



# SICIT 2021

Semana de Iniciação  
Científica e Tecnológica

ISSN 2595-9417

27 de setembro a  
01 de outubro de 2021

Universidade de Itaúna

## INVENTÁRIO DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO À COMPRESSÃO OPERANDO COM R-134A

Guilherme H. A. Almeida, ex-aluno de Engenharia Mecânica, UIT, [guiamaral28@gmail.com](mailto:guiamaral28@gmail.com)  
João P. S. Silva, ex-aluno de Engenharia Mecânica, UIT, [joapedrosilva262@hotmail.com](mailto:joapedrosilva262@hotmail.com)  
Lucas P. Silva, ex-aluno de Engenharia Mecânica, UIT, [lucaspintoeng@gmail.com](mailto:lucaspintoeng@gmail.com)  
Sabrina N. R. Ruas, professora de Engenharia Mecânica, UIT, [sasanogueirarab@hotmail.com](mailto:sasanogueirarab@hotmail.com)

**Resumo:** A análise da quantidade e da variação da massa em um sistema de refrigeração está diretamente ligada ao coeficiente de performance (COP) do sistema. Dessa forma, o presente trabalho objetiva desenvolver o cálculo e a análise de variação da massa de um sistema de refrigeração doméstico por compressão de vapor operando com R-134a. Desenvolveu-se uma metodologia para o cálculo da massa do sistema que será apresentado ao decorrer do trabalho. Toda a tubulação foi medida e considerou-se que a variação do título em função do comprimento da tubulação é linear no evaporador e no condensador. Parâmetros como a temperatura, a pressão e a potência consumida foram medidos experimentalmente. Utilizou-se o programa LabVIEW para a medição e armazenamento dos dados experimentais. A massa de R-134a adicionada a máquina experimentalmente foi de 610 gramas. Com carga da primeira massa em teste obteve-se um COP de  $3,37 \pm 0,15$ . A massa de R-134a calculada utilizando métodos finitos foi 1255,65 gramas, com desvio 51,42 % em relação à carga experimental da máquina.

**Palavras-chave:** Inventário. Título. Massa. R-134a. COP.

### 1 Introdução

Os assuntos relacionados a eficiência de sistemas de refrigeração estão cada vez mais presentes no nosso cotidiano. Temas como tipo e quantidades de fluido, dimensões e componentes dos sistemas de refrigeração, são desafios que vêm se tornando alvos de pesquisas para conseguir desenvolver equipamentos que ofereçam alto desempenho e não sejam prejudiciais ao meio ambiente.

Em sistemas de refrigeração, a quantidade de massa de fluido refrigerante carregada em uma máquina é denominada de inventário. Essa massa está diretamente relacionada ao desempenho do equipamento, existindo então uma quantidade ótima de fluido que irá gerar um menor consumo de energia, como citado e discutido por Revellin (2009) e Porto, Koury e Machado (2013). Além disso, é importante ressaltar que o baixo consumo de energia contribui indiretamente para a redução também na produção de gases do efeito estufa.

De acordo com Porto (2009), para se determinar a massa de fluido necessária em uma máquina de refrigeração, é comum a utilização de métodos empíricos, nos quais as estimativas são realizadas com base na geometria do equipamento e, posteriormente, ajustes são realizados até que se obtenham as temperaturas desejadas. A dificuldade desta prática está ligada diretamente ao tempo dispensado para obtenção do regime permanente do equipamento, em que o equipamento se mantém em operação com poucas variações no título e estado do fluido. O título é a porcentagem de massa de vapor em uma mistura líquido-vapor.

O fluido utilizado no sistema deste trabalho é o R-134a, que é um hidrofluorcarboneto (HFC)



# SICIT 2021

Semana de Iniciação  
Científica e Tecnológica

ISSN 2595-9417

27 de setembro a  
01 de outubro de 2021

Universidade de Itaúna

livre de cloro em sua composição química, ou seja, com potencial de destruição da camada de ozônio (ODP) igual a zero e potencial de aquecimento global (GWP) de 1200. Apesar de ter um valor considerado alto de GWP, o R-134a é um dos principais candidatos na substituição do R-22 anteriormente bastante utilizado em sistemas de refrigeração e muito prejudicial ao meio ambiente (MAÍNA e HUAN, 2015).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um modelo de simulação com base em modelos finitos presentes na literatura, de forma a se obter a massa de fluido refrigerante em diversas condições de operação de um sistema. O resultado será comparado com testes experimentais realizados previamente afim de validar o modelo.

## 2 Metodologia

A medição de todos os equipamentos e tubulações da máquina para a realização de todos os cálculos foi realizada em uma bancada experimental no laboratório da iniciação científica da Universidade de Engenharia da UIT.

A quantidade de carga de R134a colocada experimentalmente foi de 610 gramas obtendo um COP experimental de  $3,37 \pm 0,15$ . Todos os dados foram coletados após o sistema atingir a condição de estado estacionário, que leva cerca de 20 minutos. O software LabVIEW foi implementado para coletar os dados experimentais. Além disso, o software Engineering Equation Solver (EES) foi usado para calcular as propriedades termodinâmicas e determinar a incerteza expandida do COP (RABELO et al, 2019).

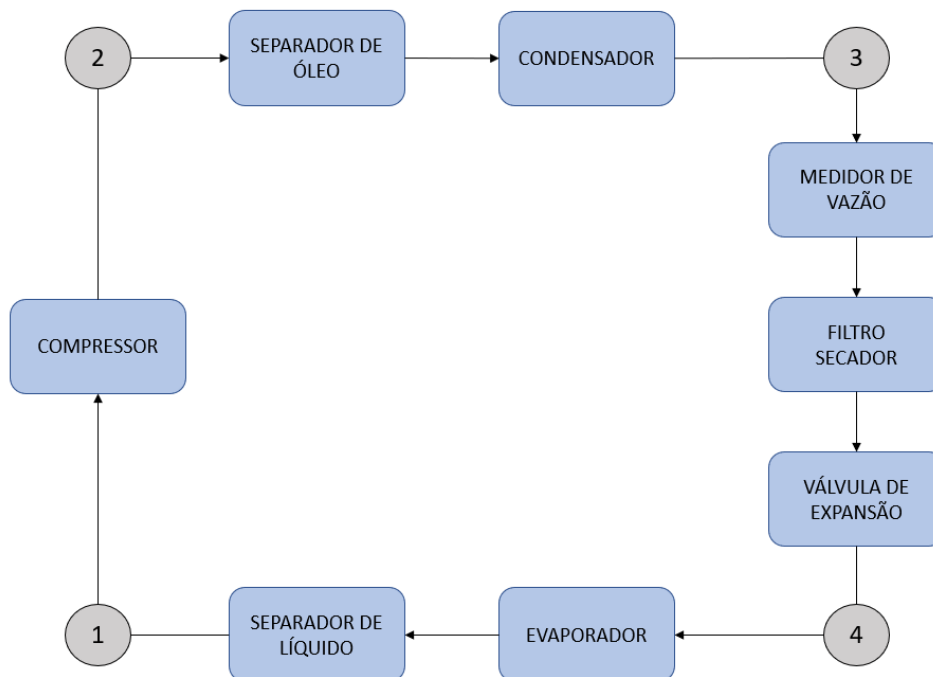
O ciclo de refrigeração é um processo que utiliza a física da transferência de calor de mudança de fase e as propriedades únicas de um líquido refrigerante para transferir calor de uma fonte relativamente fria para um meio quente, utilizando-se um trabalho para que isso ocorra. A Figura 1 apresenta os trechos 1-2, 2-3, 3-4, 4-1 da máquina de refrigeração.

Nesse ciclo de refrigeração, existem os trechos em que a fase é monofásica (tubulações e acessórios da máquina) e trechos onde a fase é bifásica (condensador e evaporador).

**Na região monofásica (tubulações e acessórios):** os escoamentos ocorrem quando o fluido não muda de fase ao decorrer do comprimento da tubulação ou do acessório, ou seja, o fluido é líquido ou gasoso.

**Na região bifásica (condensador e evaporador):** os escoamentos ocorrem nos equipamentos como condensadores e evaporadores, já que ao longo do comprimento da tubulação desses trocadores de calores existem duas fases escoantes do fluido refrigerante, ou seja, o fluido é líquido e gasoso.

Figura 1 - Ciclo de refrigeração da máquina



Fonte: Desenvolvido pelo próprio autor (2021)

Em suma, para cada trecho representado da Figura 1 temos:

- **1-2 Monofásico** – Compressor;
- **2-3 Monofásico** – Tubulação da saída do compressor até a saída do condensador e separador de óleo;
- **2-3 Bifásico** – Condensador;
- **3-4 Monofásico** – Tubulação da saída do condensador até a entrada do evaporador, medidor de vazão, filtro secador e válvula de expansão;
- **4-1 Monofásico** – Tubulação da saída do evaporador até a entrada do compressor e separador de líquido;
- **4-1 Bifásico** – Evaporador.
- 

O Quadro 1 apresenta os diâmetros, comprimentos e volumes das tubulações e acessórios que são utilizados na máquina. As medições foram feitas com paquímetro, trena e arames para simular as curvas das tubulações.



Quadro 1 - Medidas e volumes dos componentes e tipo de fase

Descrição	Diâmetros (mm)	Comprimento (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Tipo de fase
Volume da tubulação da saída do condensador até entrada do evaporador (3-4)	Ø 6,35 e Ø 12,7	2540	0,00019 m <sup>3</sup>	Monofásica
Filtro secador	Ø 54	80	0,00018 m <sup>3</sup>	Monofásico
Volume da tubulação da saída do evaporador até a entrada do compressor (4-1)	Ø 6,35	2030	0,00010 m <sup>3</sup>	Monofásica
Separador de líquido	Ø 99	260	0,00200 m <sup>3</sup>	Monofásico
Volume da tubulação da saída do compressor até a entrada do condensador (2-3)	Ø 12,7	220	0,00008 m <sup>3</sup>	Monofásica
Separador de óleo	Ø 99	250	0,00192 m <sup>3</sup>	Monofásico
Volume do compressor (1-2) 1/3 de 0,000135 m <sup>3</sup>	-	-	0,000045 m <sup>3</sup>	Monofásica
Volume do condensador	Ø 9,5	400	0,00165 m <sup>3</sup>	Bifásica
Volume do evaporador	Ø 9,5	340	0,00130 m <sup>3</sup>	Bifásica

Fonte: Desenvolvido pelo próprio autor (2021)

Nos artigos e trabalhos realizados anteriormente (S.N. RABELO, J.P.S. SILVA, L.P. SILVA, E.A.S. NOGUEIRA, J.F. DIAS, 2019), foi feita a medição das temperaturas e pressões manométricas por meio de quatro tomadas do dispositivo onde em cada uma, tinham-se manômetros e termopares tipo K, a partir desses dois instrumentos, foi possível encontrar o estado do fluido em cada trecho e utilizou-se o programa LabVIEW para armazenar os dados. Dois outros termopares foram instalados no duto de saída de ar resfriado e um para medir o ar ambiente. Todas as tubulações do sistema foram isoladas com material adequado, dessa forma obteve-se o melhor COP de  $3,37 \pm 0,15$ , utilizando a frequência de 60 Hz no motor responsável pela convecção forçada no condensador. O Quadro 2 apresenta os valores de temperatura, pressão, volume específico e estado em cada trecho.

Quadro 2 - Medições das temperaturas e pressões manométricas

T1 (°C)	P1 (kPa)	T2 (°C)	P2 (kPa)	T3 (°C)	P3 (kPa)	T4 (°C)	P4 (kPa)
18.6 ± 1	270±0.12	87.4 ± 1	1380±0.15	35.4 ± 1	1380±0.15	1.9 ± 1	280±0.12

Fonte: Rabelo et al., 2019



## 3 Resultados e discussão

### 3.1 Cálculo da massa nas regiões monofásicas

O Quadro 3, apresenta os volumes específicos ( $v$ ), densidade ( $\rho$ ) e massa ( $m$ ) em cada ponto que foi medido as temperaturas e pressões da máquina de refrigeração. É possível obter a densidade por meio da Equação (1), utilizando-se o volume específico ( $v$ ) obtido em cada trecho da máquina.

$$\rho = \frac{1}{v} \quad (1)$$

Com o volume e a densidade obtidos em cada trecho da máquina, calculou-se a a massa das regiões monofásicas utilizando a Equação (2).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Quadro 3 - Massas das tubulações e acessórios monofásicos

Ciclo	T (°C)	P(kPa)	Volume específico (m³/kg)	$\rho$ r134-a (kg/ m³)	Volume (m³)	Massa (kg)
1-2 Compressor	18,6	270	v1 = 0,08640 Vapor Superaquecido	11,57	0,000045	0,00052
Separador de líquido	18,6	270	v1 = 0,08640 Vapor Superaquecido	11,57	0,0020	0,0231
2-3 tubulação após compressor	87,4	1380	v2 = 0,01829 Vapor Superaquecido	54,67	0,00008	0,0044
Separador de óleo	87,4	1380	v2 = 0,01829 Vapor Superaquecido	54,67	0,00192	0,105
3-4 tubulação	35,4	1380	v3 = 0,000857 Líquido Comprimido	1166,86	0,00019	0,222
Filtro Secador	35,4	1380	v3 = 0,000857 Líquido Comprimido	1166,86	0,00018	0,210
4-1 tubulação	2	280	v4 = 0,01615 Saturação x = 0,24	61,92	0,00010	0,0062

Fonte: Desenvolvido pelo próprio autor (2021)

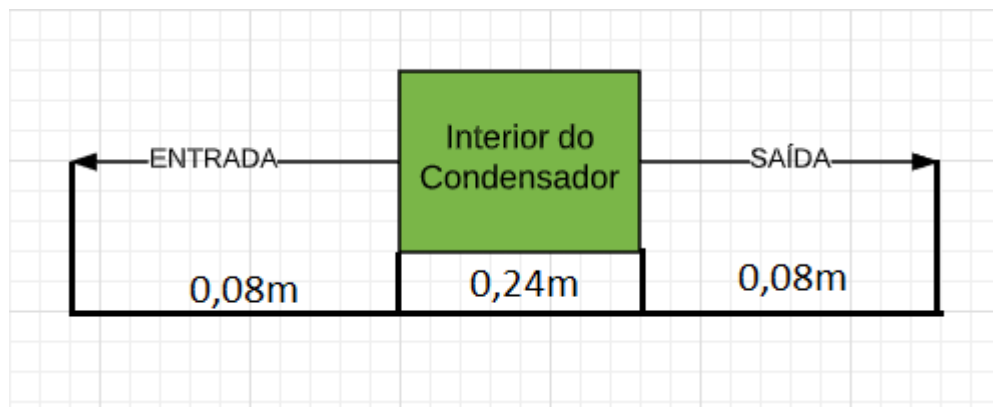
A somatória das massa das regiões monofásicas da máquina apresentou um valor de 0,57122Kg (571,22g).

### 3.2 Cálculo da massa nas regiões bifásicas - Utilização de métodos dos volumes finitos

Para se utilizar o método dos volumes finitos no condensador tanto como no evaporador, utiliza-se uma metodologia de cálculo considerando que para cada volume de controle estabelecido, o título varia de maneira linear ao longo do seu comprimento. Logo, estabeleceu-se que para o condensador o título é igual a 1, até o valor de 0, no limite da região monofásica, onde o fluido volta a ser líquido comprimido. No evaporador, considerou-se o título inicial igual a 0,24, o qual foi obtido experimentalmente, varinado até 1.

No conceito utilizado para o cálculo, considerou-se que na entrada os primeiros 20% do comprimento total do condensador, o fluido ainda opera na região monofásica no estado de vapor superaquecido, após esses 20%, o fluido opera 60% do comprimento total do condensador na região bifásica no estado de saturação até atingir título igual a 1. Já os 20% finais do comprimento total do condensador, o fluido volta a operar na região monofásica no estado de líquido comprimido. A Figura 2 apresenta os valores e o conceito utilizado no comprimento do condensador.

Figura 2 - Ilustração do conceito utilizado no condensador



Fonte: Desenvolvido pelo próprio autor (2021)

A partir da Equação (2), foi obtido o valor de massa de 0,0180Kg (18g) na entrada e de 0,385Kg (385g) na saída do condensador.

Na região de saturação do condensador foram considerados 11 volumes de controle ( $n$ ) e 58 aletas para calcular o volume finito de  $0,000090\text{m}^3$ , utilizado as Equações (3), (4) e (5), em que foi necessário o volume específico ( $v$ ) e o título ( $X$ ) de cada região para encontrar o comprimento e o volume finito do condensador.

$$v = v_v \times X + (1 - X)v_L \quad (3)$$

$$\text{Comp. finito} = \frac{\text{Comp.interior}}{n} \quad (4)$$



$$\text{Vol. finito} = \text{Comp. finito} * \text{Øtubulação} * 58 \quad (5)$$

O Quadro 4, apresenta os valores das massas para região de saturação do condensador variando o título linearmente com o comprimento da tubulação.

Quadro 4 - Valores das massas na região de saturação do condensador em cada volume de controle

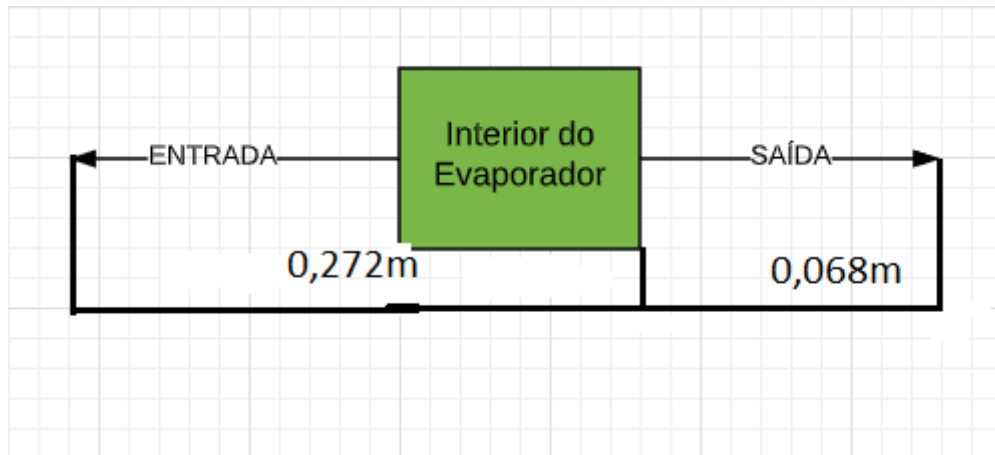
Volume de controle	Título (x)	Volume específico (m <sup>3</sup> /kg)	$\rho_{r134-a}$ (kg/ m <sup>3</sup> )	Massa (kg)
1	1	0,01442	69,35	0,00624
2	0,9	0,01307	76,51	0,00689
3	0,8	0,01172	85,32	0,00768
4	0,7	0,01037	96,43	0,00868
5	0,6	0,00902	110,86	0,00998
6	0,5	0,00767	130,58	0,01173
7	0,4	0,00632	158,23	0,01424
8	0,3	0,00497	201,21	0,01811
9	0,2	0,00362	276,24	0,02486
10	0,1	0,00227	440,53	0,03965
11	0,0	0,000915	1092,90	0,09836

Fonte: Desenvolvido pelo próprio autor (2021)

Na região de saturação obteve-se uma massa de 0,24642Kg (246,42g). Considerando as regiões de entrada, saída e saturação, a massa total contida no condensador é de 0,64942Kg (649,42g).

No caso do evaporador, o conceito utilizado para o cálculo da massa é diferente do condensador, pois na entrada do evaporador o fluido já está na região de saturação com título igual a 0,24 (valor obtido experimentalmente). Considerou-se então, que o fluido opera 80% do comprimento total do evaporador na região bifásica até atingir o título igual a 1. Logo, os 20% finais do comprimento total, o fluido opera na região monofásica no estado de vapor superaquecido. A Figura 3 apresenta os valores e o conceito utilizado no comprimento do evaporador.

Figura 3 - Ilustração do conceito utilizado no evaporador.



Fonte: Desenvolvido pelo próprio autor (2021)

Na região de saturação do evaporador foram considerados 09 volumes de controle e 54 aletas para calcular o volume finito de  $0,000115\text{m}^3$ , utilizado as Equações (3), (4) e (5).

O Quadro 5 apresenta os valores das massas para região de saturação do evaporador considerando a variação do título em função do comprimento da tubulação seja linear. O somatório de todos os trechos da região de saturação obteve-se uma massa total de  $0,03150\text{ kg}$  ( $31,50\text{ g}$ ).

Quadro 5 - Valores das massas na região bifásica do condensador em cada volume de controle

Volume de controle	Título (x)	Volume específico ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )	$\rho_{r134-a}$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Massa (kg)
1	0,24	0,01615	61,92	0,00712
2	0,30	0,02000	50,00	0,00575
3	0,4	0,02640	37,88	0,00436
4	0,5	0,03281	30,48	0,00351
5	0,6	0,03922	25,50	0,00293
6	0,7	0,04563	21,92	0,00252
7	0,8	0,05204	19,22	0,00221
8	0,9	0,05844	17,11	0,00197
9	1,0	0,06485	15,42	0,00113

Fonte: Desenvolvido pelo próprio autor (2021)

A partir da Equação (2), foi obtido o valor de massa de  $0,00301\text{Kg}$  ( $3,01\text{g}$ ) na entrada e de  $0,385\text{Kg}$  ( $385\text{g}$ ) na saída do evaporador. A massa total do evaporador, considerando as regiões de saturação e saída, é de  $0,03451\text{Kg}$  ( $34,51\text{g}$ ).

Após serem feitos todos os cálculos de massa nas regiões monofásicas e nas regiões bifásicas, a massa total do sistema foi de  $1255,65\text{ g}$ . O Quadro 6, apresenta a quantidade de massa em porcentagem que a máquina necessita em cada trecho e acessórios.





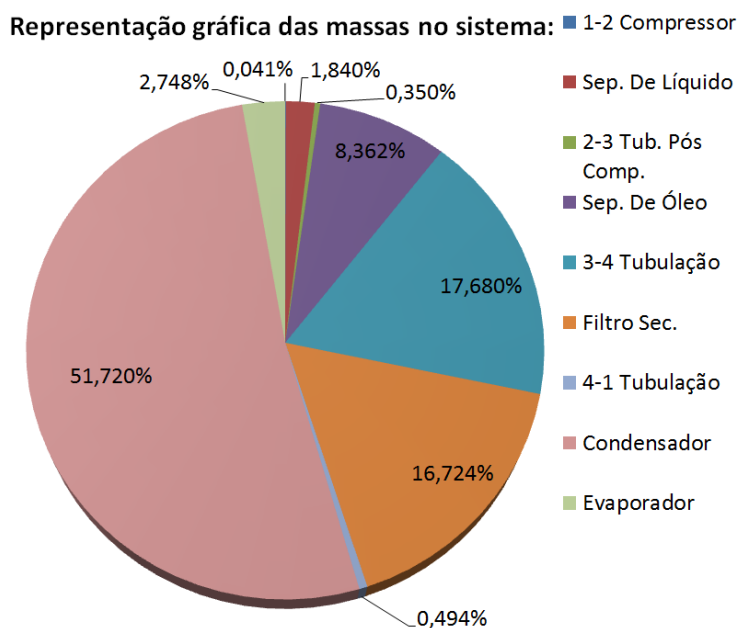
Quadro 6 - Porcentagem de massa nos trechos e acessórios

Trecho	Porcentagem de massa em cada trecho e acessório (%)
1-2 Compressor	0,041%
Separador de líquido	1,840%
2-3 tubulação após compressor	0,350%
Separador de óleo	8,362%
3-4 tubulação	17,680%
Filtro Secador	16,724%
4-1 tubulação	0,494%
Condensador	51,720%
Evaporador	2,748%

Fonte: Desenvolvido pelo próprio autor (2021)

A Figura 4 apresenta o gráfico de todas as massas que são consumidas em cada trecho e acessórios em todo o sistema.

Figura 4 - Representação gráfica das massas.



Fonte: Desenvolvido pelo próprio autor (2021)

## 4 Conclusão

Os resultados obtidos mostram que quando o fluido está na região de estado líquido, sua massa é muito elevada quando comparada a região que está em estado gasoso, como pode se provar pelo condensador e evaporador, quando todo o vapor se transforma em líquido no condensador, é onde se tem a maior massa do sistema, cerca de 51,72% da massa total. Enquanto no evaporador quando todo o líquido se transforma em vapor a massa é bem inferior, cerca de 2,748% da massa total do sistema, conseqüentemente a menor massa está presente no compressor devido ao seu baixo volume e onde se encontra a menor densidade do fluido no

trecho 1-2, cerca de 0,038% da massa total. No filtro secador a massa também é alta, cerca de 16,724% da massa total do sistema, devido ao estado líquido e a maior densidade do fluido é encontrada no trecho 3-4.

Pode se notar também que na tubulação 3-4, onde o estado líquido do fluido predomina, a massa é superior do que a soma das tubulações 2-3 e 4-1 em que o estado de vapor predomina, na tubulação 3-4 a massa é de 17,680% da massa total do sistema, enquanto a soma das massas das tubulações 2-3 e 4-1 é de 0,844% da massa total do sistema.

As garrafas de líquido e óleo também tem uma grande diferença nas massas, na garrafa de óleo a massa é de 8,362% da massa total do sistema, enquanto na garrafa de líquido é de 1,840% da massa total, isso é devido à mudança de densidade do fluido em cada ponto da máquina, já que no trecho 2-3, a densidade do fluido naquele trecho é superior a do trecho 1-2. É importante ressaltar que nos testes experimentais essas garrafas ainda não estavam instaladas na máquina.

A massa experimental que foi carregada na máquina foi de 610 gramas, enquanto a massa calculada foi de 1255,65 gramas, um desvio de 51,42 %. O principal motivo da grande diferença foi que nos testes experimentais em que se carregou a massa com 610 gramas, a máquina não tinha alguns acessórios importantes tais como: filtro secador, garrafa de líquido e de óleo que interferem significativamente na massa total do sistema, como representado na Figura 4. Espera-se que novos testes experimentais possam ser realizados na nova montagem do sistema de refrigeração para validar o modelo apresentado, e conseqüentemente, determinar o melhor COP do sistema.



# SICIT 2021

Semana de Iniciação  
Científica e Tecnológica

ISSN 2595-9417

27 de setembro a  
01 de outubro de 2021

Universidade de Itaúna

## Referências

HUMIA, Gleberon Marques. **Estudo experimental e modelo de simulação para a determinação do inventário em sistemas de refrigeração carregados com os fluidos R-134a e HFO-1234yf**. 2017.

REVELLIN, R. **Prediction of frictional pressure drop during flow boiling of refrigerants in horizontal tubes**. Comparison to an experimental database, International Journal of Refrigeration, 2009

MAINA, P.; HAUN, Z. A review of carbon dioxide as refrigeration in refrigeration technology. **South African Journal of Science**, n.111, v.9/10, 2015.

PORTO, M. P.; KOURY, R. N. N.; MACHADO, L. An alternative method to estimate refrigeration system inventory. **Applied thermal engineering**, v. 52, n. 2, p. 313-320, 2013.

PORTO, M. Pereira. **Metodologia para cálculo da massa de fluido refrigerante em sistemas de refrigeração por compressão de vapor**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Universidade Federal de Minas Gerais. Orientador: Prof. Dr. Luiz Machado.

RABELO S.N.; SILVA J.P.S.; SILVA L.P.; NOGUEIRA E.A.S.; DIAS J.F. **COBEM – A Drop-in analysis of the performance of R-22 with R-134a for a dosmetic vapor compression refrigeration system**. 25° Congresso Internacional de Engenharia Mecânica, 2019, 2p.