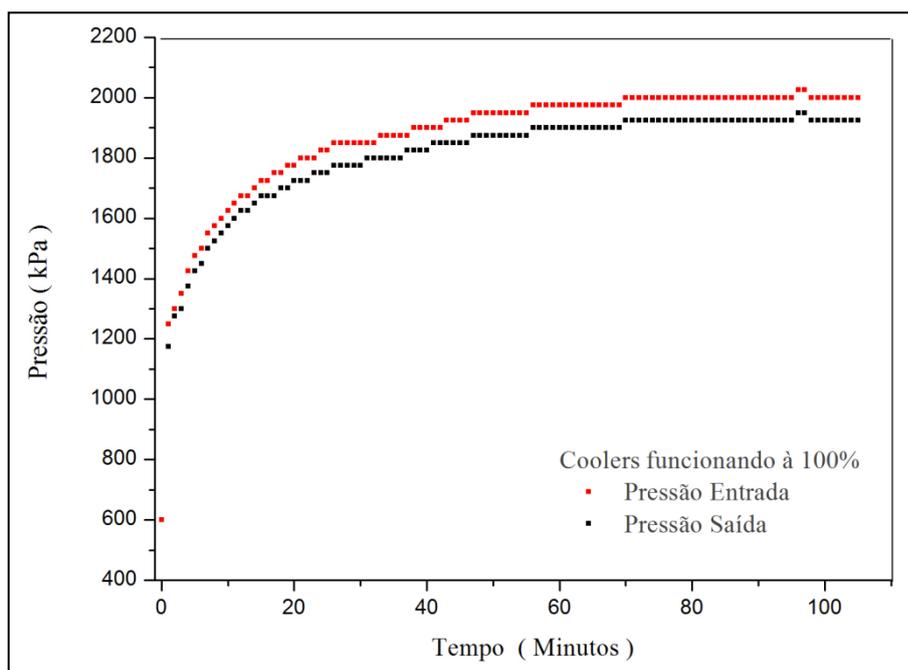
Na Figura 14 verifica-se que a temperatura do fluido refrigerante no escoamento diminui devido à troca de calor do equipamento com o ambiente. Nota-se que a temperatura na entrada tem um período transiente diferente da saída, devido na saída do condensador a temperatura variar com o ambiente.

Como no ambiente há uma variação muito pequena de temperatura, esta ficará praticamente constante no período de tempo menor. Na entrada a temperatura apresenta um período transiente maior, em razão de a temperatura ser em função do desempenho do compressor.

A temperatura mais elevada durante todo o período de tempo na entrada do condensador foi de 79,5 °C e na saída foi de 41 °C e a temperatura média final obtida na entrada e na saída são respectivamente, 69,92 °C e 39,01°C.

4.3 Teste com uma vazão volumétrica de ar de 0,0273 m³/s

Nas Figuras 15 e 16 apresentam-se as pressões e as temperaturas obtidas para os coolers com 100% da capacidade variando com o tempo, a uma temperatura ambiente de 25 °C, a uma pressão inicial na entrada e na saída do condensador de 600 kPa e a umidade relativa do ar 22%.



Fonte: Próprio autor.

Figura 15 - Pressão de entrada e saída do condensador em função do tempo (Coolers com 100% da capacidade).

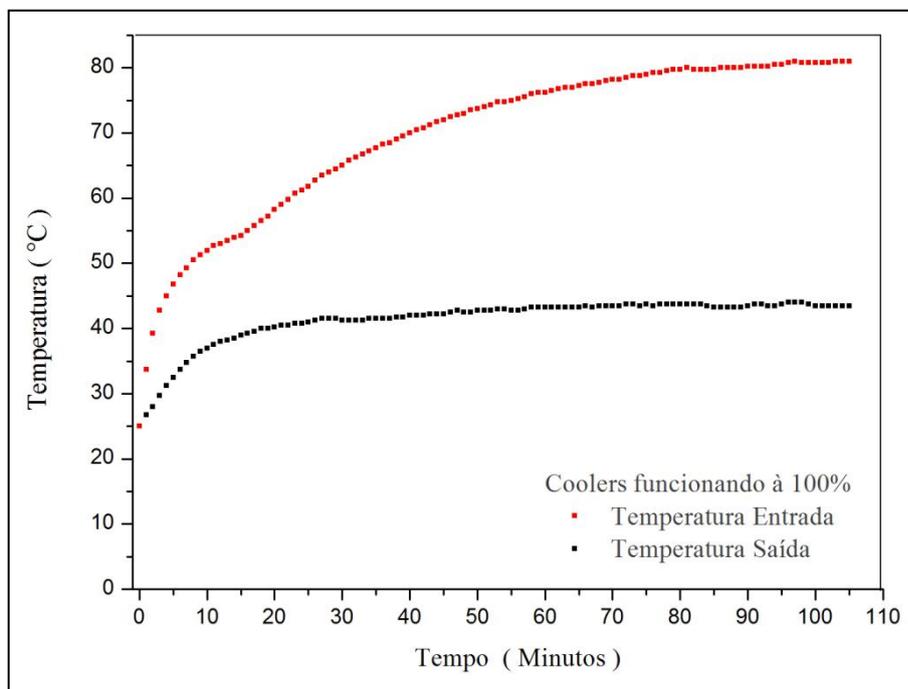
Na Figura 15 a perda de pressão média do fluido refrigerante no escoamento ao longo do condensador durante todo o período foi de 68,63 kPa, isso ocorre em função dos efeitos viscosos.

Esses efeitos estão relacionados a diversos motivos:

- Área de contato e o atrito entre o fluido e a parede do tubo;
- Velocidade de escoamento;
- Presença de acessórios;
- Mudança de direção no escoamento.

Nota-se que a pressão comporta-se em regime transiente até aproximadamente 1 hora de funcionamento, depois se admite que a pressão comporta-se em regime permanente, pois se mantém praticamente constante e a uma pequena variação com o tempo.

A pressão mais elevada registrada pelos manômetros durante todo o teste na entrada e na saída do condensador foram, respectivamente, 2025 kPa e 1950 kPa e a pressão média final obtida na entrada e na saída foram, respectivamente, 1870,51 kPa e 1801,89 kPa.



Fonte: Próprio autor.

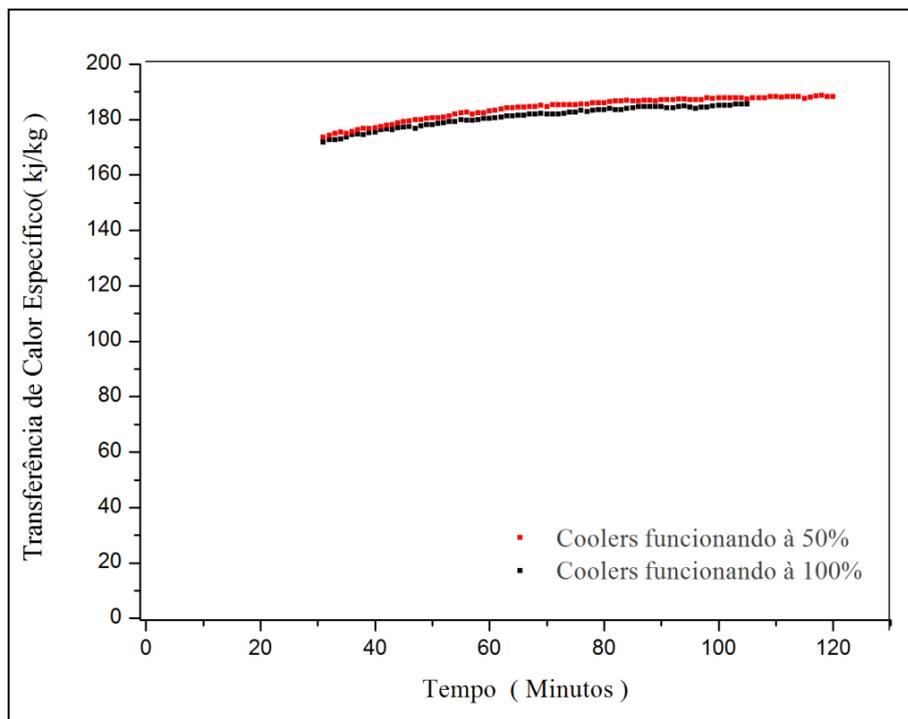
Figura 16 - Temperatura de entrada e saída do condensador em função do tempo (Coolers com 100% da capacidade).

Na Figura 16 verifica-se que a temperatura do fluido refrigerante no escoamento diminui devido à troca de calor entre o equipamento e o ambiente. Nota-se que a temperatura na entrada tem um período transiente diferente da saída, devido na saída do condensador a temperatura variar com o ambiente. Como no ambiente há uma variação muito pequena de temperatura ficará praticamente constante no período de tempo menor. Na entrada a temperatura possui um período transiente maior, em razão de ser função da potência de compressão adicionada no compressor.

A temperatura mais elevada durante todo o período de tempo na entrada do condensador foi de 81 °C e na saída foi de 44 °C e a temperatura média final obtida na entrada e na saída foram respectivamente, 69,65 °C e 41,32°C.

4.4 Transferência de calor específico dos testes

Na Figura 17 apresenta-se o comportamento do condensador ao longo de todo o tempo de operação, com os coolers funcionando com 50% e 100% da capacidade.



Fonte: Próprio autor.

Figura 17 - Transferência de Calor em função do tempo.

Verifica-se na Figura 17 que a transferência de calor específica quando os coolers funcionam com uma capacidade de 50 % é mais elevada que com capacidade de 100%, isso se dá, pois, a capacidade de refrigeração do ciclo é reduzida com a diminuição da capacidade dos coolers.

Quando a capacidade dos coolers é diminuída para 50 % a vazão de ar e a velocidade de ar que escoam pelo evaporador diminuem, com isso há uma influência sobre o desempenho do ciclo e então nota-se que a transferência de calor específica no condensador aumenta.

Os testes são demonstrados graficamente após um período de tempo de 30 minutos, isso ocorre porque o incremento de escala dos manômetros é alto e o sensor de temperatura tem uma retardação de resposta.

Então por exemplo:

Quando se retira as propriedades para definir a fase em que o fluido refrigerante se encontra para dada temperatura e dada pressão, pode-se observar que para uma temperatura de 64 °C e pressão de 1850 kPa, define-se fase líquido comprimido, e admitindo a mesma pressão, porém com uma temperatura de 64,05 °C, define-se fase de vapor superaquecido. Portanto, nota-se que a mudança de fase varia com uma pequena taxa de mudança de temperatura, por isso, admite-se o gráfico só após um período de 30 minutos, pois apenas nestas condições identificou-se o estado de vapor superaquecido na entrada do condensador, embora neste ponto, a fase sempre seja vapor superaquecido.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho analisou-se experimentalmente o desempenho de um condensador de arame sobre tubo utilizado em refrigeradores domésticos, determinando-se a queda de pressão e de temperatura do refrigerante ao escoar pelo condensador, e a capacidade de transferência de calor por unidade de massa de refrigerante que escoar pelo equipamento.

Foram realizados dois testes com vazões volumétricas de ar diferentes na saída do túnel de vento, no qual se encontra o evaporador: Um com uma vazão volumétrica de $0,0168 \text{ m}^3/\text{s}$ e outro com vazão volumétrica de $0,0273 \text{ m}^3/\text{s}$.

A partir dos dois testes realizados os resultados obtidos levaram às seguintes conclusões:

- A temperatura do fluido refrigerante na entrada do condensador apresentou uma variação mínima, quando se diminuiu a vazão volumétrica de ar de $0,0273 \text{ m}^3/\text{s}$ para $0,0168 \text{ m}^3/\text{s}$. A temperatura variou em média apenas $0,27 \text{ }^\circ\text{C}$, enquanto na saída obteve uma maior. A variação média de temperatura na saída do condensador foi de $2,31 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Em relação à pressão observou-se que quando se diminui a vazão volumétrica de ar, há uma variação média de pressão na entrada de $10,89 \text{ kPa}$ e na saída de $9,48 \text{ kPa}$, isso ocorre, pois, a vazão volumétrica de ar através do evaporador diminui, aumentando a taxa de transferência de calor específica;
- A perda de carga manteve-se praticamente constante ao longo de toda a análise. Em razão da baixa precisão dos manômetros, que possuem um alto incremento de escala, por isso, não foi possível fazer uma análise mais detalhada da queda de pressão e seus efeitos durante o processo.
- E em relação à taxa de transferência de calor específica, quando se diminui a vazão de ar no evaporador, há uma variação média de $6,15 \text{ kJ/kg}$.

Considerando as dificuldades que surgiram durante o desenvolvimento deste trabalho, para melhorar o entendimento dos condensadores arame sobre tubo, sugerem-se as seguintes mudanças para trabalhos futuros:

- Utilização de medidores de pressão mais sofisticados e mais precisos, de preferência, utilizar transdutores de pressão;
- Utilização de termopares blindados, ou termopares de imersão, que possibilitem medir a temperatura do refrigerante e não dos tubos, com velocidade de resposta elevada;
- Realizar os testes com outros tipos de fluidos refrigerantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARINI, R. G. **Análise energética e exergetica de um ciclo de refrigeração por compressão de vapor utilizando HC290 em substituição ao HCFC22.** Campinas, 2008. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas.

BRANDÃO, M. M. **Modelagem numérica de sistemas de refrigeração por compressão de vapor.** Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2005. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas.

ERAZO, R. G. T. P.; SEIXLACK, A. L. **Análise do desempenho de condensadores do tipo arame sobre tubo.** Ilha Solteira, 2011. UNESP- Universidade Estadual Paulista.

HERMES, C. J. L. **Desenvolvimento de modelos matemáticos para a simulação numérica de refrigeradores domésticos em regime transiente.** Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

HERMES, C. J. L. **Uma metodologia para a simulação transiente de refrigeradores domésticos.** Florianópolis, SC, 2006. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina.

JAKOBSEN, A., **Energy optimization of refrigeration system.** The domestic refrigerator - a case study. Thesis (Ph.D degree) - Refrigeration Laboratory, The Technical University of Denmark, Lyngby, 1995.

LAUAR, T. A. R. **Modelagem matemática de condensadores tubo aletado.** Belo Horizonte, 2011. Dissertação de mestrado, Universidade Católica de Minas Gerais.

LIMA, R. S. de. **Análise numérica de condensadores do tipo arame sobre tubo usados em refrigeradores domésticos.** Ilha Solteira, 2008. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista.

MILLER, R.; MILLER, M. R. **Refrigeração e ar condicionado.** Rio de Janeiro: LTC, 2008. 540p.

OLIVEIRA, B. M. **Análise numérica de condensadores do tipo arame sobre tubo usados em refrigeradores domésticos.** Relatório Pesquisa - Iniciação Científica, FAPESP, Ilha Solteira - SP, 2009.

PEREIRA, R. A. de. Uma nova metodologia para o cálculo do impacto das aplicações de refrigeração residenciais sobre o aquecimento global. Brasília, DF, 2010. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília.

PIMENTA, Paulo Henrique Neves. Análise de desempenho de evaporadores de tubo aletado. Ilha Solteira, 2015. Dissertação de mestrado, UNESP- Universidade Estadual Paulista.

RANGEL, S. de. C. Simulação transiente de um sistema de refrigeração doméstico - análise paramétrica. São Carlos, 2007. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo.