



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
BRUNO KOECH LISBOA

**REFRIGERAÇÃO DE AMBIENTES POR ABSORÇÃO UTILIZANDO ENERGIA
SOLAR TÉRMICA COM ÊNFASE NA REDUÇÃO DA CARGA DO SISTEMA
ELÉTRICO NACIONAL:
UMA ALTERNATIVA À REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO MECÂNICA DE
VAPOR**

Florianópolis
2017

BRUNO KOECH LISBOA

**REFRIGERAÇÃO DE AMBIENTES POR ABSORÇÃO UTILIZANDO ENERGIA
SOLAR TÉRMICA COM ÊNFASE NA REDUÇÃO DA CARGA DO SISTEMA
ELÉTRICO NACIONAL:
UMA ALTERNATIVA À REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO MECÂNICA DE
VAPOR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Pós-Graduação "lato sensu" em Energias Renováveis com Ênfase em Sustentabilidade da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Luiz Felipe, Esp.

Florianópolis

2017

BRUNO KOECH LISBOA

**REFRIGERAÇÃO DE AMBIENTES POR ABSORÇÃO UTILIZANDO ENERGIA
SOLAR TÉRMICA COM ÊNFASE NA REDUÇÃO DA CARGA DO SISTEMA
ELÉTRICO NACIONAL:
UMA ALTERNATIVA À REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO MECÂNICA DE
VAPOR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Pós-Graduação "lato sensu" em Energias Renováveis com Ênfase em Sustentabilidade da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis.

Florianópolis, 26 de agosto de 2017.

Professor e orientador Luiz Felipe, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. João Luiz Alkaim, Dr.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Sr. Fábio Mendes, Esp.
ENGIE

Dedico este trabalho ao meu filho Gabriel, que nasceu durante o desenvolvimento deste projeto, para que possa usufruir dos benefícios deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, em especial a meus pais e minha esposa, por me apoiar e incentivar a buscar sempre o aprimoramento humano e profissional.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará a seu tamanho original.”
(Oliver Wendell Holmes, Sr.).

RESUMO

O Sol fornece à atmosfera da Terra $1,53 \times 10^{18}$ kWh por ano, enquanto o consumo energético mundial em 2008 segundo a DOE/EIA dos Estados Unidos foi de $1,48 \times 10^{14}$ kWh, ou seja, cerca de 10.000 vezes mais que toda a demanda energética do planeta. Grande parte desta energia chega a Terra em forma de calor e luz. Energia luminosa esta, pode ser convertida em eletricidade em painéis fotovoltaicos através do efeito fotoelétrico, entretanto com baixo rendimento, alto custo de implantação e sensível a altas temperaturas.

As ondas térmicas oriundas do Sol, por sua vez, e que são aplicadas ao sistema proposto nesta pesquisa, podem se converter em energia útil com um maior rendimento e menor custo de implantação em comparação com um sistema fotovoltaico e com a vantagem de quanto maior a temperatura, maior a conversão de energia.

O Centro PROCEL (2005) aponta que 44% da energia elétrica nas residências brasileiras são utilizadas para aquecimento de água para banho e condicionamento de ar. Desta forma, converte-se energia elétrica, energia nobre, em energia térmica.

A energia elétrica geralmente é gerada longe das unidades consumidoras, somando-se a essa pesquisa além da vantagem do uso racional de energia, a redução da necessidade de construção de sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, sendo esta uma forma de geração de energia que se junta e fortalece ao movimento de geração distribuída.

A energia elétrica está diretamente relacionada ao IDH, sendo o tipo de matriz energética adotada, outro indicador de desenvolvimento, associando-se matrizes limpas e renováveis aos indicadores de países mais desenvolvidos ou a caminho do desenvolvimento.

A pergunta que motivou essa pesquisa foi: "Quais contribuições que essa forma de energia pode oferecer para a transformação da realidade energética brasileira e porque se acredita nisso?". De modo que o objetivo central deste trabalho é apontar evidências de que a utilização da energia solar térmica pode

contribuir de maneira significativa com dois vetores de grande impacto ambiental que são o uso racional de energia e a redução da necessidade de construção de redes de transmissão e distribuição.

Utilizar o calor oriundo do Sol para esquentar água em residências já é um processo bem disseminado e de grande aceitação. Por sua vez, utilizar o calor como fonte de energia para separar um fluido do outro e aumentar sua entalpia, processo que, apesar de conhecido e dominado, não atraiu os olhares da população e dos governos, estes últimos responsáveis por conceder estímulos à utilização do refrigerador solar.

O princípio deste equipamento consiste em um fluido absorvedor e de um fluido refrigerante que formam uma mistura líquida homogênea, sem interagir, que são separados pela atuação de calor, proveniente do Sol, ou outra fonte, em vapor do refrigerante e absorvedor líquido. O vapor de refrigerante passa pelo condensador, perde calor, e volta ao estado líquido. Na sequência sofre uma expansão adiabática, reduz sua temperatura e ocorre a formação de bolhas de vapor de refrigerante. Em seguida o fluido atravessa um trocador de calor que retira calor do ambiente e atinge o estado de vapor saturado. O líquido absorvedor neste momento se mistura novamente com o refrigerante, liberando calor e sendo bombeado novamente para a alta pressão, reiniciando o ciclo.

Podem ser usadas várias misturas de refrigerante/absorvedor para o sistema. As mais comuns, entretanto, são “amônia + água” e “água + brometo de lítio”, sendo, em ambos os casos, o primeiro componente o refrigerante e o segundo, o absorvedor. A mistura “amônia + água” foi muito empregada durante o desenvolvimento desta tecnologia, entretanto por utilizar um gás nocivo à camada de ozônio, esta mistura foi substituída pelo brometo de lítio + água, mistura menos agressiva à natureza.

Como resultado da pesquisa identificou-se um grande mercado consumidor para esta tecnologia, seja em aplicações de condicionamento de ambientes, ou em refrigeradores, e que, atenções governamentais e empresariais se fazem necessárias.

Palavras-chave: Sol. absorção. refrigeração.

ABSTRACT

Sun delivers to the Earth atmosphere 1.53×10^{18} kWh per year, while the world energetic consumption according to DOE/EIA in 2008 was 1.48×10^{14} kWh. In this way, the solar energy that arrives to our planet is 10,000 times bigger than our demand. A great part of this energy comes as light and heat. Light that can be converted in electricity by photovoltaic panels by the photoelectric effect, meanwhile with low efficiency, high expenses of implantation and sensible to high temperatures.

On the other hand, the solar thermal waves that reach the Earth, and are directed to the suggested system object of this research, can convert into useful energy with higher efficiency, lower cost of implantation when compared to photovoltaic panels, and with the great advantage that as higher the temperature of the collectors, bigger the energy conversion.

PROCEL (2005) says that 44% of electric energy from Brazilian homes are used to bath water heating and air conditioning, transforming electricity, a noble energy, in thermal energy.

Electricity, in general, is produced far from the consumer units and involves large amount of resources to deliver this energy to final consumer. This research aims to the rational use of electricity and also to reduce the needs of transmission and distribution lines.

Electricity is straight associated to HDI, as the type of energy matrix adopted in a country is another indicator of development, associating cleaner and renewable matrices to developed countries, or in the way of development.

The question that targeted this quest was: "Which contributions this form of energy can offer to the transformation for Brazilian energetic reality and why is that belief?" In the way that the main goal of this paper is to point evidences that the use of thermal solar energy can significantly contribute to two vectors of great environmental impacts, which are the rational use of electrical energy and to reduce the needs of building new transmission and distribution lines.

However the use of solar energy to heat water is a well-known and well-accepted technology, the use of heat to produce cold is not well-spread, besides

being a technology that precedes the mechanical steam compression and well-studied. There is no stimulus, neither from the government or society, to embrace the idea of cooling with the Sun. Perhaps just unfamiliarity with the theme.

The main principle of this equipment consists in an absorber fluid and a refrigerant in a homogeneous mix, with no interaction between them, which can be separated by the action of heat, be it from the Sun or any other source of energy, in refrigerant steam and liquid absorber. As soon as the refrigerant is alone, it passes through a heat-exchanger to lose heat and condensate. As soon as the refrigerant get in the liquid state it passes through a pressure reducing valve when occurs an adiabatic expansion, reducing its temperature and allowing the formation of bubbles. Then the fluid passes through another heat exchanger, the evaporator, and the bubbles of refrigerant increase its development until the state of saturation as the refrigerant removes heat from the environment to be refrigerated. The saturated steam is then mixed with the absorber fluid that reduces its specific volume and release heat. A pump pushes the solution to the higher pressure of the system and the cycle restarts.

The system can use several mixes of refrigerant/absorber according to the conditions of work and temperatures needed. The most common mixes are “ammonia + water” and “water + lithium bromide”, in both cases the first component is the refrigerant and the second, the absorber. During the development of this technology, the mix of “ammonia + water” was widely used, but it lost space to “water + lithium bromide”, because it’s safer and more environment-friendly.

This research identifies a large market for this technology, in the field of air-conditioning or refrigeration, and that special attention should be given to this subject.

Keywords: Sun, Absortion, Refrigeration

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial brasileiro.....	18
Figura 2 - Utilização de Energia Elétrica por Setores.....	23
Figura 3 - Configuração de instalação de um coletor solar estacionário	26
Figura 4 – Coletor solar de Placa Plana com tubos horizontais e verticais	28
Figura 5 - Coletor Solar de Placa Plana com tubulação em serpentina	28
Figura 6 - Coletor Parabólico em Calha	30
Figura 7 - Painel com vários coletores Parabólicos Compostos.....	30
Figura 8 - Vista em Corte do painel com vários coletores parabólicos compostos e partes integrantes.....	30
Figura 9- Arranjo de um Coletor de Tubos Evacuados	32
Figura 10 - Trocador de Calor com o solo	33
Figura 11 - Torre de Resfriamento	34
Figura 12 - Esquema de uma célula Peltier.....	34
Figura 13 - Diagrama de funcionamento de um ar-condicionado operado por compressão.....	35
Figura 14- Gráfico de Pressão x Entalpia do R-134a.....	36
Figura 15 - Esquemático de um sistema de refrigeração por absorção de calor	38
Figura 16 - Esquemático de um sistema de refrigeração operado por trabalho	40
Figura 17 - Diagrama Pressão x Entalpia do refrigerador proposto	41
Figura 18 - Volume de Controle do Evaporador	42
Figura 19 - Volume de Controle no Compressor	43
Figura 20 - Diagrama Esquemático do Sistema de Refrigeração por Absorção	44
Figura 21 - Diagrama Pressão x Entalpia da Água no Ciclo Proposto	45
Figura 22 - Volume de Controle no Evaporador do Ciclo de Absorção de Vapor.....	46
Figura 23 - Gráfico da Concentração de Soluções Saturadas de LiBr-Água pela Pressão e Temperatura.....	47
Figura 24 - Volume de Controle no Gerador	48
Figura 25 - Entalpia das Soluções de LiBr-Água.....	49
Figura 26- Eficiência dos Coletores Solares quanto a diferença de temperatura.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades do fluido no sistema	41
Tabela 2 - Propriedades da Água Pura no Ciclo de Refrigeração Proposto	45
Tabela 3 - Entalpia nos pontos do gerador	49
Tabela 4 – Distribuição de gastos com eletricidade numa residência com ar condicionado operado por compressão mecânica de vapor	53
Tabela 5 - Distribuição de gastos com eletricidade numa residência com ar condicionado operado por absorção de vapor	54

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Somatório de Massa e Energia aplicado ao Evaporador	42
Equação 2 - Somatório de Massa e Energia no Compressor	43
Equação 3 - Somatório de Massa e Energia no Evaporador	46
Equação 4 - Balanço de Massa no Gerador de Vapor	47
Equação 5 – Fórmula para Determinação da Densidade para Soluções de LiBr e Água.....	47
Equação 6 - Determinação de Potência para a Bomba da Solução.....	48
Equação 7 - Determinação do Calor Necessário para Geração de Vapor	49

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
COP	Coeficiente de Performance
DOE	Department of Energy
EIA	Energy Information Administration
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IEO	International Energy Outlook
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LiBr	Brometo de Lítio
PROCEL	Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	TEMA E PROBLEMA	17
1.2	– OBJETIVOS	18
1.2.1	– Objetivo Geral	19
1.2.2	– Objetivo Específico	19
1.3	– JUSTIFICATIVA	20
1.4	METODOLOGIA DE PESQUISA.....	20
1.5	DELIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	21
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	UTILIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	23
2.2	ENERGIA SOLAR	24
2.2.1	Geometria Solar	25
2.2.2	Coletores Solares	26
2.2.2.1	Coletores de Placas Planas	27
2.2.2.2	Coletor Parabólico Composto.....	29
2.2.2.3	Coletor de Tubo Evacuado.....	31
2.2.3	Comparação entre coletores não concentradores	32
3	TECNOLOGIAS DE SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR	33
3.1	COMPRESSÃO MECÂNICA DE VAPOR.....	35
3.2	REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO DE VAPOR.....	37
4	DIMENSIONAMENTOS	40
4.1	DIMENSIONAMENTO DE UM REFRIGERADOR POR COMPRESSÃO MECÂNICA DE VAPOR COM R-410A OPERANDO COMO FLUIDO DE TRABALHO	40
4.2	DIMENSIONAMENTO DE UM REFRIGERADOR POR ABSORÇÃO DE VAPOR COM ÁGUA OPERANDO COMO FLUIDO DE TRABALHO E BROMETO DE LÍCIO COMO ABSORVENTE	44
5	ANÁLISE DE CASOS	52
5.1	CONSUMO ENERGÉTICO NUMA RESIDÊNCIA-PADRÃO UTILIZANDO AR-CONDICIONADO POR COMPRESSÃO MECÂNICA DE VAPOR.....	52

5.2	CONSUMO ENERGÉTICO NUMA RESIDÊNCIA-PADRÃO UTILIZANDO AR-CONDICIONADO POR ABSORÇÃO DE VAPOR.....	53
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	56
7	REFERÊNCIAS	57
8	ANEXOS.....	60
8.1	ANEXO A – FICHA TÉCNICA DO BROMETO DE LÍTIO.....	61
8.2	ANEXO B – RELATÓRIO ANEEL – CONSUMIDORES, CONSUMO, RECEITA E TARIFA MÉDIA – CLASSE DE CONSUMO	70

1 INTRODUÇÃO

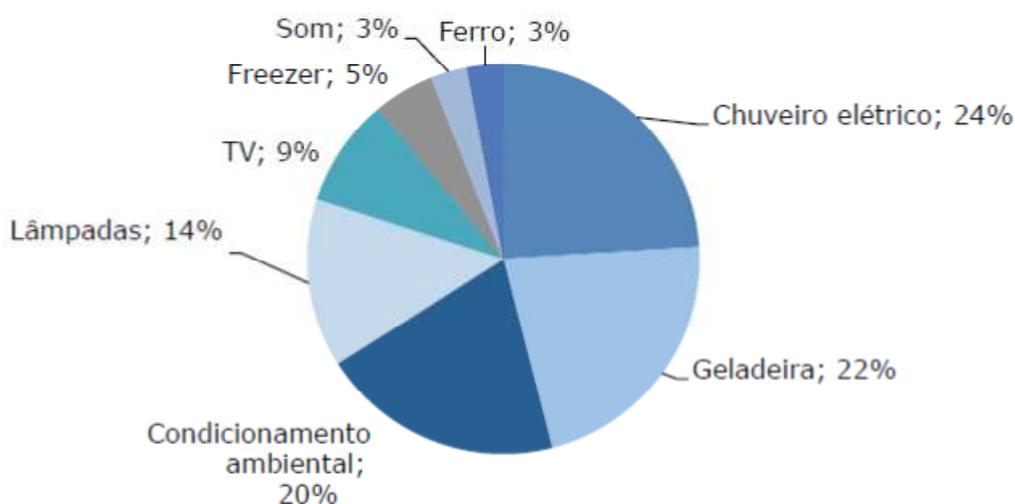
1.1 TEMA E PROBLEMA

O ser humano sempre foi dependente de energia. Seja para as grandes produções de alimentos, área em que o Sol exerce papel fundamental na síntese energética das plantas, através da fotossíntese; seja para o pleno funcionamento de um reator nuclear, que pode fornecer energia suficiente, através da fissão de átomos de material radioativos, para que um submarino passe anos sem ser necessário reabastecer.

A realidade é que, segundo dados do IEO 2016 do DOE/EIA, em 2012 o consumo energético mundial foi de 161×10^{12} kWh, dos quais $21,6 \times 10^{12}$ kWh foram de energia elétrica. Estima-se que para 2040 o consumo energético total e de eletricidade chegue a valores respectivamente de 239×10^{12} kWh e $36,5 \times 10^{12}$ kWh.

Para suprir este incremento de quase 70% no uso de energia elétrica é necessário que se construam novas fontes de energia elétrica, sejam elas convencionais ou renováveis. Por outro lado, pode-se diminuir este incremento utilizando equipamentos mais eficientes e adequados para cada situação.

Um exemplo clássico de uso inadequado de energia elétrica é quando esta é utilizada de maneira a produzir calor. Pela facilidade com que a eletricidade adentra aos lares brasileiros é comum que se utilizem aquecedores de água ou mesmo de ambientes operados por energia elétrica, quando em locais com maior consciência energética estes aquecedores têm seu funcionamento através de queima direta de combustível ou ainda da utilização de energia solar ou geotérmica. Essa transformação de energia elétrica em térmica causa impactos significativos nas redes de distribuição, conforme visualizado no gráfico abaixo:

Figura 1 - Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial brasileiro

Fonte: Vasconcellos, L.E.M.; Limberger, M.A.C. (2016)

Tendo em vista a Figura 1, percebe-se que cerca de 70% da utilização dos eletrodomésticos tem por objetivo a troca de calor (chuveiro elétrico, geladeira, freezer, condicionamento ambiental e ferro-de-passar-roupa).

Certamente a proposta deste trabalho não é que se volte a utilizar carvão e brasa para se passar uma roupa, tampouco que se pare de utilizar os ares-condicionados, tão importantes na qualidade de vida num país tropical como o Brasil.

O que se propõe com este estudo é uma conscientização sobre a conversão de energia, com foco no condicionamento ambiental, uma vez que cada transformação gera um aumento de entropia, reduzindo assim a eficiência do sistema elétrico, criando a necessidade de uma rede cada vez mais robusta.

1.2 – OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos desta pesquisa.

1.2.1 – Objetivo Geral

Este trabalho tem finalidade de analisar a viabilidade de implementar um refrigerador por absorção de vapor operado através do calor oriundo de energia solar, de modo a utilizá-lo no condicionamento ambiental, reduzindo o impacto nas redes de distribuição de energia elétrica.

1.2.2 – Objetivo Específico

- a) Calcular um sistema de refrigeração por Compressão Mecânica de Vapor
- b) Calcular um sistema de refrigeração por Absorção de Vapor de mesmas características
- c) Calcular os requisitos de potência elétrica dos dois sistemas
- d) Verificar a necessidade de calor para o sistema de absorção de vapor
- e) Dimensionar um sistema de coletor solar para atender as necessidades energéticas do ciclo de absorção
- f) Comparar a eficiência energética do sistema operado por calor, com o sistema sendo operado por trabalho
- g) Realizar uma análise de caso comparando os custos relacionados ao consumo energético de uma residência média brasileira com um ar-condicionado por compressão mecânica de vapor e por absorção de vapor.

1.3 – JUSTIFICATIVA

Como o sistema elétrico está em constante ampliação, devido à necessidade de crescimento da economia, a melhor utilização de fontes energéticas se faz necessária para que o incremento desta demanda de eletricidade consiga suprir as cargas das quais o país depende para continuar avançando. A utilização da energia solar para a refrigeração além de auxiliar na redução da dependência do sistema também proporciona às camadas com menor poder aquisitivo uma forma de poder contar com conforto térmico em suas residências, tendo em vista que muitas famílias não utilizam ar-condicionado devido aos altos custos envolvidos nos sistemas convencionais de refrigeração por compressão mecânica de vapor.

1.4 METODOLOGIA DE PESQUISA

Segundo Apolinário (2011, p. 146), pesquisa aplicada é:

Pesquisa realizada com o objetivo de resolver problemas ou necessidades concretas e imediatas. Nessa modalidade de pesquisa, os problemas costumam ser definidos não pelo pesquisador, mas sim pela instituição ou órgão financiador público ou privado que custeia a pesquisa.

O mais importante numa pesquisa, segundo Celicina Borges Azevedo (2013, p. 21), é precisar aquilo que se deseja saber. Desta forma, este trabalho seguirá como uma pesquisa aplicada exploratória, que segundo Malhotra (2012, p. 58) é um “tipo de concepção de pesquisa que tem como principal objetivo ajudar a compreender a situação-problema enfrentada pelo pesquisador” acerca das vantagens e desvantagens de se utilizar a radiação solar para a refrigeração de ambientes a partir do princípio de absorção de vapor.

De natureza quantitativa, que segundo Marconi e Lakatos (2010, p.286), “evidencia a observação e a valorização dos fenômenos; estabelece

ideias; demonstra o grau de fundamentação; revista ideias resultantes da análise; e propõe novas observações e valorizações para esclarecer e/ou fundamentar respostas e ideias;”, basear-se-á em resultados teóricos (fórmulas físicas) comparativos entre a eficiência de um sistema “padrão” por compressão mecânica de vapor, e a eficiência de um sistema por absorção de vapor.

Os procedimentos de coleta e de tratamento dos dados para o presente trabalho serão fundamentados através de pesquisa bibliográfica. Esta pesquisa bibliográfica será realizada de modo a se entender o funcionamento dessas máquinas térmicas e para obtenção de propriedades termodinâmicas por meio de tabelas das substâncias.

1.5 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Esta pesquisa tem como foco a região da grande Florianópolis, Estado de Santa Catarina. As transformações físicas apresentadas neste trabalho são consideradas como ideais. Este trabalho limita-se a apresentar, dimensionar e comparar a tecnologia de refrigeração por absorção de vapor com as demais tecnologias do mercado através de um enfoque técnico, não fazendo um levantamento quantitativo dos custos envolvidos, mas qualitativos.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho será dividido em 5 capítulos, sendo eles: Introdução, Fundamentação Teórica, Metodologia, Conclusões e Recomendações para Trabalhos Futuros, Referências Bibliográficas.

Durante a Introdução será apresentado o tema a ser estudado, bem como a importância deste estudo, os objetivos gerais e específicos do mesmo, a forma como foram coletados os dados, as delimitações da pesquisa e a estrutura na qual o trabalho está segmentado.

Na Fundamentação Teórica serão apresentada algumas características do uso da energia elétrica no Brasil e algumas formas de tornar seu uso mais racional. Serão detalhados os funcionamentos dos aparelhos de condicionamento ambiental mais comuns, com foco principal nos ciclos de refrigeração por compressão mecânica de vapor e por absorção de vapor. Os princípios de radiação de calor oriundos do Sol e a forma como esta energia é coletada e utilizada também fazem parte deste capítulo.

Durante a Metodologia serão dimensionados dois sistemas de condicionamento de ar utilizando ciclos distintos, primeiramente o ciclo operado por trabalho, compressão mecânica de vapor, e em seguida o ciclo operado por calor, absorção de vapor. Em seguida, após as necessidades de calor e trabalho já definidas, será dimensionado o coletor solar para servir como fonte de calor ao ciclo de absorção de vapor.

Em conclusão e recomendações para trabalhos futuros serão comparados os requisitos energéticos dos dois ciclos anteriormente dimensionados e feita uma análise quanto a sua viabilidade técnica e econômica. Será verificado o quanto o ciclo proposto neste trabalho oferece de economia energética, e qual o impacto que este sistema pode acarretar nas redes de distribuição de energia se absorvido em grande escala pela população brasileira. Além de discutir alguns temas que podem ser objetos de estudo de outras pesquisas e que se complementam com o assunto abordado neste TCC.

Os livros, artigos, publicações, teses, dissertações e mesmo sites de internet que foram usados para a elaboração deste trabalho estão citados nas Referências Bibliográficas.

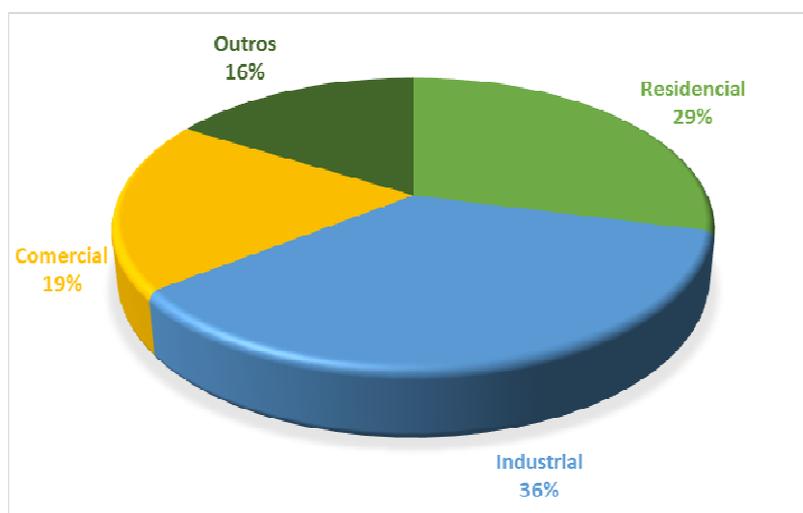
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 UTILIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Segundo o Banco de Informações de Geração apresentado pela ANEEL e atualizado no dia 25/02/2017, o Brasil possui 4.659 empreendimentos de geração em operação e 812 empreendimentos em construção ou em fase de estudos, totalizando respectivamente 151,7GW e 24,7GW. Isso quando falamos em potência, ou disponibilidade de energia, entretanto quando analisamos a energia elétrica total utilizada pelo Brasil no ano de 2016, segundo a EPE tem-se um total de 460TWh.

Deste total de energia, segundo planilha elaborada pela EPE, “Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (Regiões e Subsistemas) 2004-2016.xls”, e disponibilizado no próprio site da empresa, o setor industrial representou cerca de 36% do consumo total de energia elétrica no Brasil, o consumo residencial foi responsável por 29%, e o comercial por 19%. Os 16% restantes, classificados como outros pela EPE, estão distribuídos em serviços públicos, iluminação pública e setor rural. Conforme gráfico abaixo, gerado através dos dados obtidos da Empresa.

Figura 2 - Utilização de Energia Elétrica por Setores



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética

Com relação ao setor residencial, percebemos o quanto é impactante a proporção de 29% no total de energia elétrica demandada no Brasil, ou ainda 132,9TWh apenas no ano de 2016. Fazendo uma comparação, a energia utilizada pelo setor residencial representa 128,9% de toda a energia gerada pela Usina de Itaipu. Desta forma, toda redução na utilização de energia pelo setor residencial deve ser considerada, pois afeta de maneira muito incisiva na necessidade de ampliação do sistema elétrico nacional.

Conforme gráfico de participação dos eletrodomésticos no consumo residencial brasileiro, apresentado no capítulo 1 – Introdução, verifica-se que o percentual de consumo para o condicionamento ambiental, geladeira e freezer, chega-se a 47% do consumo das residências, num total de 62,46TWh/ano de energia necessária para retirar calor de ambientes.

Com base nos dados coletados acima, será proposto um sistema de refrigeração por absorção que utiliza como fonte quente a energia solar para realizar a separação dos fluidos absorventes e refrigerantes e aumentar a pressão do sistema de refrigeração utilizando uma bomba de fluidos ao invés de um compressor, de modo a reduzir a necessidade de utilização de energia elétrica.

2.2 ENERGIA SOLAR

A vida na Terra está intimamente ligada à energia solar. As grandes massas de ar e água em movimento, a fotossíntese, as estações do ano, estão ligados à incidência de luz e calor do sol.

O ser-humano também, desde a antiguidade, utiliza-se desta radiação para benefício próprio. Séculos atrás já se aproveitava a incidência do sol para facilitar o aquecimento doméstico, a desidratação de frutas e a extração de sais das águas.

A radiação solar pode ser transformada diretamente em energia elétrica, através de painéis fotovoltaicos; pode ser aproveitada como fonte

quente para operar turbinas geradoras de potência, além de aquecimento residencial, industrial e comercial para diversos fins, inclusive como fonte de calor para sistemas de absorção de vapor.

O Sol é responsável por 99,68% da massa do sistema solar, e seu núcleo é tão denso que as condições de temperatura e pressão favorecem a reação de fusão nuclear, na qual a principal reação envolve quatro prótons que interagem formando um núcleo de Hélio, dois pósitrons, dois neutrinos e radiação eletromagnética. A potência total do Sol é da ordem de $3,8 \times 10^{24}$ W. Num plano perpendicular à incidência da radiação solar, na distância Terra-Sol, fora da atmosfera terrestre, a irradiância total é de aproximadamente $1,361 \text{ kW/m}^2$, definida como constante solar.

2.2.1 Geometria Solar

Apesar de muitas aplicações de energia solar conseguirem aproveitar a energia difusa, é muito importante que os coletores estejam o mais perpendicular possível à incidência direta da radiação, tendo em vista que esta radiação representa cerca de 85% da energia solar.

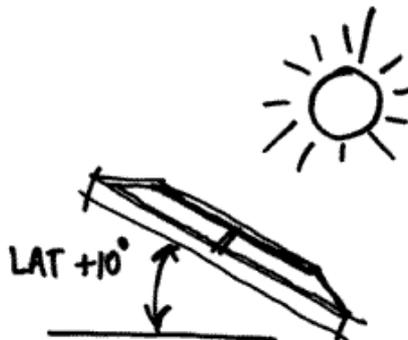
Para se dispor os coletores sempre na direção perpendicular à ação da radiação solar seria necessário que as placas alterassem sua inclinação diariamente sobre o eixo Norte-Sul para a compensação do movimento de rotação da Terra, numa taxa de 15° por hora, e a inclinação sobre o eixo Leste-Oeste para compensar o movimento de translação da Terra e a mudança de estações do ano.

Como na maioria das situações não é possível que haja esta atualização de posição, os coletores são dispostos de maneira a atuar de maneira otimizada para a maioria das situações.

O coletor solar deve ficar voltado para o Norte, quando este for instalado no hemisfério Sul, e para o Sul quando no hemisfério Norte. A inclinação do coletor deve variar de maneira direta com a latitude da instalação.

Entretanto, como no inverno a incidência de luz e calor é menor, adiciona-se à inclinação do painel uma margem de 10° para melhor aproveitamento de calor nos meses em que a incidência de radiação é menor.

Figura 3 - Configuração de instalação de um coletor solar estacionário



Fonte: Piscinas Planalto

Assim, em uma instalação de coletores solares em Florianópolis, SC, os coletores devem ficar voltados para o Norte geográfico e na inclinação de 37° , tendo em vista que a cidade se encontra à 27 graus de Latitude Sul. Entretanto, se o coletor solar tiver como aplicação a refrigeração ambiental, é recomendado que seja posicionado com a inclinação de sua latitude $- 10^\circ$, devido sua principal utilização ser durante o período de verão.

2.2.2 Coletores Solares

Uma forma bastante utilizada para utilização da energia solar é a conversão direta em eletricidade, através de placas que se utilizam do efeito fotovoltaico. Descoberto em 1839 por Alexandre Edmond Becquerel, este efeito consiste na diferença de potencial criada nas extremidades de um material semicondutor quando da incidência de luz sobre o mesmo. Porém devido ao alto custo envolvido, ficou por muito tempo restrito a aplicações militares e espaciais, devido ao baixo peso, alto custo e grande confiabilidade.

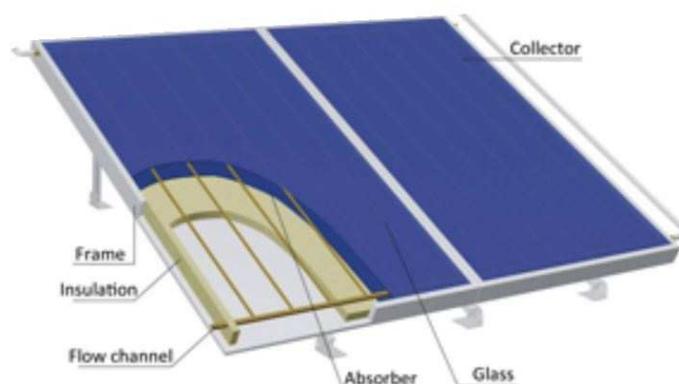
Apesar de bastante flexível, o sistema fotovoltaico ainda conta com baixo rendimento para a transformação de energia luminosa em elétrica. Enquanto essa conversão direta em energia elétrica apresenta uma eficiência da ordem de 15%, a utilização de painéis solares para aquecimento, seja de água ou de outro fluido de trabalho, secagem de produtos agropecuários, ou mesmo para geração termelétrica, conta com eficiência próxima da unidade.

Neste trabalho serão apresentadas as tecnologias disponíveis para conversão de energia solar em energia térmica para utilização em dispositivos de refrigeração por absorção. Apesar de existirem coletores com rastreamento solar, para altas temperaturas e principalmente para aplicações industriais, ater-se-á em coletores estacionários, tendo em vista a simplicidade para instalação e manutenção em ambientes residenciais.

2.2.2.1 Coletores de Placas Planas

Coletores de placas planas são construídos de maneira que os raios solares atravessem uma camada de vidro, virtualmente transparente às ondas térmicas de baixo comprimento de onda, e atinjam uma superfície escurecida de alta absorvidade, que transfere boa parte do calor incidente a um feixe de tubos por onde escoar o fluido de trabalho. Estes tubos encontram-se isolados do fundo e das laterais do coletor de modo a minimizar as perdas por condução. A camada superior de vidro evita que o calor se perca por radiação, pois para as ondas de alto comprimento de onda o vidro torna-se opaco, e também impede a circulação de ar entre a superfície absorvedora e o ar externo, reduzindo a convecção.

Figura 4 – Coletor solar de Placa Plana com tubos horizontais e verticais

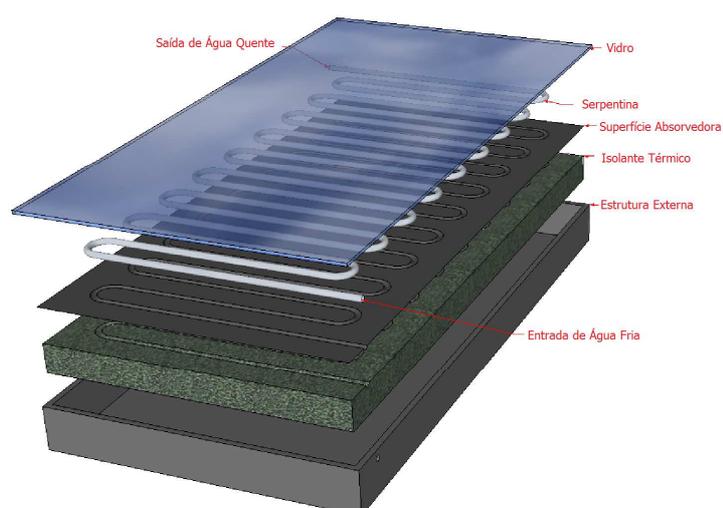


Fonte: HIMIN SOLAR

A figura 4 mostra a disposição típica de um coletor de placa plana, onde há um canal de admissão de fluido frio, que o distribui por tubos verticais paralelos através da superfície absorvedora. Devido a perda de carga na tubulação, o fluido não é distribuído uniformemente nos tubos verticais.

Desta forma um desenho alternativo é a serpentina, que consiste em um canal de admissão que não distribui o fluido, mas que amplia sua trajetória realizando curvas de modo a ocupar uma maior área sobre a superfície absorvedora, conforme figura 5.

Figura 5 - Coletor Solar de Placa Plana com tubulação em serpentina



Fonte: Elaborado pelo autor

Comparando as figuras 4 e 5, pode-se observar que à exceção dos canais de fluxo, que alteram sua forma, os demais componentes dos coletores são idênticos. Sendo compostos de uma estrutura externa, normalmente em plástico; isolante térmico, para evitar perdas principalmente por condução entre a superfície absorvedora e o fundo do coletor; superfície absorvedora

A principal vantagem deste coletor solar reside no fato de ser de baixo custo de fabricação e coletar as radiações direta e difusa.

Coletores de placa plana operam geralmente a baixas temperaturas, de até 80°C, embora possam atingir temperaturas de 200°C, considerando revestimentos especiais.

2.2.2.2 Coletor Parabólico Composto

Coletores parabólicos compostos consistem em concentradores parabólicos ou semi-parabólicos que direcionam, preferencialmente, os raios solares vindos de um grande espectro de ângulos para uma região onde o absorvedor se encontra.

Existem vários fatores de forma para este coletor, entretanto uma forma que reduz a necessidade da movimentação pelo rastreamento solar é adotando duas seções de parábolas, com o absorvedor entre as superfícies refletoras, desta forma durante o dia o sol realiza movimento aparente paralelo às calhas, e com a mudança das estações do ano diminui-se o efeito do sombreamento nos refletores devido a alta taxa de reflexão entre as superfícies.

Diferentemente dos coletores parabólicos em calha (figura 6), que necessitam de amplo espaço, possuem fatores de concentração de até 85 vezes e temperaturas de operação de 400°C, o coletor parabólico composto consegue um fator de concentração solar de até 5 vezes com temperaturas mais modestas, na faixa de 240°C, e pode ser confeccionado de modo a se parecer com um coletor de placa plana, com várias calhas parabólicas numa placa coletora, conforme figura 7 e 8.

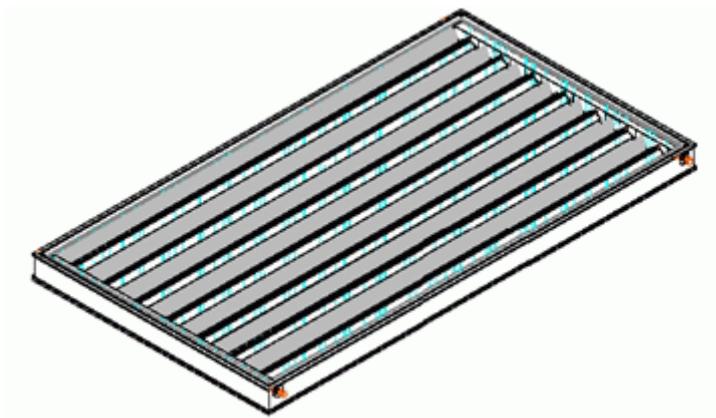
Uma placa de vidro pode ser utilizada para evitar perdas por radiação e convecção do calor do fluido de trabalho.

Figura 6 - Coletor Parabólico em Calha



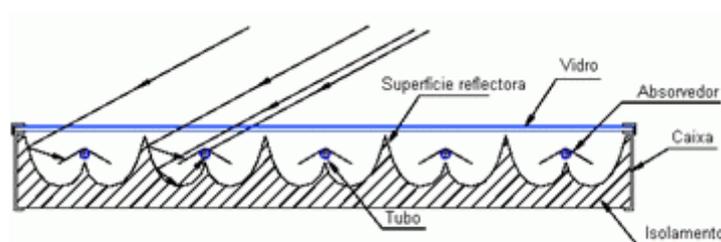
Fonte: KALOGIROU (2016)

Figura 7 - Painel com vários coletores Parabólicos Compostos



Fonte: LUSOSOL

Figura 8 - Vista em Corte do painel com vários coletores parabólicos compostos e partes integrantes



Fonte: LUSOSOL

2.2.2.3 Coletor de Tubo Evacuado

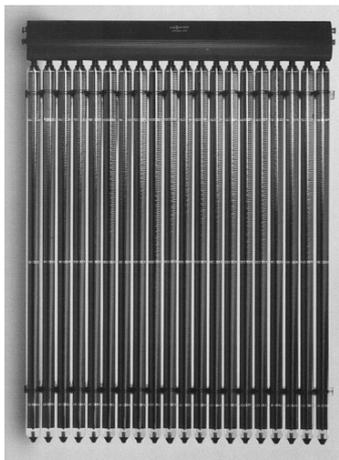
Coletores de tubos evacuados consistem em dois tubos coaxiais transparentes, em que um fluido passa pelo tubo central, enquanto o espaço existente entre os cilindros é evacuado, de modo a evitar que o fluido interno sofra perdas por condução e convecção. O fluido interno pode ser o próprio fluido de trabalho, como a água em casos de aquecimento hídrico para residências, ou um fluido intermediário que utiliza-se do calor latente para transferir calor para uma extremidade de cobre que aquecerá o fluido de trabalho.

Vários tubos podem ser colocados em paralelo de modo a ampliar a área de absorção da radiação solar.

Ao contrário de coletores de placa plana, que foram concebidos para operar em lugares quentes com forte incidência de luz, coletores de tubo evacuado foram desenvolvidos de modo a reduzir as perdas de calor e propiciar uma maior área de absorção de radiação, pois quando bem dimensionados os tubos reduzem o sombreamento sobre os demais coletores e não sofrem tanta influência com fatores externos como nebulosidade, temperaturas baixas e ventos. Desta forma os coletores de tubo evacuado conseguem absorver uma maior quantidade de energia durante o dia, comparado com o coletor de placa plana.

Segue abaixo um possível arranjo para coletores de tubo evacuado.

Figura 9- Arranjo de um Coletor de Tubos Evacuados



Fonte: KALOGIROU (2016)

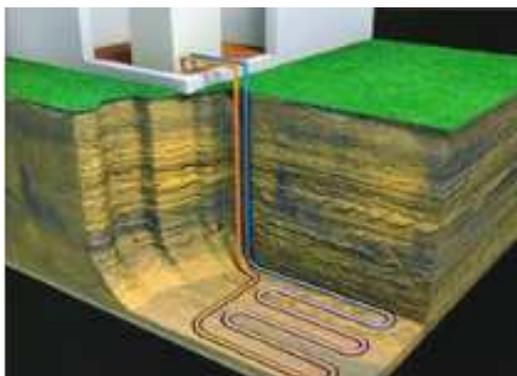
2.2.3 Comparação entre coletores não concentradores

Fazendo uma comparação entre os dois coletores mais utilizados em residências no país, observamos que o coletor de placa plana é utilizado principalmente quando a temperatura de operação não é tão elevada, visto que a principal fonte de energia é a radiação direta. Em contrapartida, o coletor solar de tubos evacuados apresenta um melhor desempenho em locais que a incidência de radiação direta é menor e em aplicações nas quais a necessidade de operação seja superior a 60°C.

3 TECNOLOGIAS DE SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR

Um sistema de refrigeração funciona basicamente de forma a transferir calor de um ambiente para outro. Quando é realizada a transferência de um ambiente de maior temperatura para um ambiente de menor temperatura, ou seja quando esta transferência ocorre naturalmente, apenas uma máquina de fluxo é necessária, como no caso de se resfriar uma casa transferindo calor de dentro da residência para o solo abaixo da casa, no qual a sua temperatura permanece praticamente constante durante o ano, como na figura abaixo.

Figura 10 - Trocador de Calor com o solo

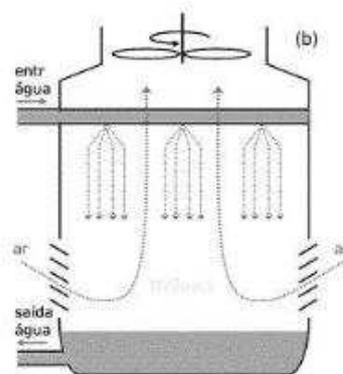


Fonte: Web Arcondicionado

Entretanto, se não há a possibilidade de se efetuar esta troca de forma natural com o meio, é necessário que se façam alterações no ambiente ao qual se deseja rejeitar o calor, como no caso de torres de resfriamento, onde se troca calor entre o ambiente a ser resfriado e água. O problema de se utilizar a água num circuito fechado para se rejeitar calor é que ela irá aquecer até o ponto de não conseguir mais efetuar a troca térmica, tornando-se ineficiente. Desta forma, o fluido de trabalho, que neste caso é a água, é posta em tanques nos quais é facilitada a evaporação da mesma, retirando energia da massa principal de água e cedendo a porções que se evaporam, reduzindo assim sua energia interna e por consequência sua temperatura, podendo agir

como fluido refrigerante por tempo indeterminado, desde que se reponham as perdas por evaporação. Segue abaixo um esquemático de uma torre de resfriamento.

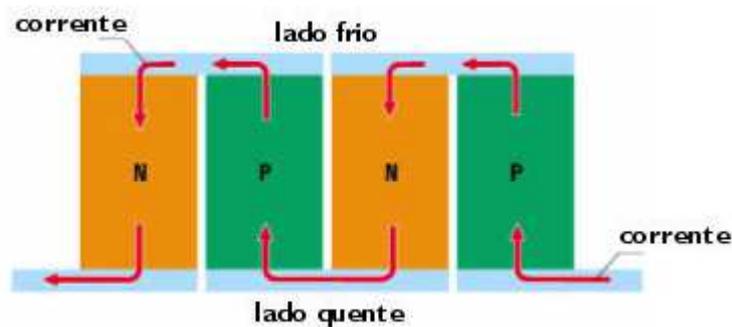
Figura 11 - Torre de Resfriamento



Fonte: Soluções Industriais

Outra opção para a refrigeração é utilizar o efeito Peltier, na qual existe uma diferença de temperatura nas duas junções de dois semicondutores. Esta possibilidade é viável para ambientes pequenos, como adegas de bebidas, porém consome muita energia. Abaixo é apresentado uma célula Peltier.

Figura 12 - Esquema de uma célula Peltier



Fonte: Equipamentos Danvic Ltda.

Entretanto, o sistema mais utilizado para a refrigeração doméstica é feito por compressão mecânica de vapor e está presente em grande parte dos lares brasileiros, em geladeiras, freezers, condicionadores de ar, etc. Outro sistema utilizado no meio residencial, porém com menos frequência por ser

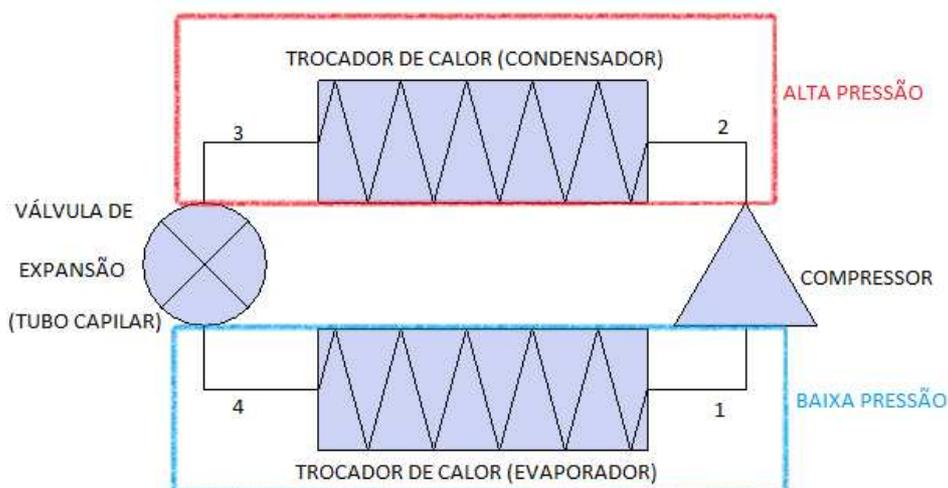
mais antigo e por depender de uma fonte de calor, é a refrigeração por absorção de vapor. Estes dois processos serão detalhados em sequência.

3.1 COMPRESSÃO MECÂNICA DE VAPOR

Num processo de resfriamento por compressão mecânica de vapor é utilizado um fluido de trabalho de modo a permitir que sejam realizadas trocas térmicas entre o ambiente a ser refrigerado e o meio, e que não impliquem em grandes quantidades de energia para o funcionamento.

Basicamente este sistema funciona entre dois níveis de pressões. A alta pressão, na qual o vapor é comprimido e posteriormente condensado, e a baixa pressão, na qual o líquido sofre uma expansão favorecendo a evaporação do mesmo à baixa temperatura e posterior absorção de energia em um trocador de calor. Esta diferença de pressão é a principal responsável por demandar alta taxa de trabalho devido estar se trabalhando com vapor e o volume específico do refrigerante no estado gasoso sofrer grande variação com relação às demais variáveis. Abaixo segue um diagrama de funcionamento de um ar-condicionado por compressão mecânica de vapor

Figura 13 - Diagrama de funcionamento de um ar-condicionado operado por compressão



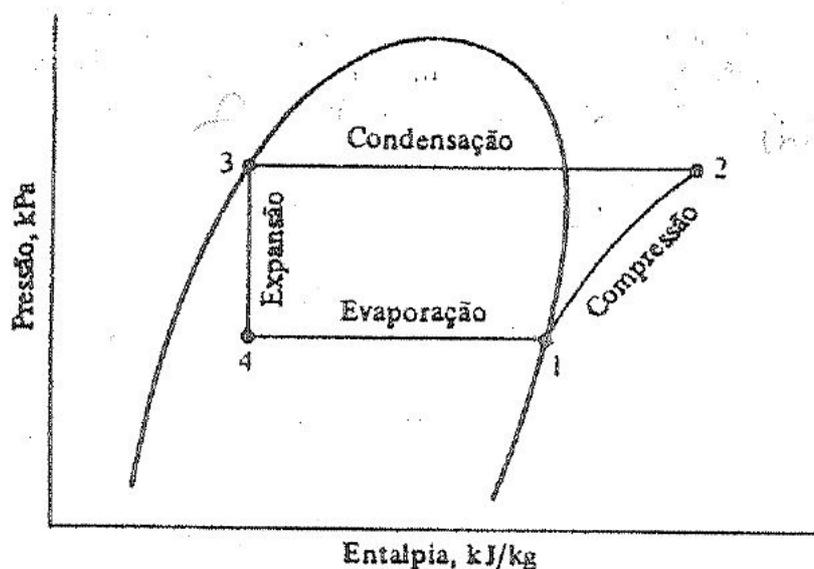
Fonte: Elaborado pelo autor

Tomemos como exemplo um ar-condicionado operado com o refrigerante R-134a, atualmente bastante utilizado por não ser inflamável, nem tóxico e inofensivo à camada de ozônio, diferente do refrigerante R-12, que segundo o protocolo de Montreal de 1987 seria totalmente banido até 2010.

No ponto 1 há vapor de R-134a saturado à temperatura de 17°C, o que implica uma pressão de 520,9 kPa. O vapor é comprimido de forma isoentrópica até a pressão de 1131kPa, que é a pressão na qual o refrigerante possui temperatura de condensação de 44°C, no ponto 2. Ao passar pelo trocador de calor de alta pressão (condensador), o refrigerante em estado gasoso libera calor latente para o meio externo e se condensa em forma de líquido saturado, ponto 3. Em seguida, o fluido passa por uma válvula de expansão, causando perda de carga no sistema e uma redução isoentrópica de pressão à 520,9kPa, e consequente queda de temperatura, 17°C. Numa expansão assim, o refrigerante no ponto 4 apresenta gotículas de líquido em meio ao vapor saturado. Desta forma o R-134a adentra o trocador de calor de baixa pressão (evaporador) e absorve calor do ambiente a ser refrigerado até que o título da solução seja 100% vapor, retornando ao ponto 1.

No gráfico Pressão x Entalpia abaixo, podemos verificar as transformações, conforme detalhado acima.

Figura 14- Gráfico de Pressão x Entalpia do R-134a



Fonte: STOECKER, W. F; JONES, J. W. (1985)

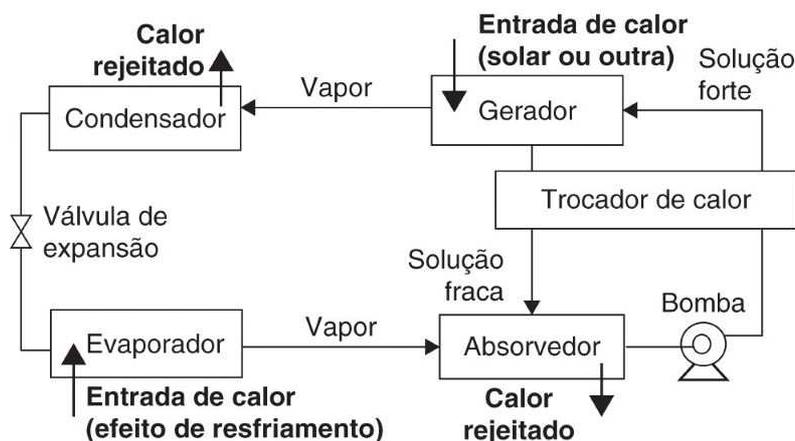
Note-se que em situações reais, do ponto 4 para o ponto 1 existe um sobreaquecimento do refrigerante de modo a impedir que partículas de líquido penetrem no compressor causando prejuízo ao equipamento. Da mesma maneira, quando o fluido rejeita calor ao meio, ele se subresfria de modo a aumentar a eficiência do ciclo.

3.2 REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO DE VAPOR

A refrigeração do ciclo por absorção de vapor consiste nos mesmos princípios do ciclo por compressão. O vapor à alta pressão é condensado para líquido e em seguida é expandido até atingir a baixa pressão do ciclo, adentrar no evaporador e retirar calor do ambiente a ser refrigerado.

O que difere nos dois ciclos é a forma como o fluido de trabalho atinge a pressão mais elevada do sistema. Enquanto o ciclo de compressão faz uso de um compressor, uma vez que trabalha com refrigerante no estado gasoso, o ciclo de absorção trabalha com uma mistura de fluido refrigerante e absorvedor no estado líquido, e utiliza para isso uma bomba de líquidos. Esta mistura ocorre quando o vapor de refrigerante entra em contato com um líquido absorvente apropriado, sendo necessário rejeitar calor do sistema. Abaixo segue o esquemático do sistema.

Figura 15 - Esquemático de um sistema de refrigeração por absorção de calor



Fonte: KALOGIROU (2016)

Assim, como o volume específico da solução refrigerante e absorvente é muito menor que o volume específico do vapor de refrigerante e o trabalho para operar este ciclo é dado pela equação $W = \int v dp$, a energia necessária para elevar a pressão do fluido é muito menor no ciclo por absorção do que no ciclo por compressão de vapor

Entretanto, como a solução bombeada no sistema de absorção é uma mistura, faz-se necessário a separação dos fluidos em absorvente e refrigerante. Esta separação se dá através da aplicação de calor. Este calor pode ser residual, de algum processo anterior, ou específico para a aplicação de refrigeração, como energia solar, ou como ocorre com a queima de querosene em refrigeradores antigos, ou em processos industriais que necessitam de uma fonte quente para algum processo específico e o calor de baixa qualidade é aproveitado para operar o ciclo frigorífico por absorção de vapor.

Uma vez que a energia principal para o funcionamento do ciclo à compressão é o trabalho mecânico, diz-se que o mesmo é um ciclo operado a trabalho. Enquanto que o ciclo de absorção é um ciclo operado a calor, já que a maior parte da energia necessária para seu funcionamento provém da fonte de energia térmica necessária para evaporar o refrigerante da mistura que se encontra sob alta pressão. Apesar de ser necessária a presença de trabalho

externo para operar a bomba, sua quantidade é mínima quando comparada com o ciclo de compressão de vapor.

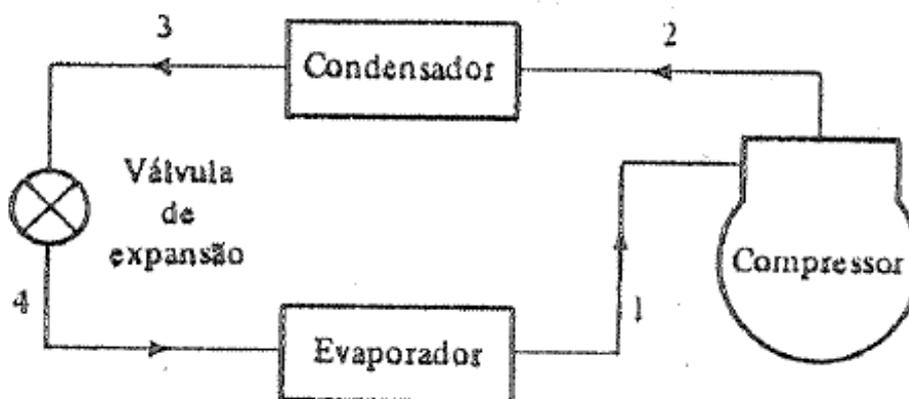
4 DIMENSIONAMENTOS

Dois sistemas de condicionamento de ar serão analisados com o intuito de dimensionar o uso de energia elétrica necessária para operar os sistemas. O primeiro, um ciclo operado por trabalho, e o segundo, operado a calor. As condições de transferência de calor nos evaporadores, de 10kW são as mesmas nos dois ciclos.

4.1 DIMENSIONAMENTO DE UM REFRIGERADOR POR COMPRESSÃO MECÂNICA DE VAPOR COM R-410A OPERANDO COMO FLUIDO DE TRABALHO

Optou-se por fazer o dimensionamento de um ciclo de refrigeração por compressão mecânica de vapor operando com R-410a pois este fluido é um dos mais utilizados no campo de condicionamento de ar residencial e permitido pelo protocolo de Montreal.

Desta forma, tem-se o seguinte sistema:

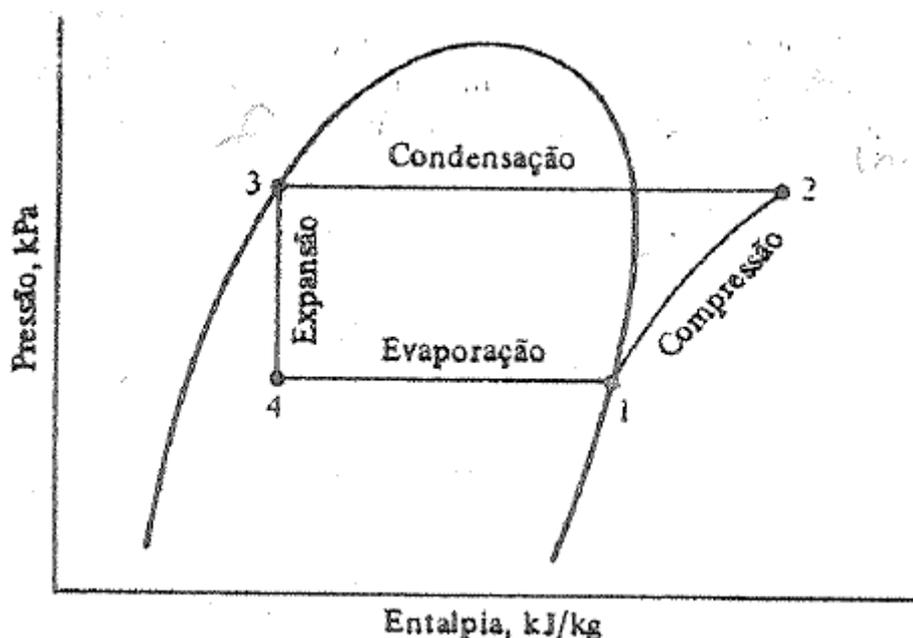


Fonte: STOECKER, W. F; JONES, J. W. (1985)

O fluido R-410a opera sob uma pressão de evaporação de 1300kPa, e de condensação de 3500kPa.

Assim, considerando a capacidade de refrigeração de 10kW, obtemos através de cálculos e do gráfico abaixo, demonstrando os estados físicos dos pontos e transformações do refrigerante, os fluxos de massa, energia necessária ao funcionamento do compressor e energia dissipada pelo condensador.

Figura 17 - Diagrama Pressão x Entalpia do refrigerador proposto



Fonte: STOECKER, W. F; JONES, J. W. (1985)

Desta forma, a pressão nos pontos 1 e 4 é de 1300kPa, o que equivale a uma temperatura de 16,26°C, enquanto os pontos 2 e 3 estão submetidos a 3500kPa, sendo a temperatura de condensação de 55,88°C.

A tabela a seguir apresenta as propriedades dos pontos do sistema:

Tabela 1 - Propriedades do fluido no sistema

Ponto	Pressão(kPa)	Temperatura(°C)	Entalpia(kJ/Kg)	Entropia(kJ/kgK)
1	1300	16,26	425,3	1,779
2	3500	72,16	451,2	1,779

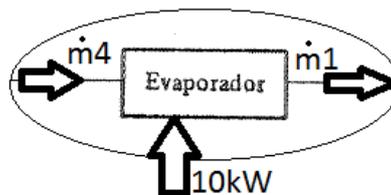
3	3500	55,88	298,5	1,317
4	1300	16,26	298,5	1,341

Fonte: Dados da Pesquisa

Como o ponto 1 está definido com a pressão e o estado de vapor saturado, o ponto 2 é encontrado devido a compressão isoentrópica. O ponto 3 está definido como líquido saturado na alta pressão. E por fim o ponto 4 apresenta a mesma entalpia do que o ponto 3 e pressão igual ao ponto 1.

Com os estados definidos, podemos desenhar um volume de controle ao redor do evaporador e através das leis de conservação de massa e energia podemos definir a vazão mássica:

Figura 18 - Volume de Controle do Evaporador



Fonte: Elaborado pelo Autor

Equação 1 - Somatório de Massa e Energia aplicado ao Evaporador

$$\dot{m}_4 - \dot{m}_1 = 0$$

$$\dot{m}_4 \cdot h_4 + 10\text{kW} - \dot{m}_1 \cdot h_1$$

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_1$$

$$\dot{m}_1 \cdot h_1 - \dot{m}_1 \cdot h_4 = 10$$

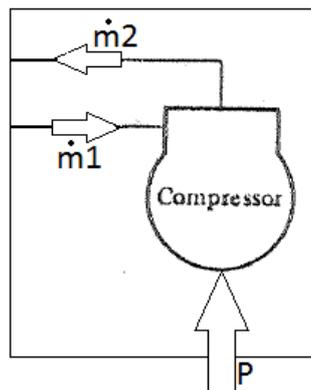
$$\dot{m}_1 \cdot (425,3 - 298,5) = 10$$

$$\dot{m}_1 = 10 / (126,8)$$

$$\dot{m}_1 = 78,86 \text{ gramas/segundo}$$

Com o fluxo mássico conhecido pode-se definir, através de volume de controle ao redor do compressor, a potência necessária para operar o sistema:

Figura 19 - Volume de Controle no Compressor



Fonte: STOECKER, W. F; JONES, J. W. (1985)

Equação 2 - Somatório de Massa e Energia no Compressor

$$\dot{m}_1 - \dot{m}_2 = 0$$

$$\dot{m}_1 \cdot h_1 + P - \dot{m}_2 \cdot h_2 = 0$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$P = \dot{m}_1 \cdot h_2 - \dot{m}_1 \cdot h_1$$

$$P = \dot{m}_1 \cdot (h_2 - h_1)$$

$$P = 0,07886 \cdot (451,2 - 425,3)$$

$$P = 2,042 \text{ kW}$$

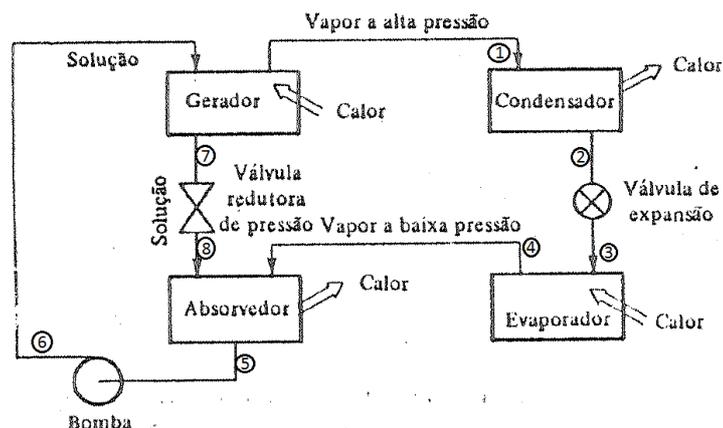
Neste ciclo, por compressão mecânica de vapor e operado com fluido refrigerante R-410a, observa-se que a potência necessária para o funcionamento do compressor é de 2,042 kW, com um COP de $10/2,042=4,9$.

4.2 DIMENSIONAMENTO DE UM REFRIGERADOR POR ABSORÇÃO DE VAPOR COM ÁGUA OPERANDO COMO FLUIDO DE TRABALHO E BROMETO DE LÍTIO COMO ABSORVENTE

Para efeitos de comparação, serão utilizados os mesmos parâmetros para as temperaturas de evaporação e condensação que no caso do ciclo por compressão mecânica de vapor, além da mesma capacidade de refrigeração de 10 kW.

O sistema de absorção de vapor utilizado neste dimensionamento opera com água como fluido refrigerante e como absorvente o brometo de lítio, cujas especificações seguem no ANEXO A. Segue abaixo o diagrama esquemático do sistema de refrigeração por absorção proposto:

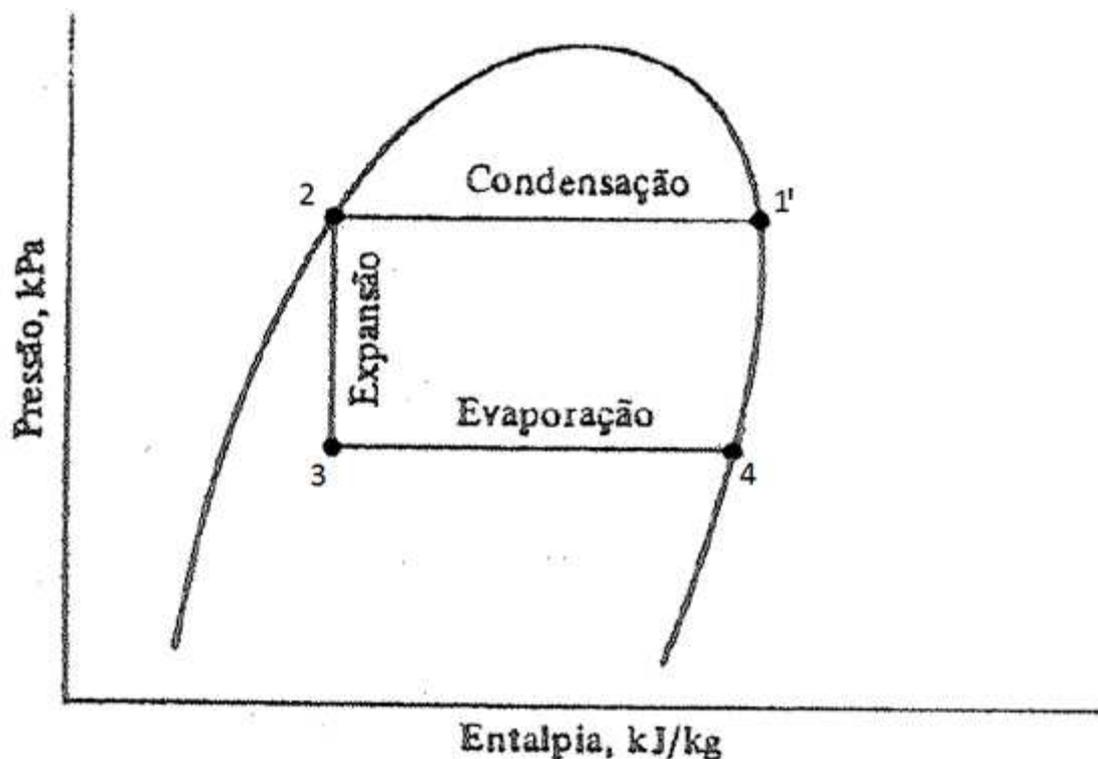
Figura 20 - Diagrama Esquemático do Sistema de Refrigeração por Absorção



Fonte: STOECKER, W. F; JONES, J. W. (1985)

O ponto 1 se encontra como vapor superaquecido a 100°C, e no condensador o ponto 1 alcança o ponto 1' sobre a linha de pressão constante. Assim são conhecidas as condições dos pontos 1', 2, 3 e 4, conforme o gráfico e a tabela a seguir:

Figura 21 - Diagrama Pressão x Entalpia da Água no Ciclo Proposto



Fonte: STOECKER, W. F; JONES, J. W. (1985)

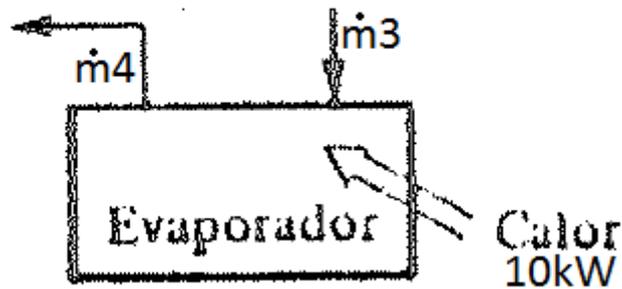
Tabela 2 - Propriedades da Água Pura no Ciclo de Refrigeração Proposto

Ponto	Temperatura (°C)	Pressão (kPa)	Entalpia (kJ/kg)	Estado
1'	55,88	16,43	2602	Vapor Saturado
2	55,88	16,43	233,9	Líquido Saturado
3	16,26	1,849	233,9	Saturação Líquido/Vapor
4	16,26	1,849	2530	Vapor Saturado

Fonte: Dados da Pesquisa

Como a capacidade de refrigeração do evaporador está definido em 10kW, e os estados de entrada e saída do fluido estarem definidos, pode-se estabelecer um volume de controle sobre este trocador de calor.

Figura 22 - Volume de Controle no Evaporador do Ciclo de Absorção de Vapor



Fonte: STOECKER, W. F; JONES, J. W. (1985)

A vazão de massa é obtida através da aplicação da conservação de massa e energia.

Equação 3 - Somatório de Massa e Energia no Evaporador

$$\dot{m}_3 - \dot{m}_4 = 0$$

$$\dot{m}_3 \cdot h_3 + 10 \text{ kW} - \dot{m}_4 \cdot h_4$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4$$

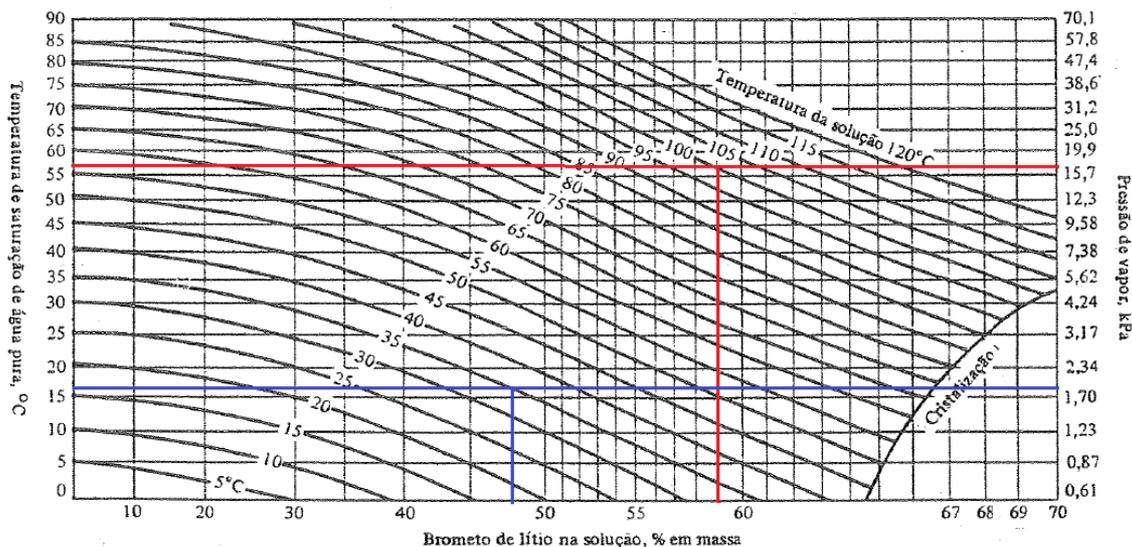
$$\dot{m}_3 \cdot (h_4 - h_3) = 10$$

$$\dot{m}_3 \cdot (2530 - 233,9) = 10$$

$$\dot{m}_3 = 0,004355 \text{ kg/s}$$

Considerando a temperatura do gerador de 100°C e do absorvedor de 35°C, através do diagrama temperatura-pressão-concentração abaixo, obtém-se a concentração nas soluções.

Figura 23 - Gráfico da Concentração de Soluções Saturadas de LiBr-Água pela Pressão e Temperatura



Fonte: STOECKER, W. F; JONES, J. W. (1985)

Assim, a concentração da solução que deixa o absorvedor é de aproximadamente 48% e de 59% da solução que deixa o gerador.

Fazendo balanço de massa no gerador:

Equação 4 - Balanço de Massa no Gerador de Vapor

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_7 = \dot{m}_6$$

$$\dot{m}_6 \cdot x_6 = \dot{m}_7 \cdot x_7$$

$$(\dot{m}_1 + \dot{m}_7) \cdot x_6 = \dot{m}_7 \cdot x_7$$

$$(0,004355 + \dot{m}_7) \cdot 0,48 = \dot{m}_7 \cdot 0,59$$

$$\dot{m}_7 = 0,019 \text{ kg/s}$$

O volume específico da solução é dado pelo inverso da equação da densidade, dada através da equação 5 segundo Lee e colaboradores (apud Kalogirou, 2016), válida para concentrações de LiBr entre 20% e 65% e temperatura entre 0°C e 200°C.

$$d = 1145,36 + 470,84 \cdot x + 1374,79 \cdot x^2 - (0,333393 + 0,571749 \cdot x)(273 + T)$$

Equação 5 – Fórmula para Determinação da Densidade para Soluções de LiBr e Água

Desta forma, como temos a vazão mássica total, a diferença de pressão e o volume específico da solução, pode-se calcular a potência necessária ao funcionamento da bomba de fluido.

Assim, considerando a concentração de 48% ($x=0,48$) e temperatura de 35°C ($T=35$), chega-se num volume específico de 0,0006663 m³/kg. E a potência conforme segue:

Equação 6 - Determinação de Potência para a Bomba da Solução

$$W = \dot{m} \cdot v \cdot \Delta P$$

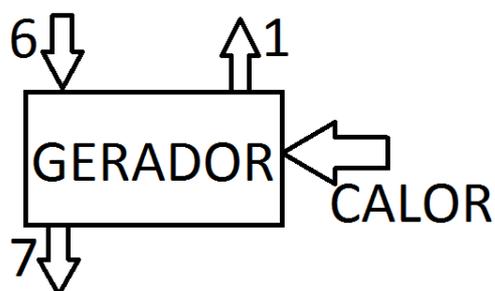
$$W = (0,019 + 0,004355) \cdot 0,0006663 \cdot (16,43 - 1,849)$$

$$W = 0,2269 \text{ W}$$

Neste ciclo, por absorção de vapor e operado com água como fluido refrigerante e utilizando brometo de lítio como absorvente, observa-se que a potência necessária para o funcionamento da bomba de solução é de 0,2269 W.

Para separar a água da solução absorvente é necessário que se forneça calor a solução. Desta forma, realiza-se o cálculo da potência criando um volume de controle ao redor do gerador.

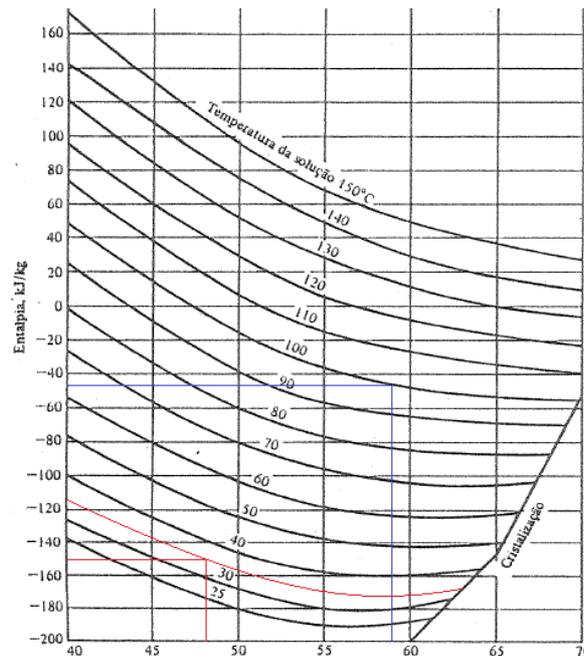
Figura 24 - Volume de Controle no Gerador



Fonte: Elaborado pelo Autor

Utilizando o gráfico de Entalpia x porcentagem de LiBr-água pela temperatura, abaixo, as entalpias das soluções são encontradas.

Figura 25 - Entalpia das Soluções de LiBr-Água



Fonte: STOECKER, W. F; JONES, J. W. (1985)

Na tabela abaixo seguem os estados dos fluidos em torno do gerador.

Tabela 3 - Entalpia nos pontos do gerador

Ponto	Temperatura	Estado	Concentração	Entalpia
1	100°C	Vapor Superaquecido	Não aplicável	2686kJ/kg
6	35°C	Solução LiBr- água	48%	-150kJ/kg
7	100°C	Solução LiBr- água	59%	-47kJ/kg

Fonte: Dados da Pesquisa

Desta forma, fazendo o somatório de energia em torno do volume de controle:

Equação 7 - Determinação do Calor Necessário para Geração de Vapor

$$\dot{m}_6 \cdot h_6 + \text{CALOR} - \dot{m}_7 \cdot h_7 - \dot{m}_1 \cdot h_1 = 0$$

$$0,023355 \cdot (-150) + \text{CALOR} - 0,019 \cdot (-47) - 0,004355 \cdot (2686)$$

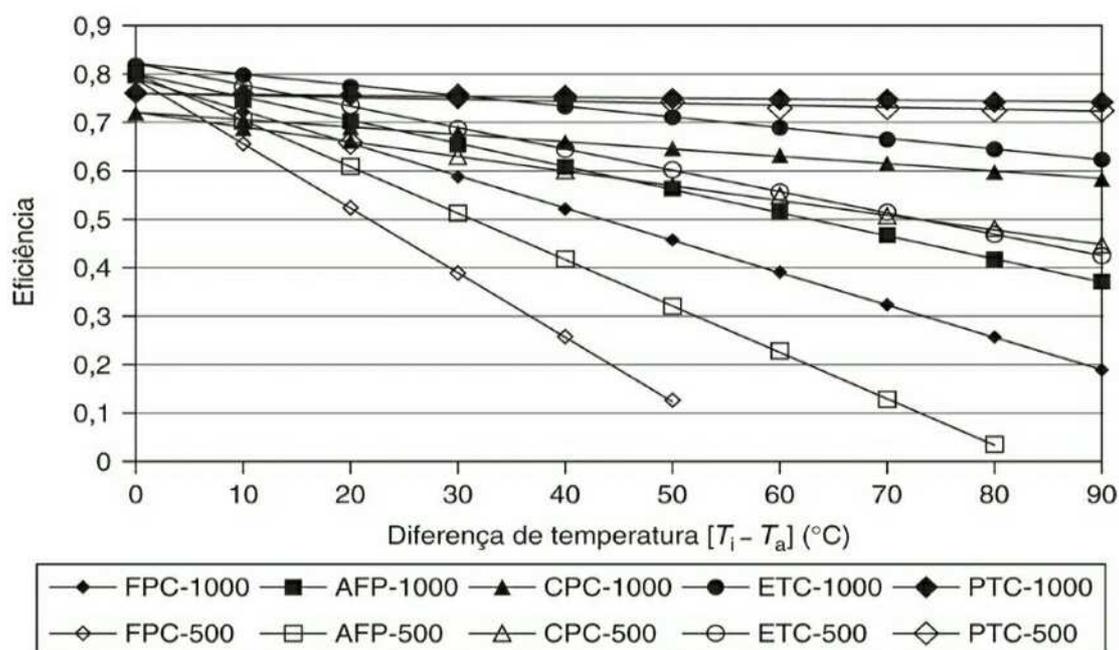
$$\text{CALOR} = 14,31 \text{ kW.}$$

O calor necessário para separar o vapor d'água da solução no gerador e elevar sua temperatura até 100°C na pressão de 16,43kPa é de 14,31 kW, com COP de $10/14,31=0,7$.

Segundo Kalogirou (2016), Para a região de Florianópolis, SC, com uma latitude de 27,6°S e uma média diária de 28 MJ/dia.m² em abril, quando o sistema de refrigeração ainda pode ser bastante utilizado, o que representa uma média de aproximadamente 650W/m², distribuídos em 12 horas de sol.

De acordo com o gráfico a seguir, percebe-se a eficiência dos coletores solares.

Figura 26- Eficiência dos Coletores Solares quanto a diferença de temperatura



Fonte: KALOGIROU (2016)

Desta forma, devido à facilidade de instalação e manutenção foi escolhido o coletor de tubo evacuado para radiação de até 1000W/m² (ETC-1000). Como a diferença de temperatura para a aplicação é de 65°C, a eficiência para o coletor é de aproximadamente 68%.

O coletor da Maxsun oferece uma área de absorção de 0,1m² por tubo evacuado. A partir de cálculos necessários para o dimensionamento da quantidade de tubos necessários para o sistema, chega-se em um total de 324 tubos, a partir do calor necessário, a radiação incidente, a eficiência do coletor e da área de absorção de cada tubo evacuado.

A área de absorção deve ser de 32,4m², entretanto devido ao espaçamento entre os coletores, o que representa cerca de 33% da área total segundo o INMETRO, a área necessária para a instalação do coletor solar é de 43,1m².

5 ANÁLISE DE CASOS

Com o intuito de deixar este trabalho mais palpável em termos monetários, pode-se modelar uma residência-padrão brasileira, em duas situações: a primeira fazendo uso de um sistema de ar-condicionado por compressão mecânica de vapor e a segunda com um sistema de absorção de vapor.

5.1 CONSUMO ENERGÉTICO NUMA RESIDÊNCIA-PADRÃO UTILIZANDO AR-CONDICIONADO POR COMPRESSÃO MECÂNICA DE VAPOR

Para verificar a utilização do condicionamento ambiental utilizando a compressão mecânica de vapor serão utilizados os dados apresentados pela ANEEL da tarifa média, consumo total, receita e número de consumidores divididos por classe de consumo no mês de dezembro do ano de 2016, referente ao Relatório de Consumo e Receita de Distribuição, conforme ANEXO B, cuja distribuição de consumo segue o que foi apresentado na figura 1.

Desta forma, na classe residencial, houve um consumo de 11.506.607,09 MWh, distribuídos em 69.007.272 unidades consumidoras residenciais, com uma tarifa média de R\$ 622,23 por MWh. A média mensal de consumo de uma residência brasileira é de 166,745 kWh, logo com uma fatura de R\$ 103,75. Distribuídos conforme a tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Distribuição de gastos com eletricidade numa residência com ar condicionado operado por compressão mecânica de vapor

Equipamento	Percentual de Uso	Valor na Fatura
Chuveiro Elétrico	24%	R\$ 24,90
Geladeira	22%	R\$ 22,83
Condicionamento Ambiental	20%	R\$ 20,75
Lâmpadas	14%	R\$ 14,53
TV	9%	R\$ 9,34
Freezer	5%	R\$ 5,19
Som	3%	R\$ 3,11
Ferro	3%	R\$ 3,11
Total	100%	R\$ 103,75

Fonte: Dados da Pesquisa

Percebe-se que R\$ 20,75 são destinados ao condicionamento ambiental, para um consumo de 33,349 kWh/mês.

5.2 CONSUMO ENERGÉTICO NUMA RESIDÊNCIA-PADRÃO UTILIZANDO AR-CONDICIONADO POR ABSORÇÃO DE VAPOR

Foi encontrado o valor de 33,349 kWh para o consumo de ar-condicionado no período de 1 mês. Desta forma, considerando que o equipamento é utilizado todos os 30 dias do mês por um período de 01 hora diária, apenas para resfriar o ambiente, tem-se a potência do equipamento de 1111 Watts, que equivale à um ar-condicionado de 8771 BTU/hr, ou 2570 Watts de refrigeração.

Considerando o dimensionamento apresentado no capítulo anterior, que para a retirada de 10kW de calor do ambiente é utilizado uma fonte de calor solar de 14,31 kW e uma área de exposição de 43,1 m². Como todas as dimensões são proporcionais, para uma capacidade de refrigeração de 2570 W obtem-se a necessidade de radiação solar de 3,677 kW e uma área de exposição ao sol de 11,077m², com a energia elétrica necessária para operar a bomba de solução de LiBr de 0,058 W.

Como neste sistema proposto a única energia elétrica necessária para o funcionamento do condicionador é para a bomba de solução, e a incidência de luz do sol é de 12 horas por dia, o consumo total do sistema de condicionamento ambiental é de 0,021 kWh por mês.

Desta maneira segue a tabela 5 com a distribuição de gastos com energia elétrica utilizando no lugar de ar-condicionado por compressão mecânica de vapor um ar-condicionado por absorção de vapor.

Tabela 5 - Distribuição de gastos com eletricidade numa residência com ar condicionado operado por absorção de vapor

Equipamento	Percentual de Uso	Consumo Mensal (kWh)	Valor na Fatura
Chuveiro Elétrico	30,00%	40,0188	R\$ 24,90
Geladeira	27,50%	36,6839	R\$ 22,83
Condicionamento Ambiental	0,02%	0,021	R\$ 0,01
Lâmpadas	17,50%	23,3443	R\$ 14,53
TV	11,25%	15,00705	R\$ 9,34
Freezer	6,25%	8,33725	R\$ 5,19
Som	3,75%	5,00235	R\$ 3,11
Ferro	3,75%	5,00235	R\$ 3,11
Total	100,00%	133,417	R\$ 83,02

Fonte: Dados da Pesquisa

Tendo como base os cálculos demonstrados acima, pode-se concluir que a utilização do ar-condicionado atualmente representa uma parcela considerável de uso de energia elétrica e que a utilização de tecnologias que permitam a mitigação do uso desta fonte energética nobre deve ser bastante considerada como uma alternativa a crescente demanda de eletricidade.

Embora o sistema de condicionamento de ar não opere no período noturno, no sistema apresentado, e que a utilização principal deste equipamento no meio residencial seja justamente no período em que não há a incidência de sol, se instalado num local com boa vedação térmica, e com o ar-condicionado funcionando num período ininterrupto de 12 horas, todo o recinto consegue o

equilíbrio térmico numa temperatura mais baixa do que a temperatura ambiente.

Sem contar que um acumulador de energia térmica pode facilmente ser incorporado no sistema, permitindo a utilização em períodos em que a energia solar não estiver disponível.

Logicamente trata-se aqui de uma economia de escala, na qual se apenas 1% dos condicionadores de ar no ambiente residencial forem operados a calor ao invés de trabalho, é obtida uma economia da ordem de 260 GWh por ano, o equivalente a energia gerada pela Usina Termelétrica de Charqueadas em 2016, antes de ser desativada em dezembro do mesmo ano.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve o objetivo de apresentar o sistema de refrigeração por absorção de vapor e demonstrar como é possível reduzir a dependência da rede elétrica para a refrigeração ambiental.

Verifica-se, a partir da comparação dos dois sistemas dimensionados no capítulo 4, que a utilização de energia elétrica pelo ciclo de absorção de vapor é muito menor, embora a necessidade energética total seja maior e o coeficiente de performance menor.

Recomenda-se também analisar futuramente uma aplicação em que se utilize os coletores solares para realizar um sistema híbrido que aquece água, realiza refrigeração-solar e armazena calor para a refrigeração noturna, além de verificar a possibilidade de utilizar o ciclo de refrigeração por absorção para operar nas geladeiras e freezers dos lares brasileiros, atuando em 71% do consumo residencial.

7 REFERÊNCIAS

ANEEL. **Banco de informações de geração.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 15 de maio de 2017.

ANEEL. **Consumidores, Consumo, Receita e Tarifa Média – Classe de Consumo.** Disponível em: <http://relatorios.aneel.gov.br/_layouts/xlviewer.aspx?id=/RelatoriosSAS/RelSampClasseCons.xlsx&Source=http://relatorios.aneel.gov.br/RelatoriosSAS/Forms/AllItems.aspx&DefaultItemOpen=1>, acesso em 01 de setembro de 2017.

APOLINÁRIO, Fabio. **Dicionário de metodologia científica : um guia para a produção do conhecimento científico.** 2. São Paulo Atlas 2011. Disponível em <<http://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788522466153>>. Acesso em: 25 de janeiro de 2017.

AQUECEDOR SOLAR PARA BANHO. Disponível em: <<http://www.astrorrei.com/produtos/aquecedor-solar/aquecedor-solar-para-banho>>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2017.

AZEVEDO, Celicina M. S. B. **Metodologia científica ao alcance de todos.** 3. ed. Barueri, SP: Manole, 2013. 52 p.
COMPARATIVO DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS. Disponível em: <<https://troniqices.wordpress.com/2007/12/27/comparativo-de-paineis-solares-fotovoltaicos/>>. Acesso em 06 de março de 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Consumo de energia elétrica no Brasil cai 0,9% em 2016.** Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumodeenergiael%C3%A9tricaNoBrasilcai0,9em2016.aspx>>. Acesso em: 14 de maio de 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas) – 2004-2017**. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/paginas/consumomensaldeenergiael%3%a9tricaporclasse\(regi%3%b5esesubsistemas\)%e2%80%932011-2012.aspx](http://www.epe.gov.br/mercado/paginas/consumomensaldeenergiael%3%a9tricaporclasse(regi%3%b5esesubsistemas)%e2%80%932011-2012.aspx)>. Acesso em: 25 de março de 2017.

EQUIPAMENTOS DANVIC LTDA. FAQ. Disponível em: <<http://www.peltier.com.br/index.php?url=faq>>. Acesso em: 30 de maio de 2017.

Himin Solar: Disponível em: <<http://www.himinsolar.com.br/2-2-heat-pipe-solar.html>>, Acesso em 13 de agosto de 2017.

ITAIPU BINACIONAL. **Geração Atualizada**. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao>>. Acesso em: 19 de junho de 2017.

JUCÁ, Paulo César da Silva. **Desempenho de um sistema de refrigeração por absorção de brometo de lítio-água utilizando aquecimento solar**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Florianópolis, 1980. Disponível em : <<http://www.bu.ufsc.br/teses/PEMC0213-D.pdf>>. Acesso em : 11 de abril de 2017.

KALOGIROU, S.A. **Engenharia de Energia Solar: Processos e Sistemas**; Tradução Luciana Arissawa. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 864p.

LUSO SOL: Disponível em: < www.lusosol.com/colectores.htm >, Acesso em 14 de agosto de 2017.

MALHOTRA, Naresh K. **Pesquisa de Marketing : Uma Orientação Aplicada**. 6ª. Porto Alegre Bookman 2012

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 297 p.

MARLA ENERGIAS. Disponível em: <<http://www.marla.pt/paineis-vacu.php>>. Acesso em 13 de maio de 2017.

PISCINAS PLANALTO. Disponível em: <<http://www.piscinasplanalto.com.br/aquecimento-solar/>>, Acesso em 14 de agosto de 2017.

SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. **Torre de Resfriamento**. Disponível em: <http://www.solucoesindustriais.com.br/images/produtos/imagens_622/p_torres-de-resfriamento-23.jpg>. Acesso em: 17 de abril de 2017.

STOECKER, W. F; JONES, J. W. **Refrigeração e ar condicionado**. São Paulo: McGraw Hill, c1985. 481p.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **International energy outlook 2016**. Disponível em: <[https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)>. Acesso em 17 de março de 2017.

VASCONCELLOS, L.E.M.; LIMBERGER, M.A.C. (Org.). **Energia solar para aquecimento de água no Brasil: contribuições da Eletrobras Procel e parceiros**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012.

WEB ARCONDICIONADO. **Climatização Geotérmica**. Disponível em: <<http://www.webarcondicionado.com.br/climatizacao-geotermica>>. Acesso em: 13 de fevereiro.

8 ANEXOS

8.1 ANEXO A – FICHA TÉCNICA DO BROMETO DE LÍTIO



Ficha de Informações de Segurança de Produtos

Químicos - FISPQ

De acordo com a NBR 14725-4:2014

Data da revisão 03.12.2015

Versão 1.5

SEÇÃO 1. Identificação do produto e da empresa**1.1 Identificador do produto**

No. de catálogo	105669
Nome do produto	Brometo de lítio puríss.
Número de registro REACH	Não há número de registro disponível para essa substância, uma vez que a substância ou a utilização da mesma são isentas de registro de acordo com o Artigo 2 da norma REACH (CE) No. 1907/2006, a tonelagem anual não exige registro ou o registro está previsto para um prazo posterior.
Nº CAS	7550-35-8

1.2 Usos identificados da substância ou mistura e usos não recomendados

Usos identificados	Materiais para utilização em aplicações técnicas Para informações adicionais sobre os usos, por favor consulte o portal Merck Chemicals (www.merckgroup.com).
--------------------	--

1.3 Detalhes do fornecedor da Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ

Empresa	Merck S/A * Brasil * Rua Torre Eiffel, 100 - Parque Rincão - Gleba A Cotia - CEP: 06705-481 - São Paulo - SP * tel/fax: +55 11 3127-7389
---------	--

1.4 Número do telefone de emergência

Suatrans: : 0800 707 7022 / 0800 17 2020

SEÇÃO 2. Identificação de perigos**2.1 Classificação da substância ou mistura****Classificação (de acordo com a ABNT 14725-2)**

Toxicidade aguda, Categoria 4, Oral, H302

Para obter o texto completo das frases de perigo mencionadas nesta seção, consulte a seção 16.

Classificação (67/548/CEE ou 1999/45/CE)

Xn Nocivo R22

Para o texto completo sobre as frases R mencionadas nesta Seção, ver a Seção 16.

2.2 Elementos do rótulo**Rotulagem (de acordo com a ABNT 14725-2)***Pictogramas de risco**Palavra de advertência*

Atenção

Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ
De acordo com a NBR 14725-4:2014

No. de catálogo 105669
Nome do produto Brometo de Lítio puríss.

Frases de perigo
H302 Nocivo se ingerido.

Rótulagem reduzida (≤125 ml)

Pictogramas de risco



Palavra de advertência
Atenção

Nº CAS 7550-35-8

2.3 Outros perigos
Não conhecidos.

SEÇÃO 3. Composição e informações sobre os ingredientes

3.1 Substância

Fórmula	LiBr	BrLi (Hill)
Nº CE	231-439-8	
Massa molar	86,84 g/mol	

Componentes perigosos (de acordo com a ABNT 14725-2)

Nome químico (Concentração)

Nº CAS	Número de registro	Classificação
Brometo de lítio (<= 100 %)		
7550-35-8	*)	

Toxicidade aguda, Categoria 4, H302

*) Não há número de registro disponível para essa substância, uma vez que a substância ou a utilização da mesma são isentas de registro de acordo com o Artigo 2 da norma REACH (CE) No. 1907/2006, a tonelagem anual não exige registro ou o registro está previsto para um prazo posterior.

Para obter o texto completo das frases de perigo mencionadas nesta seção, consulte a seção 16.

Componentes perigosos (1999/45/CE)

Nome químico (Concentração)

Nº CAS	Classificação
Brometo de lítio (<= 100 %)	
7550-35-8	Xn, Nocivo; R22

Para o texto completo sobre as frases R mencionadas nesta Seção, ver a Seção 16.

3.2 Mistura
Não aplicável

SEÇÃO 4. Medidas de primeiros-socorros

4.1 Descrição das medidas de primeiros-socorros

Após inalação: Exposição ao ar fresco.

Após contacto com a pele: Lavar abundantemente com água. Tirar a roupa contaminada.

Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ
De acordo com a NBR 14725-4:2014

No. de catálogo	105669
Nome do produto	Brometo de lítio puríss.

Após contacto com os olhos: Enxaguar abundantemente com água.

Após ingestão: fazer a vítima beber imediatamente água (dois copos no máximo) Consultar um médico.

4.2 Sintomas e efeitos mais importantes, agudos e retardados

Aos compostos de lítio em geral aplica-se o seguinte: quando manuseados e usados inadequadamente, a absorção de grandes quantidades provoca alterações do sistema nervoso central, agitação, espasmos, ataxia (diminuição da coordenação motora) devida ao desequilíbrio electrolítico.

4.3 Indicação da atenção médica imediata e do tratamento especial necessário

Não existem informações disponíveis.

SEÇÃO 5. Medidas de combate a incêndio

5.1 Meios de extinção

Meios adequados de extinção

Adapte as medidas de combate a incêndios às condições locais e ao ambiente que esta situado ao seu redor.

Agentes de extinção inadequados

Nenhuma limitação de agentes extintores é dada para essa substância/mistura.

5.2 Riscos especiais resultantes da substância ou da mistura

Não combustível.

Possibilidade de formação de fumos perigosos em case de incêndio nas zonas próximas.

5.3 Precauções para bombeiros

Equipamentos especiais para proteção das pessoas envolvidas no combate a incêndio.

Não ficar na zona de perigo sem aparelhos respiratórios autónomos apropriados para respiração independente do ambiente. De forma a evitar o contacto com a pele, mantenha uma distância de segurança e utilize vestuário protetor adequado.

Informações complementares

Suprimir (abater) com jatos de água os gases, vapores e névoas. Evitar a contaminação da água de superfície e da água subterrânea com a água de combate a incêndios.

SEÇÃO 6. Medidas de controle para derramamento ou vazamento

6.1 Precauções pessoais, equipamentos de proteção e procedimentos de emergência

Recomendações para pessoal não envolvido com emergências: Evitar o contacto com a substância. Evitar a produção de pós; não inalar os pós. Assegurar ventilação adequada. Evacuar a área de perigo, observar os procedimentos de emergência, consultar um especialista.

Recomendações para atendentes de emergências: Equipamento protetor, vide seção 8.

6.2 Precauções ambientais

Não despejar os resíduos no esgoto.

6.3 Métodos e materiais de contenção e limpeza

Cobrir ralos. Recolher, emendar e bombear vazamentos.

Observar as possíveis restrições de material (vide seções 7 e 10).

Absorver em estado seco. Proceder à eliminação de resíduos. Limpeza posterior. Evitar a formação de pós.

6.4 Consulta a outras seções

As Fichas de dados de Segurança para itens de catálogo estão igualmente disponíveis em www.merckgroup.com

Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ
De acordo com a NBR 14725-4:2014

No. de catálogo 105669
Nome do produto Brometo de lítio puríss.

Indicações sobre tratamento de dejetos, vide seção 13

SEÇÃO 7. Manuseio e armazenamento

7.1 Precauções para manuseio seguro

Recomendações para manuseio seguro
Observar os avisos dos rótulos.

Medidas de higiene

Mudar imediatamente a roupa contaminada. Profilaxia cutânea. Depois de terminar o trabalho, lavar as mãos e a cara.

7.2 Condições para armazenamento seguro, incluindo incompatibilidades

Condições de armazenamento
Hermeticamente fechado. Em local seco.

Temperatura recomendada de armazenamento, consulte na etiqueta de produto.

7.3 Utilizações finais específicas

Nenhum uso específico é previsto além dos mencionados na sessão 1.2.

SEÇÃO 8. Controle de exposição e proteção individual

8.1 Parâmetros de controle

Não contém substâncias com valores limites de exposição ocupacional.

8.2 Controles da exposição

Medidas de controle de engenharia

Medidas técnicas e operações de trabalho adequadas devem ter prioridade sobre o uso de equipamento de proteção pessoal.
Vide seção 7.1.

Medidas de proteção individual

As características dos meios de protecção para o corpo devem ser seleccionadas em função da concentração e da quantidade das substâncias tóxicas de acordo com as condições específicas do local de trabalho. A resistência dos meios de protecção aos agentes químicos deve ser esclarecida junto dos fornecedores.

Protecção para a pele/olhos
Óculos de segurança

Protecção das mãos

contacto total:

Substância da luva:	Borracha nitrílica
Espessura da luva:	0,11 mm
Pausa:	> 480 min

contacto com salpicos:

Substância da luva:	Borracha nitrílica
Espessura da luva:	0,11 mm
Pausa:	> 480 min

As luvas de protecção a usar têm que obedecer às especificações da directiva EC 89/686/EEC e do padrão resultante EN374, por exemplo KCL 741 Dermatril® L (contacto total), KCL 741 Dermatril® L (contacto com salpicos).

As ruturas acima descritas foram determinadas pelo KCL em testes de laboratório seg. a EN374 com amostras dos tipos de luvas recomendados.

Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ
De acordo com a NBR 14725-4:2014

No. de catálogo 105669
Nome do produto Brometo de lítio puríss.

Esta recomendação aplica-se apenas ao produto descrito na ficha de dados de segurança por nós fornecida bem como para a aplicação especificada. Quando houver dissolução ou mistura com outras substâncias e sob as devidas condições houver desvios aos descritos na EN374 por favor contactar o fornecedor de luvas com marcação CE (ex: KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de).

Proteção respiratória
necessário em caso de formação de pós.

Controles de riscos ambientais
Não despejar os resíduos no esgoto.

SEÇÃO 9. Propriedades físicas e químicas

9.1 Informações sobre propriedades físico-químicas básicas

Estado físico	sólido
Cor	branco
Odor	inodoro
Limite de Odor	Não existem informações disponíveis.
pH	7 em 100 g/l
Ponto de fusão	ca. 547 °C
Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição	ca. 1.265 °C
Ponto de fulgor	Não existem informações disponíveis.
Taxa de evaporação	Não existem informações disponíveis.
Inflamabilidade (sólido, gás)	Não existem informações disponíveis.
Limite inferior de explosividade	Não existem informações disponíveis.
Limite superior de explosividade	Não existem informações disponíveis.
pressão de vapor	Não existem informações disponíveis.
Densidade relativa do vapor	Não existem informações disponíveis.
Densidade	3,46 g/cm ³ em 25 °C
Densidade relativa	Não existem informações disponíveis.
Solubilidade em água	em 20 °C solúvel
Coefficiente de partição (n-octanol/água)	Não existem informações disponíveis.

Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ
De acordo com a NBR 14725-4:2014

No. de catálogo 105669
Nome do produto Brometo de lítio puríss.

Temperatura de autoignição	Não existem informações disponíveis.
Temperatura de decomposição	Não existem informações disponíveis.
Viscosidade, dinâmica	Não existem informações disponíveis.
Riscos de explosão	Não existem informações disponíveis.
Propriedades oxidantes	Não existem informações disponíveis.

9.2 Outras informações

não

SEÇÃO 10. Estabilidade e reatividade

10.1 Reatividade

Vide seção 10.3.

10.2 Estabilidade química

O produto é quimicamente estável em condições ambientes padrão (temperatura ambiente).

10.3 Possibilidade de reações perigosas

Reações violentas são possíveis com:

Ácidos fortes

10.4 Condições a serem evitadas

não existem indicações

10.5 Materiais incompatíveis

não existem indicações

10.6 Produtos de decomposição perigosa

em caso de incêndio: vide o capítulo 5°.

SEÇÃO 11. Informações toxicológicas

11.1 Informações sobre efeitos toxicológicos

Toxicidade aguda oral

DL50 Ratazana: 1.800 mg/kg

(RTECS)

absorção

Toxicidade aguda - Inalação

Esta informação não está disponível.

Toxicidade aguda - Dérmica

Esta informação não está disponível.

Irritação da pele

Esta informação não está disponível.

Irritação nos olhos

Esta informação não está disponível.

Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ
De acordo com a NBR 14725-4:2014

No. de catálogo 105669
Nome do produto Brometo de lítio puríss.

Sensibilização

Esta informação não está disponível.

Mutagenicidade em células germinativas

Esta informação não está disponível.

Carcinogenicidade

Esta informação não está disponível.

Toxicidade à reprodução

Esta informação não está disponível.

Teratogenicidade

Esta informação não está disponível.

Toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico - exposição única

Esta informação não está disponível.

Toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico - exposição repetida

Esta informação não está disponível.

Perigo por aspiração.

Esta informação não está disponível.

11.2 Informações complementares

Se ingerido

Aos compostos de lítio em geral aplica-se o seguinte: quando manuseados e usados inadequadamente, a absorção de grandes quantidades provoca alterações do sistema nervoso central, agitação, espasmos, ataxia (diminuição da coordenação motora) devida ao desequilíbrio electrolítico.

Dados adicionais:

Outras propriedades perigosas não podem ser excluídas.

Manusear de acordo com as boas práticas industriais de higiene e segurança.

SEÇÃO 12. Informações ecológicas

12.1 Toxicidade

Não existem informações disponíveis.

12.2 Persistência e degradabilidade

Não existem informações disponíveis.

12.3 Potencial bioacumulativo

Não existem informações disponíveis.

12.4 Mobilidade no solo

Não existem informações disponíveis.

12.5 Resultados da avaliação PBT e vPvB

Avaliação de PBT/vPvB não realizada uma vez que a avaliação de segurança química não é exigida/não foi realizada.

12.6 Outros efeitos adversos

Informações ecológicas adicionais

Não temos dados quantitativos relativos aos efeitos ecológicos deste produto.

Informações complementares sobre a ecologia

A descarga no meio ambiente deve ser evitada.

Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ
De acordo com a NBR 14725-4:2014

No. de catálogo 105669
Nome do produto Brometo de lítio puríss.

SEÇÃO 13. Considerações sobre tratamento e disposição

Métodos de tratamento de resíduos

Os dejetos devem ser descartados em conformidade com regulamentações nacionais e locais. Mantenha as substâncias químicas em seus recipientes originais. Não misturar com outros dejetos. O manuseio de recipientes sujos deve ser realizado da mesma forma que o do produto em si.

As frases de perigo e de precaução apresentadas no rótulo também se aplicam a qualquer resíduo deixado na embalagem. A disposição não controlada ou reciclagem desta embalagem não é permitida e pode ser perigosa. Deve ser incinerado em instalação de incineração adequada pelas autoridades competentes.

SEÇÃO 14. Informações sobre transporte

Transporte terrestre (ADR/RID)

14.1 - 14.6 Produto não perigoso segundo o regulamento de transporte.

Transporte fluvial (ADN)

Não relevante

Transporte aéreo (IATA)

14.1 - 14.6 Produto não perigoso segundo o regulamento de transporte.

Transporte marítimo (IMDG)

14.1 - 14.6 Produto não perigoso segundo o regulamento de transporte.

14.7 Transporte em massa de acordo com o Anexo II de MARPOL 73/78 e do Código IBC

Não relevante

SEÇÃO 15. Regulamentações

15.1 Normas de segurança, saúde e ambientais específicas para a substância ou mistura

Legislação nacional

Classe de armazenagem 10 - 13

15.2 Avaliação de segurança química

Não foi realizada uma avaliação de segurança química conforme a regulamentação UE REACH Nº 1907/2006 para este produto.

SEÇÃO 16. Outras informações

Texto completo das Declarações H mencionadas nas seções 2 e 3.

H302 Nocivo se ingerido.

Texto das frases-R referidas nos títulos 2 e 3

R22 Nocivo por ingestão.

Recomendação de treinamento

Proporcione informações, instruções e treinamento adequados para os operadores.

Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ
De acordo com a NBR 14725-4:2014

No. de catálogo 105669
Nome do produto Brometo de lítio puríss.

Rotulagem

Pictogramas de risco



Palavra de advertência
Atenção

Frases de perigo
H302 Nocivo se ingerido.

Rotulagem (67/548/CEE ou 1999/45/CE)

Símbolo(s): ☒ Xn Nocivo

R - Frase(s) 22 Nocivo por ingestão.
N° CE 231-439-8

Legenda das abreviações e acrônimos

As abreviaturas e acrônimos utilizados podem ser consultados em <http://www.wikipedia.org>.

As indicações baseiam-se no nível actual dos nossos conhecimentos e servem para a caracterização do produto no que se refere às medidas de segurança a tomar. Estas indicações não implicam qualquer garantia de propriedades do produto descrito.

8.2 ANEXO B – RELATÓRIO ANEEL – CONSUMIDORES, CONSUMO,
RECEITA E TARIFA MÉDIA – CLASSE DE CONSUMO

Classe de Consumo	Consumo de Energia Elétrica MWh	Receita de Fornecimento de Energia Elétrica	Receita de Fornecimento de Energia Elétrica com Tributos	Número de Unidades Consumidoras	Tarifa Média de Fornecimento	Tarifa Média de Fornecimento com Tributos
Comercial, Serviços e Outras	6.525.508,14	R\$ 2.827.050.690,45	R\$ 3.999.065.647,41	5.703.619	433,23	612,84
Consumo Próprio	42.996,51	R\$ 19.256.962,49	R\$ 24.374.832,46	9.310	447,87	566,90
Iluminação Pública	1.283.902,95	R\$ 327.889.335,69	R\$ 444.078.252,98	97.630	255,38	345,88
Industrial	3.427.676,67	R\$ 1.310.645.641,17	R\$ 1.785.270.730,85	535.224	382,37	520,84
Poder Público	1.282.583,21	R\$ 568.648.518,51	R\$ 728.228.797,84	578.285	443,36	567,78
Residencial	11.506.607,09	R\$ 5.099.444.657,99	R\$ 7.159.800.846,48	69.007.272	443,18	622,23
Rural	1.435.041,49	R\$ 461.200.737,15	R\$ 574.419.753,81	4.409.154	321,38	400,28
Rural Aquicultor	18.489,40	R\$ 4.154.996,49	R\$ 4.800.201,51	7.034	224,72	259,62
Rural Irrigante	521.834,12	R\$ 133.848.742,25	R\$ 151.195.485,00	198.326	256,50	289,74
Serviço Público (água, esgoto e saneamento)	986.129,48	R\$ 331.403.586,92	R\$ 430.050.675,04	92.583	336,06	436,10
Serviço Público (tração elétrica)	61.306,63	R\$ 21.811.139,92	R\$ 27.138.121,44	312	355,77	442,66
Totais	27.092.075,69	R\$ 11.105.355.009,03	R\$ 15.328.423.344,82	80.638.749,00	409,91	565,79