

**INSTITUTO DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA**

Tiago Nascimento

**Sistema de Aquecimento Solar**  
**Coletor Plano Vitrificado X Coletor Evacuado**

Belo Horizonte

2015

Tiago Nascimento

**Sistema de Aquecimento Solar**  
**Coletor Plano Vitrificado X Coletor Evacuado**

Trabalho de conclusão de aperfeiçoamento apresentado ao Curso **Engenharia de Custos e Orçamentos do Instituto de Educação Tecnológica, turma nº7**, como requisito parcial à obtenção do título de Aperfeiçoamento em Engenharia de Custos e Orçamentos.

**Orientador:** Prof. Me. Ítalo Coutinho

Belo Horizonte

2015

## APRESENTAÇÃO DO ALUNO

### **Tiago Araújo Rocha Nascimento**

Engenheiro de Produção com ênfase em Planejamento Energético pela UFOP, formado a 08 anos, de Trainee a Gerente de Logística pela Athos Farma, responsável por um Centro de Distribuição no Nordeste e nos últimos 3 anos como Diretor de Operações da E3R, com sede em Belo Horizonte atendendo demandas de eficiência energética no Brasil.

Email: [tiago@e3r.com.br](mailto:tiago@e3r.com.br)

## RESUMO EXECUTIVO

Com o intuito de aplicar e consolidar os conhecimentos adquiridos sobre Engenharia de Custos e Orçamentos foi desenvolvido um estudo de caso, considerando os principais pontos da tecnologia solar térmica, tanto em sistemas de pequenos volumes, como em grandes, fazendo uma relação custo e benefício entre o coletor plano vitrificado e o coletor evacuado. O projeto foi planejado de forma resumida. O orçamento foi elaborado considerando preços do mercado. Além disso, foram definidas estratégias e normas para relacionamento com os fornecedores e clientes.

**Palavras Chave:** Engenharia, Custo, Orçamento, Projeto, Fornecedor, coletor evacuador, coletor de placa plana vitrificado.

## Sumário

<b>1.0 Introdução .....</b>	<b>6</b>
<b>2.0 Contextualização .....</b>	<b>6</b>
<b>3.0 Desenvolvimento .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1 Primeiro Estudo de Caso.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.1 Coletor Plano Vitrificado.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.2 Coletor Evacuado.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 Segundo Estudo de Caso.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.1 Coletor Plano Vitrificado.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.2 Coletor Evacuado.....</b>	<b>14</b>
<b>4.0 Conclusão .....</b>	<b>15</b>

## 1.0 Introdução

Esse artigo irá abordar os principais pontos da tecnologia solar térmica, tanto em sistemas de pequenos volumes, como em grandes e aquecimento de piscinas, fazendo uma relação custo e benefício entre o coletor plano vitrificado e o coletor evacuado.

A energia solar é a designação dada a qualquer tipo de captação de energia luminosa (e, em certo sentido, da energia térmica) proveniente do Sol, e posterior transformação dessa energia captada em alguma forma utilizável pelo homem, seja diretamente para aquecimento de água ou ainda como energia elétrica ou mecânica. É usada para contribuir com o uso consciente e sustentável de energia, uma vez que todo o planeta clama por soluções alternativas e de baixa emissão de gases de efeito estufa.

O aquecimento solar de água é a tecnologia de utilização de energia solar mais desenvolvida e quando analisada sua vida útil, seus custos são considerados muito econômicos. A utilização dessa tecnologia pode ter um grande impacto na redução do pico de consumo de eletricidade e conseqüentemente nas emissões de gases do efeito estufa.

O objetivo dessa publicação é de apresentar as bases para os cálculos e medições de eficiência dos dois coletores solares, realizando dois estudos de casos. Determinando as vantagens na instalação de coletores com tubos evacuados.

## 2.0 Contextualização

Conforme relatório da Agência Internacional de Energia, publicado em junho de 2014 com dados referentes ao ano de 2012, o mercado mundial de aquecimento solar cresceu 9,4% em relação ao ano anterior totalizando 269 GWth. Os dados fornecidos pela (INTERNATION ENERGY AGENCY, 2014), demonstram que a maior parte dos sistemas instalados estão concentrados na China, Europa, os dois juntos são responsáveis por 83% da capacidade total mundial. O restante da capacidade instalada está dividida entre Estados Unidos e Canadá, Ásia com exceção da China, América Latina, Austrália e Nova Zelândia, Israel, Jordânia, Líbano, Marrocos e Tunísia e África Subsaariana Moçambique, Namíbia, África do Sul e Zimbabué.

O Brasil é privilegiado quando o assunto é energia solar. A irradiação é extremamente alta, possibilitando um grande crescimento do setor de aquecimento. A produção nacional de coletores para sistemas de aquecimento solar cresceu 19,8% em 2014, somando mais de 1,38 milhão de m<sup>2</sup>. Segundo pesquisa realizada pelo Departamento Nacional de Aquecimento Solar (DASOL) junto às empresas do setor, a área acumulada de coletores instalados no país chegou a 9,793 milhões de m<sup>2</sup>.

Essa área acumulada equivale à geração de energia térmica suficiente para evitar a emissão anual de 2,15 milhões de toneladas equivalentes de dióxido de carbono (tCO<sub>2</sub>). O mesmo efeito seria obtido com o plantio de 10,79 milhões de árvores.

As principais aplicações de sistemas de aquecimento solar no Brasil são: aquecimento de água para uso residencial; mercado de coletores abertos para piscinas; aquecimento de água para uso comercial em hotéis, hospitais, indústrias, prédios, academias, escolas; aquecimento de água para programas de habitação social.

Os aquecedores de tubo à vácuo tem participação no mercado, principalmente nos países emergentes. Já na Europa a tecnologia predominante é a dos coletores de placa plana, representando 86% das novas instalações em seu território. No Brasil, a utilização de coletores solares planos já é bem conhecida e difundida. Os coletores solares de tubo evacuado até pouco tempo tinham um custo considerado elevado para o nosso mercado, mas atualmente esta tecnologia está cada vez mais difundida no mercado nacional com custos menores.

Para ajudar na escolha consciente dos equipamentos o Inmetro por meio do PBE, disponibiliza uma tabela de classificação de Coletores Solares Térmicos, nela o consumidor tem acesso ao nome do fabricante, as marcas e modelos dos aquecedores solares, e é claro, a classificação da eficiência energética conforme a Produção Média Mensal de Eletricidade –PME, do itens comercializados no Brasil. Porém, os coletores de tubo evacuado não possuem etiquetas, pois são importados, a sua maioria da China.

### **3.0 Desenvolvimento**

A energia solar térmica consiste no aquecimento de um fluido de trabalho através da conversão da radiação do sol em energia térmica. O sistema de aquecimento solar é dividido em três subsistemas básicos. São eles:

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

O uso do aquecimento solar no setor residencial unifamiliar, nas famílias de médias e altas rendas e nas habitações de interesse social (HIS), já está

bastante difundido. Apresentando várias vantagens como a diminuição da conta de luz em 35% (em média); baixo custo de manutenção; energia totalmente limpa e renovável; diminuição do risco de futuros racionamentos; vida útil longa do produto.

O aquecimento de água para habitações multifamiliares ou prédios é um setor pouco explorado na maioria das cidades brasileiras, com exceção de Belo Horizonte (MG), pois é um desafio conciliar distribuição de água quente e medição individualizada de consumo de água, já sistema individual é composto por um aquecedor solar compacto para cada morador e um tubo de água quente para cada apartamento.

O setor de serviços que utiliza água quente abrange academias, clubes, motéis e hotéis, e outros de menor demanda. Estima-se que 20% do faturamento de um hotel é gasto com o aquecimento de água, dessa forma a instalação de equipamentos de sistema solar ajudam a reduzir significativamente os custos de hotelaria.

O setor industrial utiliza água aquecida para cozinhas, banho dos funcionários ou ainda como fonte de calor em processos industriais. Nesse segmento as temperaturas podem variar entre 60 °C a 220 °C dessa forma são recomendados coletores planos de alto desempenho, coletores de vácuo com ou sem concentradores.

O aquecimento solar de piscinas difere dos projetos de sistema de água quente para edificações por dois motivos: não necessitam de reservatórios térmicos (a própria piscina é o reservatório) e utilizam coletores do tipo aberto. Esse tipo de coletor pode ser instalado no telhado ou no solo sem necessidade de estruturas metálicas para mantê-los inclinados e direcionados para o Norte. O aquecimento de piscina também pode ser feito com tubos à vácuo, quando, por exemplo, não há área de telhado suficiente para a utilização do coletor aberto.

O aquecedor solar entra em funcionamento quando a energia solar radiante ou irradiante, luz visível e infravermelho, incide sobre a superfície dos coletores. A energia absorvida pelo coletor transforma-se em calor e aquece a água que está no interior dos coletores. A água aquecida diminui sua densidade e começa a se movimentar em direção ao reservatório, dando início a um processo natural de circulação da água, chamado termossifão. Esse processo mantém o sistema em operação, enquanto houver radiação solar incidente sobre os coletores ou até toda água do circuito atingir equilíbrio térmico.

Os coletores solares tem caráter modular, ou seja, pode-se aumentar a instalação conforme a demanda aumenta. São independentes da rede elétrica. O tipo de coletor solar depende do tipo de aplicação e da temperatura de operação que aplicação necessita. Para baixas temperaturas, como o uso para aquecimento de piscinas, os coletores podem ser do tipo plano sem cobertura.



Para aquecimento para banhos domésticos, os coletores já devem ser com cobertura, e de tubo evacuado. Em aplicações industriais, os coletores planos de alto desempenho ou os coletores de tubo evacuado, que podem atingir temperaturas acima de 80° C podem ser mais indicados.

Um coletor solar plano vitrificado é composto por:

- Caixa externa: é o que mantém e suporta todo conjunto e pode ser fabricado em alumínio, aço ou material polimérico;
- Isolamento térmico: é o responsável por diminuir as perdas de calor do fluido de trabalho para o ambiente;
- Tubulação: é por onde passa o fluido de trabalho;
- Placa absorvedora: é a principal responsável pela conversão de energia radiante em energia térmica;
- Cobertura: permite a passagem da radiação solar. A função da cobertura é minimizar as perdas de calor por convecção e por radiação para o ambiente.



Figura 1 : Coletor de Placa Plana Vitrificado

Um coletor de tubo evacuado é composto por:

- Tubos: esses são de vidro, sendo dois tubos concêntricos, onde no interno esta o fluido de trabalho, e o mesmo esta coberto na parte externa com uma camada seletiva. Entre o interno e o externo está o isolamento a vácuo, principal responsável por atenuar as perdas térmicas por condução e convecção;
- Cabeçote: os tubos são inseridos no cabeçote, por onde passa o fluido de trabalho. Esse pode ser de alumínio, aço ou cobre, sendo revestido por algum isolante térmico;
- Estrutura: é o que mantém os tubos presos ao cabeçote e na posição adequada a captação da energia solar.



Figura 2: Coletor de Tubo Evacuado

A área do coletor é muito importante quando se mede a eficiência do coletor. A norma brasileira NBR 15747-2 (ABNT,2009) determina que absorvedor é o componente de um coletor solar que absorve a energia radiante e transfere essa energia na forma de calor para um fluido. A área bruta (total) do coletor é a área máxima projetada do coletor completo, excluindo tubulações externas.

A área de abertura é a área da cobertura que permite a entrada da radiação para a parte absorvedora. Em um coletor plano vitrificado, é considerada a área da placa absorvedora. Em um coletor de tubo evacuado é considerado a soma das projeções das áreas dos tubos externos sobre o plano do coletor.

A área total é a ocupada pelo coletor. No coletor plano vitrificado é considerada a área total ocupada pela caixa externa. No coletor de tubo evacuado é considerado a área total externa, incluindo o cabeçote e suportes inferiores.

Dessa forma, podem-se observar diferenças físicas entre os dois coletores. A área total de um coletor plano vitrificado normalmente é pouco maior que a área do absorvedor. Ou seja, quase toda a área ocupada pode absorver radiação. Já em um coletor evacuado, a área total normalmente é muito maior que a área absorvedora, podendo chegar a ser o dobro.

A curva de eficiência do coletor está diretamente ligada à área. Dessa forma, a curva de eficiência para o coletor evacuado utilizando a área absorvedora é mais alta que a curva considerando a área total. Isso se deve ao cálculo da radiação incidente. Com uma área maior, é considerada uma maior radiação incidente, e portanto a eficiência é menor.

Outra diferença significativa é o ângulo de incidência da radiação solar ao longo do dia, e este é um dos fatores mais importantes no desempenho dos coletores. No coletor plano, o ângulo de incidência muda constantemente devido a rotação da Terra. Com isto, tem-se uma radiação incidente que aumenta até o meio dia solar, e depois diminui devido ao ângulo de incidência.

Nos coletores evacuados esse fator é diferente devido à geometria cilíndrica. No início da manhã e final da tarde tem-se o problema da sombra de um tubo no outro, diminuindo assim a área absorvedora. Mas, durante a maior parte do

dia, o ângulo de incidência do sol sobre um plano projetado dos tubos pode ser considerado o mesmo.

Para aplicações de aquecimento de água, é necessário armazenar a energia acumulada durante o dia ou durante vários dias de forma a poder utilizar em momentos diversos. Para isto é necessário um reservatório térmico com capacidade para atender à demanda de água quente.

O apoio auxiliar pode ser de diversas formas, sendo o mais comum o apoio elétrico, interno ao tanque. Também pode ser um apoio externo, como uma bomba de calor ou um aquecedor a gás.

Em relação à circulação da água, esta pode ser feita de duas maneiras: circulação forçada e circulação natural, conhecida por termossifão. A circulação forçada utiliza uma bomba hidráulica e um circuito eletrônico que controla o fluxo de água no circuito, e é indicada para sistemas de médio e grande porte. O sistema termossifão não necessita de bomba, o fluido circula naturalmente devido à diferença de temperatura em diferentes pontos do sistema. Para o funcionamento adequado desse processo, o fundo do reservatório deve estar em nível igual ou superior ao ponto mais alto do coletor solar.

A circulação forçada deve ser utilizada em três situações: quando o volume for superior a 1000 litros de água por dia; quando a área instalada for superior a 12 m<sup>2</sup>, ou quando não for possível conseguir os desníveis mínimos entre o reservatório e o coletor. A vantagem da circulação forçada em relação ao sistema de termossifão é a possibilidade de controlar a temperatura da água que circula no sistema, mesmo quando não há consumo de água quente. No caso do termossifão se houver radiação solar sem que haja consumo, como por exemplo, em casa de praia visitadas somente nos finais de semana, a água pode atingir temperaturas muito elevadas, pois enquanto toda água do sistema não atingir a mesma temperatura o sistema continua em operação.

Um atributo obrigatório para toda instalação de aquecimento solar é um sistema de alívio de pressão, por meio de respiro ou por um conjunto de válvulas de alívio de pressão. Nenhuma instalação de aquecimento solar funciona de forma 100% segura sem um sistema de alívio.

A transferência de calor pode ser feita por meio de circuito direto ou indireto. No Brasil na maioria das vezes utiliza-se o circuito direto, sendo o fluido a própria água, na Europa e em outros países de clima frio os coletores e o reservatório trabalham em circuito indireto, ou seja, o fluido térmico circula por uma serpentina trocando calor com a água.

Os componentes de um sistema de aquecimento solar podem ser separados em coletores, reservatório, tubulações e caixa da água fria. Vão ser

apresentados dois estudos de caso usando coletores solares evacuados para um maior entendimento do processo.

### **3.1 Primeiro Estudo de Caso – Residência com Quatro Moradores**

#### **3.1.1 Coletor Plano Vitrificado**

O objetivo é ofertar um sistema de aquecimento solar que atenda às expectativas dos moradores, proporcionando economia, conforto e bem estar. Para realizar o dimensionamento foi considerado o Anexo B da Norma da ABNT NBR 15569:2008. A taxa de mistura considerada para esse coletor é de 50%.

O coletor escolhido foi o de 2 m<sup>2</sup> e esse é composto por:

- Quadro de alumínio perfilado, com espessura de 65 mm;
- Isolamento térmico em poliuretano expandido, com espessura de lateral e fundo de 20 mm;
- Serpentinhas de cobre expandido para melhor transferência de calor;
- Aletas de alumínio com pintura seletiva “preto fosco”, de alto poder de penetração e durabilidade;
- Filme defletor de calor aluminizado, para melhor absorção indireta de calor;
- Fechamento com vidro Temperado de alta transparência e maior resistência;
- Fechamento com guarnição de borracha de silicone, protegida contra exposição ao ambiente e raios UV.

De acordo com a Norma da ABNT NBR citada anteriormente, o sistema de aquecimento solar utilizando o coletor solar plano vitrificado, será composto por um volume de armazenamento de 384 litros e uma área coletora de 6 m<sup>2</sup>.

A E3R garante a instalação do sistema que possui: 2 coletores de placa plana de 2m<sup>2</sup>; reservatório térmico de baixa pressão de 400 L; mão de obra da empresa e o kit hidráulico pelo montante de R\$3.922,00 (Três Mil Novecentos e Vinte e Dois Reais).

#### **3.1.2 Coletor Evacuado**

O objetivo e a Norma da ABNT NBR empregada para realizar o dimensionamento do sistema de aquecimento solar é o mesmo utilizado no coletor plano vitrificado. A taxa de mistura do coletor evacuado é de 30%.

O coletor escolhido foi o Acoplado All Glass de 200 L e esse é composto por:

- Sistema com tanque acoplado com 20 tubos;
- Coletor de alto desempenho com temperatura média de 75°C;
- Dupla camada de vidro de 58 mm de diâmetro;
- Vácuo inter-camadas que proporcionam a melhor eficiência do mercado;
- Maior resistência às chuvas de granizo;
- O sistema de tubos ocupa a menor área em relação às placas planas;
- Menor consumo de água devido à maior temperatura;
- Necessidade de menores reservatórios de acumulação;
- Instalação rápida e prática;
- Menor custo de manutenção.

Dessa forma de acordo com o Anexo B da Norma da ABNT NBR 15569:2008/97: o sistema de aquecimento solar utilizando o coletor evacuado, será composto por um volume de armazenamento de 192 litros e uma área coletora de 4,860 m<sup>2</sup>.

A E3R garante a instalação do sistema que possui: coletor evacuado de 200 l; mão de obra da empresa e o kit hidráulico pelo montante de R\$3.280,00 (Três Mil Duzentos e Oitenta Reais).

## **3.2 Segundo Estudo de Caso – Hotel com 100 Quartos**

### **3.2.1 Coletor Plano Vitrificado**

O objetivo é ofertar um sistema de aquecimento solar que atenda às expectativas dos hóspedes do hotel e do proprietário do mesmo, proporcionando economia, conforto e bem estar. Para realizar o dimensionamento foi considerado o Anexo B da Norma da ABNT NBR 15569:2008. A taxa de mistura considerada para esse coletor é de 50%.

A proposta tem por objetivo atender a demanda de água quente em um hotel, com 100 apartamentos, com taxa de ocupação de 70%. Foi considerado 1 banho por pessoa, totalizando 140 banhos/dia.

O coletor escolhido foi o de 2 m<sup>2</sup> e esse é composto por:

- Quadro de alumínio perfilado, com espessura de 65 mm;
- Isolamento térmico em poliuretano expandido, com espessura de lateral e fundo de 20 mm;
- Serpentina de cobre expandido para melhor transferência de calor;

- Aletas de alumínio com pintura seletiva “preto fosco”, de alto poder de penetração e durabilidade;
- Filme defletor de calor aluminizado, para melhor absorção indireta de calor;
- Fechamento com vidro Temperado de alta transparência e maior resistência;
- Fechamento com guarnição de borracha de silicone, protegida contra exposição ao ambiente e raios UV.

De acordo com a Norma da ABNT NBR citada anteriormente, o sistema de aquecimento solar utilizando o coletor solar plano vitrificado, será composto por um volume de armazenamento de 6.720 litros e uma área coletora de 92 m<sup>2</sup>. Vão ser necessário 46 coletores e 2 reservatórios de 3500 litros cada.

Por ser um sistema mais complexo o orçamento vai ser mais detalhado. E esse segue a seguir:

- 46 Coletores de Placa Plana – R\$ 770,00 cada
- 2 Reservatório de 3500 Litros – R\$ 6.581,00 cada
- Mão de Obra – R\$ 3.887,00
- Kit Hidráulico – 6.821,00

Dessa forma, o sistema vai ter um custo de R\$ 52.709,00.

### 3.2.2 Coletor Evacuado

O objetivo é atender a demanda de água quente em um hotel, com 100 apartamentos, com uma taxa de ocupação de 70%. Foi considerado 1 banho por pessoa, totalizando 140 banhos/dia.

A Norma da ABNT NBR não foi empregada nesse sistema, pois ela não se aplica a grandes volumes quando o coletor usado é o evacuado. Sendo assim, para realizar o dimensionamento do sistema foi considerada uma taxa de mistura de 30% e para o desenvolvimento dos cálculos foi utilizado o software Retscreen.

O coletor escolhido foi o Heat Pipe e esse é composto por:

- Sistema *Heat-Pipe* com 30 tubos;
- Coletor de alto desempenho com temperatura média de 70°C;
- Dupla camada de vidro de 58 mm de diâmetro;
- Vácuo inter-camadas que proporcionam a melhor eficiência do mercado;
- Maior resistência às chuvas de granizo;

- O sistema de tubos ocupa a menor área em relação às placas planas;
- Menor consumo de água devido à maior temperatura;
- Necessidade de menores reservatórios de acumulação.

O sistema de aquecimento solar utilizando o coletor solar evacuado Heat pipe, será composto por um volume de armazenamento de 4.000 litros. Vão ser necessário 5 coletores e 2 reservatórios de 2.000 litros cada.

Por ser um sistema mais complexo o orçamento vai ser mais detalhado. E esse segue a seguir:

- 5 Coletores Heat Pipe – R\$ 4.917,00 cada
- 2 Reservatório de 2.000 Litros – R\$ 4.813,00 cada
- Mão de Obra – R\$ 2.737,00
- Kit Hidráulico – 4.803,00

Dessa forma, o sistema vai ter um custo de R\$ 41.752,00.

#### **4.0 Conclusão**

Com o artigo acima foi possível ver claramente as vantagens de se usar o coletor evacuado.

E essas são: maior rendimento por m<sup>2</sup> instalado; viabiliza a instalação em edifícios e residências com cobertura reduzida; atinge elevadas temperaturas; possui baixa perda térmica durante a noite; menor risco de quebra e arraste por vento; resiste à chuva de granizo de até 25 milímetros; facilidade de montagem e manutenção; menor acúmulo de poeira ou outros detritos preservando o rendimento; isolamento constante, não afetado por umidade ou vazamentos; possibilita a captação de radiação solar mesmo em regiões de clima frio com temperaturas negativas, desde que haja luz do sol; rendimento superior aos equipamentos tradicionais brasileiros em qualquer época do ano.

Coletores de tubo a vácuo têm uma área de placa absorvedora inferior em comparação com placas planas. Mas mesmo assim, com base na área da placa absorvedora, a maioria dos sistemas de tubo evacuado é mais eficiente do que por metro quadrado equivalente de sistemas de placas planas. Além da eficiência, existem outras diferenças. Por exemplo, quando ocorrer algum problema com um coletor de tubo evacuado, os tubos podem ser substituídos individualmente sem desligar todo o sistema.