

ESTUDO COMPARATIVO DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO TRABALHANDO COM DOIS DIFERENTES REGIMES DE FRIO. AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO DO SISTEMA COM A IMPLANTAÇÃO DE MAIS UM CONDENSADOR

Cristina Bortolanza¹
Rodrigo Konrath²

RESUMO

Projetos voltados para a melhoria de sistemas geralmente consideram a mudança de equipamentos, modificações ou estabelecimento de novas estratégias que buscam aperfeiçoar por rendimento de equipamentos em relação ao nível de produção. Pensando nisso, esse estudo objetivou identificar se houve melhora no rendimento do sistema e se foi possível diminuir o tempo de retenção dos produtos congelados após a implantação de mais um condensador em um sistema de refrigeração por amônia e da mudança do regime de frio de $-35^{\circ}\text{C}/+35^{\circ}\text{C}$ para $-45^{\circ}\text{C}/+25^{\circ}\text{C}$. O estudo foi desenvolvido junto a um frigorífico localizado no município de Chapecó, a oeste do estado de Santa Catarina. A metodologia empregue consistiu em um estudo aplicado, com implementação de um projeto de modificação. A análise foi realizada por meio de um modelo comparativo, avaliando o rendimento de três compressores (1 compressor que trabalha em Baixa Temperatura de Evaporação e dois com duplo estágio) antes e após as mudanças. Foi mesurado o rendimento do sistema para comparação antes e após a implantação do condensador e do tempo de retenção os produtos nos dois cenários de regime de frio. Os resultados indicaram que a ampliação na quantidade de condensadores melhorou significativamente o rendimento do sistema de refrigeração e alteração no regime de temperatura de congelamento possibilitou um ganho de 25% na capacidade de congelamento diária.

Palavras-chave: Refrigeração Industrial; Eficiência Energética; Frigorífico.

1 INTRODUÇÃO

A refrigeração é definida como “a ação de resfriar”, seja um ambiente, de forma controlada, para garantia do conforto térmico e manutenção da temperatura de espaços habitáveis, seja pelo interesse de viabilizar processos, como a conservação de alimentos, conforme a definição de Kuehn, Ramsey e Threlkeld (1998). Contudo, o desenvolvimento da refrigeração voltada para a indústria não pode ser considerado apenas um subproduto do condicionamento de ar, especialmente porque é um processo com características próprias que envolvem mão de obra mais especializada e um custo de projeto relativamente maior. Além disso, problemas típicos observados em operações com baixa temperatura, não são observados em condicionamento de ar para o conforto térmico (Stoecker; Jabardo, 2018).

¹ Graduando (a) em Engenharia Mecânica (UCEFF, 2023). E-mail: cristinabortolanza2014@gmail.com.

² Mestre em Física – Unidade Central de Educação Faem Faculdade (UCEFF) - E-mail: konrath@uceff.edu.br.

Na cadeia produtiva alimentar, a manutenção da temperatura é caracterizada como essencial, especialmente para as linhas de produção e armazenamento, sendo parte do processo que visa garantir a qualidade do produto e seu fator microbiológico (Meneghini; Saatkamp, 2017). Frinhani, Moreira e Gallo (2022) acrescentam, ainda, que a refrigeração deve ser considerada uma ferramenta primordial na conservação e produtos perecíveis, seja em grandes ou pequenas escalas. Isso torna o uso de processo de refrigeração indispensáveis no dia a dia, e, “[...] como consequência, também é indispensável o uso da energia elétrica para o acionamento dos motores e outros equipamentos associados a esses sistemas”, explica Silva (2005, p. 15).

Existe uma variedade considerável de métodos de refrigeração que podem ser empregues nos processos industriais atualmente. Esses sistemas foram aprimorados ao longo do tempo, justamente por causa da demanda do setor de alimentos, especialmente frigoríficos. Isso se deveu ao mau cheiro, ao sangue e ao barulho, influenciando os primeiros frigoríficos a investirem em modelos de refrigeração e armazenamento para garantir qualidade e permitir que os produtos possuíssem uma durabilidade maior (Deliberal; Pauletti, 2022). Atualmente, os processos mais usualmente empregues na refrigeração industrial são modelos por compressão de vapor e absorção, uma vez que são processos contínuos que possibilitam uma refrigeração constante (Miguel, 2020).

Deve-se, portanto, levar em consideração a necessidade que muitos estabelecimentos apresentam, dando enfoque a uma empresa do ramo frigorífico localizada no município de Chapecó-SC, com relação ao aumento do número de condensadores no seu sistema de resfriamento e a alteração das temperaturas do regime de congelados de $-35^{\circ}\text{C}/+35^{\circ}\text{C}$ para $-45^{\circ}\text{C}/+25^{\circ}\text{C}$. O objetivo dessas mudanças é, justamente, a busca por melhorias nos seus parâmetros de trabalho, reduzindo assim o tempo de retenção de produtos. Diante disso, a problemática que emerge dessa situação levanta o seguinte questionamento: **Após a implantação de mais um condensador, e alteração do regime de trabalho do sistema foi possível observar uma melhora nos parâmetros desse sistema e um tempo de retenção menor para congelamento dos produtos?**

Nesse sentido, o objetivo geral desse trabalho foi de identificar se houve melhora nos parâmetros do sistema e se foi possível diminuir o tempo de retenção para congelamento dos produtos após as alterações realizadas. Para responder ao objetivo proposto, fez-se necessário mensurar os parâmetros do sistema antes e depois da sua ampliação, calculando sua carga térmica e medindo o tempo de retenção dos produtos em ambos os cenários.

A justificativa de desenvolvimento desse estudo reside em demonstrar a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos ao longo dessa formação, indicando a importância do correto dimensionamento e funcionamento de sistemas de refrigeração no que tange à redução da pressão de trabalho e do tempo de retenção para o congelamento dos produtos do estabelecimento. Isso permite, inclusive, apontar o impacto econômico e a possível capacidade de aumento no congelamento de produtos, uma vez que a possibilidade de congelar uma maior quantidade de alimentos em menos tempo permite a ampliação do processo produtivo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Essa seção busca aprofundar o aporte teórico que orienta a elaboração deste trabalho. Perpassam-se, aqui, os principais conceitos relacionados aos sistemas de refrigeração, especialmente na indústria alimentícia. Entende-se que o processo de refrigeração é bastante complexo e, portanto, o contexto do estado da arte aqui apresentado dá enfoque, especificamente aos elementos que serão tratados na análise e na discussão, a ser posteriormente apresentada.

2.1 REFRIGERAÇÃO: VISÃO GERAL

A refrigeração é definida como arte ou ciência relacionada à transferência contínua de energia térmica cujo objetivo é o resfriamento de sistemas a temperaturas inferiores às disponíveis em um determinado ambiente ou momento (Gosney, 1982). O uso de diferentes técnicas de refrigeração não é uma novidade, assim como sua prática não é recente. Os primeiros modelos faziam uso de opções naturais, como o gelo colhido em rios e lagos ou água corrente, com o intuito de conservar alimentos (Salvador, 2022). Ao longo dos anos esse processo vem evoluindo e se modificando constantemente.

2.2 REFRIGERAÇÃO APLICADA À INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

A refrigeração voltada para a indústria alimentícia é usada, principalmente, na conservação de alimentos em temperaturas elevadas, evitando que sofram ações de bactérias, reações de fermentação e o aparecimento de bolor. O uso dos sistemas de refrigeração também está associado ao cumprimento de requisitos de conservação exigidos por órgãos sanitários, o

que garante uma maior qualidade do produto ofertado, embora existam custos relacionados ao processo (Dincer, 2017). As temperaturas de refrigeração, conforme explicam Lopes, Rodrigues e Nascimento (2018), devem ser estabelecidas de acordo com o produto a ser refrigerado, devendo-se considerar também o tempo de conservação desses produtos e as condições apresentadas pela câmara.

A água, componente que, apesar da variação, é o componente mais encontrado nos produtos justamente devido ao teor de gordura que estes possuem, é um dos principais fatores que influenciam na temperatura dos alimentos, seja para aquecimento, seja para o seu resfriamento (Miguel, 2020). O congelamento de um alimento ocorre a partir da mudança de fase da água e um bom sistema de resfriamento precisa atender às especificações desse processo, estando de acordo com o tipo de alimento que está sendo resfriado, levando em consideração todos os seus componentes, conforme explicam Heller, Selke e Keoleian (2018).

2.1.1 Amônia

A amônia (R-717) é considerada o principal refrigerante da história, com propriedades térmicas ideais aos processos relacionados ao resfriamento. Dentre às características definidas como ideais para um refrigerante, exige-se uma boa capacidade de volatilização e elevado calor latente de vaporização; apresentar um mínimo de potência para compressão à pressão de condensação; sua temperatura crítica deve estar acima da temperatura de condensação e a pressão de evaporação e condensação são razoáveis (Rosa; Larios; Costa, 2014).

Além disso, o fluido deve produzir o máximo possível de refrigeração por um dado volume de vapor e ter estabilidade química, sem prejudicar metais, lubrificantes e outros materiais utilizados no processo, não ser combustível ou explosivo e apresentar baixa toxicidade, com fácil detecção em caso de vazamentos a um custo razoável e boa disponibilidade comercial (Rosa; Larios; Costa, 2014). Dentre os fluidos refrigerantes, a amônia atende a maioria desses requisitos, basta que se observem algumas de suas propriedades físicas, conforme Tabela 1, indicando o motivo pelo qual a amônia se tornou o principal fluido utilizado na refrigeração industrial atualmente.

Tabela 1 – Propriedades físicas dos fluidos refrigerantes usados na indústria.

Composição	R-717	R-22	R-134a	R-123
	NH ₃	CHClF ₂	CH ₂ FCF ₃	CHCl ₂ CF ₃
Massa Molecular	17,03	86,48	102,03	152,93
Temperatura Crítica (°C)	132,40	96,20	101,15	183,71
Pressão crítica (MPa)	11,35	5,00	4,06	3,67

Temperatura de Ebulição à 0,101 MPa, °C	-33,40	-40,80	-26,50	27,90
Entalpia de Vaporização à 0,101 MPa, kJ/kg	1372,80	233,60	231,20	230,30
Volume Específico do Vapor à 0,101 MPa, m ³ /kg	1,12	0,21	0,18	0,15
Relação entre Pressões na Faixa -30/35 °C	9,81	8,29	9,10	-
Relações entre pressões na Faixa 0/35°C	2,72	2,72	2,63	3,98
Potencial de Destruição da Camada de ozônio (ODP)	0	0,05	0	0,02
Efeito Estufa (GWP)	0	0,04	0,31	0,02

Fonte: Jabardo (1993) e Miguel (2020).

É possível verificar que a amônia possui uma massa molecular menor que outros refrigerantes (17,03 g/mol) e, de acordo com Miguel (2020), a massa molecular tem relação inversamente proporcional ao calor específico de uma substância e ao calor latente de sua vaporização, indicando que, quanto maior o calor latente de vaporização, menor é o volume de refrigerante necessário. A amônia também possui uma melhor capacidade de transferência de calor, permitindo o uso de uma área de transferência de calor menor. Seus efeitos sobre a atmosfera são considerados quase nulos e além de apresentar a maior solubilidade em água (Felix; Cardoso, 2004).

2.1.2 Sistemas de Refrigeração por Amônia

Os sistemas de refrigeração por amônia são largamente utilizados no mercado de refrigeração. De modo geral, sistemas de refrigeração por absorção, que fazem uso da amônia como fluido refrigerante e a água como agente absorvente, são baseados no fato de que o vapor da amônia pode ser absorvido facilmente a frio por outros líquidos. Esse processo acaba gerando uma carga de refrigeração bastante significativa (Costa, 2017). Miguel (2020) destaca que a análise específica do funcionamento desse tipo de sistema evidencia um ponto crítico: o alto consumo de energia quando comparado a sistemas de compressão mecânica, por exemplo.

2.1.3 Evaporadores

Os evaporadores agem na troca de calor que resfria o fluido que vai refrigerar um ambiente ou processo. Eles são elementos de participação direta no resfriamento, porque geralmente nesse ponto ocorre a interação entre o sistema de refrigeração e o ciclo frigorífico. Em sistemas mais antigos, há predominância do uso de evaporadores do tipo carcaça-tubo, que vêm gradativamente sendo substituídos por evaporadores de placa (Stoecker; Jabardo, 2018).

2.1.4 Compressores

Sistemas de refrigeração por compressão de vapor fazem uso de compressores alternativos e rotativos. Compressores alternativos são muito aplicados em pequenas e médias instalações, enquanto que compressores rotativos são direcionados às grandes instalações que trabalham com variados estágios de compressão. Há também os compressores centrífugos, que possibilitam operações de alta rotação e são um destaque em instalações à água e em sistemas de condicionamento de ambientes (Miguel, 2020).

2.1.5 Condensadores

Os condensadores são responsáveis pela liberação do calor absorvido pelo evaporador somado ao calor absorvido ao longo do processo de compressão, em que o resfriamento do fluido refrigerante no condensador ocorre primeiro por meio da troca de calor sensível, onde o fluido tem sua temperatura reduzida até a temperatura de saturação adequada para a temperatura na qual ele se encontra. A partir desse momento, ocorre a condensação do fluido (stoecker; jabardo, 2018).

2.1.6 Válvulas de Expansão

Válvulas de expansão termostáticas tem, por finalidade, a regulação da vazão de entrada do fluido no evaporador, injetando o refrigerante de forma controlada por meio de superaquecimento, que deve ser constante. Esse tipo de válvula deve apresentar alta resistência à pressão de trabalho e à corrosão, além de fácil adaptação ao superaquecimento. Com ela, é possível trabalhar com faixas bastante amplas de temperatura, permitindo uma vasta aplicação na refrigeração industrial, como sistemas de bomba de calor, sistemas de condicionamento de ar, transportes refrigerados, resfriadores líquidos e máquinas de gelo (Miguel, 2020).

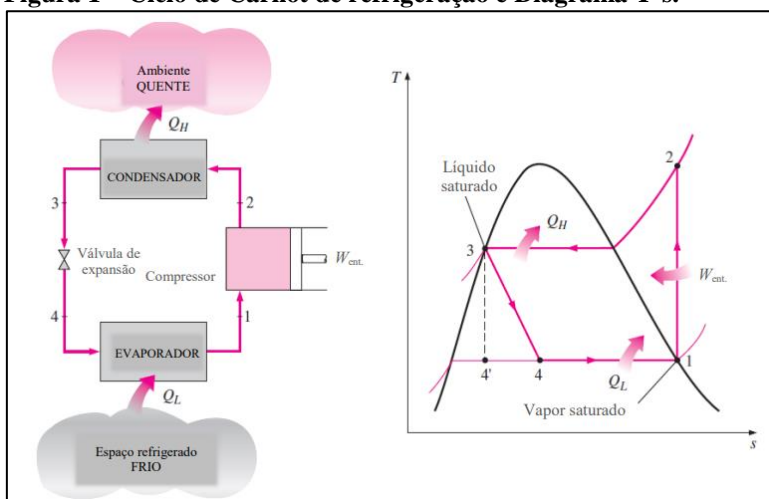
2.3 CICLOS DE REFRIGERAÇÃO

A refrigeração acontece por meio de um ciclo termodinâmico, gerando uma série de ações que resultam em um processo de refrigeração em forma contínua. Ao longo desse ciclo, o fluido refrigerante passa por uma série de processos e retorna ao seu estado inicial (deliberal; pauletti, 2022). Existem uma série de modelos de sistemas de refrigeração que podem ser utilizados na garantia do processo de troca de calor, como a remoção de calor de um ambiente,

sistemas de múltiplos estágios, o ciclo por absorção, que compreender a interação entre diferentes propriedades físicas (Goersch, 2022), como é o caso do Ciclo de Carnot na Refrigeração.

Como supracitado, os ciclos de refrigeração são processos empregados na refrigeração de ambientes de modo contínuo. Sob a ótica dos fundamentos termodinâmicos, o ciclo de Carnot é considerado por alguns autores o ciclo ideal e de alta eficiência, já que, teoricamente, esse sistema trabalha entre dois níveis de temperatura e possui reversibilidade, isto é, ele pode operar no sentido contrário também. Assim, ao invés do sistema de refrigeração gerar trabalho, o trabalho acaba sendo empregado no sistema, para retirar calor da fonte fria e injetá-lo na fonte quente (Stoecker. Jabardo, 2018; Miguel, 2020). A Figura 1 apresenta a representação esquemática do ciclo de refrigeração de Carnot e seu diagrama T-s (temperatura-entropia), apresentando as 4 etapas existentes no processo, conforme explica Ferreira (2015).

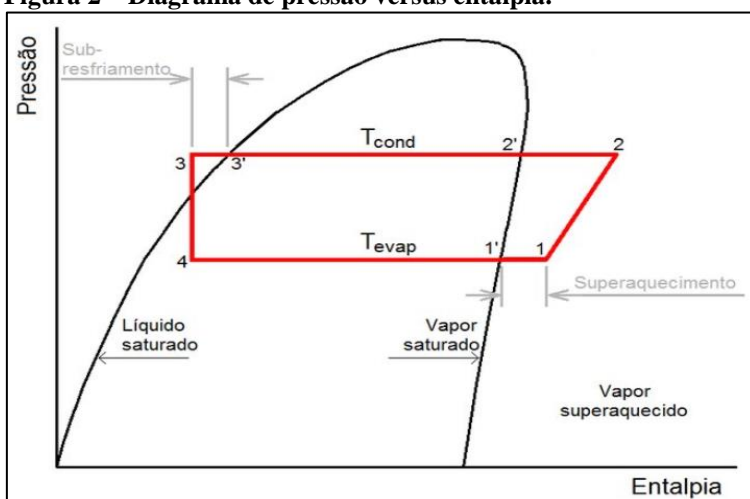
Figura 1 – Ciclo de Carnot de refrigeração e Diagrama T-s.



Fonte: Adaptado de Çengel e Boles (2006).

A etapa 1-2 é onde ocorre uma compressão isentrópica no compressor, a etapa 2-3 apresenta o processo em que o condensador retira o calor do sistema, direcionando-o para o ambiente quente. Na etapa 3-4, ocorre a expansão do fluido no sistema, o que acaba, em grande parte das vezes, reduzindo a entropia. Por fim, a etapa 4-1 apresenta a absorção do calor pelo evaporador do ambiente que deve ser refrigerado a uma pressão constante (Ferreira, 2015). É possível verificar, na Figura 2, o diagrama de pressão (p) versus entalpia (h).

Figura 2 – Diagrama de pressão versus entalpia.



Fonte: Boabaid Neto (2013).

O gráfico permite observar todas as propriedades do fluido na refrigeração, servindo como um indicador das propriedades termodinâmicas. O diagrama pode ter “por ordenada e abcissa, respectivamente, T-v (temperatura versus volume específico), p-h (pressão versus entalpia específica), T-s (temperatura versus entropia específica) ou ainda h-s (entalpia específica versus entropia específica)”, como explica Boabaid Neto (2013, p. 17).

2.4 FUNDAMENTOS TERMODINÂMICOS

Um sistema termodinâmico é definido como um grupo de material ou substâncias que sofrem interação entre as suas propriedades físicas, isto é, permite compreender causa e efeito da mudança na temperatura, na pressão e no volume de um sistema físico em uma escala macroscópica, conforme explica Goersch (2022). Nesse processo, alguns elementos se destacam na avaliação de um sistema e eles serão discutidos a seguir.

2.4.1 Carga Térmica

Miguel (2020, p. 22) explica que “Se um ambiente é refrigerado com o fluxo da massa de ar que chega com uma quantidade de calor e também é retirada uma quantidade de calor, se faz necessário para resfriá-lo uma potência frigorífica”. Assim, a definição da carga térmica é fundamental para um projeto de refrigeração, buscando determinar a quantidade de calor a ser retirada do ambiente para que ele possa manter a baixa temperatura a longo prazo. A obtenção do valor da carga térmica se dá por meio da soma de todas as fontes de calor do ambiente, conforme explicam Stoecker e Jabardo (2018).

Assim, para identificar a energia de carga térmica utiliza-se as equações a seguir. A primeira delas seria o calor transmitido através das paredes (Q_1), dado pela Equação 1.

$$Q_1 = 86,4 * A * U * (T_e - T_i + \Delta T_{ins}) \left[\frac{kJ}{24h} \right] \quad (1)$$

Onde:

Q_1 = Calor transmitido através das paredes, piso ou teto (kJ/24h);

A = Área da superfície externa da parede, piso ou teto (m²);

U = Coeficiente global de transmissão de calor (Tabelado) (W/m²K);

T_e = Temperatura externa da câmara frigorífica (°C);

T_i = Temperatura interna da câmara frigorífica (°C);

ΔT_{ins} = Acréscimo de temperatura devido à insolação (Tabelado) (°C).

Um segundo modo de identificar a energia de carga térmica ocorre por meio da avaliação do calor devido à infiltração (Q_2), investigado a partir da Equação 2.

$$Q_2 = V_i * n * (h_e - h_i) \quad (2)$$

Onde:

Q_2 = Calor devido à infiltração (kJ/24h);

V_i = Volume interno da câmara frigorífica (m³);

n = Número de trocas de ar por 24 horas (Tabelado);

h_e = Entalpia do ar externo (Tabelado) (kJ/m³);

h_i = Entalpia do ar interno da câmara frigorífica (Tabelado) (kJ/m³).

Em terceiro lugar, essa averiguação pode ser realizada por meio da carga oriunda de produtos ou embalagens (Q_{3a}), dada pela Equação 3, pela Q_{3r} (Equação 4) ou Q_{3e} (Equação 5).

$$Q_{3a} = mp * c_1 * (T_p - T_c) \quad (3)$$

Onde:

Q_{3a} = Calor removido do produto no processo de resfriamento (kJ/24h);

mp = Massa diária de produto (kJ/24h);

c_1 = Calor específico do produto antes do congelamento (Tabelado) (kJ/kg K);

T_p = Temperatura inicial do produto (°C);

T_c = Temperatura de congelamento (°C).

$$Q_{3r} = ma * R \quad (4)$$

Onde:

Q_{3r} = Calor devido à respiração do produto (kJ/24h);

ma = Massa de produto armazenado (kg);

R = Calor de respiração do produto (Tabelado) (kJ/kg.24h).

$$Q_{3e} = me * ce * (T_p - T_i) \quad (5)$$

Onde:

Q_{3e} = Calor devido à embalagem (kJ/24h);

me = Massa diária de embalagem (kJ/24h);

ce = Calor específico da embalagem, (2,8 para madeira e 1,88 para papelão) (kJ/kg °C);

T_p = Temperatura inicial da embalagem (°C);

T_i = Temperatura interna da câmara frigorífica (°C).

É possível também identificar a energia de carga térmica oriunda do calor decido pelas pessoas (Q_4), conforme demonstra a Equação 6, ou pelo calor cedido pela iluminação (Q_5), como indica a Equação 7.

$$Q_4 = n * q * np \quad (6)$$

Onde:

Q_4 = Calor emitido pelas pessoas (kJ/24h);

n = Número de pessoas que circulam na câmara frigorífica;

q = Calor gerado por pessoa (Tabelado), em kJ/h;

np = Número médio de horas que cada pessoa permanece na câmara (h/24h).

$$Q_5 = P * ni * 3,6 \quad (7)$$

Onde:

Q_5 = Calor emitido pela iluminação (kJ/24h);

P = Potência das lâmpadas (W);

n_i = Número de horas de funcionamento da iluminação (h/24h).

Por fim, como indica a Equação 8, também é possível avaliar esse parâmetro por meio do calor cedido pelos motores (Q_6).

$$Q_6 = P * nm * \frac{3,6}{\eta} \quad (8)$$

Onde:

Q_6 = Calor emitido pelos motores (kJ/24h);

P = Potência dos motores (W);

nm = Número de horas de funcionamento do motor (h/24h);

η = Rendimento aproximado do motor (Tabelado).

2.4.2 Capacidade de Refrigeração ou Potência Frigorífica

A capacidade frigorífica, também chamada de capacidade de refrigeração ou potência frigorífica, é caracterizada pela quantidade de calor por unidade de tempo que pode ser retirada de um meio que deve ser resfriado. Para um sistema que opera em regime permanente, onde despreza-se a variação de energia e potencial, da primeira lei da termodinâmica (Martinelli Junior, 2010), faz-se uso da Equação 9.

$$Q_e = m(h_1 - h_4) \quad (9)$$

Onde:

Q_e = capacidade frigorífica (operação do ciclo da temperatura T_e para T_0 , de kcal/h);

m = vazão mássica do refrigerante (kg/s);

h_1 e h_4 = entalpia específica (kcal/kg).

2.4.3 Potência Entregue ao Compressor

Conforme explica Martinelli Junior (2010), a Potência Teórica do Compressor (W_c), também chamada de potência entregue do compressor, caracteriza a quantidade de energia da unidade de tempo que deve ser fornecida ao refrigerante pelo compressor, de modo que ele passe do estado de sucção do compressor para o estado de descarga. O autor caracteriza esse como um processo isoentrópico no compressor, que pode ser avaliado por meio da Equação 10.

$$W_c = m(h_2 - h_1) \quad (10)$$

Onde:

W_c = potência do compressor (kcal/h);

m = vazão mássica do refrigerante (kg/s);

h_2 e h_1 = entalpia específica (kcal/kg).

2.4.4 Taxa de Transferência de Calor no Condensador

A taxa de transferência de calor, também chamada de fluxo de calor rejeitado no condensador, avalia a quantidade de calor por unidade de tempo a ser rejeitada no condensador para um sistema que opere em um regime constante de temperaturas T_C e T_0 (Matos, 2012). O cálculo se dá por meio da Equação 12.

$$Q_c = m(h_2 - h_3) \quad (10)$$

Onde:

Q_c = calor liberado pelo condensador (kJ/h);

m = vazão mássica do refrigerante (kg/s);

h_2 e h_3 = entalpia específica (kcal/kg).

2.4.5 Vazão Volumétrica

A vazão é caracterizada como a quantidade volumétrica ou mássica de um fluido que escoar em uma tubulação ou um canal. No caso da vazão volumétrica, ela é definida como a quantidade, em volume, que escoar por meio de uma seção em determinado intervalo de tempo. Para o cálculo da vazão volumétrica geralmente se trabalha com o volume (V), o tempo (t) e a

vazão volumétrica (Q , de acordo com a explicação de Cassiolato (2008). Quando esse cálculo é aplicado a um condensador, deve-se considerar outros elementos, que levam à Equação 11.

$$V = \frac{Q_c}{\rho \times c_p \times (t_s - t_e)} \quad (11)$$

Onde:

V = vazão volumétrica do fluido de condensação (m^3/h);

Q_c = calor rejeitado no condensador (kJ/h);

ρ = densidade do fluido (kg/m^3);

C_p = calor específico do fluido ($kJ/kg \text{ } ^\circ C$);

t_e = temperatura do fluido entrando no condensador ($^\circ C$);

t_s = temperatura do fluido saindo do condensador ($^\circ C$)

2.4.6 Coeficiente de Performance

Um dos parâmetros mais relevantes para a quantificação de desempenho de um sistema de refrigeração é, justamente, o chamado coeficiente de performance (COP). O COP relaciona a quantidade de energia útil com a quantidade de energia gasta para que a energia útil pudesse ser obtida. É fundamental maximizar esse coeficiente, justamente porque é ele que permite identificar e quantificar perdas energéticas durante o processo e, assim, avaliar alternativas para ampliação do desempenho do sistema (Salvador, 2022). O COP é definido pela razão entre a potência de refrigeração observada nos evaporadores (Q_c) e a potência que é consumida pelo compressor (W_c). É possível obter esse dado por meio da Equação 12.

$$COP = \frac{Q_c}{W_c} \quad (12)$$

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse capítulo versa sobre a metodologia adotada para o desenvolvimento desse estudo. Adotou-se uma abordagem quantitativa, de natureza aplicada cujo objetivo foi a descrição de um problema e a busca pela solução. A abordagem descritiva foi unificada a um modelo explicativo, visando entender por que as mudanças foram observadas (Gerhardt; Silveira,

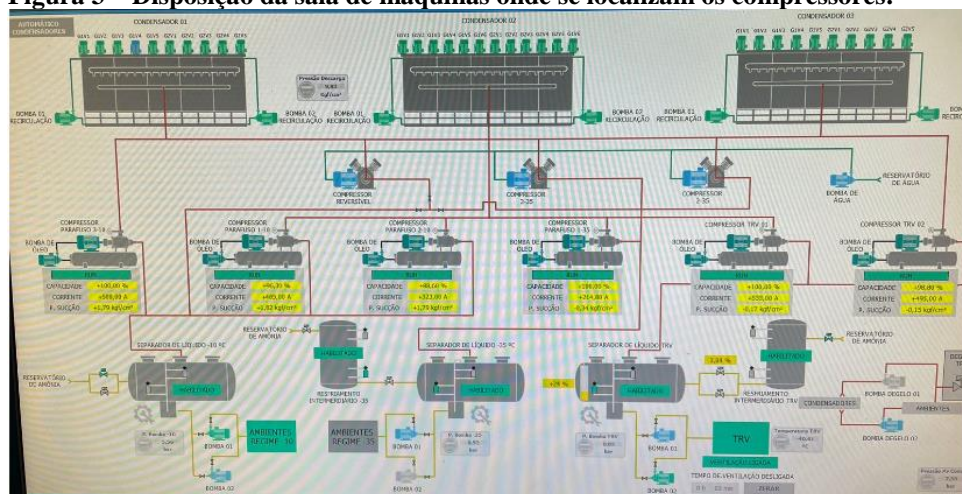
2009). Os procedimentos metodológicos empregues na coleta e análise de dados foram a pesquisa de campo e pesquisa-ação, tendo em vista que os dados foram coletados junto ao empreendimento analisado e houve uma participação planejada da pesquisadora na problemática avaliada, com o intuito de gerar compreensão, conhecimento e transformação do objeto de pesquisa, como explica Fonseca (2002).

O trabalho foi desenvolvido em um frigorífico localizado no oeste do estado de Santa Catarina, na cidade de Chapecó. A empresa foi fundada em 1986, tornando-se uma das empresas mais tradicionais no ramo de agronegócio no sul do Brasil. Ela atua nas áreas de suinocultura, bovinocultura, produção de grãos, indústria frigorífica, agropecuária, produção de ração, reflorestamento, geração de energia renovável e revenda de máquinas e implementos agrícolas. É composta também por um grupo de empresas que atende especificamente a cada uma dessas áreas (Bugio Agropecuária, 2023). Atualmente, o frigorífico conta com uma equipe de 2.200 funcionários e um volume de produção de 5.600 suínos abatidos por dia.

3.1 ANÁLISE DO SISTEMA FRIGORÍFICO

O sistema de refrigeração da empresa é composto por seis compressores. Destes, três deles atuam em regime $-10\text{ }^{\circ}\text{C}/+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e três atuam no regime $-35\text{ }^{\circ}\text{C}/+35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Todos os compressores são modelo parafuso da marca *Mayekawa-Maycon*. Na Figura 3, é possível verificar a distribuição da sala de máquinas.

Figura 3 – Disposição da sala de máquinas onde se localizam os compressores.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Um dos compressores que atua em regime $-35\text{ }^{\circ}\text{C}/+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ trabalha em LBP (Baixa

temperatura de Evaporação), enquanto os outros dois trabalham em duplo estágio, isto é, atuam tanto em baixa, quanto em alta temperatura de evaporação. O enfoque dessa análise se dá sobre estes três compressores. A empresa foco desse estudo possui um túnel contínuo de regime -35°C e capacidade para 12.600 caixas, o que corresponde a cerca de 252.000 kg de produtos de congelamento diário. Além disso, o frigorífico ainda possui três túneis estáticos em regime -35°C , com capacidade de 39.000 kg de produto cada, totalizando mais 117 toneladas de congelamento de produto diariamente.

O sistema atua com quatro condensadores para todo sistema de refrigeração (sistema $-10^{\circ}\text{C}/+10^{\circ}\text{C}$ e sistema $-35^{\circ}\text{C}/+35^{\circ}\text{C}$). Para as avaliações do regime $-45^{\circ}\text{C}/+25^{\circ}\text{C}$ o número de condensadores será ampliado com a instalação de uma quinta unidade condensadora, tendo em vista que os existentes atualmente no sistema já não comportam a demanda atual, não sendo eficazes para trabalho do sistema com uma pressão de descarga ideal.

3.2 MODELO DOS COMPRESSORES E CONDENSADORES

Para essa análise, faz-se interessante destacar o modelo de cada um dos compressores utilizados na empresa. Os dados referentes a essa questão podem ser observados por meio do Quadro 1.

Quadro 1 – Modelos dos compressores e condensadores utilizados pelo frigorífico.

Modelos de compressores					
Equipamento	Marca	Modelo	Regime	Capacidade	RPM
Compressor 1	Mayekawa	N250-VMD-B-TS	-35/+10	545.100 kcal/h	3.550
Compressor 2	Mayekawa	N250-VLD-E-TS	-35/+35	610.100 kcal/h	3.550
Compressor 3	Mayekawa	N250-VLD-E-TS	-35/+35	610.100 kcal/h	3.550
Condensador 1 e 2	Mebrafe	CETI – 2.200	-	2.200kcal/h	-
Condensador 3 e 4	Mebrafe	TCCETI – 2.800E	-	2.800kcal/h	-
Condensador 5	Mebrafe	CETI – 3.000	-	3.000kcal/h	-

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os compressores 2 e 3 apresentam as mesmas características. Apenas o compressor 1 possui variação quanto ao Regime ($-35^{\circ}\text{C} / +10^{\circ}\text{C}$) e quanto à capacidade (545.100 kcal/h).

Os condensadores 1 e 2 apresentam capacidade de 2.200kcal/h, enquanto o 3 e o 4 tem capacidade de 2.800kcal/h e o condensador 5 tem capacidade de 3000kcal/h.

3.3 ANÁLISE DOS PARAMETROS DO SISTEMA E CÁLCULOS

Partindo dos dados supracitados, e levando em consideração os equipamentos e

demanda calórica do sistema de congelamento do frigorífico, calculou-se a carga térmica do sistema. A obtenção dos dados de refrigeração se deu por meio do *software* de controle, fazendo uso dos relatórios gerados pelo programa, que apresenta os parâmetros operacionais do sistema, como pressão de sucção, pressão de descarga, temperatura, entre outros. A partir dos dados gerados, a análise foi desenvolvida por meio da elaboração de diagramas de pressão \times entalpia. Os diagramas permitiram a geração dos dados de entalpia nos sete pontos do também permitiu encontrar o valor de entalpia no compressor, no evaporador, no condensador e no intermediário. Para ampliação a análise dos parâmetros, foram calculadas também a capacidade frigorífica do sistema, o trabalho exercido pelo compressor, as calorias fornecidas pelo compressor, a vazão volumétrica e o rendimento energético.

3.4 TEMPO DE RETENÇÃO

Para mensurar o tempo de retenção dos produtos, utilizou-se um equipamento *Datalogger*, modelo AK285 com sonda de penetração TN04, que permite o acompanhamento da temperatura, tanto do produto, quando do ambiente por determinado período de tempo.

Nesse processo o equipamento foi previamente programado para a temperatura de medição -40°C em software próprio do aparelho. Posteriormente foi realizada a inserção da sonda do equipamento no produto a ser congelado e o aparelho foi depositado sobre o mesmo. Esse produto foi destinado ao túnel de congelamento em monobloco plástico. O monobloco monitorado foi identificado com fita zebra e destinado ao congelamento. Após 24 horas o produto foi retirado do túnel de congelamento e foi realizada a medição da temperatura do mesmo. Caso o mesmo tenha atingido a temperatura de -12°C para produtos de mercado interno ou -18°C para produtos de mercado externo o equipamento de medição foi retirado, caso o produto não tenha atingido a temperatura o mesmo retornou para o túnel de congelamento por mais 24 horas. Após atingir a temperatura deseja o datalogger foi retirado do produto e os dados coletados nos mesmos foram importados para o computador. O equipamento utilizado durante o processo de medição pode ser visto na Figura 4. Foi realizado esse procedimento durante o regime $-35^{\circ}\text{C} / +35^{\circ}\text{C}$ e durante o regime $-45^{\circ}\text{C}/+25^{\circ}\text{C}$.

Figura 4– Equipamento datalogger utilizado na medição do tempo de retenção.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A coleta dos dados foi realizada junto ao setor de refrigeração da empresa avaliada. Com relação aos parâmetros de trabalho necessários para a elaboração do diagrama, na Tabela 2, tem-se os dados obtidos do sistema. Nos dados do sistema $-35^{\circ}\text{C}/+35^{\circ}\text{C}$ o sistema era dotado de apenas quatro condensadores, já no sistema $-45^{\circ}\text{C}/+25^{\circ}\text{C}$ o sistema já contava com a presença cinco condensadores.

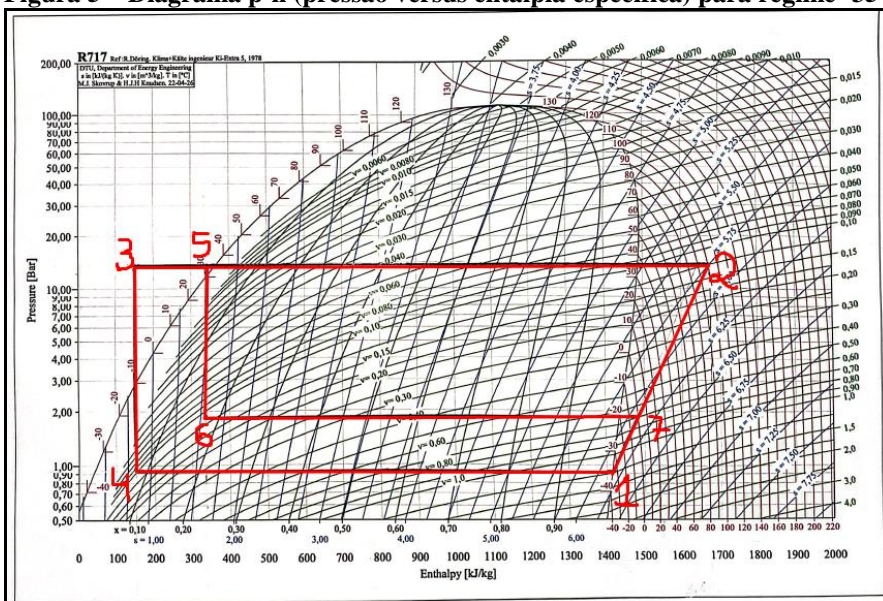
Tabela 2 – Dados referentes aos parâmetros de trabalho.

DADOS SISTEMA FRIGORÍFICO				
REGIMES	PRESSÃO DE DESCARGA	TEMPERATURA DE DESCARGA	PRESSÃO DE SUCCÃO	PRESSÃO INTERMEDIÁRIO
REGIME $-35^{\circ}\text{C}/+35^{\circ}\text{C}$	13,3 Bar	100°C	0,92 Bar	1,85 Bar
REGIME $-45^{\circ}\text{C}/+25^{\circ}\text{C}$	10,0 Bar	75°C	0,60 Bar	1,85 Bar

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A partir dos dados obtidos no sistema, foi possível elaborar o diagrama de pressão \times entalpia para os dois regimes de trabalho. Conforme a Figura 5, observa-se o diagrama p-h obtido no regime $-35^{\circ}\text{C} / +35^{\circ}\text{C}$.

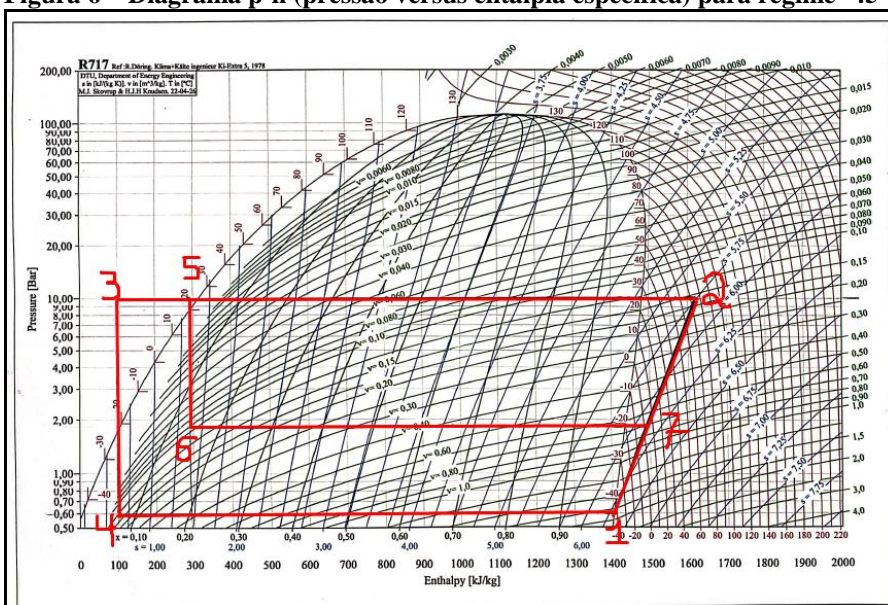
Figura 5 – Diagrama p-h (pressão versus entalpia específica) para regime $-35^{\circ}\text{C}/+35^{\circ}\text{C}$.



Fonte: Dados coletados junto ao *software* CoolPack (2023).

A Figura 6 apresenta o diagrama para o regime $-45^{\circ}\text{C} / +25^{\circ}\text{C}$.

Figura 6 – Diagrama p-h (pressão versus entalpia específica) para regime $-45^{\circ}\text{C}/+25^{\circ}\text{C}$.

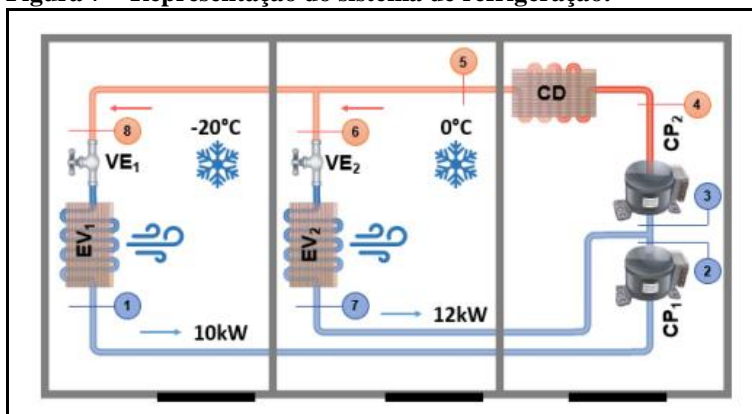


Fonte: Dados coletados junto ao *software* CoolPack (2023).

Nos diagramas expressos na Figura 5 e 6 podemos observar que do ponto 1 até o ponto 2 temos o trabalho que o compressor está exercendo no sistema, do ponto 2 ao ponto 5 evidencia-se o trabalho do condensador, entre o ponto 3 e 4 encontra-se a válvula de expansão e no intervalo entre o ponto 4 e 1 é observado o trabalho com evaporador. O esquema descrito pode ser observado na Figura 7. Entretanto ao longo desse sistema temos a atuação de um

sistema intermediário, que vai fazer com que entre o ponto 5 e 6 ocorra a expansão do intermediário e entre o ponto 6 e 7 acontece o processo do resfriador intermediário o que faz com a amônia chegue mais fria no compressor exigindo menos do equipamento.

Figura 7 – Representação do sistema de refrigeração.



Fonte: UCEFF (2021).

A partir dos dados extraídos dos diagramas, foi possível identificar os pontos de entalpia no sistema, assim como os pontos referentes ao compressor, evaporador, condensador e no intermediário. Os dados estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3 – Entalpias encontradas no sistema.

Valor entalpia em cada ponto	Regime -35°C/+35°C.	Regime -45°C/+25°C.
H1	1.418,18 kJ/kg	1.400,00 kJ/kg
H2	1.672,72 kJ/kg	1.622,72 kJ/kg
H3	152,17 kJ/kg	100,00 kJ/kg
H4	152,17 kJ/kg	100,00 kJ/kg
H5	336,36 kJ/kg	290,90 kJ/kg
H6	336,36 kJ/kg	290,90 kJ/kg
H7	1.482,60 kJ/kg	1.491,30 kJ/kg
H2 – H1 (COMPRESSOR)	254,54 kJ/kg	222,72 kJ/kg
H1 – H4 (EVAPORADOR)	1.266,01 kJ/kg	1.300,00 kJ/kg
H2 - H3 (CONDENSADOR)	1.520,55 kJ/kg	1.522,72 kJ/kg
H7 – H5 (INTERMEDIÁRIO)	1.146,24 kJ/kg	1.200,40 kJ/kg

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A partir dos dados obtidos nos diagramas, que foram sumarizados na Tabela 3, foi possível estabelecer as características termodinâmicas de cada um dos regimes. Os dados obtidos por meio dos cálculos estão organizados na Tabela 4. Avaliou-se a capacidade frigorífica, vazão mássica e volumétrica, o trabalho do compressor, a caloria do condensador e o rendimento energético em ambos os regimes.

Tabela 4 – Dados comparativos dos cálculos termodinâmicos entre os regimes operacionais -35 °C / +35 °C e -45 °C / +25 °C.

	Regime -35 °C / + 35 °C	Regime: -45 °C / +25 °C
Capacidade frigorífica	1422,61 kW	1422,612 kW
Vazão mássica	1,1237 kg/s ou 4.045,32 kg/h	1,0943 kg/s ou 3.939,54 kg/h
Trabalho do compressor	286,02 kW	243,72 kW
Caloria Condensador	1.708,64 kW	1.666,33 kW
Vazão volumétrica	4.915,44 m ³ /h	7.488,95 m ³ /h
Rendimento energético (COP)	4,97	5,84

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Ao se compararem os dados dos regimes -35 °C / +35 °C e -45 °C / +25 °C, verifica-se que a carga térmica em ambos os regimes é constante (1.422,612 kW). No entanto, a vazão mássica no regime -45 °C / +25 °C é menor do que aquela observada no regime -35 °C / +35 °C, isso porque, embora a carga térmica apresente valores iguais para ambos os regimes, existe uma maior eficiência na performance de troca térmica do evaporador do regime -45 °C / +25 °C devido à temperatura de condensação ser menor aqui quando comparado ao regime operacional de -35 °C / +35 °C. Isso se deve ao fato de a pressão de condensação no primeiro regime trabalhar com uma pressão de 13,3 bar devido à insuficiência do condensador. Essa condição, além de exigir uma potência maior do motor do compressor também apresenta ineficiência no subresfriamento da linha de alimentação do separador líquido. Essa condição faz com que o fluido líquido subresfriado na serpentina do resfriador intermediário, entre no separador de líquido de baixa pressão com uma entalpia maior em relação ao regime de -45 °C / +25 °C, levando a uma perda da capacidade de troca térmica do fluido dentro do separador de líquido de baixa, que é bombeado para os evaporadores do túnel.

É possível observar esse processo a partir da diferença de entalpia na marcação dos diagramas $P \times H$ (Figura 6 e 7), marcando a linha do evaporador. Em Delta H, com evaporador em regime -35 °C / +35 °C, tem-se os pontos de entalpia h_1 e h_4 , resultando em 1.266,01 kcal/kg. Em Delta H no regime -45 °C / +25 °C, o valor observado foi de 1.300 kcal/kg. Isso indica que, quanto maior o Delta no evaporador, maior o efeito da troca térmica e do ganho calorífico no evaporador e, portanto, menor a vazão mássica necessária para se obter o mesmo efeito calorífico no evaporador. Com a diminuição da vazão mássica do sistema, a capacidade do condensador é reduzida. Como o trabalho do compressor também é reduzido, conseqüentemente, o COP entre a capacidade frigorífica e o trabalho do compressor resulta em um valor maior que aquele observado no regime -35 °C / +35 °C, ou seja, você tem um sistema operando com uma performance melhor no regime -45°C/+25°C. Vale ressaltar que isso se dá

em função do aumento no número de condensadores, que faz com que a pressão de descarga do sistema seja menor e consequentemente o rendimento seja melhor.

Com relação ao tempo de retenção dos produtos observou-se uma redução média de 4 horas com a aplicação do novo regime. Os dados dos produtos destinados ao mesmo e embalados em diferentes formatos de embalagem encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Tempo de retenção dos produtos de acordo com o material que o mesmo foi embalado.

Tipo de embalagem do produto	Regime -35°C/+35°C.	Regime -45°C/+25°C.
Embalagem de polietileno (20kg)	16 horas	12 horas
Caixa sem tampa (20kg e 10kg)	18 horas	14 horas
Caixa com tampa (20kg e 10kg)	22 horas	17 horas
Caixa sem tampa – pernil (25kg)	30 horas	25 horas

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

É possível observar variação nos tempos de retenção em função do tipo de embalagem que o produto se encontra, do tamanho da peça e da barreira imposta pela embalagem para passagem do frio.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho originou-se da necessidade de entender se após a implantação de mais um condensador, e alteração do regime de trabalho do sistema era possível observar uma melhora nos parâmetros desse sistema e um tempo de retenção menor para congelamento dos produtos?

Com base no questionamento levantado pode ser observado que a redução dos parâmetros de trabalho (pressão de descarga, vazão mássica, COP...) influenciam grandemente no rendimento do sistema de resfriamento, influenciando diretamente na sua performance.

Já a alteração do regime de frio utilizado apresentou redução de 4 horas no tempo de congelamento dos produtos, que uma cadeia produtiva com 24 horas de produção representa uma capacidade de congelamento 25% maior comparado ao regime de trabalho anterior.

Sendo assim tanto a ampliação no número de condensadores quando a redução do regime de temperatura para congelamento se mostrou altamente eficaz neste estudo.

REFERÊNCIAS

BOABAID NETO, C. **Termodinâmica Aplicada à Refrigeração – Volume II**. São José: Instituto Federal de Santa Catarina, 2013.

BUGIO AGROPECUÁRIA. **O Que não tem, tá pra chegar!**, 2023. Disponível em: <https://bugioagropecuaria.com.br/>. Acesso em: 05 mai. 2023.

CASSIOLATO, César. Medição de Pressão: tudo o que você precisa saber. **Controle & Instrumentação**, ed. 135, p. 1-29, 2009. Disponível em:

<https://www.profibus.org.br/images/arquivo/pdf-1-543ebf8b1e0a2.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2023.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Thermodynamics: An engineering Approach**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

COSTA, Ennio C. da. **Refrigeração**. 3. ed. Porto Alegre: Edgar Blucher LTD, 2017. *E-book*. Disponível em: <https://fr.scribd.com/document/361124522/Refrigeracao-Ennio-Cruz-da-Costa-3%C2%AA-Edicao-pdf>. Acesso em: 15 abr. 2023.

DELIBERAL, Edison A.; PAULETTI, Hellen C. Estudo de viabilidade técnica para alteração da concepção de um sistema de refrigeração por compressão para absorção. **Anais de Engenharia Química**, v. 1, n. 1, p. 90-112, 2022.

DINCER, Ibrahim. **Refrigeration Systems and Applications**. 3. ed. Chichester: John Wiley & Sons Inc., 2017.

FELIX, Erika P.; CARDOSO, Arnaldo A. Amônia (NH₃) atmosférica: fontes, transformação, sorvedouros e métodos de análise. **Química Nova**, v. 27, n. 1, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/pwqtJLFTTtKPM6MYxC5MfYx/#>. Acesso em: 13 nov. 2023.

FERREIRA, Tiago J. F. **Análise do Potencial de Melhoria de Eficiência Energética através da Aplicação de Tecnologias mais Modernas em Sistemas de Frio**. 2015, 89f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2015.

FONSECA, João José S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila. Disponível em: <http://www.ia.ufrjr.br/ppgea/conteudo/conteudo-2012-1/1SF/Sandra/apostilaMetodologia.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2023.

FRINHANI, Renan de J.; MOREIRA, Rômulo B.; GALLO, Daniel P. Projeto de refrigeração industrial para armazenamento de carne. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 6, p. 44002-44025, jan. 2022.

GERHARDT, Tatiana E.; SILVEIRA, Denise T. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. *E-book*. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2023.

GOERSCH, Maria C. da S. **Termodinâmica: Conceitos e Aplicações**. Gama: UNICEPLAC, 2022. *E-book*. Disponível em: <https://dspace.uniceplac.edu.br/bitstream/123456789/1160/1/Termodin%C3%A2mica%20-%20conceitos%20e%20aplica%C3%A7%C3%B5es.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2023.

GOSNEY, W. B. **Principles of Refrigeration**. London: Cambridge University Press, 1982. *E-book*. Disponível em:

https://archive.org/stream/principlesderefrigeration/Principles%20de%20refrigeration_djvu.tx
t. Acesso em: 13 abr. 2023.

HELLER, Martin C.; SELKE, Susan E. M.; KEOLEIAN, Gregory A. Mapping the Influence of Food Waste in Food Packaging Environmental Performance Assessments. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 2, p. 480-495, 2018. Disponível em:

<https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/149217/jiec12743.pdf?sequence=2>.
Acesso em: 15 abr. 2023.

JABARDO, Jose M. S. **Amônia em Sistemas de Refrigeração**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DE AR, 2., São Paulo, 1993. **Anais...** São Paulo: [s.l.], 1993.

KUEHN, Thomas H.; RAMSEY, James. W.; THRELKELD, James L. **Thermal environmental engineering**. New Jersey: Prentice Hall, 1998. Disponível em:
<https://fr.scribd.com/document/535928636/Thomas-H-Kuehn-Thermal-Environmental-Engineering-Pearson-1998#>. Acesso em: 16 mar. 2023.

LOPES, Felipe F.; RODRIGUES, João V. O.; NASCIMENTO, Leonardo S. **Refrigerador de Cerveja**. 2018. 30f. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de 59 Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Arcos, 2018. Disponível em:
https://www2.ifmg.edu.br/arcos/ensino-1/tai/20182_TAI5_Refrigeradorcerveja.pdf. Acesso em: 14 abr. 2023.

MARTINELLI JUNIOR, Luiz C. **Refrigeração e Ar-Condicionado – Parte II**. Apostila de aula. 39 p. Ijuí: UNIUI, 2010. Disponível em:
https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/b/bb/RAC_II.pdf. Acesso em: 13 nov. 2023.

MATOS, Rudmar S. **Refrigeração**. Apostila de aula. Disciplina: Refrigeração e Climatização. 248 p. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2012. Disponível em: Acesso em: 13 nov. 2023.

MENEGHINI, Cristiano; SAATKAMP, Daniel H. da S. Avaliação da Eficiência Energética do Sistema de refrigeração de um Frigorífico do meio oeste catarinense. **Anuário de Pesquisa e Extensão UNOESC**, Joaçaba, v. 2, p. 1-13, 2017.

MIGUEL, Daniel C. **Refrigeração Industrial: análise comparativa entre sistemas de refrigeração por amônia e chiller de água gelada nos processos de uma indústria alimentícia**. 2020, 81 f. Monografia (Curso de Engenharia Mecânica) – Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG, Varginha, 2020. Disponível em:
<http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/1499/1/Daniel%20Cesar%20Miguel.pdf>.
Acesso em: 13 abr. 2023.

ROSA, Nelson da S.; LARIOS, Mario R. B.; COSTA, Francisca P. da S. Sistema de controle para evitar acidentes com fluido refrigerante natural – amônia. In: COSTA, Francisca P. da S.; LARIOS, Mario R. B.; KUNZ, Vandeni C. (Orgs.). **Praticando Uma Engenharia Mais Segura**. São Paulo: UNASP – Centro Universitário Adventista de São Paulo, 2014. p. 87-91.

SALVADOR, Kelvin H. **Análise de desempenho de um sistema de refrigeração de uma planta frigorífica industrial**. 2022, 68 f. Monografia (Curso de Engenharia Mecânica) –

Instituto Federal de Santa Catarina, Xanxerê, 2022. Disponível em:
https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/2646/Kelvin_Henrique_Salvador%20-%20TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 13 abr. 2022.

SILVA, Marcelino N. da. **Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005. Disponível em:
<http://marioloureiro.net/tecnica/refrigeracao/EficiEnergSist.Refri.IndustrialCom.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2023.

STOECKER, Wilbert F.; JABARDO, José M. S. **Refrigeração Industrial**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2018. 530 p.

UCEFF . **Refrigeração e ar condicionado**. Disponível em:
https://ava.uceff.edu.br/pluginfile.php/487284/mod_resource/content/2/3%20-%20SISTEMAS%20DE%20COMPRESS%20C3%83O%20A%20VAPOR%20DE%20C3%9ANICO%20EST%20C3%81GIO.pdf. Acesso em: 17 nov. 2023.