

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA MECÂNICA

EDUARDO HENRIQUE NUNES CAETANO

**ANÁLISE DO USO DA ABSORÇÃO AMÔNIA-ÁGUA PARA APARELHOS DE AR-
CONDICIONADO COMERCIAL A ENERGIA SOLAR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2019

EDUARDO HENRIQUE NUNES CAETANO

**ANÁLISE DO USO DA ABSORÇÃO AMÔNIA-ÁGUA PARA APARELHOS DE AR-
CONDICIONADO COMERCIAL A ENERGIA SOLAR**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Termodinâmica do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Cotait Razuk
Coorientador: Prof. Dr. Marcos De Sousa Lourenço

FOLHA DE APROVAÇÃO

Eduardo Henrique Nunes Caetano

ANÁLISE DO USO DA ABSORÇÃO AMÔNIA-ÁGUA PARA APARELHOS DE AR- CONDICIONADO COMERCIAL A ENERGIA SOLAR

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 10:20hs do dia 26/07/2019, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico no programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Cornélio Procópio, ___/___/_____.

Prof. Dr. Henrique Razuk (Orientador)

Prof. Dr. Marcos Antônio de Souza Lourenço (Coorientador)

Prof. Dr. Fabio Kenji Suguimoto (Membro)

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

RESUMO

CAETANO, Eduardo Henrique Nunes. **Análise do Uso da Absorção Amônia-Água para Aparelhos de Ar-Condicionado Comercial a Energia Solar**. 2019. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2019.

O uso do ciclo de refrigeração por absorção amônia-água vem sendo estudado para fins comerciais e aplicação em ar-condicionado solar é a mais procurada, tendo como vantagem um baixo consumo de energia, pois ele não usa um compressor, em vez disso ele utiliza um gerador, uma bomba e um absorvedor que dá nome ao ciclo. Assim, alinhar seu uso com aparelhos de ar-condicionado cria-se um equipamento de refrigeração com um custo reduzido de energia. A necessidade de refrigeração aumentou, seja para a conservação de alimento e remédios, ou para o conforto térmico, assim a diminuição de energia gastas por estes aparelhos é atrativa. Podendo ser maior com o uso da energia solar no ciclo, pois é abundante em dias quentes quando mais usa ar-condicionado e ventiladores e ainda diminui os danos ambientais, assim estudos são desenvolvidos nesta área. Contudo a amônia é um composto perigoso, usado somente em indústrias que podem oferecer equipamentos de segurança, por isso seu uso em residências precisa ser estudado para que não ameace a saúde e a vida dos seres vivos. A proposta deste trabalho foi criar um programa que calcule a eficiência do ciclo básico de refrigeração por absorção amônia-água e usá-lo com as condições de contorno de um ar-condicionado solar, dimensionado para um restaurante, pois os cálculos convencionais envolve a interpretações de diagramas difíceis e imprecisos, também se buscou em catálogos um aparelho que já use esse sistema para comparação de dados. Assim foi analisado que é possível seu uso para esses fins.

Palavras-chave: Refrigeração. Absorção. Amônia-água. Ar-condicionado. Energia Solar. Programação.

ABSTRACT

CAETANO, Eduardo Henrique Nunes. **Analyze of the Use of Ammonia-Water Absorption for Commercial Solar air-conditioning Systems**. 2019. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2019.

The use cycle of ammonia-water absorption refrigeration for commercial purposes has been studying a lot. It is being the application in solar air-conditioning the more researched, for many benefits with this system can to offer. The absorption have how principal benefit a low consumption by energy because different from cycle of compression, it do not use compressor, it is substituted for the generator, pump and absorber, that gives the name to the cycle. Therefore, line up its use with air-conditioning is created an equipment with a reduced cost of energy, it being that in current days the need for refrigeration increase be for conservation of food and physic or for thermic comfort, which makes the decrease of energy spent by these handsets attractive. This can be bigger with use of solar energy, for it decreases the environmental and it is more abundant in hot days, in these days more use air-conditioning and fan, so there many study about it. However the ammonia is a danger compound, and it is using only the industries with can offer safety equipment, so its use in houses need be study for do not threaten the cheers and the life of living beings. This work propose created a program that calculate the efficiency by basic solar cycle of ammonia-water absorption refrigeration and use it with the boundary conditions of an air-conditioning sized for a restaurant, because the conventional calculations involves the interpretation of hard and imprecise diagrams, also was searched on catalogs an appliance with already use this system for comparison of data. So it was analyze with is possible its use for these purpose.

Keywords: Refrigeration. Absorption. Ammonia-water. Air-conditioning. Solar Energy. Programming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo De refrigeração de Absorção e Processo Psicrométrico.....	10
Figura 2 – Ciclo de Refrigeração Solar de Absorção.....	14
Figura 3 – Diagrama pressão x Temperatura e Concentração.....	16
Figura 4 – Processo de Absorção Diagrama Entalpia e Concentração.....	16
Figura 5 – Diagrama Entalpia x Concentração de Amônia.....	18
Figura 6 – Sistema Comercial de Condicionamento de Ar.....	19
Figura 7 – Termômetro de Bulbo.....	20
Figura 8 – Carta Psicrométrica.....	21
Figura 9 – Células Fotovoltaicas.....	23
Figura 10 – Aquecedor de Água por Energia Solar Comercial.....	24
Figura 11 – Dimensionamento do Ar-Condicionado.....	25
Figura 12 – Equipamento de Ar-Condicionado.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Expoentes e Coeficientes da Equação 19.....	26
Tabela 2 – Expoentes e Coeficientes da Equação 20.....	27
Tabela 3 – Expoentes e Coeficientes da Equação 21.....	28
Tabela 4 – Expoentes e Coeficientes da Equação 22.....	28
Tabela 5 – Expoentes e Coeficientes da Equação 23.....	29
Tabela 6 – Dados de Entrada.....	31
Tabela 7 – Resultados da Simulação, Pontos Do Ciclo.....	31
Tabela 8 – Resultados Da Simulação, Potencias do Ciclo.....	32
Tabela 9 – Dados Técnicos do Resfriador por Absorção.....	33
Tabela 10 – Dados Técnicos do Resfriador por Absorção.....	33

LISTA DE SÍMBOLOS

T	Temperatura
Q	Calor
\dot{m}	Vazão Mássica
h	Entalpia
COP	Coeficiente de Performance
P	Pressão
x	Concentração de Amônia
T _{bs}	Temperatura de Bulbo Seco
T _{bu}	Temperatura de Bulbo Úmido
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
TR	Tonelada de Refrigeração
i	Expoente e/ou Coeficiente
a _i	Expoente e/ou Coeficiente
m _i	Expoente e/ou Coeficiente
n _i	Expoente e/ou Coeficiente
x	Concentração Molar de Amônia Líquida
y	Concentração Molar de Gás de amônia
h _l	Entalpia de Líquido
h _g	Entalpia de Gás
kJ/kg	Quilo Joule por Quilograma
K	Kelvin
Kg/s	Quilograma por segundo
Kw	Quilo Watts
°C	Graus Celsius
m	Metros
Kg	Quilograma
Hz	Hertz
m ³ /h	Metros Cúbicos por Hora
DN	Diâmetro Nominal

Sumário

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORSÃO	12
2.2 SISTEMA DE AR-CONDICIONADO	19
2.3 ENERGIA SOLAR	23
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	25
4 RESULTADOS	31
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
REFERÊNCIAS.....	37
ANEXOS	39
ANEXO 1 – LINHAS DE PROGRAMAÇÃO, EQUATIONS	39
ANEXO 2 – LINHAS DE PROGRAMAÇÃO, CICLO	41

1 INTRODUÇÃO

O ciclo de refrigeração por absorção vem sendo estudado para que este tenha uso comercial, pois se tem buscado diminuir o consumo de energia desses aparelhos, visto que se tem usados em larga escala nos últimos anos. O ciclo de absorção é mais econômico que o ciclo de compressão, por precisar de uma bomba e uma fonte quente, ao invés de um compressor (GENIÉR, 2013). O que pode ser mais benéfico com o uso de energia solar para suprir a fonte quente (NKWETTA, 2016) e (AGUIAR, 2018).

Há diversas pesquisas feitas para tornar a refrigeração solar uma opção viável. Por ser uma fonte sustentável ela pode suprir a necessidade energética diminuindo os prejuízos com meio ambiente. O autoconsumo de carbono proveniente dos combustíveis fósseis tem afetado a temperatura do planeta. Cabe ressaltar que nos últimos anos se teve um aumento nas instalações de sistemas de captação de energia solar em residências, o que tornou pesquisas de refrigeração solar mais atrativa (NKWETTA, 2016).

Além das diversas vantagens ambientais e na alta demanda na utilização de energia solar, há uma necessidade crescente em refrigeração para a conservação de alimentos, de vacinas, conforto térmico e medicamentos, devido ao aumento da temperatura média do planeta. Outro principal motivo que torna a refrigeração solar atrativo é que em dias quentes, onde é maior o uso de refrigeradores, a ela é mais abundante (NKWETTA, 2016). Assim estudos estão sendo feitos para utilizá-la, e como seria possível (GENIÉR, 2013) e (NKWETTA, 2016). A Figura 1 mostra o ciclo de refrigeração solar (FONG, 2002).

Contudo a amônia é um composto químico perigoso, pois apresenta risco para a saúde. Seu Contato tem como principais partes do corpo atingidas os olhos, pele e sistema respiratório, em seu estado gasoso pode sufocar e causar irritação nos olhos e no sistema respiratório e o tempo e o nível da exposição podem causar graves lesões no corpo, por sua ação cáustica alcalina. Ainda exposição a altas concentrações “a partir de 2500ppm por um período de 30min. pode ser fatal.” (TOTAL QUIMICA, 2003, p.1). Em sua forma líquida pode causar queimaduras graves nos olhos e pele, é a alta exposição pode levar a morte.

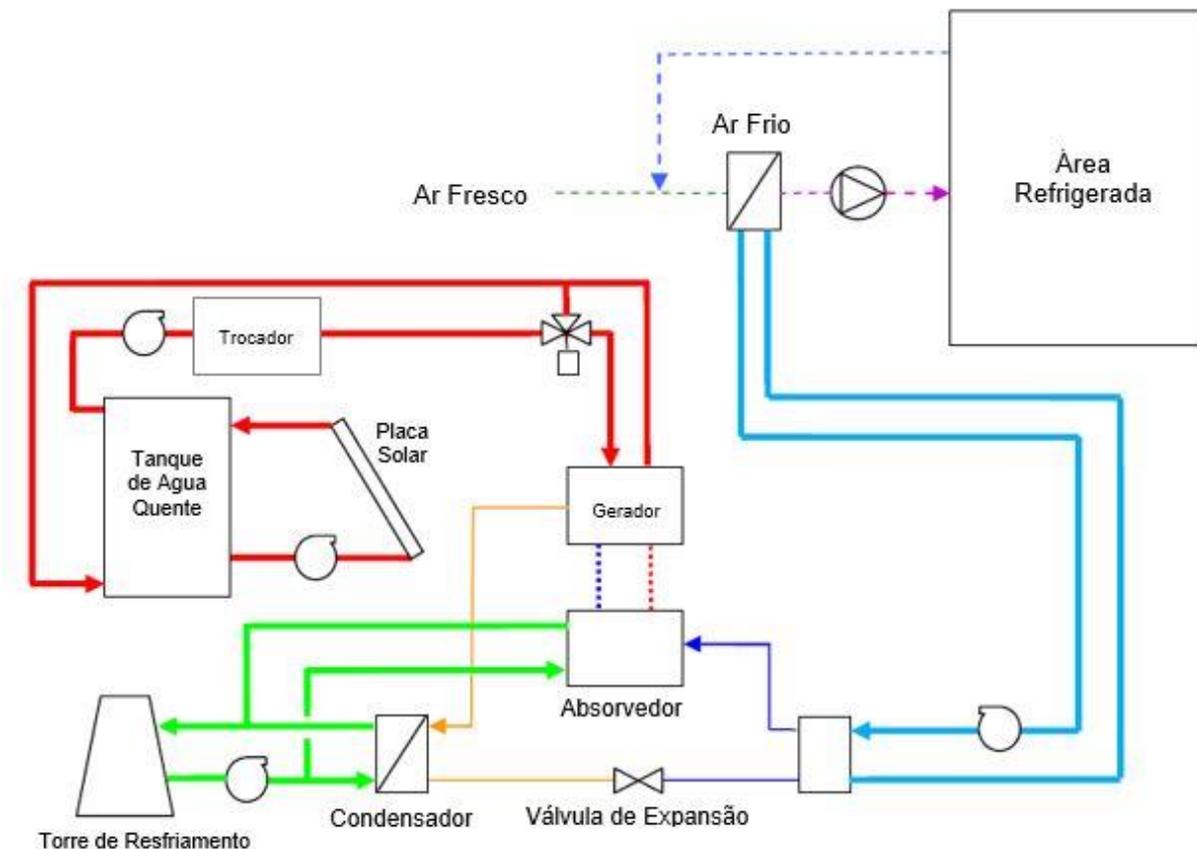


Figura 1 - Ciclo de Refrigeração de Absorção e Processo Psicrométrico
Fonte: FONG, 2002

Outro problema da amônia é o risco moderado de fogo e explosão, se exposta a chamas ou calor e este risco aumenta com a presença de outros materiais combustíveis (TOTAL QUIMICA, 2003).

Em caso de um vazamento é importante o evitar o contato com o composto, se possível, fechar a válvula e usar água para reduzir a concentração do gás e diminuir as chances de incêndio, caso ocorra o princípio de incêndio é recomendado o uso de pó químico ou CO_2 para combatê-lo. Se houver o contato com amônia tem que, retirar as roupas contaminadas e lavar com água em abundância e depois encaminhar para o médico, este procedimento precisa ser o mais rápido possível, senão a chances de consequências graves, por exemplo a demora de dez segundos na lavagem da amônia nos olhos pode causar cegueira. No caso de inalação preciso remover a vítima da área contaminada e administrar oxigênio, se possível, também apreçar manobras de ressuscitação caso necessária devido a parada respiratória e levar ao hospital mais próximo (TOTAL QUIMICA, 2003).

Devido a estes riscos na manipulação da amônia, o ciclo de absorção é de uso, quase que exclusivo, das indústrias. Estas podem oferecer instalações e

equipamentos de segurança que não se possuem em residências, por isso uso esse sistema de refrigeração para fins comerciais é questionado por aqueles que já trabalham a absorção, por conhecerem os perigos que a amônia possui. Contudo as diversas vantagens que esse pode trazer, em economia de energia e com as pesquisas que se tem desenvolvido, pode-se tornar viável o uso da refrigeração por absorção no futuro, mas ela terá que elaborar uma norma de segurança rigorosa, para minimizar os riscos apresentados (TOTAL QUIMICA, 2003).

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho aborda conceitos desenvolvidos na área de climatização por absorção de amônia com uso da energia solar.

Criou-se um programa para realizar os cálculos do ciclo de absorção amônia-água, Anexo 1, desenvolvida na linguagem de programação Python 3, e após inseridas as condições de contorno de um ar-condicionado (AGUIAR, 2018).

Estas condições de contorno foram calculadas a partir do estudo para instalação de um ar-condicionado no restaurante de uma empresa gráfica, que foi desenvolvido no trabalho (CARNEIRO, 2018) e assim determinar se qual modelo, apresentado no catalogo (SOLAR NEXT), seria mais adequado se fosse instalado um ar-condicionado de refrigeração por absorção de amônia água, comparando seu desempenho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO

O ciclo de refrigeração por absorção funciona com a mistura de duas substâncias, essas são chamadas de refrigerante e absorvente. O refrigerante possui a função de resfriar o ambiente, através da troca de calor, esse ainda muda de estado, líquido para vapor, já o absorvente tem a função de absorver o refrigerante tornando uma solução líquida. Outra característica é que este ciclo não usa compressores como o ciclo de refrigeração normal, ele é substituído pelo absorvedor e gerador de calor, assim ele possui um gasto de energia menor (MORAN, 2002). Os refrigerantes e absorventes normalmente utilizados são água-brometo de lítio, onde a água é o refrigerante e amônia-água, sendo amônia o refrigerante. Este trabalho dará enfoque apenas na amônia-água, visto que, ele apresenta eficiência maior que o água-brometo e vem sendo pesquisada para uso comercial (GENIÉR, 2013).

Outro conceito que cabe aprender é da solução forte e solução fraca. A solução chamada de forte é a que tem a maior concentração de amônia e a solução fraca possui baixa concentração de amônia, esses também podem ser descritos como solução rica e pobre. Vale lembrar que no ciclo também acontece a circulação da amônia em estado líquido e de vapor (GENIÉR, 2013).

Para poder entender como funciona o ciclo de absorção, é necessário saber os equipamentos que o compõem. Sendo eles: absorvedor, bomba, gerador, condensador, válvula de expansão e evaporador, vale lembrar que esses são os elementos de um ciclo básico, tendo-se ciclos com mais máquinas dependendo da necessidade de refrigeração (GENIÉR, 2013). A Refrigeração por absorção acontece num ciclo fechado onde os fluidos, solução forte, fraca e amônia, circulam. Cada equipamento funciona para obter a temperatura desejada, sendo que eles funcionam da seguinte maneira (VAN WYLEN, 1995):

- **Absorvedor:** É onde ocorre a mistura da amônia e da água. É necessário para tornar o vapor de amônia uma solução de amônia-água líquida. Ele recebe a solução fraca e vapor de amônia assim o fluido se torna a solução forte.

- **Bomba:** Ela é responsável por transportar a solução forte até o gerador.
- **Gerador:** É aonde ocorrem a separação do vapor de amônia do resto da solução. Ele é aquecido até uma temperatura menor que o ponto de fusão da água e maior que o da amônia, assim uma quantidade de amônia é evaporada e enviada para o condensador. O resto que sobra é a solução fraca, que é mandada de volta para o Absorvedor.
- **Condensador:** Como num ciclo de refrigeração por compressão, ele é responsável pela mudança de fase gasosa para líquida da amônia, a uma pressão constante. Ela então é encaminhada para a válvula de expansão.
- **Válvula de Expansão:** Ela é responsável pela expansão do refrigerante. Assim a amônia passa da fase líquida para uma mistura de amônia gasosa e amônia líquida a baixa pressão, que é enviada para o evaporador.
- **Evaporador:** É aonde ocorre a mudança de fase da amônia líquida para vapor, então o meio que o evaporador está é refrigerado. No final do processo se tem apenas vapor de amônias, este é enviado para o absorvedor.

Este ciclo necessita de uma fonte quente de calor, para alimentar o gerador, assim se pode aquecer a solução forte. As mais comumente usadas hoje são a combustão: que queima um material inflamável, como o GLP, para gerar fogo; energia elétrica: que vai fornecer calor com o uso de resistências elétricas: a energia solar: que capta calor do sol através de placas solares. Sendo a energia solar uma fonte sustentável de obtenção de energia e seu custo acaba sendo mais vantajoso, a longo prazo, que os demais métodos apresentados para o uso comercial, pois esse deixa o custo reduzido, que é a vantagem do uso da absorção em eletrodoméstico (AGUIAR, 2018), (MORAN, 2002) e (VAN WYLEN, 1995).

Os equipamentos citados formam o ciclo básico de refrigeração por absorção, porém diversos outros equipamentos podem ser acrescentados ao ciclo para melhorar sua eficiência. Os mais comuns de serem usados são trocador de calor entre solução rica que sai da bomba e a solução fraca que sai do gerador, purgadores, que eliminarão o ar do fluido e o retificador que é instalado entre o gerador e o condensador, para eliminar as partículas de água que tiverem junto com o vapor de amônia, esta água volta para o gerador e se mistura com a solução fraca (AMAN, 2014). O programa, proposto neste trabalho para simular o ciclo de absorção, propõe o uso do trocador de calor e do retificador, por garantir uma

melhor eficiência. O ciclo de refrigeração por absorção solar, que foi proposto, pode-se compreender melhor pela figura 2.

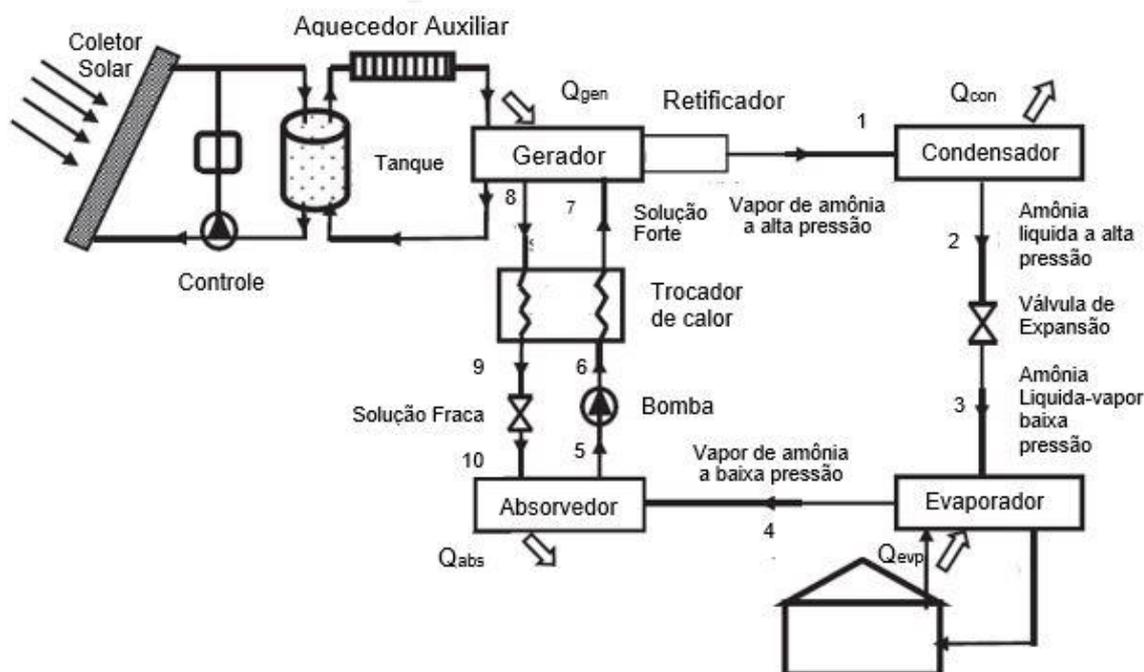


Figura 2 - Ciclo de Refrigeração Solar de Absorção
Fonte: AMAN, 2014

Após definir o conceito da refrigeração por absorção, se pode comentar os cálculos para o projeto do refrigerador. Como no ciclo convencional, os dimensionamentos são calculados através de dos balanços de energia de cada componente principal do ciclo, gerador, condensador, evaporador e absorvedor, assim pode-se determinar quais serão os calores gerados por estes (AMAN, 2014). Essas equações são:

$$Q_{ger} = \dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_8 \cdot h_8 - \dot{m}_7 \cdot h_7 \quad (1)$$

$$Q_{cond} = \dot{m}_1 \cdot (h_1 - h_2) \quad (2)$$

$$Q_{eva} = \dot{m}_1 \cdot (h_4 - h_3) \quad (3)$$

$$Q_{abs} = \dot{m}_4 \cdot h_4 + \dot{m}_{10} \cdot h_{10} - \dot{m}_5 \cdot h_5 \quad (4)$$

Sendo Q o calor gerado, \dot{m} a vazão mássica e h a entalpia. Com o calor do evaporador se sabe qual será a potência necessária da máquina para refrigerar o ambiente.

Tendo os dados se pode calcular o coeficiente de performance, também chamado de COP. Este é uma medida adimensional que mostra a eficiência ciclo, quanto maior for este valor maior será a eficiência do ciclo (GENIÉR, 2013). O COP é calculado pelo calor do evaporador sobre o calor do gerador. Como mostra a equação 5 (GENIÉR, 2013).

$$\text{COP} = \frac{Q_{eva}}{Q_{ger}} \quad (5)$$

Os balanços mostrados, são os mesmos que se usa no ciclo de refrigeração por compressão, tendo uma mudança apenas na forma de se calcular o COP. Contudo existe um fator que dificulta o cálculo, que é determinar o valor da entalpia da amônia-água. Valores de entalpia de demais substância, normalmente são tabelados de acordo com a temperatura e pressão, mas amônia-água não tem seus valores tabelados, por ser uma mistura de duas substâncias, assim o valor entalpia depende da sua concentração (FERREIRA, 2014).

Cabe lembrar que o valor de concentração é dado a partir da quantidade de amônia na solução e que no ciclo a solução, será forte, fraca ou apenas amônia pura. Então para cada um desses tipos haverá uma variação de entalpia diferente e a concentração depende da pressão e temperatura de trabalho, sendo assim para começar a dimensionar o refrigerador por absorção é preciso saber qual é temperatura de trabalho do absorvedor, gerador, condensador e evaporador. Assim a pressão e concentração podem ser determinadas pelo diagrama mostrado na figura 3 (FERREIRA, 2014).

Tendo as concentrações das soluções fortes e fraca o próximo passo é determinar a entalpia em cada estado do ciclo. A relação da entalpia e concentração de amônia, é apresentado na forma diagrama mostrado na Figura 4, o eixo horizontal se refere a concentração da mistura que é dado 0% a 100%, de amônia.

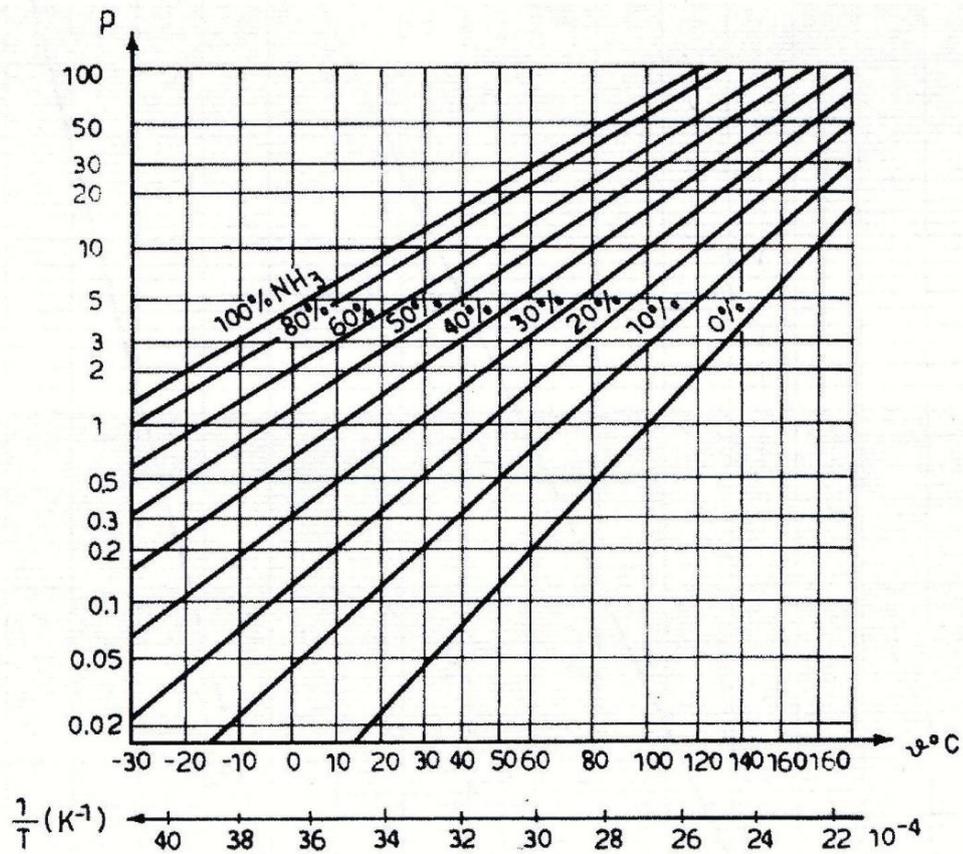


Figura 3 - Diagrama Pressão x Temperatura e Concentração.
 Fonte: FERREIRA, 2014

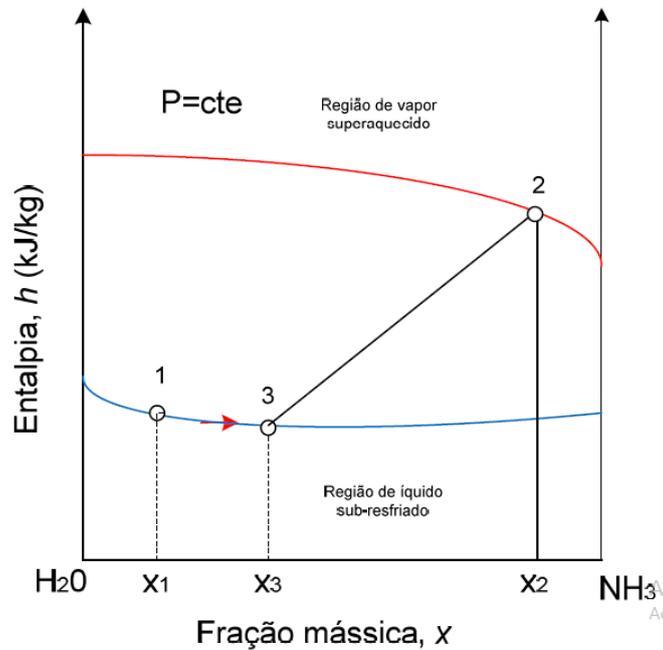


Figura 4 - Processo de Absorção Diagrama Entalpia e Concentração.
 Fonte: PRATA, 2012.

As linhas que cruzam o meio do diagrama são referentes pressões e o eixo

vertical são os valores da entalpia. Assim tendo um desses valores encontram-se os pontos necessários no diagrama (PRATA, 2012). Este conceito do diagrama entalpia e concentração. Encontra-se, em outros trabalhos ou manuais de sistemas de refrigeração por absorção, um diagrama mais elaborado que, além dos valores de entalpia, concentração de amônia e pressão usa-se os valores de temperatura. Também é dividido em duas partes sendo a primeira para a mistura líquida e a segunda mistura em vapor (PRATA, 2012).

Com a observação de cada estado do ciclo, é possível encontrar os valores de entalpia para cada um dos elementos do ciclo. O diagrama é mostrado na Figura 5 (FERREIRA, 2014). Com dos valores de entalpias pode-se dimensionar os ciclos com os cálculos, apresentados (AMAN, 2014).

Devido à dificuldade apresentada para usar este diagrama, se estudou uma forma de obter estes resultados através de um programa, sendo explicada logo mais.

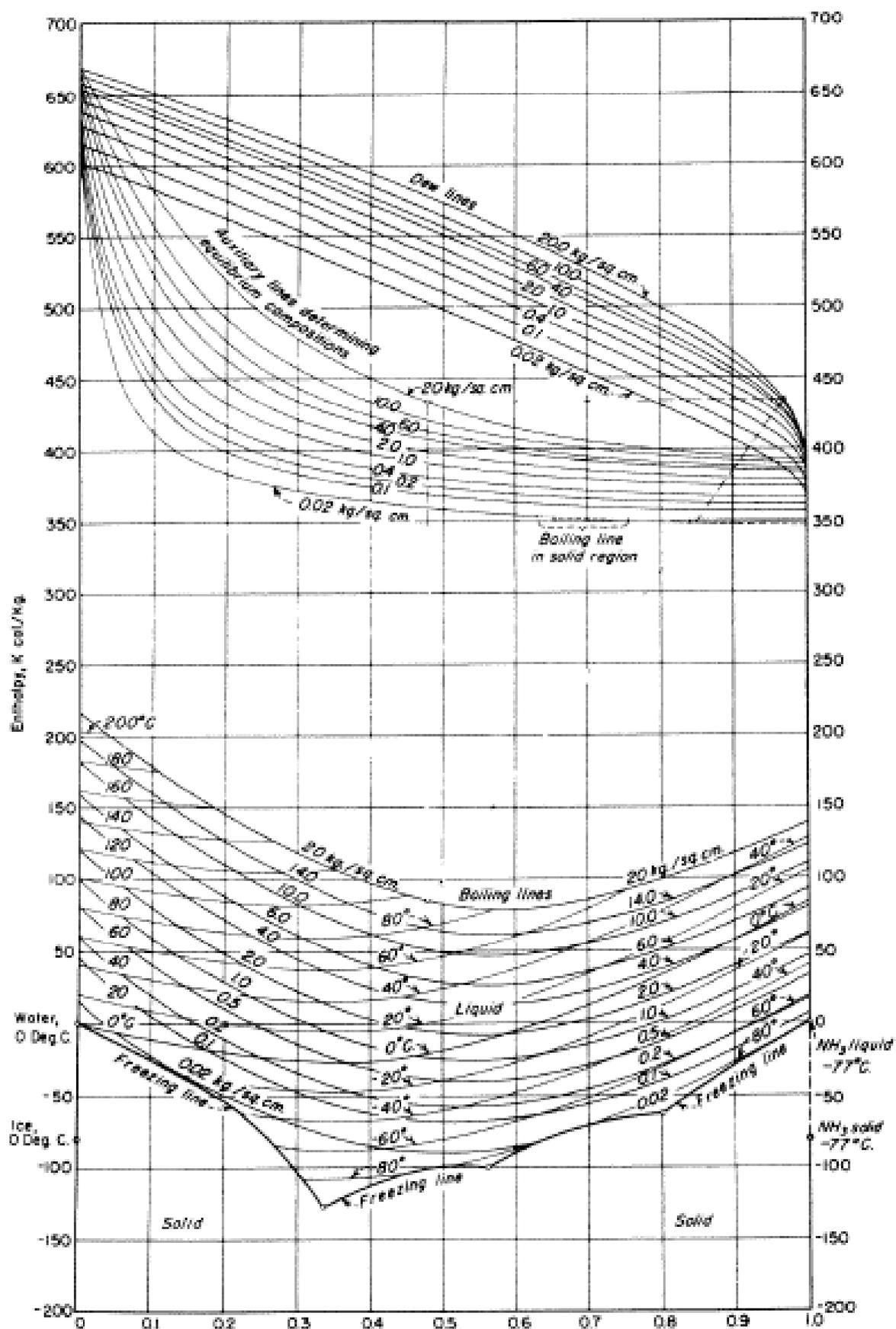


Figura 5 - Diagrama Entalpia x Concentração de Amônia.
 Fonte: FERREIRA, 2014.

2.2 SISTEMA DE AR-CONDICIONADO

A figura 6 ilustra um sistema de ar-condicionado comercial para a refrigeração de uma sala (FONG, 2002).

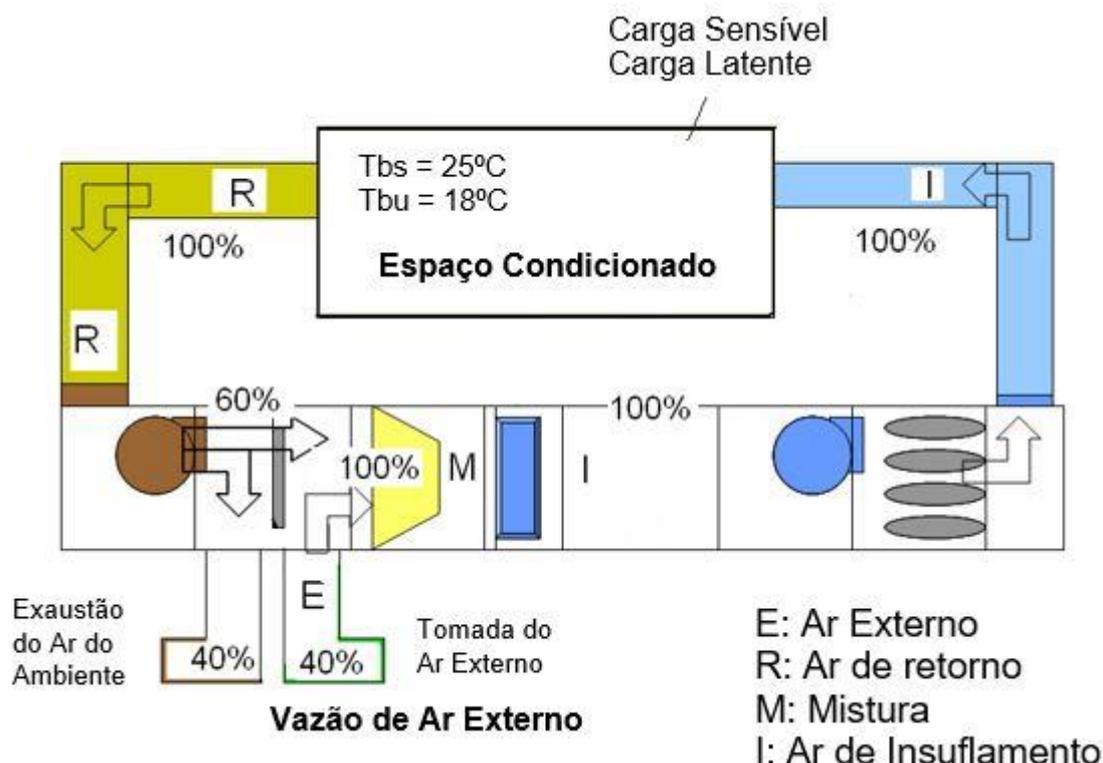


Figura 6 - Sistema Comercial de Condicionamento De Ar

Pode-se observar, através da figura 6, como funciona o ciclo do ar-condicionado comercial. O ar da sala é direcionado através do duto R, sendo este o ar de retorno, para o equipamento onde ocorre a exaustão de 40% do ar para ambiente, isso é pedido pelas normas reguladoras para que o ar seja renovado. Assim o 60% do ar é misturado com 40% ar do externo renovado, ponto E. Esta mistura então passa pelo evaporador, que está no entre o ponto M e I, do refrigerador e ocorre o insuflamento do ar, que por fim é encaminhado, por duto, para a sala, sendo este ar já refrigerado (CREDER, 2004).

A figura 6 também mostra a temperatura de bulbo seco (tbs) e a temperatura de bulbo úmido (tbu), que foi medida na sala. O tbs é a temperatura normal do ambiente, sem relacionar a umidade do ar e o tbu mede a temperatura considerando a umidade do ar. Essas podem ser obtidas pelo termômetro de bulbo, que também mede a temperatura de radiação (FIG. 7) (CREDER, 2004).



Figura 7 - Termômetro de Bulbo
Fonte: TERMOMETRO DE GLOBO DIGITAL C/
FUNÇ.

Com a medição do tbs e tbu se pode aplicar a psicrometria. Esta pode ser definida como “o ramo da física relacionado com a medição das condições do ar atmosférico, principalmente com respeito à mistura ar seco – vapor d’água”. O conhecimento das condições de umidade e temperatura do ar é de grande importância. Além do conforto térmico, que depende mais da quantidade de vapor presente no ar do que propriamente da temperatura, também em muitos outros ramos da atividade humana são importantes esse conhecimento. A maioria das aplicações da psicrometria está relacionada ao estudo da mistura entre o vapor de água e o ar atmosférico. Na engenharia a o processo psicrométrico é utilizado para o dimensionamento de sistemas de ar-condicionado (FONG, 2002).

Como mostra a Figura 8 um exemplo de carta psicrométrica. No eixo horizontal mostra a temperatura de bulbo seco (dado em °C), do lado esquerdo temos a temperatura de bulbo húmido (dado em °C) e o calor total (dado em kcal/Kg de ar seco), no lado direito mostra as gramas de vapor por quilograma de ar seco.

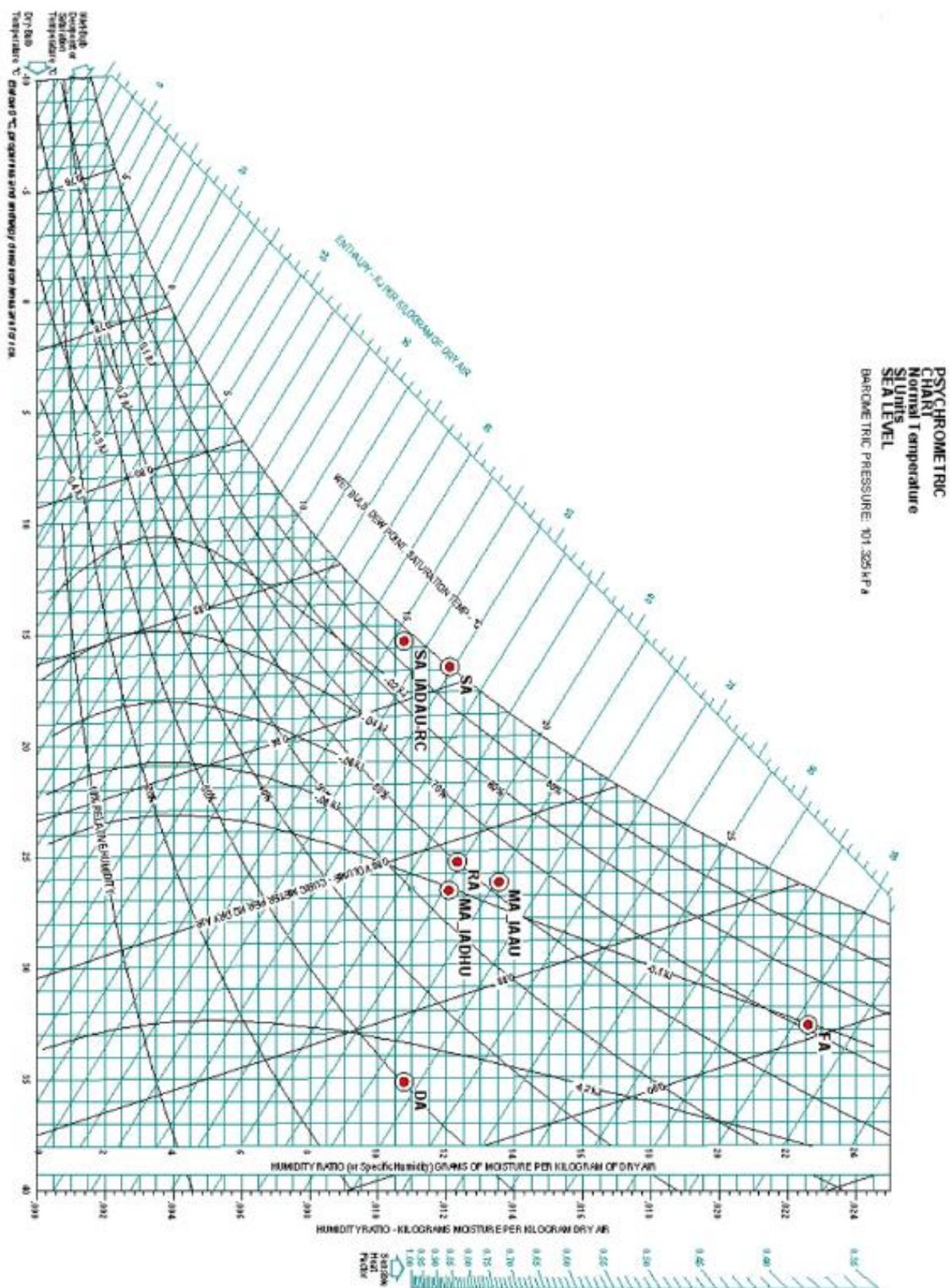


Figura 8 - Carta Psicrométrica.
 Fonte: FONG, 2002.

Com os dados pode-se determinar a temperatura no ponto de orvalho, que é 100% de umidade e assim calcula-se o calor necessário para ar-condicionado. Sendo necessário também encontrar o calor sensível e o calor latente. “Calor sensível é a quantidade de calor que dever ser acrescentada ou retirada de um recinto devido à diferença de temperatura entre o exterior e o interior, a fim de fornecer as condições de conforto desejadas.” (CREDER, 2004, p. 16) e calor latente “É a quantidade de calor que se acrescenta ou retira de um corpo, causando a sua mudança de estado, sem mudar a temperatura; é o calor absorvido que provoca a evaporação da água ou outros líquidos.” (CREDER, 2004, p. 17), esses são obtidos, através de manipulações matemáticas, com base nos dados determinados na carta psicrométrica.

Os balanços usam os pontos de mistura e insulamento do ar, como mostra a seguir:

$$\dot{m}_a h_1 = \dot{q} + \dot{m}_w h_w + \dot{m}_a h_2 \quad (6)$$

$$\dot{q} = (h_1 - h_2) - \dot{m}_w h_w \quad (7)$$

$$Q_{eva} = \dot{m}_1 \cdot (h_4 - h_3) \quad (8)$$

$$\dot{q} = \dot{m}_a (h_1 - h_2) \quad (9)$$

$$\dot{m}_a w_1 = \dot{m}_w + \dot{m}_a w_2 \rightarrow w_w = \dot{m}_a (w_1 - w_2) \quad (10)$$

$$\dot{m}_a w_1 + \dot{m}_w = \dot{m}_a w_2 \quad (11)$$

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a (w_2 - w_1) \quad (12)$$

$$\dot{m}_a w_1 + \dot{m}_w h_w = \dot{m}_a h_2 \rightarrow h_2 = h_1 + h_w (w_2 - w_1) \quad (13)$$

$$\frac{\dot{m}_A \times h_R + \dot{m}_{v,R} \times h_{v,R}}{\dot{m}_A} = \frac{\dot{Q} + \dot{m}_A \times h_I + \dot{m}_{v,I} \times h_{v,I} + \dot{m}_A \times (W_E - W_I) \times h_{l,TPO}}{\dot{m}_A} \quad (14)$$

$$h_R + W_R \times h_{v,R} = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_A} + h_I + W_I \times h_{v,I} + (W_E - W_I) \times h_{l,TPO} \quad (15)$$

O Calor na equação 15 é a potência requerida do ar-condicionado (CARNEIRO, 2018).

Além desses deve-se considerar a dimensão do espaço refrigerado sendo esses cálculos tabelados de acordo com as normas. Assim pode-se dimensionar o equipamento de ar condicionado com a potência que irá suprir a necessidade de refrigeração (CREDER, 2004).

O uso do ciclo de refrigeração por absorção amônia-água para ar-condicionado não mudaria a maneira de dimensionar o equipamento. Cabe exaltar que pesquisas estão sendo feitas, que focam na refrigeração por absorção para uso comercial, como o, por exemplo, o ar-condicionado.

2.3 ENERGIA SOLAR

Os métodos convencionais de geração de energia, como hidroelétricas, termoelétricas, entre outros, causam muitos impactos ambientais e além de terem um auto custo. Assim se tem buscado a produção de energias limpas e/ou renováveis, a fim de diminuir os danos ao meio ambiente e ter um custo reduzido para o consumidor (AGUIAR, 2018).

Uma dessas é a solar, que usa o calor do sol para gerar eletricidade e/ou calor. Para isso se faz a captação da luz solar, através de células fotovoltaicas,



Figura 9 - Células Fotovoltaicas.

Fonte: GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE CELULAS FOTOVOLTAICAS.

assim pode transforma-la em energia elétrica (Fig. 9) (AMAN, 2014).

Outro método de captação, que visa a obtenção de calor é com o aquecimento da água, ou de outro fluido. Ela circula através de tubos, feitos de

materiais de alta condutividade térmica, aumentando sua temperatura. Existem modelos comerciais, como mostra a figura 10 (FONG, 2002).



Figura 10 - Aquecedor de Água por Energia Solar Comercial

O uso da energia solar também pode ser utilidade no ciclo de refrigeração por absorção, tanto por eletricidade quanto por calor. Cabe lembrar que no ciclo é necessário aquecer a solução forte para separar a amônia da água e esta fonte quente diversos trabalhos buscam a energia solar, sendo o principal uso em ar-condicionado (AMAN, 2014).

Os principais motivos são por ser uma fonte de energia renovável, ser abundante principalmente nos dias quentes onde a necessidade de refrigeração é maior, ter um custo reduzido, se comparado a energia elétrica e gás GLP e seu uso tem aumentado em residências o que incentiva a fabricação de aparelhos de refrigeração comerciais que utilizem dessa energia (AGUIAR, 2018).

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este trabalho propôs a criação de um programa que simule o ciclo de refrigeração por absorção amônia-água, tendo como dados iniciais as temperaturas de cada componente do ciclo e com as condições de contorno de um ar condicionado que use energia solar e analisar seu para o local dimensionado no trabalho do (CARNEIRO, 2018) (FIG. 11).

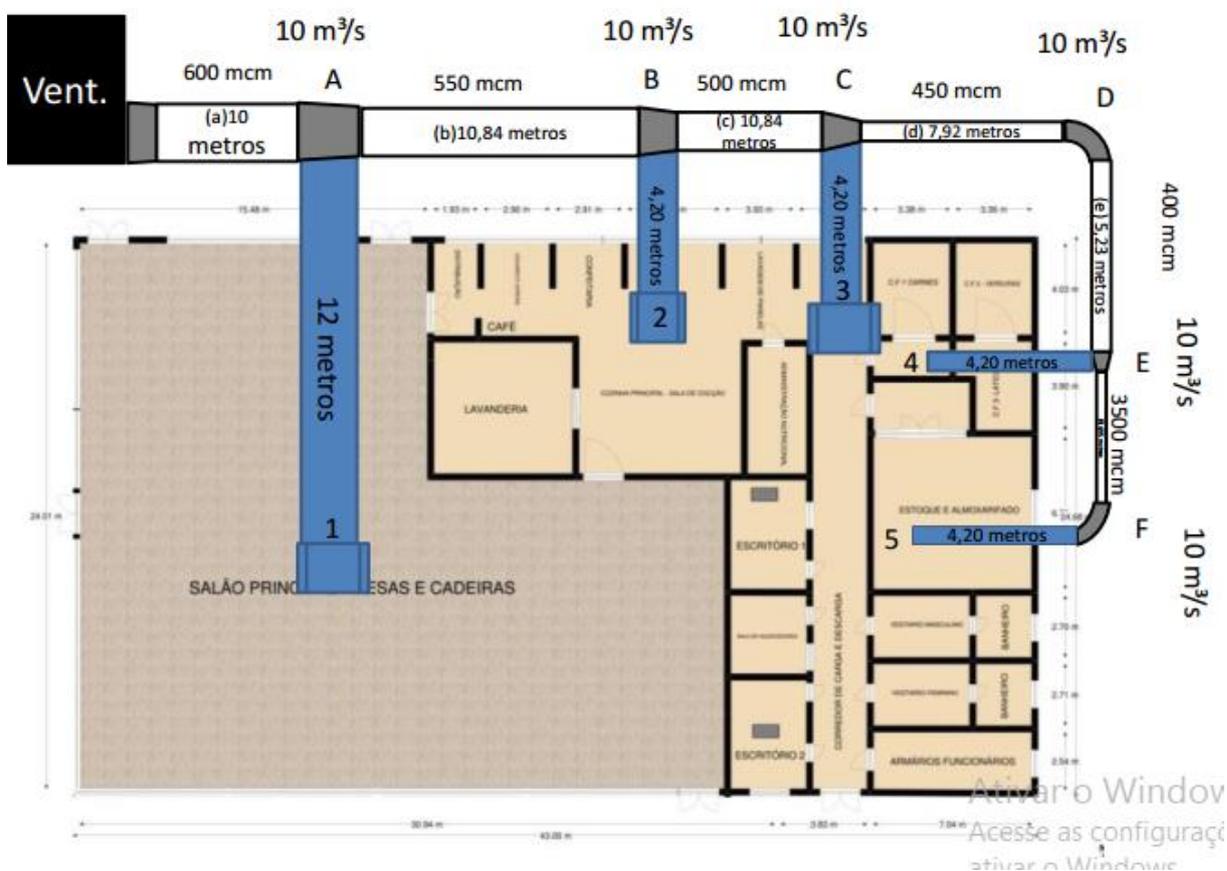


Figura 10 – Dimensionamento do Ar condicionado
Fonte: CARNEIRO, 2018

O cálculo feito a partir da equação 15 mostra que o calor do evaporador necessário é de 22TR.

$$52,90 + 0,01089 \times 2546,85 = \frac{\dot{Q}}{4,88} + 39,29 + 0,009974 \times 2526,76 + (0,0165 - 0,009974) \times 57,76 \quad (16)$$

$$\dot{Q} = 76,91 \text{ KW} \quad (17)$$

$$76,91 \times 0,239 \times 3,968 \times 3600 \cong 262576 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \text{ ou seja } 22 \text{ TR} \quad (18)$$

O dimensionamento das pressões, concentrações e entalpias do ciclo, pelo método apresentado, são feitos a partir de diagramas (FERREIRA, 2014) não sendo possível coloca-los na programação. Então se buscou na literatura formulas que pudessem ser usadas, assim se encontrou a biblioteca *coolprop*, usada para a programação em *python 3*, no site (WELCOME TO COOLPROP), que possui os valores das substâncias e compostos químicos tabelados onde, com os valores da amônia em 100%, foi usada para determinar as pressões do ciclo.

Para determinar as concentrações e entalpias de cada ponto foi usado o artigo (PATEK, 1995) que apresentava cálculos para estas propriedades da mistura amônia-água. Sendo estes cálculos:

$$T(p, x) = T_0 \sum_i a_i (1-x)^{m_i} \left[\ln \left(\frac{p_0}{p} \right) \right]^{n_i} \quad (19)$$

$$T(p, y) = T_0 \sum_i a_i (1-y)^{m_i/4} \left[\ln \left(\frac{p_0}{p} \right) \right]^{n_i} \quad (20)$$

$$y(p, x) = 1 - \exp \left[\ln(1-x) \sum_i a_i \left(\frac{p}{p_0} \right)^{m_i} x^{n_i/3} \right] \quad (21)$$

$$h_l(T, x) = h_0 \sum_i a_i \left(\frac{T}{T_0} - 1 \right)^{m_i} x^{n_i} \quad (22)$$

$$h_g(T, y) = h_0 \sum_i a_i \left(1 - \frac{T}{T_0} \right)^{m_i} (1-y)^{n_i/4} \quad (23)$$

Estes cálculos propõem a interação de expoentes e coeficientes adimensionais tabelados. (PATEK, 1995). Esses são mostrados nas tabelas 1 a 5.

Tabela 1 – Expoentes e Coeficientes da Equação 19

i	m _i	n _i	a _i
1	0	0	3,22E+00
2	0	1	-3,84E-01
3	0	2	4,61E-02

Tabela 1 – Expoentes e Coeficientes da Equação 19 (continuação)

4	0	3	-3,79E-03
5	0	4	1,36E-04
6	1	0	4,88E-01
7	1	1	-1,20E-01
8	1	2	1,06E-02
9	2	3	-5,34E-04
10	4	0	7,85E+00
11	5	0	-1,16E+01
12	5	1	-5,23E-02
13	6	0	4,90E+00
14	13	1	4,21E-02

$T_0 = 100K, p_0 = 2Mpa$

Fonte: PATEK, 1995

Tabela 2 – Expoentes e Coeficientes da Equação 20

i	m_i	n_i	a_i
1	0	0	3,24E+00
2	0	1	-3,96E-01
3	0	2	4,36E-02
4	0	3	-2,19E-03
5	1	0	-1,44E+00
6	1	1	1,05E+00
7	1	2	-7,19E-02
8	2	0	1,22E+01
9	2	1	-2,24E+00
10	3	0	-2,02E+01
11	3	1	1,11E+00
12	4	0	1,45E+01
13	4	2	6,44E-01
14	5	0	-2,21E+00
15	5	2	-7,56E-01
16	6	0	-1,36E+00
17	7	2	1,84E-01

$T_0 = 100K, p_0 = 2Mpa$

Fonte: PATEK, 1995

Tabela 3 – Expoentes e Coeficientes da Equação 21

i	m_i	n_i	a_i
1	0	0	1,98E+01
2	0	1	-1,18E+01
3	0	6	2,77E+01
4	0	7	-2,87E+01
5	1	0	-5,92E+01
6	2	1	5,78E+02
7	2	2	-6,22E+00
8	3	2	-3,42E+03
9	4	3	1,19E+04
10	5	4	-2,45E+04
11	6	5	2,92E+04
12	7	6	-1,85E+04
13	7	7	2,35E+01
14	8	7	4,80E+03

$p_0 = 2\text{MPa}$

Fonte: PATEK, 1995

Tabela 4 – Expoentes e Coeficientes da Equação 22

i	m_i	n_i	a_i
1	0	1	-7,61E+00
2	0	4	2,57E+01
3	0	8	-2,47E+02
4	0	9	3,26E+02
5	0	12	-1,59E+02
6	0	14	6,19E+01
7	1	0	1,14E+01
8	1	1	1,18E+00
9	2	1	2,84E+00
10	3	3	7,42E+00
11	5	3	8,92E+02
12	5	4	-1,61E+03
13	5	5	6,22E+02
14	6	2	-2,08E+02
15	6	4	-6,87E+00

Tabela 4 – Expoentes e Coeficientes da Equação 22 (continuação)

16	8	0	3,51E+00
$h_0 = 100\text{KJ/kg}$, $T_0 = 273,16\text{K}$			
Fonte: PATEK, 1995			

Tabela 5 – Expoentes e Coeficientes da Equação 23

i	m_i	n_i	a_i
1	0	0	1,29E+00
2	1	0	1,25E-01
3	2	0	-2,09E+00
4	3	0	2,18E+00
5	0	2	2,36E+00
6	1	2	-8,87E+00
7	2	2	1,03E+01
8	3	2	-2,37E+00
9	0	3	-6,71E+00
10	1	3	1,65E+01
11	2	3	-9,37E+00
12	0	4	8,42E+00
13	1	4	-8,59E+00
14	0	5	-2,77E+00
15	4	6	-9,61E-01
16	2	7	9,88E-01
17	1	10	3,08E-01
$h_0 = 1000\text{KJ/kg}$, $T_0 = 324\text{K}$			
Fonte: PATEK, 1995			

Os cálculos propostos pelo (PATEK, 1995) mostram valores diferente de entalpia do que do diagrama (Fig. 5), essas de fato podem mudar, mesmos em tabelas de livros é comum ter variações, mas o balanço de energia não é afetado. Com estes dados pode-se criar um programa que calcula a entalpia da amônia-água. Este é um programa secundário, que tem como função fazer as interações, estando ele fora do programa principal ocupa menos memória. As linhas de programação são mostradas no Anexo 1.

Com este programa secundário e a biblioteca coolprop pode-se fazer o programa principal que calcula o ciclo de refrigeração por absorção de amônia-água (WELCOME TO COOLPROP). Esse funciona tendo as temperaturas do ciclo como

dados de entrada para que ele possa fazer os cálculos necessários. Ou seja, informa-se:

- Temperatura do evaporador;
- Temperatura do condensador;
- Temperaturas de entrada e saída do absorvedor;
- Temperaturas de entrada e saída do gerador;
- Vasão mássica do condensador;

Sendo a temperatura em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) e a vasão mássica em quilograma por segundo (kg/s), cabe ressaltar que o absorvedor tem duas entradas, sendo uma da amônia que vem do evaporador e outra da solução fraca que vem do gerador, a temperatura de entrada do absorvedor se refere a que vem do gerador, pois a outra tem a mesma temperatura do evaporador. Assim ele retorna os seguintes valores em cada ponto do ciclo:

- Entalpias, em quilo joule por quilograma (kJ/kg);
- Temperatura, em Kelvin (K);
- Vasão mássica, em quilograma por segundo (kg/s);

Também nos mostra o calor ou o trabalho, em quilo watts (kW), de todos os componentes do ciclo básico, sendo estes:

- Condensador;
- Retificador;
- Absorvedor;
- Trocador de Calor;
- Gerador;
- Evaporador;

Por fim ele calcula o coeficiente de performance do ciclo (COP). As linhas de programação são mostradas no Anexo 2. Este dimensionamento é baseado no trabalho (FERREIRA, 2014), que mostra os cálculos da bancada didática de refrigeração por absorção amônia-água, localizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Cornélio Procópio (UTFPR-CP), sendo este usado para conferir o programa. A linguagem de programação usada, em ambos dos programas, é o *python 3*. Com o programa pode-se avaliar qual o COP. Para um resultado mais perto do real se procurou em catalogo de ar-condicionado de absorção solar amônia-água que suprisse a necessidade de 22TR já citada (CARNEIRO, 2018).

4 RESULTADOS

Tendo como dados de entrada os mostrados na tabela 6.

Tabela 6 – Dados de Entrada

Pontos	Temperatura (°C)
Temperatura do evaporador	15
Temperatura do condensador	30
Temperatura da entrada do absorvedor	45
Temperatura da saída do absorvedor	40
Temperatura da entrada do gerador	70
Temperatura da saída do gerador	90
Vasão.	1kg/s

Sendo 15°C a temperatura escolhida para o ar-condicionado, pois o ambiente refrigerado normalmente está 5°C mais quente que o fluido refrigerante (CREDER, 2004), este método também foi usado por (CARNEIRO, 2018) para determinar a potência de refrigeração necessária no restaurante. Pode-se calcular os a eficiência do ciclo, a tabela 7 mostra os resultados da simulação nos pontos do ciclo.

Tabela 7 – Resultados da Simulação, Pontos do Ciclo.

Pontos	Entalpia (kJ/kg)	Temperatura (K)	Vazão Mássica (kg/s)
1	64,75	343	5,57
2	163,76	363	4,57
3	76,45	345	4,57
4	-18,96	325	5,57
5	1493,57	363	1,04
6	1288,47	304	1
7	140,14	302	1
8	140,14	288	1
9	1279,47	288	1
Vapor de água	2657,88	-	0,04

Os pontos representados são:

- 1, entrada do gerador;
- 2, saída do gerador para absorvedor;
- 3, entrada do absorvedor;
- 4, saída do absorvedor;
- 5, saída do gerador para o retificador;
- 6, entrada do condensador;
- 7, saída do condensador;
- 8, entrada do evaporador;
- 9, saída do evaporador;
- Vapor de água, que sai do retificador e volta para o gerador.

Os pontos foram determinados seguindo o trabalho do (FERREIRA, 2014), mas apesar dos pontos diferentes o ciclo estudado é o mostrado na figura 2.

A simulação também calculou o rendimento de cada equipamento do ciclo e também o seu COP, esses são mostrados na tabela 8.

Tabela 8 – Resultados Da Simulação, Potencia do Ciclo

Equipamento	Potencia (kW)
Condensador	1148,34
Retificador	154,15
Absorvedor	1734,06
Trocador de calor, Linha 4 - 1	465,90
Trocador de calor, Linha 2 – 3	398,62
Gerador	1829,94
Evaporador	1139,33
COP	0,6226

O trocador de calor mostrado da tabela nas linhas 4 - 1 e 2 - 3, no programa está descrito como compressor térmico, devido a parte da absorção fazer o trabalho do compressor, comparando ao ciclo de refrigeração por compressão (AGUIAR, 2018). Cabe lembra que o COP é uma unidade adimensional, sendo que quanto mais alto maior a eficiência do ciclo.

Os resultados mostram uma potência alta para o ciclo conseguir a temperatura necessária para o ar-condicionado e um rendimento baixo. Isso se deve pelo motivo de que o cálculo da programação foi baseado num ciclo básico teórico, que não usa outros equipamentos para melhorar a potência do ciclo. Também vale ressaltar que é característica da absorção apresentar um COP baixo, o comparando com o ciclo de compressão. Mas o consumo de energia de um compressor é caro se comparado ao do ciclo de absorção, isso o faz ser mais econômico (AGUIAR, 2018).

Assim para uma análise mais real buscou-se um catalogo de ar-condicionado de refrigeração por absorção que use energia solar, que chegasse mais próximo ao valor de 22TR, com isso pode-se ter um resultado mais real. O catalogo encontrado (SOLAR NEXT) é de uma empresa alemã, e fabrica os equipamentos de refrigeração por absorção, inclusive o ar-condicionado. O equipamento escolhido apresenta as características desejadas e uma capacidade que supre a necessidade de refrigeração requerida pelo restaurante. A tabela 9 e 10 especifica os dados técnicos do aparelho.

Tabela 9 – Dados Técnicos do Resfriador por Absorção

Absorvedor	AGO AG, Alemanha
Mistura de Trabalho	Amônia-Água
Dimensões	2,35x1,65x2,63m
Peso Operacional	1600kg
Entrada elétrica	400V~3 Ph 50 Hz
Voltagem	3 kw
Potencia	
Fonte: SOLAR NEXT	

Tabela 10 – Dados Técnicos do Resfriador por Absorção

	Processo Frio	Bobinas de ventilador
Ciclo de Água Fria		
Capacidade de Resfriamento	50 kW	50 kW
Temperatura Dentro/Fora	-5/10°C	12/6°C
Vazão	7,6m ³ /h	7,2m ³ /h
Conexão	Flange DN 50	

Tabela 10 – Dados Técnicos do Resfriador por Absorção (continuação)

Ciclo de Água Quente		
Capacidade	91,5 kW	81,5 kW
Temperatura Dentro/Fora	115/105°C	95/85°C
Vazão	7,9m ³ /h	7,0m ³ /h
Conexão	Flange DN 50	
Ciclo de Resfriamento		
Capacidade	141,5 kW	131,5 kW
Temperatura Dentro/Fora	25/30°C	25/30°C
Vazão	24,4m ³ /h	22,7m ³ /h
Conexão	Flange DN 50	
Fonte: SOLAR NEXT		

Esse equipamento pode trabalhar em diversas formas sendo um ciclo de água fria, de água quente e resfriamento. O ciclo de resfriamento é o mais próximo do que se necessita, pois tem uma faixa de temperatura próxima de que se trabalha um ar-condicionado e tem sua capacidade que supre a pedida, sendo menor do que a do ciclo teórico (SOLAR NEXT). A Figura 12 mostra a imagem do equipamento.



Figura 12 - Equipamento de Ar-Condicionado
Fonte: SOLAR NEXT

Cabe ressaltar que a potência do restaurante (CARNEIRO, 2018) é alta, se comparada à necessidade de uma residência. Contudo a empresa (SOLAR NEXT) também oferece outros equipamentos com capacidade de refrigeração mais condizente para uso em casas e apartamentos. Assim seu gasto energético também será menor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pesquisas do Ciclo de Refrigeração por absorção solar para ar-condicionado são necessárias pois cada vez mais se cresce o número e o consumo desses equipamentos (GENIÉR, 2013). Visto que se tem um aumento na temperatura do planeta e a tendência é ser cada vez maior, o uso de refrigeradores se tornou essencial, tendo está para conservar alimentos, vacinas, equipamentos elétricos e até mesmo conforto térmico do ser humano (NKWETTA, 2016). Porém estes equipamentos hoje em dia precisam de uma grande necessidade energética, o no futuro pode ocasionar uma demanda de energia maior do que fornecimento de energia pode oferecer, assim é válido buscar meios que utilizem energias mais abundantes e que diminuam os impactos ao meio ambiente (FONG, 2002).

Os cálculos do ciclo de refrigeração por absorção amônia-água são semelhantes ao ciclo de refrigeração, mas a determinação da entalpia da mistura água e amônia é difícil pois precisa da interpretação de diagramas (VAN WYLEN, 1995). Também foi visto esse pode ser usado em ar-condicionado, pois ele supre a necessidade exigida, sem mudar os métodos de dimensionamentos usados, como a psicrometria (AGUIAR, 2018) e (CREDER, 2004). E essa eficiência pode ser melhorada se usado a energia solar como fonte quente visto que é uma energia renovável, abundante em dias quentes onde a necessidade de refrigeração é maior, cabe ressaltar que também é uma área que tem gerado pesquisas e assim é possível encontrar diversos equipamentos de captação de energia solar que atinjam a temperatura desejada (AMAN, 2014). Contudo é importante lembrar que a amônia é um composto perigoso e que além de risco de incêndio, pode prejudicar a saúde dos seres vivos que entrarem em contato e até os levarem a morte, assim migração da absorção das indústrias para as residências é questionável. Assim deve-se estudar bastante para a criação de normas de segurança que atendam seu uso comercial (TOTAL QUIMICA, 2003).

A criação do programa para calcular a eficiência do ciclo de absorção foi a parte que se levou mais, tempo, pelo fato de que os cálculos de dimensionamento que são usados, envolvem a interpretação de diagramas complexos (FERREIRA, 2014). Por isso o uso de bibliotecas de programação e outras maneiras de calcular a entalpia da mistura amônia-água, foi essencial para o projeto (WELCOME TO COOLPROP) e (PATEK, 1995), sendo assim pode-se criar o programa que calcule o ciclo teórico. Também são poucas empresas que ofereçam aparelhos de ar-condicionado que usem o ciclo solar absorção amônia-água, já que ainda são recentes as pesquisas, mas ainda assim foi encontrado o catálogo de uma empresa alemã que atende a necessidade requerida (SOLAR NEXT).

Por fim foi avaliado que a potência dimensionada pelo programa foi alta, se comparamos ao equipamento selecionado do catálogo, isso se deve ao fato de que a simulação usa de base para os cálculos o ciclo básico teórico, sendo assim só usa nos balanços os componentes principais do ciclo (FERREIRA, 2014), sendo um próximo passo de pesquisa aperfeiçoar o programa. A máquina da (SOLAR NEXT) apresentada, possivelmente, faz uso de equipamentos que melhorem a sua eficiência assim como ele atendente ao ciclo real, podendo buscar entendê-los para aperfeiçoamento. O programa também apresentou um COP baixo, porém isso já era esperado pois a refrigeração por absorção tem esta característica (GENIËR, 2013). Ainda assim pode-se comprovar que é possível seu uso como um ar-condicionado, visto que se pode fazer o dimensionamento e encontrar um catálogo do equipamento (SOLAR NEXT), além das diversas pesquisas sendo desenvolvidas (AGUIAR, 2018), (AMAN, 2014), (NKWETTA, 2016). Ainda assim a amônia é um composto perigoso (TOTAL QUIMICA, 2003) e para seu uso também deve-se pesquisar formas de tela em residências com segurança, tendo no futuro normas para assegurar o bem-estar e conforto das pessoas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Marcos Venicio Santos. **Desenvolvimento de ar-condicionado acionado por energia solar para uso comercial**. SEMIC 2017, IFCE, Maracanaú. Disponível em: <http://prpi.ifce.edu.br/nl/_lib/file/doc1486-Trabalho/Relatorio%20Final%20-%20PIBITI.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2018.

AMAN, J; TING D.S.-T; HENSHAW P. **Residential solar air conditioning: Energy and exergy analyses of an ammonia-water absorption cooling system**. ELSEVIER: Applied Thermal Engineering, Turbulence and Energy Laboratory, Centre for Engineering Innovation, University of Windsor, 401 Sunset Avenue, Windsor, Ontario N9B 3P4, Canada, v.62, 2014, p.424.432.

CARNEIRO, Elcio. **Estudo de uma ventilação geral diluidora para redução de calor sensível em cozinha industrial**. 2019. 55 f. Monografia do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar Condicionado**. 6. ed. LTC, 2004.

FERREIRA JUNIOR, Rodney. **Análise do desenvolvimento e performance de uma bancada de refrigeração por absorção contínua de amônia**. 2014. 57f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2014.

FERZIGER, J. H.; PERIC, Milovan. **Computational methods for fluid dynamics**. 3rd, rev. ed. Berlin; New York: Springer, 2002.

FONG, K.F; LEE, C.K. **Performance advancement of solar air-conditioning through integrated system design for building**. ELSEVIER: Energy, Division of Building Science and Technology, City University of Hong Kong. Tat Chee Avenue, Kowloon, Hong Kong, China, v.73, 2014, p.987.996.

GENIÊR, Franciele Silva; COSTA, Andreia Oliveira Souza da; COSTA JUNIOR, Esly Ferreira da. **Ciclo de refrigeração: Conceitos e estudos de eficiência**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p.2878. 2013.

Geração de Energia Através de Células Fotovoltaicas. Disponível em:< <http://www.energybras.com.br/energia-solar/geracao-energia-atraves-celulas-fotovoltaicas>>. Acessado em: 29/05/2019.

MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

NKWETTA, Dan Nchelatebe; SANDERCOCK, Jim. **A state-of-the-art review of solar air-conditioning systems**. ELSEVIER: Renewable and Sustainable Energy Reviews, Northern Alberta Institute of Technology (NAIT), Centre for Sustainable Energy Technologies (CSET), School of Sustainable Building and Environmental

Management, 11762-106 Street NW, Edmonton, Alberta, Canada T5G 2R1, v.60, 2016, p.1351.1366.

PATEK, J. KLOMFAR, J. **Simple Functions for Fast Calculations of Selected Thermodynamic Properties of the Ammonia-Water System.** BUTTERWORTH HEINEMANN: Institute of Thermomechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, Dolejškova 5, 182 00 Prague 8, Czech Republic. Int. J. Refrig. Vol. 18, No. 4, 1995, p. 228 234,

PRATA, José Eduardo. **Modelagem de um absorvedor de filme descendente líquido para um ciclo de refrigeração por absorção de amônia-água.** 2012. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

Robur: Corporation: Caring for the Environment. Disponível em: <<https://www.roburcorp.com/cooling>>. Acessado em: 29/05/2019.

Solar Next: chillii® Absorption Kits - NH3. Disponível em: <http://www.solarnext.eu/eng/prod/chillii_abs_kits_nh.shtml>. Acessado em: 29/05/2019.

Termômetro de Globo Digital c/ Funç. Anemômetro Instrutherm TGD-400 Com Certificado de Calibração. Disponível em: <<https://www.instrusul.com.br/produto/termometro-de-globo-digital-c-func-anemometro-instrutherm-tgd-400-com-certificado-de-calibracao-18602>>. Acessado em: 29/05/2019.

TOTAL QUIMICA. **Amônia Anidra (NH₃).** Curitiba, PR. Indústria e comercio LTDA. 2003. 9 p.

VAN WYLEN, Gordon J. **Fundamentos da termodinâmica clássica.** 4.ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1995.

Welcome to CoolProp. Disponível em: <<http://www.coolprop.org/index.html>>. Acessado em: 29/05/2019

ANEXOS

ANEXO 1 – LINHAS DE PROGRAMAÇÃO, EQUATIONS

```
#####
## Author: Eduardo Henrique Nunes Caetano
#####

import pandas as pd
import numpy as np

def convert_TR(Q):
    "Converter Kilowatts[kw] para Toneladas de Refrigeração[TR]"
    return Q/3.516

def fra_mol(x):
    "Transforma fração mássica para molar"
    return 1/(1+(1-x)*(17/18)/x)

def frac_mas(x):
    "Transforma fração molar para mássica"
    return 1/(1+(1-x)*(18/17)/x)

def convert_p(p):
    "Converte de Kilograma força por centimetro quadrado[kgf/cm^2] para Pascal[Pa]"
    return p*98066.5

def T_liq(p, x):
    """
    Calcula a temperatura, em [K], a partir dos dados de entrada
    p: Pressão [Pa]
    x: Fração molar de amônia em estado liquido[%]
    """
    fname = "tabela1_expoentes_e_coeficientes_da_equacao6.csv"
    tab6 = pd.read_csv(fname, delimiter=';', decimal=',')
    df = tab6.values[:,1::]
    p0, T0 = 2.0e6, 100.0
    vals = [ai*pow(1-x,mi)*pow(np.log(p0/p),ni) for mi, ni, ai in df]
    soma = sum(vals)
    return T0*soma

def T_gas(p, y):
    """
    Calcula a temperatura, em [K], a partir dos dados de entrada
    p: Pressão [Pa]
    y: Fração molar de amônia em estado gasoso[%]
    """
    fname1 = "tabela2_expoentes_e_coeficientes_da_equacao7.csv"
    tab7 = pd.read_csv(fname1, delimiter=';', decimal=',')
```

```

df = tab7.values[:,1:]
p0, T0 = 2.0e6, 100.0
vals = [ai*pow(1-y,mi/4)*pow(np.log(p0/p),ni) for mi, ni, ai in df]
soma = sum(vals)
return T0*soma

def y_gas(p, x):
    """
    Calcula a fração molar para o gas a partir dos dados de entrada
    p: Pressão [Pa]
    x: Fração molar de amônia em estado liquido[%]
    """
    fname2 = "tabela3_expoentes_e_coeficientes_da_equacao8.csv"
    tab8 = pd.read_csv(fname2, delimiter=';', decimal=',')
    df = tab8.values[:,1:]
    p0 = 2.0e6
    vals = [ai*pow(p/p0,mi)*pow(x,ni/3) for mi, ni, ai in df]
    flog = np.log(1-x)
    soma = sum(vals)
    conc = 1 - np.exp(flog*soma)
    return conc

def h_liq(T, x):
    """
    Calcula a entalpia, em [kJ/kg], a partir dos dados de entrada
    T: Temperatuta em [K]
    x: Fração molar de amônia em estado liquido[%]
    """
    fname3 = "tabela4_expoentes_e_coeficientes_da_equacao9.csv"
    tab9 = pd.read_csv(fname3, delimiter=';', decimal=',')
    df = tab9.values[:,1:]
    h0, T0 = 100.0, 273.15
    vals = [ai*pow(T/T0-1,mi)*pow(x,ni) for mi, ni, ai in df]
    soma = sum(vals)
    return h0*soma

def h_gas(T, y):
    """
    Calcula a entalpia, em [kJ/kg], a partir dos dados de entrada
    T: Temperatuta em [K]
    y: Fração molar de amônia em estado gasoso[%]
    """
    fname4 = "tabela5_expoentes_e_coeficientes_da_equacao10.csv"
    tab10 = pd.read_csv(fname4, delimiter=';', decimal=',')
    df = tab10.values[:,1:]
    h0, T0 = 1000.0, 324.0
    vals = [ai*pow(1-T/T0,mi)*pow(1-y,ni/4) for mi, ni, ai in df]
    soma = sum(vals)
    return h0*soma

```

ANEXO 2 – LINHAS DE PROGRAMAÇÃO, CICLO

```
#####
## Author: Eduardo Henrique Nunes Caetano
#####

import CoolProp.CoolProp as cp
import numpy as np
from scipy.optimize import newton
import matplotlib.pyplot as plt
from Equations import *
import pandas as pd

def
absorcao(Teva,Tcond,Tentrada_abs,Tsaida_absor,Tent_ger,Tsaida_ger,m_cond):
    """
    Calculo do Ciclo de Refrigeração por Absorção Água-Amônia.
    A partir das temperaturas dos pontos em Celsius[°C] e a vazão
    massica do condensador[kg/s].

    DADOS DE ENTRADA:
    Temperatura do Evaporador
    Temperatura do Condensador
    Temperatura de Entrada do Absorvedor
    Temperatura de Saida do Absorvedor
    Temperatura de Entrada Gerador
    Temperatura de Saida do Gerador
    Vazão massica do condensador
    """

    # CONVERTENDO AS TEMPERATURAS EM KELVIN[K]
    Tevaporador= Teva + 273      #[K]
    Tcondensador= Tcond + 273    #[K]
    Tent_absorvedor= Tentrada_abs + 273 #[K]
    Tsaida_absorvedor= Tsaida_absor + 273 #[K]
    Tent_gerador= Tent_ger + 273  #[K]
    Tsaida_gerador= Tsaida_ger + 273  #[K]

    # DETERMINAR AS PRESSÕES

    P_baixa = cp.PropsSI('P','T',Tevaporador,'Q',1,'Ammonia') #[Pa]
    P_alta = cp.PropsSI('P','T',Tcondensador,'Q',0,'Ammonia') #[Pa]

    #DETERMINANDO AS CONCENTRAÇOES

    x_1 = newton(lambda x_1: T_liq(P_baixa, x_1)-Tent_absorvedor, 0.1)
    x_1 = newton(lambda x_1: T_liq(P_alta, x_1)-Tsaida_gerador, 0.3)

    x_2 = newton(lambda x_2: T_liq(P_baixa, x_2)-Tsaida_absorvedor, 0.1)
    x_2 = newton(lambda x_2: T_liq(P_alta, x_2)-Tent_gerador, 0.3)
```

$$x_3 = y_{\text{gas}}(P_{\text{alta}}, x_1)$$

RECALCULANDO AS TEMPERATURAS

$$\begin{aligned} T_1 &= T_{\text{liq}}(P_{\text{alta}}, x_2) \quad \#[\text{K}] \\ T_2 &= T_{\text{liq}}(P_{\text{alta}}, x_1) \quad \#[\text{K}] \\ T_3 &= T_{\text{liq}}(P_{\text{baixa}}, x_1) \quad \#[\text{K}] \\ T_4 &= T_{\text{liq}}(P_{\text{baixa}}, x_2) \quad \#[\text{K}] \\ T_5 &= T_{\text{gas}}(P_{\text{alta}}, x_3) \quad \#[\text{K}] \\ T_6 &= T_{\text{gas}}(P_{\text{alta}}, 1) \quad \#[\text{K}] \\ T_7 &= T_{\text{liq}}(P_{\text{alta}}, 1) \quad \#[\text{K}] \\ T_8 &= T_{\text{liq}}(P_{\text{baixa}}, 1) \quad \#[\text{K}] \\ T_9 &= T_{\text{gas}}(P_{\text{baixa}}, 1) \quad \#[\text{K}] \end{aligned}$$

DETERMINANDO AS ENTALPIAS

$$\begin{aligned} h_1 &= h_{\text{liq}}(T_1, x_2) \quad \#[\text{KJ/Kg}] \\ h_2 &= h_{\text{liq}}(T_2, x_1) \quad \#[\text{KJ/Kg}] \\ h_3 &= h_{\text{liq}}(T_3, x_1) \quad \#[\text{KJ/Kg}] \\ h_4 &= h_{\text{liq}}(T_4, x_2) \quad \#[\text{KJ/Kg}] \\ h_5 &= h_{\text{gas}}(T_5, x_3) \quad \#[\text{KJ/Kg}] \\ h_6 &= h_{\text{gas}}(T_6, 1) \quad \#[\text{KJ/Kg}] \\ h_7 &= h_{\text{liq}}(T_7, 1) \quad \#[\text{KJ/Kg}] \\ h_8 &= h_7 \quad \#[\text{KJ/Kg}] \\ h_9 &= h_{\text{gas}}(T_9, 1) \quad \#[\text{KJ/Kg}] \\ h_{\text{água}} &= h_{\text{gas}}(T_5, 0) \quad \#[\text{KJ/Kg}] \end{aligned}$$

#CALCULO PARA VAZÃO MASSICA DE AMÔNIA

$$\begin{aligned} m_6 &= m_{\text{cond}} \quad \#\text{Assumido a massa do condensador} \\ x_{\text{frac}} &= \text{frac_mas}(x_1) \\ x_{\text{forte}} &= \text{frac_mas}(x_2) \\ x_5 &= \text{frac_mas}(x_3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_5 &= m_6/x_5 \quad \#[\text{kg/s}] \\ m_{\text{água}} &= \text{abs}(m_6 - m_5) \quad \#[\text{kg/s}] \end{aligned}$$

#Sistema linear

$$\begin{aligned} A &= \text{np.array}([[1, -1], [x_{\text{forte}}, -x_{\text{frac}}]]) \\ B &= \text{np.array}([[m_5 - m_{\text{água}}], [m_5 * x_5]]) \\ X &= \text{np.linalg.solve}(A, B) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_1 &= \text{float}(X[0]) \quad \#[\text{kg/s}] \\ m_2 &= \text{float}(X(\text{GENIÉR, 2013})) \quad \#[\text{kg/s}] \end{aligned}$$

#BALANÇOS DE ENERGIAS PARA CALOR

##Gerador

$$Q_H = m_2 * h_2 + m_5 * h_5 - m_{\text{água}} * h_{\text{água}} - m_1 * h_1 \quad \#[\text{kw}]$$

##Retificador

```

Q_ret= m_5*h_5 - m_6*h_6 - m_água*h_água      #[kw]

##Condensador
Q_cond=m_6*(h_6-h_7)                          #[kw]

##Evaporador
Q_L= m_6*(h_9-h_8)                             #[kw]

##Absorvedor
Q_absor=m_6*h_9 + m_2*h_3 - m_1*h_4           #[kw]

#BALANÇOS DE ENERGIAS PARA TRABALHO

##Absorvedor para o gerador
W_1=m_1*(h_1-h_4)                              #[kw]

##Gerador para o absorvedor
W_2=m_2*(h_2-h_3)                              #[kw]

#CALCULO DO COP
COP=Q_L/Q_H

#RESULTADOS
df1 = pd.DataFrame({'Temperatura [K]' :[T_1,T_2,T_3,T_4,T_5,T_6,T_7,T_8,T_9,'-
'],
                    'Entalpia [kJ/kg]' :[h_1,h_2,h_3,h_4,h_5,h_6,h_7,h_8,h_9,h_água],
                    'Vazao Massica [Kg/s]'
:[m_1,m_2,m_2,m_1,m_5,m_6,m_6,m_6,m_6,m_água]},
                    index=[1,2,3,4,5,6,7,8,9,'Vapor de água'])

df2 = pd.DataFrame({'Rendimento
[kw]':[Q_cond,Q_ret,Q_absor,W_1,W_2,Q_H,Q_L,' ',COP]},
                    index=['Condensador','Retificador','Absorvedor','Compressor Termico 4-
1','Compressor Termico 2-3','Gerador','Evaporador',' ','COP'])

concat = pd.concat([df1])
concat1 = pd.concat([df2])
return print(concat,'\n\n',concat1)

```