

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG
ENGENHARIA MECÂNICA
DANIEL CESAR MIGUEL

**REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL: análise comparativa entre sistemas de refrigeração
por amônia e chiller de água gelada nos processos de uma indústria alimentícia**

Varginha
2020

DANIEL CESAR MIGUEL

**REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL: análise comparativa entre sistemas de refrigeração
por amônia e chiller de água gelada nos processos de uma indústria alimentícia**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Dr. Luiz Carlos Guedes e coorientação da Prof. Dra. Deborah Alvarenga.

Varginha

2020

DANIEL CESAR MIGUEL

REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL: análise comparativa entre sistemas de refrigeração por amônia e chiller de água gelada nos processos de uma indústria alimentícia

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG, como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. (título) Nome do Professor

Prof. (título) Nome do Professor

Prof. (título) Nome do Professor

OBS.:

Dedico este trabalho a todos aqueles que contribuíram para que o mesmo fosse possível de ser realizado. Dedico o mesmo a meus familiares e a todos os meus entes queridos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, namorada, aos meus colegas de trabalho e amigos por todo o apoio desde o início para que fosse possível concluir este projeto. Agradeço também a meu orientador e a minha coorientadora pela paciência, pelo conhecimento compartilhado e pelas revisões necessárias. Agradeço a empresa por permitir a realização deste estudo e pela disponibilidade de espaço e informações.

“Considero minhas obras como cartas que escrevi à posteridade, sem esperar uma resposta.”

Heitor Villa-Lobos

RESUMO

Este trabalho visa comprovar as melhorias alcançadas nos processos de uma indústria de alimentos, através da substituição de sistemas de refrigeração por amônia pelo chiller de água gelada. A finalidade é proporcionar à organização a obtenção de melhores indicadores de desempenho, confiabilidade e custos em suas operações. Para este objetivo, os sistemas de refrigeração de uma indústria alimentícia tiveram suas funcionalidades evidenciadas nos processos produtivos. A partir dos dados de monitoramento dos processos e seus parâmetros, tornou-se possível a análise comparativa entre os pontos de melhoria. Estes resultados solidificam a ideia de sistemas de refrigeração por chiller de água gelada como alternativa em relação a sistemas por amônia. Através do acompanhamento dos processos, observou-se a eficácia na operação dos chillers, ainda que a amônia possua características termodinâmicas superiores. Os resultados concluídos foram satisfatórios, como a possibilidade de aumento de volumes de produção (por conta da maior confiabilidade do sistema), o aumento de 71,1% na conformidade das temperaturas das câmaras frias e uma significativa redução de custos de aproximadamente 15%.

Palavras-chave: Amônia. Chiller. Melhorias. Refrigeração.

ABSTRACT

This work aims to prove the improvements achieved in the processes of a food industry, through the replacement of refrigeration systems by ammonia by the chiller of cold water. The purpose is to provide the organization with obtaining better performance, reliability and cost indicators in its operations. For this purpose, the refrigeration systems of a food industry had their functionalities evidenced in the production processes. From the monitoring data of the processes and their parameters, a comparative analysis between the points of improvement became possible. These results solidify the idea of chiller water cooling systems as an alternative to ammonia systems. Through the monitoring of the processes, it was observed the efficiency in the operation of the chillers, even though the ammonia has superior thermodynamic characteristics. The completed results were satisfactory, such as the possibility of increasing production volumes (due to the greater reliability of the system), the 71.1% increase in cold room temperature compliance and a significant cost reduction of approximately 15%.

Keywords: *Ammonia. Chiller. Improvements. Cooling.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema de resfriamento sem recirculação do refrigerante.	20
Figura 2 - Sistema de resfriamento com recirculação do refrigerante.....	20
Figura 3 - Diagrama T-s. do ciclo de Carnot de refrigeração.....	24
Figura 4 - Diagrama T-s. do ciclo real de refrigeração.	25
Figura 5 - Representação de sistema de refrigeração por compressão de vapor de amônia	27
Figura 6 - Ilustração de um Chiller.....	28
Figura 7 - Ilustração de um sistema de refrigeração por chiller.	29
Figura 8 - Representação de um evaporador de placas.	30
Figura 9 - Ilustração dos tipos de condensadores.	31
Figura 10 - Válvula de expansão termostática.....	32
Figura 11 - Recomendação de pressões mínimas de projetos pela ABNT NBR13598 / 11	33
Figura 12 - Tanques de armazenamento.....	35
Figura 13 - Termômetro digital.	36
Figura 14 - Citômetro de fluxo	36
Figura 15 - PHmetro de bancada.	37
Figura 16 - Termômetro analógico.....	37
Figura 17 - Painel de controle do chiller.	38
Figura 18 - Termômetro digital.	38
Figura 19 - Unidade resfriador de líquido.	40
Figura 20 - Compressor.	41
Figura 21 - Sistema de ventilação da sala de máquinas	41
Figura 22 - Placas de sinalização de amônia.	42
Figura 23 - Instalação de chillers.....	43
Figura 24 - Componentes do chiller.	44
Figura 25 - Temperatura do leite nos silos – 2019.	49
Figura 26 - Conformidade de temperatura nos silos – 4º trimestre 2019.....	49
Figura 27 - Temperatura do leite nos silos – 2020.	50
Figura 28 - Conformidade de temperatura nos silos – 1º trimestre 2020.....	50
Figura 29 - Conformidade da CBT nos silos.....	50

Gráfico 1- Acurácia câmara 1 – Ano 2020.....	45
Gráfico 2 - Acurácia câmara 1 – Ano 2019.....	46
Gráfico 3 - Carta de controle câmara 2 – 2019.....	46
Gráfico 4 - Carta de controle câmara 2 – 2020.....	47
Gráfico 5 - Carta de controle câmara 3 – 2019.....	47
Gráfico 6 - Carta de controle câmara 3 – 2020.....	48
Gráfico 7 - Acurácia temperatura SC 2019.	51
Gráfico 8 - Acurácia temperatura SC 2020.	51
Gráfico 9 - Acurácia na acidez de SC 2019.....	52
Gráfico 10 - Acurácia na acidez de SC 2020.....	52
Gráfico 11 - Evolutivo de custos relacionados aos sistemas de refrigeração.....	54
Quadro 1 - Propriedades físicas de alguns refrigerantes.	17
Quadro 2 - Danos causados pela exposição da amônia.	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrão de operação para temperatura	45
Tabela 2 - Custos relacionados aos sistemas de refrigeração.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Refrigeração industrial	15
2.1.1 História da refrigeração	15
2.1.2 Refrigeração na indústria alimentícia	16
2.1.3 Amônia	16
2.1.4 Água como fluido refrigerante.....	19
2.2 Fundamentos termodinâmicos	20
2.2.1 Conservação da massa e energia.....	21
2.2.2 Carga térmica.....	22
2.2.3 Ciclo de Carnot de refrigeração	23
2.2.4 Ciclo real de refrigeração.....	24
2.3 Sistemas de refrigeração	26
2.3.1 Sistemas de refrigeração por amônia	26
2.3.2 Sistemas de refrigeração por chiller de água gelada.....	27
2.3.3 Evaporadores	30
2.3.4 Compressores.....	31
2.3.5 Condensadores	31
2.3.6 Válvula de expansão	32
2.4 Segurança em instalações.....	33
3 METODOLOGIA.....	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1 Instalação de amônia	40
4.2 Instalação de chillers	42
4.3 Monitoramento das câmaras frias	45
4.4 Monitoramento plataforma de processamento de leite.....	48
4.4.1 Monitoramento Silos	48
4.4.2 Monitoramento de tanques	51
4.5 Viabilidade econômica entre os sistemas de frios	52

5 CONCLUSÃO.....	55
5.1 Recomendação para trabalhos futuros.....	55
REFERÊNCIAS.....	57
APÊNDICE A – MONITORAMENTO CÂMARAS FRIAS 2020	61
APÊNDICE B – MONITORAMENTO CÂMARAS FRIAS 2019	62
APÊNDICE C – MONITORAMENTO TANQUES 2019	63
APÊNDICE D – MONITORAMENTO TANQUES 2020	66
APÊNDICE E – PARÂMETROS DE OPERAÇÃO	72
APÊNDICE F – MONITORAMENTO ÁGUA GELADA 2019	73
ANEXO A – PADRÃO DE CONTROLE DE TEMPERATURA.....	75
ANEXO B – MONITORAMENTO DOS CHILLERS – F.SG.DGQ-015	79

1 INTRODUÇÃO

A refrigeração industrial, a exemplo do condicionamento de ar, tem como propósito o resfriamento de uma substância, ambiente ou a manutenção da temperatura de um local abaixo da temperatura externa. Estes sistemas de refrigeração são amplamente encontrados nas indústrias de alimentos, de processos e química, e aproximadamente 67% de suas aplicações estão nas indústrias manufatureiras e laboratórios (STOECKER; JABARDO, 2018).

Cada vez mais, as organizações independentemente de seu âmbito de atuação, buscam lograr os melhores indicadores de desempenho, custo e confiabilidade em suas operações. Estes indicadores influenciam diretamente na competitividade da empresa no mercado e, muitas vezes, se faz necessário o investimento em estrutura e em novas tecnologias para alcançar estes objetivos.

O investimento, em variados casos, pode anteceder a inovação. Sendo assim, as organizações podem investir em equipamentos tendo em vista um avanço tecnológico em um produto ou processo. Por sua vez, o investimento em equipamentos sendo bem-sucedido proporciona a possibilidade do aumento do mercado de atuação da empresa (GREENE, 2008).

Ao tratar o tema refrigeração na indústria, alguns aspectos devem ser monitorados. Além das trocas de calor, que são imprescindíveis, também deve se controlar a umidade relativa, o ar novo bem como a circulação e a velocidade do ar (FREITAS, 2015).

Os sistemas de refrigeração que utilizam chillers de água gelada apresentam grande ascendência no cenário de refrigeração industrial, mesmo que o fluido frigorífico possua características termodinâmicas inferiores a fluídos tradicionais como a amônia, por exemplo.

Como estes sistemas se apresentam entre as tendências no ramo de refrigeração e de que forma as empresas enxergam estas instalações são questionamentos cada vez mais recorrentes.

Neste cenário, o objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade dos sistemas de chiller em relação a sistemas por amônia nos aspectos econômicos e otimização de processos. O ponto central é avaliar a associação de novas tecnologias em componentes de sistemas de refrigeração por chiller, que possibilita a potencialização da eficácia do processo, que, por sua vez, não fica tão restrito às propriedades termodinâmicas do fluido, apesar de sua extrema importância.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), os maiores sistemas de refrigeração estão presentes nas indústrias alimentícias e de bebidas, onde o principal refrigerante é a amônia. A amônia, mesmo sendo um fluido que apresenta excelentes características para refrigeração, possui um índice de toxicidade muito alto. Devido a isto, no Brasil existem diversas legislações sobre o uso de amônia em sistemas frigoríficos e seguir estas

legislações pode ser inviável para algumas aplicações dependendo da carga e do local (BRASIL, 2009).

Desta maneira, surge a necessidade de fontes alternativas para estes sistemas. Por isso, os sistemas de refrigeração por água gelada vêm ganhando espaço nos últimos anos, visto que em algumas aplicações, os custos com energia podem chegar à metade que em outros sistemas.

As vantagens da utilização da água são a maior disponibilidade, o custo mais baixo que a amônia, os sistemas que possuem funcionamentos relativamente mais silenciosos e não apresentam riscos de intoxicação.

O principal componente de um sistema de refrigeração por água gelada são os chillers. Trata-se de uma máquina térmica, que tem como função realizar as trocas de calor do sistema. Este é composto por evaporador, compressor, condensador e válvula de expansão. Também pode possuir elementos auxiliares, como circuito de lubrificação, filtros de secagem, sistemas instrumentados de medição de nível, temperatura e pressão (ASSMANN, 2017).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Refrigeração industrial

Entende-se por refrigeração o efeito de reduzir ou manter sob baixa temperatura uma substância em um espaço delimitado. Seus princípios físicos se sustentam em três pontos, essencialmente, são eles: a transmissão termodinâmica, que gera a redução da temperatura de corpos que são colocados em contatos com substâncias a baixa temperatura; o aumento de temperatura, que ocorre através da evaporação de um fluido; e a redução da temperatura gerada por uma rápida expansão de gases (LOPES; NASCIMENTO; RODRIGUES, 2018).

2.1.1 História da refrigeração

A utilização de técnicas de refrigeração é realizada pelo homem desde as mais antigas civilizações, como na civilização chinesa séculos antes de Cristo. No período em questão, utilizava-se o gelo natural colhido nas superfícies de rios e lagos congelados com o intuito de conservar os chás de consumo. Durante um longo período de tempo, essa foi a única forma de refrigerar alimentos e bebidas utilizados pelo homem. Um grande marco para a evolução nos sistemas de refrigeração foi o desenvolvimento do primeiro refrigerador automático movido a eletricidade, criado por Kelvinator Company, em 1918. A partir de então, intensificaram-se os estudos voltados a este campo, a fim de melhorar continuamente a qualidade e o conforto da vida humana (HEROLD, 2011).

Ao iniciar a industrialização, ocorreu uma grande demanda de refrigeração para as indústrias. Neste momento, uma grande quantidade de seres humanos que atuavam na indústria passou a povoar alguns centros e, em consequência disso, surgiu uma iminente necessidade de armazenamento de grandes quantidades de alimentos por um grande período de tempo para que não ocorresse perdas por putrefação. Em 1834, a primeira patente no campo de refrigeração foi concedida ao americano Jacob Perkins, que criou um refrigerador de ciclo fechado por compressão do vapor. Entretanto, o grande ponto de partida para aplicação de sistemas frigoríficos na indústria teve as portas abertas graças ao engenheiro francês Ferdinand Carre, que por volta de 1860, definiu o amoníaco como refrigerante em um sistema de refrigeração por absorção. A água tinha a função de agente de absorção e a amônia de fluido refrigerante, por suas propriedades termodinâmicas. Além disto, o forte odor da amônia era visto, naquela

época, como um ponto positivo, pois poderia identificar facilmente vazamentos (MORSEL, 1973).

2.1.2 Refrigeração na indústria alimentícia

Na indústria alimentícia, a refrigeração é utilizada principalmente para conservar em temperaturas pouco elevadas os alimentos, para que não sofram ações de bactérias, reações de fermentação e o aparecimento de bolor, que ocorre através da reprodução dos fungos. A aplicação de processos de refrigeração em uma grande diversidade de produtos, cumprindo alguns quesitos de conservação, possibilita a oferta destes com maior qualidade e custos adequados. As temperaturas de refrigeração devem ser definidas de acordo com o produto refrigerado, tempo de conservação e condições da câmara (LOPES; NASCIMENTO; RODRIGUES, 2018).

A água é o componente com maior presença nos alimentos e a sua concentração varia de acordo com a composição de cada alimento, e principalmente pelo teor de gordura presente. De forma geral, quanto maior a concentração de gordura, menor será a concentração de água. A umidade é um dos principais fatores que influenciam na variação de temperatura dos alimentos, tanto para aquecimento quanto para resfriamento. O processo de congelação de um alimento consiste na mudança de fase da água presente no mesmo do estado líquido para sólido, através da troca de calor com o ambiente. Desta forma, também pode ocorrer o resfriamento sem a congelação, onde não ocorre a mudança de fase. Os outros elementos comumente encontrados nos alimentos, como carboidratos, proteínas, gordura e minerais, não sofrem mudanças de estado físico (MÉNDEZ; BRICEÑO, 2006).

Alguns estudos em leites e derivados mostram a importância do bom funcionamento do sistema de frio e o impacto da temperatura nestes produtos armazenados. A redução do pH é diretamente proporcional ao aumento da acidez e estas variações estão diretamente relacionadas com o tempo de armazenamento e a temperatura da substância, assim como a contagem bacteriana total (CBT), que quando o sistema alcança temperaturas mais altas possibilita a proliferação de bactérias (DONKOR, 2006).

2.1.3 Amônia

Com os avanços das pesquisas do protocolo Montreal em 1987, definiu-se uma redução de 50% do uso dos clorofluorcarbonetos (CFC) e hidrofluorcarbonetos (HFC), que são gases

com alto potencial de destruição da camada de ozônio. No Brasil, em 2010 foi proibido o uso dos HFCs como refrigerantes (MILANÉS, 1997).

A amônia (R-717) é definida por Zukowski Júnior (1995) como “o pai dos refrigerantes”, isso devido as suas propriedades térmicas que são ideais para diversos processos que envolvem resfriamento. O Quadro 1 demonstra algumas propriedades significativas da amônia para sistemas de refrigeração, comparado a outros refrigerantes.

Quadro 1: Propriedades físicas de alguns refrigerantes.

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	132,4	96,2	101,15	183,71
Pressão Crítica, MPa	11,35	5,00	4,06	3,67
Temperatura de Ebulição à 0,101 MPa, °C	-33,4	-40,8	-26,5	27,9
Entalpia de Vaporização à 0,101 MPa, kJ/kg	1372,8	233,6	231,2	230,3
Volume Específico do Vapor à 0,101 MPa, m ³ /kg	1,125	0,213	0,189	0,154
Relação entre Pressões na Faixa -30/ 35 °C	9,81	8,29	9,10	
Relação 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).

Analisando o Quadro 1, é possível encontrar que a amônia possui massa molecular menor que os outros refrigerantes. A massa molecular tem uma relação inversamente proporcional ao calor específico de uma substância e ao calor latente de vaporização, que por sua vez, quanto mais alto for o calor latente de vaporização, menor o volume de refrigerante necessário. A pressão crítica da amônia é consideravelmente superior ao demais refrigerantes e isso favorece a aplicação em bombas de calor. A temperatura de ebulição em projetos de sistemas de refrigeração deve ser maior que a temperatura de ebulição a 1 atm (0,101 MPa). Operar o sistema com uma temperatura inferior a esta, permite que as linhas dos compressores e evaporadores estejam a uma pressão inferior à pressão atmosférica, favorecendo assim, a entrada de ar no sistema (JUNIOR, 1995).

A amônia apresenta pontos negativos que fazem com que sua aplicação se torne cada vez mais questionável. Esta possui compatibilidade com aços no geral, ferro e alumínio, porém não é recomendável que se relacione com cobre, zinco e suas ligas, borracha e plástico. Além da limitação de materiais que podem ser utilizados em instalações de amônia, ela demanda por processos de soldagens mais sofisticados. O R-717 quando se apresenta em uma concentração entre 15 a 30% se torna explosivo e apresenta uma alta toxicidade (BRASIL, 2009).

Os maiores problemas vinculados à utilização de amônia são os vazamentos em alta quantidade onde, se na maioria das vezes ocorre em regiões de baixa pressão do sistema, é possível que isso ocorra devido ao fato de as atenções estarem mais voltadas para as regiões de alta pressão. No geral, os vazamentos ocorrem por falha operacional, vedação instalada de maneira incorreta ou material da vedação, problemas de soldagem e dano físico externo. Os vazamentos produzem vapor de amônia que se mistura rapidamente com o ar e se movimenta para as camadas mais altas (MILANÉS, 1997). Os vazamentos podem ocasionar no contato da amônia com pessoas das áreas vizinhas. A exposição aos vapores do R-717 pode gerar alguns danos que são descritos no Quadro 2.

Quadro 2 - Danos causados pela exposição da amônia.

Concentração de amônia no ar (ppm)	Efeitos sobre seres humanos desprotegidos	Tempo de exposição permitido sem dano.
5	Em baixas temperaturas abaixo de 0°C, pessoas sensíveis poderiam sentir.	Ilimitado
20	O cheiro é percebido pela maioria das pessoas.	Ilimitado
50	O cheiro é característico e as pessoas não habituadas reagem.	O permitido por norma na maioria dos países são 8 horas por dia.
100	Não causa efeitos perigosos em pessoas saudáveis, mas pode causar ansiedade em pessoas inexperientes.	Não permanecer mais que o necessário.
300	Pessoas habituadas não suportam e pessoas não habituadas podem entrar em pânico.	Não permanecer.
400 - 700	Irritação imediata nos olhos, nariz e órgãos respiratórios, Pessoas acostumadas não podem permanecer.	Em circunstâncias normais de saúde não causa sérios problemas no período de uma hora.
1700	Tosse, câibras e sérias irritações no nariz olhos e órgãos respiratórios.	Exposição de 30 min pode causar lesões sérias.
2000 - 5000	Tosse, câibras e sérias irritações no nariz olhos e órgãos respiratórios.	Pode provocar a morte em 30 min ou menos.
7000	Paralisia e asfixia.	Letal em poucos minutos.

Fonte: MILANÉS (1997).

Recomenda-se que a amônia seja diluída totalmente na água quando ocorrer vazamentos e, em seguida, direcionada à rede de esgoto. Em alguns projetos, ocorre a vedação de ralos para o esgoto encontrados nas salas de máquinas, para que não haja o risco de a amônia ter contato direto antes de ser diluída (STOECKER; JABARDO, 2018).

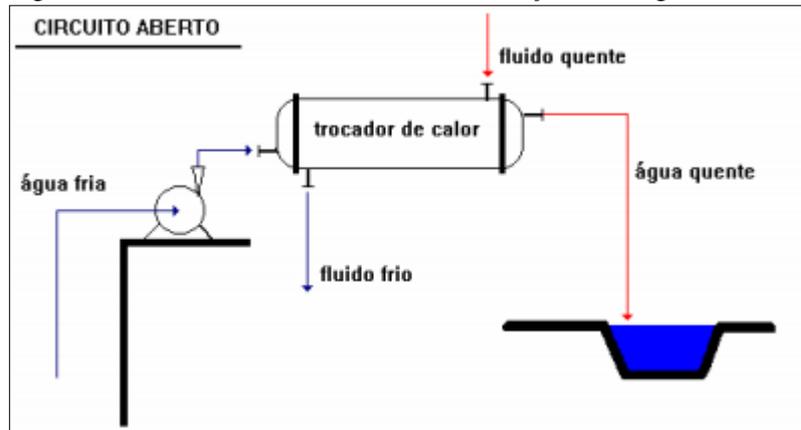
2.1.4 Água como fluido refrigerante

De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA), o Brasil possui grande desigualdade na distribuição dos recursos hídricos. Estima-se que o país possui 12% da água doce disponível em todo planeta, de modo que 80% deste recurso está concentrado na região norte, onde se encontra, aproximadamente, 5% da população. Para a indústria, destina-se 7% da água consumida no Brasil, que corresponde a cerca de 70.000 m³/min (BRASIL, 2020). A definição de padrões de qualidade da água para uso industrial depende da forma que a mesma será aplicada. Para condições de uso em sistemas de resfriamento, os parâmetros de qualidade são menos rigorosos que quando em contato direto com produtos na indústria alimentícia, por exemplo. Entretanto, ainda assim requer-se tratamento prévio para evitar incrustações e depósitos nos tubos, principalmente em sistemas dos tipos evaporativos (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Entre as diversas aplicações de sistemas de refrigeração por água gelada, este apresenta grande desempenho em processos de resfriamento de gases, líquidos, plásticos, alimentos, metais, vidros e processos com alta liberação de calor. A maioria destes sistemas utilizam unidades de resfriamento denominadas chillers, que são equipamentos de alta eficiência que permitem ao sistema operar com grandes variações nas faixas de temperaturas (BRASIL, 2017).

Os sistemas de refrigeração por água gelada podem ser encontrados de duas maneiras, basicamente, sendo elas através da recirculação do fluido refrigerante ou sem a recirculação do fluido refrigerante. Geralmente a fonte fria é a água, que ao entrar em contato com a fonte quente que se visa resfriar, irá receber a maior parte do calor retirado e irá aumentar sua temperatura. Para que o ciclo possa continuar, é necessário que a água seja resfriada antes de reiniciar o processo ou também a água pode simplesmente ser descartada. Esta ocorre em situações onde não há recirculação da água, conforme Figura 1 (MANCUSO, 2001).

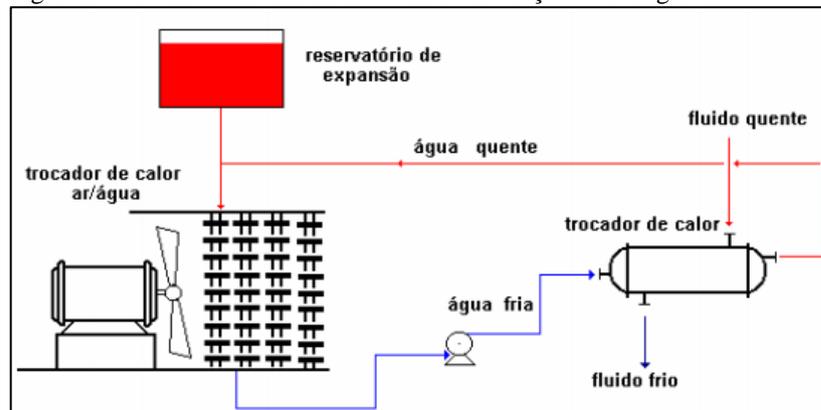
Figura 1 - Sistema de resfriamento sem recirculação do refrigerante.



Fonte: MANCUSO (2001).

Na grande maioria dos casos, a água não é tão abundante como na situação anterior. Por esse motivo, utiliza-se sistemas fechados com recirculação de água, onde a água - após realizar a retirada de calor do fluido quente - retornará à posição inicial e passará por um novo resfriamento conforme descrito na Figura 2.

Figura 2 - Sistema de resfriamento com recirculação do refrigerante.



Fonte: MANCUSO (2001).

Nestes sistemas, as superfícies de transferência de calor são mais eficientes e possuem uma perda de carga menor no evaporador. Entretanto, necessitam de um investimento inicial maior devido às dimensões das linhas serem maiores e ao bombeamento do líquido (STOECKER; JABARDO, 2018).

2.2 Fundamentos termodinâmicos

Sistemas termodinâmicos são definidos como grupo de materiais ou substâncias que sofrem interações entre suas propriedades físicas (temperatura, volume, pressão) e que possuem

interdependência entre si (PIZZO, 2015). Um sistema nada mais é do que o meio que se deseja estudar, podendo este ser um simples objeto ou até uma complexa refinaria química completa (MORAN; SHAPIRO; BOETTNER; BAILEY, 2013).

2.2.1 Conservação da massa e energia

Dentro da termodinâmica normalmente se encontra estudos para dois tipos de sistemas: os sistemas fechados e sistemas abertos ou volume de controle (VC). As leis são enunciadas, na maioria das vezes, para sistemas fechados, porém os sistemas abertos são mais propícios para análises. Estas análises geralmente são feitas em regime permanente, onde a vazão mássica e sua energia se mantêm constantes ao longo do tempo, desta forma a vazão total de entrada no sistema é igual a vazão de saída (STOECKER; JABARDO, 2018). A energia mássica no interior do sistema é dada pela seguinte equação:

$$E = m \left(u + \frac{V^2}{2} + g \cdot Z_{cm} \right) \quad (1)$$

Onde:

E = energia da massa no interior do sistema, [J];

m = massa no interior no sistema, [Kg];

u = energia interna específica por unidade de massa, [J/Kg];

V = velocidade média da massa no sistema [m/s];

g = aceleração da gravidade [m/s²];

Z_{cm} = altura entre o centro da massa e um ponto de referência, [m].

As equações 2 e 3 definem a taxa de transferência de calor para sistemas fechados e abertos, em regime permanente.

$$q = \frac{d}{dt} \left[\underbrace{m \left(u + \frac{V^2}{2} + g z_{cm} \right)}_E \right] + P \quad (2)$$

Onde:

q = taxa de transferência de calor, [W];

g = aceleração da gravidade, [m/s²];

m = massa no interior do sistema, [Kg];

P = potência associada ao trabalho, [W].

Neste sistema, não há entrada e saída de massa e então a massa se mantém constante. A energia que é transferida no sistema é o resultado das trocas de calor e trabalho no interior do sistema e gera um aumento na energia da massa que se encontra em regime permanente (STOECKER; JABARDO, 2018).

$$q = \sum_s \dot{m}_s \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)_s - \sum_e \dot{m}_e \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)_e + P \quad (3)$$

Onde:

h_e = entalpia específica na seção de entrada, [J/Kg];

h_s = entalpia específica na seção de saída, [J/Kg];

m_e = vazão de fluido na seção de entrada, [Kg/s];

m_s = vazão de fluido na seção de saída, [Kg/s].

Observando a expressão, é importante pontuar que ocorrem as interações de calor e trabalho e, além destas interações, a transferência de energia ocorre devido ao fluxo de entrada e saída de massa no sistema. Neste caso, a energia da massa no interior do sistema não sofre variação (STOECKER; JABARDO, 2018).

2.2.2 Carga térmica

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 (MORSEL, 1973). Definir a carga térmica é um dos primeiros passos em um projeto de um sistema de refrigeração, ou seja, determinar qual a quantidade de

calor que deve ser retirada de um ambiente para que ele possa se manter refrigerado. Este valor é obtido através da soma de todas as fontes de calor de um ambiente (SANTOS, 2005).

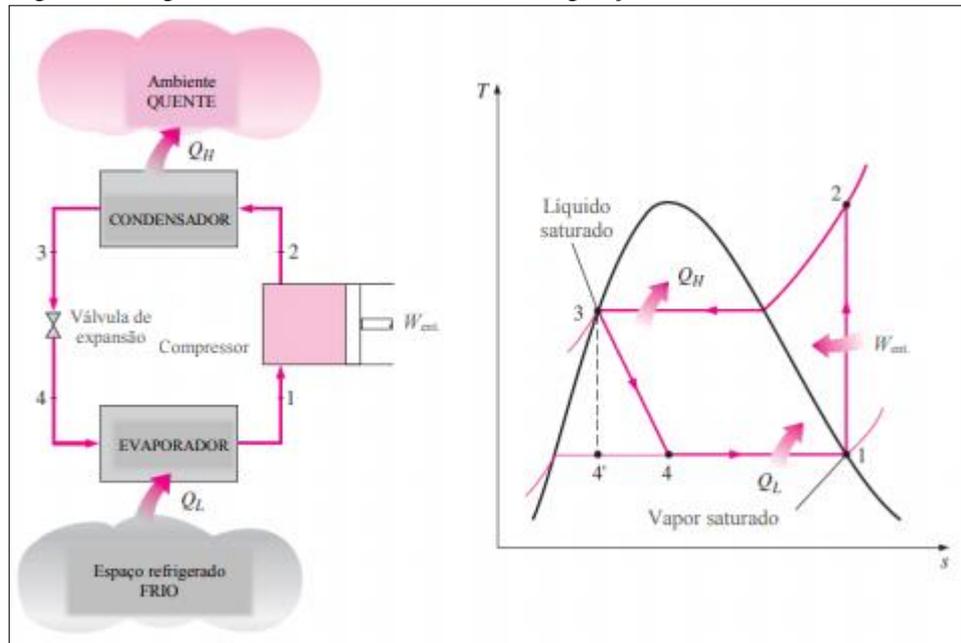
2.2.3 Ciclo de Carnot de refrigeração

Um ciclo de refrigeração é caracterizado por uma série de processos que são responsáveis por refrigerar um ambiente continuamente. Estes procedimentos fazem com que um fluido refrigerante passe por uma sequência de processos - que serão abordados posteriormente - e retorne ao estado inicial. O principal ponto deste ciclo é a retirada de calor de um ambiente alcançando uma temperatura almejada e menor que a temperatura externa. Estes ciclos termodinâmicos são identificados como ciclo de refrigeração ou como ciclo frigorífico. Entre estes, o ciclo de Carnot possui o maior destaque, pois se trata de um ciclo ideal com a mais alta eficiência. Teoricamente, este sistema trabalha entre dois níveis de temperatura e possui reversibilidade, ou seja, pode operar no sentido contrário e desta forma, ao invés de o sistema gerar trabalho, o trabalho será injetado no sistema tirando calor da fonte fria e injetando na fonte quente (STOECKER; JABARDO, 2018).

Apesar de o ciclo de Carnot se apresentar como o ciclo ideal, FREITAS (2015) destaca em sua obra a análise do potencial de melhoria de eficiência energética através da aplicação de tecnologias mais modernas em sistema de frio, que neste ciclo não é possível de ser alcançado em razão da dificuldade de a turbina fazer a expansão de um fluido em duas fases, mesmo que seu trabalho seja pequeno, quando se compara com o trabalho necessário para o acionamento do compressor. Além disso, em determinado momento haveria a necessidade de realizar uma compressão úmida, o que pode danificar o compressor. E, principalmente, devido ao fato que para haver transferência de calor precisa haver uma diferença térmica, isto faria o processo se tornar irreversível.

A Figura 3 abaixo é a representação esquemática de um ciclo de refrigeração de Carnot e seu diagrama T-s (temperatura-entropia).

Figura 3 - Diagrama T-s. do ciclo de Carnot de refrigeração.



Fonte: FREITAS (2015).

É possível observar na representação 4 etapas, onde:

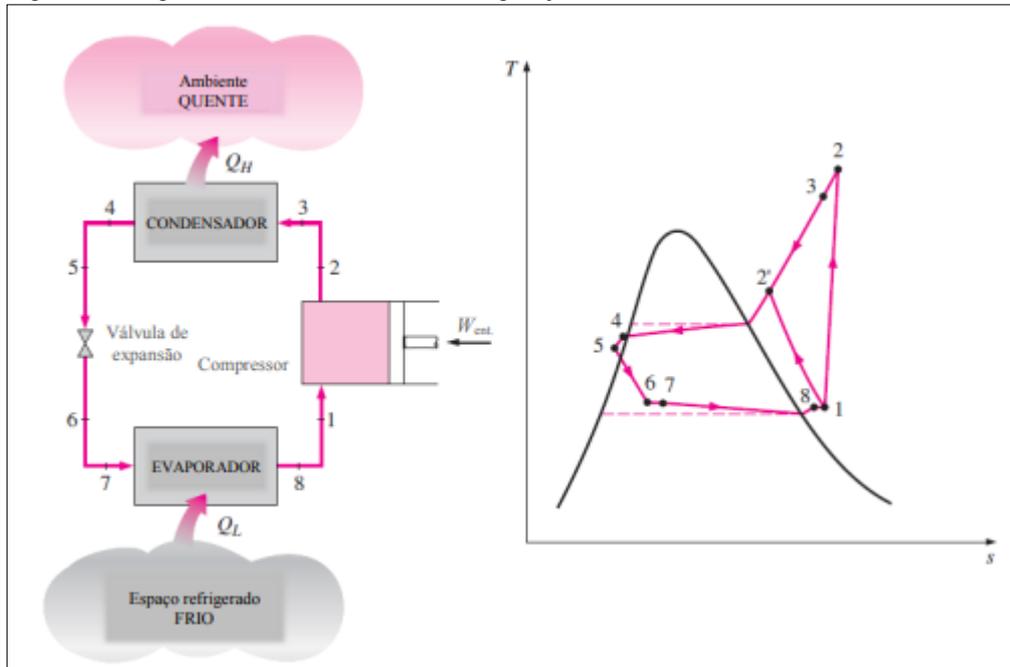
- De 1-2 ocorre uma compressão isentrópica no compressor;
- De 2-3 o condensador retira calor do sistema e direciona este calor para o ambiente quente;
- De 3-4 expansão do fluido no sistema, na maioria das vezes com redução na entropia;
- De 4-1 absorção do calor pelo evaporador do ambiente a ser refrigerado a pressão constante.

2.2.4 Ciclo real de refrigeração

Diferente do ciclo de Carnot, o ciclo real de refrigeração não é reversível devido a passagem do fluido pela válvula de expansão. Neste processo existem perdas, como na entrada do fluido no compressor, onde os efeitos do atrito geram transferência de calor que podem aumentar ou reduzir a entropia. O fluido refrigerante passa pela compressão no compressor, onde é direcionado para o condensador com vapor sobreaquecido, onde ocorrerá a condensação com redução da entropia e temperatura. Os gases quentes gerados pelo condensador são rejeitados para o ambiente externo e o fluido segue para a válvula de expansão como líquido saturado. Alguns cuidados devem ser tomados para que o fluido não passe pela válvula de expansão sem estar totalmente saturado, por isso deve ser realizado arrefecimento do fluido na linha do condensador para a válvula de expansão. Garantir que o fluido refrigerante esteja

totalmente saturado possibilita que no evaporador a entalpia do fluido esteja baixa, e desta forma, possibilita maior retirada de calor do meio refrigerado (FREITAS, 2015).

Figura 4 - Diagrama T-s. do ciclo real de refrigeração.



Fonte: FREITAS (2015).

Apesar de contemplarem finalidades diferentes, para entender um ciclo de refrigeração e bomba de calor é importante a análise de três variáveis básicas que compõem este processo. O Q_{entra} é a energia térmica que entra no sistema retirado de um corpo frio, neste caso o ambiente refrigerado; o Q_{sai} é energia térmica que é rejeitada para o corpo quente e W_{ciclo} é o trabalho líquido realizado pelo ciclo, geralmente pelo compressor (MORAN; SHAPIRO; BOETTNER; BAILEY, 2013).

$$W_{ciclo} = Q_{sai} - Q_{entra}$$

(4)

O trabalho líquido possui a mesma forma de cálculo para ambos os ciclos, entretanto, seus parâmetros de coeficiente de desempenho possuem definições distintas. Em bombas de calor, para se analisar o desempenho é importante observar a relação entre o calor que entra e o trabalho líquido do sistema. Em ciclos de refrigeração esta relação é obtida entre o calor que entra e o trabalho líquido como na equação a seguir (MORAN; SHAPIRO; BOETTNER; BAILEY, 2013).

$$\beta = \frac{Q_{entra}}{W_{liquido}} \quad (\text{Ciclo de refrigeração}) \quad (5)$$

Uma predefinição dos valores de coeficientes de desempenho está muito ligada ao custo do trabalho necessário para se alcançar o desejado resultado. E, ainda dentro destes fatores, termodinamicamente busca-se os maiores valores de desempenho nos ciclos (MORAN; SHAPIRO; BOETTNER; BAILEY, 2013).

2.3 Sistemas de refrigeração

Existe uma grande variedade de métodos para se esfriar uma substância, que também podem ser denominados como sistemas de refrigeração. Atualmente, os processos mais usuais são por compressão de vapor e absorção, pois são processos contínuos e possibilitam refrigeração constante (NUNES, 2013).

2.3.1 Sistemas de refrigeração por amônia

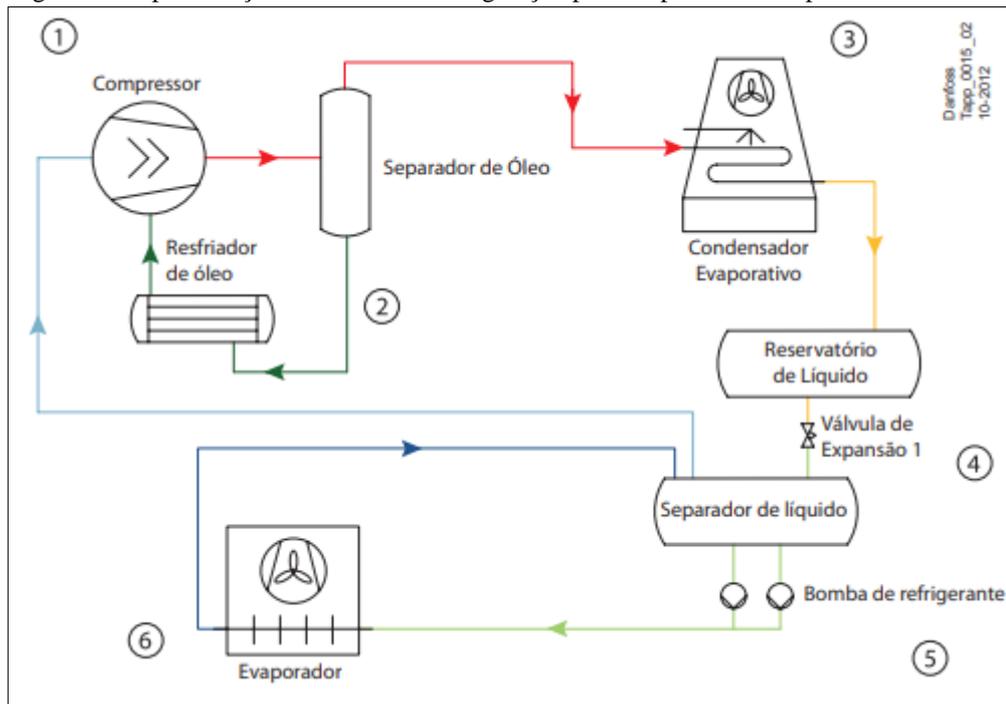
Indiscutivelmente, os sistemas de refrigeração por amônia possuem grande protagonismo no mercado. Costumeiramente, são sistemas de refrigeração por absorção, onde a amônia é o fluido refrigerante e a água o agente absorvente. Estes sistemas são baseados no fato de que o vapor da amônia pode ser absorvido facilmente a frio por outros líquidos, gerando uma significativa carga de refrigeração. Analisando unicamente o funcionamento destes sistemas, um ponto crítico é o alto consumo de energia quando comparado a sistemas por compressão mecânica, por exemplo. Uma máquina de absorção moderna geralmente produz uma quantidade de energia para refrigeração bastante inferior à consumida. Todavia, estes sistemas possibilitam o uso de energia térmica para substituir a elétrica, possibilitando assim menos gasto com energia (COSTA, 2017).

Assim como os demais sistemas de refrigeração, no sistema por absorção o fluido passa pelo evaporador com vapor de amônia a baixa pressão. Os vapores gerados são absorvidos em um absorvedor, gerando assim uma solução rica entre água-amônia. Esta solução passa por um gerador, onde, sob baixa pressão, retira calor do ambiente refrigerado (COSTA, 2017).

É possível encontrar também alta aplicação de sistemas de refrigeração por compressão de vapor de amônia, onde a amônia é o único fluido a circular por toda tubulação. A quantidade de amônia em todo sistema pode variar de 2000 Kg a 100.000 Kg. Um ponto de diferença destes

sistemas é a ausência do absorvedor e a presença do compressor. A retirada de calor do ambiente refrigerado é realizada no momento da mudança de fase de líquido para vapor executada pelo evaporador. O vapor de amônia recebe trabalho líquido pelo compressor, passa pelo condensador e pela válvula de expansão para reduzir a entropia e voltar ao estado líquido (CARVALHO, 2010).

Figura 5 - Representação de sistema de refrigeração por compressão de vapor de amônia.



Fonte: DANFOSS (2020).

Na Figura 5 é possível observar dois elementos auxiliares presentes na representação do sistema de refrigeração por compressão do vapor de amônia: os separadores de líquido e de óleo. O separador de óleo não permite a entrada que o óleo seja carregado na linha de refrigeração e o separador de líquido tem a função de separar o vapor da amônia e amônia líquida. O separador de líquido pode ser posicionado entre o condensador e a válvula de expansão, para evitar a entrada de vapor na válvula; ou também após o evaporador, para que não entre amônia líquida no compressor. Estes elementos geralmente se encontram nos sistemas de absorção e compressão de vapor (DANFOSS, 2020).

2.3.2 Sistemas de refrigeração por chiller de água gelada

Assim como nos sistemas de refrigeração por amônia, nos sistemas de refrigeração por chiller de água gelada também podemos encontrar sistemas por absorção e por compressão de

vapor. Além dos elementos que tipicamente são encontrados em sistemas de refrigeração, nos sistemas de refrigeração por chiller aparecem mais três elementos, sendo: torre de resfriamento, chiller e fan-coil. A torre de resfriamento é responsável por refrigerar o condensador e pode ter grandes dimensões, de acordo com a necessidade da instalação - podendo até ser construído um sistema de torres de resfriamento em paralelo. O chiller, como mostrado na Figura 6, é o principal componente deste sistema e se trata de um resfriador de líquidos em sistemas de refrigeração. Este equipamento permite ao sistema operar com água em diversas faixas de variação de temperatura, podendo até chegar abaixo de 0°C quando se utiliza aditivos. O fan-coil é responsável por receber a água gelada e por forçar a circulação do ar do ambiente a ser refrigerado a passar por suas serpentinas, mantendo assim a temperatura desejável no ambiente (DEL'ANTONIO; NOVENTA; FERES JÚNIOR, 2017).

Figura 6 - Ilustração de um Chiller.



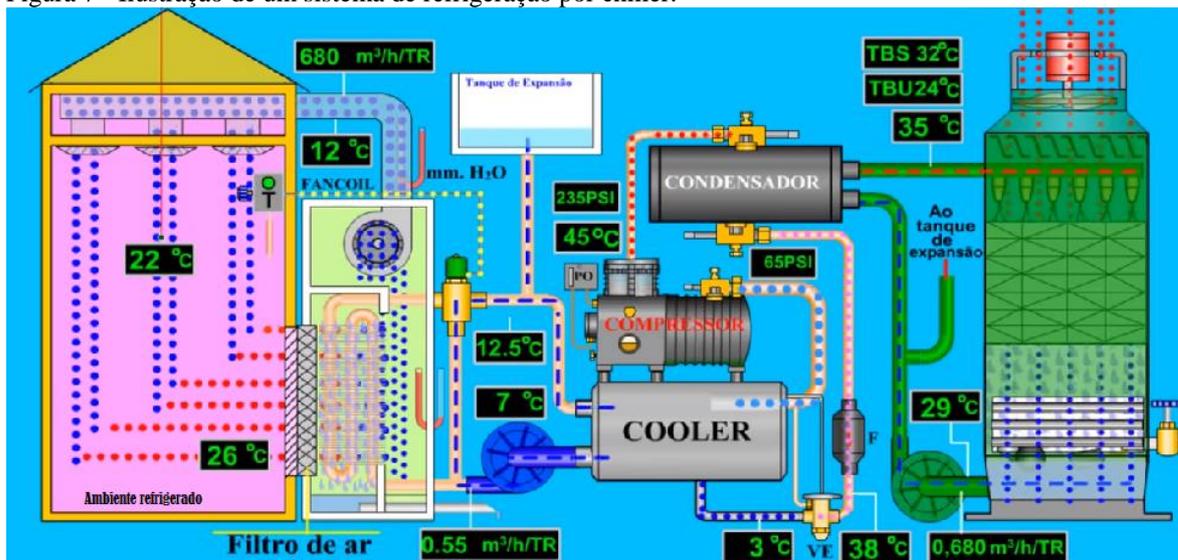
Fonte: JOHNSON CONTROLS (2019).

Os chillers por absorção funcionam em um sistema termoquímico que opera internamente a vácuo. Internamente, possuem a água deionizada como refrigerante e um absorvedor, neste caso brometo de lítio – LiBr - que possui capacidade de absorver vapores de algumas substâncias, quando são concentradas até certo ponto. Se for estabelecida uma comparação entre chillers de absorção e chillers elétricos (compressão), os sistemas de chillers por absorção utilizam energia térmica e, por isso, se tornam menos eficientes. Entretanto, se a energia utilizada pelo chiller de absorção possuir um custo menor que a do chiller elétrico, o chiller por absorção se torna mais viável. Caso a energia elétrica possua menor custo, o que normalmente ocorre, então o chiller por compressão é mais viável. A análise deve depender das

condições disponíveis para a operação. Tratando da eficiência dos equipamentos, os chillers por compressão apresentam uma eficiência entre 4,5 a 7,1 Kw/Kw de acordo com o compressor utilizado. Os chillers por absorção operam com uma eficiência de 0,7 a 1,5 Kw/Kw dependendo da fonte de calor (GODINI, 2018).

Os chillers de compressão operam com uma linha de água da torre de resfriamento que resfria o condensador. Uma linha de refrigerante geralmente de baixo gwp que passa pelo evaporador e tira o calor da água deixando-a gelada. Em seguida, o refrigerante segue para a linha do compressor onde é aplicado trabalho neste fluido. Na sequência, é condensado no condensador e, por último, segue para linha da válvula de expansão antes de reiniciar todo ciclo no evaporador. A água gelada que sai do evaporador entra nos fan-coils, onde é realizado o resfriamento do ambiente conforme descrito na Figura 7 (DEL'ANTONIO; NOVENTA; FERES JÚNIOR, 2017).

Figura 7 - Ilustração de um sistema de refrigeração por chiller.



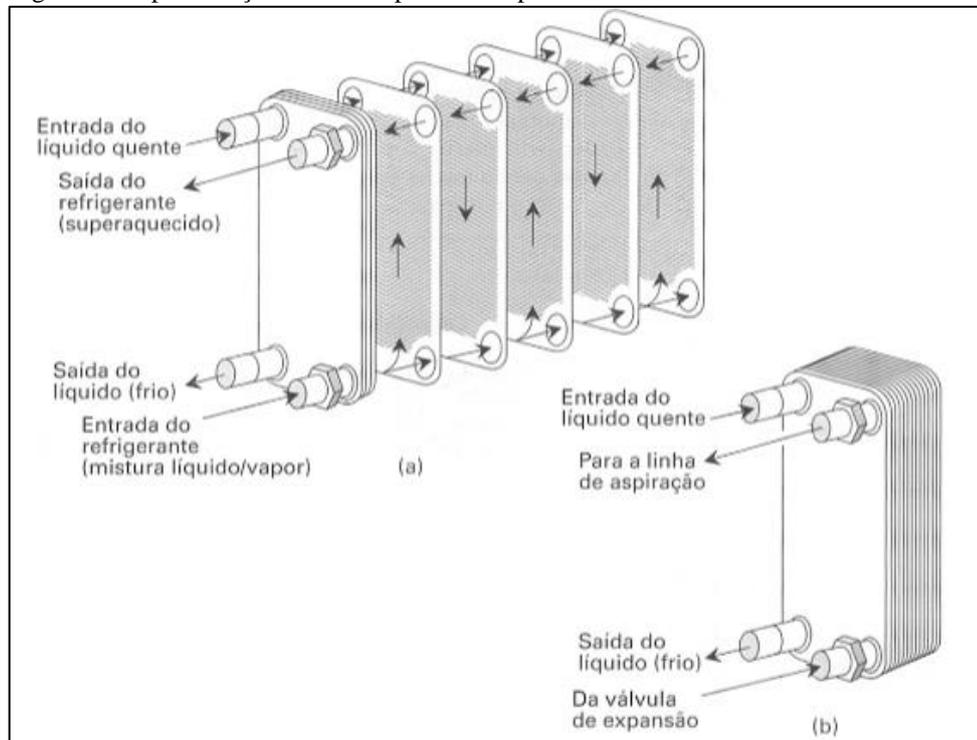
Fonte: adaptado de DEL'ANTONIO; NOVENTA; JUNIOR (2017).

Guimarães (2020) chama a atenção sobre a importância da manutenção preventiva em centrais de água gelada, para não ocorrer proliferação de micro-organismos e comprometer a qualidade do ar dos ambientes refrigerados. Uma preocupação é a baixa utilização destes equipamentos em alguns períodos, como durante o longo período de isolamento social ocorrido no ano de 2020. A presença de bactérias pode surgir devido ao baixo escoamento de água nas tubulações.

2.3.3 Evaporadores

Os evaporadores são elementos com participação direta no resfriamento do processo, geralmente neste ponto ocorre a interação entre o sistema de refrigeração e o ciclo frigorífico. Os evaporadores agem possibilitando a troca de calor que resfria o fluido que irá refrigerar um ambiente ou processo. Em sistemas um pouco mais antigos, existe grande predominância dos evaporadores do tipo carcaça-tubos, estes vêm sendo substituídos gradativamente por evaporadores de placas. Os evaporadores de placas possuem ótimo desempenho térmico, o que possibilita equipamentos fisicamente menores (STOECKER; JABARDO, 2018).

Figura 8 - Representação de um evaporador de placas.



Fonte: STOECKER; JABARDO (2018). (a) Ilustração do fluxo do refrigerante no evaporador; (b) Evaporador de placas montado.

Na Figura 8 temos uma representação esquemática de um evaporador de placas, onde a ilustração (a) representa o fluxo que realiza o fluido refrigerante e do fluido refrigerado ao longo do evaporador com suas placas separadas. Na ilustração (b) temos a representação de um evaporador montado e as linhas de entrada e saída dos fluidos (STOECKER; JABARDO, 2018).

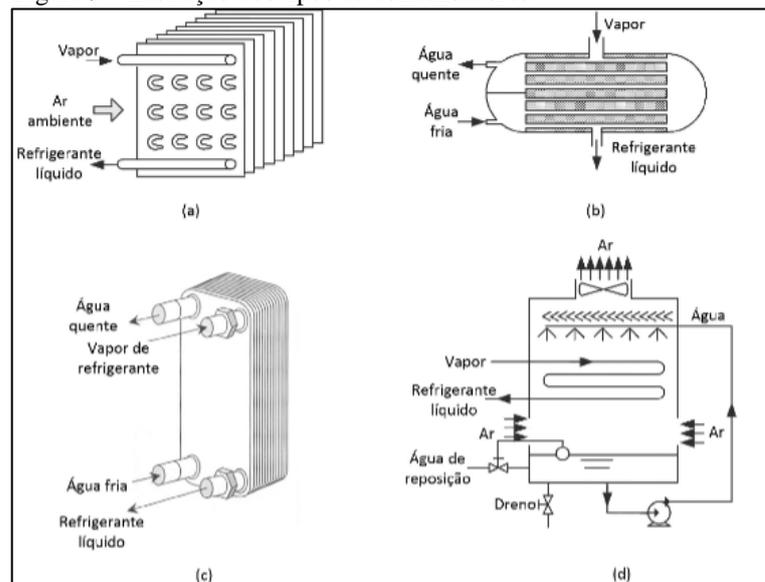
2.3.4 Compressores

Nos sistemas de refrigeração por compressão de vapor, utilizam-se compressores alternativos e rotativos, geralmente. Os compressores alternativos são aplicados em pequenas e médias instalações e os rotativos em grandes instalações, com vários estágios de compressão. Os compressores centrífugos possibilitam a operação em alta rotação e surgem com grande destaque em instalações à água e sistemas de ar condicionado. A fim de facilitar a escolha de um compressor para o sistema, alguns fornecedores disponibilizam gráficos que relacionam a capacidade do compressor e a temperatura de vaporização do fluido, fatores primordiais para o desempenho do sistema (COSTA, 2017).

2.3.5 Condensadores

Entre os condensadores, três tipos se destacam na refrigeração industrial. São eles: condensadores resfriados a água, a ar e os evaporativos. No âmbito industrial, são muito utilizados os condensadores em paralelo, diferentemente de outros segmentos e o predominante é o do tipo evaporativo. A Figura 9 demonstra a descrição dos tipos de condensadores (STOECKER; JABARDO, 2018).

Figura 9 - Ilustração dos tipos de condensadores.



Fonte: STOECKER; JABARDO (2018). (a) condensador resfriado a ar; (b) condensador resfriado a água; (c) condensador de placas; (d) condensador evaporativo.

O condensador (a) mostrado na Figura 9 se refere ao resfriado a ar. Uma superfície com aletas intermedia a rejeição do calor do refrigerante para o meio ambiente até sua condensação. No condensador (b) temos um sistema de condensação resfriado a água, pelo modelo bastante antigo carcaça-tubos. Neste sistema, o vapor é condensado pela troca de calor com água fria que passa por tubos dentro da carcaça. Os condensadores de placas resfriados a água (c) possui o mesmo princípio de funcionamento dos evaporadores de placa, onde a água escoas pelas placas, enquanto o refrigerante é condensado nos tubos. No evaporador evaporativo (d) o resfriamento é altamente eficiente, pois o calor é retirado pela água e pelo fluxo de ar forçado por um ventilador (STOECKER; JABARDO, 2018).

2.3.6 Válvula de expansão

As válvulas de expansão termostáticas possuem a finalidade de regular a vazão de entrada de fluido no evaporador, injetando o refrigerante de forma controlada por superaquecimento. O superaquecimento na entrada do evaporador e saída do evaporador deve ser constante (DANFOSS, 2020).

Figura 10 - Válvula de expansão termostática.



Fonte: DANFOSS (2020).

A Figura 10 mostra um exemplo de válvula de expansão. Estas válvulas devem possuir alta resistência à pressão de trabalho, alguns elementos são construídos de aço inoxidável e soldados a laser. Além disso, precisam apresentar alta resistência à corrosão e fácil adaptação

ao superaquecimento. Como estas válvulas podem trabalhar em amplas faixas de temperatura, sua aplicação se torna muito vasta em refrigeração industrial, sistemas de bombas de calor, sistemas de condicionamento de ar, transportes refrigerados, resfriadores de líquidos e máquinas de gelo (DANFOSS, 2020).

2.4 Segurança em instalações

Antes de tudo, uma instalação frigorífica deve atender ao requisito segurança e, em seguida, parâmetros de desempenho e eficiência. A instalação deve apresentar confiabilidade para manutenção e operação, além disto é importante considerar que acidentes podem ocasionar a parada da operação e ocasionar grandes perdas econômicas. As normas de segurança devem ser rigorosamente observadas pelo projetista e os planos de manutenção devem ser muito bem prescritos, pois a maior parte dos acidentes ocorrem com os técnicos. No Brasil, uma das principais normas de sistemas de refrigeração é a ABNT NBR 13598-2011, vasos de pressão para refrigeração. Esta norma é totalmente fundamentada na norma norte-americana ANSI/ASHRAE 15-2013, código de segurança para refrigeração mecânica. A ABNT NBR 13598-2011 recomenda que a pressão de projeto dos vasos de pressão para refrigeração seja de no mínimo 100 kPa manométricos, este valor é definido de acordo com o tipo de refrigerante e a localização do sistema conforme a Figura 11 a seguir (STOECKER; JABARDO, 2018).

Figura 11 - Recomendação de pressões mínimas de projetos pela ABNT NBR 13598/11.

Refrigerante	Pressão mínima de projeto (kPa)					
	Baixa pressão – coberto 35 °C	Baixa pressão – ao sol 43 °C	Alta pressão – condensação a água 47 °C	Alta pressão – condensação a ar TBS _{máx} < 38 °C† 59 °C	Alta pressão – condensação a ar TBS _{máx} < 43 °C 63 °C	Alta pressão – condensação a ar TBS _{máx} < 55 °C 67 °C
R-717 (amônia)	1.350	1.689	1.879	2.551	2.811	3.089
R-290	1.214	1.464	1.602	2.074	2.253	2.443
R-600	327	407	453	616	679	746
R-1270	1.473	1.764	1.929	2.478	2.685	2.906
R-134a	887	1.094	1.221	1.642	1.804	1.978

Fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2018).

É indispensável a presença de dispositivos de alívio no sistema. Os elementos de alívio mais comuns nos sistemas de refrigeração são as válvulas atuadoras por mola, estas realizam o alívio em regiões de vapor e de líquido. É necessária a instalação de válvulas de alívio de vapor ao longo de todo sistema, inclusive em alguns condensadores e evaporadores. Os sistemas frigoríficos devem seguir desde o projeto até a manutenção e operação as recomendações da ABNT NBR 16069-2018, que busca estabelecer medidas de segurança em instalações de refrigeração e climatização (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

Em sistemas de refrigeração por amônia, a segurança é tomada com mais cautela e o projeto de ventilação nas salas de máquinas toma uma dimensão de importância ainda maior. A ventilação se torna necessária neste caso, para que não ocorra alta concentração de amônia em caso de vazamento e atinja uma concentração inflamável. Além disto, a ventilação também é importante para que ocorra uma renovação do ar para os operadores na sala de máquina, para evitar temperaturas elevadas e otimizar a funcionalidade dos detectores de amônia (BRASIL, 2009).

3 METODOLOGIA

A análise comparativa efetuou-se através da avaliação de duas vertentes essenciais, sendo elas, sistemas e processos. Os pontos de estudos foram realizados em uma empresa de laticínios na cidade de São Gonçalo do Sapucaí – MG no período de agosto de 2019 a outubro de 2020, sob a incumbência dos setores de engenharia, processos e produção. Os sistemas de refrigeração relacionados no estudo foram analisados individualmente, de acordo com as recomendações das normas vigentes.

O sistema de frio possui duas funcionalidades principais na indústria laticínios em São Gonçalo do Sapucaí – MG. A primeira é a manutenção da temperatura em 6 câmaras frias, onde são armazenados produtos acabados, intermediários, produtos de terceiros e de filiais, manteiga, e principalmente para maturação de produtos fabricados na unidade - estima-se 3.000 Ton em maturação.

A segunda aplicação, e a mais crítica, é para o setor de plataforma de processamento de leite, onde são recebidos, diariamente, em média 400.000 L de leite, 150.000 L de soro fluído e 1.500 L de creme. A operação do sistema de frio é de extrema importância para garantir a qualidade do produto final dentro das especificações recomendadas. Neste setor, o processamento da matéria prima é dedicado para aplicação em fins industriais. São produzidos produtos como leite concentrado (LC) e soro concentrado (SC), através de um processo de ultra filtração, e também leite concentrado por processo de evaporação (LE), por meio de trocadores de calor de placas. Estes produtos são armazenados em cinco tanques de armazenamento resfriados, e possuem análises microbiológicas periodicamente.

Figura 12 - Tanques de armazenamento.



Fonte: O autor (2020).

Para avaliar a eficácia dos sistemas de refrigeração, foram avaliadas amostras dos processos e resultados influenciados pela eficiência operacional do sistema, ou seja, resultados do processo que possuem correlação direta com a temperatura de armazenamento. As amostras terão sua conformidade medida de acordo com parâmetros do padrão de operação definidos pelo setor de garantia da qualidade no documento PO.SG.DGQ.AUT-012 conforme Anexo A.

Dos cinco silos da plataforma de processamento de leite, três foram monitorados em intervalos de 2 em 2 horas. Um dos principais pontos de avaliação é a temperatura da amostra, que deve ser de no máximo 4 °C. As medições serão realizadas por termômetros digitais conforme a Figura 13.

Figura 13 - Termômetro digital.



Fonte: O autor (2020).

Outro ponto de análise para os silos é a Contagem Bacteriana Total (CBT) da amostra, que deve ser inferior a 900.000 UFC/ml. Estas análises foram realizadas em um citômetro de fluxo conforme a Figura 14.

Figura 14 - Citômetro de fluxo



Fonte: FOSS BRASIL (2019).

Para a avaliação de desempenho do sistema através dos tanques de armazenamento, foram realizadas análises de amostras de soro concentrado (SC), escolhidas aleatoriamente entre os três possíveis produtos. Para a medição da temperatura, utilizou-se de um termômetro digital, conforme a Figura 13. Para avaliar o pH, foi utilizado um pHmetro de bancada, como demonstrado na Figura 15, e a acidez por meio de ensaios de laboratório. As análises foram enquadradas nos parâmetros de referência determinados pelo setor de qualidade.

Figura 15 - PHmetro de bancada.



Fonte: O autor (2020).

Assim como no sistema de chiller, no sistema por amônia o ambiente que se visa refrigerar é resfriado por água que, por sua vez, é esfriada pela amônia que não pode ter o risco de contato com produtos alimentícios. A recomendação do setor de engenharia é que a temperatura da água de circulação nos espaços refrigerados seja menor que 10 °C. A medição da temperatura da água no sistema por amônia é realizada por meio de um termômetro analógico metálico de haste conforme ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - Termômetro analógico.



Fonte: WOLER (2020).

Os valores de temperatura da água do sistema de chiller foram obtidos através do painel de controle dos chillers. Além de possibilitar acompanhar a temperatura da água, também é possível monitorar o tempo de operação em horas, o que favorece a geração de indicadores de manutenção. O consumo de energia de entrada no sistema com precisão de 3% em uma escala de 0 a 788 kW e para o consumo de energia acumulado kW/h a escala do medidor é de 0 a 999.999 kW/h. Estas informações são acompanhadas a cada 2 horas e registradas no documento F.SG.DGQ-015 exemplificado no Anexo B.

Figura 17 - Painel de controle do chiller.



Fonte: O autor (2020).

Para as câmaras frias, os parâmetros de temperatura também são definidos no padrão de operação definido pelo setor de garantia da qualidade no documento PO.SG.DGQ.AUT-012, de acordo com as especificações técnicas de cada produto. A temperatura é conferida em intervalos de duas horas através de termômetros digitais permanentes nas câmaras frias conforme a Figura 18.

Figura 18 - Termômetro digital.



Fonte: O autor (2020).

Um dos pontos centrais da teoria econômica é a racionalidade econômica. A troca de recursos disponíveis por recursos futuros (e muitas vezes incertos) só faz sentido quando o retorno destes recursos futuros é maior que os recursos atuais. Este conceito se aplica tanto para valor monetário quanto para benefícios (SOARES; MOREIRA; PINHO; COUTO, 2019). Além dos fatores relacionados aos processos, no caso dos benefícios operacionais, também serão avaliados fatores de custos influenciados pela mudança do sistema de refrigeração. Através das análises de custos fixos de locação e custos variáveis, como custo de energia elétrica obtido por meio do Orçamento Matricial Fabril – OMA e relatórios de faturamento de abastecimento de fluido refrigerante, possibilitou-se analisar a viabilidade econômica obtida através da mudança do sistema de refrigeração por amônia para chiller de água gelada. A substituição do sistema por amônia para chillers ocorreu em janeiro de 2020. Desta forma, os resultados levantados em 2019 representam o sistema por amônia e os resultados a partir de janeiro de 2020 representam o sistema por chillers.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Instalação de amônia

A instalação de amônia é composta por três refrigeradores similares, sendo um para refrigeração das câmaras frias e dois para o sistema de frio da plataforma de processamento de leite. O principal equipamento responsável pelo sistema de frio é a unidade resfriador de líquido da York, modelo PAC 108 E demonstrado na Figura 19. O equipamento possui massa de 7150 Kg, carga de óleo de 30 L, potência instalada de 132 Kw, tensão de 220 V e regime de temperatura que varia de 0 °C a 37 °C. Com faixa de temperatura da água que circula o ambiente refrigerado de 2,8 °C a 9 °C e média de 6,25 °C.

Figura 19 - Unidade resfriador de líquido.



Fonte: O autor (2020).

A fim de analisar o cumprimento das legislações para instalação de refrigeração por amônia, alguns pontos do sistema foram analisados com parâmetros na ABNT NBR 16069-2018, que estabelece medidas de segurança em instalações de refrigeração e climatização. O compressor possui registros de controle de pressão e também consta da presença de válvulas de alívio de pressão nos componentes condensador, evaporador e compressor, como requer a norma.

Figura 20 - Compressor.



Fonte: O autor (2020).

Assim como recomendado, o armazenamento dos cilindros de amônia era realizado na sala de máquinas. Trata-se de uma sala coberta, sem umidade e com sistema de ventilação. O sistema de ventilação é acionado de forma manual na parte externa da sala e de forma independente da chave seccionadora da mesma.

Figura 21 - Sistema de ventilação da sala de máquinas



Fonte: O autor. (2020).

Uma das grandes exigências da norma é a sinalização dos cilindros de amônia, assim como seus riscos e perigos gerados pela exposição no ambiente presente. Todas estas exigências foram cumpridas rigorosamente conforme a Figura 22.

Figura 22 - Placas de sinalização de amônia.



Fonte: O autor (2020).

Por conta de todos os perigos que cercam este sistema, a norma recomenda inspeção visual e frequente dos pontos críticos para vazamento, selos mecânicos, solda, curvas etc. a cada 3 meses. Este sempre foi o método de monitoramento do sistema, que apresenta histórico de vazamentos de amônia, não seguindo as recomendações de radiografia das soldas e testes de pressão.

4.2 Instalação de chillers

A sala de máquinas, cuja instalação se encontra, é composta por três chillers York modelo YMC² Rolamento Magnético com potência entre 580 – 3520 kW, refrigerante HFC-134a e capacidade de 165 – 1000 toneladas de vapor. Este equipamento é projetado para obter o máximo de eficiência e, por isso, utiliza um sistema de rolamento magnético, tornando desnecessária a utilização de engrenagens para transmissão da potência do motor (JOHNSON CONTROLS, 2019). Diferente da unidade de resfriador de líquidos, a água dos chillers que circula o ambiente refrigerado opera em temperaturas negativas, de -0,8 °C a -1,3 °C e média de -1,05 °C nas temperaturas.

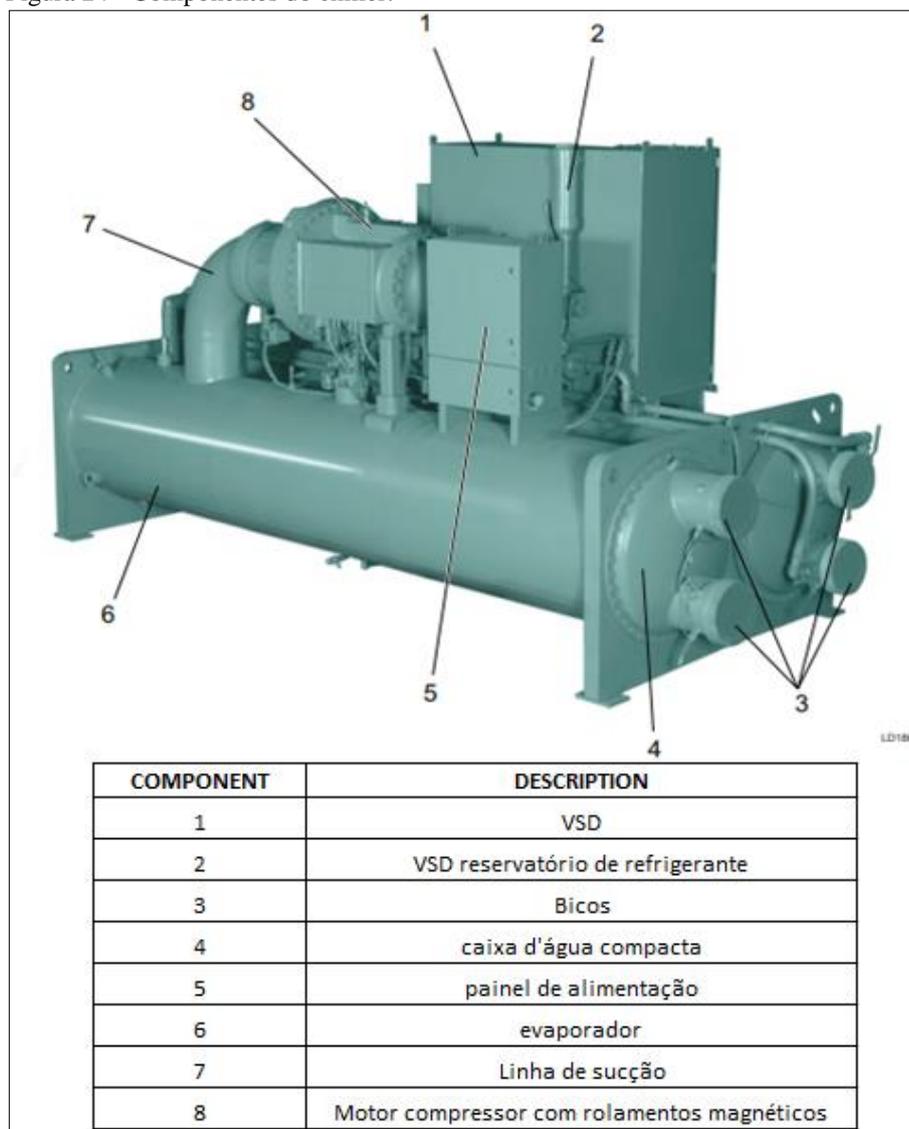
Figura 23 - Instalação de chillers.



Fonte: O autor (2020).

O sistema possui um compressor do tipo centrífugo, de estágio único, com acionamento direto por meio de um motor de ímã permanente em um sistema hermeticamente fechado. O motor do compressor é de alta rotação, com rotor magnético, com apoio de rolamentos magnéticos ativos que possuem redutores automáticos de vibração. O condensador e o evaporador são vedados de placas de aço carbono laminados com costura soldada ou de tubos de aço carbono. O evaporador é do tipo concha e tubo, e o condensador tipo casco e tubo. Na Figura 24 é possível identificar os componentes do chiller (JOHNSON CONTROLS, 2019).

Figura 24 - Componentes do chiller.



Fonte: JOHNSON CONTROLS (2019).

Assim como recomenda a norma, as linhas do compressor possuem válvulas de isolamento do refrigerante. Estas linhas permitem que o fluido seja armazenado e isolado no condensador. O fluxo de refrigerante é controlado por uma válvula controladora de fluxo eletrônica. O chiller é controlado por um centro de controle independente, através de microprocessadores. O controle possibilita o monitoramento de relês, motores, válvulas e interruptores. Cada chiller possui duas válvulas duplas no condensador e no evaporador, as válvulas duplas possuem a mesma função no sistema, porém, a aplicação delas é dada pela eventual necessidade de realizar manutenção de uma válvula com a unidade carregada. A instalação é projetada seguindo as definições da norma americana ASHRAE 15 - Código de Segurança para Refrigeração Mecânica (JOHNSON CONTROLS, 2019).

4.3 Monitoramento das câmaras frias

Na Tabela 1 encontram-se os parâmetros de temperatura para as cinco câmaras frias analisadas, definidos no padrão de operação para controle de temperaturas PO.SG.DGQ.AUT-012.

Tabela 1 – Padrão de operação para temperatura	
Local	Temperatura (°C)
Câmara 1	1 ±10 a 15 °C
Câmara 2	12 a 16 °C
Câmara 3	12 a 16 °C
Câmara 4	Inativo
Câmara 5	0 a 12 °C
Câmara 6	0 a 12 °C

Fonte: Adaptado de CONTROLE DE TEMPERATURAS.

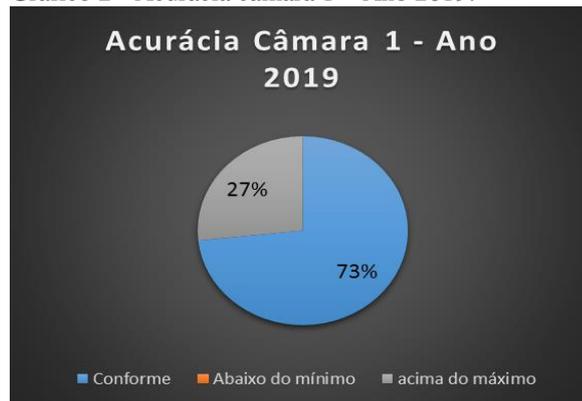
As amostras de temperatura das câmaras coletadas foram dispostas nos Apêndices A e B. Por meio desta análise amostral, é possível verificar que na câmara 1 em 2019, ainda com o sistema por amônia, a temperatura média era de 13,68 °C, com variações de 11,6 °C a 18,2 °C, sendo a acurácia em relação ao padrão de operação para temperatura de 73,33%. Para a mesma a câmara analisada com o sistema de chillers, encontrou se uma temperatura média de 9,86 °C, com variações de 8,8 °C a 10,8 °C e acurácia de 93,33%. Nesta câmara, a redução da amplitude das variações de temperatura, redução da temperatura média e aumento da acurácia foram notáveis conforme demonstram os Gráficos 1 e 2.

Gráfico 1- Acurácia câmara 1 – Ano 2020.



Fonte: O autor (2020).

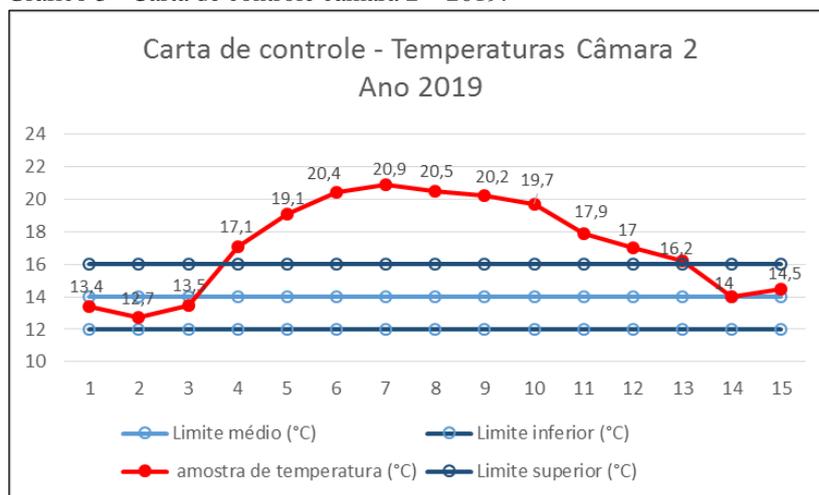
Gráfico 2 - Acurácia câmara 1 – Ano 2019.



Fonte: O autor (2020).

A câmara 2, onde as atenções estão mais voltadas por estar o maior capital empregado, apresentou nas análises em 2019 uma temperatura média de 17,14 °C, estando acima do 1,14 °C acima do limite padrão. A faixa de temperatura observada varia de 12,7 °C a 19,1 °C e somente 33,33% das amostras obedeceram aos limites definidos. Nas amostras observadas em 2020 já com o sistema de chillers, observou-se a temperatura média de 14,28 °C, uma significativa redução na variabilidade nas temperaturas que estão 100% conformes e vão de 13,9 °C a 14,7 °C. O Gráfico 3 possibilita visualizar a alta variabilidade e a inconformidade das amostras de temperatura coletadas em 2019.

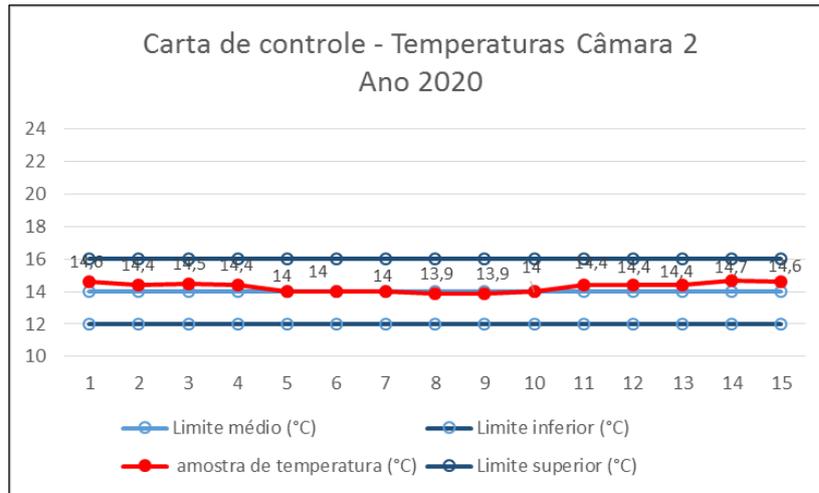
Gráfico 3 - Carta de controle câmara 2 – 2019.



Fonte: O autor (2020).

No Gráfico 4 é possível verificar que, além de todas as amostras estarem conformes, a curva gerada pelas amostras de temperatura apresenta maior constância.

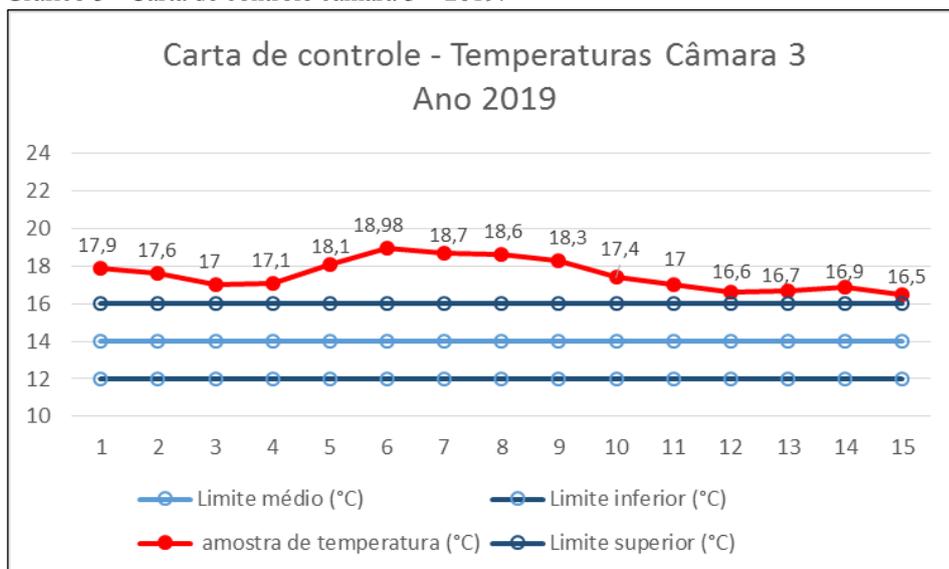
Gráfico 4 - Carta de controle câmara 2 – 2020.



Fonte: O autor (2020).

A câmara 3 apresentou os resultados mais significativos, pois 100% das amostras de temperatura levantadas em 2019 estavam fora dos parâmetros recomendados, a temperatura média obtida é de 17,56 °C e a faixa de temperatura de 16,6 °C a 18,98 °C. O levantamento realizado em 2020 apresenta uma redução de 80% nas inconformidades em relação a 2019. Notou-se também um aumento na amplitude entre as faixas de temperatura que vão de 13,6 °C a 19 °C e redução na temperatura média para 15,45 °C. O Gráfico 5 mostra que as amostras de temperatura coletadas em 2019, apesar de apresentarem certa constância, todas são causas especiais, ou seja, todas estão não conformes.

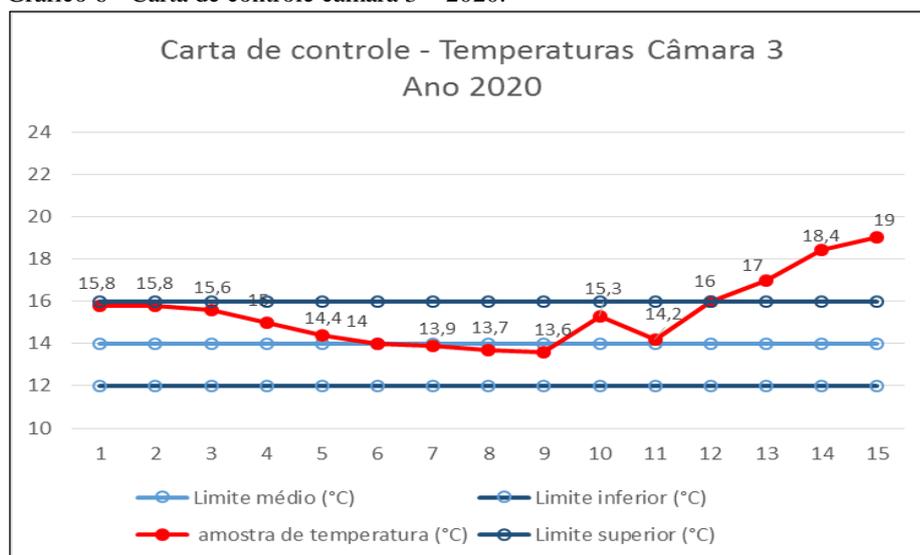
Gráfico 5 - Carta de controle câmara 3 – 2019.



Fonte: O autor (2020).

No gráfico 6, apesar de em alguns pontos ocorrerem maiores variações, é possível visualizar uma maior aproximação da curva de amostras de temperatura com o limite médio e também a redução significativa de amostras não conformes, que estão fora dos limites superior e inferior.

Gráfico 6 - Carta de controle câmara 3 – 2020.



Fonte: O autor (2020).

As temperaturas das câmaras, quando estão adequadas, garantem a qualidade dos produtos armazenados e reduzem o número de ações de contingência realizadas pela equipe de manutenção.

4.4 Monitoramento plataforma de processamento de leite

Na plataforma, além das temperaturas possuírem parâmetros no documento PO.SG.DGQ.AUT-012, outras características de matéria prima e de produto acabado que podem ter correlação com a temperatura também são controladas.

4.4.1 Monitoramento Silos

As temperaturas dos três silos de leite cru devem ser mantidas abaixo de 4 °C, conforme o padrão de operação de temperaturas. Durante o mês de dezembro de 2019, o acompanhamento das temperaturas apresentou somente 8,5% das temperaturas conformes e uma alta média de

6,47 °C. A Figura 25 permite visualizar as temperaturas por silo, medidas ainda com o sistema de refrigeração por amônia.

Figura 25 - Temperatura do leite nos silos – 2019.

TEMPERATURA DO LEITE CRU NOS SILOS - Dez/2019						
Silos	Nº total de resultados	Nº resultados até 4°C	% até 4°C	Média Mês	Mínimo Mês	Máximo Mês
SILO 1	94	7	7,45%	6,3	3	10
SILO 2	97	8	8,25%	6,6	3	12,5
SILO 3	81	8	9,88%	6,5	3	11
TOTAL	272	23	8,46%	6,47	3	12,5

Fonte: adaptado de PLANILHA DE QUALIDADE DO LEITE (2019).

Mesmo com a baixa acurácia de 8,46% no mês de dezembro de 2019, este mês apresentou o melhor resultado quanto às medições no 4º trimestre de 2019, que obteve 3,84% de amostras conformes. A Figura 26 apresenta a conformidade nas temperaturas de leite nos meses do último trimestre de 2019.

Figura 26 - Conformidade de temperatura nos silos – 4º trimestre 2019.

CONFORMIDADE - Temperatura nos silos 4º trimestre 2019				
UNIDADE	OUT	NOV	DEZ	ACUMULADO
Total análises	280	308	272	860
Total análises conformes	5	5	23	33
Índice de conformidade (%)	1,79%	1,62%	8,46%	3,84%

Fonte: adaptado de PLANILHA DE QUALIDADE DO LEITE (2019).

Levantamentos realizados no mês de março de 2020, apontam uma grande ascensão nos indicadores de temperatura dos silos. Neste mês, houve uma conformidade de 47,08% nas medições realizadas. Também se notou uma redução de 2,3 °C na temperatura média, que ainda assim se manteve acima do padrão.

Figura 27 - Temperatura do leite nos silos – 2020.

TEMPERATURA DO LEITE CRU NOS SILOS - Mar/2020						
Silos	Nº total de resultados	Nº resultados até 4°C	% até 4°C	Média Mês	Mínimo Mês	Máximo Mês
SILO 1	107	47	43,93%	4,5	2,8	8
SILO 2	107	49	45,79%	4,5	2	9,4
SILO 3	60	33	55,00%	4,1	2,8	7
TOTAL	274	129	47,08%	4,4	2	9,4

Fonte: adaptado de PLANILHA DE QUALIDADE DO LEITE (2020).

Quanto ao 1º trimestre de 2020, houve um aumento de 30,9% na quantidade de análises dentro dos parâmetros, saindo de 3,84% no fim de 2019 para 34,74% no primeiro semestre de 2020.

Figura 28 - Conformidade de temperatura nos silos – 1º trimestre 2020.

CONFORMIDADE - Temperatura nos silos 1º trimestre 2020				
UNIDADE	JAN	FEV	MAR	ACUMULADO
Total análises	283	275	274	832
Total análises conformes	75	85	129	289
Índice de conformidade (%)	26,50%	30,91%	47,08%	34,74%

Fonte: adaptado de PLANILHA DE QUALIDADE DO LEITE (2020).

Mesmo com a melhora nos indicadores de temperatura, o indicador de contagem bacteriana total chama atenção por sofrer um decréscimo nas análises realizadas neste período. Houve uma variação de -12,37% na conformidade do primeiro trimestre de 2020 em relação ao quarto trimestre de 2019. A Figura 29 mostra a conformidade na CBT de outubro de 2019 a março de 2020.

Figura 29 - Conformidade da CBT nos silos.

ÍNDICE DE CONFORMIDADE - CBT nos Silos				
UNIDADE	out/19	nov/19	dez/19	ACUMULADO
Índice de conformidade (%)	90,14%	51,39%	52,54%	65,35%
UNIDADE	jan/20	fev/20	mar/20	Acumulado
Índice de conformidade (%)	36,84%	55,56%	69,39%	53%

Fonte: adaptado de PLANILHA DE QUALIDADE DO LEITE (2020).

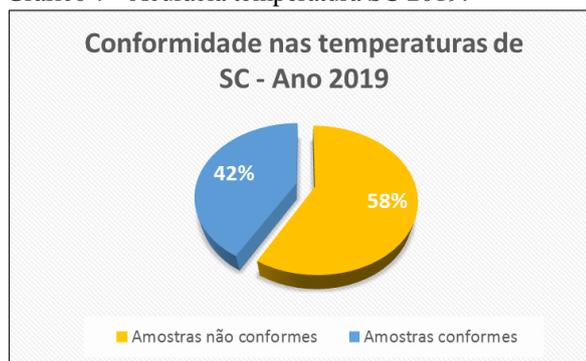
Este indicador é extremamente importante para definir a qualidade do leite. O sistema de frio tem grande participação para não permitir o aumento da proliferação das bactérias, mas não realiza o trabalho de redução das bactérias. Existe uma correlação entre a proliferação das

bactérias e a temperatura, mas não existe causalidade. A explicação para o aumento deste indicador está na qualidade da matéria prima e nas condições de transferência até a planta.

4.4.2 Monitoramento de tanques

Os Apêndices C e D apresentam os valores de monitoramento de temperatura e propriedades de leite concentrado (LC), leite evaporado (LE) e soro concentrado (SC) armazenados por tanque. Em seguida, no Apêndice E estão os parâmetros para análise dos monitoramentos. Analisando o monitoramento de SC nos cinco tanques, é possível observar que a temperatura média teve uma redução de 1,8 °C, passando de 10,3 °C para 8,5 °C e obedecendo o limite parametrizado de no máximo 10 °C.

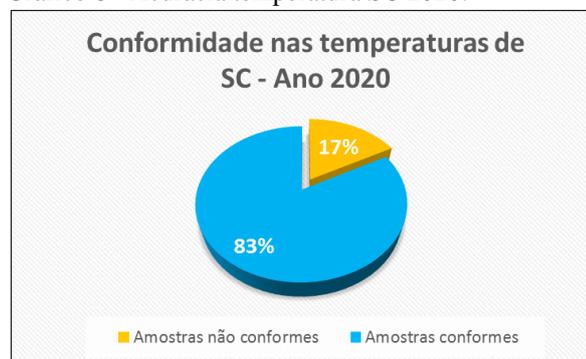
Gráfico 7 - Acurácia temperatura SC 2019.



Fonte: O autor (2020).

No gráfico 8 é possível visualizar a acurácia das amostras de temperaturas de SC em 2020.

Gráfico 8 - Acurácia temperatura SC 2020.



Fonte: O autor (2020).

O aumento de 41% nas amostras de temperatura de SC é importante, pois aumenta a confiabilidade no sistema de frio e na segurança da garantia de qualidade do produto acabado. Outro fator importante de qualidade é a acidez que, de acordo com as amostras monitoradas,

notou-se uma pequena redução de 1,6 °D na média de 2019 para 2020. A acurácia das amostras teve um leve aumento de 2%, conforme demonstrado nos Gráficos 9 e 10.

Gráfico 9 - Acurácia na acidez de SC 2019.



Fonte: O autor (2020).

No gráfico 10 é possível visualizar que todas as amostras estão conformes.

Gráfico 10 - Acurácia na acidez de SC 2020.



Fonte: O autor (2020).

Quanto ao pH, que é um índice que está diretamente ligado a acidez, não houveram mudanças significativas na média e a conformidade teve um decréscimo de 98% para 97%. A mudança de sistemas de frio foi importante não somente para garantir o padrão de qualidade do processo, mas também para melhorá-lo frente a um aumento de aproximadamente 50% no volume de produção.

4.5 Viabilidade econômica entre os sistemas de frios

Indiscutivelmente, dentro da organização o gasto com energia elétrica foi o ponto de maior destaque na substituição do sistema de refrigeração de amônia para os chillers, pois impactou diretamente nos resultados do orçamento matricial. Tendo em vista que a única

mudança relevante de equipamentos foi a mudança do sistema de refrigeração, foi atribuída a esta mudança a redução nos gastos de energia elétrica. Estes gastos que possuíram uma média de R\$ 186.240,63/mês no terceiro quadrimestre de 2019, tiveram uma redução média de R\$ 42.996,61/mês, descendo a média no primeiro quadrimestre de 2020 para R\$ 143.244,02 por mês. Na tabela a seguir estão apresentados os custos que estão relacionados com os sistemas de refrigeração.

Tabela 2 - Custos relacionados aos sistemas de refrigeração.

Data	Custo (R\$)	Referência	Tipo de Custo
Set/19	R\$ 191.125,65	Energia elétrica	Variável
Out/19	R\$ 182.735,04	Energia elétrica	Variável
	R\$ 3.920,00	Abastecimento	Variável
Nov/19	R\$ 187.806,33	Energia elétrica	Variável
Dez/19	R\$ 183.295,49	Energia elétrica	Variável
Jan/20	R\$ 141.839,88	Energia elétrica	Variável
	R\$ 16.000,00	Locação	Fixo
Fev/20	R\$ 167.010,60	Energia elétrica	Variável
	R\$ 16.000,00	Locação	Fixo
Mar/20	R\$ 148.594,32	Energia elétrica	Variável
	R\$ 16.000,00	Locação	Fixo
Abr/20	R\$ 115.531,29	Energia elétrica	Variável
	R\$ 16.000,00	Locação	Fixo

Fonte: O autor (2020).

No primeiro quadrimestre de 2020, com o sistema por chiller, os custos que envolvem o sistema de refrigeração de formas direta e indireta, tiveram uma redução total de R\$ 111.906,42. No gráfico a seguir, é possível visualizar o evolutivo de custos de setembro de 2019 a abril de 2020.

Gráfico 11 – Evolutivo de custos relacionados ao sistema de refrigeração.



Fonte: O autor (2020).

É importante ressaltar que, ainda com o valor fixo relativamente alto de R\$ 16.000,00 para a locação dos chillers, o retorno econômico dado por este sistema é muito significativo e fica explícito no evolutivo de custos.

5 CONCLUSÃO

Ao longo deste estudo, foi possível constatar que, a princípio, a mudança de sistema de refrigeração do estudo tinha somente como finalidade a busca de um novo sistema de frio que acompanhasse o crescimento e desenvolvimento da organização. E, a partir desta necessidade, foram projetadas as oportunidades de melhorias na variabilidade de processos, redução de custos, aumento da confiabilidade nos sistemas e menores riscos de acidente. Inicialmente, evidenciou-se que os chillers, além de possuírem uma potência pelo menos 4,4 vezes superior aos equipamentos anteriores, têm manutenção e inspeção que exigem menor rigor e complexidade.

De acordo com os resultados obtidos, a melhoria na variação e conformidade dos processos está diretamente ligada a redução de 7,29 °C na temperatura média da água de circulação dos sistemas. As câmaras frias, no geral, passaram de 20% para 91,1% na conformidade das temperaturas, passando então a ter valores mais aceitáveis. O aumento da precisão no resfriamento dos silos traz consigo uma maior confiabilidade na disponibilidade de matéria prima, possibilitando assim, um melhor planejamento seguido de melhores resultados para a organização.

Os avanços obtidos também no resfriamento dos tanques, possibilitaram um aumento de 50% no volume de produção. Mais uma vez, a confiabilidade dos sistemas influenciou os resultados organizacionais. As análises realizadas enfatizam a teoria da racionalidade econômica defendida por Soares et al. (2015), a redução de custos de 14,94% gerada pela substituição do sistema por amônia para chillers geraram benefícios financeiros já no primeiro quadrimestre.

O presente trabalho possibilita caminhos para que as empresas possam buscar cada vez mais, sinergia entre a engenharia e seus demais departamentos, a fim de melhor gerenciar seus recursos e operações e aumentar sua competitividade no mercado.

5.1 Recomendação para trabalhos futuros

O baixo número de empresas especializadas em projetos de equipamentos para sistemas de refrigeração, limitou a expansão do estudo para a vertente de projetos. Em função da indisponibilidade de algumas informações, recomenda-se para trabalhos futuros a comparação entre outros fluídos frigoríficos e amônia, levando em consideração as vantagens econômicas na execução de projetos de equipamentos dos sistemas de refrigeração.

Como visto anteriormente, a amônia possui incompatibilidade com alguns materiais e também exige processos de união mais sofisticados. Sugere-se que as análises dos custos incorporados a estas necessidades sejam quantificadas e, a partir disto, avaliado se existe ou não uma inviabilização financeira na realização do projeto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16069:2018: Segurança em sistemas frigoríficos**. Rio de Janeiro, 2018, 51 p.

ASSMANN, Rodrigo Felipe. **Estratégia de Retrofit do Refrigerante HCFH-22 em Máquinas de Refrigeração de uma Indústria Petroquímica Visando Eficiência Energética**. 2017. 69f. Dissertação (Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017. Disponível em:

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12230/TCCE_EEAPP_EaD_2017_ASSMAN_N_RODRIGO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 mar 2020.

BRASIL. Agência Nacional das Águas. **Quantidade de água**. Brasília, DF, [entre 2000 e 2020] Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>>. Acesso em: 18 maio 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Ar Condicionado – Manual sobre sistemas de água gelada**. Brasília, DF, 2017. Disponível em:

<http://www.protocolodemontreal.org.br/site/images/publicacoes/gerenciamento_chillers/V1_Manual_Agua_Gelada.pdf>. Acesso em: 28 maio 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Recomendações de Projeto para Operação Segura de Sistemas de Refrigeração por Amônia**. Brasília, DF, 2009. Disponível em:

<http://www.protocolodemontreal.org.br/site/images/publicacoes/setor_manufatura Equipamentos_refrigeracao_arcondicionado/Recomendacoes_de_Projeto_para_Operacao_Segura_de_Sistemas_de_Refrigeracao.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Uso de Fluidos Alternativos em Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado**. Brasília, DF, 2011. Disponível em:

<http://www.protocolodemontreal.org.br/site/images/publicacoes/programa_brasileiro_eliminaacao_hcfc/Uso_de_Fluidos_Alternativos_em_Sistemas_de_Refrigeracao_e_Ar_Condicionado_-_Artigos_Tcnicos.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2020.

CARVALHO, Paulo Sérgio Germano. **Estudo aplicado de ACV a sistema de refrigeração por absorção e por compressão de vapor de amônia**. 2010. 40f. Dissertação (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3150/tde-19012011-160051/pt-br.php>>. Acesso em: 26 maio 2020.

COSTA, Ennio Cruz da. **Refrigeração**. 3. ed. Porto Alegre: Edgar Blucher LTD, 2017.

DANFOSS. **Válvulas de expansão termostáticas T2/TE3, orifício intercambiável**. Osasco, 2020. Disponível em: <<https://www.danfoss.com/pt-br/products/valves/dcs/thermostatic-expansion-valves/t2-te2/#tab-overview>>. Acesso em: 29 maio 2020.

DEL'ANTONIO, T.; NOVENTA, D. R.; FERES JÚNIOR, M. A. Sistema de refrigeração por meio de água gelada. **Ensaio & Diálogos**, Rio Claro, 2017, v. 10, n. 1, p. 197-224, jan./dez. 2017. Disponível em:

<<https://intranet.redeclaretiano.edu.br/download?caminho=/upload/cms/revista/sumarios/735.pdf&arquivo=sumario10.pdf>>. Acesso em: 01 jun 2020.

DONKOR, O. N. et al. Effect of acidification on the activity of probiotics in yoghurt during cold storage. **International Dairy Journal**, v. 16, n. 10, p. 1181-1189, out. 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694605002347#!>>. Acesso em: 01 out. 2020.

JOHNSON CONTROLS. **Engineering Guide**: York YZ Centrifugal Chiller. Milwaukee, 2019. Disponível em: <<https://www.manualslib.com/manual/1450481/York-Yz.html?page=2#manual>>. Acesso em: 28 fev 2020.

FOSS BRASIL. **Monitoramento de CBT E CCS no laticínio, com um único instrumento, em apenas um click**. Piracicaba, 2019. Disponível em:

<<https://www.milkpoint.com.br/empresas/novidades-parceiros/monitoramento-de-cbt-e-ccs-no-laticinio-com-um-unico-instrumento-em-apenas-um-click-214293/>>. Acesso em: 29 set. 2020.

FREITAS, 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. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/79861/2/36107.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2020.

GODINI, Charles. **Funcionamento e aplicações dos chillers por absorção**. São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.engenhariaarquitectura.com.br/2018/04/funcionamento-e-aplicacoes-dos-chillers-por-absorcao>. Acesso em: 25 maio 2020.

GREENE, W. **Econometric analysis**. 6. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2008.

GUIMARÃES, Luciano. **Paradas pela pandemia, centrais de água gelada exigem manutenção**. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://blogdofrio.com.br/paradas-pela-pandemia-centrais-de-agua-gelada-exigem-manutencao/>>. Acesso em: 20 maio 2020.

HEROLD, M. W. Gelo nos trópicos: a exportação de “blocos de cristais da frieza ianque” para Índia e Brasil. **Espaço Acadêmico**, Maringá, ano XI, n. 126, p. 145–161, nov. 2011.

JABARDO, J. M. S. **Amônia em sistemas de refrigeração**. In: CONBRAVA, 2, 1993, São Paulo Revista ABRA VA, São Paulo, 1993.

LOPES, F. F.; RODRIGUES, J. V. O.; NASCIMENTO, L. S. **Refrigerador de Cerveja**. 2018. 30f. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de

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: 22 mar. 2020.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches. **Reúso de água para torres de resfriamento**. 2001. 18f. Dissertação – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://colecões.sibi.usp.br/fsp/files/original/952afbf74da1f8655a67bbbedbbb0dac3.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2020.

MÉNDEZ, José A. Barreiro; BRICEÑO, Aleida J. Sandoval. **Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas**. Caracas: Equinoccio, 2006. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=r7y3XuFAB8UC&oi=fnd&pg=PR1&dq=refrigera%C3%A7%C3%A3o+na+industria+alimenticia+Sandoval&ots=VPWCymuVjz&sig=Ut7rxr3TToMLBHUMWo2srt6-P7M#v=onepage&q=refrigera%C3%A7%C3%A3o%20na%20industria%20alimenticia%20Sandoval&f=false>>. Acesso em: 25 maio 2020.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reúso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=V1iXBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT10&dq=uso+de+%C3%A1gua+na+industria&ots=ioiORDia8C&sig=Kq5JGISIcrCi28qhjbfGyX7qXoc&redir_esc=y#v=onepage&q=uso%20de%20%C3%A1gua%20na%20industria&f=false>. Acesso em: 12 maio 2020.

MILANÉS, Rafael Lincoln Pratts. **Melhoramento de um Sistema de Refrigeração por Absorção Água-Amônia para a Fabricação de Gelo**. 1997. 123f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/265428/1/PrattsMilanes_RafaelLincoln_M.pdf>. Acesso em: 20 maio 2020.

MORAN, Michael J. et al. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. Disponível em: <<https://idoc.pub/documents/principios-de-termodinamica-para-engenharia-7-edicao-moran-michael-j-shapiro-howard-n-boettner-daisie-d-bailey-margaret-b-pnxkymj7814v>>. Acesso em: 29 maio 2020.

MORSEL, Horst. **Vademecum del Frigorista**. Zaragoza: Editora Acribia, 1973.

NUNES, José. **Avaliação do desempenho dos sistemas de refrigeração nas indústrias agroalimentares da Beira Interior**. 2013. 356f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ipcb.pt/bitstream/10400.11/2529/1/TD_JOSE_NUNES.pdf>. Acesso em: 12 maio 2020.

PIZZO, Sandro Megale. **Fundamentos da Termodinâmica**. São Paulo: Pearson, 2015. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/151060/pdf/0?code=dDwgS6kTR9Wt2>>

SHW0sWibVIMEPHvutVGQWVGam6GW5vdfeNDzrMoZHXXkhjTjF1rdNfY8CodeGp8go/Un2xvgEg==>. Acesso em: 01 jun. 2020.

SANTOS, Eduardo Oliveira de. **Dimensionamento e avaliação do ciclo de refrigeração de sistema de climatização automotivo**. 2005. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <http://automotiva-poliusp.org.br/wp-content/uploads/2013/02/santos_eduardo.pdf>. Acesso em: 10 maio 2020.

SOARES, Isabel et al. **Decisões de Investimento: Análise Financeira de Projetos**. 4. ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2015. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/82888/2/116731.pdf>>. Acesso em: 20 set 2020.

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

WOLER. **Termômetro bimetálico inox**. São Paulo, [2000 a 2020]. Disponível em: <<https://www.woler.com.br/termometro-bimetalico-inox>>. Acesso em: 01 jun 2020.

VIGOR. **Planilha de qualidade do leite**. São Gonçalo do Sapucaí, 2019.

VIGOR. **Planilha de qualidade do leite**. São Gonçalo do Sapucaí, 2020.

ZUKOWSKI JÚNIOR, Joel Carlos. **Construção, teste e análise termodinâmica de um sistema de refrigeração de amônia utilizando-se um compressor para R-12 adaptado**. 1995. 84f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995. Disponível em: <http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257342/1/ZukowskiJunior_JoelCarlos_M.pdf>. Acesso em: 15 maio 2020.

APÊNDICE A – MONITORAMENTO CÂMARAS FRIAS 2020

Monitoramento câmaras frias - 2020						
Data	Amostra	Camara 1 (°C)	Camara 2 (°C)	Camara 3 (°C)	câmara 5 (°C)	câmara 6 (°C)
24/set	1	10	14,6	15,8	9,4	9,2
24/set	2	9,2	14,4	15,8	9,4	10,1
24/set	3	9,2	14,5	15,6	9,6	7,8
24/set	4	9,3	14,4	15	9,7	8,6
24/set	5	10	14	14,4	7,9	9,7
24/set	6	10	14	14	7,6	12,5
24/set	7	10,6	14	13,9	10,4	11,8
24/set	8	10,8	13,9	13,7	10,7	10,2
24/set	9	10,7	13,9	13,6	7,8	10,1
24/set	10	10,5	14	15,3	7,7	7
24/set	11	10,1	14,4	14,2	7,7	8,7
24/set	12	9,5	14,4	16	7,6	8,6
24/set	13	9,5	14,4	17	8,3	11
24/set	14	9,7	14,7	18,4	7,6	7,3
24/set	15	8,8	14,6	19	7,2	6

APÊNDICE B – MONITORAMENTO CÂMARAS FRIAS 2019

Monitoramento câmaras frias - 2019						
Data	Amostra	Camara 1 (°C)	Camara 2 (°C)	Camara 3 (°C)	câmara 5 (°C)	câmara 6 (°C)
13/ago	1	13,9	13,4	17,9	11,6	7,8
13/ago	2	14,4	12,7	17,6	11,9	10
13/ago	3	14,3	13,5	17	11,4	8,3
13/ago	4	13,6	17,1	17,1	11,2	7,1
13/ago	5	12,9	19,1	18,1	10,8	7,5
13/ago	6	12,3	20,4	18,98	10,7	6,8
13/ago	7	12,1	20,9	18,7	10,8	7,5
13/ago	8	11,9	20,5	18,6	10,7	5,7
13/ago	9	11,6	20,2	18,3	10,8	6,7
13/ago	10	11,6	19,7	17,4	11,3	9,7
13/ago	11	12,4	17,9	17	11,8	5,8
13/ago	12	15	17	16,6	11,6	7,4
13/ago	13	15,5	16,2	16,7	11,6	8
13/ago	14	15,5	14	16,9	12	7,6
13/ago	15	18,2	14,5	16,5	12,1	6,7

APÊNDICE C – MONITORAMENTO TANQUES 2019

MONITORAMENTO TANQUES DA PLATAFORMA - 2019					
DATA	TANQUE Nº	PRODUTO	TEMPERATURA (°C)	ACIDEZ (D°)	PH
01/11/2019	B1 PLATAFORMA	SC	9,7	30	6,12
01/11/2019	B2 PLATAFORMA	LC	9,6	43	6,64
01/11/2019	B3 PLATAFORMA	LE	12,7	59	6,36
01/11/2019	B1 PLATAFORMA	SC	11,5	29	6,15
02/11/2019	B3 PLATAFORMA	SC	11	37	5,79
02/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	10	43	6,7
02/11/2019	B2 PLATAFORMA	LC	9,5	42	6,64
02/11/2019	B3 PLATAFORMA	SC	12,3	24	6,26
04/11/2019	B2 PLATAFORMA	LC	7	44	6,67
04/11/2019	B3 PLATAFORMA	SC	6,8	25	6,5
04/11/2019	B1 PLATAFORMA	SC	14	25	6,18
05/11/2019	B1 PLATAFORMA	SC	14	25	6,13
05/11/2019	B2 PLATAFORMA	LE	12,8	65	6,35
05/11/2019	B3 PLATAFORMA	LC	12,7	45	6,53
06/11/2019	B1 PLATAFORMA	SC	10	33	6,08
06/11/2019	B2 PLATAFORMA	SC	11	40	5,61
06/11/2019	B3 PLATAFORMA	SC	7,5	26	6,42
07/11/2019	B1 PLATAFORMA	SC	11	24	6,3
07/11/2019	B2 PLATAFORMA	LE	12	60	6,46
08/11/2019	B2 PLATAFORMA	LE	12	73	6,3
08/11/2019	B3 PLATAFORMA	SC	10	24	6,45
08/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	10	45	6,68
08/11/2019	B3 PLATAFORMA	SC	11	24	6,42
09/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	10,9	45	6,64
09/11/2019	B2 PLATAFORMA	SC	11	24	6,53
09/11/2019	B3 PLATAFORMA	LE	12,6	59	6,52
09/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	12	43	6,7
10/11/2019	B1 PLATAFORMA	LE	13,8	60	6,3
10/11/2019	B2 PLATAFORMA	SC	8,6	31	6,07
10/11/2019	B3 PLATAFORMA	LC	9,8	42	6,63
10/11/2019	B1 PLATAFORMA	LE	18,2	67	6,32
11/11/2019	B2 PLATAFORMA	SC	11	25	6,36
11/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	11	40	6,62
11/11/2019	B2 PLATAFORMA	SC	12	25	5,92
11/11/2019	B3 PLATAFORMA	LE	12	58	6,54
12/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	11	42	6,68

12/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	11	50	6,72
12/11/2019	B3 PLATAFORMA	SC	13	56	4,63
13/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	10	46	6,7
13/11/2019	B3 PLATAFORMA	LE	13	62	6,44
14/11/2019	B1 PLATAFORMA	LE	11,4	59	6,47
14/11/2019	B2 PLATAFORMA	SC	10,7	32	5,81
14/11/2019	B3 PLATAFORMA	SC	10,6	27	6,41
14/11/2019	B1 PLATAFORMA	LE	12,4	60	6,42
14/11/2019	B3 PLATAFORMA	SC	11	24	6,53
15/11/2019	B2 PLATAFORMA	LC	8,4	43	6,69
15/11/2019	B3 PLATAFORMA	SC	10,6	23	6,46
16/11/2019	B1 PLATAFORMA	LE	14	60	6,46
16/11/2019	B2 PLATAFORMA	LC	9	42	6,62
16/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	9	45	6,7
16/11/2019	B3 PLATAFORMA	SC	11	25	6,29
16/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	8,9	42	6,69
16/11/2019	B3 PLATAFORMA	SC	11,6	32	6,14
17/11/2019	B1 PLATAFORMA	LE	10	60	6,4
18/11/2019	B1 PLATAFORMA	SC	7	23	6,64
18/11/2019	B2 PLATAFORMA	LC	8,3	44	6,68
18/11/2019	B3 PLATAFORMA	LE	10,4	58	6,47
18/11/2019	B1 PLATAFORMA	SC	7	23	6,64
18/11/2019	B2 PLATAFORMA	LC	8,3	44	6,68
18/11/2019	B3 PLATAFORMA	LE	10,4	58	6,47
18/11/2019	B1 PLATAFORMA	SC	10	25	6,22
18/11/2019	B2 PLATAFORMA	LC	8	43	6,65
18/11/2019	B3 PLATAFORMA	LE	11	57	6,43
19/11/2019	B1 PLATAFORMA	SC	10	20	6,58
19/11/2019	B2 PLATAFORMA	LC	8	42	6,69
19/11/2019	B1 PLATAFORMA	SC	11	24	6,32
20/11/2019	B2 PLATAFORMA	LC	6,6	45	6,67
20/11/2019	B3 PLATAFORMA	LE	4,5	62	6,48
20/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	11	44	6,65
21/11/2019	B2 PLATAFORMA	SC	8	23	6,29
21/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	12	41	6,59
21/11/2019	B2 PLATAFORMA	SC	11	23	6,14
22/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	7	38	6,58
22/11/2019	B2 PLATAFORMA	LC	7,1	23	6,19
22/11/2019	B3 PLATAFORMA	LE	8,6	59	6,44
22/11/2019	B3 PLATAFORMA	LE	8	62	6,46
23/11/2019	B2 PLATAFORMA	SC	7,9	26	6,18

23/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	12	42	6,65
23/11/2019	B2 PLATAFORMA	SC	11	30	6,25
23/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	12	42	6,65
23/11/2019	B2 PLATAFORMA	SC	11	30	6,25
23/11/2019	B3 PLATAFORMA	LE	15	55	6,45
24/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	7	39	6,65
24/11/2019	B2 PLATAFORMA	SC	9,3	28	6,14
24/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	9	43	6,69
24/11/2019	B3 PLATAFORMA	SC	6	26	6,27
25/11/2019	B1 PLATAFORMA	LC	8,4	40	6,66
25/11/2019	B2 PLATAFORMA	LE	7	56	6,58
25/11/2019	B1 PLATAFORMA	SC	8	24	6,27
25/11/2019	B2 PLATAFORMA	LC	9	47	6,64
25/11/2019	B3 PLATAFORMA	SC	11	24	6,22
26/11/2019	B1 PLATAFORMA	SC	15,8	23	6,26
26/11/2019	B2 PLATAFORMA	LC	7,2	43	6,67
26/11/2019	B3 PLATAFORMA	LE	14,5	55	6,51
26/11/2019	B1 PLATAFORMA	SC	12	26	6,38
27/11/2019	B3 PLATAFORMA	LC	9,4	42	6,74
27/11/2019	B1 PLATAFORMA	SC	11	31	6,45
27/11/2019	B3 PLATAFORMA	LC	12	46	6,65
28/11/2019	B1 PLATAFORMA	SC	9	23	6,58
28/11/2019	B2 PLATAFORMA	SC	8	25	6,4
28/11/2019	B3 PLATAFORMA	LC	9	47	6,7
28/11/2019	B2 PLATAFORMA	SC	12,6	27	6,01
28/11/2019	B3 PLATAFORMA	LC	8,7	45	6,66
28/11/2019	B2 PLATAFORMA	SC	12	25	6,16
29/11/2019	B2 PLATAFORMA	LC	6,5	45	6,7
29/11/2019	B2 PLATAFORMA	LC	11	47	6,7
29/11/2019	B3 PLATAFORMA	SC	10	22	6,31
30/11/2019	B1 PLATAFORMA	LE	7,1	60	6,63
30/11/2019	B2 PLATAFORMA	LC	8,7	45	6,81
30/11/2019	B3 PLATAFORMA	SC	8	24	6,61
30/11/2019	B2 PLATAFORMA	LC	9	44	6,7
30/11/2019	B3 PLATAFORMA	SC	9	24	6,3

APÊNDICE D – MONITORAMENTO TANQUES 2020

MONITORAMENTO TANQUES DA PLATAFORMA - 2020					
DATA	TANQUE Nº	PRODUTO	TEMPERATURA (°C)	ACIDEZ (°D)	PH
01/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	8,9	21	6,7
01/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	9	42	6,68
01/03/2020	B5 PLATAFORMA	LE	11	51	6,53
01/03/2020	B2 PLATAFORMA	SC	10,6	35	6,13
01/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	10	44	6,75
01/03/2020	B5 PLATAFORMA	LE	7	60	6,51
01/03/2020	B2 PLATAFORMA	SC	11,4	27	6,18
01/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	11	39	6,75
01/03/2020	B4 PLATAFORMA	LC	8	29	6,82
01/03/2020	B2 PLATAFORMA	SC	11	33	6,12
01/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	10	42	6,73
01/03/2020	B2 PLATAFORMA	SC	11	30	6,15
02/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	8,6	39	6,81
02/03/2020	B2 PLATAFORMA	SC	10,1	21	6,75
02/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	7,6	54	6,55
02/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	9,6	41	6,8
02/03/2020	B2 PLATAFORMA	SC	16	30	6,17
02/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	7	56	6,51
03/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	5	43	6,7
03/02/2020	B2 PLATAFORMA	SC	11	22	6,57
03/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	11	43	6,77
03/02/2020	B2 PLATAFORMA	SC	10	20	6,84
03/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	6,6	60	6,42
03/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	8,5	40	6,72
03/03/2020	B2 PLATAFORMA	SC	8,6	23	6,55
03/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	8	42	6,73
04/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	10	42	6,66
04/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	9	23	6,27
04/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	10	26	6,31
04/03/2020	B2 PLATAFORMA	LE	9,1	53	6,45
04/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	6	29	6,12
04/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	8	40	6,74
05/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	5	20	6,57
05/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	9	42	6,7
05/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	9	22	6,57
05/03/2020	B2 PLATAFORMA	LE	15,1	64	6,39

05/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	6,7	43	6,68
05/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	6,5	45	6,7
05/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	9	30	6
06/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	8,4	45	5,05
06/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	7,6	40	6,72
06/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	5,8	31	5,95
06/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	7,7	37	6,73
06/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	6	21	6,7
06/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	7	41	6,65
06/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	7	48	5,53
07/03/2020	B1 PLATAFORMA	LE	8	66	6,37
07/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	7	35	5,67
07/03/2020	B1 PLATAFORMA	LE	6,6	59	6,42
07/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	8,6	40	6,73
07/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	7,7	32	5,63
07/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	8	40	6,75
07/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	7	22	6,33
08/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	6	22	6,45
08/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	10	42	6,72
08/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	9,5	43	6,77
08/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	7,6	21	6,47
08/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	6,7	41	6,65
08/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	10	23	6,46
08/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	8	42	6,7
08/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	6	62	6,46
09/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	6,4	60	6,43
09/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	7,3	20	6,68
09/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	8	43	6,68
09/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	6	55	6,47
10/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	7	29	5,6
10/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	4	42	6,65
10/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	6	55	6,48
10/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	8,9	20	6,62
10/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	8,4	43	6,72
10/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	6,8	56	6,55
10/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	10	41	6,74
10/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	8	25	6,71
10/03/2020	B2 PLATAFORMA	SC	10	40	6,44
11/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	5	27	6,5
11/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	8,5	40	6,73
11/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	10,3	22	6,8

11/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	6,2	40	6,71
11/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	6,4	22	6,5
11/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	10	42	6,72
11/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	8	20	6,65
12/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	7,2	37	6,73
12/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	6,5	21	6,6
12/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	9,1	42	6,69
12/03/2020	B2 PLATAFORMA	SC	9	28	6,41
12/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	5,5	45	6,7
13/03/2020	B2 PLATAFORMA	SC	7,9	20	6,98
13/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	7	45	6,64
13/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	4	43	6,61
13/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	8.4	40	6.71
13/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	8	27	6,25
13/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	11	40	6,73
14/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	9	24	6,34
14/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	8,6	26	6,25
14/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	6,7	55	6,52
14/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	8,5	23	6,3
14/03/2020	B2 PLATAFORMA	LE	6	57	6,49
14/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	8	46	6,74
15/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	12	23	6.54
15/03/2020	B2 PLATAFORMA	LE	7	60	6.49
15/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	3	44	6.74
15/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	9,7	20	6,8
15/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	8,1	42	6,74
15/03/2020	B5 PLATAFORMA	SC	11	20	6,43
15/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	8,7	42	6,74
16/03/2020	B2 PLATAFORMA	LE	10	60	6,46
16/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	8	42	6,72
16/03/2020	B2 PLATAFORMA	LE	8	58	6,46
16/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	6,4	42	6,72
16/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	9,2	44	6,73
16/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	9	25	6,39
16/03/2020	B2 PLATAFORMA	LE	12	54	6,5
17/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	10	24	6,33
17/03/2020	B2 PLATAFORMA	LE	9	58	6.39
17/03/2020	B2 PLATAFORMA	LE	7,6	63	6,4
17/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	8,1	42	6,69
17/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	3,6	26	6,28
17/03/2020	B2 PLATAFORMA	LE	7,4	61	6,42

17/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	7,6	42	6,7
17/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	9	19	6,78
17/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	7	43	6,73
18/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	8	25	6,21
18/03/2020	B2 PLATAFORMA	LE	7,3	57	6,47
18/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	6	41	6,72
18/03/2020	B2 PLATAFORMA	LE	9	58	6,42
18/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	9	38	6,71
18/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	10	44	6,67
19/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	9	43	6,64
19/03/2020	B2 PLATAFORMA	SC	6	25	6,61
19/03/2020	B2 PLATAFORMA	SC	7,5	26	6,37
19/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	8,5	40	6,71
19/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	12,5	25	6,2
19/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	11,5	45	6,68
20/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	9	44	6,68
20/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	8,5	23	6,26
20/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	8,5	39	6,76
20/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	6,5	61	6,5
20/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	9	22	6,67
20/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	10,3	45	6,77
20/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	7	58	6,41
21/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	8	24	6,27
21/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	10	43	6,68
21/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	13	61	6,41
21/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	7,6	22	6,68
21/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	8,5	44	6,78
21/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	8,6	45	6,73
21/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	8	20	6,33
21/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	9	44	6,72
22/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	9	22	6,42
22/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	8	18	6,71
22/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	7,2	42	6,72
22/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	7	58	6,49
22/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	8,7	41	6,76
22/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	9,7	40	6,77
23/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	9	44	6,72
23/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	10	57	6,48
23/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	8,8	40	6,76
23/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	8,7	40	6,73
23/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	6,8	60	6,47

23/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	9,7	40	6,67
24/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	10	44	6,7
24/03/2020	B2 PLATAFORMA	SC	8	24	6,33
24/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	6	56	6,46
24/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	6,7	41	6,77
24/03/2020	B2 PLATAFORMA	SC	7,1	21	6,64
24/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	6,2	56	6,48
24/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	8,7	41	6,73
25/03/2020	B2 PLATAFORMA	LE	10	64	6,27
25/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	8,5	45	6,8
25/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	6,5	40	6,83
25/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	8	23	6,29
25/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	8	43	6,73
25/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	7	26	6,24
26/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	7	25	6,12
26/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	7,5	41	6,76
26/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	6,5	38	5,63
26/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	8,4	39	6,73
26/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	10	41	5,74
26/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	8	44	6,67
27/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	9	31	5,98
27/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	10	44	6,67
27/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	7,2	24	6,79
27/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	8,2	47	6,78
27/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	11,7	40	6,82
27/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	8	21	6,62
27/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	9	42	6,72
28/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	9	42	6,72
28/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	6	62	6,42
28/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	7,4	41	6,75
28/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	5,4	59	6,52
28/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	7	41	6,74
28/03/2020	B1 PLATAFORMA	LE	9	63	6,48
28/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	10	25	6,32
29/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	7	44	6,65
29/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	9	21	6,29
29/03/2020	B1 PLATAFORMA	LE	6	63	6,46
29/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	8,1	42	6,72
29/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	9,2	22	6,61
29/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	10	42	6,78
29/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	10	43	6,76

29/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	10	43	6,78
30/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	9	47	6,77
30/03/2020	B3 PLATAFORMA	LE	7,1	60	6,5
30/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	10,7	41	6,74
30/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	5	42	6,63
30/03/2020	B2 PLATAFORMA	LE	6	60	6,42
30/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	7	25	6,27
31/03/2020	B1 PLATAFORMA	LE	11	42	6,65
31/03/2020	B2 PLATAFORMA	LE	10	59	6,5
31/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	9	20	6,3
31/03/2020	B1 PLATAFORMA	LC	9,4	45	6,62
31/03/2020	B3 PLATAFORMA	SC	10,6	20	6,55
31/03/2020	B2 PLATAFORMA	LE	7	63	6,34
31/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	11	38	6,65
31/03/2020	B1 PLATAFORMA	SC	11	23	6,22
31/03/2020	B2 PLATAFORMA	LC	9	60	6,42
31/03/2020	B3 PLATAFORMA	LC	10	43	6,69

APÊNDICE E – PARÂMETROS DE OPERAÇÃO

PADRÃO DE OPERAÇÃO - PARÂMETROS		
Soro Concentrado	Parâmetros	
Análises		
Temperatura	máx 10°C	
Acidez	máx 55 ° D	
Gordura	máx 1%	
Ph	5.20 à 6.8	
Densidade	1030 à 1070	
Brix	10 à 20 ° B	
Alizarol	Negativo	
Leite Concentrado (Evaporado)	Parâmetros	Observações
Análises		
Acidez	54 à 65 ° D	
Gordura	máx 0,5%	
Ph	6.45 à 6.60	
Densidade	1118 à 1124	
Brix	33 à 35 ° B	
Cocção	Negativo	
Concentrado Protéico de Leite à	Parâmetros	
Análises		
Temperatura	máx 7°C	
Acidez	38 a 52 ° D	
Gordura	máx 0,5%	
Ph	6.40 à 6.90	
Densidade	1060 a 1075	
Alizarol	Negativo	
Brix	25 à 28 ° B	
Creme de Leite	Parâmetros	Observações
Análises		
Temperatura	Máx 7°C	7,1°C a 12°C (Abrir RNC), Acima de 12° realizar devolução (Abrir RNC).
Acidez	max. 20°	
Gordura	36 a 38	
Ph	6.50 à 6.85	

APÊNDICE F – MONITORAMENTO ÁGUA GELADA 2019

Monitoramento água gelada -2019		
Data	Amostra	Temperatura água gelada (°C)
13/ago	1	7
13/ago	2	8
13/ago	3	8,5
13/ago	4	9
13/ago	5	8
13/ago	6	6
13/ago	7	6
13/ago	8	4
13/ago	9	2,8
13/ago	10	3,5
13/ago	11	5
13/ago	12	6
13/ago	13	6,9
13/ago	14	7
13/ago	15	6

APÊNDICE G – MONITORAMENTO ÁGUA GELADA 2020

Data	temp. água (°C)	Capacidade de produção	Potencia consumida (W)	Horas de operação
08/05/2020	-1	19,2	57	2612
08/05/2020	-1	18,9	59	2614
08/05/2020	-1	24,8	75	2616
08/05/2020	-0,8	48,5	146	2618
08/05/2020	-1,3	53,5	159	2620
08/05/2020	-1,1	55,6	166	2622
08/05/2020	-1,1	16,4	47	2624
08/05/2020	-1,1	13,1	31	2626
08/05/2020	-1	13,8	30	2628
09/05/2020	-1,1	18,6	51	2630
09/05/2020	-1,1	20,1	58	2632
09/05/2020	-1,3	16,6	48	2634
09/05/2020	-1,1	48,7	145	2636
09/05/2020	-1	55,4	164	2638
09/05/2020	-1	60,2	182	2640
09/05/2020	-1	46,3	141	2642
09/05/2020	-1,1	16,6	45	2644
09/05/2020	-1	22,2	62	2646
09/05/2020	-1	44,4	134	2648
09/05/2020	-1	44,78	128	2650
10/05/2020	-1	34,68	106	2652

ANEXO A – PADRÃO DE CONTROLE DE TEMPERATURA

CONTROLE DE TEMPERATURAS

PO.SG.DGQ.AUT-012

AUTOCONTROLE N°12

1. OBJETIVO

Estabelecer a sistemática do Programa de Autocontrole de Controle de temperaturas, visando à verificação do processo produtivo.

2.ABRANGÊNCIA

Aplicável aos setores de pasteurização, fabricação, maturação, salga de queijos, estocagem e expedição da unidade industrial de São Gonçalo do Sapucaí-MG, SIF 978.

3.DEFINIÇÕES

Não aplicável.

4.RESPONSABILIDADES

- **Supervisor da Manutenção:** capacitar a equipe de manutenção quanto à adequada execução dos procedimentos de operação do sistema de refrigeração, os parâmetros de temperatura requeridos e garantir que as ações corretivas sejam tomadas em casos de desvios de temperatura.
- **Equipe de Manutenção:** realizar as atividades para manutenção do sistema de refrigeração para a obtenção das temperaturas adequadas.
- **Supervisor de cada área:** verificar o registro da temperatura das câmaras frias e garantir que as ações corretivas sejam tomadas em caso de desvio de temperatura.
- **Supervisor Pasteurização:** verificar o registro da temperatura de pasteurização e estocagem de matéria-prima, e garantir que as ações corretivas sejam tomadas em caso de desvio de temperatura.
- **Colaborador da Pasteurização:** monitorar a temperatura de pasteurização e estocagem de matéria-prima, e garantir que as ações corretivas sejam tomadas em casos de desvio de temperatura.
- **Controle de Qualidade:** monitorar a temperatura do freezer de culturas, geladeiras, banhos-maria e estufas assegurando que ações corretivas sejam tomadas em casos de desvio de temperatura.
- **Garantia da Qualidade:** verificar mensalmente as temperaturas das câmaras frias de produto, estocagem, registros de pasteurização, freezer de cultura, geladeiras, banhos-maria e estufas.

5.DESCRICÃO

A fim de garantir a qualidade dos produtos, foram determinadas as temperaturas máximas admitidas nos seguintes processos: temperatura de pasteurização, câmaras frias de matéria-prima e produto acabado, câmaras de maturação, salga, tanques de estocagem de leite pasteurizado e leite cru, tanques de estocagem de creme e soro, freezer de armazenamento de culturas e etapa de cozimento da massa na produção de queijos.

OBS.: Tolera-se desvio nas temperaturas ambientes quando no momento de limpeza dos “forçadores” de frio e manipulação de produtos nas câmaras, quando precisam ficar com as portas abertas.

6.MONITORAMENTO E VERIFICAÇÃO

O monitoramento é realizado três vezes ao dia nos locais descritos na tabela abaixo. A verificação é realizada pelos supervisores do setor.

SETOR	LOCAL	LIMITE (°C)	REFERÊNCIA
Recepção / Pasteurização	Estocagem Leite cru	Máx. 8	IN 62 – 2011/MAPA
	Estocagem creme	<12°C	
	Estocagem soro	<10 °C	
	Pasteurização	72 ± 2°C	
Câmara fria – armazenamento de matéria-prima e produto acabado	Câmara 4	0°C a 12°C	De acordo com as especificações técnicas de cada produto
	Câmara 5	0°C a 12°C	
	Câmara 6		
Maturação	Maturação 1	14°C ± 2°C	De acordo com Instruções de fabricação dos produtos.
	Maturação 2	14°C ± 2°C	
Salga	Salga 1	10°C ± 1°C a 15°C	De acordo com Instruções de fabricação dos produtos.
	Salga 2		
	Salga 3		

o	Fabricação	Cozimento da massa	o de cada processo	De acordo com Instruções de fabricação dos produtos
---	------------	--------------------	--------------------	---

Observação: Para verificação da temperatura das estufas, freezer de cultura, geladeiras e banhos-maria nos laboratórios, descrito **IT-SG-DCQ-MB-004 VERIFICAÇÃO DAS TEMPERATURAS.**

7.AÇÕES CORRETIVAS E PREVENTIVAS

Em caso de não conformidades, o setor da manutenção é acionado para tomada de ações e a não conformidade é registrada no formulário Relatório de Não Conformidade **F.CO.DGQ-050 Relatório de Não Conformidades.**

NÃO CONFORMIDADE	AÇÃO CORRETIVA / AÇÃO PREVENTIVA	
Temperaturas das câmaras de salga, maturação, estocagem de matéria-prima e produto acabado.	<p>Ação corretiva: Adequar sistema de frio com a sala de máquinas e/ou fechar portas das câmaras frias e os óculos que não estiverem em uso. Acionar manutenção.</p>	<p>Ação Preventiva: Orientar os colaboradores para manterem fechadas, portas e óculos quando não estiverem em uso. Fazer manutenção preventiva do sistema de frio e limpeza dos “forçadores” de frio. Manutenção preventiva dos equipamentos de medição.</p>
Temperatura de produto fora do padrão nos tanques.	<p>Ação Corretiva: Fazer recirculação do produto no sistema e abrir o sistema de água gelada do isolamento do tanque.</p>	<p>Ação Preventiva: Calibrar PT-100 do pasteurizador e equipamentos de medição de temperatura do resfriador. Fazer manutenção preventiva no sistema de refrigeração.</p>
Temperatura do freezer onde ficam armazenadas as culturas.	<p>Ação Corretiva: Diminuir a quantidade estocada de culturas do freezer, fechar a porta do freezer e/ou substituir borrachas</p>	<p>Ação Preventiva: Orientar os colaboradores para manterem o freezer fechado quando não estiver em uso. Checar o estado</p>

	de vedação que não estiverem íntegras.	das borrachas de vedação. Substituir o freezer.
Temperatura de Pasteurização	Ação Corretiva: Recircular automaticamente o produto.	Ação Preventiva: Realizar manutenção preventiva do pasteurizador. Calibrar o PT-100 do pasteurizador.
Temperaturas cozimento da massa	Ação Corretiva: Verificar alterações nas características do produto e quando tiverem sido alteradas, desclassificar lote.	Ação Preventiva: Realizar manutenção preventiva nos equipamentos de medição

8.REFERÊNCIAS

Ofício Circular DIPOA/SDA nº 24, de 11 de setembro de 2009.

9.ANEXOS

Não aplicável.

10.HISTÓRICO DE REVISÕES

HISTÓRICO DE REVISÕES		
REVISÃO	DATA	MOTIVO DA REVISÃO
0	05/02/2013	Emissão do documento;
1	22/10/2013	Alteração de limite de temperatura;
2	12/05/2014	Revisão referente ao limite de temperatura;
3	19/06/2015	Exclusão da câmara 4 no item 6 por alteração de lay-out
4	26/09/2017	Alteração do elaborador, consensador e aprovador. Alteração do formulário de não conformidade.

