



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA – PECE

CLIMATIZAÇÃO SOLAR NO SETOR TERCIÁRIO

GABRIEL SOUZA AMORIM

São Paulo
2014

GABRIEL SOUZA AMORIM

CLIMATIZAÇÃO SOLAR NO SETOR TERCIÁRIO

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Orientador: Prof. MsC. Ronaldo Andreos

São Paulo

2014

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Amorim, Gabriel S.

Título: Climatização Solar no Setor Terciário.

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

EU AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL
DESTE TRABALHO, POR QUALQUER, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL
OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDOS E PESQUISA, DESDE QUE
CITADA A FONTE.

Amorim, Gabriel S.

Climatização Solar no Setor Terciário. / Gabriel Souza Amorim; orientador:
Ronaldo Andreos- São Paulo, 2014.

Monografia (Especialização-Programa de Educação Continuada da Escola
Politécnica da USP.

IEE da Universidade de São Paulo

1.Climatização. 2.Aspectos econômicos. 3.Placas Solares. 4.Gás natural

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais pela compreensão e incentivo pelo apoio dado na realização deste e a Deus pela oportunidade e a todos que me apoiaram nessa nova fase de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Mestre Ronaldo Andreos pela orientação e auxílio para a realização do trabalho.

Ao professor Dr. José R. Simões Moreira coordenador do Programa e aos demais professores do curso, pela presença e contribuição dada no decorrer do curso.

Aos colegas Paulo B. Herebia e Thomas Stief pela paciência compreensão e amizade durante todo o decorrer do curso e aos meus pais pelo total apoio em minha vinda para São Paulo.

RESUMO

A monografia apresentada abaixo estuda a viabilidade técnico-econômica de instalação de um sistema de climatização solar no setor terciário através de chiller por absorção, assim como o processo de funcionamento, a economia de operação, investimentos iniciais, retorno dos investimentos, taxa interna de retorno e valor presente líquido. A tecnologia utilizada foi chiller de absorção e é um estudo de caso de um supermercado visando a possibilidade de economia energética durante certo período do dia.

Palavras-chave: Chiller, Absorção, Viabilidade técnico-econômica, gás natural, placas solares , setor terciário.

ABSTRACT

The monograph presented below studies the technical and economic feasibility of installing a solar air conditioning system in the tertiary sector by absorption chiller, as well as the operating procedure, saving running costs, initial investments, return on investment, internal rate of return and net present value. The technology used is an absorption chiller and is a case of a supermarket study to the possibility of energy saving for a certain period of the day.

Keywords : Chiller, absorption chiller, technical and economic feasibility, natural gas, solar panels, tertiary sector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Sistema de expansão do refrigerante (COMGAS, 2008)	15
Figura 2 Splitão (CLIMA SUL,2010)	16
Figura 3 Condicionador de ar tipo Rooftop. (RELD,2012)	17
Figura 4 Chiller com compressão scroll(DIRECTINDUSTRY,2012).....	18
Figura 5 Chiller compressor parafuso(JOHNSON CONTROLS,2010).....	20
Figura 6 Coletor Solar(SODRAMAR,2012)	21
Figura 7 Componentes dos Coletores Solares de Tubos Evacuados de Tubos de Calor(SILVA,2014)	22
Figura 8 Unidade de absorção básica (STOCKER, pg 362, 1985)	24
Figura 9 Chiller por absorção(JOHNSON CONTROLS,2010).....	25
Figura 10 Chiller por absorção(JOHNSON CONTROLS,2010).....	28
Figura 11 Chiller por absorção Broad. (EMPRESAS TUMA,2010)	28
Figura 12 Desenho esquemático de um sistema de aquecimento solar. (PUCMINAS, 2014)	29
Figura 13 Sistema instalado para aquecimento de água(SOLETROL,2013)	31
Figura 14 Funcionamento do sistema de placas solares(SOLETROL,2013)	32
Figura 15 Sistema instalado com placas solar(BLUE-SOL,2014)	35
Figura 16 Funcionamento do sistema com placas solar. (FRIOSOLAR, 2013).....	35
Figura 17 Capacidade Instalada do SIN (MW) (ONS, 2013)	36
Figura 18 Potencial de aproveitamento solar mundial.....	37
Figura 19 Potencial de utilização de energia solar na Terra	37
Figura 20 Evolução do mercado de aquecimento solar no Brasil .(CEPEL, 2001)....	38
Figura 21 Sistema Chiller por absorção com placas solares. (DESIGN BUILD SOURCE,2013)	40
Figura 22 Chiller dual (JOHNSONCONTROLS,2010).....	41
Figura 23 Chiller simples (JOHNSONCONTROLS,2010)	42
Figura 24 Chiller com aquecedor a gás (airship,2014).....	51
Figura 25 Fluxo de Caixa Descontado e Fluxo de Caixa Acumulado.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Comparativo entre compressor scroll e parafuso. (JOHNSON CONTROLS,2010)	20
Tabela 2 Diferença da Área entre 2 Coletores	23
Tabela 3 Fabricantes de chiller por absorção (MARIO LOUREIRO,2013)	27
Tabela 4 Fabricantes de chiller por absorção(SILVA,2014)	27
Tabela 5 Parâmetros para carga Térmica.(Andreos,2014)	47
Tabela 6 Tabela de posicionamento de coletor solar.(SODRAMAR,2012)	48
Tabela 7 Tabela Consumo e capacidade de aquecimento de água. (SODRAMAR,2012)	49
Tabela 8 Dados Energéticos do Supermercado	49
Tabela 9 Balanço Energético do Supermercado	50
Tabela 10 Calculo Custo de Energia Elétrica Sistema Convencional	50
Tabela 11 Calculo Custo de Energia Elétrica Sistema por Absorção	51
Tabela 12 Tarifas do gás natural.(COMGÁS,2014).....	52
Tabela 13 Fatura para Gás Natural	52
Tabela 14 Memória de Cálculo do Supermercado	53
Tabela 15 Resultado Econômico do Supermercado	53
Tabela 16 Análise Financeira	54

LISTA DE SÍMBOLOS

RAC- Refrigeração e Ar Condicionado TR- Tonelada de Refrigeração

DAC- Deferred Acquisition Costs

DEC- Deferred Acquisition Expenses

LiBr -Solução Brometo de Lítio QD-Queima Direta

AQ-Água Quente

GN-Gás Natural

ABS-Absorção

COP- coeficiente de performance CFC - Cloro-fluor-carbono

SIN-Sistema Interligado Nacional

CEPEL- Centro de Pesquisas de Energia Elétrica PBE-Programa Brasileiro de Etiquetação

INMETRO- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

ABRAVA- Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento.

TIR- Taxa Interna de Retorno VPL- Valor Presente Líquido Ilo= Investimento Inicial FLC-Fluxo de caixa

FLCA- Fluxo de caixa acumulado FLCD-Fluxo de caixa descontado r-Taxa de desconto(juros anual) n-Período

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos	13
1.2 Motivação	13
1.3 Justificativa.....	13
2.1 Conceitos de climatização	14
2.2 Tipos de equipamentos e tecnologias estudadas	15
2.3 Coletor Solar	21
2.3.1 Coletor solar de tubo evacuado	21
2.4 Chiller por absorção e suas aplicações.....	23
2.5 Vantagens e desvantagens.....	25
2.6 Fabricantes e produtos	27
3 CONCEITO DE AQUECIMENTO SOLAR.....	29
4 TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS.....	33
5. CENÁRIO PARA APLICAÇÃO NO BRASIL.....	36
6. APLICAÇÕES DA CLIMATIZAÇÃO SOLAR	40
6.1 Conceito de climatização solar.....	40
6.2 Sistema Secundário de Energia.....	41
6.3 Empreendimentos Ideais Para Aplicação	42
7. POTENCIAL DE APLICAÇÃO.....	44
8. ESTUDO DE CASO	46
8.1 Supermercado.....	47
9 CONCLUSÃO.....	55
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1. INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

Os objetivos dessa Monografia é identificar no setor terciário (supermercados e outros) a possibilidade de utilizar um sistema de climatização por chiller por absorção, explicando o conceito de sistema de climatização solar, o cenário para aplicação no Brasil, potencial de aplicação, os tipos de tecnologias disponíveis e a configuração básica do sistema de chiller por absorção.

1.2 Motivação

Com os problemas atuais em geração e distribuição de energia elétrica no Brasil, com as secas e alto preço da tarifa, climatização solar com chiller por absorção pode ser uma saída para diminuir o custo do valor tarifário e também ajudar em certa parte o meio ambiente.

1.3 Justificativa

No setor terciário o aquecimento solar vem sendo utilizado principalmente para o aquecimento de água no setor hoteleiro e hospitalar e para aquecimento de piscinas. No setor industrial seu uso ainda é restrito para o aquecimento de água para uso em vestiários e cozinhas industriais mas estudos apontam para uma ampla gama de utilização da tecnologia na geração de calor de processos industriais e diante de um contexto indefinido quanto ao uso e produção do gás natural, o aquecimento solar torna-se ainda mais competitivo neste setor.

2. O ESTADO DA ARTE

2.1 Conceitos de climatização

A função dos sistemas de climatização (ar condicionado) é obter, e manter dentro de limites pré-determinados, os parâmetros ambientais: temperatura, umidade relativa, limpeza e velocidade relativa de ar, nível de ruído e diferencial de pressão entre o ambiente condicionado e sua vizinhança. Para obter o efeito desejado, equipamentos de resfriamento e/ou aquecimento, ventiladores, dutos de ar, tubulações de água e acessórios, devem ser instalados de modo conveniente, a fim de que o sistema resultante possa:

- (a) Tratar o ar, ou seja, aquecer ou resfriar, umidificar ou desumidificar, filtrar e purificar o ar;
- (b) Distribuir e insuflar o ar tratado em ambientes condicionados;
- (c) Prover ar externo suficiente para ventilação, ou seja, para renovação de ar;
- (d) Consumir um mínimo de energia sem comprometer o desempenho.

(Corrêa, 2010)

Trata-se de um processo em que se ajusta a temperatura em valores variados geralmente acima de 20°C em recintos fechados. Pode ser controlado diferentemente da refrigeração além da temperatura do ar, a pureza interna, a pressão do lugar que está sendo climatizado e a umidade relativa.

Pode ser utilizada com a finalidade de conforto (uso residencial, escritórios, etc.) ou industrial, para controlar variáveis de processo, na indústria eletrônica, controlando sua temperatura, umidade, pressão do recinto e sua umidade.

Para que isso aconteça é necessário que se coloque o ar de um recinto fechado em movimento contínuo, fazendo-o passar por elementos de tratamento de temperatura e umidade.

Os sistemas de distribuição de ar podem ser divididos em:

- Sistemas de distribuição de simples: que atendem a apenas um recinto.
- Sistemas de zonas múltiplas: como o caso do condicionamento de diversas salas com controles individuais.

2.2 Tipos de equipamentos e tecnologias estudadas

Existem muitos tipos de equipamentos para se realizar a climatização de um ambiente, como por exemplo, condicionadores tipo “Split”, condicionadores tipo “self contained” (auto portante), rede de dutos para distribuição do ar, bomba de água de condensação, torre de resfriamento, chiller por absorção.

Os sistemas de ar condicionado podem ser classificados quanto expansão: - Sistema RAC(individual) expansão direta, condensação a ar;

Sistema Splitão;

Sistema Rooftop;

Sistema chiller com compressor scroll;

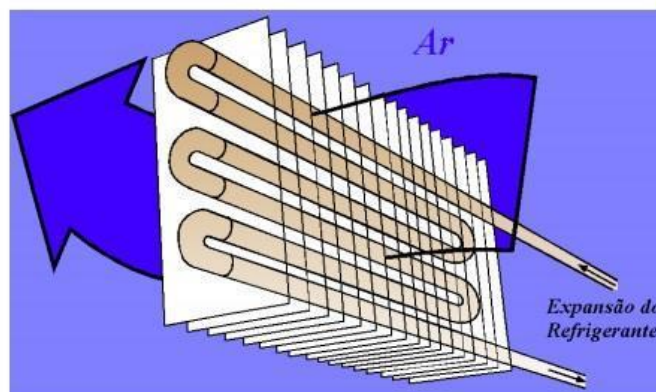
Sistema chiller com compressor parafuso;

Configuração básica dos sistemas

RAC(individual), expansão direta:

Figura 1 Sistema de expansão do refrigerante (COMGAS, 2008)

O Refrigerante Troca Calor Diretamente com o Ar a ser condicionado.



-Baixa capacidade (7,500 a 60kBTU/h); -Expansão direta;

-Unidades incorporadas e Bi-partidas (Split); -Condensação a ar;

Sistema Splitão:

Atualmente chamamos de “split” todas as unidades condensadoras que tenham no mesmo gabinete o compressor e o condensador, diferenciando portanto do self com condensador remoto, que teria apenas o condensador separado. As unidades de capacidade maior que 3,3 TR , com possui o gabinete externo com o compressor e o condensador, estão sendo chamadas de popularmente de “splitão”.

Evaporador: Vertical ou horizontal, instalado principalmente em uma casa de máquinas.

Condensador - Localizado em meio externo, com espaços para tomada e descarga de ar e pode ser suportado na fachada ou acima de uma laje externa.

Descarga horizontal (ventilador axial) e descarga vertical (ventilador centrífugo).

Capacidades: Diversas de 3 a 60 TR (Ferreira, 2012).

Figura 2 Splitão (CLIMA SUL,2010)



-Sistema Rooftop:

O sistema de ar condicionado tipo **rooftop** é indicado para ambientes de grandes proporções e com poucas divisórias, como galpões, supermercados entre outros.

Este tipo de sistema pode ser instalado a céu aberto, dispensando casa de máquinas e permitindo rede de dutos menores.

Geralmente são feitos de aço galvanizado, o que faz com que eles suportem diferentes condições climáticas.

Atualmente existem nas seguintes potências: **5TR, 10TR, 15TR, 20TR, E 35TR.**

Sua condensação é a ar com controle micro processado que proporciona controle de unidade para aquecimento, resfriamento e ventilação, fornecidas por sensores que medem as temperaturas interna e externa e refrigeração em baixa temperatura.

Figura 3 Condicionador de ar tipo Rooftop. (RELD,2012)



Sistema chiller com compressor scroll

Esse sistema possui controle inteligente, eficiente e economia de energia através de uma tecnologia do controle de microcomputador. Essa tecnologia tem como função o monitoramento remoto.

Comparado com outros dispositivos que tenham essa mesma capacidade de refrigeração, o compressor scroll é superior em menos peças em movimento, torque de giro menor, menor ruído de funcionamento e menor vibrações, mas alta confiabilidade e eficiência. O chiller tipo scroll pode aquecer no ambiente de temperatura $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e refrigera no ambiente de temperatura de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. É feito de materiais acústicos de alta qualidade e está equipado com dispositivo anti vibrações

de compressor. (headpower,2001)

Figura 4 Chiller com compressão scroll(DIRECTINDUSTRY,2012)



Chiller com compressor de parafuso

O chiller com compressor de parafuso adota avançado compressor parafuso semi-herméticos, que integra o motor e compressor. O chiller de condensação a água com compressor de parafuso, foi desenhado para ser aplicado em sistemas de ar condicionado industrial e comercial. Onde o ruído é tido em conta, o chiller de condensação a água é a solução ideal para ambientes que são sensíveis ao barulho sonoro. A estrutura compacta permite uma instalação flexível São desenhados com compressores com espiral de grande eficiência ou parafuso semi-hermético, concha, tubo permutador de calor e com vários aparelhos de segurança. São incorporadas nas unidades sistemas de controlo por computador, permitindo a monitorização e gestão de todas as funções e comunicação com um sistema externo de gestão. As unidades são completamente montadas em fábrica, fornecidas com carga total do refrigerante e equipamento de controlo, reduzindo desta forma os custos. Para a instalação são apenas necessárias as conexões hidráulicas e eléctricas.

Os sistemas eléctricos mais robustos e os mais sensíveis, são instalados em separado, garantindo a segurança.

A flexibilidade do sistema de alta pressão dá ao chiller de condensação a água um tempo de vida maior.

Os compressores e os acessórios de refrigeração do chiller de condensação a água com compressor de parafuso, como por exemplo o filtro seco, a válvula de

expansão térmica, o solenoide fornecedor de líquido, o espelho de nível do líquido, os aparelhos de controlo da pressão alta/baixa, são todos de origem em marcas conhecidas mundialmente, assegurando um nível de desempenho excelente.

Utilizando o tubo permutador de calor de grande eficiência, a superfície de transferência com um tubo interno com nervuras, permite que o coeficiente de transferência de calor aumente substancialmente. O design único da estrutura do permutador de calor, a boa distribuição da tubagem e a tecnologia precisa do controlo do refrigerante, melhora a eficiência da transferência do calor.

- 1) Controle computadorizado com sistema de operação manual em pausa;
- 2) Temporização da operação do compressor;
- 3) Início automático da sequência de arranque do compressor;
- 4) Sinais de alarme;
- 5) Reposição do alarme;
- 6) Controlo da temperatura da água;
- 7) Reposição manual do comutador de alta pressão.

2. Proteções que garantem a segurança e estabilidade das operações;

- 1) Fase invertida;
- 2) Ausência de fase ;
- 3) Pressão alta/baixa;
- 4) Descarga de gás;
- 5) Temperatura de saída da água muito baixa (alta);
- 6) Paragem da água;
- 7) Contra congelamento;
- 8) Sobre aquecimento do compressor, etc.

(Vicot,2011)

Figura 5 Chiller compressor parafuso (JOHNSON CONTROLS, 2010)

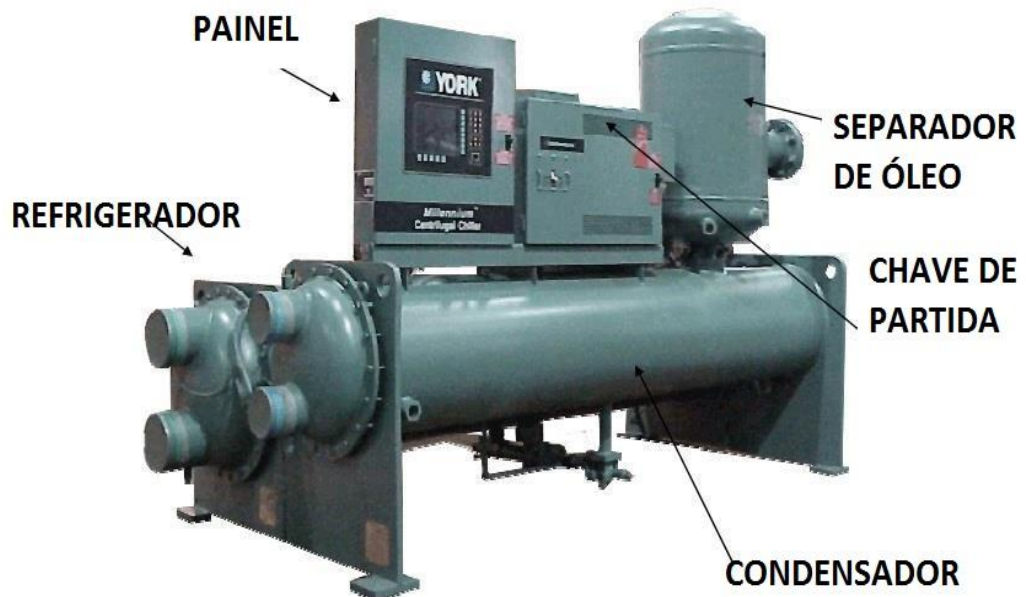


Tabela 1 Comparativo entre compressor scroll e parafuso. (JOHNSON CONTROLS, 2010)

	SCROLL	PARAFUSO
Capacidade de refrigeração	5 a 10 toneladas	100-750 TRS
Tipos	"compliant" e "não-compliant", só com carga soldada.	rotor rotativo aberto e hermético
Deslocamento	positivo	positivo
Controle de capacidade típico	velocidade variável e liga-desliga	velocidade variável e válvula deslizante de admissão
Válvulas de sucção?	NÃO	NÃO
Válvulas de descarga?	NÃO	NÃO
Aplicação usual	pequenos sistemas centrais para refrigeração e condicionamento de ar, e ciclo reverso	refrigeração, ar condicionado e ciclo reverso

2.3 Coletor Solar

Para aproveitar a energia proveniente da radiação solar interessa que a superfície sobre a qual incide a radiação consiga absorver o máximo da energia radiante incidente e que essa energia, uma vez captada, seja fornecida ao fluido que se pretende aquecer.

O dispositivo que faz a captação de energia deve possuir uma superfície com elevada absorvidade para maximizar a captação de energia radiante incidente, ser isolado termicamente de forma a reduzir as perdas por convecção-condição e possuir uma baixa emissividade para os comprimentos de onda da radiação própria.

Geralmente o coletor é composto pelo absorsor, o componente do coletor que absorve a radiação solar e transfere a energia térmica para o fluido que nele circula (normalmente uma mistura de água e anticongelante) e pela cobertura e caixa (termicamente isolada) que reduzem as perdas de calor para o exterior.

Figura 6 Coletor Solar(SODRAMAR,2012)



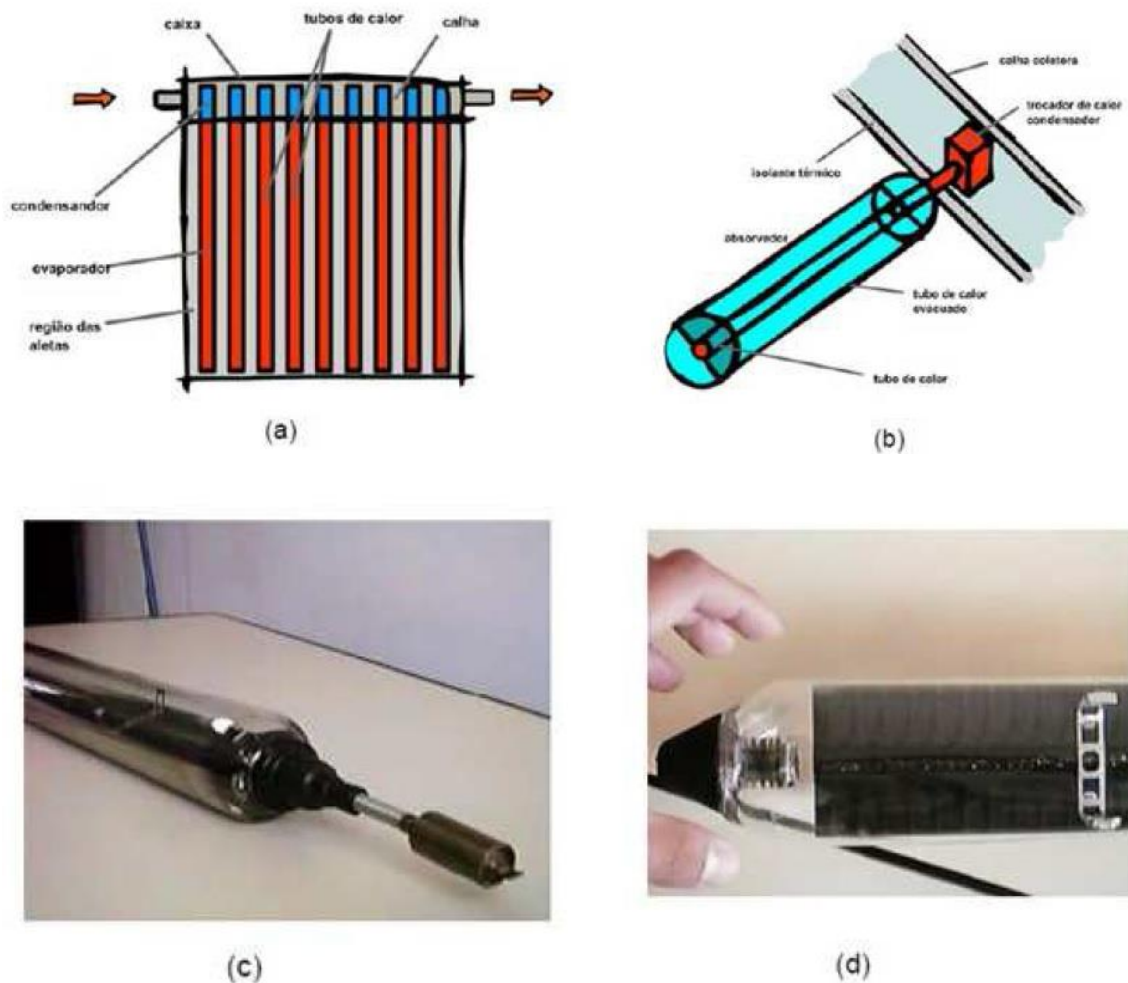
O absorsor deve estar otimizado para ter a maior absorvidade possível e a menor emissividade possível. A cobertura transparente deve possuir uma elevada transmissividade e conseqüentemente uma baixa refletividade. O isolamento deve poder suportar temperaturas elevadas (o coletor, quando está parado, pode atingir temperaturas superiores a 150°C)

2.3.1 Coletor solar de tubo evacuado

Para a aplicação proposta neste trabalho, será necessário alcançar temperaturas da ordem de 90 °C com boa eficiência, sendo esta a temperatura

mínima para o correto acionamento do chiller por absorção. Portanto seu funcionamento será detalhado a seguir, bem como a comparação com os coletores de placa plana, largamente utilizado no Brasil, comprovando a maior eficiência do coletor de tubo evacuado. Os modelos mais eficientes utilizam tubos de calor com zonas de evaporação e condensação, exemplificadas na Figura 7. A parte (a) da figura mostra esquematicamente os componentes básicos do coletor de tubo evacuado, sendo a aleta, tubo de vidro e condensador evidenciados nas partes (c) e (d). A parte (b) apresenta os detalhes desses elementos e fixação de cada tubo à calha coletora (Silva,2014).

Figura 7 Componentes dos Coletores Solares de Tubos Evacuados de Tubos de Calor(SILVA,2014)



Um ponto importante a ser ressaltado é que em relação aos coletores de placa plana, não se deve considerar apenas a área absorvedora do coletor para

realização de cálculo de eficiência. Em coletores de tubo evacuado deve ser considerada também a área de abertura, que representa a soma das projeções das áreas dos tubos externos sobre o plano do coletor, pois este tipo de coletor consegue obter maior eficiência de captação solar (Silva,2014).

Portanto, é muito importante considerar este tipo de fator para analisar as diferenças entre coletores de placa plana e coletores de tubo evacuado, pois, ao se comparar especificações, chegar-se-ia a resultados controversos, não refletindo a área correta de absorção dos coletores de tubo evacuado. Conforme a tabela 2, pode-se verificar que no coletor plano, a diferença entre a menor e a maior área é aproximadamente 13% e no coletor de tubos evacuados é de 90%(Silva,2014).

Tabela 2 Diferença da Área entre 2 Coletores

Tipo de Coletor	Área Absorvedora (A_{abs})	Área Abertura (A_{ab})	Área Total (A_t)
Plano	1,60 m ²	1,68 m ²	1,80 m ²
Tubo Evacuado	1,60 m ²	1,92 m ²	3,05 m ²

2.4 Chiller por absorção e suas aplicações

Sistemas de Absorção são baseados em diversas combinações de substâncias que tem uma propriedade rara, uma substancia, liquida, que executa a função de refrigerante e outra que absorve este refrigerante. A substância que absorve o refrigerante pode ser sólida ou liquida. Quando a substância absorvente é sólida esse processo é algumas vezes chamado de Adsorção e se a substancia absorvente é liquida o processo recebe o nome de Absorção. (Gerner,2011).

O sistema de absorção foi patenteado nos Estados Unidos em 1860 pelo francês Ferdinand Carré. Após a descoberta desse tipo de máquina, a popularidade de sistemas de absorção aumentou e diminuiu devido as condições da época.

As vantagens de um sistema de absorção, permanecem as mesmas ao longo do tempo e incluem as seguintes (Dorgan et al. 1995):

- Sistemas de absorção necessitam de menor consumo de energia elétrica quando comparados com os sistemas de compressão de vapor;
- Plantas de absorção são silenciosas e livres de vibração;

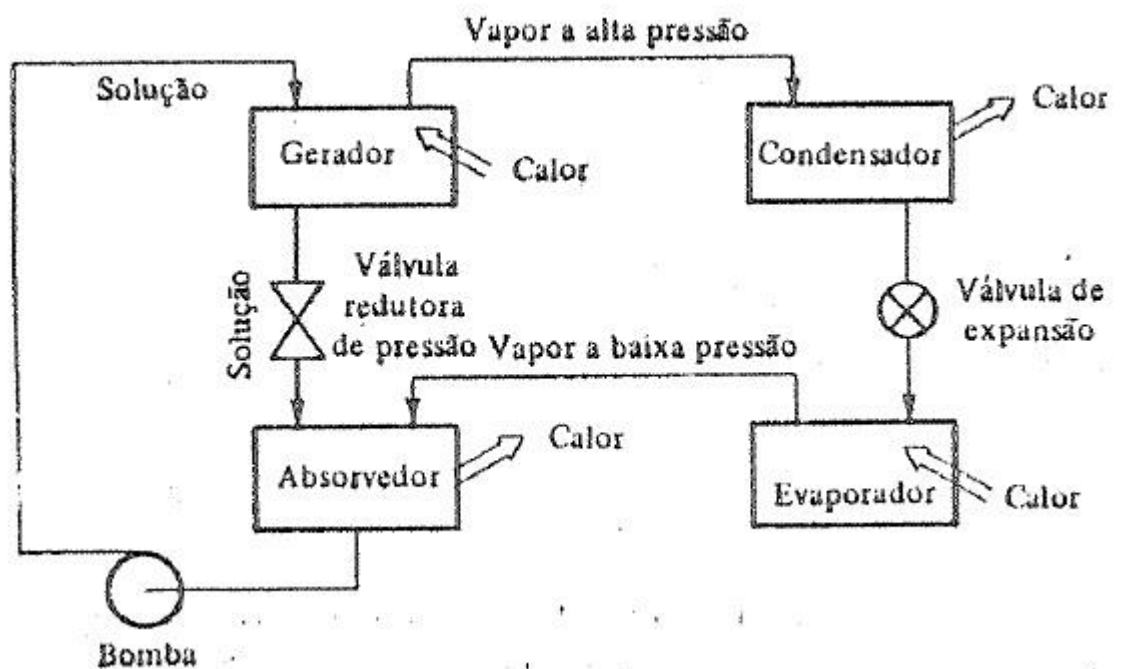
-Calor recuperado pode ser utilizado como insumo energético (em substituição ao trabalho mecânico) em ciclos de refrigeração por absorção;

-Plantas de absorção não causam dano à camada de ozônio e podem ter menor impacto no aquecimento global do que outras opções;

-Plantas de absorção são economicamente atrativas quando os custos dos combustíveis são substancialmente menores que os de energia elétrica, com o custo do combustível de 12 a 20 % do custo da energia elétrica.

O ciclo de refrigeração por absorção transfere calor da região de baixa temperatura para a região de alta temperatura através de processos de absorção e dessorção do fluido refrigerante na fase vapor por/de uma solução líquida (que é normalmente uma mistura binária composta pelo refrigerante e uma outra substância, por exemplo, um sal como o brometo de lítio). Durante o processo de absorção há transferência de calor para a região de temperatura intermediária (meio ambiente para um ciclo de refrigeração) e durante o processo de dessorção há fornecimento de calor para o ciclo a partir de uma fonte de calor a alta temperatura, conforme mostrado na Fig. 7, além de uma nova transferência de calor para a região de temperatura intermediária.

Figura 8 Unidade de absorção básica (STOCKER, pg 362, 1985)



O ciclo de absorção é composto por, basicamente, quatro processos, sendo

dois deles caracterizados por trocas de calor e os dois outros caracterizados por trocas simultâneas de calor e massa. Estes processos são os seguintes:

- vaporização do refrigerante no evaporador;
- absorção do refrigerante pela solução no absorvedor;
- separação (dessorção) do refrigerante no gerador;
- condensação do refrigerante no condensador.

Chiller de absorção a Água Quente: Utiliza água quente proveniente do processo LiBr : Solução Brometo de Lítio, onde o líquido refrigerante é a água.

Figura 9 Chiller por absorção(JOHNSON CONTROLS,2010)



É. uma opção para a produção de água gelada e pode ser uma alternativa viável, com redução significativa no custo-operacional, para os usuários de sistemas de frio que utilizam a refrigeração por compressão.

-Utiliza água como refrigerante ao invés de refrigerantes sintéticos de alto custo;

- Consome o equivalente a 1% da energia elétrica de um chiller convencional;

-Operação silenciosa e isenta de vibração;

2.5 Vantagens e desvantagens

Como o princípio de base de um chiller de absorção é um sistema termoquímico, não existem componentes móveis no sistema (para além das bombas hidráulicas necessárias). Como consequência, este tipo de chillers apresenta uma

vida útil longa, geralmente superior a vinte anos, e exigindo muito pouca manutenção. Por outro lado, nos chillers onde se usa água como fluido refrigerante, não é utilizada nenhuma substância nociva da camada de ozono (como os CFC, por exemplo).

O consumo elétrico de um chiller de absorção é tipicamente cerca de 10% do consumo dos chillers de compressão elétricos. Nas regiões onde existe uma forte procura de eletricidade e/ou em que o preço é bastante elevado, é possível reduzir a factura energética investindo num sistema de arrefecimento que praticamente não necessita eletricidade.

Os chillers de absorção de queima indireta apresentam também a vantagem de funcionar com uma ampla gama de fontes quentes: vapor de baixa pressão, água quente, energia solar e processo de purga quente.

A grande desvantagem dos chillers de absorção frente aos chillers de compressão reside no seu relativamente reduzido rendimento energético - Coeficiente de Performance (COP). Os chillers de absorção apresentam COPs de 1,1, enquanto nos chillers de compressão o valor pode subir até de 6,0. Por outro lado, os chillers de absorção representam um investimento inicial muito superior (entre 1,5 e 2,5 vezes mais caro).

Uma solução alternativa consiste em usar um sistema híbrido integrando os dois tipos de chillers: um chiller elétrico como base, e um chiller de absorção funcionando durante os períodos de cheia e de ponta.

Outras vantagens do chiller por absorção:

- Consumo de energia;
- Baixo nível de ruído interno; -Atinge Grandes capacidades; -Refrigerante ecológico;
- Simultaneidade;
- Poder de retirada de calor latente;
- Aplicação Especial(Sala limpa);

Desvantagens:

- Nível de ruído externo;
- Espaço Para Casa de máquinas;
- Sistemas Bombeamento Hidráulico;

Automação;
(workshop comgás, 2008)

2.6 Fabricantes e produtos

Normalmente, a capacidade dos chillers de absorção varia entre 10 e 17000 KW, embora a maioria dos chillers funcione na gama dos 1000 a 2000 KW. O quadro 7.1 resume as principais características de alguns modelos de chillers de absorção existentes no mercado.

Tabela 3 Fabricantes de chiller por absorção (MARIO LOUREIRO,2013)

Fabricante / distribuidor	Tipo de tecnologia	Tipo de fonte de calor	Tipo de fluido refrigerante	Potência eléctrica (kW)	Temperatura de saída da água gelada
Cooling Heating and Power	Amoníaco	Gás natural	Água / glicol	12	-10°C
	Amoníaco	Gás natural	Água / glicol	18	-10°C
	Brometo de lítio	Gás natural	Água	370 – 3700	5°C
	Brometo de lítio	Fuel-óleo	Água	370 – 3700	5°C
	Brometo de lítio	Vapor (7 bar)	Água	986 – 3700	5°C
	Brometo de lítio	Água quente	Água	120 – 3700	5°C
Dunham-Bush		Vapor		350 – 5000	
		Água quente		350 – 2700	

Tabela 4 Fabricantes de chiller por absorção(SILVA,2014)

Fornecedor	País de Origem	Tecnologia	Tipo	Modelo	Capacidade
Thermax (Trane)	India	Brometo de Lítio	Água quente	LT 21 C	210 TR
Johnson Controls (York)	Estados Unidos			YIA HW 2A4	205 TR
Carrier Sanyo	Estados Unidos/Japão			16 LJ 23	210 TR
Broad	China			BYDH 75	220 TR

Figura 10 Chiller por absorção(JOHNSON CONTROLS,2010)



Chiller por absorção YIA da Johnson Controls: -100 - 1400 TR Gama de Capacidades

- 0.68 C.O.P.

-40 °F Temperatura Mínima de Saída de Água Gelada

- 45 °F Temperatura Mínima de Entrada de Água Condensação

-3.6 GPM/TR Para 17°F Diferencial de Torre Resfriamento. -Vapor de 0 a 15 PSIG (0 a 1 Kg./Cm²)

-Água Quente de 240 °F (115 °C) (nominal) -Água Quente de 266 °F (130 °C) (opcional)

Chiller por absorção BROAD :

Figura 11 Chiller por absorção Broad. (EMPRESAS TUMA,2010)



3 CONCEITO DE AQUECIMENTO SOLAR

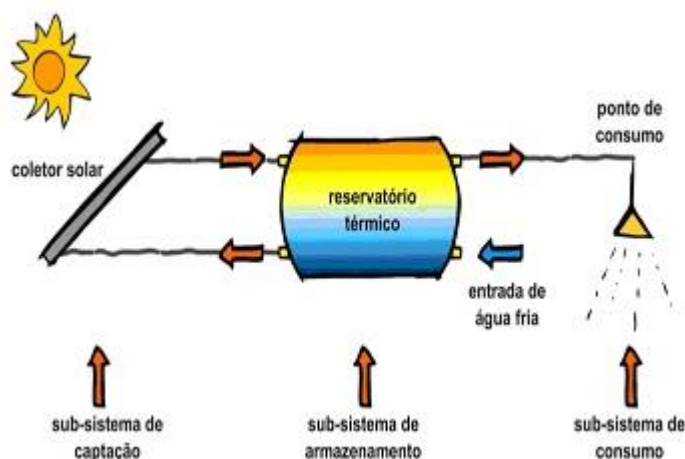
O aquecimento solar é o uso de energia solar para o aquecimento de água para banho, processos industriais, interessante ser uma fonte energética abundante e gratuita.

A energia solar térmica consiste no aquecimento de um fluido de trabalho através da conversão da radiação do sol em energia térmica.

O sistema de aquecimento solar é dividido em três subsistemas básicos. São eles:

- **Captação:** composto pelos coletores solares por onde circula o fluido a ser aquecido e pelas tubulações de ligação entre os coletores e entre a bateria de coletores e o reservatório térmico. Em instalações maiores há ainda a bomba hidráulica. No Brasil, o fluido de trabalho mais usado é a água;
- **Armazenamento:** composto pelo reservatório térmico e pelo sistema complementar de energia;
- **Consumo:** composto por toda a distribuição hidráulica entre o reservatório térmico e os pontos de consumo.

Figura 12 Desenho esquemático de um sistema de aquecimento solar. (PUCMINAS, 2014)



O processo se inicia com a passagem do fluido da caixa d'água para o reservatório térmico. Do reservatório ele passa para os coletores solares, onde a radiação solar será captada e transferida para a água que nele circula. Depois de aquecido, o fluido retorna para o reservatório térmico através das tubulações. No reservatório, a água conserva a energia absorvida, pois esse equipamento é termicamente isolado, sendo capaz de mantê-la aquecida por um longo período. Depois, a água aquecida é direcionada para os pontos de consumo da residência.

Os sistemas de aquecimento solar podem ser classificados de quatro formas:

1- Porte:

Associado ao volume diário de água a ser aquecida e às características da edificação onde o sistema será instalado.

2- Circulação:

- Circulação natural ou efeito termossifão: a circulação da água nos tubos de distribuição dos coletores é promovida apenas pela diminuição de sua densidade devido ao aquecimento da água nos coletores solares, o chamado efeito termossifão. Este tipo de circulação é geralmente utilizado em instalações de pequeno porte, como as residenciais.

- Circulação forçada ou bombeada: a circulação do fluido de trabalho acontece através da força transferida para a água através de uma bomba hidráulica. É usada em instalações de médio ou grande porte, além de ser a solução para obras em que os parâmetros exigidos para a instalação do termossifão não podem ser atendidos.

3- Tipos de sistemas:

a. Convencional: classifica-se como convencional um sistema de aquecimento solar em que é possível apontar coletores solares e reservatório térmico como equipamentos distintos, separados fisicamente.

b. Acoplado ou Compacto: o coletor solar e o reservatório térmico se fundem em uma única peça. O sistema acoplado opera em circulação natural e tem como vantagem a redução de eventuais erros e dos custos de instalação. Entretanto, devido a grande área de exposição de seus componentes e do pequeno desnível entre o ponto de saída da água quente do coletor solar (retorno ao reservatório) e a

base do reservatório, há uma redução da eficiência térmica diária da instalação solar. Este sistema é adequado para conjuntos habitacionais, onde o volume de água quente a ser armazenado não excede 200 litros por dia e também para consumidores individuais.

c. Integrados: sistema em que o reservatório e o coletor constituem o mesmo equipamento. Na maioria das vezes eles são formados por tubos pintados de preto e colocados em uma caixa com isolamento térmico e uma cobertura transparente. O problema dos sistemas integrados é que boa parte da energia captada durante o dia é perdida à noite.

4- Troca de calor:

- Direta: A água aquecida pelos coletores é a mesma que será utilizada nos pontos de consumo. Sistema freqüente na maioria dos sistemas em funcionamento no Brasil.

- Indireta: o fluido aquecido nos coletores não é o mesmo que será consumido. Instalação comum em locais onde a temperatura ambiente pode trazer riscos de congelamento aos coletores, em processos industriais ou nas demais aplicações onde não pode haver mistura do fluido que circula pelos coletores e o que será consumido. (PUCMINAS, 2014)

Figura 13 Sistema instalado para aquecimento de água(SOLETROL,2013)

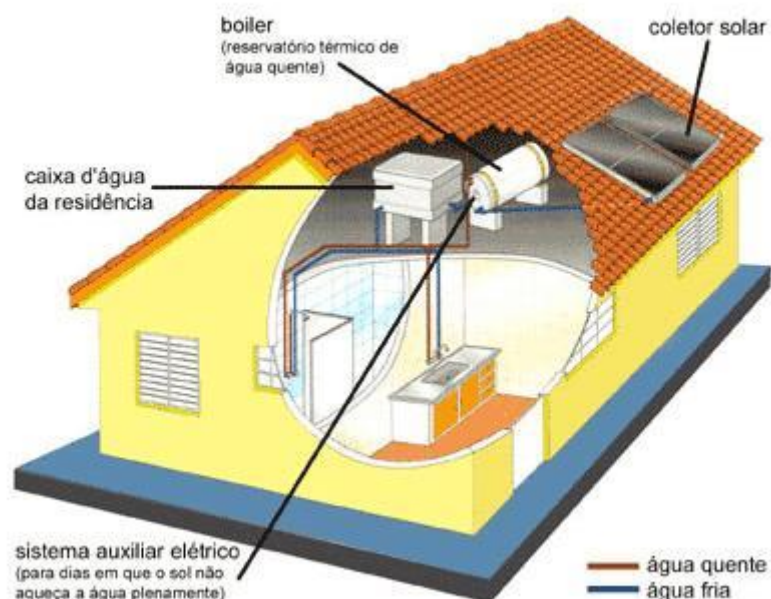
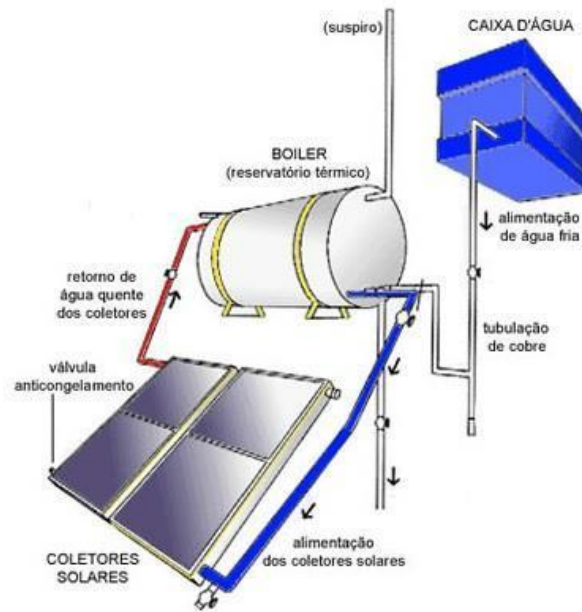


Figura 14 Funcionamento do sistema de placas solares(SOLETROL,2013)



4 TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS

- Energia Solar Fotovoltaica;
- Tecnologia térmica;

Energia Solar Fotovoltaica:

A tecnologia fotovoltaica é mais adequada para a aplicação em potências menores e descentralizadas, como residências, pequenos estabelecimentos comerciais etc. Materiais semicondutores, como o silício, caracterizam-se por ter bandas de energia de sua camada mais externa de elétrons da ordem de 1 elétron-Volt (eV). Essa propriedade possibilita que fótons na faixa do visível, com energia superior ao gap do material, excitam elétrons à banda de condução de células fotovoltaicas. Esse fenômeno por si só não é capaz de gerar energia em um semicondutor puro, dessa forma necessita-se preparar o material semicondutor, o que ocorre por um processo denominado dopagem. (Apud, CRESESB, 1999)

O silício possui átomos que se caracterizam por ligar-se a quatro átomos vizinhos para formar a rede cristalina. Quando são introduzidos átomos diferentes como fósforo, com cinco elétrons de ligação, a rede é deformada, gerando excesso de elétron. Da mesma forma, a introdução de boro, com três elétrons de ligação, também deforma a rede cristalina por haver agora um elétron a menos. Essa falta de elétron gera uma lacuna. Um elétron vizinho a essa lacuna pode deslocar-se à sua posição, fazendo com que a lacuna se desloque. A adição desses dois elementos estranhos ao cristal de silício é o que constitui a dopagem, sendo o fósforo o dopante n e o boro o dopante p (Apud, CRESESB, 1999).

À temperatura ambiente praticamente todos os elétrons do reticulado cristalino têm energia suficiente para estarem livres. Com a dopagem p e n em lados diferentes de uma célula (dopagem pn), os elétrons livres se movimentam do lado negativo para o positivo a fim de compensar as cargas. Com o acúmulo das cargas opostas na fronteira entre os dois lados, o campo elétrico gerado torna-se uma barreira que impede a passagem de mais elétrons, atingindo equilíbrio. (Apud, CRESESB, 1999).

Se a célula com a junção pn for exposta à luz, os fótons com energia superior

ao gap removerão elétrons de seus lugares, formando novos pares elétron-lacuna. Se isso acontecer na região do campo elétrico, as cargas aceleradas geram potencial elétrico. Se a célula for conectada a um circuito haverá circulação de elétrons e corrente elétrica. Essa é a base do funcionamento de células fotovoltaicas (Apud, CRESESEB, 1999).

Há limitações dessa tecnologia que contribuem para o baixo índice de eficiência das células atuais. Primeiro, apenas uma parte do espectro solar é capaz de excitar os elétrons. Esses fótons são aqueles com comprimento de onda inferior a aproximadamente 1 μm . Outro fator é que cada fóton excita apenas um elétron, se houver colisão. Logo os fótons que não excitarem elétrons, seja por ter energia superior ao gap, ou por não serem coletados na nuvem

de elétrons, serão convertidos em calor. Portanto, as células de silício têm maior limite de eficiência teórico de 25% (CRESESEB, 1999).

Outros materiais além do silício são utilizados para fabricação de componentes fotovoltaicos. Eles incluem arsenieto de gálio, telureto de cádmio, sulfeto de cádmio e biseleneto de cobre, índio e gálio. Essa nova tecnologia é fabricada em forma de filmes finos (Apud, HINRICHS; KLEINBACH, 2003). A aposta do mercado nos filmes finos é o desenvolvimento do processo de fabricação para que o custo do equipamento seja mais baixo, já que sua eficiência é menor se comparada às células de silício. As principais classificações dos tipos de sistemas fotovoltaicos são: sistemas isolados, híbridos e conectados à rede. Os sistemas obedecem a uma configuração básica onde o sistema deverá ter uma unidade de controle de potência e talvez uma unidade de armazenamento. Sistemas isolados necessitam de armazenamento de energia, exceto em casos como irrigação, onde toda a água bombeada é diretamente consumida ou estocadas em reservatórios. Sistemas híbridos possuem mais de um tipo de fonte de geração para complementar à fonte solar.

Algumas opções são geração eólica e geradores a diesel. Sistemas conectados à rede não utilizam armazenamento de energia, e toda a geração é entregue diretamente à rede, através de conexões com inversores. Estes inversores devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afetada. (Apud, CRESESEB, 2012).

Figura 15 Sistema instalado com placas solar(BLUE-SOL,2014)



Tecnologia térmica:

A tecnologia térmica capta os raios solares, através da reflexão em superfícies espelhadas onde o calor coletado é transmitido para um fluido que serve como meio de transferência (vetor) para gerar vapor, que é transformado em energia pelos meios convencionais, como turbina a vapor gerando eletricidade, ou trabalhos mecânicos. Essa técnica é mais utilizada em geração de potência mais alta, podendo chegar à faixa de 50MW a 350MW.

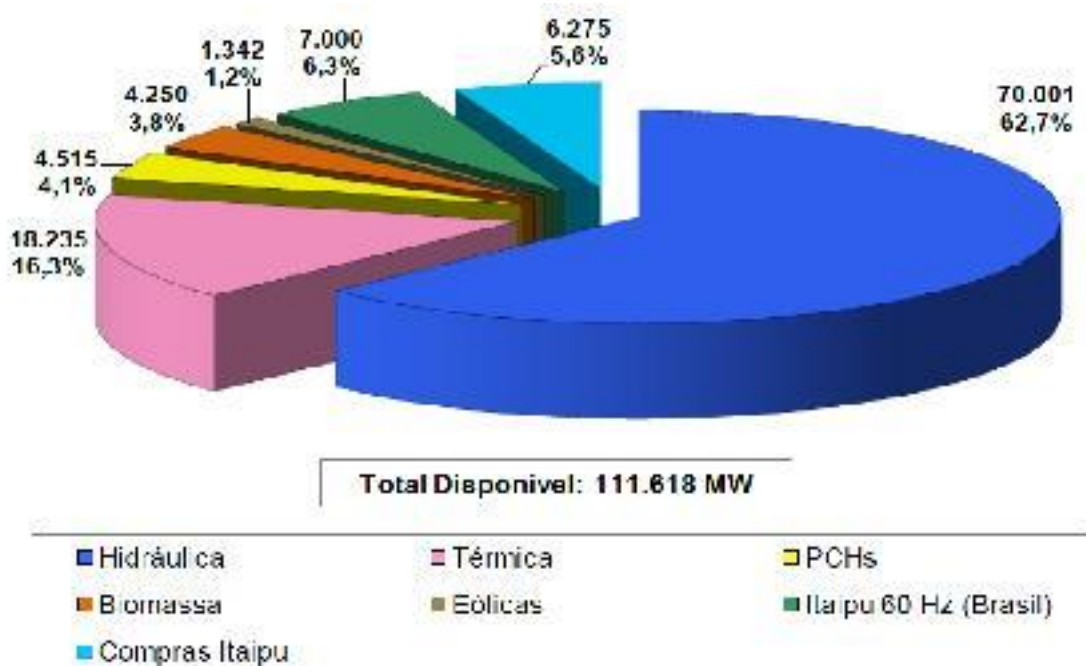
Figura 16 Funcionamento do sistema com placas solar. (FRIOSOLAR, 2013)



5. CENÁRIO PARA APLICAÇÃO NO BRASIL

A capacidade instalada do Sistema Interligado Nacional (SIN) em 31/12/2011 totalizou 111.618 MW, dos quais 87.791 MW são provenientes de usinas hidrelétricas, mostrando assim que o potencial de geração de energia elétrica brasileiro está fundamentado na geração hidráulica (78,7%). Onde 66,8% desta capacidade são de produção nacional, 6,3% de produção em Itaipu (Brasil) e 5,6% de compras de Itaipu (Paraguai). As outras fontes não hidráulicas são compostas de geração termelétrica (16,3%), Biomassa (3,8%) e Eólica (1,2%), conforme dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2013), (Andreas, p.51,2013).

Figura 17 Capacidade Instalada do SIN (MW) (ONS, 2013)

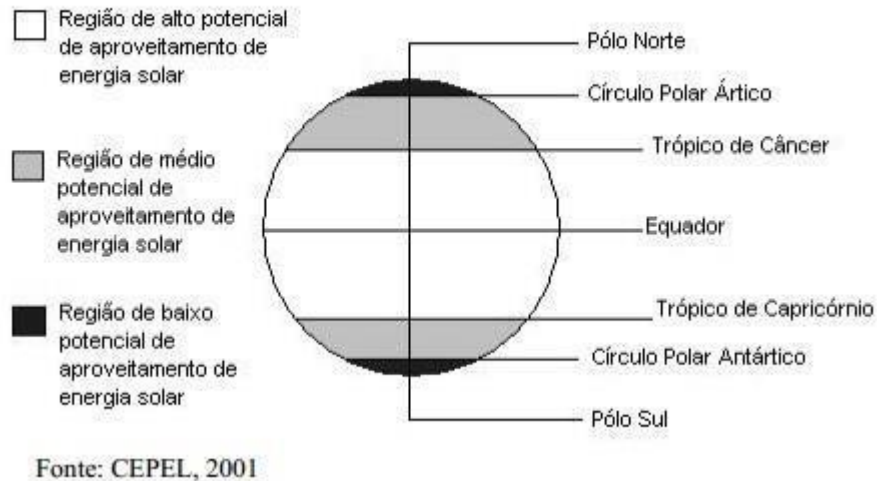


O consumo da classe comercial totalizou 73,5 mil GWh em 2011, crescimento de 6,3% sobre 2010- o melhor desempenho entre as classes de consumo. As taxas se mantiveram elevadas praticamente ao longo de todo o ano. (Palmieri, Pg 50, 2013).

Segundo o Manual de Energia Alternativa do CEPEL (2001), o potencial de aproveitamento da energia solar de uma determinada região é determinado, principalmente, em função de sua localização no Globo Terrestre. As regiões

localizadas entre os círculos polares e os trópicos podem ser consideradas como de médio potencial de energia solar e as regiões localizadas entre as linhas tropicais podem ser consideradas de alto potencial.

Figura 18 Potencial de aproveitamento solar mundial.



Privilegiando-se dos elevados índices solar métricos 57 que são determinantes para o crescente aproveitamento do aquecimento solar. A figura 18b mostra que o Brasil possui grande parte de seu território (cerca de 90%) na região considerada de alto potencial de energia solar.

Figura 19 Potencial de utilização de energia solar na Terra

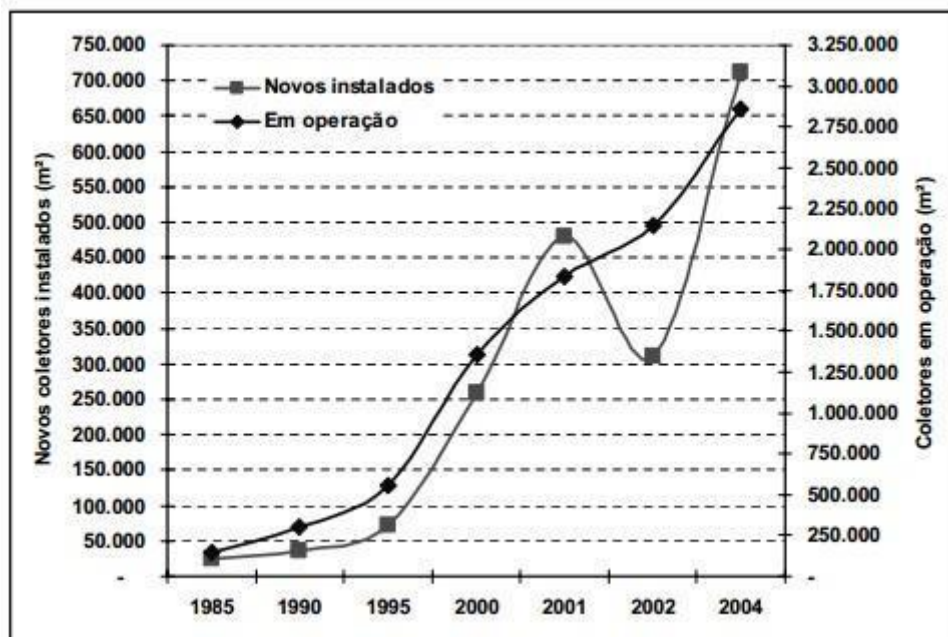


O aquecimento solar no Brasil começou a ser desenvolvido comercialmente

na década de 70, mas somente a partir dos anos 90 é que o mercado obteve taxas de crescimento elevadas, principalmente devido à implantação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo INMETRO. A etiqueta do INMETRO estabeleceu, de forma clara e inequívoca, critérios de comparação e avaliação dos coletores solares comercializados no Brasil. Esta etiqueta contém informações sobre a produção mensal de energia de cada coletor ensaiado. Estabeleceu-se, como referência, o mês de setembro para a cidade de Belo Horizonte, considerando a inclinação dos coletores igual a 25°.

A figura abaixo mostra a evolução do mercado de aquecimento solar no Brasil, de 1985 a 2004:

Figura 20 Evolução do mercado de aquecimento solar no Brasil .(CEPEL, 2001)



A partir da figura 18, podem-se identificar pelo menos três fases distintas durante a evolução do mercado no Brasil – até o ano de 1994, entre 1994 e 2001 e a partir de 2001. Segundo a ABRAVA, até o ano de 1994, o mercado de aquecimento solar, ainda era bastante incipiente e registrou pequenas taxas de crescimento anual, com um valor médio de 5,6%. A partir de meados da década de 90, com a criação do Centro Brasileiro para o Desenvolvimento da Energia Solar Térmica – GREEN Solar, localizado em Belo Horizonte e a implantação do PBE, a indústria brasileira de aquecimento solar passou a desenvolver melhores produtos e serviços,

de maior qualidade e a gerar maior confiança por parte do consumidor.

Com a criação de programas de incentivo junto a algumas concessionárias de energia, junto às Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRÁS) e ao Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o mercado passou a experimentar taxas de crescimento elevadas de 30,54% a.a. (1994 a 2000). O ano de 2001 marcou a crise de energia elétrica no Brasil⁵⁹ e medidas e metas de redução de consumo de energia foram determinadas pelo Governo. A indústria de aquecimento solar passou por um crescimento de 80% em relação ao ano anterior; novas empresas surgiram e as que já estavam no mercado, investiram para conseguir atender à demanda. Neste período o aquecimento solar foi amplamente divulgado. Passado o período da crise, o mercado sofreu uma forte retração e no ano de 2002 verificou-se uma queda acentuada em relação ao ano de 2001 (FARIA, 2004, apud).

A partir de 2002, o Brasil passou a instalar uma média de 320 mil m² por ano. Entre 2002 e 2004 registrou-se um crescimento de 33% do mercado. O Brasil domina a tecnologia de aquecedores solares, sendo que 100% dos equipamentos utilizados no Brasil são produzidos no país, com a mão-de-obra e matérias-primas nacionais (MAZZON e MESQUITA, 2004, apud).

A indústria de aquecimento solar no Brasil é composta basicamente de micro, pequenas e médias empresas e possui uma estrutura bastante simples. O aquecedor solar chega ao consumidor final principalmente através de vendas, embora a empresa fabricante também assume diversas tarefas não inerente à sua finalidade principal. Isto se deve à ausência de um número significativo de profissionais capacitados, o que leva a indústria fabricante a integrar em sua cadeia de trabalho, vendas, projeto, instalação e manutenção (FARIA, pg. 40, 2004, apud).

6. APLICAÇÕES DA CLIMATIZAÇÃO SOLAR

6.1 Conceito de climatização solar

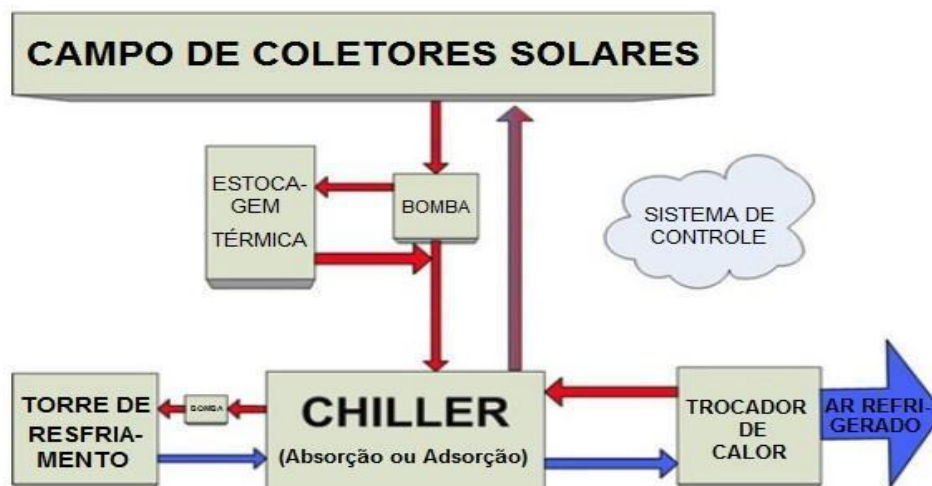
Climatização é a definição dada ao processo de fazer com que um meio ambiente qualquer permaneça numa faixa de temperatura simpática aos organismos biológicos que se quer preservar. A climatização constitui um processo semelhante ao condicionamento de ar, mas não inclui a função de umidificação ou outras das funções do condicionador de ar.

A maioria dos sistemas de refrigeração solar usa coletores de energia solar térmica similares aos usados em sistemas solares térmicos de aquecimento de água para residências, mas ao invés de usar o calor para aquecimento, o calor é direcionado para um chiller de absorção.

Um chiller de absorção é termodinamicamente semelhante (em princípio) a um chiller convencional (de compressão a vapor), mas ele é movido pela energia do calor absorvido e não por energia elétrica.

Chillers de absorção são muito menos eficientes do que refrigeradores convencionais, gerando entre 0.65-1.2 kW de arrefecimento para cada kW 1.0 de entrada de calor. Isso se compara com cerca de 3.0 kW de refrigeração por kW de uso de eletricidade para um chiller convencional. Chillers de absorção dependem da entrada de energia barata e/ou de baixo carbono.

Figura 21 Sistema Chiller por absorção com placas solares. (DESIGN BUILD SOURCE,2013)



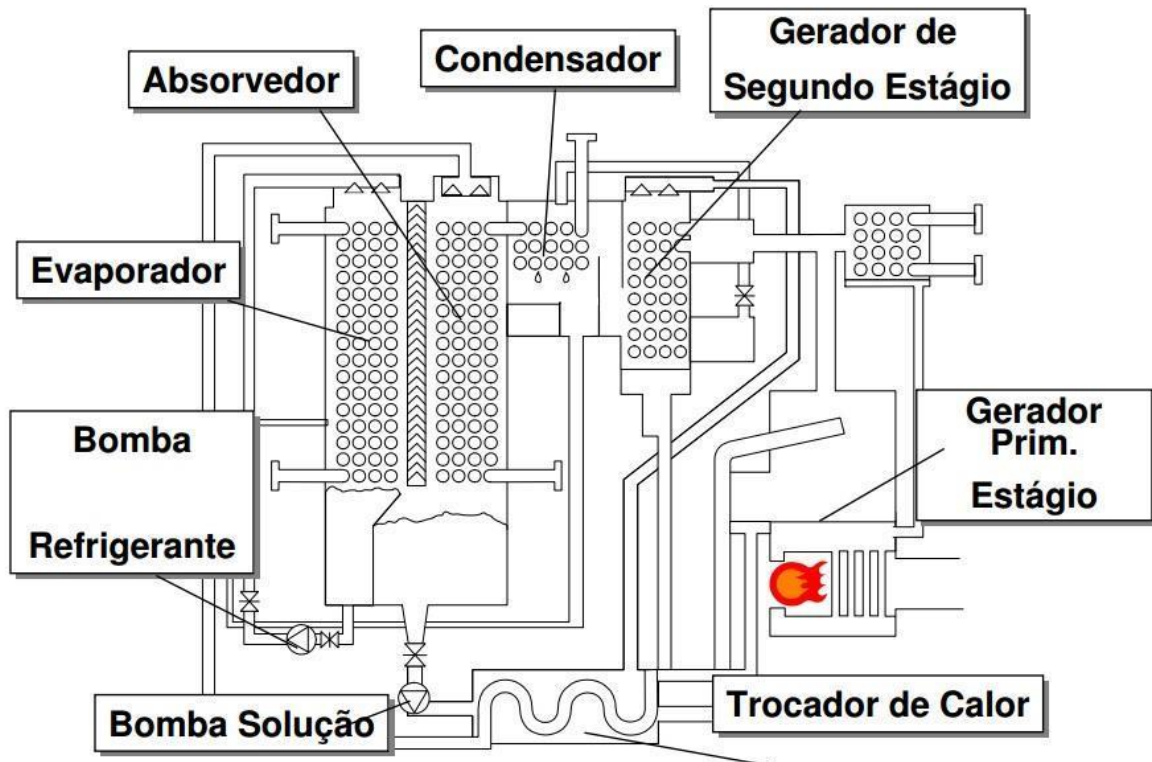
6.2 Sistema Secundário de Energia

Sistemas de backup de energia têm como função auxiliar a produção de energia ou neste caso água gelada. As opções estudadas foram do chiller dual e chiller simples.

Chiller dual:

Água quente e/ou queima direta tem seu consumo entre 0,22 a 02.4 m³/TR.

Figura 22 Chiller dual (JOHNSONCONTROLS,2010)



Fonte: <http://www.johnsoncontrols.com.br>

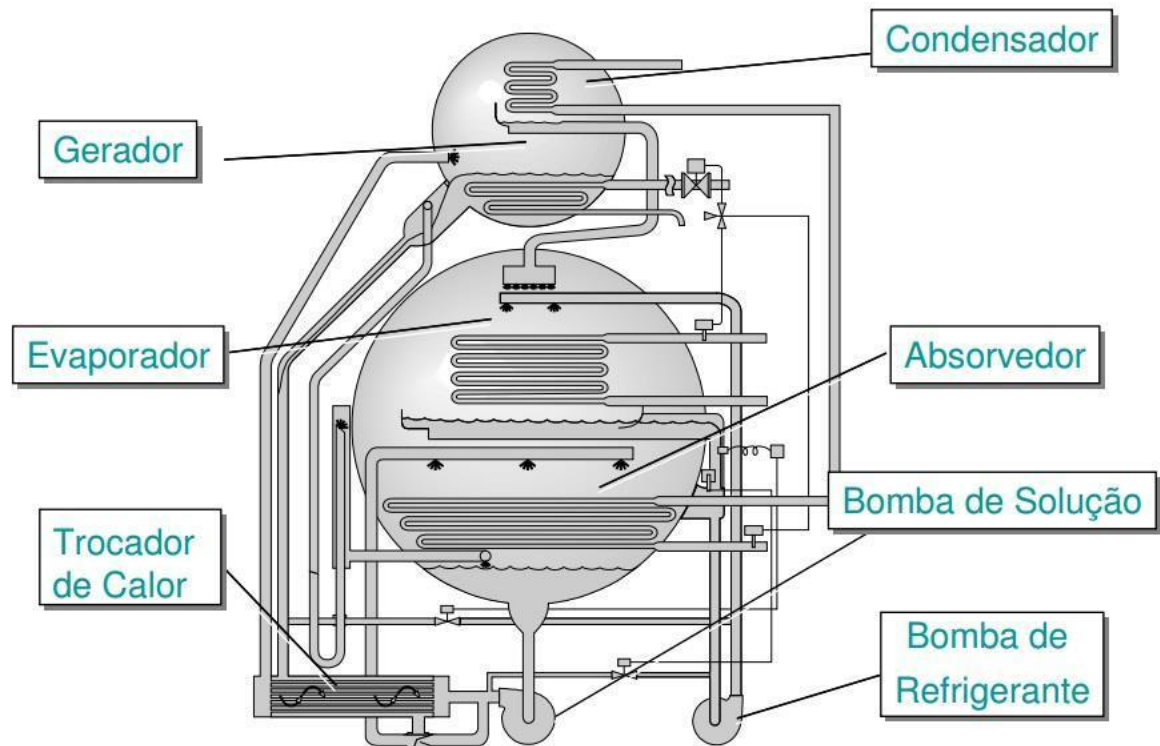
Chiller simples (água quente)

Seu funcionamento ocorre através de um aquecedor de passagem

EF= 0.85

Consumo GN max : 0,416 m³/TR)

Figura 23 Chiller simples (JOHNSONCONTROLS,2010)



6.3 Empreendimentos Ideais Para Aplicação

Esta tecnologia é geralmente conhecida como refrigeração solar ou climatização solar. Refrigeração solar tem o potencial para ser aplicada em edifícios comerciais e escritórios, onde a demanda por ar condicionado acontece nas horas de maior disponibilidade de radiação solar sendo usada para conservação de ambientes onde as temperaturas são menores e para controle de processos como resfriamento ou congelamento.

A Aplicação mais usada da climatização é, o ar condicionado para o conforto térmico onde as temperaturas são maiores e é utilizada para controle de temperatura em escritórios, casas etc.

O ar condicionado industrial refere-se tanto tratamento do ar para propiciar condições mínimas para o trabalho em ambientes insalubres como ao controle das condições do ar em um determinado processo industrial.

Sendo assim pode-se usar climatização solar em supermercados para a refrigeração de alimentos, carnes e bebidas.

Os supermercados tem como preferência o sistema de climatização solar pela economia feita com energia, pela preocupação com o meio ambiente e por poder controlar a umidade, o que não acontece na refrigeração.

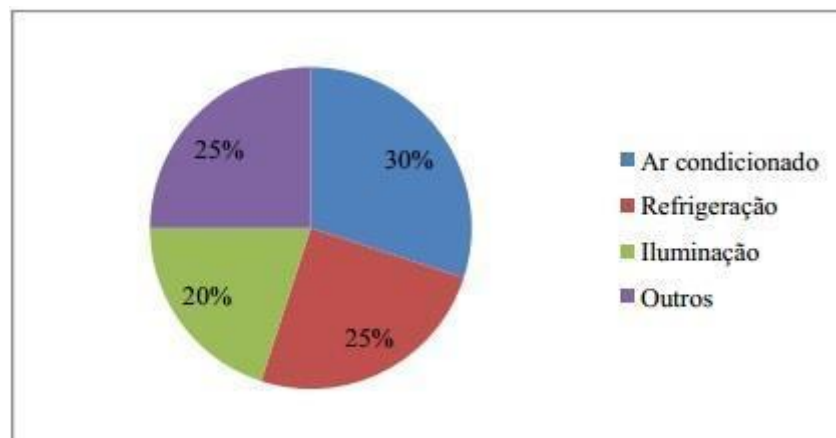
O tempo de armazenamento de alimentos perecíveis, tais como carnes, frutas e vegetais pode ser prolongado por meio da refrigeração. Frutas, vegetais e produtos industrializados de carne, como os frios, são armazenados a temperaturas muito próximas do ponto de congelamento. Algumas qualidades de carne, peixe, vegetais e mesmo as frutas podem ser congeladas, permitindo o seu armazenamento a baixas temperaturas por meses até que sejam descongelados para o consumo (Stoecker, 1985).

7. POTENCIAL DE APLICAÇÃO

Panesi (2008) afirma que os supermercados operam com margem de lucro pequena, por isso os custos de energia representam um papel importante em sua competitividade e eficácia. A

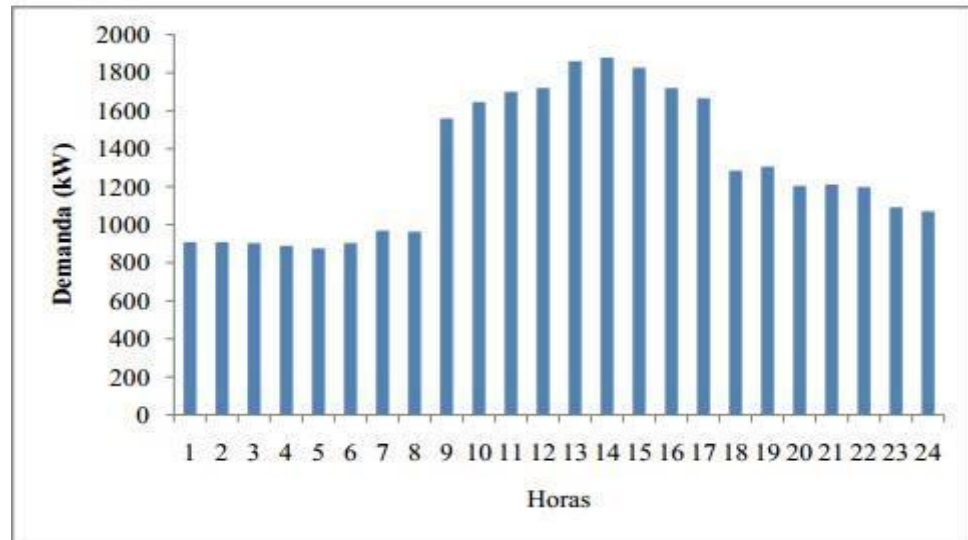
A figura 23 ilustra a matriz energética de um supermercado típico. Pode-se observar que a maior parte do consumo é destinada às instalações de climatização e refrigeração. Em alguns casos, equipamentos de refrigeração e congelamento são responsáveis por até 70% do consumo total de energia da loja. Por isso, esses sistemas devem ser regularmente inspecionados, controlados e, se necessário, substituídos por outros mais eficientes.

Gráfico 1 Perfil de consumo de supermercados (PANESI, 2008)



Sabe-se que a demanda por energia em um supermercado não é constante ao longo do dia. Ela apresenta valores máximos entre às 9 e às 18 horas, período no qual o estabelecimento recebe maior número de usuários. O que evidencia que este fator influencia no consumo do estabelecimento (PANESI, 2008). A Figura abaixo ilustra a demanda de energia em um supermercado brasileiro durante um dia típico de operação.

Gráfico 2 Perfil de consumo de supermercados (PANESI, 2008)



A carga térmica de um ambiente é definida como a taxa de calor no tempo que precisa ser retirada ou adicionada para manter o ar do ambiente com temperatura desejada. Será utilizado um chiller de absorção por água quente. A carga térmica para uma área de 5000 m² de um supermercado é de 200 TR.

8. ESTUDO DE CASO

Com base no mercado de climatização com chiller no setor terciário em São Paulo foi escolhido um segmento para realização da viabilidade técnico-econômica:

Supermercado.

O estudo da viabilidade feita neste projeto é fictício, tendo então alguns valores alterados de um supermercado real.

No final do estudo de caso foram realizados os cálculos dos parâmetros financeiros referentes ao investimento adicional com a aquisição e implantação das soluções e economia operacional.

Os cálculos foram realizados com base nas seguintes equações (Parente, 2009).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FLC_t}{(1+r)^t} - IIO \quad (I)$$

$$Payback \ simples = \frac{IIO}{FLC} \quad (II)$$

$$Payback \ descontado = n_{(ultimo \ FLCA \ neg.)} - \left(\frac{FLCA_{(ultimo \ negativo)}}{FLCD_{(do \ "n" \ seguinte)}} \right) \quad (III)$$

Onde:

IIO- Investimento inicial (adicional)

FLC-Fluxo de caixa (economia operacional anual)

FLCA- Fluxo de caixa acumulado (economia operacional anual descontada e acumulada)

FLCD-Fluxo de caixa descontado (economia operacional anual descontada) **r**- Taxa de desconto(juros anual), adotado 12%)

n-Periodo(anos),adotado 10 anos

VPL-Valor Presente Líquido

TIR-Taxa interna de retorno (é a taxa de desconto “r” que produz o VLP=0)

Payback simples (retorno do investimento sem juros) Payback descontado (retorno do investimento com juros)

8.1 Supermercado

Energia Elétrica:

AES Eletropaulo A4 Azul, Demanda contratada P e FP: 750 kw

O sistema de ar condicionado era inicialmente composto por um chiller de compressão e estará sendo substituído por um chiller de absorção de água quente.

Sistema composto então pela central de água gelada, chiller de absorção e placas solares com um sistema secundário a gás caso a insolação seja insuficiente para esquentar a água no horário determinado.

Um chiller de absorção de simples estágio "YIA johnson controls" recebe em sua entrada a água numa temperatura de 90 °C e saída de 90 °C.

Calculo térmico:

Área do supermercado: 5000 m²

Calculo térmico para supermercado: 25m²/TR :5000/25 = 200TR

Tabela 5 Parâmetros para carga Térmica.(Andreas,2014)

Parâmetros para Carga Térmica

Tipo de Empreendimento		Carga Térmica (m ² /TR)	Fator de Carga na Ponta	Fator de Carga Fora de Ponta	Fator de Carga Global
Academia	Salas de ginástica	20	0,7	0,5	0,56
Banco	Administrativo	22	0,5	0,6	0,57
Call Centre	Escritórios	20	0,7	0,7	0,70
Ensino	Salas de aula	22	0,7	0,6	0,62
Escritório Comercial	Baixa Ocupação	24	0,4	0,5	0,47
	Alta Ocupação	22	0,5	0,6	0,57
Hotel e Flat	Quarto	25	0,5	0,6	0,59
Hospital	Internação	25	0,7	0,7	0,70
	Centro Cirúrgico	18	0,6	0,7	0,69
Igreja	Templo	22	0,7	0,6	0,62
Museu	Exposição	25	0,4	0,5	0,47
Residência	Quartos e Sala	25	0,6	0,5	0,51
Shopping Center	Loja	20	0,6	0,5	0,52
	Mall	25	0,7	0,6	0,62
Supermercado e Varejistas	Loja	25	0,7	0,6	0,62
Processo (*)	-	18	0,5	0,8	0,71

Apostila- ESTUDO DE CASO HVAC ELÉTRICO X GÁS NATURAL MÓDULO I, Consulfesp,pg 15.

Supermercado em funcionamento das 8:00h as 22:00h 7 dias por semana e 12 meses por ano.

Carga Térmica = $200 \times \text{TR} \times (22-8) \times 365 \text{ dias/ano} \times 0,60 = 613.200 \text{ TRh/ano.}$

Vazão do chiller:

Quantidade de calor

$$Q = m.c.(t - t_0)$$

Q = quantidade de calor (cal)

m = massa (g)

c = calor específico (cal/ g. °C)

delta t = variação da temperatura (°C)

$$\text{delta t} = t - t_0$$

$$Q = m .c .\Delta T$$

Logo:

$$m = Q / (c . DT)$$

$$m = 613.200 / (1. (90-70)) m = 30.660 \text{ kg}$$

$$m = 30.660 \text{ litros } m = 30.66 \text{ m}^3/\text{h.}$$

Placa solar escolhida do fabricante SODRAMAR, modelo CSi4, em que cada placa possui uma área de 1.32 metros e cada placa solar com vazão de 0.33 m³/h.

Tabela 6 Tabela de posicionamento de coletor solar.(SODRAMAR,2012)

ESTADOS	DEFAZAGEM EM RELAÇÃO AO NORTE 0° - 15°		DEFAZAGEM EM RELAÇÃO AO NORTE 15° - 45°		CLIMA ESTIMADO
	ÂNGULO em graus (α)	ÂNGULO em % (β/c°)	ÂNGULO em graus (α)	ÂNGULO em % (β/c°)	
São Paulo	37	60,2	27	45,4	MÉDIO

Tabela 7 Tabela Consumo e capacidade de aquecimento de água. (SODRAMAR,2012)

CONSUMO DIÁRIO A 70°C	CAPACIDADE DO AQUECIMENTO (LITROS)
60	50
95	75
130	100
200	125
260	200
330	250
430	300
570	400
700	500
850	600
1.150	750
1.500	1.000
1.900	1.250
2.300	1.500
2.900	1.750
3.300	2.000
4.200	2.500
5.000	3.000

$$30.66 / 0.33 = 92.9$$

$$93 \times 1.32 \text{m}^2 = 122.76 \text{m}^2$$

Necessário 93 placas solares em uma conexão série-paralelo com área de 1,32m².

Tabela 8 Dados Energéticos do Supermercado

Capacidade	200 TR			
Demanda total	750 kW			
Operação anual	5110 horas	das 8 as 22, de segunda a segunda		
Operação na Ponta	756 horas			
Operação Fora Ponta	4354 horas			
Fator de carga elétrico	0,6			
Fator de carga Ar Condicionado	0,5			
Consumo AC Elétrico	1,1 kW/TR			
Consumo AC Absorção	0,1 kW/TR			

Foram estabelecidos uma Demanda Total de 750 kW , capacidade de 200TR antes já determinada sendo então calculado a operação na Ponta, Fora de Ponta, Fator de Carga Elétrico e Fator de Carga do Ar Condicionado, o Consumo do Ar

Condicionado no Sistema Convencional e no Sistema por Absorção.

Tabela 9 Balanço Energético do Supermercado

Sistema		Elétrico		Absorção	
Carga Térmica Anual					
Carga Térmica		200	TR	200	TR
Demanda Elétrica		220	kW	20	kW
Carga térmica Ponta		75.600	TRh	75.600	TRh
Consumo EE Ponta		83.160	kWh	7.560	
Carga térmica Fora Ponta		435.400	TRh	435.400	TRh
Consumo EE F. Ponta		478.940	kWh	43.540	
Carga térmica total		511.000	TRh	511.000	TRh
Energia Elétrica Anual					
Demanda		750	kW	550	kW
Consumo anual Ponta		340.200	kWh	264.600	kWh
Consumo anual Fora Ponta		1.959.300	kWh	1.523.900	kWh
Consumo anual Total		2.299.500	kWh	1.788.500	kWh

Após todos os dados estabelecidos e calculados na tabela 7 foi calculado a Demanda Elétrica para ambos Sistemas, Carga Térmica, Consumo na Ponta e Fora da Ponta e os respectivos valores anuais.

Tabela 10 Calculo Custo de Energia Elétrica Sistema Convencional

<i>Cálculo custo de Energia Elétrica</i>					
AES Eletropaulo A4 AZUL	Custo s/ Impostos	Custo c/ Impostos	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Custo (R\$)
Demanda de Ponta	R\$ 11,35 /kW	R\$ 14,84 /kW	750	-	133.529
Demanda Fora de Ponta	R\$ 7,13 /kW	R\$ 9,32 /kW	750	-	83.882
Consumo Anual na Ponta	R\$ 0,29258 /kW	R\$ 0,38246 /kW	-	340.200	130.112
Consumo Anual Fora de Ponta	R\$ 0,18438 /kW	R\$ 0,24102 /kW	-	1.959.300	472.230
Total anual				2.299.500	819.754
Custo Especifico EE (R\$/kW)					0,35649
		Impostos inclusos:		PIS/PASEP/CONFINS	5,5%
				ICMS	18,0%

Na atual condição do Sistema Convencional foram consideradas as tarifas atuais vigentes da AES Eletropaulo A4 Azul.

Tabela 11 Calculo Custo de Energia Elétrica Sistema por Absorção

Cálculo custo de Energia Elétrica

AES Eletropaulo A4 AZUL	Custo s/ Impostos	Custo c/ Impostos	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Custo (R\$)
Demanda de Ponta	R\$ 11,35 /kW	R\$ 14,84 /kW	550	-	97.922
Demanda Fora de Ponta	R\$ 7,13 /kW	R\$ 9,32 /kW	550	-	61.514
Consumo Anual na Ponta	R\$ 0,29258 /kW	R\$ 0,38246 /kW	-	264.600	101.198
Consumo Anual Fora de Ponta	R\$ 0,18438 /kW	R\$ 0,24102 /kW	-	1.523.900	367.290
Total anual				1.788.500	627.923
Custo Especifico EE (R\$/kW)					0,35109
			Impostos inclusos:		
			PIS/PASEP/CONFINS		5,5%
			ICMS		18,0%

No Sistema por Absorção foram consideradas as tarifas atuais vigentes da AES Eletropaulo A4 Azul.

Sistema de aquecimento a gás natural

O sistema auxiliar de aquecimento a gás natural é utilizado para aquecer a água proveniente do sistema com placas solares quando a irradiação solar é insuficiente para aquecer água na temperatura desejada. É um processo de queima direta a gás natural.

Neste sistema um gás, é comprimido num compressor acionado por motor elétrico e expandido numa câmara na qual ele retira o calor nessa expansão. No interior dessa câmara estão as serpentinas por onde circula a água que retorna do circuito após passar por uma torre de refrigeração (a água ou a ar). A água gelada sai do resfriador, e vai para o circuito no qual atravessa as colméias dos radiadores externamente às quais passa o ar da ventilação forçada dos ambientes a refrigerar. (BRASIL, 2005)

Figura 24 Chiller com aquecedor a gás (airship,2014)



Tabela 12 Tarifas do gás natural.(COMGÁS,2014)

Refrigeração

Tarifas do Gás Natural Canalizado
 Área de Concessão da Comgás
 Tabela de Margens Máximas
 Deliberação ARSESP nº 496, de 27/05/2014, com vigência a partir de 31/05/2014.
 Segmento Refrigeração

Classes	Volume m³/mês	Valores sem ICMS	
		Variável - R\$/m³	Valores com ICMS
1	Até 5.000,00 m³	1,320130	1,500148
2	5.000,01 a 50.000,00 m³	1,236399	1,404999
3	50.000,01 a 100.000,00 m³	1,193786	1,356575
4	100.000,01 a 500.000,00 m³	1,130405	1,284551
5	500.000,01 a 2.000.000,00 m³	1,137159	1,292226
6	2.000.000,01 a 4.000.000,00 m³	1,117519	1,269908
7	4.000.000,01 a 7.000.000,00 m³	1,094095	1,243290
8	7.000.000,01 a 10.000.000,00 m³	1,070669	1,216669
9	> 10.000.000,00 m³	1,046698	1,189430

Tarifa do Gás natural estabelecida pela COMGÁS, vigente desde o dia 31/05/2014, para o segmento de Refrigeração de acordo com ARSESP número 496 de 27/05/2014.

Tabela 13 Fatura para Gás Natural

Volume: 30.240 m³

				Termo Fixo	0,000000 R\$/m³	RS 0,00
REFRIGERAÇÃO					Valor fatura s/ ICMS	RS 37.994,33
					Valor fatura c/ ICMS	RS 43.175,38
					Tarifa média s/ ICMS	1,256426 R\$/m³
					Tarifa média c/ ICMS	1,427757 R\$/m³
Termo Variável (Refrigeração)					Tarifas	Valores
1	0,00	a	5.000	5.000,00 m³	1,323163 R\$/m³	RS 6.615,82
2	5.000,01	a	50.000	25.240,00 m³	1,243206 R\$/m³	RS 31.378,52
3	50.000,01	a	100.000	0,00 m³	1,202514 R\$/m³	RS 0,00
4	100.000,01	a	500.000	0,00 m³	1,141991 R\$/m³	RS 0,00
5	500.000,01	a	2.000.000	0,00 m³	1,148441 R\$/m³	RS 0,00
6	2.000.000,01	a	4.000.000	0,00 m³	1,129686 R\$/m³	RS 0,00
7	4.000.000,01	a	7.000.000	0,00 m³	1,107318 R\$/m³	RS 0,00
8	7.000.000,01	a	10.000.000	0,00 m³	1,084947 R\$/m³	RS 0,00
9		>	10.000.000	0,00 m³	1,062058 R\$/m³	RS 0,00
				Termo Variável	1,256426 R\$/m³	RS 37.994,33

Para o volume de 30.240 m³ foi calculado o valor da tarifa média sem imposto R\$1,256426 e com o valor de imposto considerando PIS/PASEP/COFINS e ICMS de 12%, uma classificação da classe 2 com valor médio de R\$1,427757 por m³.

Feitos os cálculos Energéticos, Manutenção, Tratamento Químico e Água e o Consumo de Gás Natural chegou à tabela abaixo com os valores do Custo Operacional de cada Sistema e a Economia Operacional Total.

Tabela 14 Memória de Cálculo do Supermercado

	Sistema Convencional	Absorção solar
Consumo Energia Elétrica	2.299.500	1.788.500
Consumo GN(backup)	0	131.306,28
Manutenção	38.875	19.200
Água e tratamento Quim.	78.875	104.116
Custo Operacional	2.417.250	2.043.122
ECONOMIA OPERACIONAL		374.128 15,47%

Sendo o equipamento no sistema convencional no valor de 1000 R\$/TR e instalado 1800 R\$/TR e no sistema por absorção 1500 R\$/TR e instalado 3100 R\$/TR, dando origem então a tabela abaixo:

Tabela 15 Resultado Econômico do Supermercado

	INVESTIMENTOS	
	CONVENCIONAL	ABSORÇÃO
Equipamento	R\$ 200.000	R\$ 300.000
Instalação	R\$ 360.000	R\$ 620.000
CAG Elétrica	R\$ 0	R\$ 2.020
Condensador de Água	R\$ 0	R\$ 62.000
Custo Total	R\$ 560.000	R\$ 984.020
Custo adicional	R\$ 424.020	

Após feitos os cálculos de Investimentos, Custos Operacionais foi calculado a Análise Financeira através do Investimento Inicial, Valor Presente Líquido e Fluxo de caixa, resultando na seguinte tabela:

Tabela 16 Análise Financeira

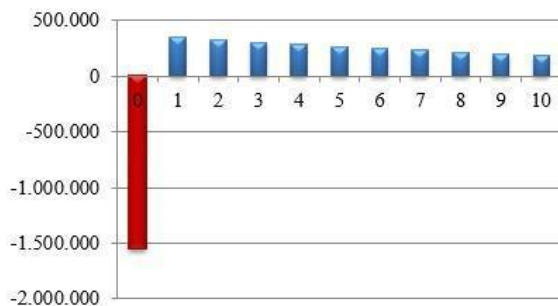
Parâmetros Financeiros			Resultado Financeiro	
Inv. Inicial Adicional	-R\$ 424.020	Ilo	Payback simples	1,1 anos
Fluxo de Caixa	R\$ 374.128	FLC	Payback Descontado	-0,9 anos
Taxa de desconto	7%	r	VPL	R\$ 2.203.699
Período (anos)	10	n	TIR	88,1%

Ano	FLC	FLCD	FLCA
0	-424.020	-424.020	-424.020
1	374.128	349.652	-74.368
2	374.128	326.778	252.410
3	374.128	305.400	557.810
4	374.128	285.420	843.231
5	374.128	266.748	1.109.979
6	374.128	249.297	1.359.276
7	374.128	232.988	1.592.264
8	374.128	217.746	1.810.010
9	374.128	203.501	2.013.511
10	374.128	190.188	2.203.699

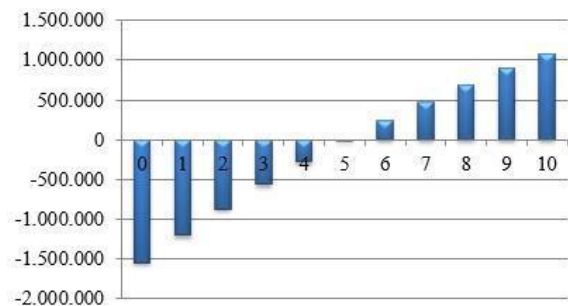
Com todos os cálculos feitos é possível montar os gráficos e analisar que a solução proposta no início do Trabalho é viável tendo um Payback Simples de 4,1 anos e Payback Descontado de 4,6 anos tornando então o investimento atrativo como exemplifica os Gráficos abaixo:

Figura 25 Fluxo de Caixa Descontado e Fluxo de Caixa Acumulado

Fluxo de Caixa Descontado



Fluxo de Caixa Acumulado



9 CONCLUSÃO

Ao início do estudo e desenvolvimento observou-se que era importante obter um sistema alternativo de geração de energia térmica tanto quanto para a economia quanto para diminuir a agressão ao meio ambiente. Ao desenvolver a viabilidade técnica e econômica foi observado a possibilidade de economia mesmo com a instalação e manutenção de equipamentos para gerar energia solar por chiller de absorção.

Objetivo Proposto

O Objetivo proposto nesta monografia foi alcançado de maneira satisfatória, por meio dos resultados obtidos no setor de supermercados adequados à aplicação do sistema proposto, a identificação das tecnologias disponíveis e aplicáveis para comercialização, definição da tecnologia a ser usada, definição da demanda energética do segmento do setor de supermercados, cálculo dos custos com investimentos iniciais e operacionais, viabilidade econômica e a tarifa de gás ideal para a atratividade do sistema a ser instalado.

Climatização com placas solares e chiller de absorção

Após o fim do estudo, pode ser observado que as placas solares tem capacidade para aquecer água na temperatura suficiente para aquecer água e produzir frio para a climatização tendo então uma economia de até 15,47% em energia elétrica.

Estudo de Caso

O estudo de caso em supermercados com área de 5000m² possuem viabilidade técnica e viabilidade econômica:

-O valor da tarifa de gás natural encontrada foi de R\$ 1.427551/m³.

-Os valores de investimentos também foram atrativos calculados através de alguns valores:

- Equipamento no sistema convencional 1000 R\$/TR.
- Instalado 1800 R\$/TR.
- Sistema por absorção 1500 R\$/TR.
- Instalado 3100 R\$/TR.

Na viabilidade econômica foi calculado um TIR de 20,5% com Taxa de desconto de 7%, Payback Simples de 4,1 anos e Payback descontado de 4,6 anos.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A Energia solar no Brasil e seus benefícios, 09/08/2013. Disponível em :< <http://www.autossustentavel.com>> Acesso em 8 Out.2014

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas Energia Solar(pdf), 2003. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em 10 Out. 2014

ALVES, O.R. Sistemas de Absorção de Uso Doméstico, São Paulo: SENAI, Ago.2011.

ARLINDO-TRIBESSS O. J; NETO A. H; SANZOVO-FIORELLI F. A. Sistema de Refrigeração por Absorção, São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo,2004.

AROUCA, L.B.P; ALMEIDA, A.G. S; TORRES, E.A. Estudo de Viabilidade Econômica de um Sistema de Ar Condicionado por Absorção em Veículos de Transporte Coletivo, Tocantins :IFBA,2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rev. 12269 de Ago. 2006, Rio de Janeiro: ABNT, 2006. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br>>. Acesso em 08 Ago. 2014.

BRANCO, N.N. Avaliação de Índices de Consumo de Energia para Supermercados, São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo,2010.

CARDOSO-BAPTISTA, A.S. Análise da Viabilidade Econômica da Utilização de Aquecedores Solares de Água em Resorts no Nordeste do Brasil, Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ,2006.

CARVALHO, E.N. Modelagem e simulação de chillers por absorção H₂O-LiBr em um edifício, Uberlândia: Femec/UFU, 2006.

CENTRO DE ESTUDOS EM ECONOMIA DA ENERGIA DOS TRANSPORTES E DO MEIO AMBIENTE. Tecnologias de Aproveitamento de Calor-Parte II. Disponível em: < <http://www.marioloureiro.net>>. Acesso em 18 Out.2014.

COMPANHIA DE GÁS DE SÃO PAULO. Manual técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Solar e Gás Natural, São Paulo: COMGÁS, 2011. Disponível em < <http://www.comgas.com.br>>. Acesso em 06 Nov. 2014.

CORRÊA,J.E. Laboratório de Climatização, Belém: Universidade Federal do Pará,2010.

CREDER, H. Instalações de Ar Condicionado, 6ed, 2004.

FELAMINGO, J.C. Produzindo Frio Através de Calor de Compressão e de Gases de Descarga de Caldeira, São Paulo, 2007.

JOHNSON CONTROLS. Manual Chiller Duplo Estágio YORK (pdf).2012. Disponível em: < <http://www.johnsoncontrols.com.br/>>. Acesso em 14 Nov.2014.

JOHNSON CONTROLS. Manual Chiller Parafuso Semihermético YORK(pdf).2012. Disponível em: < <http://www.johnsoncontrols.com.br/>>. Acesso em 24 Out. 2014

Manual de Boas Práticas em Supermercados para Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado(pdf).2011.Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>.Acesso em 08 Ago.2014.

MIRAPALHETA-MENNA, M.R. Modelagem e Análise de Custo de Sistemas de Refrigeração por Absorção, Toledo: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2008.

PALMIERI, M.C. Ciclo por Absorção para Complementar a Climatização e o Aquecimento de Água no Setor Hoteleiro, São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo,2013.

REICHARDT, T.F. Technical and Economic Assessment of Medium Sized Solar-Assisted Air-Conditioning in Brazil, Rio de Janeiro: PUC do Rio de Janeiro, 2010.

SBRAVATI, A; SGUERRA-SILVA, A.F. Refrigeração por Absorção. Unicamp: <<http://www.fem.unicamp.br/>>. Acesso em 13 Out.2014

SCHIAVON-ARA, P.J. Desempenho de Sistemas de Condicionamento de Ar com Utilização de Energia Solar em Edifícios e Escritórios, São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo,2010.

SODRAMAR. Manual de Instalação e Utilização Aquecedor Solar SODRAMAR(pdf).2012. Disponível em:<<http://www.sodramar.com.br>>. Acesso em 18 Nov. 2014.

STEQUE-PRADELLA, C.M.A. Estudo e Simulação de Sistemas de Condicionamento de Ar Para Hotéis, São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo,2011.

STOECKER, W.F. Refrigeração e Ar Condicionado, p 3-16 ,1985.

SUZUKI, A.K. Revisão Teórica e Análise Econômica de Sistemas de Refrigeração Solar Com Chiller a Absorção, São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo,2009.