

**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**

**PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA PARA ENGENHEIROS**

Fernando Dantas Jacob Silva

**ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DE UM SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO  
SOLAR EM HIPERMERCADOS**

Estudo de viabilidade de implantação de um sistema de climatização através de  
fonte solar térmica e ciclo de absorção em hipermercados

Monografia apresentada como forma de  
avaliação final do Curso de Especialização  
em energias renováveis, geração distribuída e  
eficiência energética, orientador Professor Dr.  
José Roberto Simões Moreira.

Julho  
2014

**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**

**PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA PARA ENGENHEIROS**

Fernando Dantas Jacob Silva

**ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DE UM SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO  
SOLAR EM HIPERMERCADOS**

Estudo de viabilidade de implantação de um sistema de climatização através de  
fonte solar térmica e ciclo de absorção em hipermercados

Julho  
2014



## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Rubens e Roseli, que me ensinaram a valorizar o aprendizado e ter dedicação para alcançar novas conquistas no decorrer na vida.

Ao meu Professor Orientador Dr. José Roberto Simões Moreira, pela paciência, compreensão e apoio em todos os momentos necessários para conclusão deste trabalho.

*“Na Natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma.”*

Antoine-Laurent de Lavoisier

## RESUMO

SILVA, Fernando Dantas Jacob. **Análise de viabilidade financeira de um sistema de climatização solar em hipermercados. 2014.** Monografia (Especialização) - Programa de Educação Continuada para Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

A crescente demanda por energia tem causado diversos impactos negativos no suprimento de energia. Por conta disso identificou-se uma oportunidade de aplicação de geração de energia renovável em hipermercados para climatização, em substituição a um sistema convencional com chiller elétrico, considerando a irradiação solar no município de São Paulo. Por meio do uso da água aquecida através do sol por coletores de tubo evacuado, usaria-se esta água para acionamento de um chiller de absorção que proporcionaria geração de água fria para alimentação de uma rede de água gelada. Este conceito de climatização solar visa economizar grande quantidade de energia elétrica e diminuição dos níveis de carbono lançados na atmosfera.

**Palavras chave:** climatização solar, economia de energia em hipermercados, ciclo de absorção.

## **ABSTRACT**

SILVA, Fernando Dantas Jacob. **Análise de viabilidade financeira de um sistema de climatização solar em hipermercados. 2014.** Monograph (Specialization) - Continuing Education Program from Polytechnic School of Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

The growing demand for energy has caused many negative impacts on energy supply. Due to this fact was identified an opportunity to invest in renewable energy generation in hypermarkets for air conditioning, replacing a conventional electric chiller system, considering São Paulo solar irradiation. By the use of water heated by the sun through the evacuated tube collectors, this water would drive an absorption chiller to generate cold water to feed a network of ice water. This concept of solar air conditioning aims to save large amount of electricity and decrease levels of carbon emitted into the atmosphere.

**Keywords:** solar cooling, energy savings in hypermarkets, absorption cycle.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 - Espectro da radiação solar incidente na atmosfera e na superfície terrestre (NASA, 2012).....	17
Figura 3-2 - Parte do espectro eletromagnético, evidenciando a banda solar (Manual Rede Brasil de Capacitação em Aquecimento Solar, 2011).....	18
Figura 3-3 - Radiação solar global e suas componentes (Manual Rede Brasil de Capacitação em Aquecimento Solar, 2011) .....	19
Figura 3-4 - Componentes da radiação solar ao nível do solo (CRESESB, 2008) .....	19
Figura 3-5 - Irradiação solar instantânea incidente em Belo Horizonte (Manual Rede Brasil de Capacitação em Aquecimento Solar, 2008).....	20
Figura 3-6 - Movimentos da Terra .....	22
Figura 3-7 - A Órbita da Terra .....	23
Figura 3-8 - Declinação Solar.....	23
Figura 3-9 - Inclinação de Coletores Solares .....	24
Figura 3-10 - Esquema para definição do ângulo azimutal de superfície .....	25
Figura 3-11 - Ângulo horário.....	27
Figura 3-12 - Definição do ângulo zenital .....	27
Figura 3-13 - Ângulo de Altitude Solar .....	28
Figura 3-14 - Ângulo de Incidência da Radiação Solar Direta.....	28
Figura 3-15 - Conceito de Sistema Fechado .....	29
Figura 3-16 - Conceito de Sistema Aberto .....	30
Figura 3-17 - Ciclo básico de refrigeração por absorção e seus componentes principais .....	31
Figura 3-18 - Diagrama básico de um chiller de brometo de lítio (ASHRAE, 1983) .....	34
Figura 3-19 - Ciclo de absorção de simples estágio.....	35
Figura 3-20 - Ciclo de absorção de duplo estágio .....	35
Figura 3-21 - Ciclo de absorção de triplo estágio .....	36
Figura 3-22 - Correlação entre tipos de coletores planos e temperatura de operação .....	37
Figura 3-23 - Coletor de tubo evacuado (Website do fabricante Ritter XL, acessado em 2014).....	38



Figura 3-24 - Componentes dos Coletores Solares de Tubos Evacuados de Tubos de Calor.....	39
Figura 3-25 - Incidência solar em tubos evacuados do (Website do fabricante Apricus, acessado em 2014).....	39
Figura 4-1 - Instalação série-paralelo.....	41
Figura 4-2 - Configuração básica do sistema de climatização solar proposto..	42
Figura 5-1 - Resultado financeiro - Sistema com coletores americanos .....	48
Figura 5-2 - Resultado financeiro - Sistema com coletores chineses.....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 - Declinação magnética para as capitais brasileiras e Distrito Federal .....	26
Tabela 3-2 - Visão geral das tecnologias comumente usadas .....	29
Tabela 3-3 - Diferença da área entre dois coletores .....	40
Tabela 4-1 – Fabricantes de coletor solar de tubo evacuado.....	43
Tabela 4-2 - Fabricantes de chille por absorção .....	43
Tabela 5-1 - Área mínima de coletores selecionados .....	47
Tabela 5-2 - Comparativo de investimento inicial.....	47
Tabela 5-3 - Comparativo de gastos anuais entre sistema novo com coletores americanos e sistema atual.....	48
Tabela 5-4 - Comparativo de gastos anuais entre sistema novo com coletores chineses e sistema atual .....	48

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	4
RESUMO.....	6
ABSTRACT .....	7
LISTA DE FIGURAS .....	8
LISTA DE TABELAS .....	10
1 Introdução .....	12
2 Objetivos .....	14
2.1 Objetivos gerais .....	14
2.2 Objetivos específicos .....	15
3 Fundamentação Teórica .....	17
3.1 A radiação Solar.....	17
3.1.1 Geometria Solar.....	21
3.1.2 Ângulos da Instalação solar.....	24
3.1.3 Norte Magnético e Norte Geográfico .....	25
3.1.4 Ângulos Solares.....	26
3.2 Métodos de Resfriamento por meio de Aquecimento Solar .....	29
3.3 Refrigeração por Absorção .....	30
3.3.1 Chiller por Absorção de Brometo de Lítio .....	33
3.4 Coletores solares .....	36
3.4.1 Coletor solar de tubo evacuado.....	38
4 Configuração Básica Proposta do Sistema.....	41
4.1 Equipamentos e fornecedores .....	42
4.1.1 Coletores Solares .....	42
4.1.2 Chiller por absorção.....	43
5 Análise e Custos .....	44
6 Conclusão .....	51
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
8 ANEXOS .....	55

## 1 Introdução

Com o crescimento econômico ocorrido nos últimos anos e apesar da previsão de crescimento desacelerado nos próximos anos, há de se ressaltar o quanto esse crescimento impacta no aumento do consumo de energia, pois proporciona aumento da renda per capita. Segundo o estudo “Previsão de Demanda” produzido pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética, a previsão é de que a população brasileira totalize 216.596 milhões de habitantes em 2023.

Com o aumento do poder aquisitivo do brasileiro e uma manutenção constante dos níveis de desemprego, há de se esperar que, tanto o setor residencial, quanto o de serviço e industrial apresentem crescimento na demanda por energia elétrica, experiência já consolidada nos países desenvolvidos.

Segundo dados do “Boletim de Carga Especial” produzido pelo ONS – Operador Nacional do Sistema, o Brasil vem apresentando recordes de demanda em todas as suas regiões, sobretudo devido às altas temperaturas, acima dos 30°C, as quais também bateram recordes históricos de temperatura. Segundo dados da edição de abril de 2014 da Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica (EPE), o consumo comercial registrou avanço de 10,8%, nas regiões sul e sudeste, quando comparado ao mesmo período de 2013. Cabe ressaltar que esse aumento do consumo de energia, sobretudo no setor comercial e residencial, tem sido relatado nos boletins produzidos mensalmente pela EPE no ano de 2014, citando também como fator determinante o clima com altas temperaturas, sendo que as temperaturas registradas vêm se mantendo acima da média máxima por diversos dias consecutivos.

Portanto, as altas temperaturas e os picos de demanda registrados, aliados ao crescimento econômico e populacional brasileiro, exemplificam bem a necessidade por conforto térmico, sobretudo por meio de equipamentos de ar condicionado.

Entretanto, esses tipos de equipamento, que possuem grande consumo de energia elétrica, foram os principais responsáveis pelos seguidos picos de demanda registrados.

Visto que esta é uma situação indesejada, pois causa grandes transtornos para os sistemas de transmissão e distribuição, devido à sobrecarga, há uma boa oportunidade de estudo para uso de equipamentos mais eficientes e, principalmente, fazer uso de fontes de energia renováveis e alternativas para geração de frio, de forma a auxiliar na diminuição do consumo nacional de energia elétrica.

Há de se falar também na possibilidade de diminuição da emissão de gases de efeito estufa. Segundo o Anuário estatístico de energia elétrica de 2013 (EPE), foi emitido um total de 46,63 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> proveniente da geração de energia elétrica no país, o que representa um aumento de 45% em relação ao ano anterior. Com a diminuição do consumo, há menor necessidade de geração e, conseqüentemente, menor emissão de gases de efeito estufa, contribuindo positivamente com a questão do aquecimento global.

É importante ressaltar também que algumas das energias renováveis existentes têm vocação para atender pontos de consumo de forma distribuída, ou seja, atender unicamente a um ponto ou pontos de consumo próximos. Compreende-se que diversos pontos utilizando alguma forma de energia renovável, de forma a economizar energia elétrica, auxiliariam muito o planejamento energético nacional, de forma que não se foque os esforços apenas no aumento de geração de energia, mas também em formas de se economizar no consumo de energia elétrica.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivos gerais**

O estudo que será desenvolvido a seguir visa analisar a viabilidade de um sistema de climatização híbrido solar térmico/gás.

Este conceito ainda não é aplicado no Brasil, porém já há diversos sistemas em funcionamento na Europa e Estados Unidos que podem comprovar sua eficácia.

Como o Brasil é um país privilegiado em termos de insolação, encontra-se aí uma grande oportunidade para desenvolver tal estudo, de forma a diminuir o grande consumo de energia proveniente dos equipamentos de ar condicionado.

O que, de fato, contribuiria para uma redução do consumo nacional de energia e, conseqüentemente, auxiliaria na redução de gases poluentes, pois com um menor consumo de energia haveria menor necessidade de uso de usinas térmicas, além do próprio equipamento de ar condicionado usar refrigerantes nocivos à camada de ozônio, atualmente, em menor escala.

Basicamente, o princípio da climatização solar para geração de frio abordado neste estudo, necessita de uma fonte quente de calor e um equipamento que opere um ciclo de absorção para obtenção de frio.

Nesse sentido, a intenção é utilizar coletores solares térmicos do tipo tubo evacuado, devido a maior eficiência em altas temperaturas, para aquecimento de um fluido, de forma que esse fluido alimente um chiller de absorção e obtenha-se o fluido frio para uso nos equipamentos de condicionamento de ar.

## **2.2 Objetivos específicos**

O estudo abordará a aplicação do sistema citado no item 2.1 em hipermercados.

A escolha de um hipermercado para estudo aplicação se dá devido a grande área horizontal destes empreendimentos comerciais, o que possibilita o uso de grande quantidade de coletores solares, permitindo assim grande captação de energia solar, além de possui uma grande demanda de ar condicionado.

O estudo dessa aplicação será realizado com base nos dados de irradiação global solar média no município de São Paulo/SP.

Dessa forma, será estimada a quantidade de energia possível de ser produzida durante o ano, considerando-se a sazonalidade de cada mês e, nos meses em que faltar energia suficiente para aquecimento do fluido que será usado para alimentar o chiller de absorção, deverá haver queima de gás natural ou GLP para complementar o aquecimento do referido fluido.

O chiller produzirá água gelada que será fornecida a fan coils para refrigeração do ambiente. Deve-se citar que para este tipo de aplicação também será necessário o uso de uma torre de resfriamento para o correto funcionamento do chiller.

Será levado em conta os diferentes fabricantes existentes no mercado e seus melhores produtos para essa aplicação, sendo o dimensionamento do sistema feito de forma conceitual com os dados fornecidos pelas especificações dos fabricantes dos equipamentos utilizados neste trabalho.

Com relação aos coletores solares, serão utilizados os dados de eficiência disponibilizados pelo órgão certificador americano SRCC - Solar Rating and Certification Corporation (SRCC, 2014).

Já no caso dos chillers de absorção foram selecionados os principais fabricantes do mercado e que disponibilizam os catálogos de seus produtos com as principais especificações técnicas.

No final desse estudo espera-se determinar a viabilidade de tal tipo de aplicação, levando-se em conta o tempo de retorno do investimento e a economia de energia alcançada, comprovando os benefícios de tal tipo de aplicação, sobretudo estendendo-se seu uso para demais tipos de empreendimentos.



### 3 Fundamentação Teórica

#### 3.1 A radiação Solar

Sol é a nossa principal fonte de energia, responsável pela manutenção das várias formas de vida existentes na Terra.

No centro do Sol, mais propriamente numa região denominada fotosfera solar (camada muito tênue com aproximadamente 300 km de espessura e temperatura superficial da ordem dos 5.800 K), a energia resultante das reações de fusão dos núcleos dos átomos de hidrogênio, originando núcleos de hélio, é irradiada para o espaço sobre a forma de energia electromagnética, a uma velocidade próxima dos 300.000 km/s. Esta energia, ao atingir a atmosfera terrestre pode ser absorvida ou refletida pelos seus diferentes componentes.

Dados recentes da WMO (World Meteorological Organization) indicam que a radiação solar (ou irradiação solar) incidente sobre uma superfície perpendicular ao eixo Terra-Sol, situada nas camadas superiores da atmosfera, é de aproximadamente  $1.367 \text{ W/m}^2$ , valor este conhecido como constante solar ( $G_{sc}$ ). Este valor médio é utilizado como referência, sendo designado por constante solar.

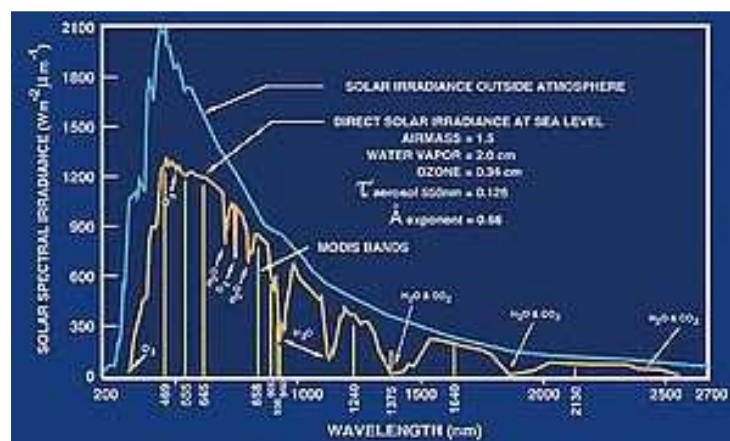


Figura 3-1 - Espectro da radiação solar incidente na atmosfera e na superfície terrestre (NASA, 2012)

A constante solar está sujeita a pequenas alterações, provocadas pela variação da atividade solar e com a excentricidade da órbita da Terra. Estas variações, que se detectam na gama dos raios ultravioletas (UV), são menores que 7%, e não são significativas para as aplicações de tecnologia solar térmica.

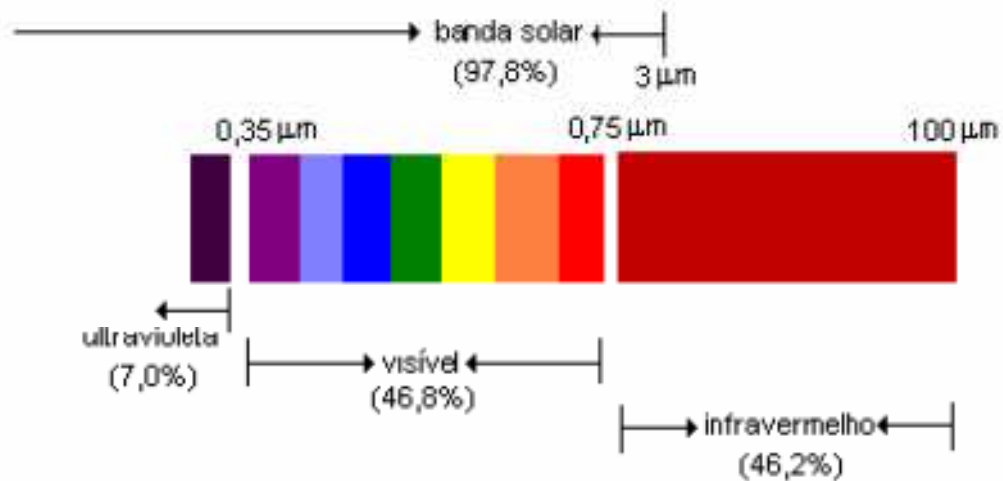


Figura 3-2 - Parte do espectro eletromagnético, evidenciando a banda solar (Manual Rede Brasil de Capacitação em Aquecimento Solar, 2011)

A distribuição espectral da radiação é constituída por radiação na gama dos raios ultravioletas, da luz visível e dos raios infravermelhos. Após atravessar a atmosfera, num dia de céu relativamente limpo, a radiação solar incidente atinge a superfície terrestre com uma potência inferior em cerca de 30 % da registrada no topo da atmosfera, variando entre os 960 a 1.000 W/m<sub>2</sub>. O decréscimo é devido à absorção e reflexão para o espaço.

A descrição da radiação solar tem por base sua natureza espectral e direcional, podendo ser entendida como uma distribuição contínua e não uniforme de vários componentes monocromáticos, o que explica a variação da intensidade de radiação em função do comprimento de onda. Sua natureza direcional pode ser simplificada admitindo-se que a radiação seja emitida de modo uniforme em todas as direções, ou seja, a distribuição e a superfície emissora são perfeitamente difusas.

A radiação solar sofre diversas alterações quando atravessa a atmosfera terrestre. As características da radiação solar que chegam ao solo dependem da espessura da camada de ar e da composição da atmosfera, incluindo o ar e os elementos suspensos, como o vapor de água e a poeira, denominado Massa de ar (Villalva & Gazoli, 2012).

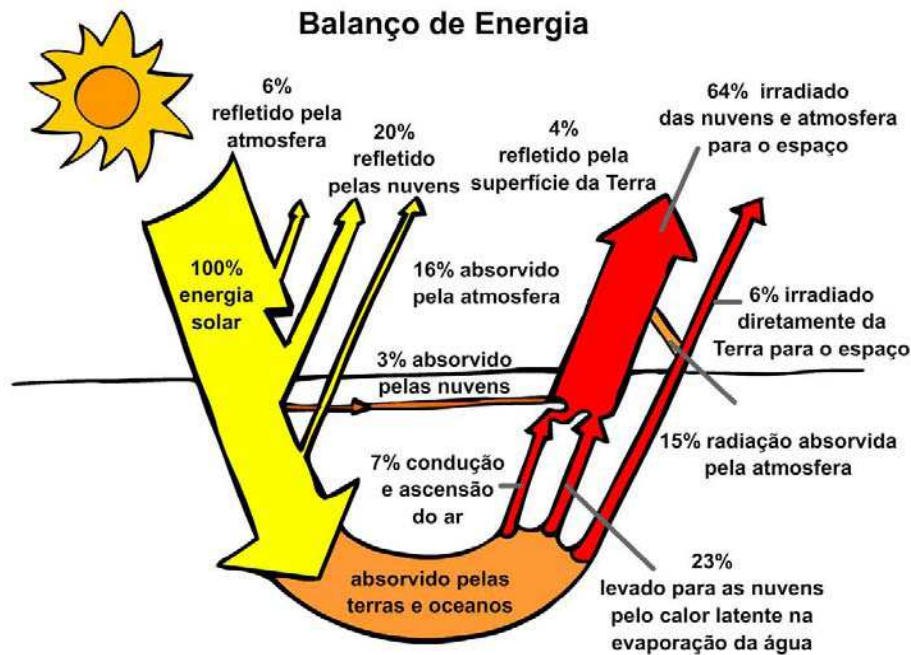


Figura 3-3 - Radiação solar global e suas componentes (Manual Rede Brasil de Capacitação em Aquecimento Solar, 2011)

Conforme a figura 3-4, a radiação absorvida que atinge o solo é constituída por três componentes:

- Radiação direta: atinge diretamente a superfície;
- Radiação difusa: desviada em diferentes direções pelos componentes da atmosfera;
- Radiação refletida: proveniente da reflexão no solo e objetos circundantes, denominado de “albedo”.

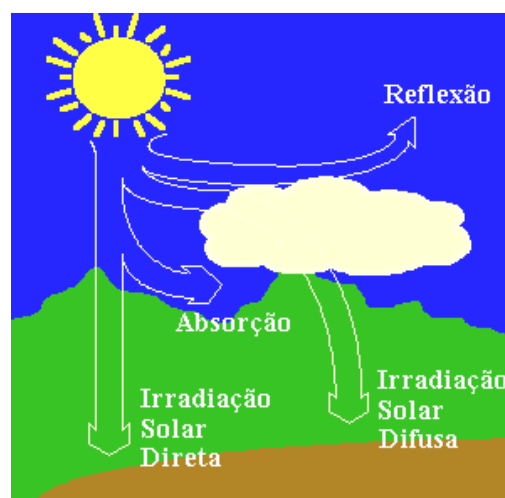


Figura 3-4 - Componentes da radiação solar ao nível do solo (CRESESB, 2008)

Dessa forma, define-se a irradiação solar instantânea  $G$  incidente sobre o plano de interesse e expressa em  $\text{W/m}^2$ , como a soma de suas componentes, conforme equação 3.1:

$$G = G_B + G_D \quad (3.1)$$

Os subscritos B e D são relativos às componentes direta e difusa da radiação solar, respectivamente.

A Figura 3-5 mostra, como exemplo, a curva real da radiação solar incidente em Belo Horizonte/MG no plano horizontal, em um dia típico de verão. Neste gráfico, constata-se a ocorrência de nuvens no período da manhã, responsáveis por forte oscilação nos valores da radiação incidente, sendo o período da tarde de céu praticamente limpo, similar ao município de São Paulo. São apresentados, ainda, os resultados da integração dos valores instantâneos para o período de 14:00 às 15:00 horas e para todo o dia.

Neste texto, adota-se a mesma convenção utilizada por Duffie e Beckmann (Duffie & Beckman, 2006), na qual  $G$ ,  $I$  e  $H$  representam valores instantâneos da radiação solar e valores integrados em médias horária e diária, respectivamente. Valores da radiação solar em média mensal são identificados pela barra, na forma  $\bar{H}$ .

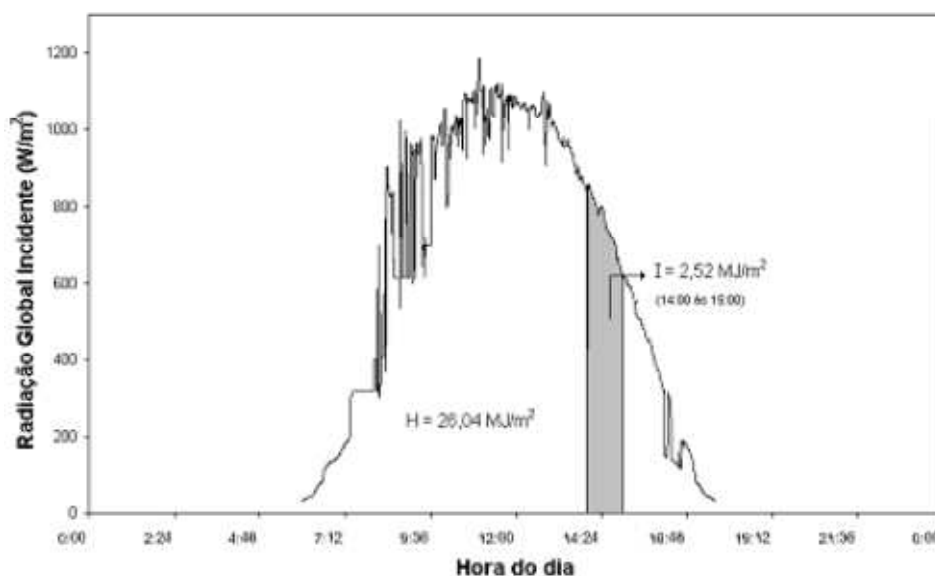


Figura 3-5 - Irradiação solar instantânea incidente em Belo Horizonte (ABRAVA, 2008)

Deve-se destacar que a integração da irradiação solar em períodos de tempo pré-determinados fornecerá como resultado a energia recebida por unidade de área neste mesmo intervalo.

A energia por unidade de área, resultante da integração da irradiação solar, pode ser expressa em MJ/m<sup>2</sup> ou kWh/m<sup>2</sup>. Essa última é a unidade mais comumente utilizada pelos consumidores e técnicos do setor elétrico.

### **3.1.1 Geometria Solar**

O melhor aproveitamento do recurso solar é um dos requisitos para garantir o bom funcionamento da instalação, menor investimento na implantação do sistema, além de uma maior economia ao final do mês. A instalação correta e otimizada de uma bateria de coletores solares exige uma definição prévia das inclinações e orientações mais adequadas, as quais variam em função da posição geográfica da localidade em estudo e do perfil de consumo de água quente.

O correto posicionamento dos coletores solares visa promover:

- Maior período diário de insolação sobre a bateria de coletores;
- Maior captação da radiação solar em determinadas épocas do ano ou em médias anuais, dependendo do tipo de aplicação requerida ou de particularidades do uso final da água quente.

Os movimentos da Terra, podem ser sucintamente descritos como:

- Movimento de rotação em torno de seu próprio eixo com período de aproximadamente 24 horas.
- Movimento de translação em torno do Sol, em uma órbita elíptica cujo período orbital é de 365,256 dias.

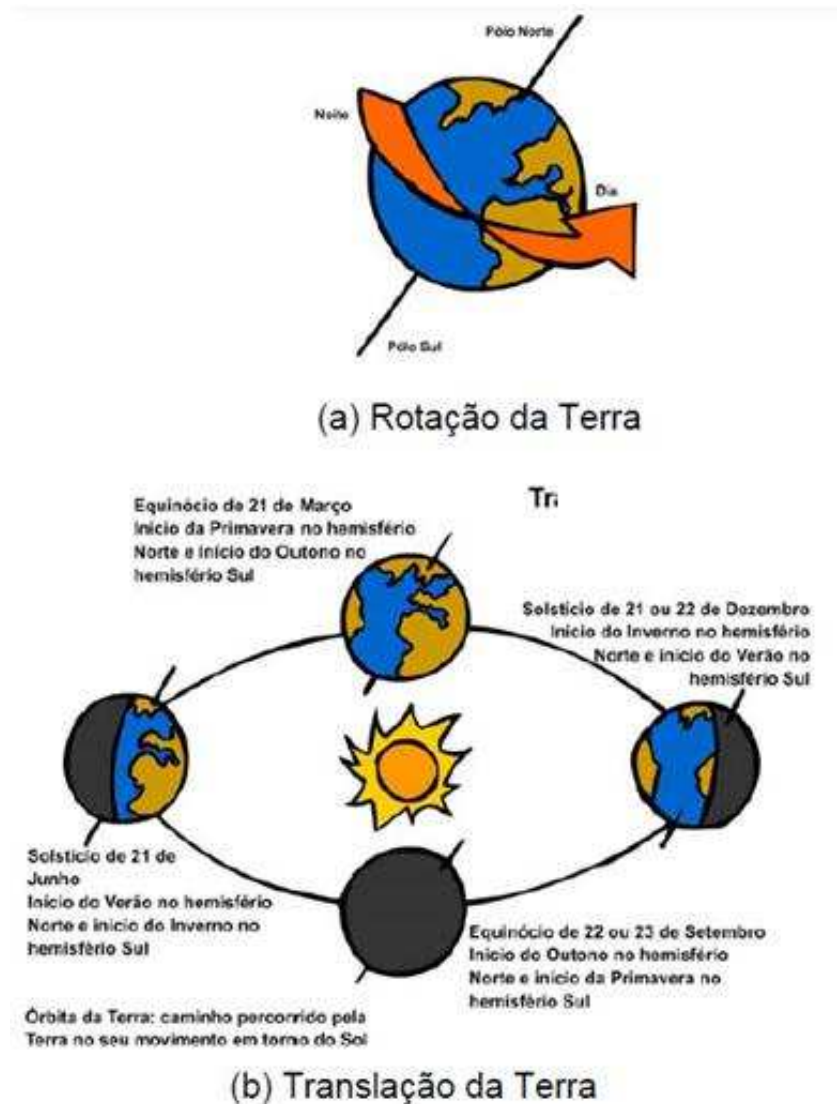


Figura 3-6 - Movimentos da Terra

O ângulo formado entre a vertical ao plano da órbita e o eixo Norte – Sul, mostrado na figura 3-7 é de 23 graus e 27 minutos, ou seja,  $23^{\circ}27'$ . Define-se assim, regiões e épocas do ano com maior nível de incidência da radiação solar. No caso específico do Hemisfério Sul, os solstícios e equinócios são aproximadamente:

- Solstício de Verão: 22 de dezembro
- Equinócio de Outono: 21 de março
- Solstício de Inverno: 21 de junho
- Equinócio de Primavera: 23 de setembro

Para o perfeito entendimento do movimento relativo entre a Terra e o Sol, recomenda-se a alteração do sistema de coordenadas para as coordenadas equatoriais, mostrado na figura 3-8 (b). Neste caso, o movimento é feito em torno de eixos paralelos ao eixo de rotação e ao Equador, sendo uma de suas coordenadas a declinação solar ( $\delta$ ).

A declinação solar é definida como a posição angular ao meio-dia solar em relação ao plano do Equador, conforme mostrado na Figura 8a. Pode ser entendida como uma medida análoga à latitude geográfica no sistema de coordenadas equatoriais.

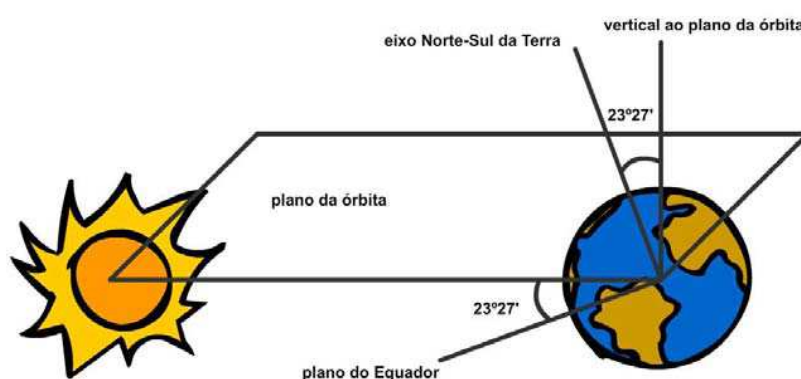


Figura 3-7 - A Órbita da Terra

Assim, conclui-se que  $\delta = 0^\circ$  em qualquer ponto sobre o equador celeste. Valores negativos correspondem a pontos do hemisfério Sul e positivos ao hemisfério Norte.

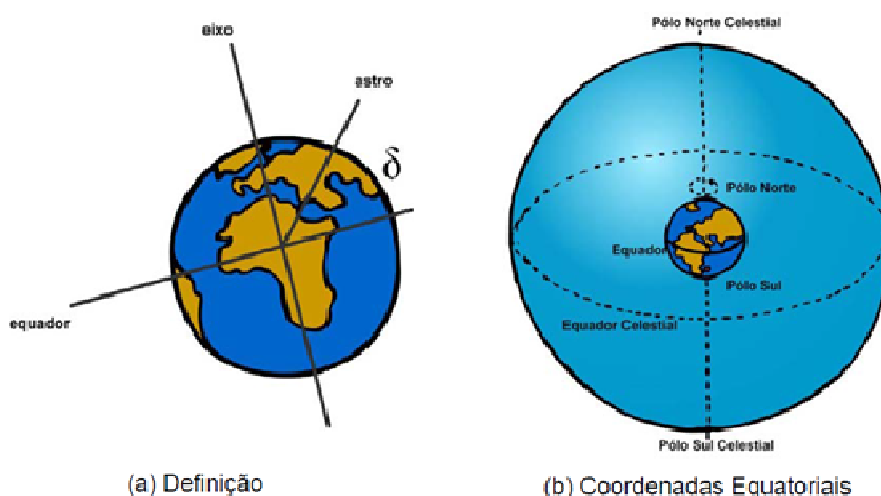


Figura 3-8 - Declinação Solar



### 3.1.2 Ângulos da Instalação solar

Os ângulos da instalação solar estão associados à inclinação e orientação dos coletores solares. Este último é conhecido como ângulo azimutal de superfície.

Ângulo de inclinação do coletor ( $\beta$ ): é o ângulo formado pelo plano inclinado do coletor solar e o plano horizontal, conforme apresentado na Figura 3-9.

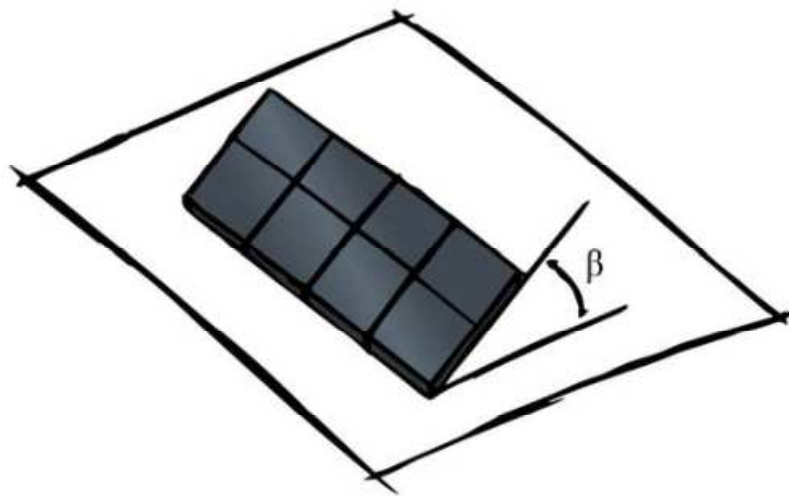
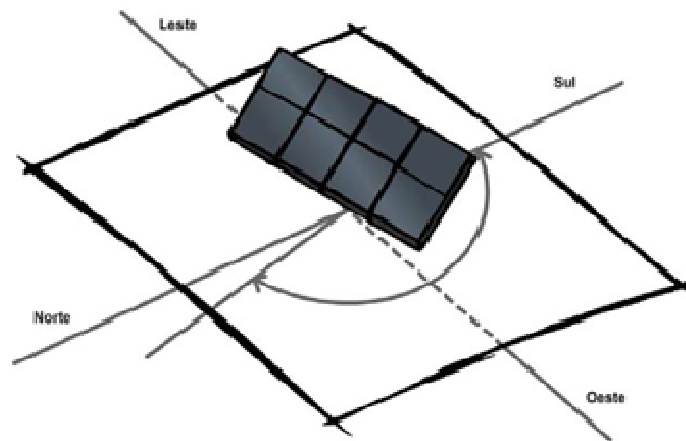


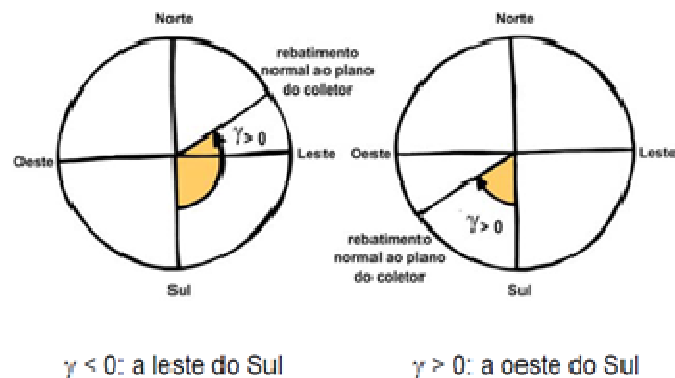
Figura 3-9 - Inclinação de Coletores Solares

Ângulo azimutal de superfície ( $\gamma$ ): corresponde ao ângulo formado entre a direção norte-sul e a projeção no plano horizontal da reta normal à superfície do coletor solar e medido a partir do Sul ( $\gamma = 0$ ), conforme mostrado na Figura 3-10 (a). Seu valor varia na faixa ( $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$ ) de acordo com a convenção mostrada a seguir na Figura 3-10 (b):





(a) Definção do Ângulo Azimutal de Superfície



$\gamma < 0$ : a leste do Sul

$\gamma > 0$ : a oeste do Sul

(b) Convenção de Sinais

Figura 3-10 - Esquema para definição do ângulo azimutal de superfície

### 3.1.3 Norte Magnético e Norte Geográfico

Neste ponto, deve-se enfatizar o conceito de declinação magnética, visto que ao longo desse texto, a orientação do coletor solar é sempre referenciada ao Norte Geográfico e não ao Norte Magnético, indicado por bússolas ou GPS. Para determinação do Norte Geográfico, deve-se aplicar uma correção que varia localmente cerca de 9' por ano. A Tabela 3-1 a seguir mostra os valores a serem aplicados para as capitais brasileiras.

Tabela 3-1 - Declinação magnética para as capitais brasileiras e Distrito Federal

Cidade	Declinação Magnética (em graus)
Porto Alegre	-14,74
Florianópolis	-17,46
Curitiba	-17,3
São Paulo	-19,6
Belo Horizonte	-21,5
Rio de Janeiro	-21,4
Vitória	-22,8
Salvador	-23,1
Aracaju	-23,1
Maceió	-22,9
Recife	-22,6
João Pessoa	-22,4
Natal	-22,1
Brasília	-20

Cidade	Declinação Magnética (em graus)
Fortaleza	-21,6
Teresina	-21,4
São Luís	-20,7
Belém	-19,5
Macapá	-18,5
Palmas	-19,9
Manaus	-13,9
Boa Vista	-14
Porto Velho	-10,6
Rio Branco	-7,34
Goiânia	-19,2
Cuiabá	-15,1
Campo Grande	-15,2

### 3.1.4 Ângulos Solares

Os ângulos solares são fundamentais para o cálculo da estimativa da radiação solar que chega ao plano do coletor, além de permitir a avaliação prévia de eventuais problemas de sombreamento que podem ocorrer na obra em estudo. Esses ângulos são: ângulo horário, zenital, de altitude solar, ângulo azimutal do Sol e o ângulo de incidência da radiação direta.

Ângulo horário ( $\omega$ ): corresponde ao deslocamento angular do Sol em relação ao meridiano local em decorrência do movimento de rotação da Terra, mostrado na Figura 3-11. Esse deslocamento é de 15°/hora, visto que a Terra completa 360° em 24 horas. Ao meio dia solar o ângulo horário é nulo, os sinais positivo e negativo referem-se aos períodos da tarde e da manhã, respectivamente.

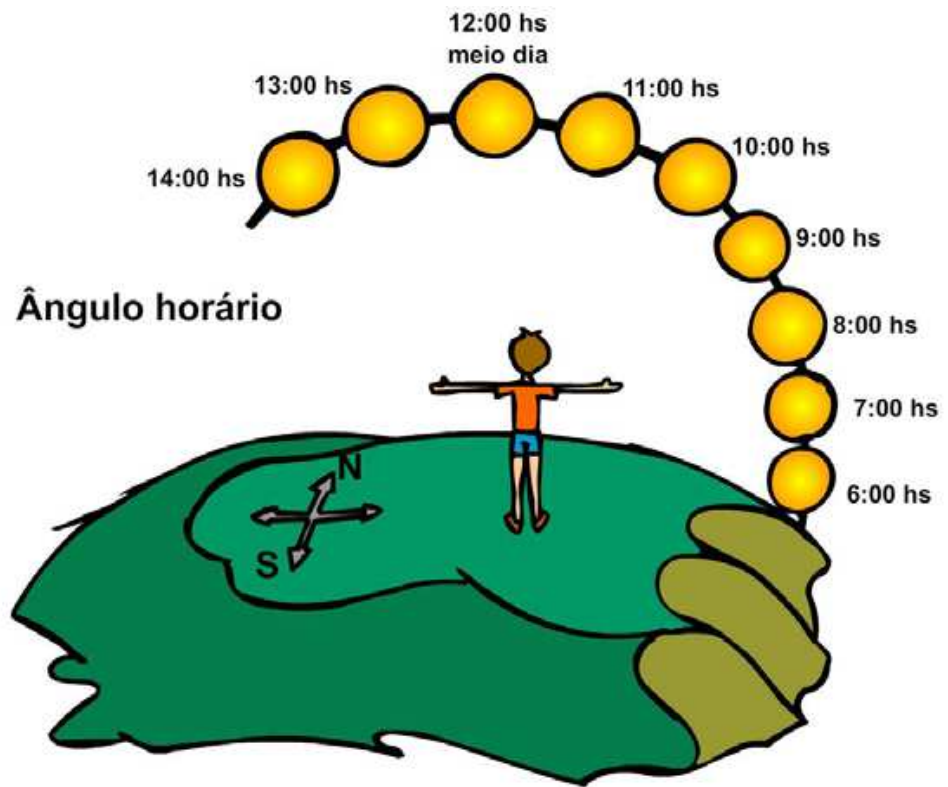


Figura 3-11 - Ângulo horário

Ângulo zenital ( $\theta_z$ ): é o ângulo formado entre a vertical a um observador local e o raio da componente direta da radiação solar, mostrado na Figura 3-12. Quando o Sol está no zênite, ou seja, exatamente acima do observador, popularmente diz-se que “o sol está a pino”. O ângulo zenital varia entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$ , sendo calculado pela equação:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \quad (3.2)$$

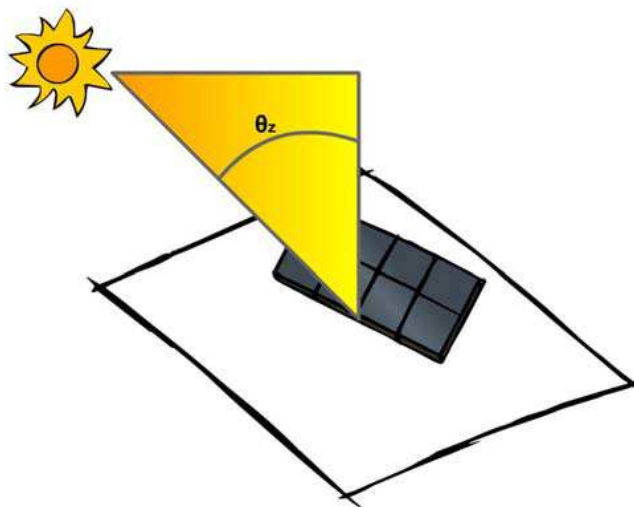


Figura 3-12 - Definição do ângulo zenital

Ângulo de altitude solar ( $\alpha_s$ ): é o ângulo formado entre a horizontal e a direção do Sol, ou seja, o ângulo de altitude solar corresponde ao complemento do ângulo zenital, como mostra a Figura 3-13.

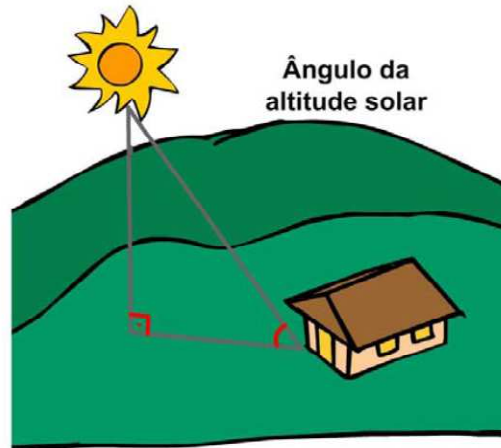


Figura 3-13 - Ângulo de Altitude Solar

Ângulo de incidência da radiação direta ( $\theta$ ): é o ângulo formado entre a normal à superfície e a reta determinada pela direção da radiação solar direta, como representa a figura 3-14. Sua variação é:  $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ .

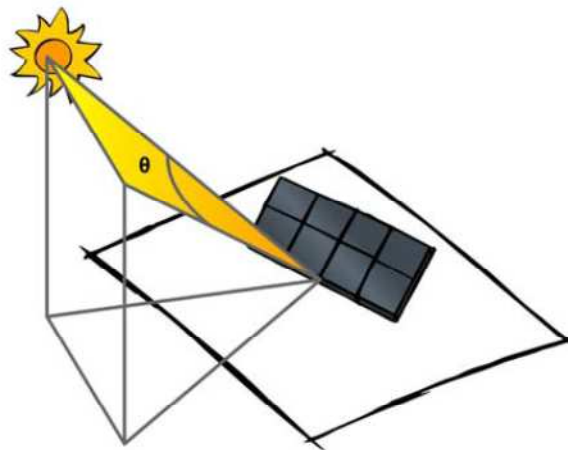


Figura 3-14 - Ângulo de Incidência da Radiação Solar Direta

O ângulo de incidência da radiação direta sobre uma superfície com determinada orientação e inclinação é calculado pela equação:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma + \\ & + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (3.2)$$

### 3.2 Métodos de Resfriamento por meio de Aquecimento Solar

Nesses tipos de sistema se utiliza o calor do sol como motor do processo de refrigeração. Na tabela 3-2 são mostradas as tecnologias mais comuns utilizadas para resfriamento por meio da captação solar. Conforme verificado na tabela, os sistemas podem ser classificados de duas formas:

Tabela 3-2 - Visão geral das tecnologias comumente usadas

Método	Ciclo Fechado		Ciclo Aberto	
Ciclo refrigerante	Fluxo refrigerante em ciclo fechado		Refrigerante está em contato direto com o ar	
Princípio	Água gelada		Desumidificação de ar e refrigeração evaporativa	
Fase do sorvente	Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
Material Típico	Água - Sílica Gel	Água - Brometo de Lítio Água - Amônia	Água - Sílica Gel	Água - Cloreto de Lítio Água - Cloreto de Cálcio
Tecnologia Disponível	Chiller de Adsorção	Chiller de Absorção	Refrigeração evaporativa com dessecante	Futuramente no mercado
Capacidades de Resfriamento	7 - 430 kW	10 kW - 5 MW	20 - 350 kW (por módulo)	-
COP típico	0,5 - 0,6	0,6 - 0,75 (simples estágio)	$0,5 \geq 1$	$> 1$
Temperatura de Acionamento	60 – 90°C	80 – 110°C	45 – 95°C	45 – 70°C
Coletores Solares	Tubo Evacuado, Placa Plana	Tubo evacuado	Placa Plana, Coletor de Ar	Placa Plana, Coletor de Ar

➤ **Sistema Fechado:** São máquinas de resfriamento que produzem água fria, que será levada por meio de uma rede de água fria para uso em fan coils, por exemplo. As máquinas disponíveis no mercado para este fim são os chillers de absorção (os mais comuns) e os chillers de adsorção (ainda pouco usado, porém possui crescente interesse neste tipo de aplicação). Cabe ressaltar que neste tipo de sistema é sempre necessário um sistema de rejeito de calor;

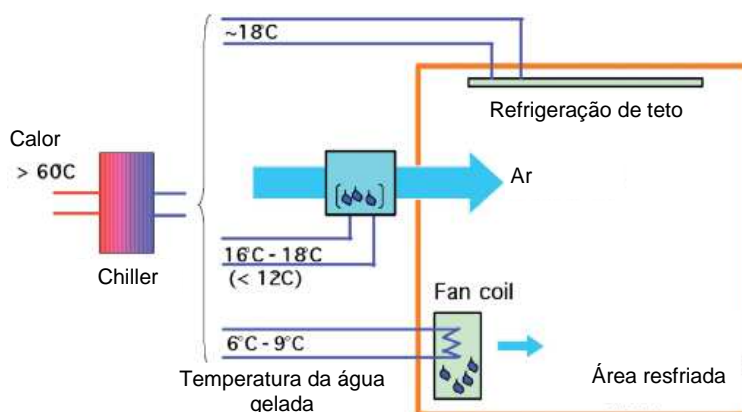


Figura 3-15 - Conceito de Sistema Fechado

➤ **Sistema Aberto:** Oferece um completo acondicionamento de ar, pois oferece ar resfriado e com a umidade ajustada em função das condições de conforto. O “refrigerante” é sempre água, visto que está em contato direto com a atmosfera. Os sistemas mais comuns são do tipo refrigeração evaporativa com dessecante, que utiliza um desumidificador rotativo com adsorvente sólido. Novos desenvolvimentos permitirão o uso de adsorventes líquidos.

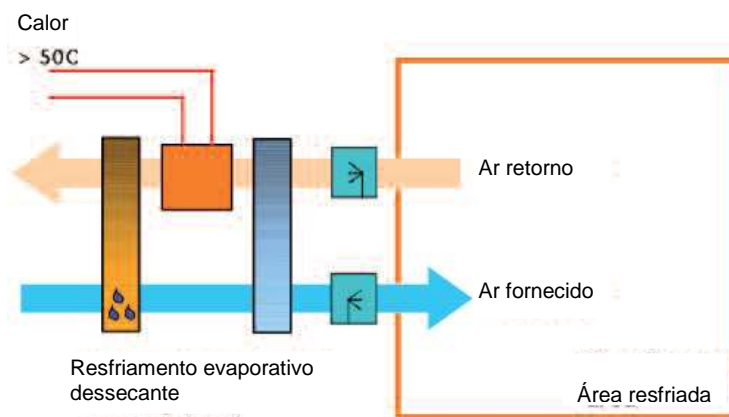


Figura 3-16 - Conceito de Sistema Aberto

### 3.3 Refrigeração por Absorção

Como este estudo visa analisar um sistema de refrigeração solar com uso de chiller por absorção, este ciclo será detalhado a seguir.

Os sistemas de refrigeração por absorção de vapores são ciclos de refrigeração operados a calor, onde um fluido secundário ou absorvente na fase líquida é responsável por absorver o fluido primário ou refrigerante, na forma de vapor. Ciclos de refrigeração operados a calor são assim definidos, porque a energia responsável por operar o ciclo é majoritariamente térmica. Descoberta pelo escocês Nairn em 1777, a refrigeração por absorção tem por "pai" o francês Ferdinand Carré (1824-1900), que em 1859 patenteou a primeira máquina de absorção de funcionamento contínuo, usando o par amônia-água.

Água quente, vapor (baixa pressão e alta pressão) e gases de combustão, são algumas das fontes de calor utilizadas para operar equipamentos de absorção, cuja energia térmica pode ser obtida a partir dos seguintes meios:

- Aproveitamento de rejeitos de calor de processos industriais e comerciais;
- Cogeração;
- Energia solar; e
- Queima direta (biomassa, biodiesel, gás natural, biogás).

O ciclo básico de refrigeração por absorção opera com dois níveis de pressão, estabelecidos pelas temperaturas de evaporação  $T_E$  e condensação  $T_C$ , respectivamente. A Figura 3-17 mostra um esquema de um ciclo básico de refrigeração por absorção e seus componentes principais.

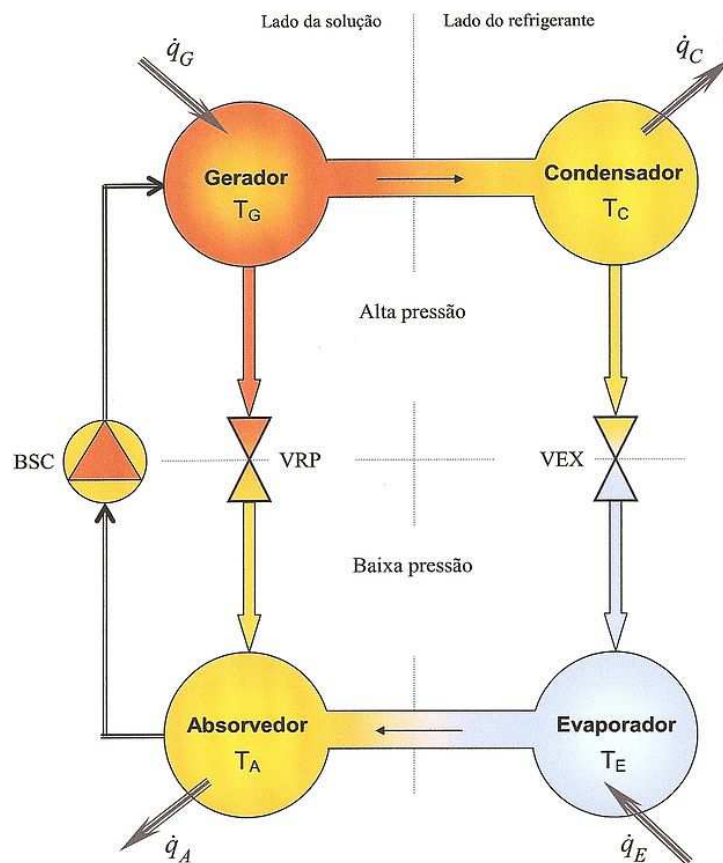


Figura 3-17 - Ciclo básico de refrigeração por absorção e seus componentes principais

Pela figura se pode observar que o ciclo contém dois circuitos, o circuito da solução e o circuito de refrigerante. As setas indicam o sentido de escoamento do refrigerante e da solução, e também o sentido do fluxo de calor entrando ou saindo do ciclo. No gerador, calor de uma fonte a alta de temperatura é adicionado ao ciclo a uma taxa  $q_G$ , fazendo com que parte do

refrigerante vaporize à temperatura de geração  $T_G$ , e se separe da solução. Esse vapor de refrigerante segue para o condensador, onde o calor de condensação é removido do ciclo, por meio de água ou ar, a uma taxa  $q_C$ , fazendo com que o refrigerante retorne para a fase líquida à temperatura de condensação  $T_C$ . O refrigerante líquido, à alta pressão, passa por uma válvula de expansão - VEX, onde ocorre uma brusca queda de pressão associada com a evaporação de uma pequena parcela do refrigerante. Esse fenômeno, conhecido como expansão, faz cair a temperatura do refrigerante, que segue então para o evaporador. No evaporador, o refrigerante líquido, a uma baixa pressão e a uma baixa temperatura, retira calor do meio que se deseja resfriar a uma taxa  $q_E$ , retornando novamente para a fase de vapor à temperatura de evaporação  $T_E$ . No gerador, após a separação de parte do refrigerante, a solução remanescente torna-se uma solução fraca ou pobre em refrigerante. Essa solução pobre, a uma alta temperatura e a uma alta pressão, passa por uma válvula redutora de pressão - VRP, que tem sua pressão reduzida ao nível da pressão de evaporação e segue para o absorvedor. No absorvedor, a solução absorve vapor de refrigerante oriundo do evaporador, tornando-se uma solução forte ou rica em refrigerante. O processo de absorção é exotérmico, e para que esse processo não sofra interrupção, o calor de absorção precisa ser removido do ciclo a uma taxa  $q_A$ , de forma a manter constante a temperatura de absorção  $T_A$ . Uma bomba de recirculação de solução - BSC é responsável por, simultaneamente, elevar a pressão e retornar a solução rica para o gerador, garantindo assim a continuidade do ciclo. Vale destacar que o condensador e gerador estão submetidos a uma mesma pressão, pressão de alta do sistema, e por isso, em alguns equipamentos comerciais, são abrigados em um mesmo vaso. Da mesma forma, o evaporador e o absorvedor estão submetidos à mesma pressão, pressão de baixa do sistema, e eventualmente abrigados em um mesmo vaso.

Os sistemas de refrigeração por absorção podem ser classificados segundo os fluidos de trabalho empregados. São duas as tecnologias comercialmente mais utilizadas:

- Amônia-água e;
- Água-brometo de lítio.



Os sistemas de refrigeração por absorção, utilizando a solução binária amônia-água, passaram a ser empregados comercialmente a partir de 1859, com o intuito de produzir gelo. Nesses sistemas, a água faz o papel do fluido secundário, ou seja, é responsável por absorver os vapores de amônia. Por utilizarem amônia como refrigerante, cuja temperatura de congelamento é de  $-77^{\circ}\text{C}$ , tais sistemas são hoje normalmente empregados no campo da refrigeração em grandes instalações industriais, que requeiram temperaturas inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$ . Contudo, o uso da solução amônia-água se estendeu a partir das décadas de 1960 e 1970 para equipamentos de ar condicionado de pequeno a médio porte (10 a 90 kW), com condensação a ar, no resfriamento e na calefação de instalações residenciais e comerciais.

A utilização da absorção com solução de água-brometo de lítio se deu a partir de 1946, com a disseminação do uso do condicionamento do ar para resfriamento e calefação de ambientes. Nesse sistema, a água desempenha o papel do refrigerante, enquanto uma solução de água-brometo de lítio é o agente absorvente. Por utilizar água como refrigerante, cuja temperatura de congelamento é  $0^{\circ}\text{C}$ , sua utilização é restrita a aplicações com alta temperatura de evaporação, ar condicionado por exemplo. Atualmente, instalações centrais de ar condicionado em grandes edifícios utilizam equipamentos de absorção com condensação a água, fabricados nas capacidades de 352 a 5.275 kW.

### **3.3.1 Chiller por Absorção de Brometo de Lítio**

Este tipo de chiller é o mais utilizado mundialmente para geração de água gelada para uso em condicionamento de ar. Cabe ressaltar que os chillers de amônia-água são mais utilizados para refrigeração, pois atingem temperaturas abaixo de  $0^{\circ}\text{C}$ .

Atualmente há diversos produtos disponíveis no mercado, entretanto a capacidade típica desses equipamentos é de centenas de kW. Por muitos anos a única opção de pequena capacidade era produzida apenas pela companhia japonesa Yazaki, com um equipamento de 35 kW.

Esses equipamentos são geralmente classificados como de queima direta ou indireta e simples, duplo ou triplo estágio. Nos equipamentos de queima direta o calor vem da queima de gás ou qualquer outro combustível. Já

na queima indireta, é usado vapor ou outro fluido que transporte calor vindo de uma fonte externa.

A figura 3-18 apresenta o esquema típico de um chiller de absorção de brometo de lítio/água (LiBr/H<sub>2</sub>O). O processo ocorre em dois vasos, o superior contém o gerador e o condensador; o inferior, o absorvedor e o evaporador.

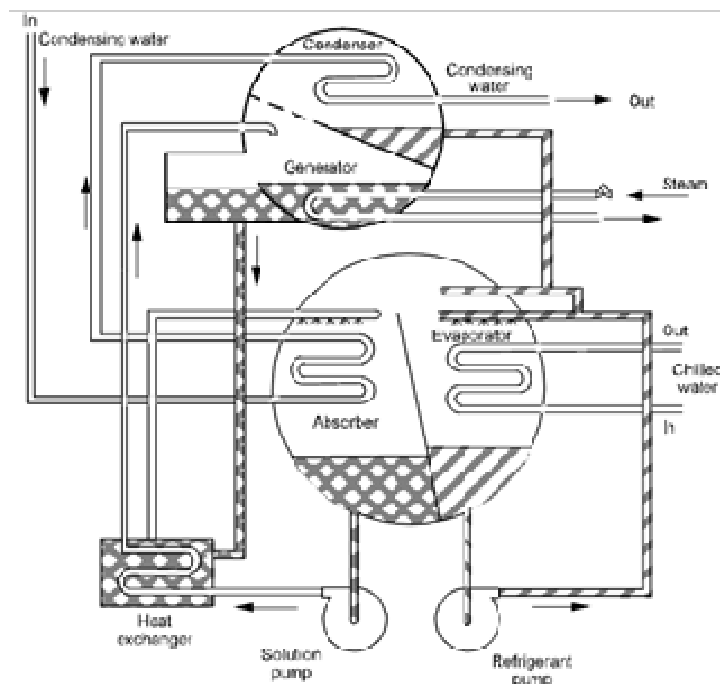


Figura 3-18 - Diagrama básico de um chiller de brometo de lítio (ASHRAE, 1983)

Conforme mostrado na figura 3-18, há três circuitos de fluido que devem ter conexões externas:

- Entrada de calor para o gerador;
- Água de arrefecimento;
- Água gelada.

A temperatura de acionamento típica é a partir de 80°C para máquinas de simples estágio e o coeficiente de performance (COP) está faixa de 0,6 a 0,8. Há os equipamentos de duplo estágio, que necessitam de uma temperatura de acionamento maior que 140°C, porém o COP pode alcançar valores de até 1,2, em caso de duplo e triplo estágio. Existem também equipamentos de triplo estágio.

O ciclo de simples efeito refere-se a passagem dos fluídos pelos quatro principais componentes do equipamento – evaporador, absorvedor, gerador e condensador, conforme mostrado no diagrama Pressão-Temperatura da figura 3-19. Como fonte de calor para acionamento utilizam vapor a baixa pressão ou água.

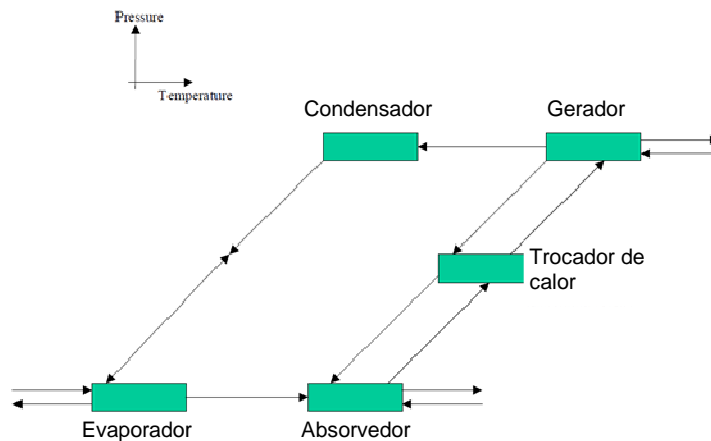


Figura 3-19 - Ciclo de absorção de simples estágio

O ciclo de duplo estágio difere do de simples estágio porque há dois condensadores e dois geradores para permitir mais refrigerante de evaporação da solução absorvente. Usam queima de gás ou vapor a alta pressão como fonte de calor. São mais eficientes que os equipamentos de simples estágio, porém possuem alto custo de fabricação.

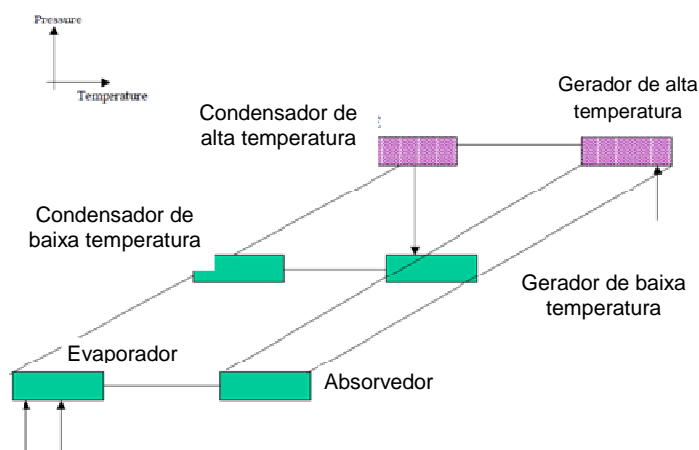


Figura 3-20 - Ciclo de absorção de duplo estágio

Os equipamentos de triplo estágio estão sob desenvolvimento e são a próxima evolução da tecnologia de absorção. A figura 3-21 mostra o ciclo de triplo efeito em um diagrama de Pressão-Temperatura. Os sistemas de triplo estágio oferecerão a possibilidade de eficiências térmicas iguais as dos chillers elétricos, entretanto o custo será elevado. As altas eficiências possibilitarão uma grande abertura de mercado para os chillers de absorção.

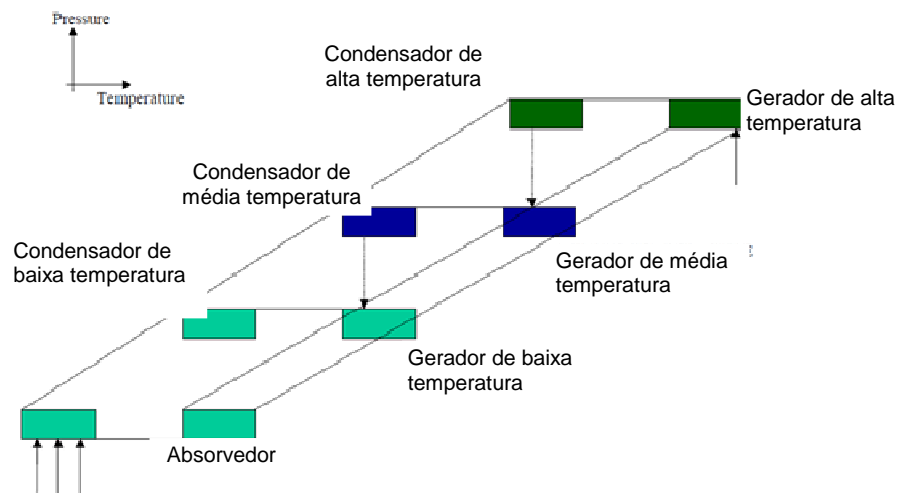


Figura 3-21 - Ciclo de absorção de triplo estágio

### 3.4 Coletores solares

Coletores solares são trocadores de calor que transformam radiação solar em calor. O coletor capta a radiação solar, a converte em calor, e transfere esse calor para um fluido (ar, água ou óleo em geral) (Kalogirou, 2009).

Os coletores podem ser basicamente de dois tipos: não concentradores e concentradores. Os coletores não concentradores possuem a mesma área de abertura (área para interceptação e absorção da radiação) e são aplicáveis para sistemas que necessitem de baixa temperatura. Em aplicações que demandem temperaturas mais elevadas, são mais adequados os concentradores solares, que possuem em geral uma superfície refletora (em alguns modelos são utilizadas lentes) que direcionam a radiação direta a um foco, onde há um receptor pelo qual escoar o fluido absorvedor de calor (Kalogirou, 2009).

A escolha de um tipo de coletor solar depende basicamente da temperatura de operação requerida em determinada aplicação prática.

Para aquecimento de fluidos até temperaturas da ordem de 150°C, recomenda-se o uso de coletores planos ou tubos evacuados, sem necessidade de rastreamento do Sol. O gráfico da figura 3-22 exemplifica a correlação entre os tipos de coletores solares e respectivas temperaturas de operação.

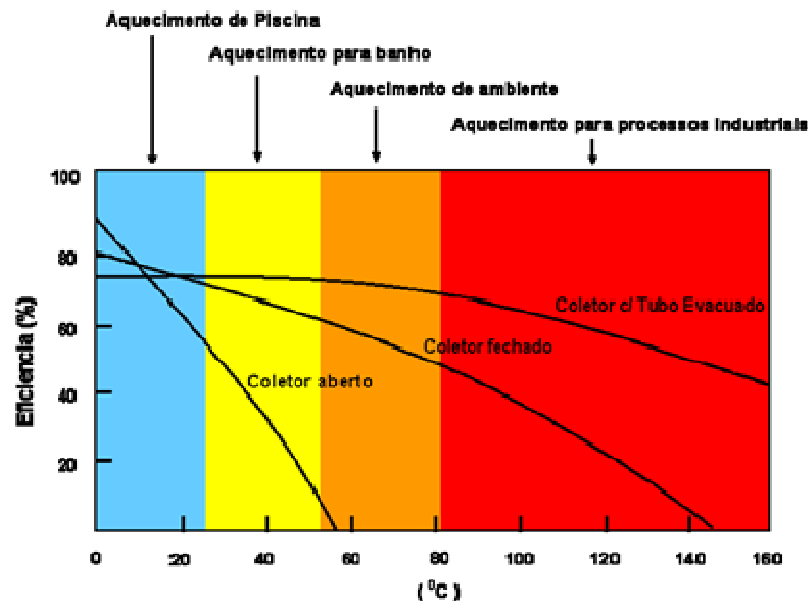


Figura 3-22 - Correlação entre tipos de coletores planos e temperatura de operação

O aquecimento de piscinas a temperaturas entre 26 e 30°C é normalmente promovido por coletores solares abertos. Essa designação é utilizada, pois tais coletores não possuem cobertura transparente nem isolamento térmico.

Os coletores solares de placa plana (coletor fechado) são utilizados para fins sanitários, atingindo temperaturas da ordem de 70 a 80°C.

Para temperaturas mais elevadas, recomendam-se os coletores solares do tipo tubo evacuado, ilustrado na Figura 3-23. Este produto é predominantemente fabricado por empresas chinesas ou “joint ventures” sino-internacionais.



Figura 3-23 - Coletor de tubo evacuado (Website do fabricante Ritter XL, acessado em 2014)

### 3.4.1 Coletor solar de tubo evacuado

Para a aplicação proposta neste trabalho, será necessário alcançar temperaturas da ordem de 80 °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 (heat pipe) com zonas de evaporação e condensação, exemplificadas na Figura 3-24. 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.

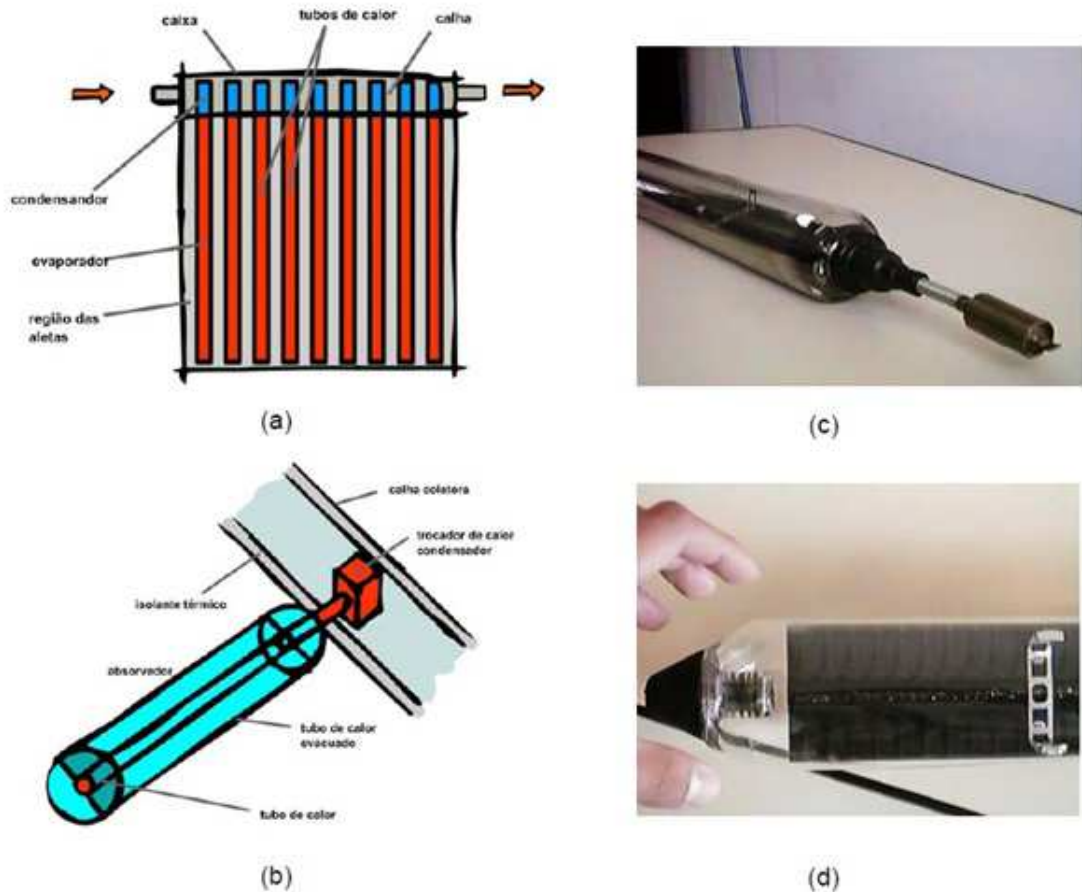


Figura 3-24 - Componentes dos Coletores Solares de Tubos Evacuados de Tubos de Calor

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, conforme mostrado na figura 3-25.

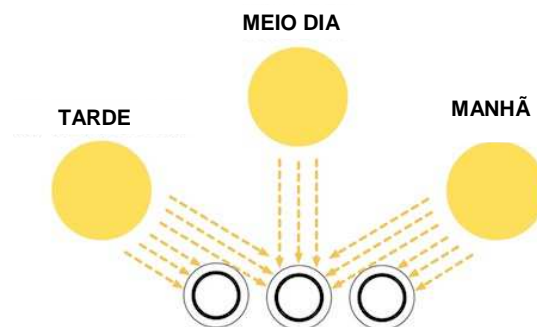


Figura 3-25 - Incidência solar em tubos evacuados do (Website do fabricante Apricus, acessado em 2014)

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 3-3, 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% (Hoffmann, Brondani, Pappis, & Friderichs, 2012).

Tabela 3-3 - Diferença da área entre dois coletores

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



#### 4 Configuração Básica Proposta do Sistema

A seguir será descrita a configuração básica do sistema proposto neste trabalho, bem como os equipamentos e seus respectivos fornecedores no mercado.

Para obtenção do potencial solar será utilizado um campo de coletores solares de tubo evacuado a serem fixados sobre o hipermercado. Os coletores devem, se possível, estar inclinados em direção ao norte geográfico e com a inclinação de  $33^\circ$ , seguindo a convenção utilizada mundialmente no mercado, que considera a latitude local  $+ 10^\circ$ , para favorecimento de captação no inverno, de forma a diminuir ou evitar uma possível demanda por gás para aquecimento. Devendo ser observados também o espaçamento correto entre os coletores para evitar sombreamento.

Os coletores deverão estar arrançados em ligações série-paralelo para melhor controle de aquecimento do fluido circulante nos coletores, além de otimizar o uso do espaço de instalação, de forma semelhante a figura 4-1.

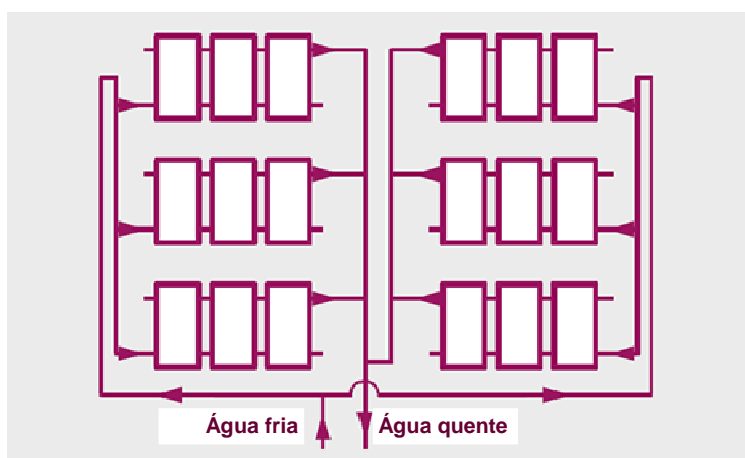


Figura 4-1 - Instalação série-paralelo (Junta de Castilla Y León, 2008)

O fluido aquecido será então encaminhado para o boiler, que ficará próximo à saída do campo de coletores, e será o responsável por armazenar e manter o volume de água quente e então o fluido será encaminhado para o chiller.

Após a passagem do fluido pelo chiller, este produzirá água gelada e esta passará por uma tubulação e entregue ao ambiente por meio de fan-coils,

que podem ser reutilizados de uma instalação já existente, considerando uma instalação de ar condicionado central com chiller elétrico de compressão.

Conforme já mencionado, este tipo de sistema demanda a instalação de uma torre de resfriamento para correto funcionamento do chiller.

Em todos os locais do sistema que houver circulação de água, esta será forçada, sendo necessário o uso de bombas para tal fim.

A figura 4-2 apresenta a configuração básica do sistema de climatização solar proposto neste trabalho.



Figura 4-2 - Configuração básica do sistema de climatização solar proposto

## 4.1 Equipamentos e fornecedores

Neste capítulo serão descritos alguns equipamentos e seus respectivos fornecedores que poderiam ser utilizados no sistema para avaliação de suas características técnicas e aplicabilidade.

### 4.1.1 Coletores Solares

Apesar de serem pouco utilizados no Brasil, há uma grande variedade de fabricantes e modelos de coletor solar de tubo evacuado. Grande parte se concentra na China, país que mais utiliza este tipo de coletor. Porém já existem diversos fabricantes europeus e americanos.

Tabela 4-1 – Fabricantes de coletor solar de tubo evacuado

Fabricante	País de Origem	Modelo
SunMaxx Solar LLC	Estados Unidos	ThermoPower-VHP30
Westech Solar Technology Wuxi Co., Ltd	China	WT-B58-30
Kloben Sud S.r.l.	Itália	SKY PRO 22 CPC 58
Zhejiang Sidite New Energy Co., Ltd.	China	SC-H-30
SolarUs, Inc.	Estados Unidos	SL-30
Solar America Solutions	Estados Unidos	SunQuest 250
Kingspan Solar Inc.	Irlanda do Norte	HP250-80
Solar Panels Plus	Estados Unidos	SPP-30A
Ritter Energie	Alemanha	CPC 45 Star Azzurro / CPC 45

#### 4.1.2 Chiller por absorção

Tipo de equipamento que tem a tecnologia dominada, preços mais atrativos e com considerável número de fabricantes no mercado mundial.

Tabela 4-2 - Fabricantes de chiller por absorção

Fornecedor	País de Origem	Tecnologia	Tipo	Modelo	Capacidade
Thermax (Trane)	Índia	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

## 5 Análise e Custos

Neste capítulo será descrita a metodologia utilizada para obtenção dos dados de produção de energia do sistema, bem como a análise financeira para implantação do sistema.

Inicialmente foi verificada a demanda térmica de um hipermercado. A área recomendada para a instalação de um hipermercado é de 5.000 m<sup>2</sup> (SEBRAE/MS).

A carga térmica estimada para tal tipo de estabelecimento considera que 25 m<sup>2</sup> demandem 1 TR (Andreos, 2013)

Com base nas informações acima, podemos identificar a capacidade do equipamento a ser instalado. Considerando um hipermercado de 5.000 m<sup>2</sup>, temos uma carga térmica de 200 TR (703,37 kW). Sendo este parâmetro que vai balizar a escolha do chiller por absorção a ser utilizado.

Como já descrito no item 3.4.1, a escolha de coletores de tubo evacuado para análise deste tipo de sistema é devido a sua melhor eficiência em altas temperaturas, pois a temperatura média para acionamento do chiller é de 85°C.

Neste estudo foram verificados alguns modelos disponíveis no mercado e testados pelo órgão certificador americano SRCC - Solar Rating & Certification Corporation. Este órgão, criado em 1980, é uma organização sem fins lucrativos e seu principal propósito é o desenvolvimento e a implementação de normas e programas de certificação nacional para equipamentos de energia solar térmica.

No website do SRCC (<http://www.solar-rating.org/>) podem ser encontradas certificações de diversos tipos de coletor solar, bem como suas especificações técnicas e resultados após testes de certificação. O SRCC possui metodologia própria para execução de testes baseada na norma ISO. As normas para execução de testes em coletor solar térmico encontra-se na seção Anexos deste documento.

Os certificados emitidos pelo SRCC apresentam a eficiência dos coletores, sendo que esta será considerada para realização de cálculos neste trabalho. Um ponto importante a ser ressaltado é em relação ao cálculo da eficiência, pois para coletores de tubo evacuado deve ser considerada a área

de abertura, e não a área total bruta do coletor. Para se realizar tal correção, deve-se utilizar o cálculo abaixo, que pode ser encontrado na norma ASHRAE.

$$\eta_A = \eta_G * A_G/A_A \quad (5.1)$$

Onde:

$\eta_G$ : Rendimento calculado considerando a área total bruta

$A_G$ : Área total bruta

$A_A$ : Área e abertura

Para avaliação do potencial solar no município de São Paulo, será utilizada a média entre os valores de 3 fontes de informação diferentes, sendo elas:

- Atlas Solarimétrico do Brasil
- Sundata – CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito)
- NASA (National Aeronautics and Space Administration), obtido do website <http://www.gaisma.com/en/location/sao-paulo.html>

Com base nas informações apresentadas neste capítulo já é possível avaliar os resultados da instalação do sistema de climatização solar.

Para estimar a quantidade de coletores necessários para atender a carga térmica do supermercado, será considerada a capacidade nominal de refrigeração do chiller por absorção, ou seja, este estudo considerará o sistema funcionando em sua capacidade máxima.

Para fins de avaliação econômica, serão utilizados os dados de dois coletores de nacionalidades diferentes, sendo um fabricado nos Estados Unidos e outro na China.

Para verificação do tamanho da área do campo de coletores para atendimento da demanda térmica do hipermercado é utilizada a equação a seguir:

$$A = Q_H / G_{Sol} * \cos 33^\circ * COP * \eta_{Coletor} \quad (5.2)$$

Onde:

$Q_H$ : Quantidade de energia a ser gerada (Considerando a demanda máxima do chiller)

$G_{Sol}$ : Irradiação solar no município e São Paulo

COP: Coeficiente de performance ou desempenho

$\eta_{Coletor}$ : Eficiência do coletor solar

Na fórmula acima multiplica-se pelo cosseno de  $33^\circ$  devido ao ângulo de incidência do sol sobre os coletores, que considera a latitude de São Paulo usando a regra prática de latitude mais  $10^\circ$ .

Os coletores escolhidos para verificação da área necessária são os modelos descritos a seguir:

- SPP-30, fabricado pela companhia americano Solar Panels Plus, com uma eficiência de 0,537.
- SC-H-30, fabricado pela companhia chinesa Zhejiang Sidite New Energy, com uma eficiência de 0,425.

A tabela 5-1 apresenta a área mínima necessária para atendimento da demanda máxima do chiller, cabe ressaltar que foram calculadas diferentes áreas para cada mês do ano, sendo que foi escolhida a maior área, que ocorreria no mês de junho, onde há menor irradiação solar.

Tabela 5-1 - Área mínima de coletores selecionados

Mês	Área Mínima - Quantidade De Painéis		Potencial Gerado (kW)
	SPP-30A	SC-H-30	
Janeiro	744,249 m²  180 Painéis	941,066 m²  227 Painéis	37.399,198
Fevereiro			34.493,358
Março			33.514,175
Abril			28.749,812
Maio			25.006,910
Junho			23.232,000
Julho			25.270,202
Agosto			29.997,761
Setembro			30.904,279
Outubro			35.556,153
Novembro			37.976,364
Dezembro			37.662,490
Total			379.762,703

Com base em todas as informações expostas neste capítulo já se pode iniciar a análise de investimento para implantação do sistema de climatização solar proposto. A tabela 5-2 apresentará os custos dos equipamentos envolvidos.

Tabela 5-2 - Comparativo de investimento inicial

Equipamento	Investimento Inicial (R\$)	
	Sistema com coletores chineses	Sistema com coletores americanos
Coletor Solar	303.862,20	562.212,00
Chiller por Absorção	308.000,00	308.000,00
Bomba de condensação e torre de resfriamento	110.000,00	110.000,00
Subestação	23.100,00	23.100,00
Reservatório Térmico	15.000,00	15.000,00
Bomba de Circulação	800,00	800,00
Instalação	330.000,00	330.000,00
<b>Total</b>	<b>1.090.762,20</b>	<b>1.349.112,00</b>

Para comparação financeira deste sistema, será feita a comparação com um sistema já existente, considerando que o sistema existente possua um chiller elétrico tipo parafuso com mesma capacidade de refrigeração do chiller de absorção analisado, 220 TR.

A análise mostrará a economia com os gastos com energia elétrica alcançada caso o sistema atual seja substituído por um sistema de climatização solar. A tabela 5-3 apresenta, primeiramente, os gastos com energia elétrica e manutenção de cada sistema, com base anual, comparando-se o sistema com coletores americanos.

Tabela 5-3 - Comparativo de gastos anuais entre sistema novo com coletores americanos e sistema atual

	Sistema de climatização solar	Sistema com chiller elétrico
Consumo de energia horário (kWh)	46,2	440
Potência do equipamento (kW)	774,4	774,4
Gasto Anual com energia elétrica - A4/Azul/AES Eletropaulo) (R\$)	247.428,85	547.001,66
Manutenção Anual (R\$)	124.280,00	36.520,00
Total (R\$)	371.708,85	583.521,66
Economia Anual - Fluxo de caixa a ser adotado (R\$)	211.812,82	

Com base nos dados de investimento e economia anual, obtém-se que o seguinte resultado financeiro.

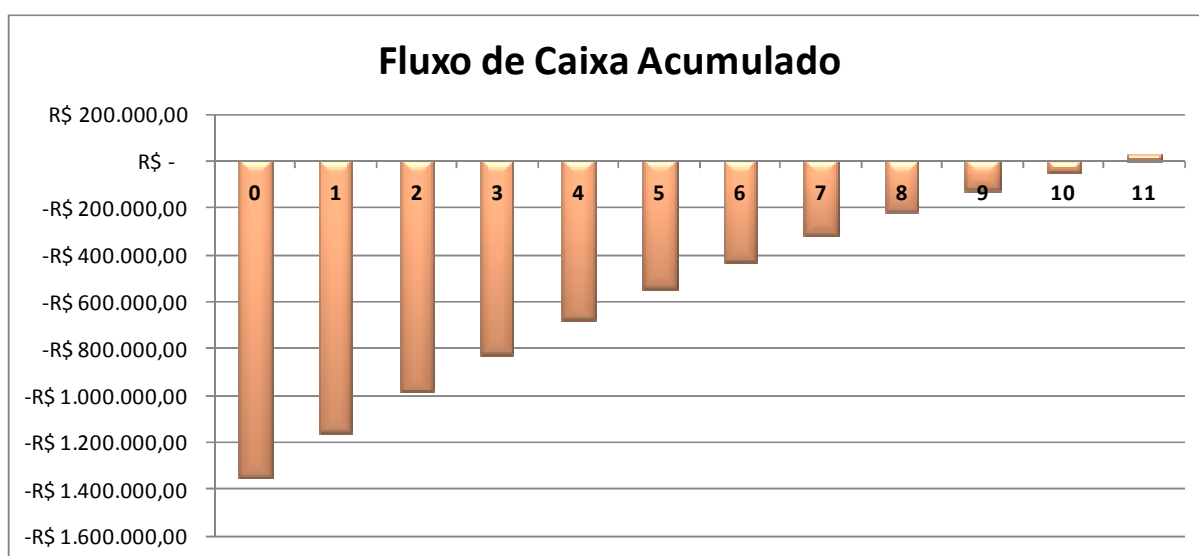


Figura 5-1 - Resultado financeiro - Sistema com coletores americanos

Conforme mostrado pela figura 5-1, que considera uma taxa de retorno de 10%, o payback descontado deste projeto é de 10 anos e 7 meses e o valor presente líquido é de R\$ 26.625,18.

Já na tabela 5-4, é apresentada a comparação do sistema com coletores chineses.

Tabela 5-4 - Comparativo de gastos anuais entre sistema novo com coletores chineses e sistema atual

	Sistema de climatização solar	Sistema com chiller elétrico
Consumo de energia horário (kWh)	46,2	440
Potência do equipamento (kW)	774,4	774,4
Gasto Anual com energia elétrica - A4/Azul/AES Eletropaulo) (R\$)	247.428,85	547.001,66
Manutenção Anual (R\$)	152.480,00	36.520,00
Total (R\$)	399.908,85	583.521,66
Economia Anual - Fluxo de caixa a ser adotado (R\$)	183.612,82	



Com base nos dados de investimento e economia anual, obtém-se o resultado financeiro indicado na figura 5-2.

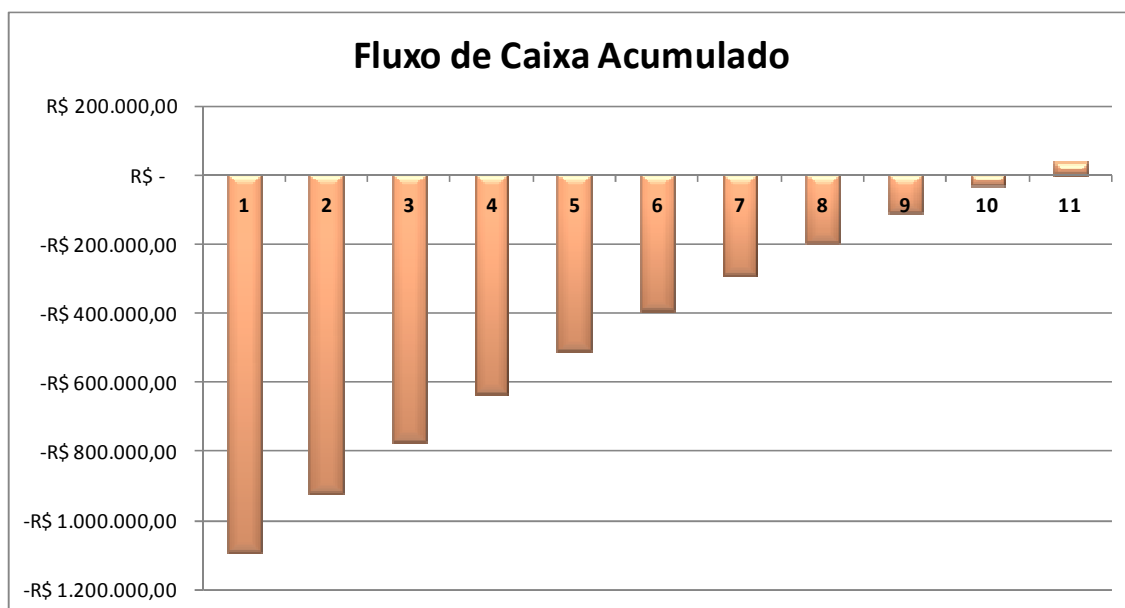


Figura 5-2 - Resultado financeiro - Sistema com coletores chineses

Conforme mostrado pela figura 5-2, que considera uma taxa de retorno de 10%, o payback descontado deste projeto é de 9 anos e 5 meses e o valor presente líquido é de R\$ 37.459,08

Ao se comparar a taxa interna de retorno entre os sistemas com coletores americanos e chineses, nota-se uma ligeira vantagem de 0,8% para o sistema com coletores chineses, sendo que o sistema com coletores americanos tem uma TIR de 10%.

Um ponto importante a ser ressaltado é que os cálculos realizados consideram a produção de energia solar para atendimento da demanda do total do chiller e com base em dados mensais de insolação. Entretanto, tal simulação pode ser refinada, sobretudo em uma análise diária, onde pode-se obter a demanda correta para cada hora do dia, bem como a irradiação e a produção de energia horária, fato este que poderia mostrar uma economia de energia maior e, conseqüentemente, um retorno financeiro mais curto, pois na maior parte dia a curva de demanda coincide com a curva de produção de energia, por exemplo, ao meio-dia de um dia de verão a demanda por refrigeração é maior e a irradiação também.

Deve-se lembrar também que, como todo sistema baseado em fonte solar, este deve possuir uma fonte alternativa para dias em que ocorra alto índice de nebulosidade e não haja irradiação suficiente para suprir a demanda por água quente para acionamento do chiller. Há duas propostas possíveis:

- Caso o hipermercado já possua um sistema com chiller elétrico, pode-se fazer um circuito paralelo com o chiller já existente.
- Utilizar um queimador para queima suplementar de gás natural ou GLP (gás liquefeito de petróleo), sendo que no caso do GLP a contratação se dá por meio de tanques.

Essa fonte alternativa também pode influir no payback do projeto, porém para se verificar tal impacto seria necessário analisar o comportamento diário do sistema.

## **6 Conclusão**

Conforme todo o exposto neste trabalho, pode-se entender que este conceito de climatização solar é viável, sobretudo analisando de forma mais detalhada tal sistema e o hipermercado que venha ser instalado.

É importante esclarecer que os coletores de tubo evacuado não são fabricados no Brasil, sendo que a importação de tal equipamento com a o câmbio atual prejudicam no retorno do investimento. Com incentivos fiscais para implantação de tal sistema poder-se-ia obter um retorno mais atrativo. Felizmente, no congresso nacional já tramitam projetos de lei com o objetivo de conceder benefícios fiscais para utilização de energia solar.

É importante ressaltar que o BNDES financia projetos de eficiência energética através da linha de crédito PROESCO, sendo o sistema abordado neste trabalho elegível para tal benefício, que possui taxas de juros atrativas e que beneficiam tal investimento.

Para fins de certificação de construção sustentável, como por exemplo, a certificação LEED, o conceito de climatização solar também pode contribuir, devido a grande redução no consumo de energia e a produção de energia por meio de fonte renovável.

Este tipo de sistema pode ser muito benéfico para redução da carga no país, pois considerando apenas a instalação em hipermercados, que existem em grande quantidade no país, a necessidade de geração seria muito menor.

Considerando o cenário atual, com diversas usinas térmicas em funcionamento, é considerável a quantidade de carbono que deixaria de ser produzida, contribuindo com a diminuição dos efeitos referentes ao aquecimento global.

Portanto, há de se levar em conta os benefícios que este tipo de sistema tem, pois contribuem com a redução dos picos de carga no SIN, diminuição da demanda instalada e a diminuição dos impactos referentes ao aquecimento global, além de que o este tipo de sistema é tão confiável e eficiente quanto os sistema tradicionalmente utilizados. Há de se falar também em relação à capacidade de produção energética proveniente da irradiação solar no Brasil, pois tal tipo de sistema já vem sendo instalado em países europeus e americanos, onde o potencial de geração energética proveniente de irradiação solar é muito menor.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAVA. (2008). *Manual de capacitação em projetos de sistema de aquecimento solar*. São Paulo.

Andreos, R. (2013). Material da Aula 6. In: *ABEGÁS* (pp. 35-37). São Paulo.

CRESESB. (11 de junho de 2008). Acesso em Abril de 2014, disponível em CRESESB:

[http://www.cresesb.cepel.br/content.php?cid=tutorial\\_solar#item\\_1\\_1](http://www.cresesb.cepel.br/content.php?cid=tutorial_solar#item_1_1)

CRESESB. (2000). *Atlas Solarimétrico do Brasil*. (E. u. UFPE, Editor, C. Tiba, Produtor, & Universidade Federal de Pernambuco) Acesso em 03 de 2012, disponível em CRESEB: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas\\_Solarimetrico\\_do\\_Brasil\\_2000.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf)

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2006). *Solar Engineering of Thermal Process*. Wiley, John & Sons, In. 6ª Edição.

Enerworks. (2010). Acesso em Abril de 2014, disponível em Enerworks: <http://www.solarthermal.com/applications/efficiency/>

EPE. (2013). *Projeção da demanda de energia elétrica*. Rio de Janeiro.

EPE. (2014). *Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica - Abril/2014*. Rio de Janeiro.

Hoffmann, R., Brondani, M., Pappis, F., & Friderichs, A. (2012). Comparação econômico-ambiental entre coletores solares do tipo. 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, (p. 8). Bento Gonçalves.

Junta de Castilla Y León. (2008). *Energia Solar Térmica: Manual de Climatización Solar*. Sorles.

Kalogirou, S. A. (2009). *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. Academic Press.

- Miranda, M. A. (2008). *Optimização de Sistemas Solares Térmicos*. Porto.
- New Buildings Institute. (1998). *Absorption Chillers Guideline*. California.
- Reichardt, T. F. (2010). *Technical and Economic Assessment of Medium Sized Solar-Assisted Air-Conditioning in Brazil*. Rio de Janeiro.
- SEBRAE/MS. (s.d.). Acesso em Abril de 2014, disponível em SEBRAE Mato Grosso do Sul: [www2.ms.sebrae.com.br/uploads/UAI/fichastecnicas/supermercado.pdf](http://www2.ms.sebrae.com.br/uploads/UAI/fichastecnicas/supermercado.pdf)
- SOLAIR. (2009). *Solar air-conditioning*. Hannover.
- SRCC. (2014). Acesso em Abril de 2014, disponível em Solar Rating & Certification Corporation: <http://www.solar-rating.org/>
- Villalva, M., & Gazoli, J. (2012). *Energia Solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações*. São Paulo: Érica Ltda.
- Wikipedia. (s.d.). Acesso em Abril de 2014, disponível em Wikipedia: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Refrigeração\\_por\\_absorção](http://pt.wikipedia.org/wiki/Refrigeração_por_absorção)

## **8 ANEXOS**



Solar Rating & Certification Corporation™  
The Industry Standard Since 1980.

## SRCC™ Standard 100-2013-11

# MINIMUM STANDARDS FOR SOLAR THERMAL COLLECTORS

November 7, 2013

400 High Point Drive • Suite 400 • Cocoa, FL 32926-6630 • T: 321 213 6037 • F: 321 821 0910 • [www.Solar-Rating.org](http://www.Solar-Rating.org)

© 2013 Solar Rating & Certification Corporation™. All Rights Reserved. This document is the exclusive property of the Solar Rating & Certification Corporation, and may not be distributed or reproduced in any form.

© 2013 Solar Rating & Certification Corp™  
Standard 100\_20131107.docx

Page 2 of 21

### SRCC Standard 100 - Minimum Standards for Solar Thermal Collectors

#### Contents

1.0 PURPOSE.....	8
2.0 SCOPE.....	8
3.0 DEFINITIONS .....	9
Types of Solar Thermal Collectors.....	11
4.0 REFERENCED STANDARDS AND ORGANIZATIONS.....	13
5.0 TEST METHODS FOR SOLAR COLLECTORS.....	13
5.1 TEST SPECIMEN.....	14
5.2 BASELINE INSPECTION.....	14
5.3 STATIC PRESSURE TEST.....	14
5.3.1 BASIS OF TEST PRESSURE.....	14
5.3.2 METHOD OF TESTING.....	14
5.4 EXPOSURE TEST.....	15
5.4.1 METHOD OF TESTING.....	15
5.5 THERMAL SHOCK/WATER SPRAY TEST.....	16
5.6 THERMAL SHOCK/COLD FILL TEST.....	16
5.7 STATIC PRESSURE TEST.....	16
5.8 PRESSURE DROP TEST.....	16
5.9 COLLECTOR TIME CONSTANT.....	17
5.10 THERMAL PERFORMANCE TEST.....	17
5.10.1 LIQUID HEATING.....	17
5.10.1.2 Unglazed collectors.....	17
Specimens shall be tested in accordance with ISO 9806-3 with the following exceptions:.....	17
5.10.2 AIR HEATING.....	17
5.11 COLLECTOR INCIDENT ANGLE MODIFIER.....	18
5.12 DISASSEMBLY AND FINAL INSPECTION.....	18
6.0 COLLECTOR STANDARDS.....	19
6.1 COVER.....	19
6.1.1 TEMPERED GLASS.....	19
6.1.2 NON-GLASS AND NON-TEMPERED GLASS.....	19

6.1.3 IMPACT RESISTANCE RATING.....	19
6.2 CONDENSATION .....	20
6.3 PRESSURE TEST RESULTS.....	20
6.3.1 LIQUID:.....	20
6.3.2 AIR:.....	20
6.4 THERMAL SHOCK/WATER SPRAY RESULTS.....	20
6.5 DISASSEMBLY AND FINAL INSPECTION.....	20
6.6 PROTECTION OF MATERIAL.....	21



## Solar Rating & Certification Corporation™

Standards promulgated by the Solar Rating & Certification Corporation™ (SRCC™) conform to the SRCC Standard Development Policy adopted by the SRCC Board of Directors. SRCC Standards Development Procedures are intended to ensure in a continued effort to provide transparency and consensus to consumers and industry alike which are affected by the standard(s). The SRCC Standards Development Process is conducted with the intent to be consistent with the American National Standards Institute (ANSI) Essential Requirements.

The SRCC encourages participation from all stakeholders in the SRCC standards development process in a fair and transparent manner that enables individuals and other organizations to participate or receive information about existing or new standards development in progress through SRCC Standards Committee, which works in accordance with SRCC policies.

SRCC standards may be revised or withdrawn in accordance with the SRCC Standards Development Process. Contact SRCC or visit the SRCC website at [www.Solar-Rating.org](http://www.Solar-Rating.org) to receive information about the most current version of this standard.

### Published by:

Solar Rating & Certification Corporation™  
400 High Point Drive, Suite 400  
Cocoa, Florida 32926

First published: 1981

Revisions: January 1983, April 1984, October 1995, September 2005, February 2008, August 2010, March 2011, July 2012, January 2013, October 2013, November 2013

Copyright © 2013 Solar Rating & Certification Corporation™

### Attribution:

No part of this standard may be reproduced or utilized in any form without explicit permission of the Solar Rating & Certification Corporation™. All Rights Reserved.

### Citation:

"SRCC™ Standard 100-2013-11 - MINIMUM STANDARD FOR SOLAR THERMAL COLLECTORS. (Solar Rating & Certification Corporation™).

©2013 Solar Rating & Certification Corp™  
Standard 100\_20131107.docx

Page 5 of 21

### Disclaimer:

SRCC Standards are developed through the SRCC Consensus and Development Process by stakeholders and is administered by the Solar Rating & Certification Corporation. SRCC cannot be held liable for products claiming to be in conformance with this standard.

### Foreword

The intent of this standard is to provide minimum criteria for the efficiency, longevity and design of Solar Collectors. The focus of this standard is to provide minimum testing requirements, consistent methods and procedures to ensure that products covered by the standard operate in a safe, reliable, and effective manner. Consistent test methods ensure that the performance of various solar collector designs and configurations can be compared and evaluated.

The standard serves as the basis for insuring to the consumer and industry that reliability and safety standards are met. Providing unbiased performance and rating data based on this standard will help the consumer make informed purchase decisions.

The standard is intended to ensure the quality of the product can be assessed through a review process without imposing unreasonable costs and difficulty on the manufacturer to comply with this standard.

### Background

SRCC is recognized by the Solar Industry as the Standards Development Body for Solar Collectors and Solar Water Heating Systems. SRCC™ Standard 100 has been adopted by federal and state authorities and recognized as a requirement for product certification in the tax code.

This Standard has been developed in a regimented process consistent with ANSI requirements for "voluntary consensus standards" which requires participation from a range of representation of manufactures, technical experts, incentive program administrators, public sector agencies, utilities and consumers.

The draft as a result of the Standard Development Effort was first adopted in 1981 and has undergone several revisions since. Advocates who made major contributions to this national Solar Water Heating System Standard - SRCC™ Standard 100 were DOE, NREL, ISCC/IREC, FSEC, and SEIA. References to Solar Rating & Certification Corporation appear in requirements in the Energy Policy Act of 2005; commonly referred to as the "2005 Energy Bill" for determining eligibility of certified Solar Collectors for federal tax incentives.

©2013 Solar Rating & Certification Corp™  
Standard 100\_20131107.docx

Page 6 of 21

Foreword and Background: The Foreword and Background sections are included with this document for information purposes only, and are not part of the "SRCC™ Standard 100 - MINIMUM STANDARD FOR SOLAR THERMAL COLLECTORS.

## 1.0 PURPOSE

This standard sets forth minimum durability, construction, performance criteria and procedures for characterizing the thermal performance and indicating the durability of solar collectors used in applications such as swimming pool heating, space heating, cooling and water heating.

## 2.0 SCOPE

This standard applies to solar thermal collectors utilizing a fluid for the heat transfer. The standard sets forth minimum requirements for durability, construction and performance testing and provides the methodology and means for evaluating the durability and performance of tested solar thermal collectors. Resulting performance data serves as the basis for comparing solar collectors.

This standard does not apply to Solar Concentrating Collectors covered under SRCC Standard 600.

©2013 Solar Rating & Certification Corp™  
Standard 100\_20131107.docx

Page 7 of 21

©2013 Solar Rating & Certification Corp™  
Standard 100\_20131107.docx

Page 8 of 21

### 3.0 DEFINITIONS

**Absorber:** The absorber is that part of the solar collector that receives the incident solar radiation and transforms it into thermal energy. It usually is a solar surface through which energy is transmitted to the transfer fluid; however, the transfer fluid itself could be the absorber in certain configurations.

**Ambient Air:** Ambient air is the outdoor air in the vicinity of the solar collector being tested.

**Available Energy:** Is determined by the integrated solar irradiance.

**Collected Energy:** Is the product of the fluid mass, specific heat and integrated temperatures gain across the collector.

**Collector Enclosure:** The structural frame which supports the components of the collector and protects internal components from the environment.

**Concentrating Thermal Collector:** A solar collector which uses reflectors, lenses or other optical elements to concentrate the radiant energy passing through the aperture onto an absorber which has a surface area smaller than the aperture. Some collectors using concentrating elements also fit the definition of a flat-plate collector. Thus, this document treats non-concentrating flat plate collectors, concentrating flat-plate collectors, and concentrating tracking collectors.

**Concentrator:** The concentrator is that part of the concentrating collector which directs the incident solar radiation onto the absorber.

**Corrosion:** The deterioration of a substance or its properties caused by a chemical or electrochemical reaction with its environment.

**Cover Plate:** The cover plate is the material or materials covering the aperture and most directly exposed to the solar radiation. These materials generally are used to reduce the heat loss from the absorber to the surroundings and to protect the absorber.

**Crazing:** Formation of minute surface cracks.

**Delamination:** Separation into constituent layers.

**Design Life:** Period for which a collector is expected to function at its designated capacity without major repairs.

**Degradation:** Is defined as that leading to significant permanent loss of collector performance and/or leading to elevated risk of danger to life, limb or product. "Repeated exposure" is defined as a minimum total of 1000 hours/year at stagnation conditions during the design life

Modes of degradation shall include, but are not limited to:

- Outgassing from coatings or insulation that results in harmful deposits or significant structural failure or significant reduction in insulation value.

©2013 Solar Rating & Certification Corp™  
Standard 100\_20131107.docx

Page 9 of 21

- Structural weakening with permanent failure, melting, charring, ignition, etc. of wooden or polymer components exposed to temperatures greater than documented limits
- Release of undesirable compounds from the wall of the fluid passageway into the heat transfer fluid.

**Flat-Plate Collector:** A flat-plate collector is normally a solar collector (either liquid or air) in which the surface absorbing the incident radiation is essentially flat and employs no concentration. However, in this document the term refers to all collectors designed to perform satisfactorily with all parts of the collector in fixed positions.

**Fluid:** A fluid is defined as a substance that can flow and does not maintain a fixed shape. Gases and liquids are considered fluids.

**Gross Collector Area:** The maximum projected area of the complete module, including integral mounting means.

**Heat Pipe:** A heat transfer device that combines the principles of both thermal conductivity and phase change.

**Innovative Equipment:** Solar equipment which, due to its design, cannot be evaluated fairly and adequately by the test methods described in this document.

**Instantaneous Efficiency:** The instantaneous efficiency of a solar collector is defined as the amount of energy removed by the transfer fluid over a given measuring period divided by the total incident solar radiation onto the gross collector area during the measuring period.

**Integrity of Construction:** Those physical and mechanical properties of the solar collector which collectively are responsible for the overall thermal performance and physical structure of the solar collector.

**Irradiance:** Irradiance is the rate of solar radiation received by a unit surface area in unit time in W/m<sup>2</sup> (Btu/hr ft<sup>2</sup>).

**Model:** A unit of solar equipment that is identifiable by a specified size, set of materials, and performance. A change in any of these basic characteristics constitutes a new model.

**"No-Flow" Condition:** The condition that result when the heat transfer fluid does not flow through the collector array due to shut-down or malfunction and the collector is exposed to the amount of solar radiation that it would receive under normal operating conditions.

**Non-Concentrating Solar Thermal Collector:** A solar collector receives incident solar radiation at an integral absorber and transforms it into thermal energy. The transfer from solar energy to heat energy occurs at the absorber surface and

©2013 Solar Rating & Certification Corp™  
Standard 100\_20131107.docx

Page 10 of 21

heat energy is transmitted to a transfer fluid; however, the transfer fluid itself could be the absorber in certain configurations

**Outgassing:** The generation of vapors by materials usually during exposure to elevated temperature and/or reduced pressure.

**Pitting:** The process by which localized material loss is caused in materials or components by erosion, corrosion, or chemical decomposition.

**Pyranometer:** A radiometer used to measure the total solar radiation (direct, diffuse, and reflected) incident on a surface per unit time per unit area.

**Rated Performance:** The solar equipment thermal output characteristics determined by tests specified in this document.

**Reflector or Reflective Surface:** A surface intended for the primary function of reflecting radiant energy.

**Site Dependent Collectors:** A collector intended to be assembled only at the site of its application. This may be because parts of the building (e.g., rafters, insulation) are part of the collector or because the size of the collector makes delivery impractical.

**Solar Thermal Collector:** A solar thermal collector is a device designed to absorb incident solar radiation, to convert it to thermal energy, and to transfer the thermal energy to a fluid coming in contact with it. The materials and dimensions of the cover (if any) and the absorber must be specified. A solar collector must contribute net gain and be able to have its solar energy conversion efficiency characterized by recognized thermal performance equations.

Types of Solar Thermal Collectors

- Street pressure solar collectors: Collectors which, by virtue of their installation in a municipal water system, will be directly subjected to variations in street water pressure and hot water tank pressure.
- Low pressure service Solar Hot Water (SHW) and swimming pool solar collectors: Collectors which, by virtue of their installation, will not have a direct fluid interchange with an auxiliary heater or street pressure. (Heat transfer from such collectors to the service water system would be accomplished by use of an appropriate heat exchanger.)
- Hybrid and alternate fluid solar collectors: Collectors which, by virtue of design, are not intended to have a direct fluid connection to a SHW system. Such units may or may not be designed to accept street pressure.

**Solar Energy:** The energy originating from the sun's radiation primarily encountered in the wavelength region from 0.3 to 3.0 micrometers.

**Standard:** A document which specifies the performance, durability, or safety requirements of a product.

©2013 Solar Rating & Certification Corp™  
Standard 100\_20131107.docx

Page 11 of 21

**Thermal Efficiency:** Is the ratio of collected energy to available energy falling upon collector area.

**Thermal Performance Curve:** For a collector is determined when the insolation incident to the collector is within 30 degrees of normal to the aperture of the collector. To predict collector performance over a wide range of conditions, tests will be conducted to determine the collector incident angle modifier. This is used to modify the efficiency curve (determined within 30 degrees of normal incidence) to account for changes in performance as a function of the sun's incidence angle.

**Time Constant:** The time constant is the time required for the fluid leaving a solar collector to attain 63.2% of its steady state value following a step change in insolation or inlet fluid temperature.

**Transfer Fluid:** The transfer fluid is a medium such as air, water, or other fluid which passes through or in contact with the solar collector and carries the thermal energy away from the collector.

**Transparent Frontal Area:** The transparent frontal area is the projected area of that part of the collector designed to transmit incident solar energy to the interior of the collector.

©2013 Solar Rating & Certification Corp™  
Standard 100\_20131107.docx

Page 12 of 21

#### 4.0 REFERENCED STANDARDS AND ORGANIZATIONS

ANSI/ASHRAE Standard 93-2010, "Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors," The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA 30329. <http://www.ashrae.org>

ISO 9806-1:1994, Test methods for solar collectors – Part 1: Thermal performance of glazed liquid heating collectors including pressure drop, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. <http://www.iso.org>

ISO 9806-2:1995, Test Methods for solar collectors – Part 2: Qualification test procedure, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. - <http://www.iso.org>

ISO 9806-3:1995, Test methods for solar collectors – Part 3: Thermal performance of unglazed liquid heating collectors (sensible heat transfer only) including pressure drop, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. <http://www.iso.org>

#### 5.0 TEST METHODS FOR SOLAR COLLECTORS

Collector testing shall be performed in the following sequence:

- A. Test Specimen Selection
- B. Baseline Inspection
- C. Static Pressure Test
- D. Thirty-Day Exposure Test
- E. Thermal Shock/Water Spray Test
- F. Thermal Shock/Cold Fill Test
- G. Static Pressure Test
- H. Collector Time Constant Determination Test
- I. Post-Exposure Thermal Performance Test
- J. Incident Angle Modifier Test
- K. Impact Resistance Test
- L. Disassembly and Final Inspection

The identical serial-numbered collector must go through the above test sequence in the exact order specified.

#### 5.1 TEST SPECIMEN

Collector shall be selected at random for testing and shall be as received from the manufacturer.

#### 5.2 BASELINE INSPECTION

Test specimens shall be inspected prior to testing and any visible damage or assembly flaws shall be recorded.

#### 5.3 STATIC PRESSURE TEST

A static pressure test shall be conducted as follows:

##### 5.3.1 BASIS OF TEST PRESSURE

- A. The test pressure will be 1100 kPa Gauge (160 psig) for street pressure collectors based on:
  1. Two times the allowable street gauge pressure 550 kPa Gauge (80 psig) in a dwelling.
  2. The test pressure exceeding the required T&P valve relief setting on approved hot water tanks, which is 1030 Gauge (150 psig).
- B. Collectors specified for positive operating pressure less than street pressure 550 kPa Gauge (80 psig) shall be pressure-tested at 1.5 times the manufacturer's rated operating gauge pressure, but a minimum of 170 kPa (25 psig).
- C. Collectors specified for operating pressures greater than 550 kPa Gauge (80 psig) shall be pressure tested at 1.5 the manufacturer's rated operating gauge pressure or 1100 kPa (160 psig), whichever is less.
- D. Collectors specified for operating at atmospheric pressure or below shall be pressure tested at the discretion of the test director, but at no greater than 170 kPa gauge (25 psig).
- E. Determination of test pressure shall be based on documentation supplied with the collector and collector markings.

##### 5.3.2 METHOD OF TESTING

Either hydrostatic or pneumatic pressure sources are required to be used on liquid filled collectors. Pneumatic pressure sources shall be used for air collectors.

- A. Liquid Collectors:

1. A pressure gauge shall be attached to read pressure at the collector, the collector shall be completely filled with fluid between 5°C (41°F) and 30°C (86°F), and the exit port shall be closed off. The ambient temperature shall be between 5°C (41°F) and 30°C (86°F).
2. Hydraulic pressure shall be applied via the inlet port until the gauge indicates the test pressure.
3. After stable test pressure has been achieved, the exit port shall be closed and the pressure shall be monitored for 10 minutes.
4. If the pressure drops by more than 17kPa (2.5 psi) or 5% of the test pressure, whichever is greater, the collector shall be deemed to have failed the test.

##### B. Air Collectors:

1. Pressure shall be measured at the exit port of the test specimen with an accuracy of no less than 2.5 Pa (0.01 inches water column). The air column shall be measured at any location between the air supply source and the collector with an accuracy of no less than 14.0 liters (0.5 cubic feet).
2. The pressure applied to the inlet port shall be increased to 125 Pa (0.5 inch water column) and monitored for a period of one hour. The volume of air added or removed in order to maintain the required pressure shall be documented.

#### 5.4 EXPOSURE TEST

The purpose of this test is to verify integrity of construction after a minimum of 30 days of exposure to adverse conditions.

##### 5.4.1 METHOD OF TESTING

- A. The collector must be tested dry. However, units which use a sealed container, loop charged with a refrigerant, other phase change material or fluid, shall be tested with a normal charge of the material (according to manufacturer specifications).
- B. Exposure conditions shall consist of 30 days of cumulative exposure to a minimum daily incident solar radiation flux of 17 MJ/m<sup>2</sup> day (1,500 Btu/ft<sup>2</sup> day) as measured in the plane of the collector aperture.

Part of the exposure test may be conducted indoors under a solar simulator, if the following conditions are met:

1. The minimum irradiance must meet ISO 9806-2, Table 4, Class B: 950 W/m<sup>2</sup> with a daily total of 18 MJ/m<sup>2</sup>
2. The ambient air temperature must be above 15 °C

3. Irradiation must be continuous until at least 18 MJ/m<sup>2</sup> of radiation has been measured in the plane of the collector. Then the lamp(s) must be turned off until the absorber returns to ambient air temperature. This sequence will count as one day of exposure.
4. A maximum of ten days of the exposure test may be performed indoors.
- C. Data recorded and reported during exposure testing shall include integrated daily solar radiation and ambient air temperature. A regularly scheduled weekly visual inspection shall also be made, and a record of changes in the physical appearance of the collector shall be kept.

#### 5.5 THERMAL SHOCK/WATER SPRAY TEST

The external thermal shock test shall be performed as specified in ISO 9806-2, Section 8, Class B. Where testing is conducted outdoors, one external shock shall be performed on each of two different days of the exposure test. Where testing is conducted indoors under a solar simulator, the second test may be performed on the same day as the first test provided that the collector has cooled to ambient air temperature (at the outlet fluid port) before this test is begun. Any test specimen whose integrity is permanently compromised by this test such that it obviously will not be able to perform later shall be considered to have failed the test.

#### 5.6 THERMAL SHOCK/COLD FILL TEST

Following the last water spray test, the internal thermal shock test shall be performed as specified in ISO 9806-2, Section 9, Class B. If this test is conducted outdoors, it shall be performed on a different day than the external shock test. If this test is conducted indoors under a solar simulator, it may be performed on the same day as one or both of the water spray tests, provided that the collector has cooled to ambient air temperature (as measured by a temperature sensor inserted in the outlet fluid port) before this test is begun.

A collector shall be considered to have failed the test when the test specimen experiences permanent distortion, damage or degradation of performance.

#### 5.7 STATIC PRESSURE TEST

A static pressure test shall be conducted in accordance with Section 5.3 after exposure and prior to thermal performance testing.

#### 5.8 PRESSURE DROP TEST

The pressure drop across the collectors using a heat transfer fluid prescribed by the manufacturer shall be measured at sufficiently small flow rate intervals to accurately describe the pressure drop characteristics from minimum through maximum design flow rates, and shall include the flow rate used for the efficiency test. This testing shall be

conducted in accordance with ISO 9806-1 or 9806-3 with the exception that the accuracy of the pressure drop instrument must be no greater than 1.0% of the reading.

## 5.9 COLLECTOR TIME CONSTANT

A time constant test shall be conducted to determine the time required for the outlet fluid temperature to attain 63.2% of its steady state value following a step change in the input. The test specimen shall be tested in accordance with ISO 9806-1, Section 10 and ISO 9806-3, Section 10.

## 5.10 THERMAL PERFORMANCE TEST

Test specimens that meet the requirements of Sections 5.1 - 5.9 shall be tested in accordance with Section 5.10. The thermal performance test determines "instantaneous" efficiency of the solar collector over a wide range of operating temperatures.

### 5.10.1 LIQUID HEATING

#### 5.10.1.1 Glazed collectors

Specimens shall be tested in accordance with ISO 9806-1 with the following exceptions:

- The preconditioning steady-state period and the test period shall each be a minimum of 10 minutes.
- The highest inlet test temperature shall be the lowest of:
  - a. 90°C
  - b. The temperature at which the temperature rise across the collector is between 1.5 and 2.0 °K at the given ambient test conditions.

#### 5.10.1.2 Unglazed collectors

Specimens shall be tested in accordance with ISO 9806-3 with the following exceptions:

- The lowest inlet test temperature shall be between 1°K and 3°K above the collector environment dew point temperature at the time of the test.
- The highest inlet test temperature shall be the temperature at which the temperature rise across the collector is between 1.0 and 1.5 °K at the given ambient test conditions.

### 5.10.2 AIR HEATING

Specimens shall be tested in accordance with ASHRAE 93.

Air-heating collectors shall be tested at the higher of the flow rate specified by the collector manufacturer or the flow rate necessary for the temperature rise across the collector to be at least 10°K when operating with the inlet air temperature equal to the ambient air temperature under a solar irradiance of 900 W/m².

## 5.11 COLLECTOR INCIDENT ANGLE MODIFIER

The incident angle modifier curve is determined for each test specimen in accordance with ISO 9806-1 or ISO 9806-3.

Biaxial incident angle modifiers are required on collectors that are non-symmetrical in their response to irradiance as solar altitude and azimuth change. Data shall be taken in each of the two perpendicular planes that characterize the collector geometry.

## 5.12 DISASSEMBLY AND FINAL INSPECTION

After the completion of testing, test specimens shall be disassembled and inspected. Any visible damage, deformation, discoloration or flaw shall be recorded.

## 6.0 COLLECTOR STANDARDS

Section 6.0 establishes minimum requirements for durability in collector design and construction.

### 6.1 COVER

#### 6.1.1 TEMPERED GLASS

Where the outer cover is constructed of tempered glass, testing shall not be required.

#### 6.1.2 NON-GLASS AND NON-TEMPERED GLASS

The outer cover one test specimen shall be tested in accordance with ISO 9806-2, paragraph 12. Where the outer cover is not flat, the impact shall be perpendicular to the curvature.

#### 6.1.3 IMPACT RESISTANCE RATING

For non-glass and non-tempered glass collector covers, the results of the test in 6.1.2 shall be used to rate the impact resistance of the cover using the following scale. Tempered glass covers shall be given a scale rating of 11.

Scale Minimum height at which the cover sustains damage

0	No test has been conducted
1	0.4 meter (1.3 ft)
2	0.6 meter (2.0 ft)
3	0.8 meter (2.6 ft)
4	1.0 meter (3.3 ft)
5	1.2 meter (3.9 ft)
6	1.4 meter (4.6 ft)
7	1.6 meter (5.3 ft)
8	1.8 meter (5.9 ft)
9	2.0 meter (6.6 ft)
10	Greater than 2.0 meter (6.6 ft)
11	Tempered glass cover

## 6.2 CONDENSATION

The collector shall be designed to prevent condensate build-up. The use of desiccants to control condensation shall be permitted. Test reports shall note any unusual condensate build up during any point in the testing.

## 6.3 PRESSURE TEST RESULTS

### 6.3.1 LIQUID:

A collector, after testing, shall be considered passable if: (a) a loss of pressure greater than that specified in Section 5.3.3 does not occur; (b) there is no evidence of fluid leakage; and (c) there is no evidence of fluid path deterioration including but not limited to swelling and stretching.

### 6.3.2 AIR:

A collector, after testing, shall be considered passable if there is no evidence of permanent fluid path deterioration including but not limited to swelling and stretching.

## 6.4 THERMAL SHOCK/WATER SPRAY RESULTS

The collector structure and performance shall not be degraded by moisture penetration. There shall be no cracking, crazing, warping or buckling of the cover plate.

## 6.5 DISASSEMBLY AND FINAL INSPECTION

After completing the test sequence outlined in Section 5.0, the collector shall be disassembled and subassemblies visually inspected and their condition noted. The format specified in ISO 9806-2, Appendix A.14, "Final inspection results," shall be used to report conditions observed. Listed below are the items covered.

Collector component	Inspection Criteria
a. Collector box/fasteners	Cracking/warping/corrosion/rain prevention
b. Mountings/structure	Strength/safety
c. Seals/gaskets	Cracking/adhesion/elasticity
d. Cover/reflector	Cracking/crazing/buckling/delamination/warping/outgassing
e. Absorber coating	Cracking/crazing/blistering
Absorber tubes and headers	Deformation/corrosion/leakage/loss of bonding
Absorber mountings	Deformation/corrosion
f. Insulation	Water retention/outgassing/degradation

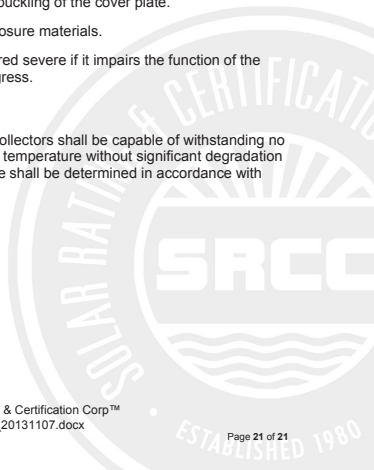
Test specimens and their components shall exhibit no conditions capable of producing premature failure including, but not limited to:

- a. Severe deformation\* of the absorber.
- b. Severe deformation\* of the fluid flow passages.
- c. Loss of bonding between fluid flow passages and absorber plate.
- d. Leakage from fluid flow passages or connections.
- e. Loss of mounting integrity.
- f. Severe corrosion\* or other deterioration caused by chemical action.
- g. Cracking, cracking, blistering or flaking of the absorber coating or reflective surfaces.
- h. Excessive retention of water anywhere in the collector.
- i. Swelling, severe outgassing or other detrimental changes in the collector insulation which could adversely affect collector performance.
- j. Cracking, loss of elasticity, or loss of adhesion of gaskets and sealants.
- k. Leakage or damage to hoses used inside the collector enclosure, or leakage from mechanical connections.
- l. Cracking, crazing, permanent warping or buckling of the cover plate.
- m. Cracking or warping of the collector enclosure materials.

\* Deformation or corrosion shall be considered severe if it impairs the function of the collector or there is evidence that it will progress.

#### **6.6 PROTECTION OF MATERIAL**

Materials used in the construction of solar collectors shall be capable of withstanding no less than 1000 hours per year at stagnation temperature without significant degradation over the design life. Stagnation temperature shall be determined in accordance with ISO 98062, Annex B.1 or B.2





**CERTIFIED SOLAR COLLECTOR**

SUPPLIER:  
**Solar Panels Plus**  
2133 Smith Ave  
Chesapeake, VA 23320 USA  
www.solarpanelsplus.com  
In Accordance with:  
**SRCC Standard 100-2008-02**

BRAND: Solar Panels Plus  
MODEL: SPP-30A  
COLLECTOR TYPE: Tubular  
CERTIFICATION #: 2008050D  
Original Certification: February 18, 2010  
Expiration Date: July 30, 2020

The solar collector listed below has been evaluated by the Solar Rating & Certification Corporation™ (SRCC™), an ANSI accredited and EPA recognized Certification Body, in accordance with SRCC OG-100, Operating Guidelines and Minimum Standards for Certifying Solar Collectors, and has been certified by the SRCC. This award of certification is subject to all terms and conditions of the Program Agreement and the documents incorporated therein by reference. This document must be reproduced in its entirety.

COLLECTOR THERMAL PERFORMANCE RATING							
Kilowatt-hours (thermal) Per Panel Per Day				Thousands of Btu Per Panel Per Day			
Climate ->	High Radiation (6.3 kWh/m <sup>2</sup> .day)	Medium Radiation (4.7 kWh/m <sup>2</sup> .day)	Low Radiation (3.1 kWh/m <sup>2</sup> .day)	Climate ->	High Radiation (2000 Btu/ft <sup>2</sup> .day)	Medium Radiation (1500 Btu/ft <sup>2</sup> .day)	Low Radiation (1000 Btu/ft <sup>2</sup> .day)
Category (Ti-Ta)				Category (Ti-Ta)			
A (-5 °C)	13.9	10.5	7.0	A (-9 °F)	47.4	35.7	24.0
B (5 °C)	13.4	10.0	6.5	B (9 °F)	45.8	34.0	22.3
C (20 °C)	12.5	9.1	5.7	C (36 °F)	42.8	31.1	19.4
D (50 °C)	10.7	7.2	3.9	D (90 °F)	36.4	24.7	13.2
E (80 °C)	8.5	5.2	2.0	E (144 °F)	28.8	17.9	7.0
A- Pool Heating (Warm Climate) B- Pool Heating (Cool Climate) C- Water Heating (Warm Climate) D- Space & Water Heating (Cool Climate) E- Commercial Hot Water & Cooling							

COLLECTOR SPECIFICATIONS					
Gross Area:	4.810 m <sup>2</sup>	51.78 ft <sup>2</sup>	Dry Weight:	86 kg	190 lb
Net Aperture Area:	4.157 m <sup>2</sup>	44.74 ft <sup>2</sup>	Fluid Capacity:	1.6 liter	0.4 gal
Absorber Area:	0.000 m <sup>2</sup>	0.00 ft <sup>2</sup>	Test Pressure:	600 kPa	87 psi

TECHNICAL INFORMATION		Tested in accordance with:			
ISO Efficiency Equation [NOTE: Based on gross area and (P)=Ti-Ta]					
SI UNITS:	$\eta = 0.477 - 0.93740(P/G) - 0.00655(P^2/G)$	Y Intercept:	0.481	Slope:	-1.334 W/m².°C
IP UNITS:	$\eta = 0.477 - 0.16521(P/G) - 0.00064(P^2/G)$	Y Intercept:	0.481	Slope:	-0.235 Btu/hr.ft².°F

Transverse Incident Angle Modifier								Longitudinal Incident Angle Modifier at 50°:	
θ	10	20	30	40	50	60	70	Test Fluid:	Water
K <sub>ra</sub>	1.01	1.06	1.12	1.18	1.17	0.78		Test Mass Flow Rate:	0.0202 kg/(s m <sup>2</sup> ) 14.88 lb/(hr ft <sup>2</sup> )

REMARKS:

*Jim Higgins*

Technical Director





## CERTIFIED SOLAR COLLECTOR

SUPPLIER:  
**Solar Panels Plus**  
2133 Smith Ave  
Chesapeake, VA 23320 USA  
www.solarpanelsplus.com

In Accordance with:  
**SRCC Standard 100-2008-02**

BRAND: Solar Panels Plus  
MODEL: SPP-30A  
COLLECTOR TYPE: Tubular  
CERTIFICATION #: 2008050D  
Original Certification: February 18, 2010  
Expiration Date: July 30, 2020

The solar collector listed below has been evaluated by the Solar Rating & Certification Corporation™ (SRCC™), an ANSI accredited and EPA recognized Certification Body, in accordance with SRCC OG-100, Operating Guidelines and Minimum Standards for Certifying Solar Collectors, and has been certified by the SRCC. This award of certification is subject to all terms and conditions of the Program Agreement and the documents incorporated therein by reference. This document must be reproduced in its entirety.

### ADDITIONAL INFORMATION ([click here to return to the rating page](#))

Test Lab:	Bodycote	Test Date:	July 30, 2008
Test Report Number:	07-08-0528	Test Location:	

### SOLAR COLLECTOR CONSTRUCTION DETAILS

#### Header Enclosure:

Gross Length:	0.000 m	Gross Width:	0.000 m	Gross Depth:	
Tube Bank:					
Gross Length:		Gross Width:			

### COLLECTOR MATERIALS

Outer Cover:	Other	Enclosure back:	Steel	Back Insulation:	
Inner Cover:	None	Enclosure side:	Steel	Side Insulation:	
Absorber Description:		Flow Pattern:			
Riser Tube:	Copper	Fin:			
Absorber Coating:	Selective	Tube to fin connection			

GLAZING		Outer Cover		Inner Cover	
Material:		Other		None	
Surface Characteristics:					
Thickness:		0.0 mm		N/A	
Transmissivity:					
Gross Tube Length (uninstalled):		0.000 m			
Diameter:		0.000 m			
Tube Glazing to Header Enclosure Seal:					
Reflector Shape:			Reflector Material:		

### ABSORBER





## CERTIFIED SOLAR COLLECTOR

SUPPLIER:  
**Solar Panels Plus**  
2133 Smith Ave  
Chesapeake, VA 23320 USA  
www.solarpanelsplus.com

In Accordance with:  
**SRCC Standard 100-2008-02**

BRAND: Solar Panels Plus  
MODEL: SPP-30A  
COLLECTOR TYPE: Tubular  
CERTIFICATION #: 2008050D  
Original Certification: February 18, 2010  
Expiration Date: July 30, 2020

The solar collector listed below has been evaluated by the Solar Rating & Certification Corporation™ (SRCC™), an ANSI accredited and EPA recognized Certification Body, in accordance with SRCC OG-100, Operating Guidelines and Minimum Standards for Certifying Solar Collectors, and has been certified by the SRCC. This award of certification is subject to all terms and conditions of the Program Agreement and the documents incorporated therein by reference. This document must be reproduced in its entirety.

Header Material:		Header OD:		Header Wall:	
Riser Tube Material:	Copper	Riser Tube OD:		Riser Tube Wall Thickness:	
Fin Material:		Fin Thickness:	0.00 mm		

Flow Pattern:		Number of Flow Tubes / Heat Pipes:	0	Tube / Heat Pipe Spacing:	
Number of absorber tubes:	0	Flow Tube to Fin Bond:		Length of Flow Path:	0.00 m
Length of Flow Path:	0.00 m	Riser to Fin/Plate Bond:			

INSULATION:					
Location	Type	Thickness	Location	Type	Thickness
Back – Top Layer:			Sides – Inner Layer:		
Back – Bottom Layer:			Sides – Outer Layer:		
Enclosure Fastening Methods:			Header Enclosure:		

Power Output per Collector(W) [ Ti-Ta, G = 1000 W/m <sup>2</sup> ]				
0	10	30	50	70

PRESSURE DROP				
Flow	ΔP		Flow	ΔP
ml/s	Pa		gpm	in H <sub>2</sub> O
20			0.32	
50			0.79	
80			1.27	





**CERTIFIED SOLAR COLLECTOR**

SUPPLIER:  
**Zhejiang Sidite New Energy Co., Ltd.**  
Yuxin Industrial Zone, Yuxin Town  
Jiaxing, ZHEJIANG PROVINCE 314009 China  
www.sidite-solar.com  
In Accordance with:  
**SRCC Standard 100-2010-08**

BRAND: Sidite  
MODEL: SC-H-30  
COLLECTOR TYPE: Tubular  
CERTIFICATION #: 2011103F  
Original Certification: August 25, 2011  
Expiration Date: April 29, 2023

The solar collector listed below has been evaluated by the Solar Rating & Certification Corporation™ (SRCC™), an ANSI accredited and EPA recognized Certification Body, in accordance with SRCC OG-100, Operating Guidelines and Minimum Standards for Certifying Solar Collectors, and has been certified by the SRCC. This award of certification is subject to all terms and conditions of the Program Agreement and the documents incorporated therein by reference. This document must be reproduced in its entirety.

COLLECTOR THERMAL PERFORMANCE RATING							
Kilowatt-hours (thermal) Per Panel Per Day				Thousands of Btu Per Panel Per Day			
Climate ->	High Radiation (6.3 kWh/m <sup>2</sup> .day)	Medium Radiation (4.7 kWh/m <sup>2</sup> .day)	Low Radiation (3.1 kWh/m <sup>2</sup> .day)	Climate ->	High Radiation (2000 Btu/ft <sup>2</sup> .day)	Medium Radiation (1500 Btu/ft <sup>2</sup> .day)	Low Radiation (1000 Btu/ft <sup>2</sup> .day)
Category (Ti-Ta)				Category (Ti-Ta)			
A (-5 °C)	11.4	8.6	5.8	A (-9 °F)	38.9	29.4	19.8
B (5 °C)	10.9	8.1	5.3	B (9 °F)	37.2	27.7	18.1
C (20 °C)	10.1	7.3	4.5	C (36 °F)	34.3	24.8	15.2
D (50 °C)	8.3	5.6	2.8	D (90 °F)	28.4	19.0	9.6
E (80 °C)	6.3	3.6	1.1	E (144 °F)	21.6	12.2	3.9
A- Pool Heating (Warm Climate) B- Pool Heating (Cool Climate) C- Water Heating (Warm Climate) D- Space & Water Heating (Cool Climate) E- Commercial Hot Water & Cooling							

COLLECTOR SPECIFICATIONS					
Gross Area:	4.572 m <sup>2</sup>	49.21 ft <sup>2</sup>	Dry Weight:	100 kg	220 lb
Net Aperture Area:	2.814 m <sup>2</sup>	30.29 ft <sup>2</sup>	Fluid Capacity:	1.8 liter	0.5 gal
Absorber Area:	2.414 m <sup>2</sup>	25.98 ft <sup>2</sup>	Test Pressure:	1100 kPa	160 psi

TECHNICAL INFORMATION		Tested in accordance with:			
ISO Efficiency Equation [NOTE: Based on gross area and (P)=Ti-Ta]					
SI UNITS:	$\eta = 0.343 - 0.99120(P/G) - 0.00485(P^2/G)$	Y Intercept:	0.343	Slope:	-1.209 W/m².°C
IP UNITS:	$\eta = 0.343 - 0.17469(P/G) - 0.00047(P^2/G)$	Y Intercept:	0.343	Slope:	-0.213 Btu/hr.ft².°F

Transverse Incident Angle Modifier								Longitudinal Incident Angle Modifier at 50°:	
θ	10	20	30	40	50	60	70	Test Fluid:	Water
K <sub>tr</sub>	1.02	1.09	1.20	1.35	1.52	1.54	0.46	Test Mass Flow Rate:	0.0121 kg/(s m <sup>2</sup> ) 8.94 lb/(hr ft <sup>2</sup> )

REMARKS:

*Jim Higgins*

Technical Director





## CERTIFIED SOLAR COLLECTOR

SUPPLIER:  
**Zhejiang Sidite New Energy Co., Ltd.**  
Yuxin Industrial Zone, Yuxin Town  
Jiaxing, ZHEJIANG PROVINCE 314009 China  
www.sidite-solar.com

BRAND: Sidite  
MODEL: SC-H-30  
COLLECTOR TYPE: Tubular  
CERTIFICATION #: 2011103F  
Original Certification: August 25, 2011  
Expiration Date: April 29, 2023

In Accordance with:  
**SRCC Standard 100-2010-08**

The solar collector listed below has been evaluated by the Solar Rating & Certification Corporation™ (SRCC™), an ANSI accredited and EPA recognized Certification Body, in accordance with SRCC OG-100, Operating Guidelines and Minimum Standards for Certifying Solar Collectors, and has been certified by the SRCC. This award of certification is subject to all terms and conditions of the Program Agreement and the documents incorporated therein by reference. This document must be reproduced in its entirety.

### ADDITIONAL INFORMATION ([click here to return to the rating page](#))

Test Lab:	ISFH Institut für Solarenergieforschung GmbH, Hameln/Emmerthal	Test Date:	April 29, 2011
Test Report Number:		Test Location:	

### SOLAR COLLECTOR CONSTRUCTION DETAILS

#### Header Enclosure:

Gross Length:	1.975 m	Gross Width:	2.315 m	Gross Depth:	
Tube Bank:					
Gross Length:		Gross Width:			

### COLLECTOR MATERIALS

Outer Cover:	Glass sheet	Enclosure back:	Aluminum	Back Insulation:	
Inner Cover:	Glass Tube	Enclosure side:	Aluminum	Side Insulation:	
Absorber Description:		Flow Pattern:			
Riser Tube:	Copper	Fin:			
Absorber Coating:	Selective	Tube to fin connection			

GLAZING	Outer Cover	Inner Cover
Material:	Glass sheet	Glass Tube
Surface Characteristics:		
Thickness:	1.8 mm	1.6 mm
Transmissivity:		
Gross Tube Length (uninstalled):	1.820 m	
Diameter:	0.058 m	
Tube Glazing to Header Enclosure Seal:	Silicone bead	
Reflector Shape:		Reflector Material:

### ABSORBER





## CERTIFIED SOLAR COLLECTOR

SUPPLIER:  
**Zhejiang Sidite New Energy Co., Ltd.**  
Yuxin Industrial Zone, Yuxin Town  
Jiaxing, ZHEJIANG PROVINCE 314009 China  
www.sidite-solar.com

BRAND: Sidite  
MODEL: SC-H-30  
COLLECTOR TYPE: Tubular  
CERTIFICATION #: 2011103F  
Original Certification: August 25, 2011  
Expiration Date: April 29, 2023

In Accordance with:  
**SRCC Standard 100-2010-08**

The solar collector listed below has been evaluated by the Solar Rating & Certification Corporation™ (SRCC™), an ANSI accredited and EPA recognized Certification Body, in accordance with SRCC OG-100, Operating Guidelines and Minimum Standards for Certifying Solar Collectors, and has been certified by the SRCC. This award of certification is subject to all terms and conditions of the Program Agreement and the documents incorporated therein by reference. This document must be reproduced in its entirety.

Header Material:		Header OD:		Header Wall:	
Riser Tube Material:	Copper	Riser Tube OD:		Riser Tube Wall Thickness:	
Fin Material:		Fin Thickness:	0.25 mm		

Flow Pattern:		Number of Flow Tubes / Heat Pipes:	30	Tube / Heat Pipe Spacing:	
Number of absorber tubes:	30	Flow Tube to Fin Bond:		Length of Flow Path:	1.71 m
Length of Flow Path:	1.71 m	Riser to Fin/Plate Bond:			

INSULATION:					
Location	Type	Thickness	Location	Type	Thickness
Back – Top Layer:			Sides – Inner Layer:		
Back – Bottom Layer:			Sides – Outer Layer:		
Enclosure Fastening Methods:			Header Enclosure:		

Power Output per Collector(W) [ Ti-Ta, G = 1000 W/m <sup>2</sup> ]				
0	10	30	50	70

PRESSURE DROP				
Flow	ΔP		Flow	ΔP
ml/s	Pa		gpm	in H <sub>2</sub> O
20			0.32	
50			0.79	
80			1.27	





BROAD CENTRAL AIR CONDITIONING (ABSORPTION LiBr+H<sub>2</sub>O)

# BROAD X NON-ELECTRIC CHILLER

## MODEL SELECTION & DESIGN MANUAL



ENERGY CONSERVATION IS  
PRIORITY OF A/C



### ■ Function

Cooling, heating, hot water (dedicatedly or simultaneously)

### ■ Application

- Provide chilled/heating water for large-scale buildings
- Produce chilled water over 41°F and heating water below 203°F

### ■ Cooling capacity

6.6-3,307Rt(23-11,630kW)

### ■ Energy sources

- Natural gas, town gas, biogas, diesel, recycled oil
- gas/oil dual fuel, gas & waste heat hybrid (multiple energy)
- waste heat from power generation industrial waste streams (steam, hot water, exhaust, etc)

### ■ Super energy-saving

- Compared with conventional electric air conditioning, the energy efficiency of BROAD non-electric air conditioning is 2 times higher, while their CO<sub>2</sub> emissions are 4 times lower.
- Compared with conventional water distribution systems, BROAD packaged pumpset system reduces the rated power demand by 40-60%, and the operating electricity consumption by 60-75%.

## Packaged Single-stage Steam/Hot W/Exhaust Chiller

Performance Data BYDS/BYDH/BYDE: steam/hot water/exhaust  
(pumpset, enclosure data are the same as steam chiller)

code	model	cooling capacity		chilled W		cooling W		steam consump.	hot water consump.	exhaust consump.	power demand	solution wt.	unit ship. wt.	main shell ship. wt.	chiller operation weight
				flowrate	pressure drop	flowrate	pressure drop								
		Rt	kW	GPM	ftH <sub>2</sub> O	GPM	ftH <sub>2</sub> O	lb/h	GPM	lb/h	kW	klbs	klbs	klbs	klbs
single-stage steam chiller	20	66	233	126	10	285	16.7	1011	/	/	2.5	1.5	7.7	/	8.8
	50	165	582	314	10	713	16.7	2528	/	/	2.5	3.7	14	/	15
	75	248	872	471	10	1069	20	3793	/	/	5.3	4.8	19	/	21
	100	331	1163	629	10	1425	20	5057	/	/	5.7	5.3	23	/	25
BDS steam 14.5psig	125	413	1454	786	10	1782	20	6321	/	/	5.7	7.0	27	/	31
	150	496	1745	943	13.4	2138	20	7584	/	/	5.7	7.7	31	/	35
	200	661	2326	1257	13.4	2847	20	10112	/	/	8.6	12.1	44	/	48
	250	827	2908	1571	16.7	3560	23	12640	/	/	10.1	13.2	52	/	57
	300	992	3489	1886	16.7	4272	23	15170	/	/	10.1	18.1	62	/	68
	400	1323	4652	2514	16.7	5698	23	20227	/	/	13.9	19.6	70	/	81
	500	1653	5815	3143	20	7119	30	25282	/	/	13.8	25.8	/	59	97
	600	1984	6978	3771	20	8545	30	30339	/	/	17.5	31.9	/	64	108
single-stage hot water chiller	20	60	209	113	8.4	262	16.7	/	108	/	2.5	1.5	7.7	/	8.8
	50	146	512	277	8.4	642	16.7	/	264	/	2.5	3.7	14	/	15
	75	220	767	415	8.4	959	20	/	382	/	5.3	4.8	19	/	21
	100	292	1023	553	8.4	1280	20	/	510	/	5.7	5.3	23	/	25
BDH hot water 208°F	125	365	1279	691	8.4	1602	20	/	638	/	5.7	7.0	27	/	31
	150	439	1535	830	10	1923	20	/	765	/	5.7	7.7	31	/	35
	200	585	2046	1106	10	2561	20	/	1020	/	8.6	12.1	44	/	48
	250	730	2558	1383	13.4	3203	23	/	1272	/	10.1	13.2	52	/	57
	300	877	3069	1659	13.4	3841	23	/	1527	/	10.1	18.1	62	/	68
	400	1169	4092	2231	13.4	5122	23	/	2037	/	13.9	19.6	73	/	81
	500	1461	5115	2766	16.7	6402	30	/	2547	/	13.8	25.8	/	62	97
	600	1754	6138	3319	16.7	7682	30	/	3058	/	17.5	31.9	/	66	110
single-stage exhaust chiller	20	66	233	126	10	285	16.7	/	/	12533	2.5	1.7	8.8	/	9.7
	50	165	582	314	10	713	16.7	/	/	31332	2.5	4.6	15	/	17
	75	248	872	471	10	1069	20	/	/	47000	5.3	5.5	20	/	20
	100	331	1163	629	10	1425	20	/	/	62665	5.7	6.2	24	/	24

## General Conditions:

- Rated saturated steam pressure for BDS chiller 14.5psig. Rated condensate temperature for BDS chiller: 203°F
- Rated hot W inlet/outlet temp for single-stage hot W chiller: 208°F/190°F
- Rated exhaust inlet/outlet temp for single-stage exhaust chiller: 572°F/266°F
- Rated chilled W outlet/inlet temp: 44°F/56.7°F
- Rated cooling W outlet/inlet temp: 97.5°F/85°F
- Lowest permitted outlet temperature for chilled water: 41°F
- Lowest permitted inlet temperature for cooling water: 50°F
- Adjustable chilled water flowrate: 50%~120%
- Pressure limit for chilled/cooling W: 116psig
- Adjustable load: 5%~115%
- Fouling factor for chilled W: 0.0001hr ft<sup>2</sup>·°F/Btu, for cooling W: 0.00025hr ft<sup>2</sup>·°F/Btu
- LiBr Solution concentration: 50%. Solution weight is included in unit ship, wt.
- Machine room ambient temperature: 41~109°F, humidity ≤ 85%
- Rated COP: single-stage steam chiller and exhaust chiller: 0.79, single-stage hot W chiller: 0.76
- Life design: 25 years
- Please refer to P5, P6 & P7 for performance curve, model selection & ordering and supply list information.