

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CAMPUS CAMPO MOURÃO – PARANÁ

MAIKON CRISTIANO BERNSTEIN

**COMPARAÇÃO ENTRE EQUIPAMENTO TRADICIONAL E PROPOSTA DE
SISTEMA OTIMIZADO PARA REFRIGERAÇÃO DE BEBIDAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2017

MAIKON CRISTIANO BERNSTEIN

**COMPARAÇÃO ENTRE EQUIPAMENTO TRADICIONAL E PROPOSTA DE
SISTEMA OTIMIZADO PARA REFRIGERAÇÃO DE BEBIDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Engenharia de Alimentos, do Departamento Acadêmico de Alimentos – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, com requisito parcial para obtenção parcial do Título de Engenheiro de Alimentos.

Orientador (a): Prof^a. Dr^a. Karla Silva

CAMPO MOURÃO

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão

Coordenação dos Cursos de Tecnologia e Engenharia de Alimentos
Engenharia de Alimentos



TERMO DE APROVAÇÃO

COMPARAÇÃO ENTRE EQUIPAMENTO TRADICIONAL DE PROPOSTA DE SISTEMA OTIMIZADO PARA REFRIGERAÇÃO DE BEBIDAS

por

MAIKON CRISTIANO BERNSTEIN

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 01 de Dezembro de 2017, às 8h30, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após a deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a. Dr^a. Karla Silva

Prof. Dr. Manuel Salvador Vicente Plata Oviedo

Prof. Dr. Mirela Vanin dos Santos Lima

Nota: O documento original e assinado pela banca examinadora encontra-se no Departamento de Engenharia de Alimentos da UTFPR campus Campo Mourão.

DEDICO

A Deus, que me concedeu paciência e sabedoria para seguir firme na conquista de um dos meus objetivos,

Aos meus pais, Zígrit e Pedro pelo carinho, apoio e educação,

As minhas irmãs, Viviane e Paula, pela compreensão, incentivo e apoio nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Em um momento fico pensando como começar os agradecimentos sobre a minha tamanha felicidade por estar concluindo mais uma etapa da minha vida. Aqui começo, por nada mais nada menos, ao cara lá de cima, este que me proporcionou o afago através de minha fé, onde, em meio a muitas tribulações não me desamparou.

Logo, não poderia deixar de agradecer minha orientadora prof^a Dr^a Karla. Mais que uma professora orientadora, uma amiga, uma mãe da qual sempre falarei orgulhoso de ter sido seu aluno e por privilégio seu orientado. Com toda a sua paciência e sabedoria, moveu montanhas para que eu conseguisse a documentação necessária no prazo para realizar o meu primeiro estágio no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, onde, sobre seus conselhos e supervisão, pude obter o melhor aproveitamento dos conhecimentos adquirido, de modo que não teria outra forma a expressar minha gratidão a não ser esse registro. Novamente agradeço a compreensão e disposição desses dois longos anos de orientação, tornando esse trabalho possível.

Aqui também coloco a reverência do qual tudo isso se tornou possível, a minha família. Portanto, agradeço aos meus pais Zigrit e Pedro, que por mais dificultosos que tenham sido esses longos anos de estudos, nos quais se dispuseram a me apoiar nessa jornada, onde, por muitas vezes se abdicaram de tempo e de lazer para que pudessem me manter na melhor qualidade possível na cidade em que posso dizer que fui muito bem acolhido. Aqui também gostaria de agradecer as minhas irmãs, Viviane e Paula, por estarem sempre a me ouvir e compartilhar os momentos felizes e tristes dessa longa jornada. A minha sobrinha Gabrielly, que veio a esse mundo para nos ensinar sobre o que é amor, podendo compartilhar esse seu dom com a nossa família.

Aos meus Brothers Vinicius Arca e Pedro Yamamoto, por compartilharem grande parte da vida acadêmica, fazendo acreditar que isso tudo poderia se tornar realidade. Ainda ao Pedro, agradeço por ter me ajudado e tornado possível à realização das análises dispostas no trabalho, pois sem a sua ajuda talvez esse perdurasse por mais tempo.

A minha grande amiga, Isabella Oliveira, que me ajudou tornar possível a entrega do trabalho no seu devido tempo, saiba que: você é o meu modelo de garra e determinação. Deixo-lhe aqui uma breve escrita: tenha certeza que a melhor resposta para as mais dificultosas fases da vida é o tempo.

As minhas veteranas Bárbara Martins e Ana Sbrunhera, por estarem presentes nos momentos comemorativos e de desabafos da vida, obrigado por serem essas pessoas maravilhosas e amigas.

A Luiza Leme e Jhonny Barbieri, fica aqui expressos a minha gratidão por poder compartilhar as minhas experiências de vida, pois saibam que vocês são duas pessoas fantásticas que me ensinaram muito. Obrigado por tudo.

Ao meu grupo de estudo, que me ajudou a trilhar aprovações tão esperadas depois de muito esforço. Minha eterna gratidão a Katielle da Silva, Jeanyni Mendes, Taini Santos, Natália Gimenes. Afinal, foram alguns feriados e finais de semana acordando vocês às 07h30min da manhã, obrigado por me aturarem.

Heloísa Helena, Henrique Pinheiro e Heloisa Teixeira, fizemos um ótimo trabalho juntos em algumas das muitas disciplinas que cursei com vocês. E não poderia deixa-los de agradecer, vocês fazem parte dessa jornada.

Também sou muito agradecido por conhecer nesse ultimo momento da minha caminhada acadêmica uma pessoa muito especial, Victoria Zibetti, que me trouxe momentos felizes e de muito companheirismo. Tornando-me uma pessoa mais pré-disposta a arriscar em determinadas situação das quais eu jamais acreditava um dia conseguir. Meu muito obrigado.

A todos os meus Professores, Mestres, Doutores, Pós-Doutores, saibam que vocês são os melhores naquilo que fazem e não tenho palavras para agradecê-los por todo o conhecimento que vocês me proporcionaram nesses longos anos de muito estudo.

Aos amigos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento obrigado por todos os ensinamentos e por serem pessoas fantásticas, tenho muitas saudades de todos.

E por ultimo, mas não menos importante, o agradecimento à empresa Duas Rodas e em especial ao Fernando de Jesus, que possibilitou a participação do meu estágio obrigatório na equipe de Inovação. Também as pessoas que ali conheci. Patricia, Steven, Vinicius, Adilson, Ana, Cintia, Tamiris, Linara, Fernanda, Flávia, Rafael, Natália, Rafaela e Carem.

Aos que não foram citados, mas que de alguma forma, contribuíram para a conclusão da minha graduação. Meu eterno agradecimento.

*É impossível progredir sem
mudança, e aqueles que não
mudam suas mentes não podem
mudar nada.*

George Bernard Shaw

RESUMO

BERNSTEIN, M. C. **Comparação entre Equipamento Tradicional de Proposta de Sistema Otimizado para Refrigeração de Bebidas.** 2017. 49p. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2017.

A refrigeração mecânica por compressão é o sistema termodinâmico mais amplamente empregado para acondicionamento de alimentos e bebidas a baixa temperatura. Tratando-se de um ciclo termodinâmico não espontâneo, todo processo de refrigeração deve estar sendo permanentemente reavaliado, visando sempre uma melhoria do coeficiente de desempenho do processo com conseqüente aumento da eficiência energética. Nesse contexto, o presente trabalho propõe a verificação dos conceitos termodinâmicos na sua parte prática e teórica, para uma proposta de sistema otimizado de refrigeração de bebidas. De modo que, realizou-se os testes de resfriamento com o corpo em estudo parado e em rotação para melhor troca de calor por condução. Ainda, investigou-se o aumento do efeito condutivo frente ao uso proposto de invólucro de algodão umedecido. Os mesmos tiveram como intenção a verificação de conceitos termodinâmicos sobre os tempos de redução de temperatura, os critérios de análise, tiveram seus estudos relacionados a uma faixa de temperatura de 20°C até 0°C. Através das amostras, conseguiu-se observar uma redução significativa de 45 minutos entre a lata em sua forma parada e em rotação, validando assim alguns dos conceitos. Já em contrapartida, a amostra na qual continha o invólucro, teve em seus testes um comportamento do qual não correspondem ao observado na literatura, de maneira que possamos avaliar alguns critérios de comportamento, visando características como atuação de isolante sobre a relação de um aumento relevante nos tempos de resfriamento, o que verifica a possibilidade de obtenção de novos estudos. Concluindo, o trabalho aponta para a necessidade e vantagem de estudos propondo construção de equipamentos mais eficazes na refrigeração de bebidas.

Palavras-Chaves: Sistema de Refrigeração Doméstico. Otimização. Eficiência Energética. Bebidas.

ABSTRACT

BERNSTEIN, M. C. Comparison of traditional equipment for the proposal of an optimized system for beverage cooling. 2017. 49p. Completion of Course Work – Food Engineering, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2017.

Mechanical compression refrigeration is the most of thermodynamic system used for packaging food and beverages at low temperatures. In the case of a non-spontaneous thermodynamic cycle, all refrigeration processes must be permanently re-evaluated, always aiming at an improvement in the process performance coefficient with consequent increase in energy efficiency. In this context, the present work proposes the verification of the thermodynamic concepts in its practical and theoretical part, for a proposal of an optimized system of beverage refrigeration. Thus, the cooling tests were performed with the study body stopped and in rotation for better heat exchange by conduction. Also, the increase of the conductive effect against the proposed use of moistened cotton wrap was investigated. The purpose of these tests was to verify the thermodynamic concepts on the time of temperature reduction, the criteria for analysis were related to a temperature range of 20°C to 0°C. Through the samples, a significant reduction of 45 minutes was observed between the can in its stopped and rotated form, thus validating some of the concepts. On the other hand, the sample in which it contained the casing had in its tests a behavior that does not correspond to what is researched in the literature, so that we can evaluate some behavioral criteria, aiming at characteristics like insulation performance on the relation of a significant increase in the cooling times, which verifies the possibility of obtaining new studies. In conclusion, the work points to the need and advantage of studies proposing the construction of more efficient equipment in the refrigeration of beverages.

Key-Words: Domestic Refrigeration System. Optimization. Energy Efficiency. Drinks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Formação de gelo sobre um evaporador roll-bond e uma vista lateral da circulação de ar em um refrigerador convencional.....	16
Figura 2 - Esquema de um compressor de deslocamento positivo.....	17
Figura 3 - Bottle cooling and dispensing refrigerator (Muffly, 1950).....	22
Figura 4 - Cooling System For Cabinet And Cooling Cabinet By Forced Air (Heinzle, Nazario & Thiessen, 2017).....	23
Figura 5 - Dimensões do poço térmico acoplado a lata de cerveja.	24
Figura 6 - Poço térmico acoplado em lata de cerveja (Brahma ®).	24
Figura 7 - Ventosa acoplada por uma luva de ligação com extensor rosca.....	25
Figura 8 - Unidade de aquisição de dados HP® Modelo - 3852a.	26
Figura 9 - Agitador Mecânico Digital (Modelo 713D – FISATOM).....	26
Figura 10 - Balança semi analítica milesimal (BEL M503).....	26
Figura 11 - Banho Termostático pharma biotech (Modelo - multitemp III).....	27
Figura 12 – Termograma obtido durante resfriamento da lata de cerveja em lata parada em placa inferior do espaço refrigerado (evaporador) em sistema de refrigeração mecânica por compressão de porte doméstico.....	32
Figura 13 – Termograma obtido durante o resfriamento da lata de cerveja rotacionada em placa inferior do espaço refrigerado (evaporador) em sistema de refrigeração mecânica por compressão de porte doméstico.....	35
Figura 14 - Termograma obtido durante o resfriamento da lata de cerveja rotacionada em placa inferior do espaço refrigerado (evaporador) em sistema de refrigeração mecânica por compressão de porte doméstico, evitando a entrada de calor por infiltração no sistema.....	36
Figura 15 - Termograma durante o resfriamento da lata de cerveja parada, com invólucro umedecido com adição de álcool 92,8°, sistema de refrigeração mecânica por compressão de porte doméstico (ponto de referência em cima).	38
Figura 16 - Termograma durante o resfriamento da lata de cerveja parada, com invólucro umedecido com adição de álcool 92,8°, sistema de refrigeração mecânica por compressão de porte doméstico (ponto de referência em baixo).	39

Figura 17 - Termograma durante o resfriamento da lata de cerveja parada, com invólucro umedecido com adição de álcool 92,8°, sistema de refrigeração mecânica por compressão de porte doméstico (ponto de referência a esquerda).....	40
Figura 18 - Termograma durante o resfriamento da lata de cerveja parada, com invólucro umedecido com adição de álcool 92,8°, sistema de refrigeração mecânica por compressão de porte doméstico (ponto de referência a direita).....	41
Figura 19 - Termograma obtido durante o resfriamento da lata de cerveja rotacionada sobre algodão umedecido com álcool em placa inferior do espaço refrigerado (evaporador) em sistema de refrigeração mecânica por compressão de porte doméstico.	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 EQUIPAMENTOS DO REFRIGERADOR RESIDENCIAL	15
3.2 MATERIAL DE ESTUDO (LATA)	18
3.3 FUNCIONAMENTO DO REFRIGERADOR E FATORES RELEVANTES	19
3.4 EQUIPAMENTOS PARA RESFRIAMENTO DE BEBIDAS	22
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4.1 MATERIAIS	24
4.2 MÉTODOS.....	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
5.1 LATA DE CERVEJA PARADA	31
5.2 LATA DE CERVEJA EM ROTAÇÃO	34
5.3 LATA DE CERVEJA PARADA REVESTIDA POR INVÓLUCRO.....	37
5.4 LATA DE CERVEJA EM ROTAÇÃO SOBRE ALGODÃO UMEDECIDO.....	43
6 CONCLUSÕES	45
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1 INTRODUÇÃO

Esforços devem ser incentivados visando reduzir o consumo de energia (JANNUZZI, 2000) e, neste sentido, as ações de melhorias em sistemas de refrigeração devem avaliar desde a geração até o consumidor final (TASSINI, 2012). Entretanto, antes de buscar oportunidade na geração de frio, deve-se olhar o uso final dele (VENTURINI & PIRANI, 2005b) e, considerando que um refrigerador doméstico representa de 28 a 30% do consumo em energia elétrica em residência (CPFL, 2015; CEMIG, 2015) podendo inclusive atingir 70% dessa demanda total (BHARTT, 2011), esse se torna o principal alvo para aumentar eficiência energética residencial.

Na contramão dessa necessidade de racionalização do consumo energético, o interesse do brasileiro pelo consumo de bebidas a temperaturas próximas ao ponto de congelamento, aliado ao desejo de rapidez desse abaixamento desde a temperatura ambiente até a desejada para o consumo dessas bebidas em festas e reuniões, tem promovido o desenvolvimento e comercialização de refrigeradores específicos a este fim (SEELANT, 2011), potencializando maior demanda de energia elétrica.

Com o exposto, evidencia-se a necessidade de avaliar as condições operacionais nos equipamentos existentes no consumo de energia elétrica. Mas a proposta de melhoria num ciclo frigorífico deve estar fundamentada pela compreensão da relação entre energia elétrica e refrigeração, sendo pertinente a compreensão do processo todo do ponto de vista termodinâmico.

Visando estudar os efeitos termodinâmicos, o trabalho propôs comparar numérica e experimentalmente o tempo de resfriamento para bebida submetida ao método tradicional de resfriamento em congelador doméstico com o recipiente (lata) em repouso, em movimento, envolvido em manta úmida permanecendo parado, envolvido em manta úmida em movimento e em uma manta úmida em baixo do recipiente (simulando uma cama para a lata) em movimento. Com os dados obtidos, foi possível o dimensionamento do projeto de um sistema de refrigeração doméstico otimizado, de baixo custo, a ser sugerido para resfriamento rápido de bebidas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar sistema tradicional de refrigeração de bebida comparativamente a metodologia proposta visando maior eficiência de troca térmica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Realizar pesquisa do estado da arte de equipamentos para refrigeração rápida de bebidas;
- 2) Mensurar e comparar os tempos máximos e termogramas obtidos, durante refrigeração de bebida, em equipamento de refrigeração mecânica por compressão:
 - (a) com produto parado;
 - (b) com produto em movimento;
 - (c) com produto envolvido em uma manta parado;
 - (d) com produto em movimento e em cima de uma manta fixada nas placas do evaporador;
- 3) Investigar as velocidades de resfriamento para a refrigeração de bebida em sistema mecânico por compressão:
 - (a) com lata parado;
 - (b) com lata em movimento.
 - (c) com produto envolvido em uma manta parado;
 - (d) com produto em movimento e em cima de uma manta fixada nas placas do evaporador;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os refrigeradores são equipamentos que operam segundo os mecanismos tradicionais de transferência de calor. Um ciclo de refrigeração é um processo não espontâneo e que ocorre pelo abaixamento de temperatura do produto à custa do aumento de temperatura para um meio de mais alta temperatura (ÇENGEL & BOLES, 2013). Dessa forma, um refrigerador constitui-se de equipamentos específicos ligados em série para que o processo termodinâmico ocorra adequadamente.

O conjunto de equipamentos utilizados na refrigeração mecânica por compressão é composto por quatro principais dispositivos, sendo evaporador, compressor, condensador e válvula de expansão. Para cada um desses dispositivos existe um mecanismo de funcionamento e uma condição termodinâmica que se deve avaliar antes de projetá-lo. Ainda, torna-se necessário um agente que promova as trocas energéticas no sistema: o refrigerante. Existem outros sistemas de refrigeração, entretanto, esse é o processo de abaixamento de temperatura utilizado em todas as residências do nosso país pela simplicidade e custo acessível.

Na sequência verificaremos cada um dos componentes do sistema tradicional de refrigeração.

3.1 EQUIPAMENTOS DO REFRIGERADOR RESIDENCIAL

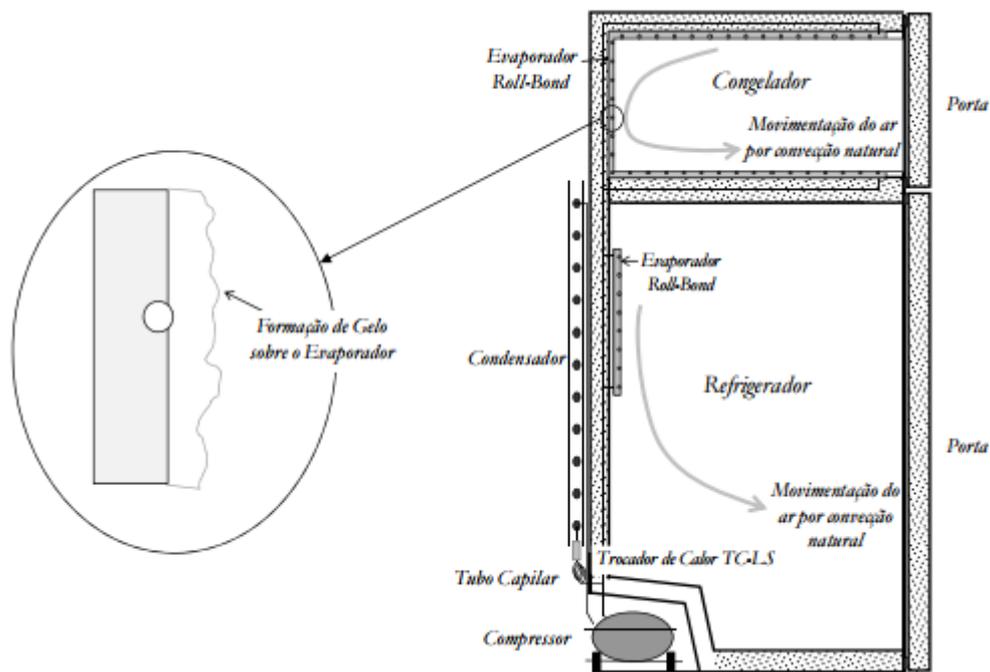
Um refrigerador doméstico pode ser descrito como sendo um sistema termodinâmico de quatro operações: duas operações isotérmicas de absorção e rejeição de calor executadas respectivamente por evaporador e condensador, mais duas operações de aumento e diminuição de pressão efetuada, nessa ordem, por compressor e tubo capilar. O ciclo de operações acontece tendo como ponto central de interesse a remoção de calor realizada pelo evaporador a baixa pressão. Na sequência, o compressor succiona o fluido refrigerante colocando-o na alta pressão desejável para eliminação da carga térmica pelo condensador. Finalmente, após essa liquefação do fluido refrigerante, segue-se a expansão até a baixa pressão do trabalho no evaporador para repetição do ciclo. Seguem algumas peculiaridades desses quatro equipamentos.

O evaporador localiza-se no espaço de acondicionamento do alimento. O nome deste equipamento está associado ao fato de que a remoção de calor que acontece a custa da

mudança de fase do refrigerante de líquido para vapor, com a desejada manutenção da temperatura no nível desejado para o alimento.

De acordo com Waltrich 2008, os refrigeradores convencionais são constituídos por evaporadores do tipo placa (conhecida como roll-bond) e sua circulação é através da convecção natural (figura 1).

Figura 1- Formação de gelo sobre um evaporador roll-bond e uma vista lateral da circulação de ar em um refrigerador convencional.

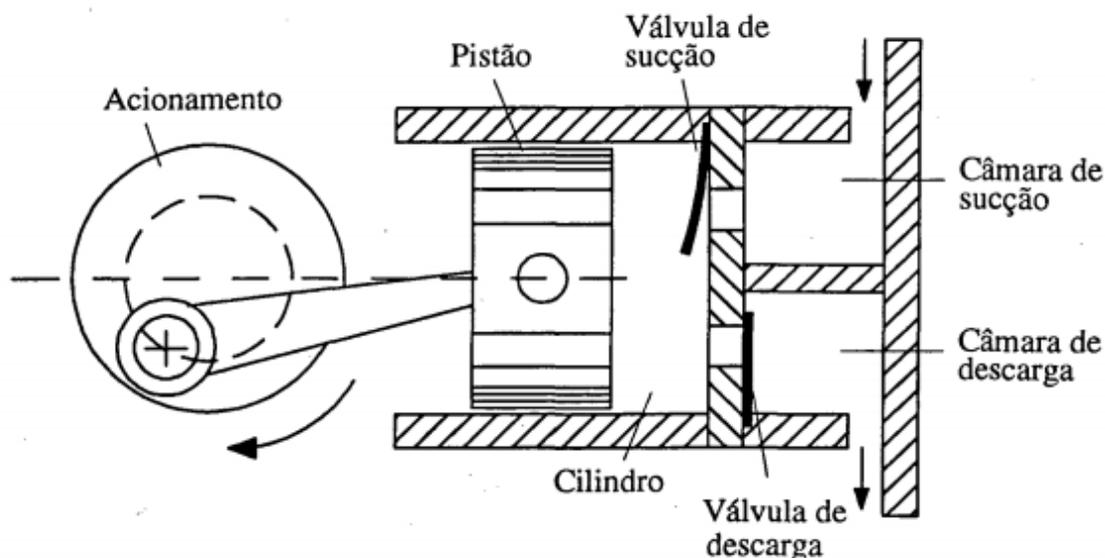


Fonte – Reproduzida de Waldrich (2008, p. 2).

O funcionamento de um refrigerador se dá devido ao acionamento de um compressor, que é responsável por realizar trabalho mecânico em função da energia elétrica inserida. De acordo com Possamai (1994), o compressor é responsável por fazer com que o fluido refrigerante escoe pelo ciclo de refrigeração, logo, o aumento da eficiência energética está relacionado com esse equipamento, que é o responsável direto pelo custo de energia.

Os compressores podem ser classificados pela forma de aumentar a pressão do fluido: os que aumentam a pressão do fluido por redução de volume são conhecidos como compressores volumétricos ou de deslocamento positivo; aqueles onde o fluido refrigerante é acelerado ao passar pelas pás de um rotor, sendo sua velocidade convertida em pressão são os compressores centrífugos. Os compressores volumétricos são os mais comuns e para compreender seu funcionamento, podemos observar a figura 2.

Figura 2 - Esquema de um compressor de deslocamento positivo



Fonte – Reproduzida de Possamai (1994, p. 2).

A compressão do gás é realizada pelo deslocamento linear e movimento alternado do pistão. As válvulas de sucção e de descarga são responsáveis respectivamente pela retenção e passagem do fluido refrigerante da câmara de sucção para o cilindro e do cilindro para a câmara de descarga. O correto dimensionamento do sistema de válvulas é fundamental para uma eficiência elevada do compressor. De forma geral, o projetista busca válvulas com resposta rápida, tanto na abertura como no fechamento, que produzam uma perda de carga pequena e que restrinjam ao máximo o refluxo do gás (SIRBONE 2007, p. 6).

Já os condensadores, assim como os evaporadores são trocadores de calor. É um equipamento que fica exposto na parte externa da geladeira. Çengel & Boles (2013), garantem que os tubos que se encontram na parte de traz do refrigerador trocam calor com os gases atmosféricos, ainda, sabe-se que, a condição de dissipação do calor por essas serpentinas são correspondentes à temperatura retirada do alimento feita no condensador, de tal forma a fazer com que a mesma entre em equilíbrio com o meio condicionador. Portanto, é de importância ressaltar que a disposição do equipamento é um fator de extrema relevância para a sua boa eficiência.

Muitos estudos já foram realizados para a obtenção de eficiência energética em refrigeração, inclusive alguns deles referem-se única e exclusivamente em um determinado equipamento. E tratando-se de um equipamento tão sensível de ser trabalhado, temos que suas

condições são fatores determinantes de vida útil do refrigerador, uma vez que a demanda de circulação de gases atmosféricos e a sua temperatura conduzem o seu melhor funcionamento.

Retratando o ultimo equipamento que é disposto na sua forma física, a válvula de expansão é responsável por direcionar o fluido refrigerante em condição expandida, e por sua função ser de grande importância para o fechamento do ciclo, deve-se tomar cuidado para a escolha deste equipamento, uma vez que possa afetar o seu desempenho devido as grandes perdas de carga (BJÖRK & PALM, 2006).

Para o fechamento de todos os componentes de utilização de um ciclo de refrigeração mecânica por compressão vê-se a necessidade de entendimento do fluido refrigerante. The Danfoss Group (2017) expõem a regulamentação do protocolo de Montreal, o qual relata sobre o tratado dos países que pactuaram a substituição de gases que destroem a camada de ozônio. Os gases HCFC e o R22 já têm sido totalmente eliminados pelos países da União Europeia e próximo do êxito também se encontram os Estados Unidos da América. Portanto, grande parte dos países desenvolvidos não tem mais usado gases que possuem em sua composição o cloro, o que em contrapartida os países em desenvolvimento começaram o trabalho de substituição em 2015 e continuarão até 2030. Outro tipo de gás que tem entrado nessa linha de extinção foi o R404A e o R507, onde já em 2016 o seu uso tem sido eliminado pela União Europeia.

Os gases que não danificam a camada de ozônio são conhecidos como fluorados, correspondem à substituição do protocolo de Montreal os hidrofluorcarbonetos (HFCs), R134a, R407a, R410a, entre outros (GRASSELLI, 2017).

3.2 MATERIAL DE ESTUDO (LATA)

A lata de cerveja tem a sua composição formada por um metal de densidade $2,7\text{g/cm}^3$ e com baixo ponto de fusão. Pode-se afirmar que o alumínio é um excelente condutor térmico e também tem uma grande resistência devido as suas ligas metálicas (VERRAN, KURZAWA, PESCADOR, 2004).

De acordo com Young (2008), o alumínio é considerado um dos maiores condutores térmicos, sendo a sua condutividade térmica correspondente a 205 (W/m K).

3.3 FUNCIONAMENTO DO REFRIGERADOR E FATORES RELEVANTES

Em um sistema de refrigeração doméstica típica (refrigeração mecânica por compressão), o objetivo fim da retirada de calor dos alimentos e/ou bebidas (obtenção das baixas temperaturas) só pode ser alcançado mediante a dissipação desse calor para o meio externo ao espaço refrigerado (altas temperaturas dissipadas no condensador), o que só é possível à custa de entrada de energia elétrica no motor para acionamento de um compressor. Pode-se dizer, portanto, que há energia necessária para funcionamento desse sistema térmico é recebida através do motor elétrico acoplado a esse componente mecânico (compressor). Tal energia recebida do motor é transferida para o fluido denominado refrigerante, transformando-a em energia térmica (PILLIS, 2005) potencialmente a ser dissipada no lado quente e exterior do refrigerador (condensador). De tal modo, para o calor ser removido no espaço refrigerado deve ser descartado ao espaço externo, sendo essa troca de energia realizada fisicamente pelo fluido refrigerante comprimido e, na sequência à perda de calor, expandido e reestabelecido ao espaço refrigerado para continuidade do ciclo. Ressaltando, o propulsor dessas trocas térmicas é o motor do compressor que atuará quando da necessidade e, por conseguinte, o consumo de energia elétrica é proporcional à diminuição da temperatura imposta ao sistema. Na prática, os compressores representam cerca de 70% do consumo de energia elétrica em um sistema de refrigeração (VENTURINI; PIRANI, 2005a).

Conforme bem indicado pela FDF (Food and Drink Federation, 2007), aspectos fundamentais da eficiência energética em refrigeração ficam bem explicados pela analogia da retirada de calor com um levantamento de peso por polia (“polia de calor”): supondo a remoção de calor análoga a içar um peso de uma altura inferior a uma superior, a energia consumida por tal processo dependerá de três fatores:

- 1) a carga térmica a ser retirada (peso do corpo a ser levantado);
- 2) da diferença de temperatura (análogo a altura); inicial e final do processo
- 3) do projeto mecânico e operacionalidade do sistema

Analisando o primeiro ponto para melhoria de sistemas refrigerados, tem-se que a demanda elétrica é impactada pela carga térmica a ser removida no espaço refrigerado. Logo, é vital que se foque na diminuição de calor a ser removido bem como nos mecanismos de transferência de calor mais eficazes. Observando os sistemas usuais propostos para resfriamento de bebidas, constatamos uma elevada carga térmica por infiltração (abertura de portas e entrada de ar quente proveniente do ambiente e da pessoa). Quantitativamente

tratando, conforme registrado por Schmit (2000) é possível um aumento de 4,5 a 11,1°C decorridos durante 25 a 50 segundos de abertura da porta de um refrigerador doméstico (modelo de uma porta e 230 litros): essa é uma carga térmica a ser eliminada a mais, portanto, em um sistema operante.

Ainda em relação à carga térmica, deve-se ressaltar o fato de que os sistemas tradicionalmente projetados consideram um volume disponível para a mercadoria excessivo, em geral subaproveitado pelo usuário que aloca menos produtos que o possível e ainda não rotineiramente, mas que acarretará manutenção térmica do sistema independente do uso e sua eficácia. Ainda deve-se observar existência eventual de ventiladores (para promoção de convecção forçada no evaporador e, conseqüentemente, maior coeficiente de película), iluminação (para facilitar identificação do produto dentro do grande espaço refrigerado) e grande área de transmissão de calor das paredes que impactarão em aumentando excessivo da carga térmica final a ser removida.

Considerando agora as diferenças entre temperatura inicial e final, o segundo ponto passível de avaliação para melhoria de sistemas refrigerados, observamos que o sistema de refrigerador doméstico trabalha geralmente com duas temperaturas: $\sim 3 \pm 1$ °C para resfriados e $\sim -14 \pm 1$ °C para congelados. Como a temperatura desejada para bebidas situa-se em $\sim -2 \pm 1$ °C, a diferença entre as temperaturas desejadas e operantes são excessivas e desnecessária, sob pena do uso sobressalente de energia.

Em última análise da energia gasta (por analogia à polia levantando o corpo), o projeto mecânico e operacionalidade do sistema em questão também deixam a desejar. A já mencionada diferença de temperaturas operacionais do congelador e de congelamento do produto (indesejado) implica no inconveniente do usuário inserir a bebida no compartimento de menor temperatura e aguardar intuitivamente até que se atinjam temperaturas próximas do ponto de congelamento, embora não inferiores a este. Tendo isto, num tempo estimado pelo consumidor como aproximadamente suficiente para se atingir a temperatura desejada (imprecisão), consome-se o produto ou remaneja-se a bebida (nova abertura de porta) para a parte inferior acarretando na elevação da temperatura e prejuízo energético. O sistema tradicional ainda conta com um compressor superdimensionado que trabalha em on/off implicando em picos energéticos excessivos para “start up” do sistema a cada recuperação da temperatura.

Finalmente, para promover a eficiência energética em processos de refrigeração, deve-se reduzir as possibilidades (mecanismos) de transferência de calor. Cabe, assim sendo,

incitar a eficiência comparativa dos diferentes mecanismos de transferência de calor num refrigerador convencional. Fundamentalmente o espaço refrigerado é constituído por um evaporador (do tipo tubo condutor do refrigerante soldado entre placas que funcionam como aletas) sobre o qual repousará a bebida a ser resfriada (troca de calor por condução na região de contato direto entre os corpos). Ainda, considerando essencialmente o nomeado congelador (espaço a temperaturas inferiores a -12°C) sem mecanismos promotores de ventilação forçada, a convecção natural será o mecanismo de transferência de calor atuante nas superfícies do corpo fora do contato direto com o evaporador. Com isso, o calor removido por convecção tende ser menor que o calor removido por condução uma vez que o primeiro fica limitado ao coeficiente convectivo do ar parado, a despeito da maior área de troca térmica. Ainda que se promova a movimentação do ar, haverá menos efetividade na remoção de calor, conseqüentemente abaixamento da temperatura, do mecanismo convectivo comparativamente ao condutivo, em função da condutividade térmica alta do alumínio (ou material do tubo contendo fluido refrigerante) comparativamente ao coeficiente de película do ar quer parado, quer em movimento. Torna-se prudente supor, por conseguinte, que haja a movimentação do corpo, expondo toda a lateral de revestimento ao contato com a placa do evaporador: isso aumentará a eficiência do processo de resfriamento, diminuindo o tempo necessário para atingir a baixa temperatura desejada. Ainda, em sinergia com esse efeito agenciado da troca de calor por condução, mantendo essa dinâmica de movimentação do corpo ao longo do processo, acontecerá a convecção forçada de calor no interior do líquido a ser resfriado (bebida) auxiliando o gradiente de temperatura. Cruz (2012) verificou também que o resfriamento por meio do uso de papel umedecido foi capaz de proporcionar uma temperatura da cerveja estatisticamente inferior à obtida pelo resfriamento convencional, concluindo se tratar de uma estratégia eficiente. De acordo com Çengel & Ghajar (2012), quando uma lata de bebida é embrulhada em um pano úmido, ocorre transferência simultânea de calor e de massa, mas para isso tem-se a necessidade da presença de ar soprado. Tal fato se justifica pelo mais alto calor latente de vaporização da água, que promove neste sistema citado o chamado resfriamento evaporativo, aumentando a eficiência do mecanismo de retirada de calor do corpo.

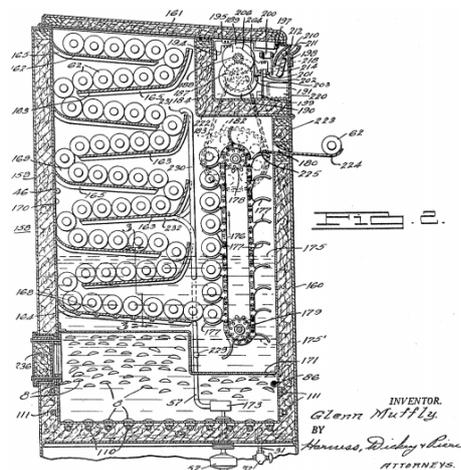
3.4 EQUIPAMENTOS PARA RESFRIAMENTO DE BEBIDAS

A problemática refrigeração de bebidas tem instigado pesquisadores a propor alternativas, visando a patente de seus equipamentos desde o século passado.

Glenn Muffly publicou em 02 de julho de 1950 uma proposta no banco de patentes FPO (Free Patents Online), sendo esse equipamento nomeado de **Bottle cooling and dispensing refrigerator**. Segundo a descrição do equipamento apresentado na figura 3,

Este aplicativo é uma continuação em parte do meu pedido co-pendente, número de série 324,466, arquivado em 18 de março de 1940, agora abandonado. A invenção refere-se ao mecanismo de refrigeração e particularmente à aplicação de um sistema de refrigeração para refrigeradores de garrafas (Muffly, 1950).

Figura 3 - Bottle cooling and dispensing refrigerator (Muffly, 1950).



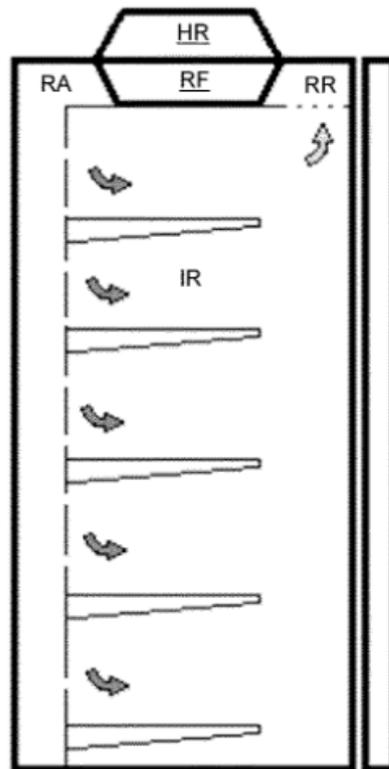
A empresa Whirlpool SA publicou em JPO no dia 10 de agosto de 2017 propondo um novo equipamento de refrigeração (figura 4). Esse por sua vez, nomeado **Cooling System For Cabinet And Cooling Cabinet By Forced Air**. De acordo com a descrição do equipamento de patente gerado por Gerson Heinzle, Marcelo Christello Nazario e Marcio Roberto Thiessen que,

Propõem reduzir o tamanho e o peso de um sistema de arrefecimento usando meios adequados de ventilação em um lado de baixa temperatura com fluxo de ventilação horizontal e usando ventilação direta de um armário ou um canal de ar.

Sendo uma solução um sistema de refrigeração integrado para um armário e um gabinete de refrigeração por ar forçado são fornecidos. Em detalhe, o sistema de arrefecimento possui uma região de alta temperatura incluindo um dispositivo de compressão de fluido de arrefecimento e um meio de condensação de fluido de arrefecimento e uma região de baixa temperatura incluindo um permutador de calor (13), meios de ventilação (8), uma entrada de ar e um ar para que o sistema de

resfriamento tenha um tamanho reduzido para efetivamente usar um pequeno volume interno do gabinete quando o gabinete é montado no sistema de resfriamento. Esta invenção refere-se a campos técnicos de fornecimento de um sistema termodinâmico e refrigeração de gabinete (Heinzle, Nazario & Thiessen, 2017).

Figura 4 - Cooling System For Cabinet And Cooling Cabinet By Forced Air (Heinzle, Nazario & Thiessen, 2017).



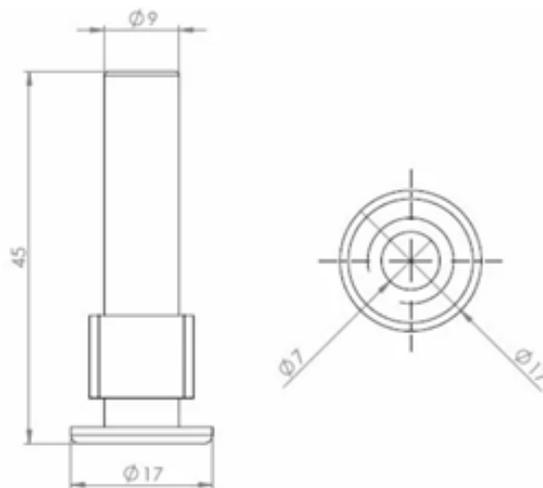
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Como objeto de estudos da dinâmica do resfriamento de bebidas em processo mecânico por compressão, foi utilizada uma lata de cerveja (Brahma ®), conteúdo líquido 350 mL, adquirida de comércio local.

Na parte superior da lata, foi acoplado um poço térmico com comprimento de 45 mm, diâmetro externo total de 17 mm e diâmetro interno de 7 mm (figura 5).

Figura 5 - Dimensões do poço térmico acoplado a lata de cerveja.



Na figura 6 abaixo se identifica a parte externa exposta do poço térmico, devidamente acoplado a lata.

Figura 6 - Poço térmico acoplado em lata de cerveja (Brahma ®).



Fixou-se uma ventosa na parte inferior da lata. A ventosa foi acoplada por luva de ligação em um extensor rosca, possibilitando ligação do sistema ao agitador mecânico. A disposição final da ventosa e da luva de ligação com rosca pode ser vista na figura 7. O

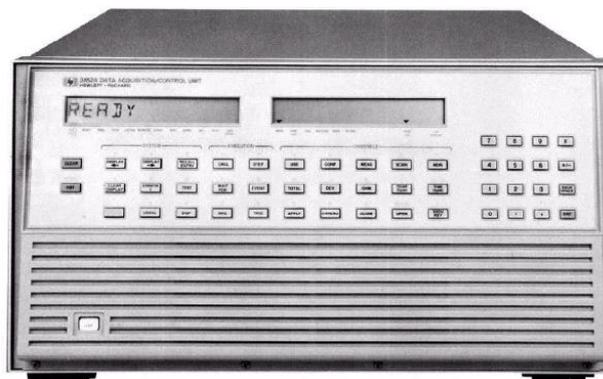
agitador mecânico foi o responsável pela promoção da movimentação controlada da lata durante testes de refrigeração assim propostos.

Figura 7 - Ventosa acoplada por uma luva de ligação com extensor rosca.



O resfriamento da bebida foi realizado em refrigerador doméstico (Prosdócimo®), com porta única externa simples, munido de compartimento congelador interno. Para possibilitar a adaptação dos aparatos do teste (sensores, cabos, hastes, agitador, etc) a porta interna do congelador foi removida, sendo o compartimento todo revestido com isolante térmico em placas de poliuretano rígido (espessura 9,2 cm, largura 50 cm e altura 18,5 cm). Essa adaptação possibilitou instrumentação do sistema com os sensores de temperatura termopares (tipo T) para envio dos sinais elétricos, via cabos, para o aparelho de aquisição de dados (Hewlett-Packard®, modelo 3852a). Os dados coletados para traçar os perfis de temperatura ao longo do tempo (termogramas) foram eletronicamente transmitidos por barramento de comunicação digital GPIB (General Purpose Interface Bus), garantindo a rapidez de transmissão e simultaneidade das leituras nos três pontos de coleta da temperatura: parte interna superior do congelador, parte interna inferior do congelador e na bebida no interior da lata (poço de temperatura). O monitoramento das temperaturas foi possível graças a implementação de interface gráfica utilizando a aplicativo Simulink® via MatLab®. A figura 8 mostra o equipamento de aquisição de dados utilizado para transmissão GPIB dos dados ao microcomputador.

Figura 8 - Unidade de aquisição de dados HP® Modelo - 3852a.



Fonte: Splabor Equipamentos para Laboratório.

O agitador mecânico e a balança analítica utilizados nos experimentos são mostrados nas figuras 9 e 10 a seguir.

Figura 9 - Agitador Mecânico Digital (Modelo 713D – FISATOM)



Fonte: Splabor Equipamentos para Laboratório.

Figura 10 - Balança semi analítica milesimal (BEL M503)



Fonte: Shopping do Laboratório

Os sensores de temperatura foram devidamente calibrados antes do experimento. Para tanto, foi utilizado um banho termostático mostrado na figura 11. As temperaturas de calibração foram comparadas com termômetro padrão de mercúrio.

Figura 11 - Banho Termostático pharmacia biotech (Modelo - multitemp III).



Fonte: LabStuff equipamentos para laboratórios.

A proposta de resfriamento evaporativo foi possibilitada por montagem da lata com invólucro de manta de algodão: a manta foi fixada ao redor da lata por tela metálica malha 1 (1 mesh). O algodão foi embebido no fluido a ser evaporado (água ou álcool etílico 92,8°).

Todos os ensaios foram feitos no laboratório de Refrigeração da Universidade Tecnológica Federal do Paraná do Campus Campo Mourão.

4.2 MÉTODOS

A pesquisa foi focada no resfriamento de bebidas enlatadas. Considerou-se como referência para proposta o abaixamento de temperatura tradicionalmente empregado em refrigerador doméstico (sistema de refrigeração mecânica por compressão). A lata foi inserida no compartimento revestido do congelador e deixada em repouso e em contato indireto com o fluido refrigerante.

Tecnicamente o compartimento congelador utilizado trata-se de um evaporador tipo placa. Neste tipo de equipamento, conforme visto, o fluido refrigerante circula através das rugosidades existentes na placa, promovendo a remoção de calor dessa placa e de todo corpo

aí inserido, por contato indireto. Dessa maneira, o mecanismo predominante de transferência de calor é a condução, havendo ainda a convecção natural tanto no ar no interior do compartimento de congelamento, como no líquido no interior da lata.

Partindo-se da teoria de que a agitação do fluido garante um coeficiente de transferência de película (ou coeficiente de transferência de calor) convectivo que é mais efetivo que da convecção natural, foi promovida a agitação do fluido interno da lata, via rotação da mesma acoplada ao agitador mecânico. Com isso, foi avaliada se a convecção aliada à condução aperfeiçoaria o resfriamento, diminuindo o tempo de abaixamento da temperatura desde a temperatura ambiente até o valor desejado. Devido ao atrito realizado pela lata e a placa do evaporador foi realizada uma rotação operacional aproximada de 80 RPM.

A proposta foi utilizar os dados práticos obtidos como subsídio o projeto de um dispositivo que garantisse esses mecanismos de troca de calor mais efetivos (condução mais convecção). Portanto, foi necessário investigar se tal proposta era inovadora, para isso, foram realizadas pesquisas nos seguintes sites de bases de patentes: Dertwent, Esp@cenet, USPTO, Epoline, JPO, CIPO, Free Patents Online, INPI, Inova-Unicamp. Foram utilizadas as palavras-chave: cooling system forced; system continuously rotating; cooling cans; cooling bottles; cooling system proves that lowering the cooling time of cans and bottles; forced cooling box; cooling system; basic operation conduction, convection, and evaporation.

Também foi verificada a hipótese de melhoria do processo de resfriamento através da promoção de melhorias na transferência de calor por condução. Para isso, a lata foi envolvida com algodão umedecido (condução mais efetiva que convecção). Esses experimentos foram feitos com a lata parada e em movimento.

Todos os testes foram feitos em triplicata. A temperatura inicial para os testes foi fixada em $20,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para o fluido no interior da lata e em $-15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ para o interior do congelador (tanto parte inferior como parte superior do evaporador).

Para a verificação do resfriamento da lata envolta pelo algodão, foram utilizadas quantidades padronizadas em aproximadamente 80g de álcool 92,8°, possibilitando que fosse verificado ao final da leitura a eventualidade de massa evaporada ou perdida.

Desta forma, o abaixamento da temperatura da lata de cerveja foi feito utilizando sempre o mesmo equipamento, mas promovendo diferentes trocas térmicas por mudanças no comportamento da lata em referência ao congelador, a saber:

- 1) Lata de cerveja colocada em posição horizontal, apoiada na parte inferior do congelador: padrão de referência do estudo chamada “PP” (padrão parada);
- 2) Lata de cerveja colocada em posição horizontal, apoiada na parte inferior do congelador e posta em rotação: chamado “PR” (lata em rotação);
- 3) Lata de cerveja colocada em posição horizontal, apoiada na parte inferior do congelador e com invólucro de algodão umedecido com álcool etílico 92,8%: estudo chamado “PIP” (padrão com invólucro);
- 4) Lata de cerveja colocada em posição horizontal, apoiada na parte inferior do congelador, com invólucro de algodão umedecido com álcool etílico 98% e posta em rotação: estudo chamado “PIR” (padrão com invólucro e em rotação).
- 5) Os dados registrados pelos sensores de temperatura foram identificados por:
 - T^{sup} : temperaturas dos termopares fixados na placa superior interna do evaporador;
 - T^{inf} : temperaturas dos termopares fixados na placa inferior interna do evaporador;
 - T^{produto} termopar inserido no poço de temperatura (em contato direto com o fluido no interior da lata).

Após a coleta dos dados das referentes análises, foi possível avaliar qual foi o procedimento mais eficaz de refrigeração.

Os cálculos referentes a transferências de calor para os processos condutivos, convectivos e evaporativos foram feitos considerando-se as equações básicas de transferência de calor.

Considerando o calor transferido para o fluido parado por condução através da lata de alumínio teremos:

$$Q_{cond} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Onde,

k = condutividade do meio

A = área normal à direção da transferência de calor

$\frac{dT}{dx}$ = a taxa de condução de calor em uma direção x é proporcional ao gradiente de

temperatura

$$\dot{Q}_{conv} = U_{conv} \cdot A_{ext} \cdot (T_{ext} - T_{amb}) \quad (2)$$

Onde,

U_{conv} = coeficiente de transferência de calor por convecção a

A_{ext} = área da superfície externa de uma lata

T_{ext} = temperatura média do corpo da lata

T_{amb} = temperatura do ar ambiente

Em relação à carga térmica dissipada do fluido contido dentro da lata de cerveja (absorvido pelo espaço refrigerado) tem-se:

$$Q_{removido} = m \cdot Cp \cdot (T_{final} - T_{inicial}) \quad (3)$$

Onde,

m = massa

Cp = capacidade calorífica específica

T_{final} = temperatura final do material a ser refrigerado

$T_{inicial}$ = temperatura inicial do material a ser refrigerado

A velocidade de resfriamento (v_{resf}) pode ser convenientemente definida como a relação entre o intervalo de tempo e a diferença entre as temperatura do corpo no início e no final do processo de resfriamento, obtendo-se a equação (4):

$$v_{resf} = \left| \frac{(T_{final} - T_{inicial})}{(t_{final} - t_{inicial})} \right| \quad (4)$$

Onde,

T_{final} = temperatura final do material a ser refrigerado

$T_{inicial}$ = temperatura inicial do material a ser refrigerado

t_{final} = tempo final do resfriamento

$t_{inicial}$ = tempo inicial do resfriamento

Visando maior aproximação entre os valores teóricos e experimentais, os cálculos de transferência de calor transiente foram feitos pela hipótese de sistemas concentrados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A pesquisa do estado da arte comprovou que a proposta de resfriamento por mecanismos de convecção forçada ou resfriamento condutivo mais efetivo tem sido objeto constante de estudos com geração de patentes no ramo de bebidas. Alguns novos equipamentos de alta tecnologia já estão disponíveis na Europa, entretanto, devido ao alto custo o uso se restringe a elite de alto poder aquisitivo (V-TEX, 2013). Muitos varejistas garantem que não têm suprido a demanda de consumo de bebidas em temperaturas ótimas para consumo, implicando inclusive no financiamento do estudo pela união europeia, que culminou com um dispositivo comercial denominado “Rapdcool” de resfriamento para bebidas em até 45 segundos, tanto para latas quanto garrafas. Segundo Parolin et al. (2006) o tempo médio de resfriamento da cerveja, a partir da temperatura de 20°C até 2°C, pode chegar a 12 horas, considerando a metodologia convencional de abaixamento da temperatura. Com isso, o estudo para definição de efeitos de novas metodologias visando o aprimoramento dos mecanismos de transferência de calor, culminando em meios mais eficazes para abaixamento da temperatura de bebidas enlatadas, está justificado.

5.1 LATA DE CERVEJA PARADA

Neste primeiro estudo, as variáveis foram identificadas com o subscrito PP.

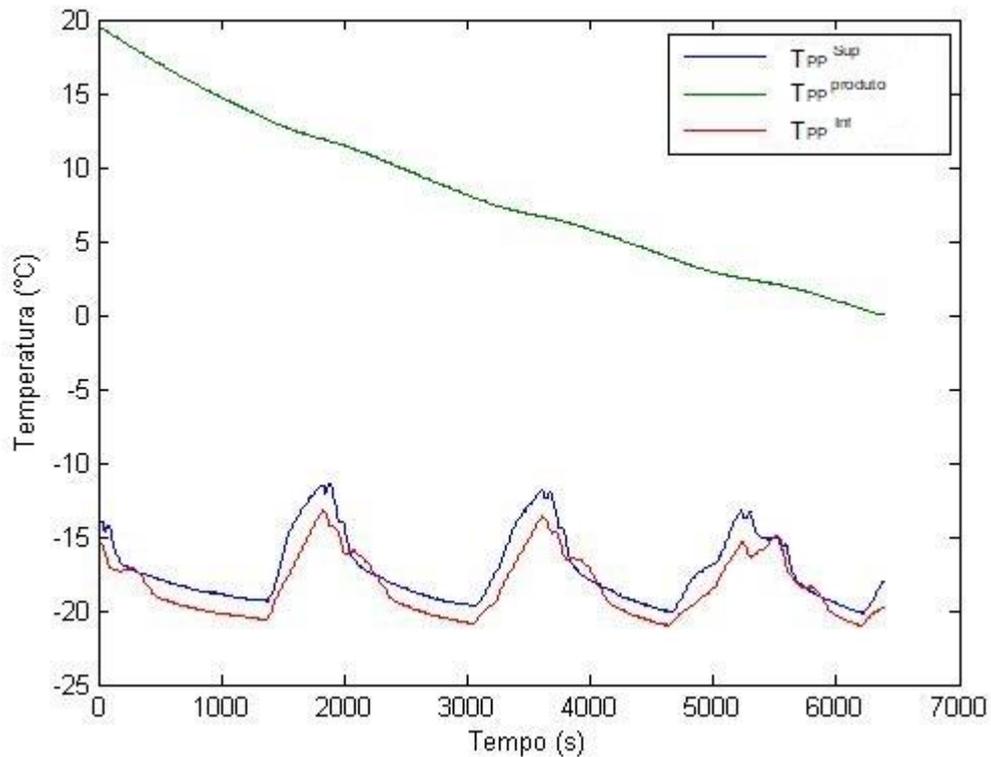
Passando para a qualificação do resfriamento ocorrido especificamente do fluido no interior da lata, doravante denominado produto, observamos uma queda aproximadamente linear da temperatura (T^{produto}). Adotando a equação de Wasmund (1975) podemos estimar as propriedades para a cerveja em temperaturas acima do ponto de congelamento e, com isso, a capacidade térmica calorífica da cerveja fica 4065 J/ kg.K e a densidade 1030 kg/ m³ (considerados os 350 mL como peso líquido). Tendo ocorrido o resfriamento partir de 20°C até 0°C, na equação 3 tem-se a carga térmica a ser retirada do produto:

$$Q_{\text{removido}} = 0,0365 \cdot 4065 (273,15 - 293,15) \left[\text{kg} \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \text{K} \right]$$

$$Q_{\text{removido}} = 29,3 \text{ kJ}$$

A figura 12 mostra os termogramas obtidos durante o resfriamento da lata de cerveja parada no congelador para a temperatura do evaporador (placa superior e inferior) bem como para o líquido no interior na lata (produto).

Figura 12 – Termograma obtido durante resfriamento da lata de cerveja em lata parada em placa inferior do espaço refrigerado (evaporador) em sistema de refrigeração mecânica por compressão de porte doméstico.



Na figura 12, observamos um comportamento padrão oscilatório em torno dos -15°C ($-15 \pm 5^{\circ}\text{C}$) para os termopares fixados no interior do espaço refrigerado, T_{PP}^{sup} e T_{PP}^{inf} (respectivamente temperaturas superior e inferior da placa do evaporador). Isso demonstra que o equipamento manteve a temperatura do meio controlada. O sistema de controle do refrigerador utilizado é do tipo “On-Off”, ou seja, o compressor se mantém ligado para abaixamento da temperatura desejada (set point -15°C). Quando o sensor de temperatura do equipamento (termostato) registra essa temperatura de referência estabelecida, ocorre o corte de sinal elétrico ao compressor. Como o sensor do equipamento que envia o sinal ao termostato localiza-se em posição central do evaporador, existe uma resposta retardada, conhecida como efeito “delay” típico em controladores “On-Off”. A partir do momento em que se coloca um corpo quente no evaporador, temos o acionamento do compressor, para começar o processo de abaixamento da temperatura do recipiente acondicionado (lata), ou seja, tornando possível a retirada do calor do evaporador. Dessa maneira, conforme o fluido refrigerante escoar entre as aletas e troca calor com o recipiente (lata), existe o processo de

aumento e diminuição de temperatura no fluido refrigerante, para esse caso, é possível observar os tempos de oscilação da temperatura, que ocorrem em uma faixa de 1500 segundos.

Torna-se conveniente observar o paralelismo estrito registrado nos termogramas para os sensores fixados na parte superior e inferior do interior do evaporador, bem como a temperatura ligeiramente menor registrada pelo sensor da posição inferior, comparativamente ao sensor da posição superior. Isso demonstra que, conforme o esperado, o fluido refrigerante circulado entre as placas entra pela placa de baixo (vindo do tubo capilar) e sai pela placa de cima (indo para o condensador). O sistema está, portanto, adequadamente isolado e controlado, ficando o erro da temperatura de resfriamento em torno do set point limitado exclusivamente pela precisão do sistema de controle típico para este refrigerador. Ainda, em relação a temperatura atingida pelo espaço refrigerado, vale ressaltar a conveniência do revestimento de isolante feito ao redor do congelador original: um congelador típico residencial atinge a temperatura mínima de $(-8 \pm 5^{\circ}\text{C})$, ou seja, o revestimento melhorou a eficiência e garantiu as condições desejadas para os estudos desse trabalho.

O processo de transferência de calor, de acordo com a Lei Zero da Termodinâmica é definido por condição de uma região de alta temperatura para outra de mais baixa temperatura (Quites & Lia, 2012). Assim, as interações de transferência de calor quando condutivas podem ser vistas como processos de transferência das partículas mais energéticas para menos energéticas, em nível molecular, sendo tão efetiva quanto maior a proximidade molecular, ou seja, em sólidos mais que em líquidos e em líquidos mais que em gases. Com isso, temos uma efetividade grande do mecanismo condutivo de transferência de calor ocorrido entre a parte inferior do congelador (placa por onde corre o fluido refrigerante) e a lata de alumínio. Entre a parede de alumínio da lata e a cerveja líquida no interior da lata parada, o mecanismo de transferência de calor fica restrito a convecção natural. Ainda, considerando que apenas uma parte pequena da parede da lata fica em contato direto com a placa inferior do congelador, temos que a maior parte da lata de cerveja fica exposta apenas ao ambiente frio do congelador, ou seja, está sujeita a transferência de calor convectiva natural do espaço refrigerado.

O processo termodinâmico ocorrido no equipamento utilizado pode ser descrito da seguinte forma: o acionamento do compressor promove uma quantidade suficiente de energia para o fluido refrigerante escoar entre as placas do evaporador (congelador) e, assim, conseguir suprir retirar a carga térmica para abaixamento da temperatura da bebida inserida

no espaço então refrigerado. No evaporador escoo fluido refrigerante, em uma baixa temperatura e em mudança de fase, sendo a lata o corpo de maior energia. Tal processo, conforme descrito por Çengel e Boles (2013, p. 278), satisfaz a primeira lei termodinâmica. Entretanto, ao redor da lata e fora do contato direto com a placa do congelador, ocorre a transferência de calor por convecção natural, que nada mais é do que a movimentação de ar em um ambiente devido à diferença de densidade ocorrida que provoca subida do ar com uma alta temperatura e a descida do ar de baixa temperatura (Çengel & Ghajar, 2012). Assim, se a diferença de temperatura entre o material e o ar ambiente não for suficientemente grande, passará a ser mais expressiva a troca de calor pelo processo de condução.

Constata-se que o fluido interno da lata atingiu a temperatura de 0°C a partir de 20°C em um tempo aproximado de 108 minutos (1 hora e 50 minutos). Quantificando a velocidade de resfriamento pelo emprego da equação 4, obtemos para este método empregado padrão:

$$vv^{PP} = \frac{|(0-20)|}{(6500)} \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{seg}} \right]$$

$$vv^{PP} = 0,18 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}} \right]$$

5.2 LATA DE CERVEJA EM ROTAÇÃO

Neste segundo estudo, as variáveis foram identificadas com o subscrito PR.

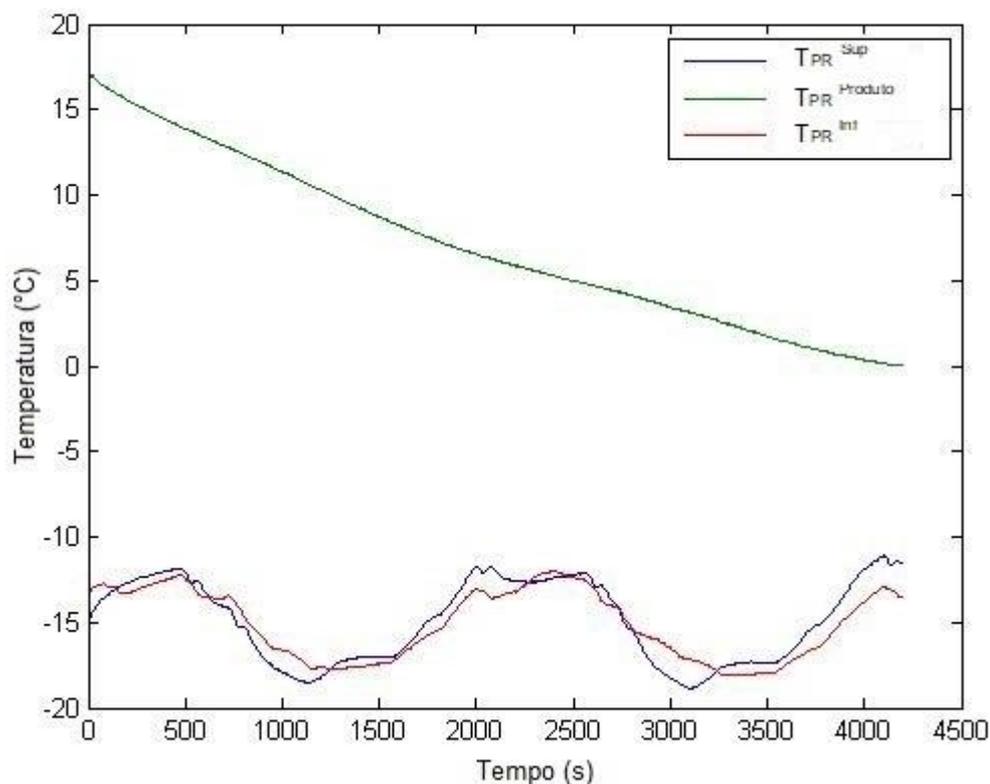
Em conformidade com a teoria, foi proposta neste estudo a melhoria via promoção do mecanismo de transferência de calor por convecção no fluido do interior da lata. Os dados plotados na figura 13 foram registrados durante resfriamento do produto com a rotação da lata mantida em contato direto com a superfície inferior do espaço refrigerado.

Na figura 13 percebe-se a redução do tempo total decorrido entre o início e o final do processo de acompanhamento do resfriamento da lata, comparativamente ao sistema plotado na figura 12. Especificamente se contabilizou um tempo aproximado de 70 minutos, contra os 108 minutos do caso anterior. A queda de temperatura, embora com inclinação maior, foi praticamente linear. Neste estudo, o fluido interno da lata atingiu a temperatura de 0°C a partir de 20°C em 70 minutos, assim calculado a velocidade de resfriamento através da equação 4, tem-se:

$$vv^{PR} = \frac{|(0-20)|}{(4250)} \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{seg}} \right]$$

$$vv^{PR} = 0,28 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}} \right]$$

Figura 13 – Termograma obtido durante o resfriamento da lata de cerveja rotacionada em placa inferior do espaço refrigerado (evaporador) em sistema de refrigeração mecânica por compressão de porte doméstico.



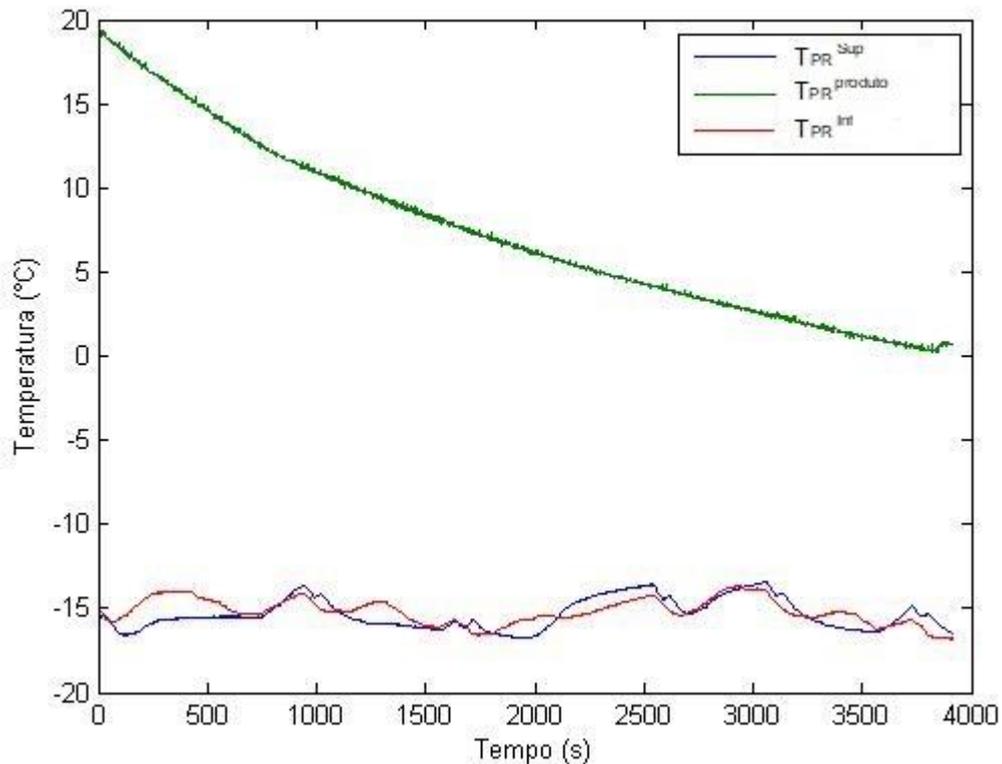
Esse aumento de 55% da velocidade de resfriamento pode ser explicado pela promoção da transferência de calor por convecção ocorrida no interior da lata, como função da movimentação do fluido. Ainda deve ser considerada a melhoria da transferência de calor por condução em toda a superfície do revestimento em alumínio. Conforme visto na teoria, o mecanismo de transferência condutivo é mais efetivo, assim como o coeficiente de película da convecção forçada é maior que da convecção natural, concordando com o verificado nesse experimento.

Outra mudança observada refere-se ao comportamento das temperaturas inferior e superior da placa interna do congelador. A oscilação dessas temperaturas em relação ao “set point” foi menos efetiva (curvas mais largas e simétricas). Isso se deve ao fato de que para esse sistema de estudo foi necessário o uso da haste acoplada via ventosa na lata. Essa haste foi conectada ao agitador que ficou na parte externa do congelador. Com isso, havia necessidade de um orifício no isolante para a passagem da haste a partir da lata até o motor agitador. Esse orifício acarretou no aumentando da carga térmica devido à infiltração contínua do ar quente no interior do espaço refrigerado. Isso implicou na lentidão do sistema em compensar a elevação da temperatura em função do furo no isolamento.

Considerando a velocidade de agitação da lata e o atrito entre a lata e a parte inferior, é conveniente supor que tenha ocorrido perda da eficiência de queda de temperatura em função do efeito entrópico (atrito gerando calor).

Partindo-se do exposto de que a entrada contínua de ar quente no espaço refrigerado diminui a eficiência do sistema em abaixar a temperatura do produto, tem-se a hipótese de que a velocidade de resfriamento neste caso estudado pode ser maior, isolando-se o orifício feito no isolante. Para verificar esse aumento da eficiência, foi feito um maior isolamento do orifício por onde passa a haste, efetuando-se novo teste cujos termogramas encontram-se na figura 14.

Figura 14 - Termograma obtido durante o resfriamento da lata de cerveja rotacionada em placa inferior do espaço refrigerado (evaporador) em sistema de refrigeração mecânica por compressão de porte doméstico, evitando a entrada de calor por infiltração no sistema.



Na figura acima observa-se que a diminuição da entrada de calor por infiltração melhorou o tempo de resfriamento, comparativamente ao caso anterior em 7 minutos. Por se tratar de uma menor quantidade de carga térmica a ser retirado do evaporador, houve esse aumento da velocidade de resfriamento calculada em:

$$vv^{PR} = \left| \frac{(0-20)}{(3800)} \right| \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{seg}} \right]$$

$$vv^{PR} = 0,32 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}} \right]$$

Outro fator de interesse é o comportamento das temperaturas na placa interna. Observa-se uma estabilização melhor do sistema, identificada pela diminuição da amplitude da oscilação em torno do “set point” do congelador. Esse aspecto pode ser também associado com a questão de abertura de portas, alertando para o impacto que a infiltração de ar tem sobre o consumo de energia em sistemas similares.

5.3 LATA DE CERVEJA PARADA REVESTIDA POR INVÓLUCRO

Nesta etapa os testes foram realizados para verificação do comportamento durante resfriamento de uma lata parada na parte inferior do espaço refrigerado, mas com o invólucro de algodão embebido em álcool para melhoria da transmissão condutiva de calor. Considerando a hipótese de que o invólucro impactaria no perfil de temperatura no interior da lata (através do líquido no interior da lata), foram realizados testes mantendo o poço de temperatura (que descolado do centro da lata) para baixo, para a esquerda e para a direita.

Neste segundo estudo, as variáveis foram identificadas com o subscrito PIP. Os ensaios foram feitos em situações diversas do posicionamento relativo do poço de temperatura em relação ao assoalho do congelador: para baixo (contato mais próximo do apoio inferior do congelador) e na posição oposta para cima foram diferenciados pelo subscrito cima e baixo, deixando a identificação da variável como PIP_{cima} e PIP_{baixo} . Nas posições esquerda e direita as notações ficaram, respectivamente, PIP_{esq} e PIP_{dir} .

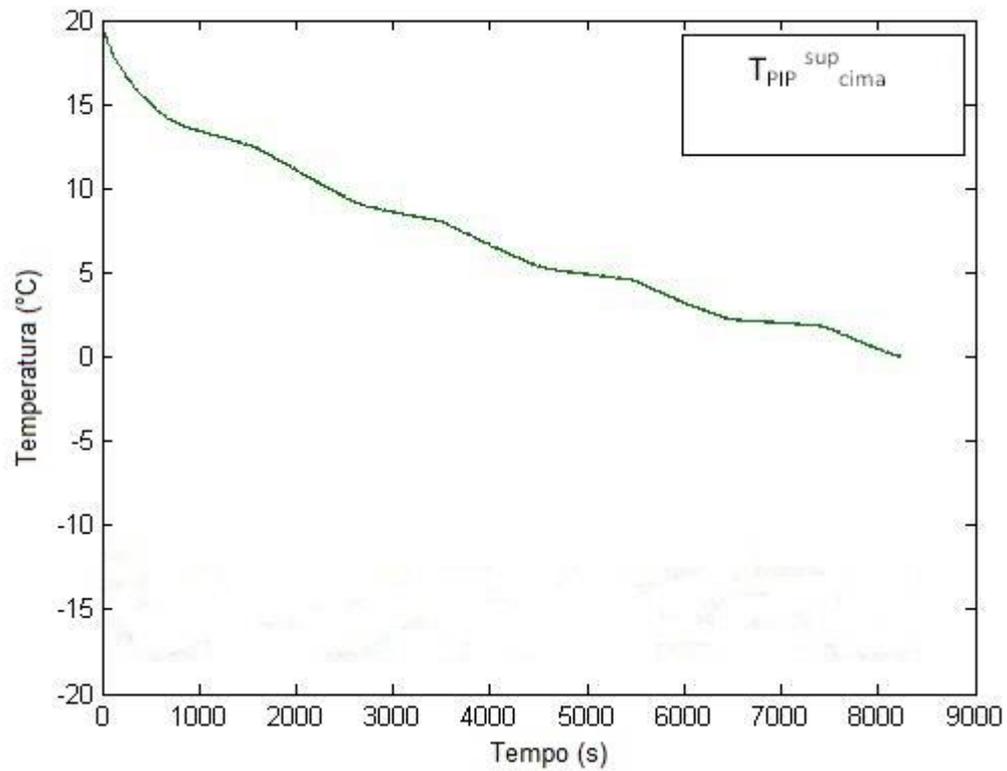
Portanto, seguem sequencialmente os testes nas figuras 15, 16, 17 e 18.

O registro da temperatura do interior no ponto superior do fluido dentro da lata (cima) leva ao valor de velocidade de resfriamento, calculado pela equação 4:

$$vv^{PIP\ cima} = \left| \frac{(0-20)}{(8500)} \right| \left[\frac{^{\circ}C}{seg} \right]$$

$$vv^{PIP\ cima} = 0,14 \left[\frac{^{\circ}C}{min} \right]$$

Figura 15 - Termograma durante o resfriamento da lata de cerveja parada, com invólucro umedecido com adição de álcool 92,8°, sistema de refrigeração mecânica por compressão de porte doméstico (ponto de referência em cima).

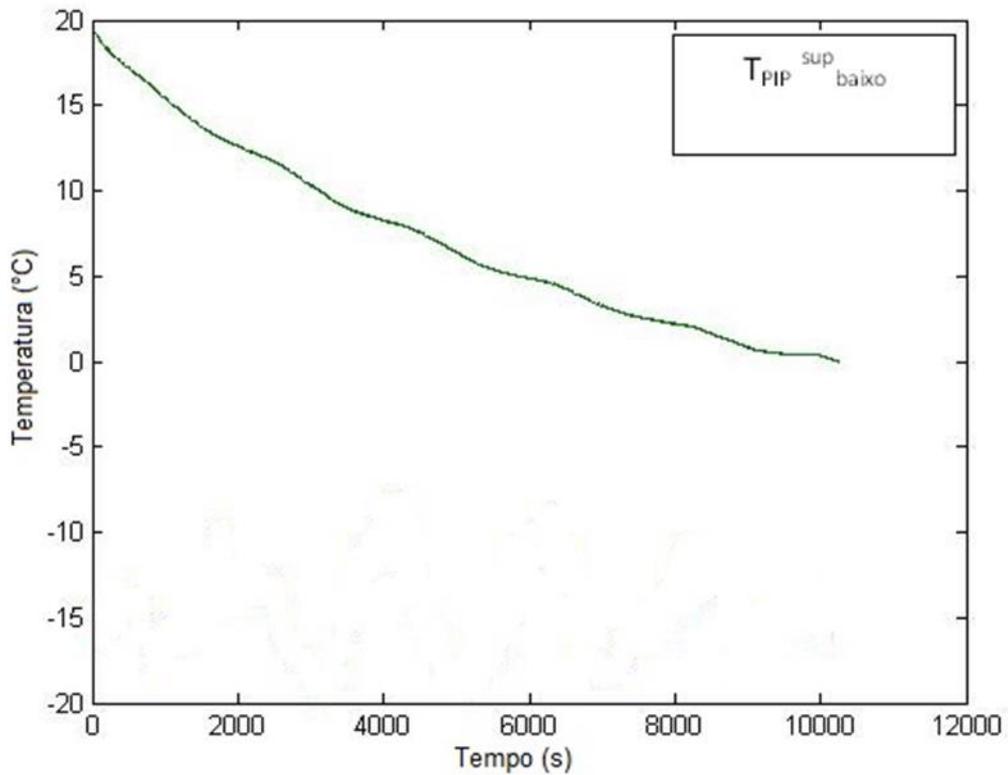


Pelo termograma da figura 16, a temperatura do interior no ponto inferior do fluido dentro da lata (em baixo) leva ao valor de velocidade de resfriamento segundo equação 4:

$$vv^{PIP}baixo = \left| \frac{(0-20)}{(1100)} \right| \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{seg}} \right]$$

$$vv^{PIP}baixo = 0,12 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}} \right]$$

Figura 16 - Termograma durante o resfriamento da lata de cerveja parada, com invólucro umedecido com adição de álcool 92,8°, sistema de refrigeração mecânica por compressão de porte doméstico (ponto de referência em baixo).

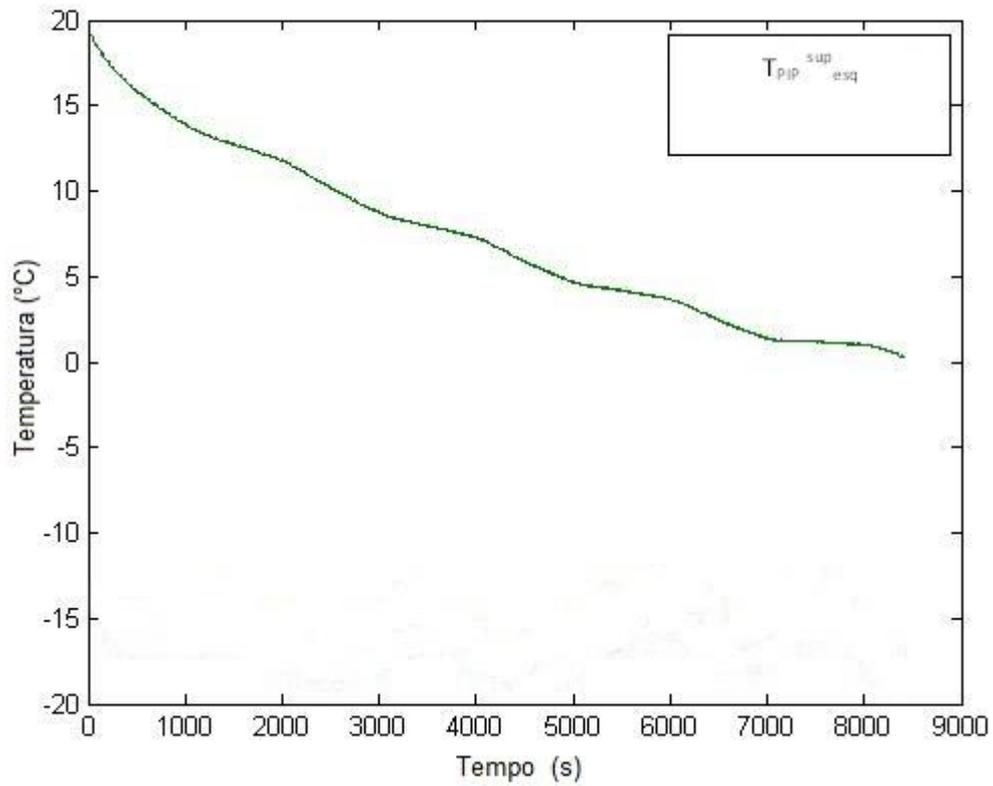


O termograma da figura 17, possibilita a visualização da temperatura do interior no ponto esquerdo do fluido dentro da lata (referencial de quem abre o congelador) leva ao valor de velocidade de resfriamento segundo equação 4:

$$vv^{PIP} esquerda = \left| \frac{(0-20)}{(1100)} \right| \left[\frac{°C}{seg} \right]$$

$$vv^{PIP} esquerda = 0,12 \left[\frac{°C}{min} \right]$$

Figura 17 - Termograma durante o resfriamento da lata de cerveja parada, com invólucro umedecido com adição de álcool 92,8°, sistema de refrigeração mecânica por compressão de porte doméstico (ponto de referência a esquerda).

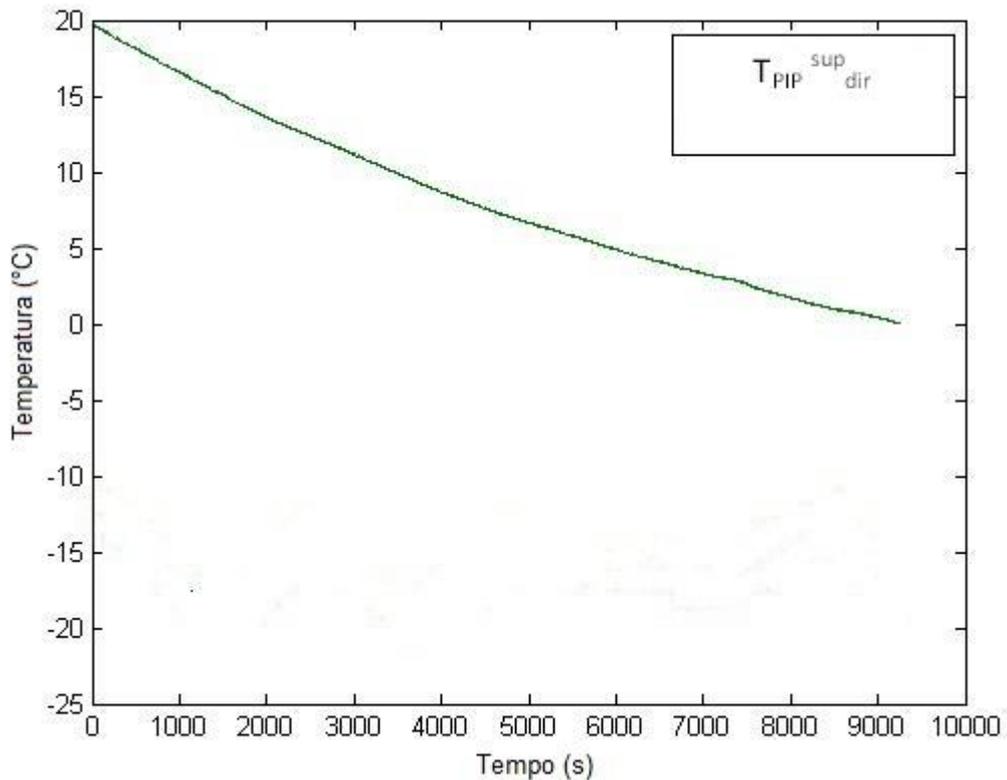


Finalmente a figura 18, possibilita a visualização da temperatura do interior no ponto direito do fluido dentro da lata (referencial de quem abre o congelador) com valor de velocidade de resfriamento segundo equação 4:

$$vv^{PIP} direita = \left| \frac{(0-20)}{(9200)} \right| \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{seg}} \right]$$

$$vv^{PIP} direita = 0,13 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}} \right]$$

Figura 18 - Termograma durante o resfriamento da lata de cerveja parada, com invólucro umedecido com adição de álcool 92,8°, sistema de refrigeração mecânica por compressão de porte doméstico (ponto de referência a direita).



Os ensaios com termogramas registrado nas figuras 15, 16, 17 e 18 demonstram os efeitos da remoção de calor do produto como resultado de mecanismos condutivos e convectivos. Considerando que a lata permaneceu em repouso, mudando-se apenas o posicionamento do poço de temperatura relativamente ao apoio horizontal do congelador, a condução foi verificada apenas da lata para a superfície do evaporador. As velocidades de resfriamento calculadas para as posições cima, baixo, esquerda e direita foram nesta ordem: 0,14 °C/min, 0,12 °C/min, 0,13°C/min e 0,12°C/min, portanto, não tendo sido encontradas diferenças consideráveis para os diferentes posicionamentos da lata.

Comparando essas velocidades de resfriamento com os estudos tanto padrão (lata sem isolamento e parada) como com a lata em rotação (sem invólucro), temos que a colocação do invólucro acarretou na menor velocidade de resfriamento. Isso sugere que, ao contrário do esperado, o invólucro umedecido com álcool 92,8° funcionou como isolante e não como promotor da melhoria da transferência condutiva ao redor da lata.

Eventualmente, se tivesse sido escolhido um fluido cujo ponto de evaporação acontecesse por volta da temperatura do congelador (-10°C), como por exemplo,

propilenoglicol, teria se conseguido o efeito evaporativo que somaria na eficácia da diminuição do tempo de resfriamento da bebida.

De acordo com ASHRAE (2001), o efeito evaporativo na refrigeração é obtido devido à permuta de calor latente por condições de aspensão de um meio líquido no refrigerador. O ar ambiente resfria o meio por uma relação de abaixamento do bulbo seco próximo à temperatura do bulbo úmido, em uma faixa constante de energia. Nesse efeito, a energia interna associada à refrigeração devem-se as propriedades de calor latente e calor sensível. O calor latente é responsável pela atividade de absorver calor quando o fluido refrigerante muda seu estado, não alterando a sua temperatura. Já o calor sensível é o seu oposto, fornecendo energia ao sistema, elevando a sua temperatura. Outro tipo de calor que deve ser citado no estudo é o calor específico, que por sua vez, é definida como: para cada grau de unidade de massa, seja ela, qualquer substância, tem-se um aumento necessário de energia para elevação da temperatura (ÇENGEL & GAJAR, 2012).

Deste modo, é possível a compreensão que não houve relação da condição de estudo prático sobre os efeitos evaporativos esperados, quando comparado com a literatura. De fato o tempo de resfriamento para essa última condição de uso do invólucro foi superior aos demais, o que segundo os estudos da literatura, se houvesse efeito evaporativo teria sido diferente. Ainda, os efeitos termodinâmicos esperados do invólucro como condição de “calor sensível”, também não foram verificados. Uma das possibilidades de não ter funcionado como o esperado, pode ter sido as propriedades sinérgicas ocorridas com o álcool 92,8° juntamente com o algodão. Esses fatores podem ter ocasionados o do aumento do tempo de resfriamento da temperatura, fazendo com que o mesmo funcionasse de forma a isolar a lata, o que não é desejo.

Uma observação visual constatada durante a execução do experimento neste último estudo, foi o isolante térmico formado uma crosta de gelo. Com esse efeito, a refrigeração mecânica por compressão será forçado a exigir maior quantidade de troca de calor com o meio para absorver o calor do produto a ser resfriado. Comumente, isso ocorre com os refrigeradores domésticos, fazendo com que comece a ter um processo recorrente de ligar e desligar o compressor para suprir assim a demanda de carga térmica a ser retirada do evaporador, por conta de características isolantes.

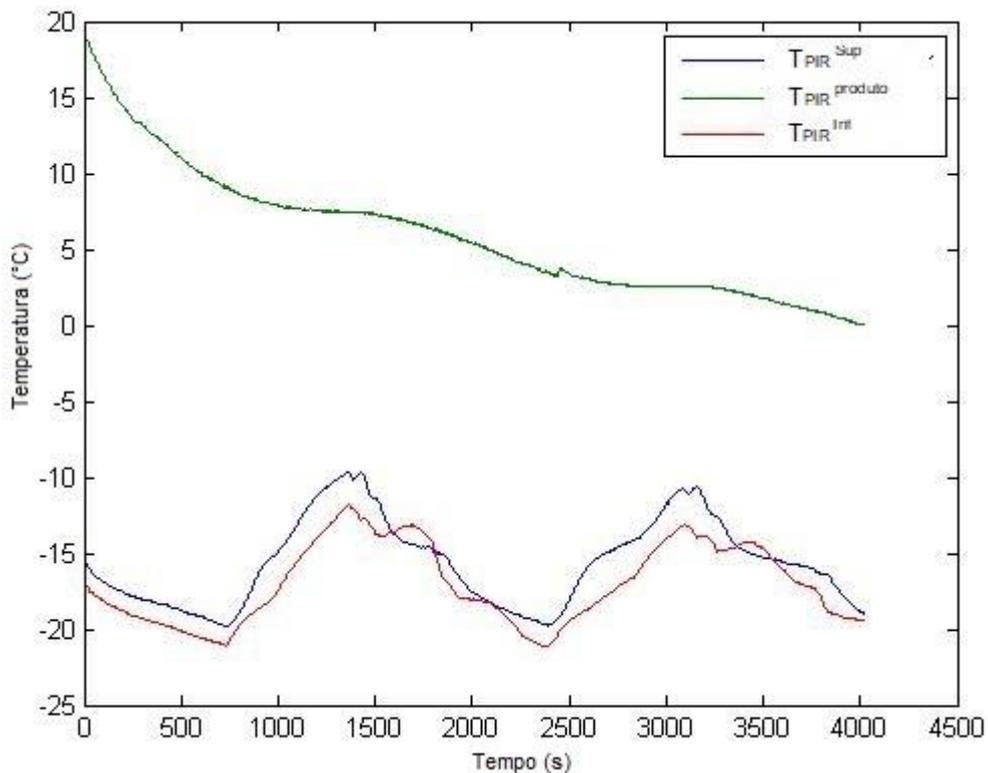
Essa, portando, pode ser o fator ocasionado ao processo do invólucro, onde, a partir do momento em que a mesma passaria a formar uma camada de gelo na superfície do algodão impedindo com que a troca de calor com o fluido refrigerante em meio à aletas não fosse

efetiva. Nesse caso, ainda, poderíamos relacionar esse fator pertinente ao comportamento do fluido refrigerante nos gráficos obtidos, sendo que, as variantes dos processos podem ter sido ocasionadas a camada de gelo do algodão exigindo assim uma demanda diferenciada para cada figura gráfica obtida.

5.4 LATA DE CERVEJA EM ROTAÇÃO SOBRE ALGODÃO UMEDECIDO

A investigação continuada da hipótese de que o atrito impacta negativamente na velocidade de resfriamento do produto foi feita colocando-se a lata sobre uma manta de algodão umedecido com álcool 92,8. Os resultados dessa análise encontram-se reportados na figura 19.

Figura 19 - Termograma obtido durante o resfriamento da lata de cerveja rotacionada sobre algodão umedecido com álcool em placa inferior do espaço refrigerado (evaporador) em sistema de refrigeração mecânica por compressão de porte doméstico.



A figura 19 podem ser comparados com os dados obtidos e plotados na figura 13, uma vez que condições experimentais são similares, diferindo apenas quanto o apoio do algodão entre a lata e a superfície inferior do congelador . Para este último caso, calcula-se o tempo de resfriamento (equação 4) sendo:

$$vv^{PIR} cama = \left| \frac{(0-20)}{(4000)} \right| \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Seg}} \right]$$

$$vv^{PIR} cama = 0,30 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}} \right]$$

Observa-se que, de fato, a velocidade de resfriamento para lata em rotação sobre o anteparo de algodão umedecido foi sensivelmente menor que para o ensaio sem a diminuição do atrito. Esse resultado reforça a explicação de que o sistema torna-se menos eficiente no abaixamento da temperatura devido ao efeito do atrito mecânico com consequente efeito entrópico de geração de calor.

Resumindo os resultados obtidos de velocidade de resfriamento para os ensaios propostos, tem-se a tabela 1.

Teste (Identificação)	Velocidade de resfriamento* $^{\circ}\text{C}/\text{min}$
Lata parada em posição horizontal (PP)	0,18 ^c
Lata em rotação, posição horizontal, com entrada de calor por infiltração pelo orifício da haste de agitação (PR ^{calor infiltrando})	0,28 ^b
Lata em rotação, posição horizontal, melhorando isolamento na posição do orifício da haste de agitação (PR ^{isolado})	0,32 ^a
Lata parada, em posição horizontal com poço de temperatura na posição de cima em relação ao plano de apoio (PIP _{cima})	0,14 ^d
Lata parada, em posição horizontal com poço de temperatura na posição de baixo em relação ao plano de apoio (PIP _{baixo})	0,12 ^f
Lata parada, em posição horizontal com poço de temperatura na posição esquerda em relação à abertura da porta (PIP _{esq})	0,12 ^f
Lata parada, em posição horizontal com poço de temperatura na posição de baixo em relação à abertura da porta (PIP _{dir})	0,13 ^e

* O subíndice identifica a ordem decrescente de velocidade de resfriamento.

6 CONCLUSÕES

Os dados obtidos neste trabalho comprovaram que o mecanismo de transferência de calor tradicionalmente utilizado para resfriamento de bebidas, nomeadamente a refrigeração mecânica por compressão, é bastante ineficiente uma vez que restringe-se a troca térmica por condução na parte de contato da lata com a superfície por onde circula o líquido refrigerante. Considerando que o fluido refrigerante circula pela placa do evaporador com vazão mássica controlada pelo funcionamento do compressor, torna-se evidente que o maior número de ciclos liga-desliga do sistema, bem como a amplitude desse ciclo de operação, acarreta em maior gasto energético. Com isso, é correto garantir a necessidade urgente de serem utilizados esses resultados na busca de mecanismos alternativos para abaixamento da temperatura de bebidas refrigeradas.

Com os resultados obtidos, comprovou-se que a promoção da movimentação do fluido do produto aumenta a velocidade de resfriamento na ordem de 55% pelo menos, comparativamente ao método tradicional com o fluido parado.

O trabalho avaliou o impacto de se revestir o corpo a ser resfriado com material que, inicialmente, promoveria aumento da superfície de troca de calor por condução. Entretanto, o material no modelo utilizado atuou como isolante em função do congelamento do fluido que embebia o invólucro. Essa ocorrência não descarta a hipótese de maior efetividade da troca por condução comparativamente a convecção natural. Uma avaliação crítica das condições experimentais testadas demonstra que a escolha do invólucro foi infeliz, deixando a indicação de que outras soluções fossem utilizadas (soluções com menores pontos de congelamento onde o corpo pudesse ser mergulhado). Sugere-se essa investigação em trabalhos futuros. Outra hipótese apontada, mas sem sucesso na conclusão, é a efetividade da promoção do abaixamento da temperatura pelo efeito evaporativo. Nesta investigação, seria indicado um acompanhamento paralelo da taxa de evaporação, bem como das energias relativas sendo removidas do corpo. Registra-se assim, novas perspectivas de estudo.

Concluindo, o presente trabalho possibilitou a aplicação dos conhecimentos de Termodinâmica, Transferência de Calor, Instrumentação Industrial e Controle de Processos. Além disso, foram necessárias várias mudanças nas configurações dos equipamentos, até que se fosse possível a obtenção do modelo físico onde foram realizados os ensaios. Ao final da execução do trabalho, obteve-se a indicação de que um mecanismo com simples movimentação do corpo em contato com a placa resfriada, dispensando o espaço não ocupado ao redor, implica em eficácia e eficiência no processo de resfriamento de bebidas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, VENTILATING AND AIR, ASHRAE. **Fundamentals Handbook**. Atlanta – USA: ASHRAE 2001.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, VENTILATING AND AIR, ASHRAE. **Fundamentals Handbook**. Atlanta – USA: ASHRAE 2001.

BHARTT, Siddhartha M. Domestic Refrigerators: field studies and energy efficiency improvement. *Journal of Scientific and Industrial Research*. v. 60. pp.591-600. 2001.

Björk, E., PALM, B. **Performance of a domestic refrigerator under influence of varied expansion device capacity, refrigerant charge and ambient temperature**. *International Journal of Refrigeration*, 2006. Vol. 29, Pages 789-798.

CEMIG. CIA Energética de Minas Gerais, 2015. Acessado em 03/11/2015: http://www.cemig.com.br/pt-br/energia_e_voce/Documents/hotsite/index2.html.

CPFL – **Companhia Paulista de Força e Luz**, 2015. Acessado em 03/11/2015: <http://www.cpfl.com.br/new/index.asp>.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. 7. ed. Porto Alegre, RS: AMGH, 2013. 1018 p.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4. ed. São Paulo, SP: McGraw-Hill, Bookman, AMGH, 2012. 902 p.

CRUZ, R. R. **Eficiência do Resfriamento de Cerveja através do uso de Papel Umedecido**. 5p. 2012.

FDF (Food and Drink Federation). **Food & Drink Industry Refrigeration Efficiency Initiative**. 2007. Disponível em: http://www.ior.org.uk/ior_/images/pdf/general/REIG-5%20Site%20Guidance%20Topics%20-%20Final%20Jul-07.pdf.

GRASSELLI, E. P. **Estudo do impacto da substituição do R22 em um ciclo de refrigeração**. 2017. 21 páginas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

HEINZLE, G. NAZARIO, M. C. THIESSEN, M. R. **COOLING SYSTEM FOR CABINET AND COOLING CABINET BY FORCED AIR**. 2017. Disponível em: https://www19.j-platpat.inpit.go.jp/PA1/cgi-bin/PA1DETAIL?MaxCount=1000&PageCount=1000&Search-Type=0&TempName=wj-ajaa&MaxPage=1&DispPage=1+1000&HitCount=23&ResultId=I00267002101&CookieId=2&DetailPage=1&Language=ENG&Reserve1=DetailPaging&Reserve2=zW4y41759_IFfaa30g8S&Reserve3=.

JANNUZZI, G. M. et al. **Políticas públicas para eficiência energética e energia renovável no novo contexto de mercado: uma análise da experiência recente dos EUA e do Brasil**. Campinas: [s.n.]. 2000.

MUFFLY, Glenn. **Bottle cooling and dispensing refrigerator**. 1950. Disponível em: <http://www.freepatentsonline.com/2496304.pdf>.

PAROLIN, R. S.; SOARES, C. G. T.; JOHANSSON, N. M. S. **Resfriamento da cerveja**. Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul, 2001. Disponível em: http://www.projetos.unijui.edu.br/matematica/modelagem/cerveja_modelo/cerveja.html. Acessado em 01/ 11/ 2017.

POSSAMAI, F. C. **Escoamento Laminar Através de Válvulas Inclínadas de Compressores de Refrigeração**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994.

PILLIS, J. **Screw Compressors Basics, YORK Refrigeration - Technical Description of FV19D - SABROE REFRIGERATION AB**. Tradução e Adaptação da Engenharia de Aplicação da Divisão de Contrato YORK Refrigeration, Joinville, 2005.

QUITES, E. E. C.; LIA, L. R. B. **Introdução à transferência de calor**. Universidade Federal Do Piauí, p. 123, 2012.

SCHMIT, A. C. **Comportamento Térmico de um Refrigerador Doméstico quando Submetido a Abertura e Fechamento de Porta**. 2000, 98p. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

SEELANT, J. J. **Refrigerador de Bebidas de Alto Rendimento**. 2011. 52 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Manutenção Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2011.

SHOPPING DO LABORATÓRIO. **Balança semi analítica milesimal (BEL M503) capacidade 500g INMETRO #**. Acessado em 24 de outubro 2017: [https://www.shoppingdolaboratorio.com.br/p-1097095-Balanca-semi-analitica-milesimal-\(BEL-M503\)-capacidade-500g-INMETRO-%23](https://www.shoppingdolaboratorio.com.br/p-1097095-Balanca-semi-analitica-milesimal-(BEL-M503)-capacidade-500g-INMETRO-%23).

SIRBONE, F. R. C. **Modelagem Semi - Empírica de Compressores Herméticos Alternativos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos 2007.

SPLABOR, Equipamentos para Laboratórios. **Agitador Mecânico Digital – Capacidade até 25 litros – Indicado para agitar 25 litros de água ou outros produtos de menor volume – Modelo 713D – FISATOM**. Acessado em 24 de outubro de 2017: <http://www.splabor.com.br/produto/agitador-mecanico-digital-capacidade-ate-25-litros-indicado-para-agitar-25-litros-de-agua-ou-outros-produtos-de-menor-volume-modelo-713d-fisatom/>.

TASSINI, J. O. **Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial: Estudo de Caso**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Transmissão e Conversão de Energia) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

The Danfoss Group. **“Amônia na Refrigeração Industrial”**;
<http://refrigerationandairconditioning.danfoss.com.br/refrigerants/industrialrefrigeration/ammônia/#/>. Acessado em 25/09/2017

V-TeX. Inovation Convention 2014: Press Release. Brussels. 17 September 2013. Acessado em 03/11/2015: <http://www.v-tex-technology.co.uk/#/innovation-convention-2014/4565986264>.

VENTURINI, O. J.; PIRANI, M. J. **Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial**. 1. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005a. 316 p.

VENTURINI, O. J.; PIRANI, M. J. **Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial – Manual Prático**. 1. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005b. 75 p.

VERRAN, G. O.; KURZAWA, U.; PESCADOR, W. A. **Reciclagem de Latas de Alumínio Visando a Obtenção de Matérias Primas com Qualidade para Aplicação em Processos Metalúrgicos de Fabricação**. ICTR 204 - CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. 2004, Florianópolis.

WALTRICH, P. J. **Análise e Otimização de Evaporadores de Fluxo Acelerados Aplicados**