



AMPLIAÇÃO DE SISTEMA DE CONDENSAÇÃO EVAPORATIVA COM ÊNFASE EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Nome dos autores: Luiz Henrique Moritz e Rennan Chociai Ribeiro da Costa,

Orientador: Prof. Me. Alexandre Maier Eurich

RESUMO

A refrigeração é fundamental na indústria alimentícia, transformando o armazenamento, o transporte e a distribuição de alimentos em todo o mundo. O estudo destaca a sua importância econômica e técnica, procurando melhorar a eficiência e reduzir custos operacionais. A expansão da refrigeração industrial levou ao aumento da demanda energética. Os ciclos de refrigeração são críticos para a segurança alimentar, e os ciclos de compressão a vapor são de interesse devido à sua eficiência em determinadas aplicações e semelhança com o processo industrial, a escolha do ciclo depende de fatores como escala e eficiência energética. Dentro do ciclo de refrigeração os condensadores evaporativos são essenciais para reduzir a pressão de condensação e os custos operacionais, este estudo tem como objetivo explorar sua aplicação em sistemas de refrigeração industrial para otimizar a capacidade de evaporação e eficiência térmica. Vale a pena notar que o aumento da capacidade de evaporação pode reduzir a carga térmica do sistema e diminuir custos de energia gastos. A abordagem inclui uma revisão da literatura acerca do tema refrigeração e a implementação prática na indústria alimentícia. O objetivo geral é aumentar a capacidade de condensação evaporativa em uma indústria alimentícia de Ponta Grossa, a fim de reduzir a pressão de condensação e aumentar a eficiência energética. Em suma, este estudo contribui para a compreensão teórica e prática da refrigeração industrial com o objetivo de melhorar a eficiência energética e econômica através da instalação de um condensador evaporativo mensurando o ganho do projeto.

Palavras-chave: Condensador Evaporativo. Eficiência Energética. Refrigeração Industrial.

EXPANSION OF EVAPORATIVE CONDENSATION SYSTEM WITH EMPHASIS ON ENERGY EFFICIENCY

ABSTRACT

The refrigeration is essential in the food industry, turning the storage, transportation and the distribution of food around the globe. This study stands out the economic importance and technique of the refrigeration, looking for improve efficiency and lower the operational costs. The expansion of industry of refrigeration increased the energetic demand. The cycles of refrigeration are critical to food safety, and the cycle of vapor compression are important because of his efficiency in certain applications and his resemblance within industrial process, the choice of the cycle depends on factors of scale and energy efficiency. Within the cycle of refrigeration, the evaporative condensers are essential to reduce pression and operational costs,



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

this study has a purpose to scan the application in industrial refrigeration systems to optimize the evaporation capacity and thermal efficiency. It's worth noticing that the capacity of evaporation can reduce thermal load of systems and costs with energy spent. This approach includes literature review on the matter of refrigeration and practical implementation at food industry. The main objective is increasing the capacity of evaporative condensation in a food industry at Ponta Grossa in order to reduce pressure of condensation and increase energetic efficiency. In short, this study contributes to theoretical understanding and practical of industrial refrigeration with the aim of improving the energetic efficiency and economic of an evaporative condenser measuring the gain of the project.

Keywords: Evaporative Condensers. Energy efficiency. Industrial refrigeration.



1 INTRODUÇÃO

A refrigeração desempenha um papel vital na indústria alimentícia, revolucionando a forma como os alimentos são armazenados, transportados e distribuídos em todo o mundo. Este avanço tecnológico prolonga significativamente a vida útil dos produtos, reduz o desperdício e garante a segurança alimentar. Além disso, a refrigeração expande o comércio internacional de produtos frescos, permitindo que cheguem aos consumidores finais de áreas remotas, mantendo a qualidade. Pode-se observar que a refrigeração não é apenas uma parte importante da indústria alimentícia, mas também a força motriz de um progresso econômico e tecnológico (VASCONCELOS, 2020).

A refrigeração industrial, por desempenhar um papel essencial na sustentação de diversas atividades produtivas, tem sido objeto de contínuo aprimoramento, visando a eficiência energética e a redução de custos operacionais. A seleção deste assunto específico é justificada com base na sua importância e na sua relevância direta para as operações eficientes das indústrias. Este tema é oportuno e indispensável, dados os avanços contínuos na área.

Graças aos avanços nas tecnologias industriais e nos processos de fabricação, a indústria de refrigeração experimentou um crescimento significativo em um período de tempo relativamente curto. Tornou-se um componente indispensável e essencial da atividade humana. Como resultado, a demanda por energia elétrica para alimentar sistemas de refrigeração também aumentou.

Os ciclos de refrigeração desempenham um papel crucial na preservação e garantia da segurança dos alimentos. Os principais ciclos incluem compressão de vapor, absorção e ciclos termoelétricos. O ciclo de compressão de vapor, amplamente utilizado, envolve a circulação de um refrigerante através de um compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador. Por outro lado, o ciclo de absorção utiliza calor para separar e recombinar um refrigerante e um absorvente, tornando-o altamente eficiente para aplicações específicas. Os ciclos termoelétricos, que dependem do efeito Peltier, são particularmente adequados para operações de pequena escala devido à falta de peças móveis. A seleção do ciclo de refrigeração apropriado depende de fatores como escala, requisitos de temperatura e eficiência energética. Isso ressalta



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

a necessidade de soluções customizadas para manter a qualidade dos produtos alimentícios (VASCONCELOS, 2020).

No contexto deste estudo, é relevante salientar o condensador evaporativo que é um componente fundamental no ciclo de refrigeração, um elemento cujo conceito e aplicação têm se tornado cada vez mais preponderantes no cenário atual. O condensador evaporativo, ao permitir a troca eficiente de calor com o ambiente, tem um papel crucial na diminuição da pressão de condensação de um sistema de refrigeração, o que resulta em benefícios extraordinários para a eficiência energética e, conseqüentemente, para a diminuição dos custos operacionais (COSTA, 2023).

Este trabalho de conclusão de curso tem a finalidade de explorar a importância da aplicação do condensador evaporativo em um sistema de refrigeração industrial, não apenas como um objeto particular, mas sim como um item estratégico na ampliação da capacidade evaporativa e troca térmica (FIORIO, 2022).

Ao destacar a relevância deste novo componente na otimização do processo de condensação, pretende-se analisar como a ampliação da capacidade evaporativa pode conduzir a um aumento significativo na eficiência geral do sistema. A alternativa central é que, ao potencializar a capacidade evaporativa, é possível obter altos ganhos em eficiência energética, por diminuir o custo de energia através da redução da pressão de descarga do sistema.

A abordagem temática será desenvolvida por meio de uma série de segmentos, primeiramente conduzindo uma revisão de dados da literatura que situa o papel do condensador evaporativo na refrigeração industrial e analisando materiais já existentes sobre a expansão da capacidade evaporativa em um sistema. Subseqüentemente, serão explorados os princípios físicos e termodinâmicos que alicerçam esse conceito, seguidos por um assunto dedicado à apresentação e desenvolvimento de uma aplicação desta estratégia em um sistema de refrigeração em uma indústria do ramo de alimentos de Ponta Grossa. A metodologia de pesquisa abrangerá análises teóricas e experimentos práticos que serão realizados para validar as conclusões obtidas.

Portanto, este conteúdo apresenta uma contribuição significativa para o campo da refrigeração industrial, validando que a ampliação da capacidade evaporativa pode ser uma estratégia eficaz na busca pela eficiência energética (SALVADOR, 2022; PIN, 2021). No



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

decurso da pesquisa, será obtido respostas para perguntas, como: Qual o impacto da expansão da capacidade evaporativa visando eficiência energética em um sistema de refrigeração industrial? Qual o ganho econômico adotando essa estratégia? Essas questões, de suma importância para o progresso científico nesta área, serão abordadas de maneira rigorosa e analítica, visando contribuir significativamente para a compreensão teórica e sendo esta demonstrada em aplicação prática em uma indústria de alimentos.

1.1 OBJETIVO GERAL

Aumentar a capacidade de troca térmica dos condensadores de um sistema de refrigeração que utiliza amônia como fluido de trabalho em uma indústria alimentícia da cidade de Ponta Grossa/PR, visando a redução da pressão de condensação do sistema e com foco em eficiência energética.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que o objetivo geral seja alcançado, alguns outros específicos também devem ser atingidos:

- Inspecionar o condensador evaporativo desativado.
- Realizar revisão literária sobre o tema refrigeração industrial e seus componentes.
- Instalar o condensador evaporativo.
- Comissionar a linha de tubulações.
- Realizar *retrofit* do condensador.
- Avaliar o rendimento técnico do condensador evaporativo em operação.
- Realizar análise técnica e financeira.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL

A preservação da qualidade e segurança alimentar na indústria alimentar depende fortemente do indispensável processo de refrigeração. Este processo opera principalmente através de ciclos de compressão de vapor, que abrangem a compressão, condensação, expansão e evaporação de um refrigerante dentro de um sistema selado. A fase de evaporação desempenha um papel crucial na absorção do calor dos alimentos, diminuindo posteriormente a sua temperatura e impedindo a proliferação de microrganismos e a deterioração. Além dos ciclos de compressão de vapor, também existem sistemas termoelétricos e de absorção, cada um possuindo características únicas e aplicações específicas. (STOECKER; JABARDO, 2018).

Existem inúmeros benefícios associados à implementação da refrigeração na indústria alimentícia. Principalmente, permite a conservação de alimentos por longos períodos, minimizando assim o desperdício e garantindo uma disponibilidade consistente de produtos frescos durante todo o ano. Além disso, a refrigeração facilita o transporte de alimentos perecíveis por longas distâncias, possibilitando o fornecimento de produtos frescos de diversas regiões do globo para os mercados internacionais. Além disso, a utilização da tecnologia de refrigeração desempenha um papel fundamental no reforço da segurança alimentar, mitigando o risco de contaminação patogênica, que tende a prosperar sob temperaturas elevadas. (VASCONCELOS, 2020)

Na indústria de refrigeração, vários ciclos são usados para manter os produtos frios ou congelados. Os principais ciclos de refrigeração incluem o ciclo de compressão a vapor, o ciclo de absorção e o ciclo termoelétrico. Cada um desses ciclos é individualizado e possui atributos próprios e finalidades específicas.



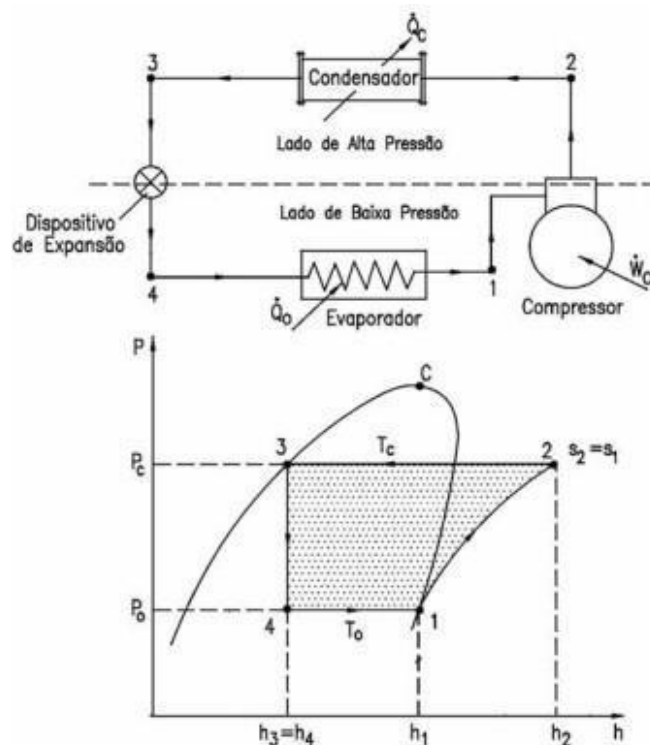
III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

2.1.1 Ciclo de compressão a vapor:

Este é o ciclo mais popular e comumente empregado. É uma série de processos mecânicos que comprimem o fluido gasoso em um compressor, seguido da condensação do refrigerante no condensador, onde o calor é liberado para o ambiente. O fluido condensado passa então por uma válvula de expansão que reduz a pressão, produzindo uma mistura de líquido e vapor. Essa mistura passa então pelo evaporador, que absorverá o calor do ambiente, do alimento ou produto que está sendo resfriado, ou de uma combinação de ambos e transforma-se em vapor saturado. O vapor é então succionado pelo compressor, que reinicia o processo (MONTEIRO et al., 2005).

A figura 1 exemplifica com o diagrama de um ciclo de compressão a vapor seguido do gráfico de pressão x entalpia demonstrando os processos de troca térmica e trabalhos realizados no ciclo descrito acima.

Figura 1: Ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor



Fonte: Monteiro et al, 2005.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

O ciclo de compressão de vapor é altamente versátil e eficiente e pode operar em diversas temperaturas. Normalmente é combinado com outros sistemas de refrigeração e utilizados em ambientes industriais, comerciais e domésticos.

2.1.2 Ciclo de absorção:

Este ciclo combina uma mistura de um fluído e uma substância que absorve umidade. O calor é empregado para diferenciar o fluído de trabalho do absorvente em um gerador de vapor, o que resulta em um vapor do fluído mais concentrado. Esse vapor chega então a um condensador, onde é resfriado e condensado. O líquido condensado fluirá para uma válvula de expansão, onde sua pressão será diminuída, permitindo que absorva o calor do ambiente através da serpentina do evaporador. Após a absorção do calor, o refrigerante é vaporizado e então absorvido, onde inicia o ciclo novamente. (MIGUEL, 2020)

O ciclo de absorção é frequentemente utilizado em situações onde calor ou energia térmica está disponível como subproduto, o que é popular na indústria de refrigeração alimentada por energia solar ou calor industrial.

2.1.3 Ciclo termoelétrico:

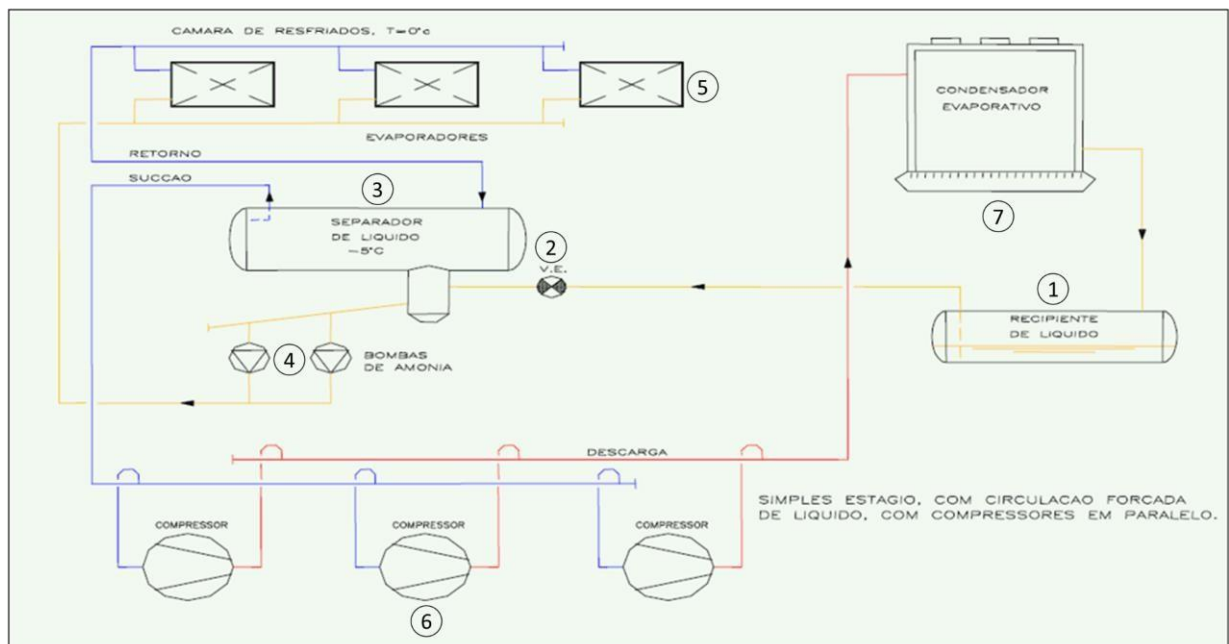
Este ciclo é derivado do efeito Peltier, onde uma corrente elétrica flui através de dois materiais diferentes, o que resulta em uma diferença de temperatura. Um lado do material fica mais frio, enquanto o outro aquece. No contexto da refrigeração, esse procedimento é empregado em dispositivos denominados módulos termoelétricos. Quando é fornecida uma corrente elétrica ao módulo, o calor de um lado é dissipado e transferido para o outro, o que resulta em um processo de resfriamento. (SANTOS, 2020)

Os sistemas termoelétricos são compactos, não possuem partes móveis e podem operar sob qualquer orientação. Eles são frequentemente utilizados para finalidades de pequena escala, como refrigeradores portáteis e dispositivos eletrônicos refrigerados a ar.

2.2 Refrigeração Industrial unidade fabril Ponta Grossa

Na unidade fabril em Ponta Grossa onde será realizado a implantação de um novo condensador evaporativo possui um ciclo de refrigeração dedicado ou simples utilizando amônia como líquido refrigerante e possui seu processo baseado em um ciclo de refrigeração à vapor.

Figura 2: Ciclo de refrigeração dedicado ou simples



Fonte: Autoria própria, 2024.

O ciclo inicia-se no (1) reservatório de líquido de alta pressão, que possui esta nomenclatura por estar interligado ao (7) condensador evaporativo, onde se encontra a maior pressão do sistema. O fluido de amônia fica armazenado sob alta pressão mantendo a amônia no estado líquido com a relação entre temperatura e pressão, posteriormente o fluido é transferido através do diferencial de pressão existente entre o reservatório e o (3) separador de líquido de baixa pressão causado pela presença de uma (2) válvula de expansão na linha entre os equipamentos, utilizada para diminuir a pressão no sistema de refrigeração.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

No interior do (3) separador de líquido, a amônia está presente em três fases distintas, apresentando estado líquido, vapor úmido (mistura) e vapor seco. Para a próxima etapa do processo é necessário alimentar amônia líquida aos (5) evaporadores, para isso é utilizado duas

(4) bombas centrífugas de amônia em paralelo para o envio, uma atuando como titular e a outra como reserva para realizar manutenções preventivas, captando amônia líquida do ponto inferior do separador.

O (5) evaporador possui a função final do sistema de refrigeração, que é a realização da troca térmica de uma serpentina contendo amônia líquida em seu interior com o ar ambiente através de uma ventilação forçada causada por moto-ventiladores para refrigeração e controle de temperatura do ambiente ou produto. Ao sofrer esta troca térmica a amônia inicia sua vaporização retornando ao (3) separador de líquido através de uma linha de sucção.

Posterior ao retorno do gás amônia dos evaporadores, os (6) compressores tipo rotativo parafuso succionam o vapor seco de amônia presente na parte superior dos (3) separadores de líquido, comprimem e enviam aos (7) condensadores através da linha de descarga que apresenta em média cerca de 11 Kgf/cm² de pressão de trabalho.

Na unidade fabril de Ponta Grossa utiliza-se (7) condensadores do modelo evaporativo onde o gás de amônia realiza uma troca de calor com o ar ambiente ventilado por moto-ventiladores e com água fluindo sob a serpentina, condensando o fluído amônia e retornando ao estado líquido, fluindo ao reservatório de líquido para reinício do ciclo.

2.3 Refrigerante amônia R717

À medida que os estudos sobre o Protocolo de Montreal avançavam em 1987, foi definido uma redução em 50% do uso de clorofluorcarbonetos (CFCs) e hidrofluorcarbonetos (HFCs). Estes gases possuem um enorme potencial para destruição da camada de ozônio. No Brasil, o uso dos Hidrofluorcarbonetos como refrigerantes foi proibido em 2010 (MIGUEL, 2020).

Zukowski Júnior (1995) define a amônia (R-717) como o “Pai dos refrigerantes” por possuir propriedades térmicas adequadas para uma variedade de processos onde o resfriamento de ambientes ou produtos está envolvido.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

A amônia, por ser 100% natural, possui uma vida relativamente curta (menos de 14 dias), não interage com a camada de ozônio ODP = 0 (Potencial de Destruição da Camada de Ozônio), e não contribui para o efeito estufa GWP = 0 (Potencial de Aquecimento Global). O valor de referência do GWP é o gás carbônico (CO₂) e o valor é definido como 1, quanto maior o GWP, maior será o impacto no aquecimento global. Quanto mais próximo o ODP estiver de 0, menor será o impacto na camada de ozônio (Ibama, 2024).

A Figura 3 apresenta algumas propriedades relevantes da amônia (R717) para sua aplicação em sistemas de refrigeração, comparando com demais refrigerantes.

Figura 3: Propriedades físicas dos refrigerantes

| Refrigerante | Massa molecular | Temperatura crítica [°C] | Pressão crítica [kPa] | Ponto normal de ebulição [°C] | h_{lv} [kJ/kmol] (pressão normal) | Ponto de fusão [°C] |
|--------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| R-11 | 137,38 | 198,0 | 4.406 | 23,8 | 24.768 | -111 |
| R-12 | 120,9 | 112,0 | 4.113 | - 29,8 | 19.982 | -158 |
| R-13 | 104,5 | 28,80 | 3.865 | - 81,4 | 15.515 | -181 |
| R-22 | 86,48 | 96,00 | 4.974 | - 40,8 | 20.207 | -160 |
| R-23 | 70,02 | 25,60 | 4.833 | - 82,1 | 17.039 | -155 |
| R-32 | 52,02 | 78,40 | 5.830 | - 51,7 | 19.834 | -136 |
| R-113 | 187,39 | 214,1 | 3.437 | 47,6 | 27.513 | - 35 |
| R-123 | 152,9 | 183,8 | 3.674 | + 27,9 | 26.005 | -107 |
| R-125 | 120,0 | 66,30 | 3.631 | - 48,6 | 19.276 | -103 |
| R-134a | 102,3 | 101,1 | 4.067 | - 26,2 | 22.160 | - 96,6 |
| R-152a | 66,05 | 113,5 | 4.492 | - 25,0 | 21.039 | -117 |
| R-401A* | 94,44 | 108,0 | 4.604 | - 33,1 | 21.457 | - |
| R-402A* | 101,6 | 75,50 | 4.135 | - 49,2 | 19.721 | - |
| R-404A* | 97,6 | 72,15 | 3.735 | - 46,55 | 19.555 | - |
| R-407C* | 86,2 | 86,79 | 4.597 | - 43,9 | 21.486 | - |
| R-409A* | 97,4 | 107,0 | 4.600 | - 34,2 | 21.525 | - |
| R-410A* | 72,58 | 72,13 | 4.925 | - 51,54 | 19.718 | - |
| R-500 | 99,31 | 105,5 | 4.423 | - 33,5 | 19.975 | -159 |
| R-502 | 111,6 | 82,20 | 4.075 | - 45,5 | 19.258 | - |
| R-507A | 98,86 | 70,74 | 3.714 | - 47,1 | 19.408 | - |
| R-170 | 30,07 | 32,20 | 4.891 | - 88,8 | 14.645 | -183 |
| R-290 | 44,10 | 96,70 | 4.284 | - 42,1 | 18.669 | -188 |
| R-600 | 58,13 | 152,0 | 3.794 | - 0,50 | 22.425 | -139 |
| R-600a | 58,13 | 135,0 | 3.645 | - 11,7 | 21.174 | -160 |
| R-717 | 17,03 | 133,0 | 11.417 | - 33,3 | 23.343 | -77,7 |
| R-718 | 18,02 | 374,0 | 22.064 | 100 | 40.664 | 0 |
| R-744 | 44,01 | 31,1 | 7.372 | - 88,1 | 17.006 | - |

Fonte: Stoecker e Jabardo, 2018.

Conforme pode ser comparado na Figura 3, a amônia tem o maior efeito de refrigeração por unidade de massa comparado aos demais refrigerantes, apesar de possuírem um volume específico no estado de vapor muito maior em comparação a eles, proporcionam máxima capacidade de refrigeração, ou seja, a massa molecular é inversamente proporcional ao calor específico e ao calor latente de vaporização da substância. (CONCEIÇÃO,2021).



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Porém a amônia possui desvantagens que tornam a sua utilização cada vez mais questionada. A amônia apresenta compatibilidade com aço, ferro e alumínio em geral, mas não é recomendado para uso com cobre, zinco e suas ligas, borracha e plásticos. Também devido às limitações de materiais que podem ser utilizados em unidades de amônia, se faz necessário processos de soldagem mais complexos.

O refrigerante R-717 quando presente em uma determinada concentração entre 15% e 30% possui características explosivas e altamente tóxicas. O maior problema com o uso de amônia é o vazamento em grande escala que ocorre na maioria das vezes em tubulações e vasos de baixa pressão do sistema, isso ocorre devido a atenção da operação e manutenção estar mais focada em áreas envolvendo alta pressão, por apresentar um maior risco a segurança. Normalmente, os vazamentos ocorrem devido a falhas operacionais, vedações instaladas de forma incorreta ou o próprio material da vedação é inadequado ao processo, problemas de soldagem e danos físicos externos. Os danos causados pela exposição a vapores de amônia são distinguidos conforme sua concentração.

2.4 Componentes do ciclo de refrigeração por amônia

2.4.1 Reservatório de líquido

Segundo Stoecker e Jabardo (2018) os principais objetivos dos reservatórios em sistemas de refrigeração industrial são o armazenamento e divisão do fluido refrigerante. O armazenamento é o objetivo de equilibrar as variações na refrigeração líquida causadas por possíveis avarias nos condensadores e a necessidade de amônia líquida na transmissão dos evaporadores. Por outro lado, a separação é imperativa para evitar que o líquido chegue ao compressor.

O reservatório de alta pressão ou o reservatório de líquido em pequenas instalações é normalmente dimensionado para conter a quantidade de carga total de refrigerante no sistema. Durante a operação de coleta de fluido, a válvula de bloqueio na linha de líquido é mantida fechada enquanto o compressor continua em operação. Neste contexto, o fluido que permanece no restante do percurso incluindo linha de líquido, evaporadores e linha de aspiração é



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

gradualmente comprimido, condensado e armazenado no recipiente de líquido. (CONCEIÇÃO,2021).

2.4.2 Válvula de expansão

O dispositivo de expansão é um elemento do sistema de refrigeração projetado para reduzir a pressão e regular o fluxo do refrigerante líquido no evaporador. Os dispositivos de expansão em instalações industriais incluem válvulas de expansão termostáticas, válvulas de expansão elétrica, válvulas de expansão flutuantes e válvulas de expansão manuais (STOECKER e JONES, 1985).

2.4.3 Separador de Líquido

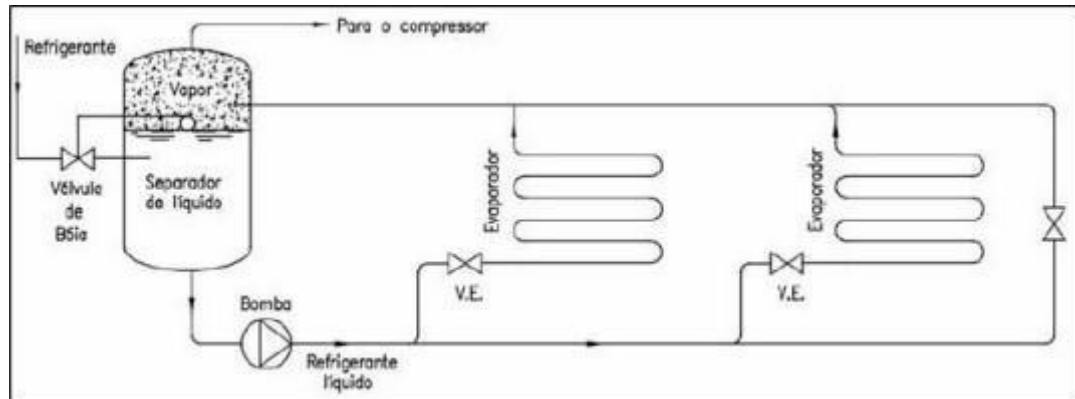
O separador de líquido possui a função de separar líquido e o vapor, a fim de evitar que o estado líquido do refrigerante seja succionado para o interior do compressor e que possa bombear o líquido ao evaporador para troca térmica, tendo sua posição no ciclo de refrigeração entre o evaporador e o compressor.

O líquido é separado do vapor no interior do recipiente com base na densidade do fluido, sendo a gravidade quem desempenha este papel fundamental no processo de separação de líquidos,

Os separadores de líquidos podem ser divididos em dois tipos, diferenciados pelo sentido do fluxo do vapor, podendo ser horizontal e vertical (STOECKER; JABARDO, 2018).

A figura 4 demonstra o sistema de um separador de líquido vertical, ilustrando o fluxo do refrigerante, onde através de uma bomba centrífuga envia-se refrigerante na forma líquida aos evaporadores para climatizar ambientes e câmaras, e retorna por meio de tubulações de sucção na forma de vapor ao topo do separador, para posteriormente ser succionado por um compressor.

Figura 4: Sistema de refrigeração com separador de líquido na vertical



Fonte: VENÂNCIO, 2018.

2.4.4 Bombas centrífugas de amônia

Na unidade fabril de Ponta Grossa onde o projeto será aplicado, a maioria das bombas presentes no sistema são centrífugas, esses dispositivos são utilizados possuindo pressão máxima associada à rotação e ao dimensionamento do rotor. Neste contexto, este modelo de bomba se adapta a sistemas com vazão variável, no entanto, algum cuidado deve ser tomado ao operar com baixas vazões, quando há um superaquecimento do líquido no rotor pode causar sua vaporização e conseqüentemente a cavitação da bomba, para erradicar este fenômeno, uma pequena quantidade de fluido é realimentada ao separador.

2.4.5 Evaporador

Um evaporador é um dispositivo que absorve energia do ambiente para ser resfriado por meio da vaporização do fluido que flui em seu interior, geralmente classificados por tipo de alimentação ou por sua superfície de troca de calor. (CONCEIÇÃO, 2021)

De acordo com o método de fornecimento de refrigerante, o evaporador é dividido em três modos: expansão seca ou direta, inundado ou de sobrealimentação líquida.

Na expansão a seco ou direta, a quantidade de refrigerante líquido que entra é limitada de modo que seja completamente vaporizado no momento em que chega ao final do evaporador,



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

a fim que apenas o vapor do refrigerante seja succionado na linha de sucção do compressor. (CONCEIÇÃO, 2021)

Evaporadores inundados operam completamente cheios de líquido refrigerante, esta condição garante umedecimento máximo da superfície do tubo interno e, portanto, a maior taxa de transferência de calor.

O evaporador de sobrealimentação líquida possui um fluxo excessivo de refrigerante líquido circulando pelo evaporador, sendo superior à taxa que pode ser vaporizada.

Em relação à superfície de troca, existem três modelos principais de evaporadores: tubos lisos, tubos de placas e tubos com aletas.

Evaporadores de tubo liso são evaporadores somente constituídos por tubos, normalmente usados em tanques para resfriar água ou salmoura que é então enviada para o processo.

Os evaporadores de placas têm um alto coeficiente de transferência de calor são cada vez mais usados para substituir evaporadores de casco e tubo que apresentam problemas com incrustações e menor eficiência térmica, são utilizados em diversos processos como: resfriamento de água, leite, cerveja e diversos outros tipos de líquidos. (VENÂNCIO, 2018)

Os evaporadores aletados são comumente utilizados em indústrias alimentícias e correspondem a 100% dos modelos dos evaporadores da empresa onde será realizado o projeto de implantação do condensador evaporativo. São utilizados para resfriamento, desumidificação do ar e túneis de congelamento, porém quanto menor a temperatura, maior deve ser o espaçamento entre as aletas, aumentando a área de troca térmica do equipamento.

2.4.6 Compressor rotativo parafuso

Os compressores têm um papel significativo nos sistemas de refrigeração, sendo responsáveis pela compressão do refrigerante e da progressão do ciclo de refrigeração. Entre os vários tipos de compressores, o compressor de parafuso tornou-se uma solução popular e eficiente para uma variedade de aplicações práticas na indústria e no comércio.

Um típico compressor de parafuso selado a óleo é uma máquina de deslocamento positivo com dois rotores acoplados montados em rolamentos para fixar sua posição na câmara



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

de trabalho dentro de tolerâncias estreitas à cavidade cilíndrica. O rotor macho possui perfil convexo e o rotor fêmea possui um perfil côncavo. A forma básica do rotor é semelhante à de uma rosca sem-fim, com o número de lóbulos diferindo nos rotores macho e fêmea. Qualquer um dos dois rotores pode ser acionado pelo motor, mas quando o rotor fêmea é acoplado ao motor com relação de lóbulos de 4+6, a capacidade é 50% superior do que quando acoplado ao rotor macho nas mesmas condições. O torque é transferido diretamente de um rotor para o outro e o sentido de rotação é fixo. O dispositivo de acionamento é geralmente conectado ao rotor macho e aciona o rotor fêmea através da estreita película de óleo. O ciclo de trabalho do compressor é dividido em três estágios diferentes: sucção, compressão e descarga. (PERUZZO, 2022)

O projeto do compressor parafuso é benéfico pelo volume de eficiência, que é superior aos demais tipos de compressores, resultando em um menor gasto de energia e menores custos para a empresa.

Devido à sua operação contínua e suave, os compressores de parafuso são conhecidos por produzir níveis de ruído mais baixos do que os compressores alternativos, o que os torna ideais para uso em ambientes com alta sensibilidade sonora. Além disso, possuem capacidade de carga variável, onde aumentam ou diminuem a capacidade com base nas necessidades do sistema de refrigeração. Isso leva a maior flexibilidade e eficiência na operação.

Os compressores parafusos são conhecidos também por apresentar uma alta durabilidade e confiabilidade a longo prazo, exigindo menos manutenção e possuindo menor tempo de inatividade do equipamento.

2.4.7 Condensador Evaporativo

Em indústrias alimentícias são comuns três tipos de condensadores: resfriado a ar, resfriado a água e o evaporativo. Neste trabalho iremos aprofundar o estudo sobre o condensador evaporativo, equipamento a ser instalado para diminuir a pressão de condensação do sistema e a partir disso diminuir o gasto de energia da sala de máquinas.

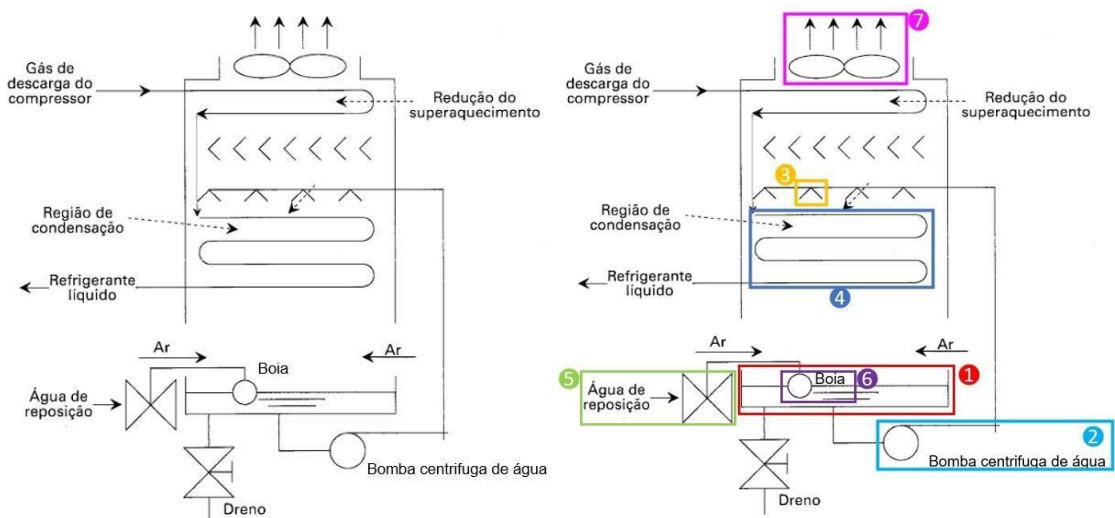
Um condensador evaporativo é semelhante a uma torre de resfriamento em seu design. O refrigerante condensa rejeitando calor, transmitido facilmente por aletas situadas em torno

da serpentina, ao redor dos tubos escoa uma corrente de ar circulada por um ventilador geralmente do tipo axial e água para realizar a troca térmica. A evaporação da água no fluxo de ar é o processo mais significativo na remoção de calor do refrigerante de condensação.

Condensadores evaporativos são comumente empregados em refrigeração industrial devido à sua capacidade de operar em temperaturas de condensação relativamente baixas. Como tal, a instalação tem um menor consumo de energia e funciona a temperaturas mais baixas e menos prejudiciais ao ambiente, um aspecto importante das instalações de fluido amônia ou R-22.

Outro benefício é que diminui a formação de incrustações, que está associada a superfícies que apresentam alta temperatura, isso é obtido através da passagem de ar seco. (STOECKER; JABARDO, 2018).

Figura 5: Representação esquemática de um condensador evaporativo



Fonte: Stoecker e Jabardo, 2018.

A figura 5 indica o funcionamento esquematizado de um condensador evaporativo. Na parte inferior da imagem está representada a (1) bacia do condensador inundado de água a temperatura ambiente para (2) bombeamento até os (3) aspersores para troca de calor com a (4) serpentina, a piscina é alimentada por uma (5) válvula e controlado seu nível através de uma (6) bóia mecânica.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

No ponto superior do condensador temos a entrada de gás amônia que passará pela (4) serpentina para troca térmica com ar circulado através de (7) motoventiladores e água fluindo dos (3) bicos aspersores, para condensar o fluido refrigerante e retornar ao reservatório.

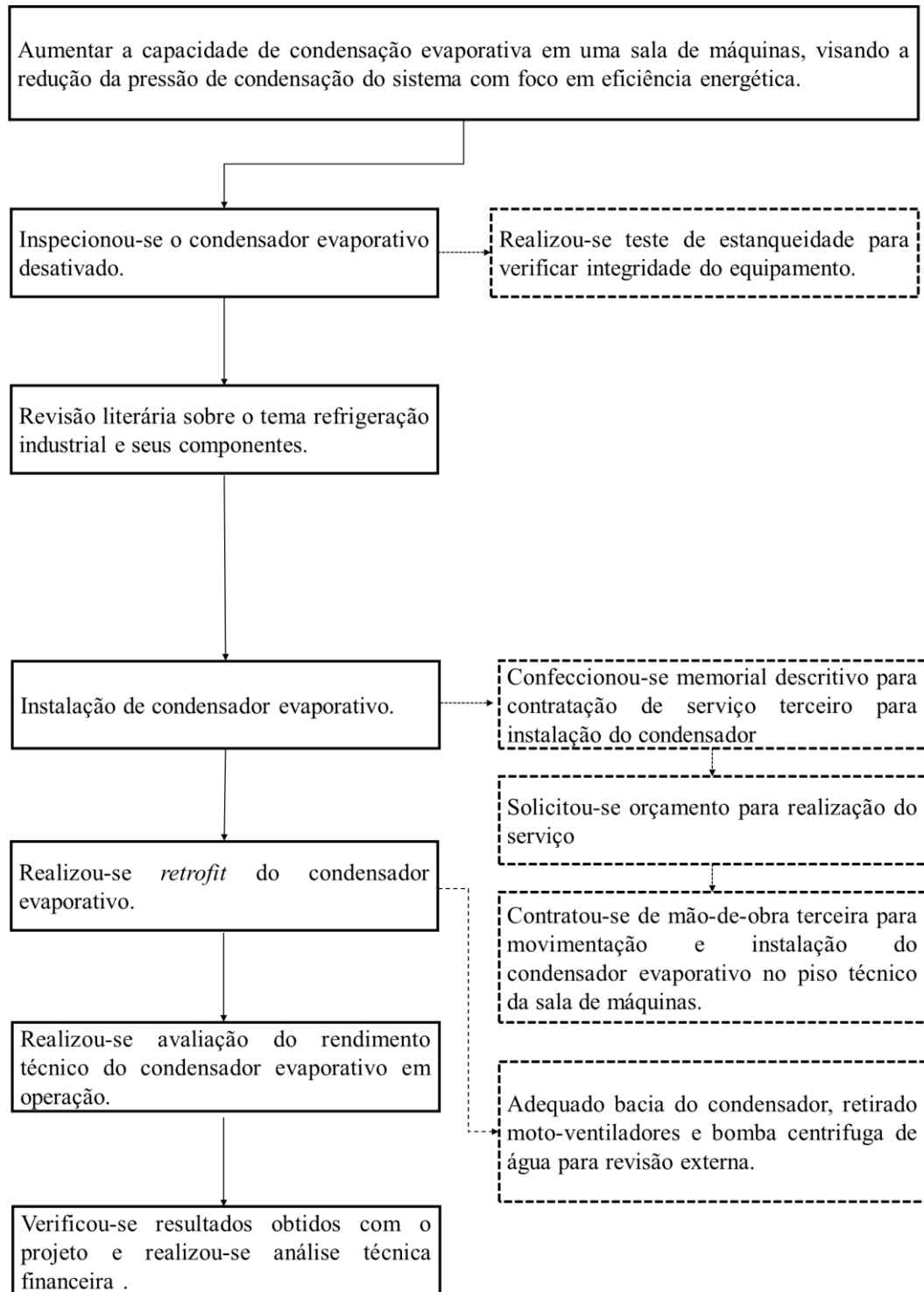
3 METODOLOGIA

O fluxograma exposto na figura 6 expõe as atividades e etapas necessárias para que se faça possível atingir o objetivo geral do presente trabalho.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Figura 6: Fluxograma de atividades



Fonte: Autoria própria, 2024.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

3.1 Aumentar a capacidade de condensação evaporativa em uma sala de máquinas.

Avaliou-se a condição estrutural, física e funcional de um condensador evaporativo desativado localizado em uma USAT (unidade satélite), visando a instalação deste equipamento em paralelo a outros condensadores evaporativos em uma sala de máquinas operante para redução da pressão de condensação do sistema com foco em eficiência energética.

3.2 Inspeccionou-se o condensador evaporativo desativado

Método de teste de estanqueidade (EE), também conhecido como teste hidráulico e pneumático, projetado para verificar a integridade de tubulações e vasos. Normalmente, os testes de pressão e/ou vedação são realizados com água ou ar, chamados de "testes hidráulicos" e "testes pneumáticos", respectivamente. Também podem ser utilizados óleos; porém, deve-se levar em consideração que alguns óleos possuem altas taxas de compressão, o que pode afetar de alguma forma os resultados dos testes. Se o teste for realizado em um reservatório (qualquer fluido, gás ou líquido) este deverá ser preenchido com o fluido de teste (água, gás ou óleo). O reservatório então precisa ser pressurizado por um determinado período de tempo. A duração do teste durante o qual o tanque está sob pressão deve ser suficiente para garantir que vazamentos não observáveis do fluido de teste não ocorram a tempo. Todas as inspeções realizadas durante os testes são geralmente baseadas na inspeção visual.

Primeiramente realizou-se um teste de estanqueidade interno na fábrica isolando tubulações de líquido e descarga do condensador evaporativo, instalando CAP's soldados nos pontos da tubulação em que foi cortado, deixando somente um ponto em aberto contendo uma válvula e uma ponta de rosca de 1" para instalação de um manômetro, após os preparativos conectar uma mangueira de 1" com trança metálica em um cilindro de argônio e no ponto em aberto antes do manômetro.

Seguindo com o teste, a serpentina do condensador evaporativo será pressurizada com 12 Bar de pressão, por cerca de duas horas, para comprovar a integridade do equipamento.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

3.3 Revisão literária sobre o tema refrigeração industrial e seus componentes.

Será realizada uma profunda pesquisa bibliográfica em uma base de dados acadêmicos sobre o tema refrigeração industrial, líquidos refrigerantes utilizados e os componentes e equipamentos presentes no sistema para ter respaldo e conhecimento para desenvolver o projeto proposto. Com base nos resultados obtidos com este trabalho espera-se apresentar uma melhor compreensão acerca do tema.

3.4 Instalação do condensador evaporativo

Após a verificação de integridade do equipamento, pode ser dado andamento ao projeto, para isso confeccionou-se o memorial descritivo do serviço a ser realizado, detalhando todos os componentes, peças, método de serviço e normas a serem seguidas para execução do trabalho. Com o memorial em mãos foi enviado a três empresas para ser realizado o orçamento do serviço para posterior contratação da instituição que apresentou a melhor proposta com custo benefício vantajoso à empresa contratante.

3.5 Realizou-se *retrofit* do condensador evaporativo.

Para realização do *retrofit* do condensador será necessário adequar alguns pontos para melhorar seu rendimento e deixar seus componentes em pleno funcionamento antes de sua startup. Adequou-se a bacia do condensador, pois apresentava fissuras e trincas em sua lateral, precisando ser realizado conserto com resina e fibra de vidro, ao mesmo tempo precisou-se retirar os motoventiladores e a bomba centrífuga de água para uma revisão externa em terceira especializada.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

3.6 Realizou-se avaliação do rendimento técnico do condensador evaporativo em operação.

Após start do “novo” condensador evaporativo em paralelo com os já existentes na sala de máquinas, foi avaliado e comparado a pressão de condensação antes e após a inclusão do condensador em linha. Com isso foi possível notar o diferencial de pressão, retirando assim, carga térmica do sistema.

3.7 Verificou-se resultados obtidos com o projeto e realizou-se análise técnica financeira.

Verificando e possuindo o real rebaixamento de pressão do sistema, pôde ser calculado o ganho técnico financeiro através deste comparativo, uma vez que a cada 1 Kgf/cm² rebaixado na pressão de condensação do sistema representa aproximadamente uma economia de 6% na conta de energia de uma sala de máquinas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Inspeção e testes do condensador evaporativo desativado

Após identificado a oportunidade de obter um ganho em eficiência energética no consumo de energia de uma sala de máquinas ao observar um condensador evaporativo sem uso em uma unidade satélite dentro desta indústria de alimentos conforme Figura 7, foi realizado o primeiro teste de estanqueidade do equipamento, para validação das condições da serpentina e demais componentes.

Figura 7: Condensador evaporativo desativado



Fonte: Autoria própria, 2024.

Para realizar o teste foi necessário capear a linha de líquido e sucção do condensador ilustrado na Figura 8, a fim de isolar o equipamento e pressurizar sua serpentina, deixando apenas um ponto com uma válvula e manômetro instalados para prosseguir com o ensaio.

Figura 8: Tubulação capeada



Fonte: Autoria própria, 2024.

Com as tubulações capeadas deu-se início ao teste de estanqueidade pressurizando a serpentina do condensador evaporativo com ar comprimido até atingir 6 Bar de pressão (pressão utilizada no processo fabril) e posteriormente utilizou-se argônio para pressurizar até 12 Bar de

pressão por um período de quatro horas, não apresentando nenhum vazamento, mantendo a pressão inserida e comprovando a integridade dos tubos, curvas e por consequente do equipamento.

Figura 9: Teste de estanqueidade



Fonte: Autoria própria, 2024.

Posteriormente a verificação inicial e validação do projeto foi realizado memorial descritivo e solicitado orçamentos à empresas especializadas em corte e solda de vasos de pressão e tubulações de NH₃, para instalação do condensador evaporativo no piso técnico de uma sala de máquinas e interligação na mesma linha de líquido e sucção dos demais condensadores.

Após a recepção do orçamento de três empresas especializadas para execução do serviço, foi verificado o melhor custo benefício apresentado, fechando com a empresa B com valor de serviço e fornecimento de peças em R\$87.772,00. Não incluído neste valor está a contratação de um guindaste para deslocamento da unidade condensadora até seu destino final, dando um total de R\$16.000,00, e a contratação de terceira para inspeção NR13 da instalação do equipamento, envolvendo as soldas das tubulações e novo teste de estanqueidade por R\$7.200,00 para apresentar laudo de integridade do equipamento e comissionamento das novas tubulações.

Abaixo na Figura 10 está apresentado as principais etapas do processo de movimentação do condensador evaporativo, desde sua retirada da USAT até ser colocado em sua posição final na sala de máquinas.

Figura 10: Etapas movimentação do condensador evaporativo



Fonte: Autoria própria, 2024.

Na Figura 11 está demonstrando o processo de instalação das novas tubulações de líquido e sucção de amônia pela empresa especializado, enquanto ao seu lado está ilustrado o ensaio por líquido penetrante para validar a solda realizada para não possuir porosidade, fissuras ou trincas.

Figura 11: Instalação das tubulações e teste por líquido penetrante nas soldas



Fonte: Autoria própria, 2024.

E por fim foi realizado novo teste de estanqueidade com 12 Bar de pressão no período de duas horas para validar as tubulações e serpentina do condensador evaporativo já instalado in loco.

Em paralelo a instalação das tubulações, foram retirados alguns componentes do condensador evaporativo, ao total foram 01 bomba e 05 motoventiladores enviados para revisão externa em uma empresa especializada para realizar seu *retrofit* e deixar em plenas condições de funcionamento de acordo com a Figura 12, sendo realizado uma requisição de compra de mais um motoventilador para completar a totalidade necessária para sua operação ideal.

Figura 12: *Retrofit* componentes condensador evaporativo



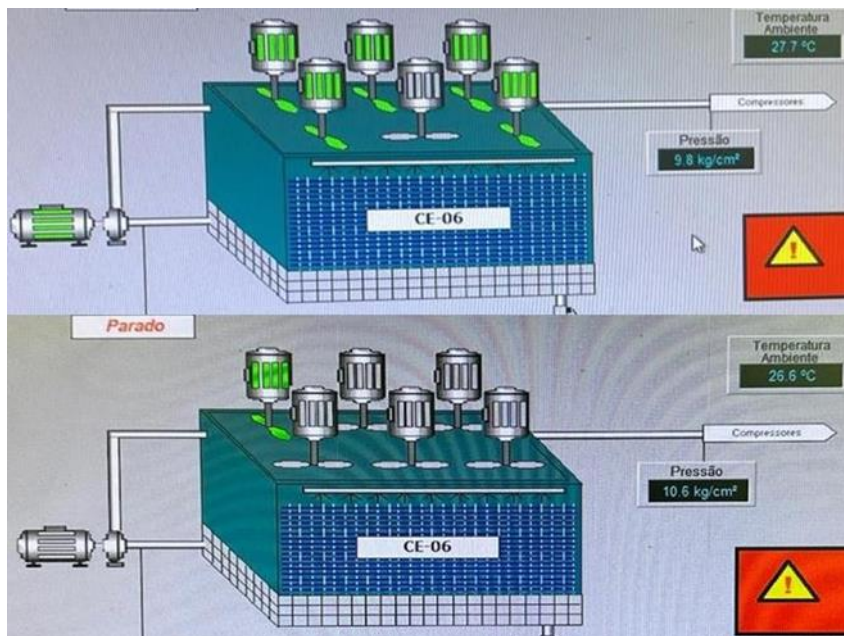
Fonte: Autoria própria, 2024.

Na ilustração acima ainda está pendente a instalação do motoventilador, devido a um atraso na entrega do pedido, e com isso foi tamponado seu local de instalação para que o condensador evaporativo não obtivesse uma grande perda de eficiência em sua troca térmica.

Sendo assim, concluímos a instalação do condensador evaporativo restando somente o acompanhamento da operação para avaliarmos o ganho técnico-financeiro obtido com este projeto.

Com o condensador operando em uma mesma faixa de temperatura variando apenas 1,1°C, realizou-se um teste com ele operante e inoperante, com isso pôde-se perceber uma diminuição média de 0.8 Kgf/cm² (Bar) na pressão de condensação ou descarga do sistema. A partir deste resultado foi verificado que houve uma baixa na corrente dos motores dos compressores de amônia e um alívio de carga na sala de máquinas, apresentando um ganho de eficiência energética conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13: Comparativo de pressões com o condensador operante e inoperante



Fonte: Autoria própria, 2024.

Reduzindo este valor na pressão de condensação do sistema com o condensador operante foi possível verificar uma melhora na temperatura da amônia no interior do reservatório de líquido do sistema, através da relação entre temperatura e pressão, com a queda na pressão foi notado uma redução de temperatura do fluido refrigerante, resultando em uma otimização do sistema.

Com o envio do fluido NH₃ com uma temperatura menor aos separadores de líquido e aos evaporadores, aumentou a eficiência do sistema, aliado a uma redução de carga térmica, tendo em vista que houve uma melhora na troca térmica do evaporador com a câmara fria em que está alocado por apresentar um menor diferencial de temperatura entre eles.

Também abrangendo a diminuição da temperatura da amônia, apresenta uma ligação direta com o resfriamento do óleo dos compressores de amônia, através da troca térmica entre os fluidos em um trocador de calor. Com esse decréscimo na temperatura do óleo, ele manteve suas propriedades e continuou operando dentro da faixa de trabalho estabelecida pelo fabricante sendo de 40°C a 100°C, a média de temperatura do óleo do compressor teve um rebaixo de 3°C, alterando de 65°C para 62°C. (KLÜBER, 2024)



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Após acompanhamento do funcionamento do condensador evaporativo foi coletado dados das correntes dos motores dos compressores de NH₃, realizando um total de 6 coletas em uma hora, mensurando a média de corrente neste período para estipular o ganho obtido.

Tabela 1: Comparativo de correntes dos motores dos compressores de NH₃

| Comparativo de correntes dos motores dos compressores de NH ₃ | | | | |
|---|---------------|---|----------------------|--------------|
| | Compressores | Pressão de condensação (kgf/cm ²) | Temperatura ambiente | Corrente (A) |
| Condensador 6 inoperante | Compressor 01 | 11,6 | 32,2 | 393 |
| | Compressor 02 | | | 393 |
| | Compressor 05 | | | 488 |
| | Compressor 06 | | | 127 |
| Corrente total dos motores dos compressores de NH ₃ | | | | 1401 |
| Condensador 6 operante | Compressor 01 | 10,8 | 32 | 378 |
| | Compressor 02 | | | 379 |
| | Compressor 05 | | | 458 |
| | Compressor 06 | | | 124 |
| Corrente total dos motoventiladores do condensador operante (19,5A) somado a corrente dos motores dos compressores de NH ₃ | | | | 1358,5 |
| Economia total | | | | 42,5 |

Fonte: Autoria própria, 2024.

A Tabela 1 demonstra a média das correntes dos motores em uma mesma temperatura ambiente com variação de apenas 0,2°C e identificando a alteração na pressão de condensação da sala de máquinas com o condensador evaporativo operante e inoperante, sinalizando uma economia de cerca de 42,5 Amperes por hora.

Com esses dados pôde-se calcular a potência economizada e por conseguinte o ganho financeiro do projeto, para este cálculo foi utilizado a corrente de 42,5 A multiplicados pela tensão de 380 V (Volt) da sala de máquinas, demonstrado na Tabela 2.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Tabela 2: Cálculo de potência e custo

| Cálculo de potência e custo | | | |
|---|----------|---------|---------------|
| Cálculos | Potência | Unidade | Economia |
| $P = U \cdot I$ | | | |
| $P = 380 \cdot 42,5$ | 16,15 | KW/h | R\$ 4,68 |
| $P = 16,15 \text{ KW} \cdot 24 \text{ h}$ | 387,6 | KW/dia | R\$ 112,40 |
| $P = 387,6 \text{ KW/dia} \cdot 30 \text{ dias}$ | 11628 | KW/mês | R\$ 3.372,12 |
| $P = 11628 \text{ KW/mês} \cdot 12 \text{ meses}$ | 139536 | KW/ano | R\$ 40.465,44 |

Fonte: Autoria própria, 2024.

A empresa paga R\$ 0,29 por KW para a distribuidora de energia da cidade, realizando os cálculos ilustrados na imagem acima foi estipulado o custo que poderá ser economizado anualmente, possuindo um valor de aproximadamente R\$ 40.500,00.

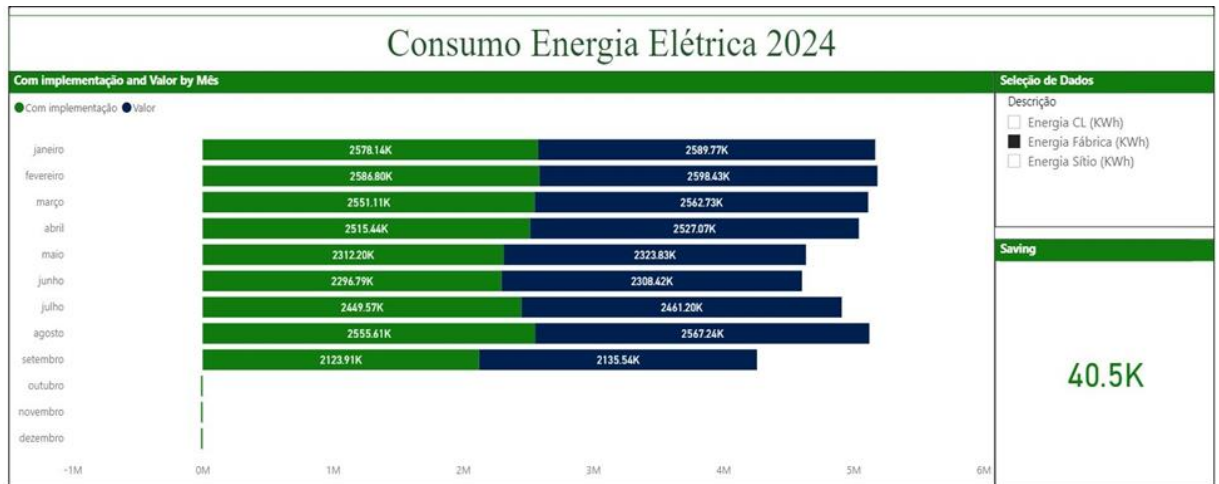
O condensador evaporativo foi colocado em operação dia 10/08/2024 após finalização do projeto na segunda semana de agosto, através dos cálculos realizados, alinhados com o acompanhamento do indicador técnico foi possível mensurar uma economia de R\$ 7.980,40 ao longo de 71 dias corridos de operação do equipamento, visto que performa 24 horas por dia.

Para realizarmos o acompanhamento do indicador foi criado um *template* através da ferramenta Power Bi que possibilitou uma melhor visibilidade dos ganhos do projeto tendo uma maior rastreabilidade dos resultados obtidos ao decorrer do estudo. Dentro do Power Bi foi gerado um gráfico onde mostra o consumo de energia sem o condensador evaporativo instalado na sala de máquinas, em paralelo de como seria o consumo aproximado depois de instalado e operante mostrando assim o *saving* total por setor da planta fabril.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Figura 14: Consumo de energia elétrica 2024



Fonte: Autoria própria, 2024.

No gráfico empilhado de barras a cor azul representa o valor da sala de máquinas sem o uso do condensador evaporativo, na cor verde representa o indicador com o condensador evaporativo em operação, no filtro ao lado podemos selecionar os setores da fábrica mostrando quanto foi economizado em reais e em KW/mês, com montante de R\$40.500,00 até o mês de setembro realizando a projeção do indicador com o equipamento operante desde janeiro de 2024 no cartão de representatividade de economia, com essa ferramenta conseguimos evidenciar o cálculo do projeto por inteiro de maneira mais intuitiva continuando o acompanhamento e gerando um melhor *deployment* dos indicadores.

Outro indicador que foi levado em consideração foi a meta ESG (*environmental, social and governance*) da empresa, que tem como objetivo a redução de 35% das emissões diretas e relativas ao consumo de energia elétrica até 2030, executando a entrega do projeto a fim de cooperar com a meta e sustentabilidade da indústria.

Adotando práticas mais sustentáveis, como a redução do consumo energético que é o foco deste projeto, traz múltiplos benefícios para a indústria e para o meio ambiente, citando a eficiência operacional com foco em redução de energia, implica diretamente em processos mais eficientes, favorecendo a competitividade da empresa no mercado, reduzindo um custo significativo da fábrica, possibilitando a alocação de recursos para áreas de inovação e desenvolvimento.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

5 CONCLUSÃO

A ampliação do sistema de condensação evaporativa focado na eficiência energética mostrou-se uma estratégia eficaz para reduzir a pressão de condensação e, conseqüentemente, os custos operacionais. A utilização de tecnologias como os condensadores evaporativos, além de aumentar a capacidade de troca térmica, possibilita uma economia substancial de energia elétrica, o que é fundamental em um contexto de crescente demanda energética e metas ambientais rigorosas. A implementação em uma indústria alimentícia de Ponta Grossa, conforme os resultados obtidos, demonstrou que a redução da pressão de condensação contribui diretamente para a economia de energia e, indiretamente, para a sustentabilidade do processo industrial.

Sendo assim, realizando o retrofit e análise técnico-financeira, comprova a viabilidade de projetos similares para outros setores industriais - aumentando a eficiência energética sem impactos ambientais abruptos. Reforçando a importância de estudos contínuos e inovações tecnológicas que busquem otimizar o consumo de energia, beneficiando tanto a economia da indústria quanto o meio ambiente.

6 REFERÊNCIAS

BORSATTO, Mauricio dos Santos. **Redimensionamento de sistema de refrigeração para ganho de eficiência energética**. 2021.

COSTA, Ricardo Jorge Pereira. **Otimização de sistemas de refrigeração industrial com recurso a torres de refrigeração**. 2023. Tese de Doutorado.

CONCEIÇÃO, Jônatan da Costa da. **Análise comparativa entre dados experimentais de operação de um evaporador com resultados obtidos via software comercial**, 2021.

DA SILVA, MARCELINO NASCIMENTO. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial e comercial**. PROCEL, Rio de Janeiro, 2005.

EVAPCO. Disponível em: < <https://www.evapco.com.br/pt-br> >. Acesso em: 26 maio 2024. FERZOLA, João Farret. **Análise global de um sistema de refrigeração industrial**. 2010.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

FRIGOESTRELLA. Disponível em:

<https://frigostrella.com.br/bombacentrifuga.html>. Acesso em: 26 maio 2024.

FIORIO, Volnei Antonio. Pré dimensionamento de trocador de calor a placas para recuperação de energia da descarga de compressores de um sistema de refrigeração industrial. 2022.

JUNIOR, Joel Carlos Zukowski. Construção, teste e análise termodinâmica de um sistema de refrigeração de amônia utilizando-se um compressor para R-12 adaptado. 1995. Tese de Doutorado. [sn].

KLÜBER LUBRICATION. KLÜBER SUMMIT R 200. Disponível em: <https://www.klueber.com/br/pt/produtos-servicos/produtos/klueber-summit-r-200/9799/>. Acesso em: 17 out. 2024.

MIGUEL, Daniel Cesar. REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL: análise comparativa entre sistemas de refrigeração por amônia e chiller de água gelada nos processos de uma indústria alimentícia. 2020.

MONTEIRO, Marco Aurélio G. et al. Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração. 2005.

PERUZZO, Felipe. Dimensionamento térmico e hidráulico de um trocador de calor para arrefecimento do óleo de um compressor de parafuso de amônia. 2022.

PIN, Clarissa Pereira. Análise termodinâmica de um condensador evaporativo para melhoria da eficiência de um sistema de refrigeração. 2021.

PROTOCOLO DE MONTREAL. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/emissoes/protocolo-de-montreal>. Acesso em: 01 Junho 2024.

PERUZZO, Felipe. Dimensionamento térmico e hidráulico de um trocador de calor para arrefecimento do óleo de um compressor de parafuso de amônia. 2022.

SALVADOR, Kelvin Henrique. Análise de desempenho de um sistema de refrigeração de uma planta frigorífica industrial. 2022.

SANTOS, Wandembergh Diego Dias. Análise do ciclo de refrigeração de duplo estágio funcionando com diferentes refrigerantes halogenados. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

SILVA, Vinícius Ribeiro da. **Modelagem e simulação de um sistema de refrigeração industrial.** 2011.

STOECKER, W.; JONES, J. **Refrigeração e Ar Condicionado.** Tradução: Jabardo, José. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.

STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. **Refrigeração Industrial.** São Paulo: [s. n.], 2018.

STOECKER, W. F.; J. M. SAIZ JABARDO. **Refrigeração industrial.** 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2002.

VASCONCELOS, Aroldo; DE SOUZA DIAS, Matheus Botani. **A REFRIGERAÇÃO NAS INDÚSTRIAS DO RAMO ALIMENTÍCIO.** 2020.

VENÂNCIO, Filipe Brito et al. **Análise da eficiência e performance das características do sistema de refrigeração de uma indústria de bebidas: estudo de caso.** 2018.