

**Seleção do coletor solar em sistemas brasileiros de aquecimento de água**Recieli Knoner Santos<sup>1</sup>, Ítalo Alberto Gática Rispoli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduanda em Engenharia Civil Centro Universitário Adventista de São Paulo – UNASP. Estrada Municipal Pr. Walter Boger, s/n, CEP: 13165-970, Lagoa Bonita - Engenheiro Coelho.

<sup>2</sup>Engenheiro Civil. Doutor em Ciências da Engenharia pela Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo (FEC UNICAMP). Docente (UNASP).

reciksantos@gmail.com, italo.gatica@gmail.com

**Resumo:** A ideia predominante para a escolha de um sistema de aquecimento solar é geralmente fundamentada no investimento financeiro do equipamento e na temperatura de operação do mesmo, nem sempre é levado em consideração a condição do clima local. Por isso, este estudo tem por objetivo disponibilizar subsídios para a escolha da tecnologia de aquecimento solar mais apropriada, de acordo com a quantidade de radiação solar, o índice de claridade de cada região e outras variáveis que caracterizam o clima local. Realizado através da análise de informações presentes em banco de dados e na bibliografia, é apresentado as diferentes aplicações do coletor solar plano de placa aberta e fechada, do coletor de tubos evacuados e do concentrador de seção parabólico. Como o Brasil apresenta uma diversidade geográfica e climática grande, é fundamental a escolha de um sistema de aquecimento solar adequado.

**Palavras-chave:** Índice de claridade; Tecnologia solar; Coletor solar; Concentrador solar.

**Solar collector selection in brazilian water heating systems**

**Abstract:** The predominant idea for choice of a solar heating system is usually fundamented on the financial investment of the equipment and the temperature of operation, the weather conditions at the location are not always taken in consideration. Thus, this study focuses on providing a more appropriate technical choice of solar heating, according to the amount of solar radiation, the light index at each region and other variables that characterize the local climate. Accomplished through analysis of information present in the database and bibliography, is presented the different applications of flat-plate collector opened and closed, the collector evacuated tubes and parabolic concentrator section. Brazil presents a diverse geography and climate, it is fundamental to choose a solar heating system that better suits the different locations.

**Keywords:** Lightness index; Solar technology; Solar collector; Solar concentrator.

**Introdução**

O Brasil é o único país do mundo cortado pela linha do Equador ao norte e trópico de capricórnio ao sul. É um País extenso, ocupa 47% da América do Sul, com a

maior parte do seu território localizado relativamente próximo da linha do Equador. No entanto, grande parte da população brasileira e das atividades socioeconômicas do País se concentra mais ao sul, em regiões distantes da linha do Equador. Devido à disposição geográfica de cada região e à climatologia local, a instalação de certo modelo de coletor ou concentrador solar, por exemplo, na região norte do país, não terá a mesma eficiência se instalado no extremo sul, por conta da variabilidade climática numa larga extensão de latitudes e o contrário será inviável do ponto de vista econômico. Ao norte do Brasil está a capital do Pará, Belém, na latitude  $-1,47^\circ$  e ao sul, a capital do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, na latitude  $-30^\circ$  (Tiba, 2000).

A problemática em questão seria: onde cada modelo tecnológico se apropria melhor? A simples inserção do Sistema de Aquecimento Solar (SAS) não significa um bom aproveitamento dessa fonte (Raimo, 2007). Geralmente por falta de conhecimento, não considera se o modelo do equipamento vai expressar o máximo rendimento proposto pelo fabricante. Rísoli (2008) comenta que muitos projetistas deixam o dimensionamento a cargo do vendedor ou até mesmo sob o julgamento do instalador, e na maioria das vezes o SAS é instalado de forma insuficiente ou com um superdimensionado.

Com o objetivo de contribuir no meio acadêmico e comercial, o presente trabalho junta informações de várias tecnologias brasileiras centradas na área coletora solar, para tal, foram estudados e analisados diversos modelos de coletor e aplicados a diferentes latitudes, ao final apresentando tabelas explicativas e comparativas com o modelo do equipamento, a região mais adaptada para o uso e sua faixa de temperatura operacional.

### *Radiação solar*

A radiação solar, ao atravessar a atmosfera, é submetida à ação de seus componentes, parte é absorvida por gases e a outra parte é dispersa e refletida. A radiação global que atinge um plano inclinado localizado na superfície terrestre pode ser dividida em três componentes, a radiação direta, difusa e albedo (Foster *et al*, 2010). A direta é a radiação solar que incide diretamente na superfície. A difusa é a radiação solar que é espalhada ou refletida de volta para a Terra, ela é responsável pela claridade do

céu durante o dia e também pela iluminação de áreas que não recebem iluminação direta do sol. E albedo é a parcela de radiação que é refletida ao atingir o solo (Viana, 2010).

Os coletores solares tradicionalmente planos e absorvedores coletam tanto a radiação solar direta quanto a difusa, a grande maioria apresenta construção simples e permanecem estáticos em toda sua vida útil (Silva, 2012). Diferentemente dos concentradores solares que funcionam com a componente direta da radiação solar, e precisam estar o tempo todo com o foco ajustado ao movimento aparente do Sol em torno da Terra durante o dia. Tanto os coletores planos, quanto os de tubos evacuados e os concentradores solares, devem sempre que possível estar orientados para o norte verdadeiro, no hemisfério sul, para que haja um maior aproveitamento da radiação solar (NBR12269, 1992).

Para os coletores solares planos estáticos, um modo de maximizar o aproveitamento da radiação solar de acordo com a NBR 12269 (1992) é direcionar a superfície para o Norte ajustando a posição e a inclinação do painel solar de acordo com a latitude local mais 10°, e o período do ano em que se requer mais energia. No inverno, para o melhor aproveitamento da radiação aconselha-se que o painel esteja mais inclinado, e no verão menos inclinado, de acordo com a inclinação ideal, para seu melhor rendimento (Ríspoli, 2008).

#### *Coletores e suas especificações*

Os coletores solares planos são divididos em duas categorias, sendo um aberto e o outro fechado. O coletor solar aberto é usualmente empregado para o aquecimento de piscinas a uma temperatura de 25°C a 30°C, geralmente fabricado de polipropileno, resistente ao cloro e outros produtos químicos, instalado em residências, clubes e hotéis (Rede Brasil, 2008). Esse modelo de coletor não possui cobertura transparente nem isolamento térmico. Para um diferencial de temperatura baixo, Rosa (2012) constatou que o coletor solar aberto é o mais vantajoso financeiramente em quase todo o território brasileiro. Em aplicações de baixa temperatura são normalmente mais eficientes que os coletores planos fechados e coletores a vácuo (Mesquita, 2013).

Esse tipo de material, quando exposto as intempéries pode ter seu desempenho reduzido pela ação do ar frio e do vento, agravando-se na estação fria do ano. Não compensa utilizar coletor aberto quando a média mensal da temperatura ambiente for

inferior a 20°C (Costa, 2002). No entanto, os polímeros iniciam um processo irreversível de deformação por volta dos 70°C, por isso não se deve utilizar polímeros protegidos por caixas fechadas com superfície transparente, e a ausência de cobertura acaba reduzindo o custo final do coletor.

O coletor solar aberto é apropriado quando o diferencial de temperatura desejado é baixo, em locais com elevado potencial de radiação e com o efeito do vento desprezado. Em cidades com grande variabilidade sazonal, tanto para irradiação solar como para temperatura ambiente, não são adequados. Em locais onde a temperatura ambiente média anual é baixa, o uso do coletor aberto fica restrito ao aquecimento de piscinas ou pré-aquecimento da água no uso industrial (Costa, 2002).

O coletor solar plano fechado pode chegar a uma temperatura final de 80°C. De acordo com o Departamento Nacional de Aquecimento Solar (DASOL) é o coletor mais utilizado no Brasil para residências, hotéis e hospitais. Geralmente instalado sobre o telhado das edificações e utilizado para fins domésticos, quando certificados pelo Instituto de Metrologia (INMETRO) não se considera no desempenho dos mesmos a influência dos ventos com velocidades superiores a 5m/s como prescrito na Norma Brasileira NBR 10184 (1988). Não é aconselhável o uso de coletor solar plano fechado em água de piscina tratada com sulfato de alumio, em locais com água dura (rica em sais de cálcio e magnésio), ou água com  $\text{pH} < 7$ , pois considera-se agressiva aos metais causando vazamentos na placa.

Neste tipo de coletor solar, os raios solares atravessam a cobertura transparente, parte da radiação composta pelas ondas curtas é absorvida pela placa absorvedora, que transfere o calor para a água que circula nos tubos (Mendonça, 2009).

Os coletores solares planos fechados são constituídos basicamente de uma caixa com fundo (metálica, polimérica ou outros compósitos), isolamento térmico para reduzir as perdas de calor no fundo e na lateral da caixa (poliuretano expandido, poliestireno, lã de vidro ou lã de rocha), uma placa de material leve geralmente de alumínio ou cobre pintada de preto fosco, para a melhor absorção da radiação, com tubos de cobre que servem para transferir a radiação em forma de calor para o fluido. E uma cobertura transparente de um material que resista a exposição prolongada ao Sol, que permite a entrada de radiação e evita que parte do calor se perca por convecção (Incropera *et al.*, 2008).

Aquecedores a vácuo são compostos de tubos de vidro, sendo dois tubos concêntricos, onde no interno está o fluido de trabalho, geralmente água, sendo ele coberto com uma camada seletiva, que na grande maioria dos coletores é composta por cobre metálico, aço inoxidável e nitreto de alumínio. A camada de cobre metálico proporciona baixos níveis de emissões e altos níveis de transmissão térmica para o líquido refrigerante, a camada de aço inoxidável permite a estabilidade da camada de cobre em temperaturas superiores a 400°C, e uma terceira camada de nitreto de alumínio aplicada simultaneamente na mistura de gás argônio e nitrogênio causa a absorção da radiação solar com baixíssima emissividade resultante (Manea, 2012). Entre o tubo interno e o externo está o isolamento a vácuo, que acaba sendo o responsável por diminuir as perdas por condução e convecção, isso faz com que seja vantajoso para operação em temperaturas mais altas, tipicamente acima de 75°C, o que é importante muitas vezes em projetos de aquecimento para processos industriais (Schweiger, 2001). E por fim uma estrutura que mantém os tubos presos ao cabeçote, este podendo ser de aço alumínio ou cobre, revestido de isolamento térmico (Mesquita, 2013).

O concentrador solar do tipo calha parabólica produz temperaturas superiores a 100°C, e em comparação com o coletor plano ocupa menos espaço, tem coeficiente de perdas térmicas menor, e é adaptado em aplicações de temperaturas elevadas (Pedrosa Filho, 2013). Possui um eixo de rotação para acompanhamento da trajetória do movimento aparente do Sol, pois seu funcionamento exige que os raios sejam recebidos diretamente na superfície parabólica. Sob sua superfície espelhos ou películas refletoras são aplicadas, com seção côncava que reflete a radiação para o foco da parábola, onde se posiciona um tubo com a finalidade de receber a radiação solar concentrada ao longo do comprimento. Pelo interior do tubo circula o fluido a ser aquecido, normalmente água (Cottret e Menichetti, 2010).

Porém a captação de radiação solar difusa por estes coletores é desprezível, em um dia nublado o aquecimento da água é insignificante. No Brasil o menor índice de nebulosidade junto ao maior índice de radiação solar, se encontra na parte central da região Nordeste, sendo esse um grande fator para apropriar este desenho na região (Tiba, 2000).

#### *Instalação do sistema*

Independente de qual modelo seja escolhido para aquecer a água, é preciso armazenar a energia acumulada durante o dia para utilizar em qualquer momento, para isso é necessário um reservatório térmico com a capacidade para atender a demanda de água quente da edificação. Na maioria das vezes o material do reservatório é de aço inoxidável ou polímero, revestidos com isolamento térmico. O corpo interno por ficar em contato direto com a água, é geralmente fabricado com materiais resistentes à corrosão como cobre, aço inoxidável e aço com tratamento vitrificado ou esmaltado (Rede Brasil, 2008).

Os reservatórios de água quente são classificados quanto ao seu posicionamento, horizontal e vertical. Quanto à pressão de trabalho, são classificados como de alta e baixa pressão e quanto seu funcionamento podendo operar em desnível ou em nível com a reserva de água fria (ABRAVA, 2008). O produto do volume presente no reservatório por um diferencial de temperatura ( $\Delta T$ ) desejável equivale ao calor exigido em kcal (Rísoli, 2008).

Há dois tipos de instalações distintas, que ligam o reservatório ao coletor tornando-se um sistema de aquecimento completo, classificados de acordo com Duffie e Backman (1991) como: sistema de circulação passiva (termossifão) e circulação ativa (forçada).

O sistema passivo tem a vantagem da ausência de bomba. O princípio é simples: a água quente é menos densa do que a água fria, fazendo com que a fria desça e a quente suba por convecção, provocando a circulação da água contida no reservatório, quanto maior o diferencial térmico maior será a vazão da água (Antunes, 2014). Porém, para que esse sistema funcione, algumas diretrizes básicas precisam ser seguidas. O coletor solar deve estar localizado em nível inferior ao reservatório térmico, o fundo do reservatório deve estar no mínimo 30 cm acima da aresta superior do coletor e no máximo 3 m, para que não haja circulação inversa. Por fim, o fundo da caixa de água fria deve estar pelo menos 10 cm acima do reservatório térmico, para que haja pressão suficiente nos pontos de consumo.

Além do sistema termossifônico, existe o de circulação forçada, pois nem todas as arquiteturas conseguem conciliar a distribuição espacial para que funcione corretamente esta modalidade. A NBR 12269 (1992) define circulação forçada como o movimento da água no SAS devido à imposição externa de pressão no circuito

hidráulico através de uma moto-bomba. Um controlador diferencial de temperatura é instalado e associado entre o reservatório térmico, junto a um ponto menos aquecido a um sensor, e outro nos coletores ligado junto ao ponto mais aquecido. Quando a temperatura nos coletores for entorno de 5°C superior à do reservatório, o controlador ativa a bomba de circulação, levando a água quente do coletor para o reservatório e a água que está mais fria do fundo do reservatório para os coletores.

A velocidade no circuito não pode ser muito elevada para que a massa de água, em tempo desejável ao passar pelo coletor aquecido, carregue o máximo calor possível, assim como a vazão deve ser proporcional entre a área coletora (David, 2014). No caso de coletores de tubos evacuados a maioria prevê que seja de circulação forçada, pois não existe diferença de altura na entrada e saída do coletor (Rosa, 2012).

### Material e métodos

#### *Ferramentas utilizadas*

Radiasol V1: Software composto de um banco de dados digital, usado para a determinação da radiação solar sob superfícies com diferentes ângulos de inclinação, com vários modelos do céu entre anisotropia e isotropia, elaborado pelo Grupo de Estudos Térmicos e Energéticos (GESTE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – (UFRGS), em 1998. Dele foram coletados dados da transparência atmosférica média mensal (Kt) de algumas cidades brasileiras.

Atlas solarimétrico: Atlas solarimétrico do Brasil, disponibilizado como livro impresso, e também pode ser encontrado em formato eletrônico. Possui mapeamento para a irradiação média brasileira com base em dados de satélite geostacionário. Versão de 1998, adaptado para esse trabalho em escala de cinza.

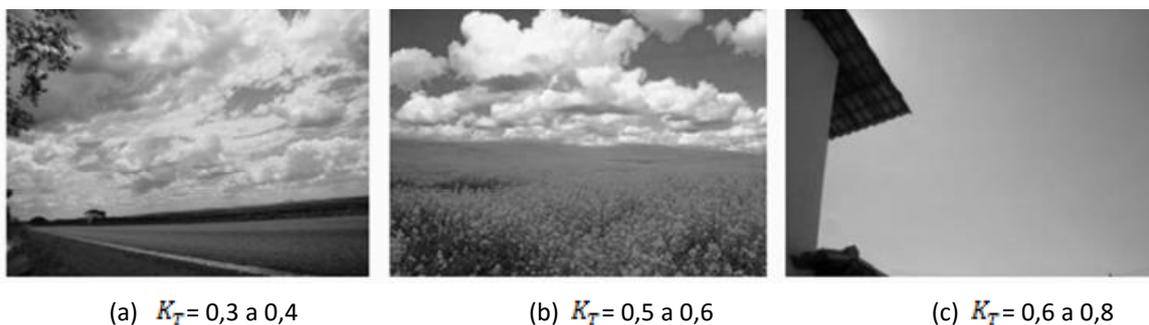
#### *Métodos de correlação*

A condição de cobertura do céu interfere no processo de transferência da radiação solar para forma de calor do SAS, classificada de acordo com o índice de transparência atmosférico (Kt) calculado pela razão entre a irradiação global que atinge a superfície terrestre ( $\bar{H}$ ) e a irradiação que incide no topo da atmosfera ( $\bar{H}_0$ ), conhecida por relação de Angström:

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a + b \frac{s}{N} \quad (1)$$

Onde “a” e “b” são coeficientes que variam de região para região. De acordo com Ricieri *et al.* (2004) há vários fatores que influenciam na variação destes parâmetros, dentre eles a poluição ambiental, umidade do ar, nebulosidade, latitude e altitude local. “s” é o número de horas de duração do brilho solar, médio mensal, e “N” o número teórico máximo de duração do dia, médio mensal.

Conforme Rísoli *et al.* (2013) é possível caracterizar o índice de transparência num dia de acordo com a qualidade visual da abóboda celeste, como mostra a figura 1. Para dias claros de céu limpo, o  $K_t$  varia de 0,6 podendo chegar até 0,8, isso quer dizer que a radiação incidente na superfície terrestre está no máximo próxima de 80% da radiação incidente do topo da atmosfera. As médias mensais anuais registradas no Radiosol V1 apresentam uma forte tendência de  $K_t$  próximo a 0,5 em quase todo território brasileiro, caracterizando clima parcialmente nublado com presença de luz solar. E por fim,  $K_t$  entre 0,3 e 0,4 é característica de um dia nublado.

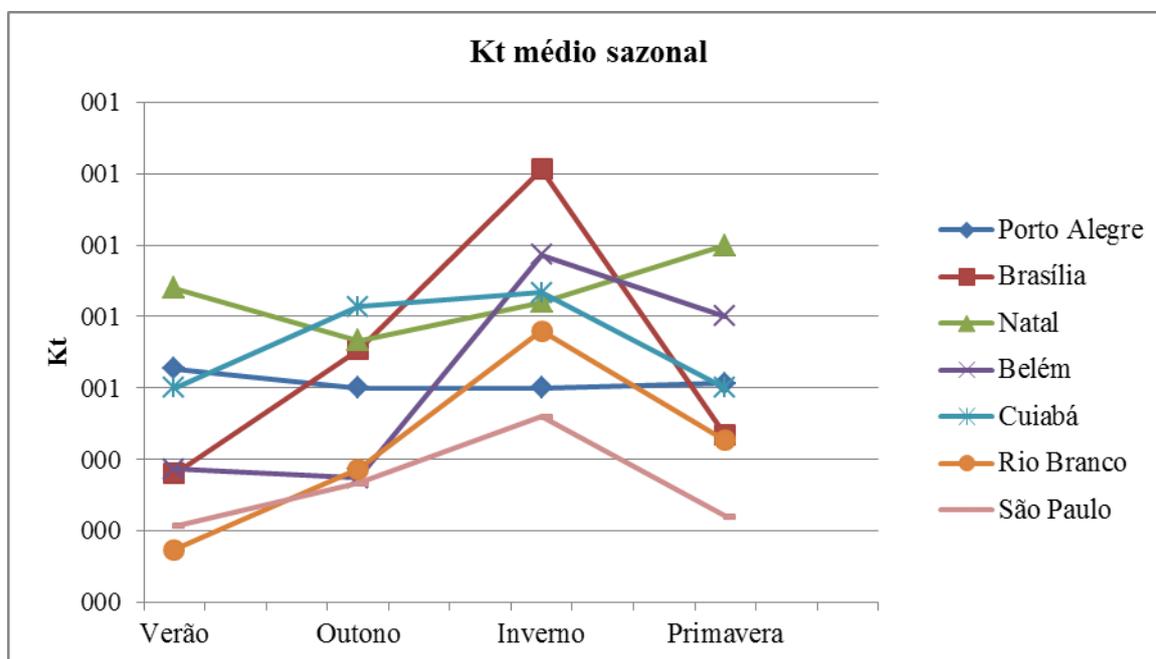


**Figura 1.** Índice de claridade. (a) Nublado. (b) Parcialmente nublado. (c) Limpo.

Fonte: Rísoli *et al.* (2013).

Para cada localidade são identificados diferentes intervalos de  $K_t$ , como o Brasil é um país com grande extensão geográfica proporcionando uma variedade de climas, foram retirados do RADIASOL dados de  $K_t$  mensal de várias cidades brasileiras, para a elaboração da Tabela 1. Na Figura 2 encontram-se as médias sazonais de  $K_t$  para algumas capitais das diferentes regiões brasileiras. Pode se analisar que no inverno se encontram maiores índices de claridade, pelo fato de ser uma época do ano de menores precipitações pluviométricas e baixa densidade de nebulosidade. E cidades da região

Nordeste e Centro-Oeste registram maiores valores de transferência atmosférica, fator preponderante para possível uso de concentradores solares.



**Figura 2.** Gráfico 1- Kt médio sazonal.

A intensidade do vento é um grande fator a ser considerado, pois o aumento da velocidade diminui a eficiência média dos coletores ao longo do ano, principalmente o coletor solar aberto, que em dias de muito vento e com temperatura ambiente baixa acaba atuando de forma precária (Siqueira, 2009).

Com os dados de estudo de Rosa (2012) ao relacionar coletor solar aberto, fechado e tubo evacuado, com algumas variações de temperatura e irradiação, pode se concluir que, em locais de predominância de climas desfavoráveis (dias chuvosos, nublados, temperatura baixa, e pouca radiação) o coletor que apresentou um melhor desempenho, foi o de tubo evacuado e depois o coletor fechado. Em locais onde a temperatura ambiente muitas vezes está acima de 30°C e com clima favorável (livre de pancadas de chuva e mudança de temperatura brusca e alto índice de radiação solar), o coletor a vácuo não é economicamente viável. Quando a temperatura de consumo for próxima à temperatura média do ambiente é aconselhável por razões econômicas o uso do coletor solar aberto (Costa, 2002).

Através dos valores de radiação contidos no mapa da Figura 3, e dos parâmetros analisados anteriormente, pode-se escolher o coletor que mais se enquadra para cada situação. Os coletores foram recomendados de acordo com a temperatura de funcionamento, portanto baixa temperatura classificado até 30°C (piscina ou pré-aquecimento). Temperatura média, comumente usada para residências com ênfase nas instalações sanitárias até 80°C ao máximo, e por fim, altas temperaturas acima de 80°C, empregadas geralmente no setor industrial.

Para encontrar a melhor tecnologia de aquecimento solar, deve-se localizar no mapa da ilustração 2 qual faixa de radiação se encontra a cidade desejada, entrar com o essa faixa na Tabela 1, e dependendo da temperatura desejada se obterá a tecnologia mais adequada. As temperaturas que se encontram sublinhadas representam o coletor ideal, ou seja, o mais apropriado para determinada faixa de temperatura, podendo haver mais de uma tecnologia recomendada. Nem todo equipamento é ideal apenas sendo qualificado de acordo com a radiação, depende também de outros fatores, para isso a tecnologia encontrada deve satisfazer os diagramas subsequentes, onde existem restrições quanto à finalidade da água a ser aquecida, a velocidade do vento no local escolhido e características do clima. Só então a escolha a ideal.

### Resultados e discussão

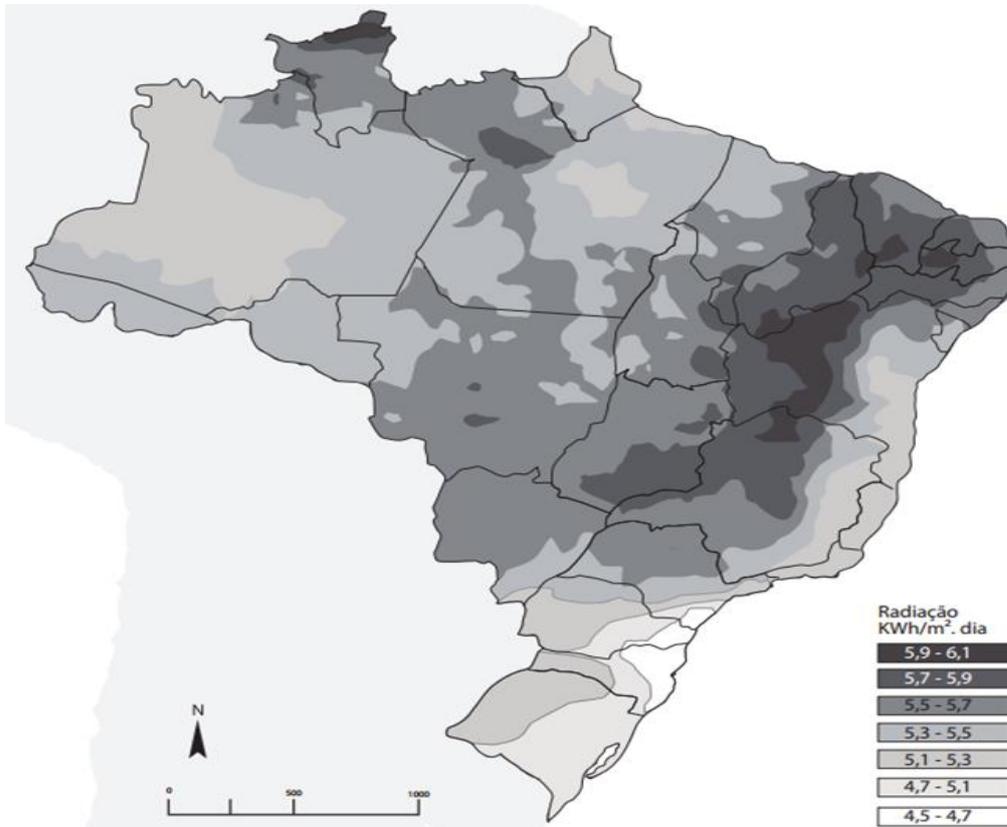
Na sequência se encontram a tabela 1, comparativa para obtenção da tecnologia solar apropriada, mapa da radiação solar global diária média anual em kWh/m<sup>2</sup>dia (figura 3), e os diagramas de condições para cada sistema.

**Tabela 1.** Escolha da tecnologia solar.

	Coletor solar de placa aberta	Coletor solar de placa fechada	Coletor solar com tubo evacuado	Coletor solar de seção parabólica
				
	Recomendado para a obtenção de temperaturas*			
Radiação kWh/m <sup>2</sup> - dia	Baixa	Baixa e Média	Baixa e Média	Não Recomendado
4,5 - 4,7	<u>Baixa</u>	Baixa e <u>Média</u>	<u>Média</u>	Não Recomendado
4,7 - 5,1	<u>Baixa</u>	<u>Baixa e Média</u>	Média	Não Recomendado
5,1 - 5,3	<u>Baixa</u>	<u>Baixa e Média</u>	Média	Não Recomendado
5,3 - 5,5	<u>Baixa</u>	<u>Baixa e Média</u>	Média	Média e Alta
5,5 - 5,7	Baixa e Média	<u>Média</u>	Não Recomendado	Média e Alta
5,7 - 5,9	Baixa e Média	<u>Média</u>	Não Recomendado	<u>Média e Alta</u>
5,9 - 6,1	<u>Baixa e Média</u>	<u>Média</u>	Não Recomendado	<u>Média e Alta</u>

\*Temperatura final da água: Baixa 20 a 30C. Média 30 a 80C. Alta > 80C

\*\*Áreas sublinhadas são as mais adequadas de cada linha, de acordo com o coletor desejado

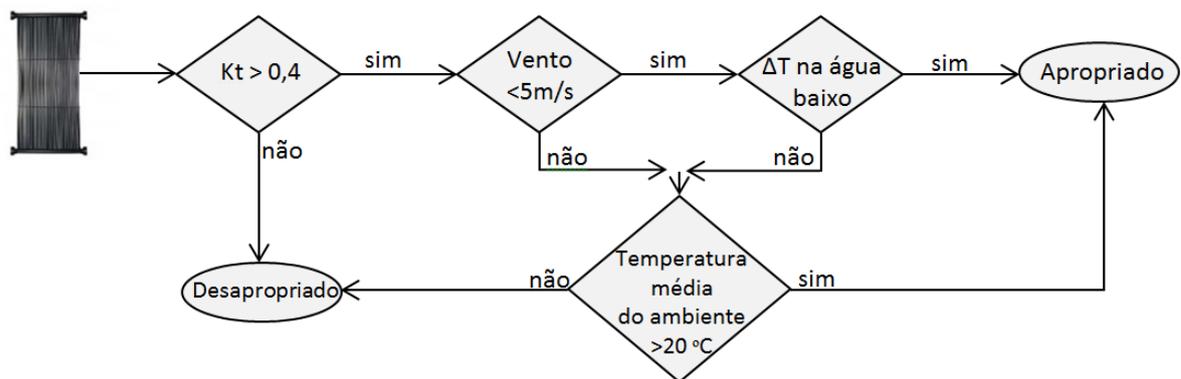


**Figura 3.** Radiação solar global diária, média anual em KWh/m<sup>2</sup>.dia.

Fonte: INMET/LABSOLAR, 1998 (adaptado).

*Diagramas de condições*

Coletor solar placa aberta

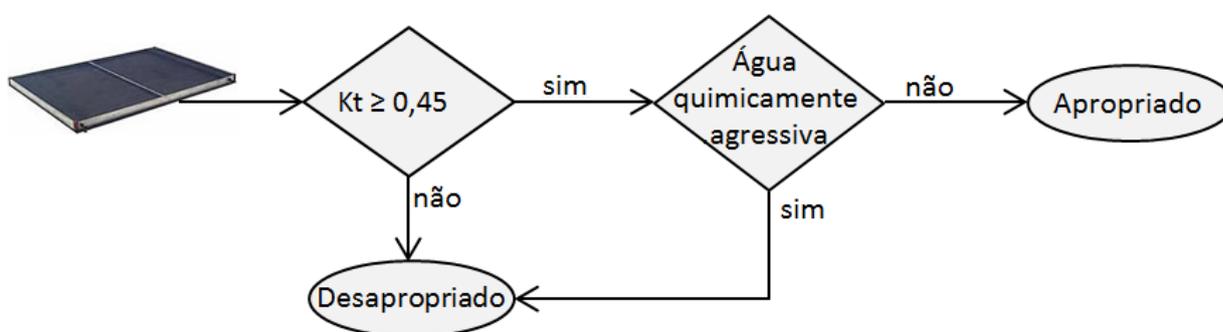


**Figura 4.**– Diagrama coletor solar de placa aberto.

- Adequado para piscinas, resistente a água dura (rica em sais de cálcio e magnésio) e água com pH < 7.

- É o mais vantajoso em termos de eficiência para obtenção de temperaturas baixas.
- Na instalação esse coletor adapta-se a curvas suaves no telhado.
- Tem seu desempenho reduzido pela ação do ar frio, ventos e dias nublados. Melhor aproveitamento em locais com alto índice de radiação.
- Não recomendado para valor de  $K_t$  inferior a 0,4.
- Requer sistema de circulação forçada.

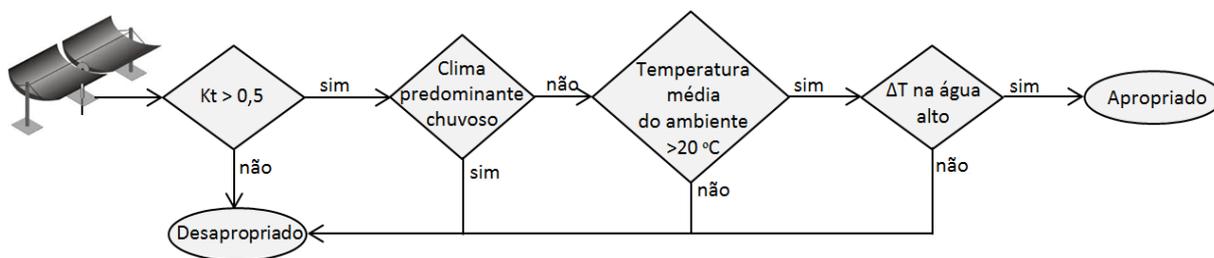
#### *Coletor solar placa fechada*



**Figura 5.**– Diagrama coletor solar de placa fechada.

- Mais utilizado para fins domésticos.
- Desconsidera-se a ação do vento em termos de eficiência quando se encontra abaixo de 5 m/s.
- Custo baixo em comparação ao coletor de vácuo e concentrador.
- Não recomendável para piscinas e locais com água dura, pois causa degradação nos tubos ocasionando vazamentos.
- Pode se utilizar sistema termossifônico.

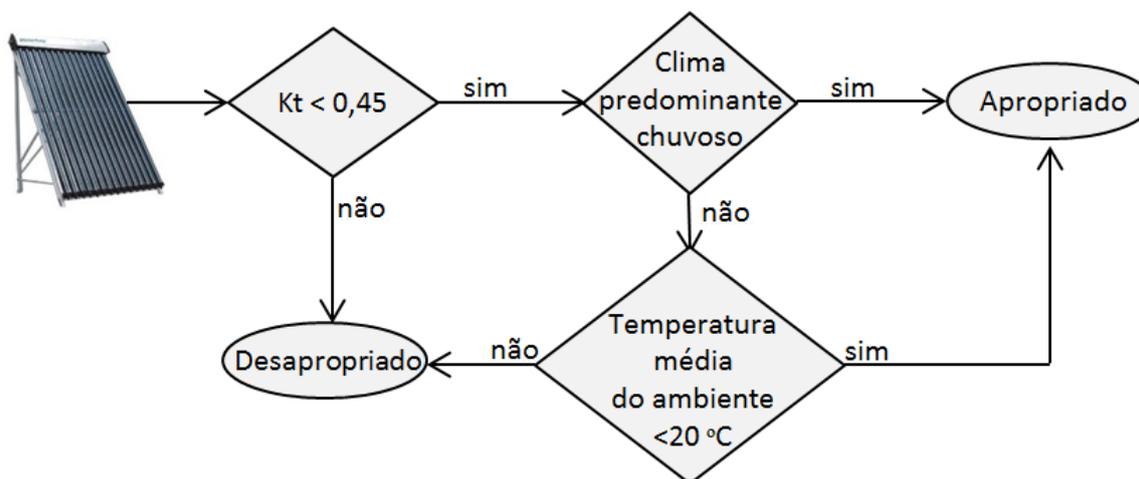
#### *Concentrador solar de seção parabólica*



**Figura 6.** – Diagrama concentrador solar de seção parabólica.

- Aplicado em processos industriais.
- Recomendado para obtenção de água com temperaturas finais superiores a 100°C.
- Precisa de um sistema que acompanhe a trajetória aparente do sol.
- Utiliza apenas radiação direta.
- Não está presente no mercado brasileiro até o momento.
- Não recomendado para valor de  $K_t$  inferior a 0,5.
- Requer sistema de circulação forçada.

#### *Coletor solar com tubo evacuado*



**Figura 7.** Diagrama coletor solar de tubo evacuado.

- Recomendado para locais com clima frio, com presença de vento e chuva, apresenta pouca variabilidade na eficiência em comparação aos outros coletores.
- Risco de perda de vácuo nos tubos, reduzindo a eficiência.

- Dificuldade para reposição de peças, pois grande parte é importada.
- Exige menos espaço no telhado a que coletores de placa.
- Requer sistema de circulação forçada.

### *Aplicações*

Exemplo 1, uso residencial para Natal (RN) – Latitude de  $-5,77^\circ$  o valor médio de Kt de acordo com o Radiasol V1 é de 0,56. Sabe-se que para uso residencial a faixa de temperatura exigida varia de  $30^\circ\text{C}$  a  $80^\circ\text{C}$ , a cidade de Natal de acordo com o mapa de radiação solar (figura 2), encontra-se na faixa de 5,5 a  $5,7\text{KWh/m}^2\text{.dia}$ . De acordo com a tabela 1, o coletor solar indicado para médias temperaturas é o de placa fechado, ao verificar o diagrama de condições desse coletor vemos que ele está OK.

Exemplo 2, indústria (altas temperaturas) em Brasília (DF) – Latitude de  $-15,80^\circ$ , com Kt médio anual de 0,52 e radiação 5,7 a  $5,9\text{KWh/m}^2$ . De acordo com a tabela 1 para obtenção de altas temperaturas nessa faixa o recomendado é o concentrador solar de seção parabólica. Brasília não apresenta um clima predominante chuvoso, a temperatura ambiente média anual se encontra acima de  $20^\circ\text{C}$  sendo assim atendendo a todas as condições do diagrama de condições.

Exemplo 3, piscina em São Paulo (SP) – Com latitude  $-23,5^\circ$  o valor médio de Kt encontrado é de 0,43 no mapa podemos encontrar a quantidade de radiação para essa localidade variando de 5,1 a  $5,3\text{KWh/m}^2\text{.dia}$ . Onde o coletor mais adequado para baixas temperaturas é o coletor solar de placa aberto e o fechado, porém ao verificar o diagrama de condições vemos que o coletor solar fechado não é recomendado para piscinas. Sendo então a melhor escolha o coletor solar aberto.

Exemplo 4, indústria (altas temperaturas) em Porto Alegre (RS) – Com latitude de  $-30^\circ$ , valor médio de Kt é 0,5 encontra-se com a radiação variando de 4,7 a 5,1 no mapa, para a obtenção de altas temperaturas de acordo com a tabela 1 somente é recomendado o uso do concentrador solar, porém para essa localidade, ele não se enquadra nem na tabela 1, e no diagrama de condições ele também é reprovado. Não é recomendado pelo baixo nível de radiação na cidade, pode-se instalar o coletor de placa fechado para um pré-aquecimento.

### Conclusões

O equipamento mais eficiente ou mais efetivo depende da temperatura de trabalho e de que localidade se encontra, nem sempre um coletor mais sofisticado ou caro tem eficiência maior para uma determinada faixa de temperatura. Pode se concluir que os locais mais apropriados para a utilização do sistema tecnológico de calha parabólica, são os que apresentam Kt superior a 0,5, com grande quantidade radiação solar, predominantemente na região Nordeste e Centro-Oeste. O coletor solar de tubo evacuado apresenta benefício quando utilizado em locais com Kt inferior a 0,45 e predominância de clima desfavorável, característica da região Sul, mais próximo às cidades litorâneas, porém não existem dados no mercado brasileiro da duração do vácuo nos tubos. Já o coletor solar aberto é recomendado para uso de piscinas em regiões quentes e com pouca variabilidade sazonal. E o coletor solar plano fechado é recomendado para obtenção de médias temperaturas em locais com  $Kt \geq 0,45$ .

### Referências

- ABRAVA. **Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar**, abril 2008.
- ANTUNES, S. C. M. **Desempenho energético no âmbito do aquecimento solar térmico para as condições de utilização recomendadas pelo RSECE/RCCTE**. Dissertação (Mestrado em Energia Mecânica) – Instituto superior de Engenharia de Lisboa. Portugal, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12269**. Instalação de sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto – Procedimento. Elaboração, 1992.
- \_\_\_\_\_. **NBR 10184**. Coletores solares planos líquidos - Determinação do rendimento térmico. Elaboração, 1988.
- COSTA, E. R. **Limitações no uso de coletores solares sem cobertura para sistemas domésticos de aquecimento de água**. Dissertação de Mestrado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre RS, 2002.
- COTTRET, N.; MENICHETTI, E. **Technical Study Report on Solar Heat for Industrial Processes**. Observatoire Méditerranéen de l’Energie, Nanterre, France, 2010. Disponível em [http://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/Technical%20Study%20Report\(O ME\)\\_SOLAR%20HEAT%20FOR%20INDUSTRIAL%20PROCESSES.pdf](http://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/Technical%20Study%20Report(O ME)_SOLAR%20HEAT%20FOR%20INDUSTRIAL%20PROCESSES.pdf). Acesso em: junho de 2015.

DAVID, J. P. G. **Desempenho energético de bombas de calor e sistemas solares térmicos considerando perfis de extração normalizados**. Dissertação (Mestrado em Energia da Energia e do Ambiente) – Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia. Portugal, 2014.

DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. (1991). **Solar Engineering of Thermal Processes**, 2º Ed, pág 487- 502, John & Sons, New York.

FOSTER, R.; GHASSEMI, M.; COTA, A. **Solar Energy: renewable Energy and the Environment**. Pág 37. New México: CRC Press, 2010.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN T. L.; LAVINE, A. S. F. **Fundamentos de transferência de calor e massa**, 6º Edição. LTC Editora. Rio de Janeiro, 2008.

INMET/LABSOLAR (Instituto Nacional de Meteorologia/Laboratório de Radiação Solar, UFSC), 1998. **Irradiação solar do Brasil**. Publicação conjunta Instituto Nacional de Meteorologia (Ministério da Agricultura e Abastecimento) e Laboratório de Energia Solar (Universidade Federal de Santa Catarina). Brasília.

MENDONÇA, B. V.; **Estudo da problemática da aplicação de coletores solares para aquecimento de água no segmento residencial de alto padrão, com base em escalas de projeto arquitetônico e dimensões de planejamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica Universidade de São Paulo. SP 2009.

PEDROSA FILHO, M. H. O. **Nova abordagem para a determinação da densidade de fluxo solar no absorvedor de concentradores solares**. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, departamento de Energia Nuclear. Recife, PE, 2013.

RAIMO, P. **Aquecimento de água no setor residencial**. 2007. Dissertação (Mestrado em Energia) - Instituto de Eletrotécnica e Energia, Escola Politécnica, São Paulo, 2007.

RECIERI, R. P.; QUALLIO, S.; FERRUZZI, Y.; *et al.* **Global solar irradiation in function of the insolation reason**. Encontro de energia no meio rural, 5. Campinas, SP. 2004.

REDE BRASIL. **Noções iniciais sobre aquecimento solar**. Rede Brasil de Capacitação em Aquecimento Solar. 2008.

RÍSPOLI, I. A. G. **O aquecedor solar brasileiro: teoria e prática em prol de uma transferência de tecnologia sustentável**. Campinas, SP, 2008. Tese (Doutorado em Ciências do Ambiente) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, SP, 2008.

RÍSPOLI, I. A. G; KOWALSKI, L. F.; MONTAUTE, M.G. Limitações de um método manual empírico no dimensionamento de aquecedores solares de água em situações de

desvio azimutal para os coletores solares. **Acta** de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 1, pp.10.23-10.30, 2013.

ROSA, F. N. **Aplicabilidade de coletores solares com tubo evacuado no Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

MANEA, T. F. **Desenvolvimento de uma bancada para ensaios de coletores solares de tubos de vidro a vácuo**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

MESQUITA, L.C.S. **Eficiência de coletores solares e comparações entre tubos evacuados e coletores planos: considerações teóricas e análise experimental**. São Manuel: Universidade do Sol, Relatório Técnico n. 1, 2013.

SCHWEIGER, H. **The potential of solar heat in industrial processes. A state of the art review for Spain and Portugal**. Barcelona, Spain, 2001 Disponível em <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.460.4262&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: junho de 2015.

SILVA, D. **Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para dimensionamento de coletores solares de placa plana**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2012.

SIQUEIRA, D.A. **Estudo de desempenho do aquecedor solar de baixo custo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Uberlândia, MG, 2009.

TIBA, C. (org.). **Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de dados terrestre**. Universidade Federal De Pernambuco. 1. ed. Universitária da UFPE. Recife, 2000.

VIANA. T. S. **Potencial de geração de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos com concentrador no Brasil**. Tese pós-graduação em engenharia civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

---

**Recebido para publicação em:** 05/05/2015

**Aceito para publicação em:** 18/10/2015