

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MÔNICA LACERDA DE AVILA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE COLETORES SOLARES PLANOS
E COLETORES SOLARES DE TUBO A VÁCUO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2017

MÔNICA LACERDA DE AVILA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE COLETORES SOLARES PLANOS
E COLETORES SOLARES DE TUBO A VÁCUO**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção da aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso Engenharia Civil, do DACOC, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Ivan Azevedo Cardoso.

CURITIBA

2017



Ministério da Educação

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Campus Curitiba – Sede Ecoville

Departamento Acadêmico de Construção Civil

Curso de Engenharia Civil

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE COLETORES SOLARES PLANOS E COLETORES SOLARES DE TUBO A VÁCUO

Por

MÔNICA LACERDA DE AVILA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido no primeiro semestre de 2017 e aprovado pela seguinte banca de avaliação:

Orientador – Prof. Dr. Ivan Azevedo Cardoso
UTFPR

Prof. MSc. Amacin Moreira
UTFPR

Prof. Dr. Arthur Medeiros
UTFPR

OBS.: O documento assinado encontra-se em posse da coordenação do curso.

Dedico este trabalho à minha família pelo
esforço que fizeram ao me apoiarem.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por todas as oportunidades que me foram proporcionadas ao longo da vida.

Agradeço a meus pais, Eneida Beatriz Lacerda e Dorival de Avila, em memória, por terem me criado e sempre me apoiado nos momentos difíceis.

Aos meus irmãos, Guilherme e Maiara, pelo amor fraternal.

Enfim, como não gostaria de esquecer-me de mencionar alguém, agradeço a todos que de uma forma ou de outra me ajudaram, me apoiaram e tiveram importância ao longo desta caminhada.

RESUMO

AVILA, Mônica Lacerda de. **Análise comparativa entre coletores solares planos e coletores solares a vácuo**. 2017. 52 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

Na atualidade há um grande consumo de energia elétrica devido ao avanço tecnológico alcançado e, por isso se tem procurado tanto aumentar a oferta de eletricidade quanto diminuir a sua necessidade. Portanto pesquisa-se sobre como equacionar melhor este equilíbrio entre oferta e demanda sem contrair débitos ambientais. Acredita-se que um dos meios que se pode dispor a fim de chegar a esse equilíbrio é através do uso de fontes de energia limpas e renováveis. A intensificação do uso da energia solar seja para a geração de energia elétrica ou ainda para o aquecimento de água para o consumo nas edificações tem objetivo de reduzir a dependência de combustíveis fósseis. Na utilização da energia solar térmica em edificações residenciais para o aquecimento da água para consumo pode-se optar por mais de um tipo de coletor solar de acordo com as particularidades de cada projeto. Este trabalho de conclusão de curso apresenta um estudo teórico que visa comparar dois tipos de coletores solares disponíveis comercialmente no mercado brasileiro, os coletores de placas planas e os coletores de tubos a vácuo. A metodologia utilizada segue as recomendações da NBR 15569 e os parâmetros de acordo com o material lançado pelo INMETRO. E, os resultados são avaliados a partir de uma comparação entre os custos ao utilizar-se um ou outro tipo de coletor além do tempo de retorno de investimento de cada coletor estudado. Observou-se que os coletores de placas planas parecem ser a opção com o melhor custo benefício de acordo com os parâmetros utilizados neste estudo.

Palavras chave: Energia solar térmica. Sistema de aquecimento solar. Coletores de placas planos. Coletores de tubos a vácuo.

ABSTRACT

ÁVILA, Mônica Lacerda de. **Comparative analysis between flat solar collectors and vacuum solar collectors.** 2017. 52 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

Nowadays there is a great consumption of electric energy due to the technological progress achieved and, therefore, it has been tried so much to increase the supply of electricity as to diminish its necessity. Therefore it is investigated on how to equate better this balance between supply and demand without contracting environmental debits. It is believed that one of the means available to achieve this balance is through the use of clean and renewable energy sources. The intensification of the use of solar energy either for the generation of electric energy or for the heating of water for consumption in buildings has the objective of reducing dependence on fossil fuels. In the use of solar thermal energy in residential buildings for the heating of water for consumption can choose more than one type of solar collector according to the particularities of each project. This work presents a theoretical study that aims to compare two types of solar collectors commercially available in the Brazilian market, flat plate collectors and vacuum tube collectors. The methodology used follows the recommendations of NBR 15569 and the parameters according to the material released by INMETRO. And, the results are evaluated from a comparison between the costs when using one or another type of collector besides the time of investment return of each collector studied. It was observed that flat plate collectors seem to be the option with the best cost benefit according to the parameters used in this study.

Keywords: Thermal solar energy. Solar heating system. Flat plate collectors. Collectors of vacuum tubes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Esquema evidenciando circuito primário e secundário do SAS | 20 |
| Figura 2 – Esquema de circulação natural, ou termossifão..... | 22 |
| Figura 3 – Esquema de circulação forçada, ou por pressão externa | 23 |
| Figura 4 – Armazenamento convencional | 23 |
| Figura 5 – Armazenamento acoplado | 24 |
| Figura 6 – Armazenamento integrado | 24 |
| Figura 7 – Coletor solar de placa plana..... | 27 |
| Figura 8 – Detalhe do comportamento da água no tubo a vácuo..... | 28 |
| Figura 9 – Detalhe dos tubos do coletor solar de tubos a vácuo..... | 29 |
| Figura 10 – Coletor solar de tubos a vácuo..... | 29 |
| Figura 11 – Reservatório Térmico | 30 |
| Figura 12 – Composição do reservatório térmico..... | 31 |
| Figura 13 – Mapa irradiação média anual típica..... | 38 |
| Figura 14 – Irradiação solar média para a cidade de Curitiba | 38 |
| | |
| Quadro 1 – Divisão das fontes renováveis de energia | 16 |
| Quadro 2 – Divisão lixívia e outras fontes | 16 |
| Quadro 3 – Geração de energia elétrica por tipo de fonte | 17 |
| Quadro 4 – Classificação do SAS | 21 |
| Quadro 5 – Consumo de pontos de utilização de água quente..... | 32 |
| Quadro 6 – Parâmetros de inclinação e orientação | 39 |
| Quadro 7 – Coeficientes adotados para cada tipo de coletor..... | 40 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Resultados calculados no dimensionamento do SAS | 42 |
| Tabela 2 – Preços e quantidade necessária para cada dimensão de coletor atender a área coletora demandada..... | 43 |
| Tabela 3 – Preços e quantidade necessária para cada modelode coletor atender a área coletora demandada | 44 |
| Tabela 4 – Estimativa de custos para os três cenários possíveis | 44 |
| Tabela 5 – Cálculo da TIR para os dois tipos de coletores estudados..... | 45 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

| | |
|---------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| BEN | Balanço Energético Nacional |
| EPE | Empresa de Pesquisa Energética |
| NBR | Norma Brasileira |
| PMDEE | Produção Média Diária de Energia Específica |
| SAS | Sistema de Aquecimento Solar |
| TIR | Taxa Interna de Retorno |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|-----------------------|---|
| % | Porcentagem |
| CO ₂ | Dióxido de Carbono |
| V _{consumo} | Volume de água quente consumo diário |
| Q _{pu} | Vazão da peça de utilização |
| T _u | Tempo médio de uso diário da peça de utilização |
| V _{armaz} | Volume do reservatório |
| T _{consumo} | Temperatura de consumo |
| °C | Graus Celsius |
| T _{ambiente} | Temperatura ambiente |
| T _{armaz} | Temperatura de armazenamento |
| E _{útil} | Energia útil |
| ρ | Massa específica da água |
| C _p | Calor específico da água |
| E _{perdas} | Perdas de energia |
| A _{coletora} | Área coletora |
| I _G | Irradiação global média anual |
| FC _{instal} | Fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar |
| Fr _{τα} | Coefficiente de ganho do coletor solar |
| Fr _{UL} | Coefficiente de perdas do coletor solar |
| β | Inclinação do coletor em relação ao plano horizontal |
| β _{ótimo} | Inclinação ótima do coletor para o local de instalação |
| γ | Orientação dos coletores em relação ao norte geográfico |
| m ² | Metro quadrado |
| R\$ | Real |
| C _i | Custo total do investimento |
| E _a | Economia anual |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 OBJETIVO GERAL | 12 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 12 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA..... | 13 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS | 15 |
| 2.2 RADIAÇÃO SOLAR..... | 18 |
| 2.3 ENERGIA SOLAR TÉRMICA..... | 19 |
| 2.4 SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR..... | 21 |
| 2.4.1 Coletor solar..... | 25 |
| 2.4.1.1 Coletores solares de placas planas | 27 |
| 2.4.1.2 Coletores solares de tubo a vácuo..... | 28 |
| 2.4.1.3 Outros coletores solares | 30 |
| 2.4.2 Reservatório térmico..... | 30 |
| 2.5 EDIFICAÇÃO IDEAL..... | 33 |
| 2.6 TAXA INTERNA DE RETORNO – TIR | 34 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 35 |
| 3.1 ESCOLHA DE UMA EDIFICAÇÃO | 35 |
| 3.2 DETERMINAÇÃO DO PROJETO..... | 36 |
| 3.3 DIMENSIONAMENTO DO SAS | 36 |
| 3.3.1 Volume de consumo | 36 |
| 3.3.2 Volume de armazenamento..... | 37 |
| 3.3.3 Demanda de energia | 37 |
| 3.3.4 Irradiação global | 37 |
| 3.3.5 Área do coletor..... | 39 |
| 3.4 CUSTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR..... | 40 |
| 3.5 TAXA INTERNA DE RETORNO | 40 |
| 4 RESULTADOS EDISCUSSÕES | 41 |
| 4.1 DIMENSIONAMENTO DO SAS..... | 41 |
| 4.2 ESTIMATIVA DE CUSTOS..... | 42 |
| 4.2.1 Reservatório..... | 43 |
| 4.2.2 Coletor de placa plana | 43 |
| 4.2.3 Coletor de tubos a vácuo | 44 |
| 4.3 CÁLCULO DA TIR | 44 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 46 |
| REFERÊNCIAS | 48 |

1 INTRODUÇÃO

No momento em que a humanidade deu-se conta do débito ambiental que criou ao longo dos tempos através do uso desregrado e indevido dos recursos naturais em detrimento do sustento da vida no planeta começou-se uma busca por equilíbrio entre o desenvolvimento das nações e a manutenção da vida na Terra.

A conscientização de que a maioria dos recursos, sejam eles energéticos ou não, são finitos tem aberto espaço para tentar equacionar a relação do homem com a natureza em termos de uma melhor e mais harmônica convivência (TIBA et al., 2000).

Ainda discute-se sobre como chegar nessa equação entre desenvolvimento econômico e cuidado com o meio ambiente. Nesse contexto de desenvolvimento sustentável e com o foco direcionado para a criação de um modelo que visa gerar energia sem criar um maior débito ambiental pode-se dizer que, segundo Dutra et al. (2006), a energia é essencial ao desenvolvimento sócio econômico de um país. Para isto se faz necessário um aumento na geração de energia elétrica que possa atender à demanda solicitada com confiabilidade. Esta deve atender a um crescimento econômico competitivo, mas que garanta sustentabilidade e que leve em consideração populações que não foram beneficiadas com a energia elétrica, levando em conta o uso racional dos recursos naturais.

No Brasil vem-se estudando outras fontes de geração de energia além da hidráulica, que atualmente compõe a base da sua matriz energética; um dos tipos que tem chamado atenção justamente por sua abundância e por ser inesgotável, em termos de humanidade, é a energia solar. Segundo Tiba et al.(2000), a tecnologia solar e mais particularmente as mudanças culturais que esta tecnologia promove podem trazer uma importante contribuição na direção do que tem se dado em chamar desenvolvimento sustentável. Esta também apresenta uma possibilidade de fornecer importante contribuição no sentido de se diminuir a demanda de energia elétrica.

Apesar de outros países já terem desenvolvido a tecnologia usada para gerar tanto a energia solar fotovoltaica quanto a térmica, a realidade brasileira não é

a mesma, pois no que se refere à energia solar fotovoltaica Brasil continua fazendo estudos a fim de tornar a tecnologia economicamente viável.

Destacam-se os esforços em tornar viável a energia solar térmica, que através dos estudos já realizados e da possibilidade real de apresentar viabilidade econômica iniciou-se o crescimento do seu uso em edificações residenciais, além de propiciar maiores estudos a fim de criar um modelo energético eficiente e em grande escala.

Cabe ressaltar que a tecnologia primeiramente desenvolvida, dos coletores solares de placas planas, mostrou certa dificuldade ao ser aplicada nas regiões mais frias do país, tornando necessário o domínio de técnicas diferentes que pudessem tornar mais atrativo o uso da energia solar em tais lugares. Atualmente, estão disponíveis comercialmente os coletores solares de tubo a vácuo que prometem ter melhor desempenho em locais com temperaturas mais baixas.

Almejando mostrar que nos dias atuais é viável o uso da energia solar térmica em residências unifamiliares na região sul do Brasil, este trabalho de conclusão de curso apresenta uma análise comparativa entre coletores solares de placas planas e de coletores solares de tubo a vácuo. Convém realizar-se tal estudo a fim de se verificar na prática, através de cálculos e de um projeto com base num modelo real, se a viabilidade econômica pretendida pode ser confirmada.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar se os coletores solares de tubo a vácuo apresentam melhor custo benefício em relação aos coletores solares de placas planas quando utilizados em edificações localizadas na região sul do Brasil.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir a edificação que servirá como base para o estudo, pretende-se com isto ter características que primam pela sustentabilidade a fim de

adequar as particularidades do projeto de implantação de um Sistema de Aquecimento Solar – SAS na melhor forma possível;

- Dimensionar o reservatório térmico para que este comporte o volume de água quente adequado à edificação adotada no estudo;
- Verificar qual a área necessária de ambos os tipos de coletores solares que atenda a demanda de energia útil dimensionada como a ideal para o aquecimento da água;
- Estimar os custos de ambos os tipos de coletores e do reservatório dimensionados para que seja possível calcular a Taxa Interna de Retorno – TIR – para ambas as alternativas em estudo.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com o incessante desenvolvimento tecnológico e a crescente demanda por energia elétrica no mundo inteiro, eclodiu uma obrigatoriedade em criar novas possibilidades para a geração de energia que sejam capazes de atender as necessidades mundiais. No Brasil, o cenário atual não é diferente do restante do planeta e, apesar da disponibilidade hídrica ainda existente no país, também se faz necessário o desenvolvimento e expansão de outras fontes de energia, em especial as renováveis que garantem uma exploração em longo prazo sem causar maiores danos ao meio ambiente.

Segundo Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2016), 21,3% do consumo total de eletricidade no ano de 2015, o equivalente a 131,3 TWh, foi para uso residencial. E, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), cerca de 24% do consumo de energia elétrica das edificações residenciais, localizadas nas regiões frias do Brasil, é destinada ao aquecimento de água demandada por seus ocupantes. Ressalta-se que muitas vezes este uso dá-se em determinada faixa horária causando um pico de demanda, que acaba exigindo das concessionárias grande esforço a fim de manter esta disponibilidade de energia elétrica requerida.

Acredita-se que o preaquecimento ou o total aquecimento, dependendo do caso, da água através dos coletores solares pode acarretar em um menor consumo de energia e, conseqüentemente, diminuir problemas causados por este pico de

demanda. Gerando-se uma economia para o usuário do sistema, mesmo ao levar-se em conta o investimento inicial necessário para a implantação de um sistema de aquecimento solar.

Outra questão que se levanta é a de acreditar-se que o desempenho das placas solares planas é diminuído quando são instaladas em edificações localizadas em regiões mais frias como é o caso da região sul do Brasil. Posto isso, se verificou a necessidade de se utilizar coletores que atendessem este quesito. No momento já estão em fase de comercialização para residências os coletores solares de tubo a vácuo que prometem melhor desempenho quando aplicados em tal cenário. Apesar deste modelo de sistema de aquecimento solar apresentar um maior investimento, acredita-se que o retorno financeiro também se mostra viável e até interessante, pois pode trazer benefícios não apenas para o usuário como para a concessionária de energia elétrica, além de não trazer interferências negativas para o meio ambiente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Antes de se falar efetivamente sobre o sistema de aquecimento solar precisa-se ter um conhecimento de conceito de energia renovável e também de como funciona a energia solar térmica. Nos itens a seguir apresenta-se uma base simplificada desses conhecimentos, para então abordar-se o assunto pretendido.

2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS

Entende-se por energias renováveis aquelas que utilizam como fonte geradora matérias que podem ser repostas, seja naturalmente ou pelo homem, sem que para isso tenha que levar centenas, milhares ou milhões de anos neste processo.

Segundo Pomilio (2013), pode-se dizer que energias renováveis são as formas de energia que ocorrem na natureza e que são produzidas continuamente em decorrência da energia absorvida do sol, a qual, para efeitos da Humanidade, é suposta de duração infinita. Tais fontes de energia podem ser aquelas vindas diretamente do sol, ou ainda, do vento, da biomassa e do movimento das águas em geral (maré, ondas, desníveis, etc.).

Atualmente a matriz energética brasileira, que inclui todos os tipos de energia gerada, não apenas a geração de energia elétrica, tem uma parcela de 41,2% formada pelas fontes renováveis, esta parcela por sua vez pode ser dividida de acordo com suas fontes como pode ser observado no Quadro 1.

| Fontes renováveis de energia | |
|-------------------------------------|-------|
| Biomassa da cana | 16,9% |
| Hidráulica | 11,3% |
| Lenha e carvão vegetal | 8,2% |
| Lixívia e outras fontes | 4,7% |

Quadro 1 – Divisão das fontes renováveis de energia
Fonte: EPE (2016).

Dentre as últimas fontes citadas no Quadro 1, lixívia e outras fontes, acrescenta-se que estas apresentam uma divisão onde a energia solar tem uma ínfima participação, conforme se descreve no Quadro 2.

| Lixívia e outras fontes | |
|----------------------------------|--------|
| Lixívia | 55,70% |
| Biodiesel | 22,03% |
| Outras biomassas | 8,12% |
| Biogás | 0,73% |
| Gás industrial de carvão vegetal | 0,30% |
| Eólica | 13,11% |
| Solar | 0,01% |

Quadro 2 – Divisão lixívia e outras fontes
Fonte: EPE (2016).

A principal fonte de energia renovável descrita no Quadro 2 é a lixívia. Esta é um subproduto decorrente do processo realizado na produção de celulose onde, de acordo com o emprego do método Kraft, uma solução é empregada para separar a celulose da matéria prima lenhosa. A esta madeira solubilizada nos produtos químicos dá-se o nome de lixívia. Este efluente é queimado em uma caldeira de recuperação química, liberando calor que pode ser aproveitado na geração de vapor que, por sua vez, gera energia elétrica (NOGUEIRA e WALTER, 1996).

No que se refere à geração de energia elétrica, a matriz brasileira tem como base o uso de fontes renováveis, em especial o da fonte hidráulica, que por si só já apresenta o maior percentual de geração de energia elétrica entre todos os tipos de fontes. No Quadro 3 pode-se verificar os dados levantados referentes à geração elétrica no ano de 2015 e que estão presentes no relatório do Balanço Energético Nacional – BEN - 2016.

| Fonte | GWh | Percentual |
|-----------------------|------------|-------------------|
| Hidráulica | 359.743 | 61,87% |
| Gás Natural | 79.490 | 13,67% |
| Biomassa | 47.394 | 8,15% |
| Derivados do Petróleo | 25.662 | 4,41% |
| Nuclear | 14.734 | 2,53% |
| Carvão Vapor | 19.096 | 3,28% |
| Eólica | 21.625 | 3,72% |
| Solar Fotovoltaica | 59 | 0,01% |
| Outras | 13.682 | 2,35% |

Quadro 3 – Geração de energia elétrica por tipo de fonte
Fonte: EPE (2016).

Nos dias atuais inclui-se outra preocupação quanto às fontes de energia: a questão de que não basta apenas se fazer uso de uma fonte renovável, é preferível realizar-se, também, o uso de uma fonte limpa, ou seja, uma forma de energia que para sua produção, não gere a emissão de gases ou outros resíduos nocivos, ou que contribuam para o chamado efeito estufa (POMILIO, 2013).

Com base nessa premissa de geração de energia através do uso de fontes limpas a pesquisa feita pela EPE para a obtenção do BEN inclui dados referentes à emissão de gás carbônico, tendo-se como resultado quantos quilos de CO₂ o Brasil emite para produzir 1 MWh de energia elétrica. Segundo EPE (2016), o valor de intensidade de carbono na geração elétrica brasileira no ano de 2015 foi de 139,6 kgCO₂ / MWh. Um valor levemente maior que o gerado em 2013 quando o setor elétrico do Brasil emitia 6 vezes menos CO₂ que o chinês e 3 vezes menos que o da União Européia.

O equilíbrio entre oferta e demanda não é alcançado apenas aumentando a oferta. É possível e desejável atuar também pelo lado da demanda. Nesse sentido, é de grande relevância a busca da eficiência energética (EPE, 2016). E o uso da energia solar, não apenas para geração de energia elétrica como para o aquecimento apresenta grande potencial tanto na diminuição da demanda quanto no aumento da oferta de geração de eletricidade, utilizando-se de uma fonte renovável e limpa.

2.2 RADIAÇÃO SOLAR

O conceito de radiação que se encontra na NBR 15747-1 (ABNT, 2009) diz que esta é a emissão ou transferência da energia na forma de ondas eletromagnéticas ou partículas. Cabe acrescentar-se que a radiação solar é a principal fonte de energia para o planeta. Tanto como fonte de calor quanto como fonte de luz (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

A análise da quantidade de radiação solar que atinge o local em estudo tem importância pelo fato de que o trajeto da radiação sofre interferências quando se dirige à Terra. Isto ocorre após sua penetração na atmosfera do planeta e por isso pode-se dividir a radiação solar em difusa e direta (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). Também se pode considerar o albedo, ou seja, a radiação refletida pelo solo que pode vir a atingir um coletor solar. A quantidade de radiação solar que chega à superfície terrestre depende basicamente de três fatores: a lei do cosseno, a dissipação atmosférica e a duração da luz do dia (KOENIGSBERGER et al., 1977 *apud* LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

Considerando-se os três fatores citados acima se realiza a determinação da radiação solar que atinge uma localidade. E, para tal existem modelos de cálculo, ou algoritmos, disponíveis, como o BRASIL-SR que, segundo Colle e Pereira (1998), estima a radiação solar incidente na superfície a partir dos dados de cobertura efetiva de nuvens obtidos com um satélite geoestacionário e das transmitâncias nas duas condições atmosféricas extremas: céu claro e céu nublado.

Para a obtenção do produto final, que são as imagens que compõem os mapas de irradiação global, utiliza-se de interpolação de dados e de uma matriz de estimativas gerada por um modelo obtido através de algoritmos. A aplicação destes algoritmos é feita em uma base formada pelo conjunto de dados coletados pelo satélite e pelos dados climatológicos (temperatura, visibilidade, albedo de superfície, umidade relativa e altitude) levantados no mesmo período (COLLE e PEREIRA, 1998).

As estimativas de irradiação solar fornecidas pelo BRASIL-SR foram validadas por meio de comparação com valores medidos em estações distribuídas pelo território brasileiro com o fim de avaliar a confiabilidade dos dados obtidos,

tendo, ainda, sido comparado com outros modelos, mostrando que os mapas solarimétricos gerados representam a realidade (PEREIRA et al., 2006).

2.3 ENERGIA SOLAR TÉRMICA

O sol é uma fonte de energia abundante e renovável que nos últimos tempos foi, e continua sendo, estudado com o objetivo de geração de energia fotovoltaica e térmica. Sendo que também pode ser considerado uma fonte de energia limpa, pois ao aproveitar-se da radiação solar para a finalidade de geração de calor não ocorre a emissão de gases ou outros resíduos nocivos para a atmosfera terrestre.

A energia solar térmica funciona a partir do princípio de geração de calor através do aproveitamento da radiação do sol. Isto se torna possível com o uso de um sistema que aproveita este calor para o aquecimento da água no momento em que esta passa pelo sistema. Em seguida, a água, já aquecida, pode ser direcionada para o uso direto da edificação ou, ainda, para o aquecimento de ambientes.

Através de cálculos pode-se determinar a energia solar térmica, ou energia útil, necessária para aquecer a um determinado volume de água. Os quais se utilizam da equação (1), constante no Anexo B da NBR 15569 (ABNT, 2008), descrita a seguir:

$$E_{\text{útil}} = [V_{\text{armaz.}} \times \rho \times C_p \times (T_{\text{armaz.}} - T_{\text{ambiente}})] / 3600 \quad (1)$$

onde:

$E_{\text{útil}}$ é a energia útil, expressa em quilowatts hora por dia (kWh/dia);

ρ é a massa específica da água, expressa em quilogramas por metros cúbicos (kg/m^3). A norma recomenda a adoção do valor 1000;

C_p é o calor específico da água, expresso em quilojoules por quilograma Kelvin (kJ/kgK). A norma indica o valor 4,18 a ser utilizado;

$V_{\text{armaz.}}$ é o volume do reservatório, expresso em metros cúbicos, a norma utilizada recomenda que este volume deve resultar em um valor maior ou igual a 75% do volume de consumo de água quente;

T_{ambiente} é a temperatura ambiente média anual do local onde será instalado o SAS, expressa em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Esta pode ser consultada no anexo D da norma NBR 15569 (ABNT, 2008) ou, ainda, no Atlas Brasileiro de Energia Solar;

$T_{\text{amaz.}}$ é a temperatura de armazenamento da água, expressa em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), a norma sugere que a temperatura de armazenamento seja maior ou igual à temperatura de consumo adotada.

Também se torna necessário determinar as perdas de energia que podem ocorrer, para isso calcula E_{perdas} , ou seja, o somatório das perdas térmicas, expresso em quilowatts hora por dia (kWh/dia). Este cálculo pode ser determinado pela soma das perdas térmicas dos circuitos primário, que abrange a circulação da água entre coletor e reservatório térmico, e secundário, o qual abrange a circulação da água que entra no reservatório térmico vindo do reservatório de água fria e vai para os pontos de consumo, Figura 1.

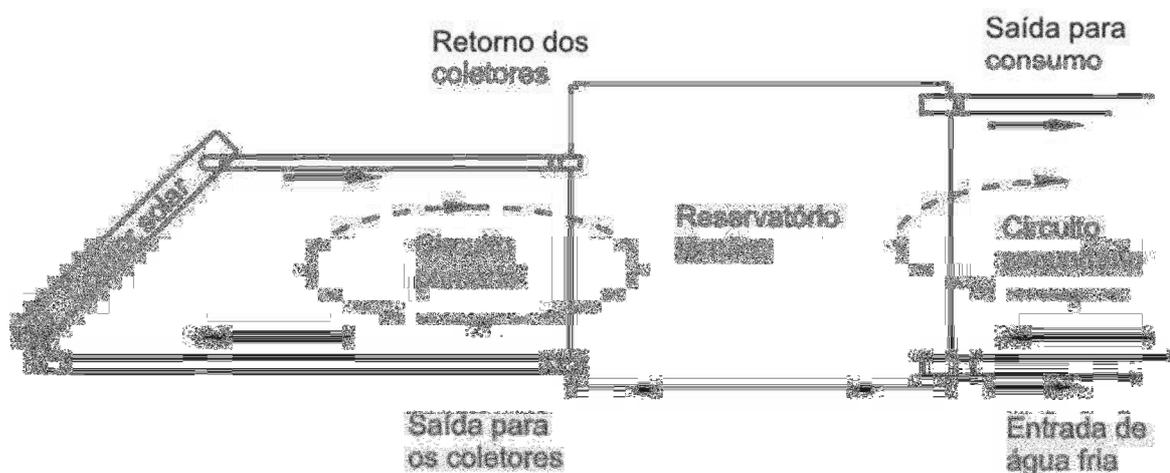


Figura 1 – Esquema evidenciando circuito primário e secundário do SAS
Fonte: ABNT (2008).

Segundo o método de cálculo apresentado pela NBR 15569 (ABNT, 2008), que é o método adotado por este estudo, as perdas de energia também podem ser determinadas de um modo mais simplificado através da equação (2):

$$E_{\text{perdas}} = 0,15 \times E_{\text{útil}} \quad (2)$$

Esta simplificação apresentada pela NBR 15569 (ABNT, 2008) foi considerada para este estudo pelo fato do mesmo ter como base um esquema da instalação do SAS para ambos os tipos de coletores e, também, não se poder determinar com exatidão as perdas relativas aos circuitos primário e secundário.

Este aproveitamento da luz solar com o fim de promover o aquecimento de água para posterior uso só se possibilitou após a realização de estudos que aperfeiçoaram esta tecnologia, a qual é descrita no item 2.4.

2.4 SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

O sistema de aquecimento solar segundo a NBR15569 (ABNT, 2008), é composto por coletor(es) solar(es), reservatório(s) térmico(s), aquecimento auxiliar, acessórios e suas interligações hidráulicas. Seu funcionamento ocorre através da passagem de água fria pelas placas coletoras que a aquecem, então esta passa para um reservatório com isolamento térmico a fim de manter a sua temperatura para tornar-se possível seu uso posterior.

Nos dias de hoje existe mais de um tipo de SAS, portanto se sugere a classificação determinada na norma NBR15569 (ABNT, 2008), a qual se pode observar no Quadro 4.

| Atributo | Categorias | | |
|-----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| | I | II | III |
| Arranjo | Solar mais auxiliar | Somente solar | Preaquecimento solar |
| Circulação | Natural ou termossifão | Forçada | - |
| Regime | Acumulação | Passagem | - |
| Armazenamento | Convencional | Acoplado | Integrado |
| Alimentação | Exclusiva | Não exclusiva | - |
| Alívio pressão | Respiro | Conjunto de válvulas | - |

Quadro 4 – Classificação do SAS

Fonte: ABNT (2008).

Esta classificação leva em conta:

- O tipo de arranjo usado, que pode ser quando somente o SAS realiza o aquecimento da água. Outra opção é o uso combinado do SAS com outra fonte de energia para o aquecimento da água até a temperatura desejada, como é o caso do reservatório com resistência. Ou ainda o preaquecimento da água pelo SAS para posterior passagem por outro tipo de aquecedor, como por exemplo, um aquecedor de passagem a gás.
- O tipo de circulação da água pode ocorrer através de duas maneiras: a primeira de forma natural, ou termosifão, realiza-se através da mudança de densidade da água, conforme se visualiza na Figura 2.

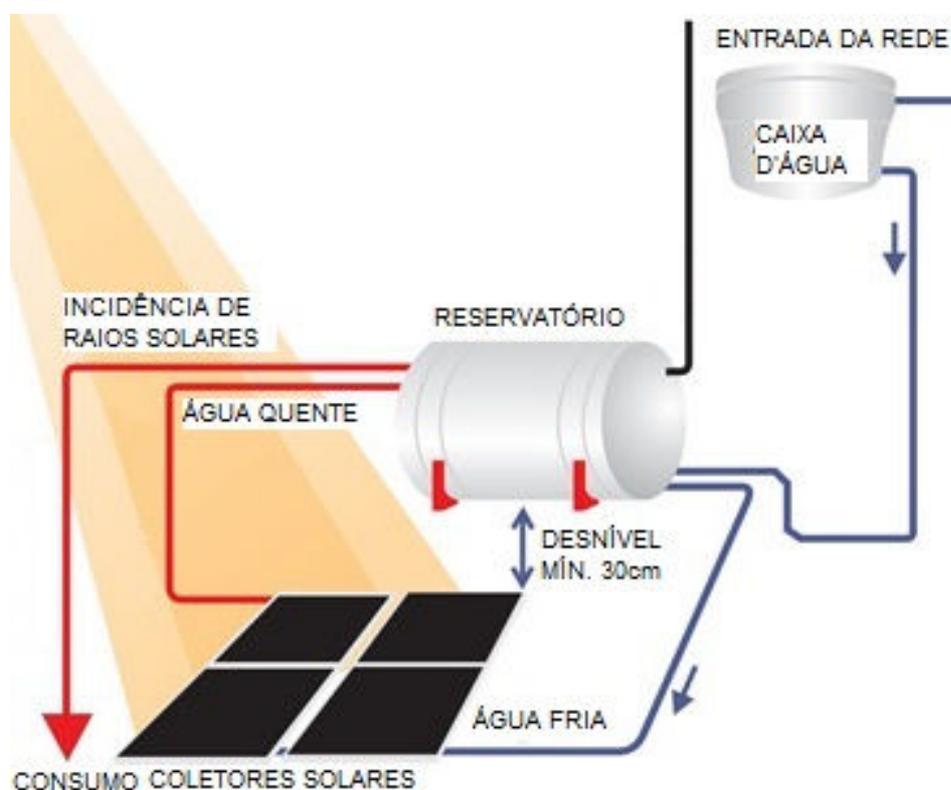


Figura 2 – Esquema de circulação natural, ou termosifão
Fonte: Adaptado de e-Radiar (2017).

O segundo tipo é obtido a partir do uso de bombas que realizam o movimento da água a fim de manter a temperatura desejada dentro do reservatório. Este se chama de circulação forçada; ou por pressão externa, para melhor visualização de como funciona este tipo de circulação conforme ilustrado na Figura 3.

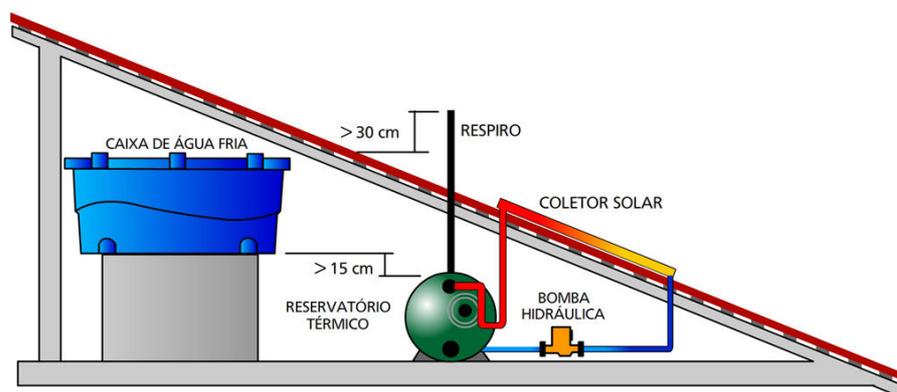


Figura 3 – Esquema de circulação forçada, ou por pressão externa
Fonte: Tekhouse (2017).

- O tipo de regime, leva em consideração o local para onde vai a água após ser aquecida: o regime de acumulação, faz uso de reservatório térmico para guardar a água aquecida que será usada posteriormente. Ou o de passagem, a água após seu aquecimento vai diretamente para os pontos de consumo.
- O tipo de armazenamento pode ser dividido em três diferentes tipos. O primeiro é o convencional, ou seja, quando o reservatório é separado do coletor, ilustrado na Figura 4.



Figura 4 – Armazenamento convencional
Fonte: Solar Center (2017).

O segundo tipo chama-se de acoplado, que ocorre quando o coletor e o reservatório estão numa mesma estrutura de suporte, conforme se observa na Figura 5.



Figura 5 – Armazenamento acoplado
Fonte: Aecweb (2017).

E, por último, o integrado onde a coleta e o armazenamento são feitos em um mesmo dispositivo, como está ilustrado na Figura 6.



Figura 6 – Armazenamento integrado
Fonte: Ourosol (2017).

2.4.1 Coletor solar

Os coletores solares são a parte do SAS que através da radiação solar realizam efetivamente o aquecimento da água. Em linhas gerais, segundo Carvalho e Sionek (2015), o coletor solar é um equipamento que absorve a energia da radiação do sol, converte em calor e transfere este calor para um fluido de trabalho (geralmente o ar, a água ou um óleo) que está passando pelo coletor. Este aquecimento do fluido de trabalho dá-se através da absorção da radiação solar pelo componente do coletor responsável por isso, o qual pode variar de acordo com o tipo de coletor usado.

Atualmente existe mais de um modelo de coletor solar disponível para o uso na composição de um sistema de aquecimento solar. Porém, para a determinação da área solicitada, independente do tipo de coletor, esta deve atender ao volume de água quente a ser armazenada no reservatório do SAS, além de levar em consideração a radiação solar absorvida pelo coletor, suas perdas, etc. Logo, a área para os tipos de coletores presentes neste estudo pode ser dimensionada com base na equação (3):

$$A_{\text{coletora}} = [(E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}) \times FC_{\text{instal}} \times 4,901] / (PMDEE \times I_G) \quad (3)$$

onde:

A_{coletora} é a área coletora, expressa em metros quadrados (m^2);

I_G é o valor da irradiação global média anual para o local de instalação, expresso em quilowatts hora por metro quadrado ao dia ($kWh/m^2 \cdot dia$);

PMDEE é a produção média diária de energia específica do coletor solar, expressa em quilowatts hora por metro quadrado (kWh/m^2);

FC_{instal} é o fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar, adimensional.

Para a determinação da área de um coletor também é necessário determinar-se a produção média diária de energia específica do coletor e para isso utiliza-se a equação (4):

$$PMDEE = 4,901 \times (Fr_{\tau\alpha} - 0,0249 \times Fr_{UL}) \quad (4)$$

onde:

$Fr_{\tau\alpha}$ é o coeficiente de ganho do coletor solar, adimensional, seu valor é determinado de acordo com as especificações do fabricante;

Fr_{UL} é o coeficiente de perdas do coletor solar, adimensional, cujo valor provem das especificações apresentadas pelo fabricante.

O fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar é obtido através da equação (5):

$$FC_{instal} = 1 / \{ 1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{\text{ótimo}})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2] \} \quad (5)$$

onde:

β é a inclinação do coletor em relação ao plano horizontal, expressa em graus ($^{\circ}$), para $15^{\circ} < \beta < 90^{\circ}$;

$\beta_{\text{ótimo}}$ é a inclinação ótima do coletor para o local de instalação, expressa em graus ($^{\circ}$), a norma recomenda que seja adotado o valor de módulo da latitude local acrescido de dez graus;

γ é o ângulo de orientação dos coletores em relação ao norte geográfico, expresso em graus ($^{\circ}$).

Segundo Manea, Rosa e Krenzinger (2012), os coletores solares tradicionais, fabricados com chapa e tubos metálicos e conhecidos como coletores de placa plana costumam atender às necessidades de aquecimento de água para a maior parte das edificações domésticas. Portanto, o uso de outros tipos de coletores, como os que utilizam tubos a vácuo, ficou reservado exclusivamente para a aplicação industrial durante um tempo. Porém, nos últimos anos, o uso destes últimos coletores tem se proliferado, tornando-o competitivo no mercado voltado ao aquecimento de água para uso doméstico.

2.4.1.1 Coletores solares de placas planas

Coletor solar é o dispositivo que absorve a radiação solar incidente, transferindo-a para um fluido de trabalho, sob a forma de energia térmica (ABNT, 2008). Quando o coletor solar não se utiliza de concentração de radiação ou de tubos evacuados, tendo sua superfície absorvedora de forma plana denomina-se o mesmo de coletor solar de placa plana. Segundo Rosa, Manea e Krenzinger (2012), este tipo de coletor é definido pelo fato da tubulação estar no mesmo plano do absorvedor.

Estes coletores são formados por uma cobertura transparente, por uma placa absorvedora, tendo isolamento térmico entre tais placas e por fim uma caixa coletora que servirá como estrutura para a acomodação das placas e do isolamento. A disposição das partes que formam o coletor está ilustrada na Figura 7.

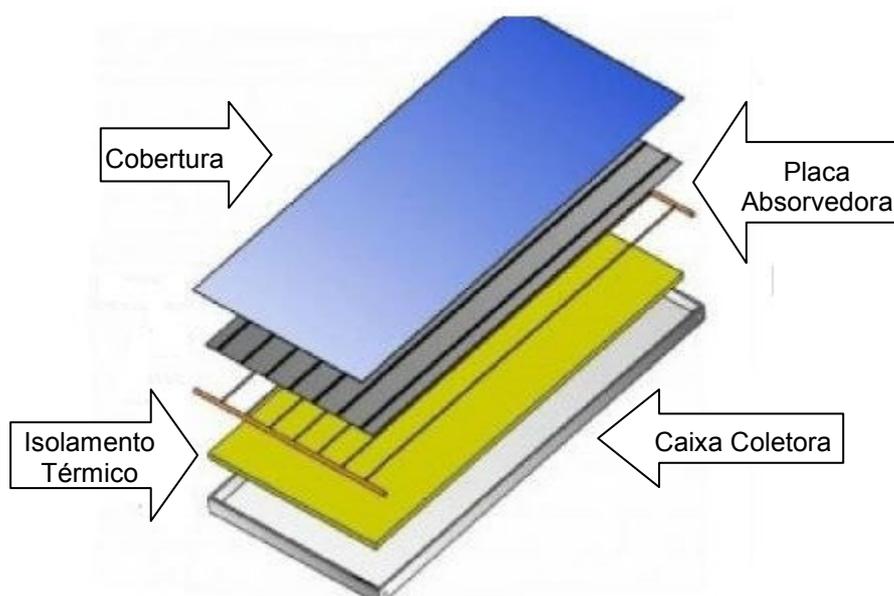


Figura 7 – Coletor solar de placa plana
Fonte: Adaptado de Ecycle (2016).

A área útil correspondente a certo volume de fluido a ser aquecido pode ser estabelecida independentemente do tipo de coletor em estudo e, conforme mencionado anteriormente, esta pode ser dimensionada através do roteiro de cálculo descrito no item 2.4.1. Porém, tem-se que ter em mente que o coletor ocupará uma área maior no telhado onde será instalado e esta área real que o coletor ocupa varia de acordo com o tipo do coletor. Segundo Rosa, Manea e

Krenzinger (2012), no caso de coletores de placas planas, para cada 1,00 m² de área absorvedora será preciso disponibilidade de aproximadamente 1,13 m² de telhado a fim de comportar a instalação do coletor.

2.4.1.2 Coletores solares de tubo a vácuo

A superfície absorvedora de um coletor solar de tubo a vácuo encontra-se dentro de um ambiente que proporciona esta condição. A qual é conseguida através do uso de tubos de vidro, onde a água a ser aquecida passa por dentro de um tubo que está inserido em outro tubo, tendo a área entre ambos os tubos submetida a um isolamento a vácuo. O detalhe destes e de como a água se comporta dentro dos mesmos pode ser observado na Figura 8.

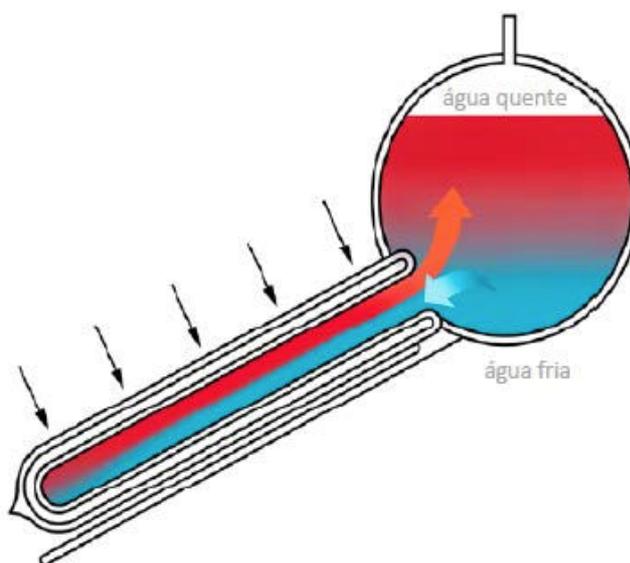


Figura 8 – Detalhe do comportamento da água no tubo a vácuo
Fonte: Jampbrasil (2016).

Segundo Manea, Rosa e Krenzinger (2012), uma superfície seletiva é depositada na parte externa do tubo de vidro interno. Esta é classificada como superfície de absorção/reflexão por possuir uma alta absorção nas bandas do espectro solar e alta reflexão na banda do infravermelho. Na Figura 9 pode ser observado como fica a aparência dos tubos já montados um dentro do outro.



Figura 9 – Detalhe dos tubos do coletor solar de tubos a vácuo
Fonte: Unisolaquecedores (2016).

Coletores solares que utilizam tubo a vácuo minimizam a troca de calor por convecção e condução, tendo a troca de calor por radiação também minimizada devido à superfície absorvedora ter baixa emissividade (MANEA, ROSA e KRENZINGER, 2012). Pode-se observar na Figura 10 como fica a disposição dos tubos no coletor.



Figura 10 – Coletor solar de tubos a vácuo
Fonte: Adaptado de Unisol Aquecedores (2016).

Os coletores de tubos a vácuo de modo geral, normalmente, ocupam uma área de telhado de aproximadamente 1,91 m² para cada área absorvedora (ROSA, MANEA e KRENZINGER, 2012) determinada pela equação descrita no item 2.4.1.

2.4.1.3 Outros coletores solares

Existem ainda outros tipos de coletores solares que são usados para aquecer um fluido, os quais podem trabalhar em baixa ou média temperatura, cujas faixas de abrangência são de 20°C a 80°C e de 80°C a 250°C, respectivamente (PEREIRA et. al, 2012). Seja para a utilização direta deste fluido ou para seu uso na geração de energia elétrica, são eles:

- Coletores de placas planas sem cobertura;
- Coletor cilindro-parabólico composto – CPC, estacionário;
- Coletor máxima reflexão, e;
- Coletor linear Fresnel.

2.4.2 Reservatório térmico

O reservatório térmico, Figura 11, é um dispositivo que tem por função o armazenamento da água já aquecida pelos coletores, com o objetivo de mantê-la em temperatura adequada até o momento do seu consumo.



Figura 11 – Reservatório Térmico
Fonte: Thermo sul (2017).

Pode-se utilizar tanto reservatório térmico que suporta alta pressão quanto os de baixa pressão, esta característica vai variar de acordo com as determinações do projeto a ser aplicado. No geral, este dispositivo é composto por uma camada interna que vai estar em contato com a água quente e pode ser fabricada, por exemplo, em aço inoxidável. Uma camada de isolamento térmico que irá impedir a troca de calor com o ambiente, mantendo assim a temperatura do fluido, esta camada pode ser feita de diversos materiais que garantam o isolamento, como por exemplo, o poliuretano ou mesmo um fluido anticongelante. E, por último uma camada externa. Na Figura 12 pode-se observar como se dá a composição do reservatório já descrita.

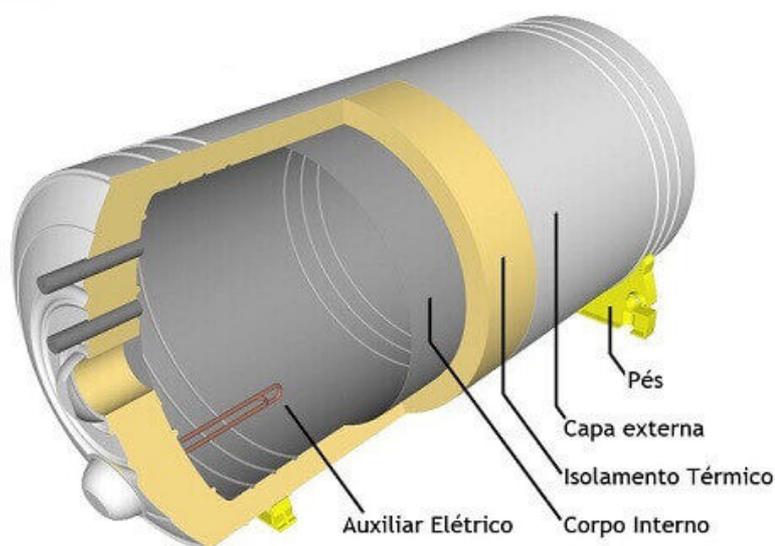


Figura 12 – Composição do reservatório térmico.
Fonte: Solares online (2017).

Para o dimensionamento de reservatório térmico é necessário determinar a demanda de água quente a que o sistema de aquecimento solar deve atender, de acordo com a necessidade da edificação que fará o uso desta água. A partir do número de ocupantes da residência e de acordo com as diretrizes da NBR 15569 (ABNT, 2008), o cálculo segue a partir da consulta a tabela C.1, a qual se pode ver no Quadro 5, constante no anexo C da referida norma.

| Peças | Consumo mínimo | Consumo máximo | Ciclo diário (minuto/pessoa) | Temperatura de consumo °C |
|--------------------------|----------------|----------------|------------------------------|---------------------------|
| Ducha de banho | 3,0 L/min | 15,0 L/min | 10 | 39 — 40 |
| Lavatório | 3,0 L/min | 4,8 L/min | 2 | 39 — 40 |
| Ducha higiênica | 3,0 L/min | 4,8 L/min | 2 | 39 — 40 |
| Banheira | 80 L | 440 L | banho | 39 — 40 |
| Pia de cozinha | 2,4 L/min | 7,2 L/min | 3 | 39 — 40 |
| Lava-louças (12 pessoas) | 20 L | 20 L | ciclo de lavagem | 39 — 50 |
| Máquina de lavar roupa | 90 L | 200 L | ciclo de lavagem | 39 — 40 |

Quadro 5 – Consumo de pontos de utilização de água quente
Fonte: ABNT (2008).

Então, utiliza-se a equação (6), que se encontra no anexo B da NBR 15569 (ABNT, 2008), para a determinação do volume de água quente diário demandado:

$$V_{\text{consumo}} = \sum (Q_{\text{pu}} \times T_u \times \text{frequência de uso}) \quad (6)$$

onde:

V_{consumo} é o volume de água quente consumido diariamente, expresso em metros cúbicos (m^3);

Q_{pu} é a vazão da peça de utilização, expressa em metros cúbicos por segundo (m^3/s);

T_u é o tempo médio de uso diário da peça de utilização, expresso em segundos (s);

Frequência de uso é o número total de utilizações de peça por dia.

A partir da determinação do volume de consumo diário pode-se proceder para o dimensionamento do reservatório. Que é obtido a partir da equação (7):

$$V_{\text{armaz.}} = [V_{\text{consumo}} \times (T_{\text{consumo}} - T_{\text{ambiente}})] / (T_{\text{armaz.}} - T_{\text{ambiente}}) \quad (7)$$

onde:

V_{consumo} é o volume de consumo diário, expresso em metros cúbicos (m^3);

$V_{\text{armaz.}}$ é o volume do reservatório, expresso em metros cúbicos (m^3). A norma utilizada recomenda que este volume deve resultar em um valor maior ou igual a 75% do volume de consumo de água quente;

T_{consumo} é a temperatura de consumo, expressa em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$). De acordo com a NBR 7198 (ABNT, 1993) a água fornecida ao ponto de utilização para uso humano não deve ultrapassar 40°C , portanto sugere-se adotar este valor para a temperatura de consumo;

T_{ambiente} é a temperatura ambiente média anual do local onde será instalado o SAS, expressa em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), esta pode ser consultada no anexo D da norma NBR 15569 (ABNT, 2008) ou ainda no Atlas Brasileiro de Energia Solar;

$T_{\text{armaz.}}$ é a temperatura de armazenamento da água, expressa em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$). A norma sugere que a temperatura de armazenamento seja maior ou igual a temperatura de consumo adotada.

2.5 EDIFICAÇÃO IDEAL

Para que a comparação entre os tipos de coletores solares estudados pudesse ser a mais fiel possível a um modelo real definiu-se como sendo edificação ideal a que respeita alguns parâmetros, tais como:

- Possuir telhado com água voltada para o norte, ou o mais próximo distando poucos graus deste;
- O gasto de energia elétrica mensal do último ano conhecido;
- O número de ocupantes conhecido;
- A água do banho deve ser aquecida somente por eletricidade, sem o uso de outro tipo de energia para isto;
- Apresentar área de telhado capaz de atender ao tamanho demandado pelos coletores em estudo.

2.6 TAXA INTERNA DE RETORNO – TIR

A TIR é um indicador que é utilizado para demonstrar o tempo, em anos, que um investimento precisa para pagar-se e começar a trazer lucro para seu investidor. Como este indicador pode ser definido através de cálculos, para a sua determinação pode-se utilizar da equação (8).

$$TIR = C_i / E_a \quad (8)$$

onde:

C_i é o custo total do investimento, valor apresentado em reais (R\$);

E_a é a projeção da economia, em um ano, que se terá ao adotar-se a intervenção planejada, expresso em reais/ano (R\$/ano).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dessa pesquisa foram cumpridas as seguintes etapas:

- Escolha de uma edificação
- Determinação do projeto
- Dimensionamento do SAS
- Avaliação dos custos
- Cálculo da TIR

Para que cada uma das etapas possa ser cumprida com êxito são apresentados seus respectivos detalhes a seguir.

3.1 ESCOLHA DE UMA EDIFICAÇÃO

Seguindo como base as características definidas no item 2.5 como as ideais para uma edificação onde ocorrerá a instalação de um SAS, iniciou-se uma procura por um local a que se tivesse acesso e que atendesse a esta premissa.

Finalmente, para o estudo em questão escolheu-se a edificação onde funciona o Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, localizado na Av. Silva Jardim, 807, Rebouças, Curitiba, Paraná. Com o intuito de manter-se respeitada a premissa descrita anteriormente, considerou-se o objeto de estudo como sendo uma residência unifamiliar.

Apesar de não ser uma construção utilizada para fins residenciais escolheu-se o escritório verde pelo fato de ser um projeto da UTFPR onde foram aplicados conhecimentos, métodos e materiais construtivos pensando na criação de uma edificação sustentável que servisse de modelo para futuras construções.

As características que mais vão impactar para o estudo em questão são as referentes ao telhado, o qual apresenta uma inclinação de cerca de 30° e dimensões aproximadas de 10,6 m de largura e 12 m de comprimento, totalizando uma área 127,2 m². Além de ter a linha perpendicular à água do telhado distando aproximadamente 10° do norte geográfico.

3.2 DETERMINAÇÃO DO PROJETO

Idealizou-se que as características do projeto do SAS em estudo fossem as seguintes: arranjo tipo solar mais auxiliar, circulação natural, regime de acumulação com armazenamento convencional e alívio de pressão através de respiro. Tais características serão utilizadas para o dimensionamento do SAS independente do coletor a ser utilizado, se de placas planas ou de tubos a vácuo.

3.3 DIMENSIONAMENTO DO SAS

Para realização dos cálculos utilizados no dimensionamento de SAS tem-se disponível mais de um tipo de metodologia ou padrão que pode ser adotado.

Contudo, a metodologia que se adotou para o dimensionamento deste SAS é a recomendada no anexo B da NBR 15569 (ABNT, 2008). Tal dimensionamento levou em conta as premissas e informações descritas a seguir.

3.3.1 Volume de consumo

De acordo com as diretrizes da NBR 15569 (ABNT, 2008) apresentadas no Quadro 5, calculou-se a demanda de água quente que suprisse a necessidade de uma residência unifamiliar de quatro ocupantes, considerando uso desta água somente para a ducha de banho, considerando uma vazão de 15 l/min, com tempo médio de uso de 10 minutos e de um banho por pessoa.

Após, utilizou-se da equação (6) para a determinação do volume de água quente que deverá atender o consumo demandado pela residência.

3.3.2 Volume de armazenamento

A partir da determinação do volume de consumo diário realizada, procedeu-se ao dimensionamento do volume de armazenamento do reservatório, obtido a partir da equação (7). Os parâmetros adotados foram os seguintes:

- Temperatura de consumo se adotou o valor de 40°C, que é o recomendado como máximo para consumo humano pela NBR 7198 (ABNT, 1993);
- Temperatura ambiente se adotou a temperatura média anual para a cidade de Curitiba correspondente ao valor de 19,23°C, valor determinado segundo Swera (2017).
- Temperatura de armazenamento, o valor de 50°C foi arbitrado respeitando o exigido por norma.

3.3.3 Demanda de energia

Com o volume de armazenamento devidamente dimensionado, procedeu-se à determinação da energia útil, calculada a partir da equação (1). Também foram consideradas as perdas de energia que o sistema deve sofrer, ou seja, o somatório das perdas térmicas do SAS. Cujo cálculo é determinado através da equação (2).

3.3.4 Irradiação global

A irradiação global média anual foi obtida através do estudo de mapas solarimétricos, ilustrado Figura 13, disponíveis no momento em que trabalho foi desenvolvido e também da consulta ao programa *SunData*. A forma em que os dados são apresentados podem ser visualizadas na Figura 14. Utilizou-se do material e comparou-se os valores, ou faixa de valores, apresentados para então determinar-se o mais adequado para a localização do objeto em estudo.

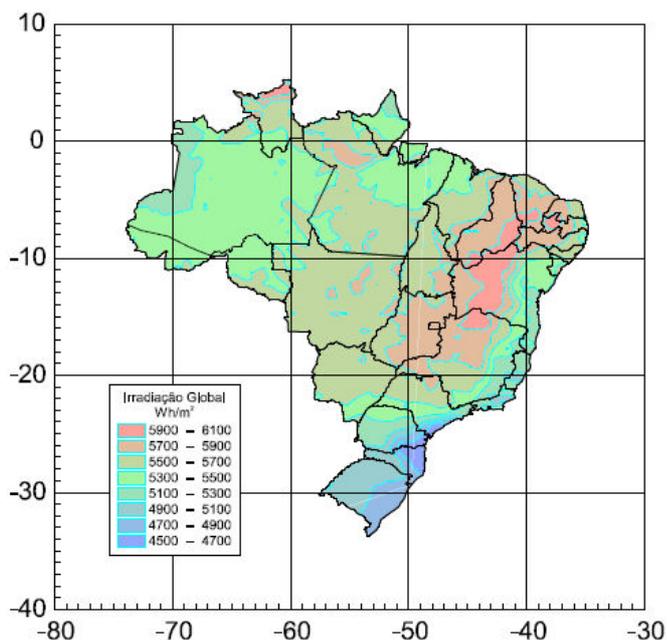


Figura 13 – Mapa irradiação média anual típica
Fonte: Colle e Pereira (1998).

Estação: Curitiba
Município: Curitiba , PR - BRA
Latitude: 25,3° S
Longitude: 49,273055° O
Distância do ponto de ref. (25,4284° S; 49,2733° O) :14,3 km

| # | Ângulo | Inclinação | Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia] | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Média | Delta |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Plano Horizontal | 0° N | 4,67 | 4,11 | 3,47 | 3,06 | 2,53 | 2,47 | 3,11 | 3,31 | 3,67 | 4,22 | 4,94 | 5,06 | 3,72 | 2,59 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ângulo igual a latitude | 25° N | 4,25 | 3,93 | 3,54 | 3,41 | 3,06 | 3,18 | 4,05 | 3,90 | 3,90 | 4,13 | 4,54 | 4,53 | 3,87 | 1,48 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Maior média anual | 20° N | 4,37 | 4,01 | 3,56 | 3,38 | 2,99 | 3,07 | 3,90 | 3,83 | 3,90 | 4,19 | 4,66 | 4,67 | 3,88 | 1,69 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Maior mínimo mensal | 44° N | 3,63 | 3,50 | 3,31 | 3,38 | 3,19 | 3,42 | 4,37 | 3,99 | 3,74 | 3,72 | 3,89 | 3,80 | 3,66 | 1,17 |

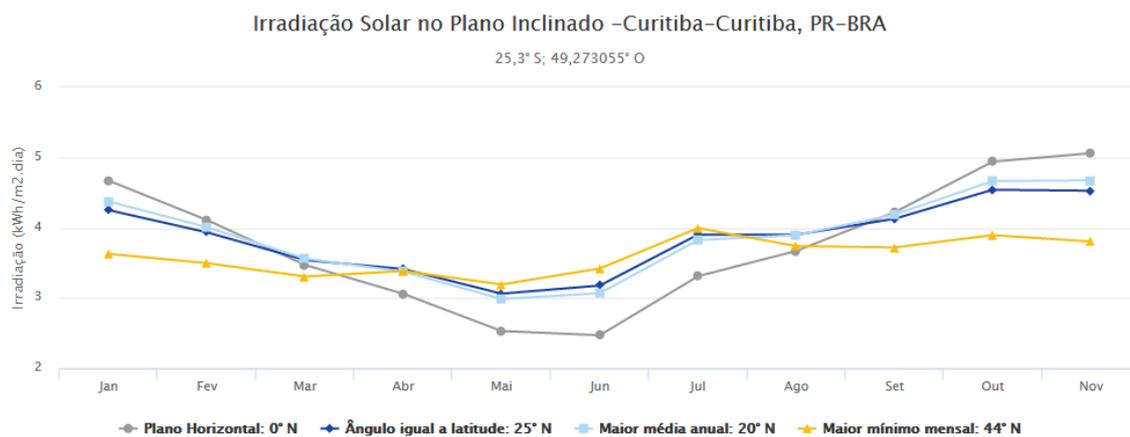


Figura 14 – Irradiação solar média para a cidade de Curitiba
Fonte: CRESESB (2017).

A determinação do valor mais adequado levou em consideração o fato de que o apresentado no mapa da Figura 13 refere-se a estudos mais antigos. Enquanto o valor apresentado pelo programa *SunData* utiliza dados mais atuais o

que pode resultar em uma saída de dados mais concisos. Levou-se em conta também o fato da leitura do mapa apresentar pequena imprecisão. Portanto, escolheu-se o valor relativo à média da irradiação solar diária média mensal apresentado pelo *SunData* e que corresponde a 3,87 kWh/m² dia.

3.3.5 Área do coletor

Para a determinação da área solicitada de cada tipo de coletor que satisfaça a demanda de consumo de água quente necessitou-se calcular separadamente a área de cada coletor estudado. Porém, ambos foram dimensionados com base na equação (3).

Ainda foram adotados certos parâmetros que correspondem à posição e orientação do local de instalação do coletor, neste caso sendo estes relacionados a edificação escolhida, apresentados no Quadro 6, e que foram utilizados na equação (5).

| Parâmetro | Valor Adotado |
|------------------------|---------------|
| β | 30° |
| $\beta_{\text{ótimo}}$ | 35,4284° |
| γ | 10° |

Quadro 6 – Parâmetros de inclinação e orientação
Fonte: Autoria Própria (2017).

Para o cálculo da equação (4) foram adotados os coeficientes apresentados no Quadro 7, porém é importante ressaltar-se que estes variam de acordo com o modelo e fabricante do coletor a ser utilizado no projeto. Os parâmetros adotados neste estudo estão condizentes com a classificação nível A dada pelo INMETRO e, tal nível de classificação foi considerado para ambos os tipos de coletores. Cabe lembrar que se escolheu a adoção dos parâmetros apresentados pelo INMETRO, pois a intenção do estudo é realizar uma cotação comercial, logo os valores devem ser aqueles estabelecidos para coletores encontrados comercialmente.

| Coeficiente | Coletor de placa plana | Coletor de tubos a vácuo |
|--------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Fr _{τα} | 0,722 | 0,768 |
| Fr _{UL} | 5,361 | 4,800 |

Quadro 7 – Coeficientes adotados para cada tipo de coletor
Fonte: INMETRO (2017).

3.4 CUSTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

Estimou-se o preço de ambos os tipos de coletores e do reservatório que compõem o sistema definido anteriormente.

Ressalta-se que para a determinação dos custos da implantação do SAS não foram levados em consideração os gastos relativos à instalação da tubulação que levaria a água quente do reservatório até os pontos de consumo. Assim como os custos relativos à estrutura para apoio dos coletores e do reservatório.

3.5 TAXA INTERNA DE RETORNO

No cálculo da TIR levou-se em conta os gastos futuros com energia elétrica consumida pelos moradores, referentes apenas ao uso de chuveiro elétrico, porém sem incluir no valor a projeção do aumento que as taxas venham a sofrer. Também se calculou, para ambos os coletores estudados, o quanto seria reduzido este consumo de energia elétrica referente ao uso concomitante com o sistema de aquecimento solar.

4 RESULTADOS EDISCUSSÕES

4.1 DIMENSIONAMENTO DO SAS

A partir dos cálculos realizados para o dimensionamento do SAS, e seguindo a metodologia descrita no item 3, foram obtidos os resultados apresentados neste item.

Iniciou-se o cálculo com base na demanda de água quente que atendesse as necessidades diárias de uma residência unifamiliar com quatro habitantes, tendo como resultado o volume de consumo, cujo valor obtido foi de 600 litros.

Procedeu-se para a determinação do volume de armazenamento, resultando em um volume de 405,01 litros. Como a determinação do valor a ser adotado referente ao volume do reservatório leva em conta também que este não deve ser menos que 75% do volume de consumo calculado. Fez-se necessário calcular este valor, determinando que a porcentagem do volume consumido equivale a 450 litros.

Como o valor obtido de volume de armazenamento é menor que o volume mínimo necessário, 75% do volume de consumo, adotou-se como o volume do reservatório o valor de 500 litros que é o valor comercial mais próximo deste mínimo.

A partir desta definição pode-se calcular a energia útil, a qual resultou em 17,86 kWh/dia. A quantidade de perdas de energia foi estimada de acordo com a indicação da NBR 15569 (ABNT, 2008) onde se considera 15% do valor obtido para a energia útil, conforme a equação (2), portanto o valor calculado foi de 2,68 kWh/dia.

Como a inclinação do local onde o coletor é instalado também interfere na determinação da área necessária, calculou-se também o fator de correção de instalação, o qual leva em consideração não só a inclinação como inclui na equação a posição do local. O valor determinado foi de 1,01, sendo este adimensional.

Definiu-se a produção média diária de energia específica para cada tipo de coletor porque para este valor levou-se em conta coeficientes relacionados a cada um dos dois tipos de coletor, conforme apresentado no Quadro 6. O coletor de placas planas apresentou um resultado de 2,95 kWh/m², enquanto a produção

média diária de energia específica do coletor de tubos a vácuo ficou em 3,11 kWh/m².

E, finalmente, foi possível determinar a área necessária para cada um dos coletores em estudo. Os resultados obtidos não diferiram muito entre si, ficando os valores em 8,87 m² e 8,43 m² para os coletores de placas planas e para os de tubos a vácuo, respectivamente.

O resumo dos resultados obtidos a partir do dimensionamento estudado pode ser visualizado na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados calculados no dimensionamento do SAS

| Dados Calculados | Coletor Plano | Coletor a Vácuo |
|-----------------------------------|----------------------|------------------------|
| Volume de consumo (litros) | 600,00 | 600,00 |
| Volume de armazenamento (litros) | 405,01 | 405,01 |
| 75% do Volume de consumo | 450,00 | 450,00 |
| Volume adotado (litros) | 500,00 | 500,00 |
| Energia (kWh/dia) | 17,86 | 17,86 |
| Perdas de energia (kWh/dia) | 2,68 | 2,68 |
| Fator de correção para inclinação | 1,01 | 1,01 |
| PMDEE (kWh/dia) | 2,95 | 3,11 |
| Área coletora (m ²) | 8,87 | 8,43 |

Fonte: Autoria Própria (2017).

4.2 ESTIMATIVA DE CUSTOS

Com base nos resultados obtidos, possibilitou-se determinar qual modelo disponível no mercado atende a área demandada para cada um dos tipos de coletores estudados.

Realizou-se, ainda, a definição do modelo de reservatório que melhor atende ao projeto do SAS e a estimativa de custos do mesmo.

4.2.1 Reservatório

Para o volume de reservatório dimensionado, como dito anteriormente, será utilizado um reservatório com capacidade de armazenamento de 500 litros, este também possui resistência para aquecimento da água em dias nublados e termostato para garantir a correta regulação desta temperatura. O custo estimado, através de pesquisa de preços, foi o de R\$ 1.881,00. O equipamento escolhido tem seu uso indicado tanto para compor o SAS com coletor de placa plana quanto com o coletor de tubos a vácuo.

4.2.2 Coletor de placa plana

Realizou-se pesquisa de preços para três diferentes tamanhos de um mesmo modelo de coletor de placas planas. Os valores definidos para cada um podem ser observados na Tabela 2. O objetivo foi de se avaliar a influência no valor total que a composição dos coletores pode sofrer de acordo com as dimensões comerciais de cada placa.

Tabela 2 – Preços e quantidade necessária para cada dimensão de coletor atender a área coletora demandada

| Dimensão da Área | Qtd | Preço Unitário | Preço Total |
|------------------------------------|------------|-----------------------|--------------------|
| Coletor placa – 1 m ² | 9 | R\$ 588,01 | R\$ 5.292,09 |
| Coletor placa - 1,5 m ² | 6 | R\$ 959,81 | R\$ 5.758,86 |
| Coletor placa – 2 m ² | 4 | R\$ 774,66 | R\$ 3.098,64 |

Fonte: Autoria própria (2017).

Para se proceder aos demais cálculos realizados, definiu-se que o projeto deve ser composto por quatro coletores de placas planas com dimensão de área igual a 2 m² cada. Totalizando o preço em R\$ 3.098,64.

4.2.3 Coletor de tubos a vácuo

Definiu-se a estimativa do preço total do SAS considerando o uso de coletor de tubos a vácuo em R\$ 5.972,02. Este consistiu em adotar-se 3 coletores de 20 tubos cada para o aquecimento da água além do reservatório descrito no item 4.2.1.

Este valor levou em conta a análise entre três modelos disponíveis, com mesmas características, diferindo apenas na quantidade de tubos que o compõem, de coletores e as respectivas quantidades de peças necessárias para atender a demanda da área coletora, conforme apresentado na Tabela 3. A área do coletor apresentada em tal tabela é a informada pelo fabricante.

Tabela 3 – Preços e quantidade necessária para cada modelo de coletor atender a área coletora demandada

| Modelo | Área do Coletor | Quantidade | Preço Unitário | Preço Total |
|------------------------|---------------------|------------|----------------|--------------|
| Coletor Solar 10 tubos | 1,39 m ² | 6 | R\$ 987,90 | R\$ 5.992,26 |
| Coletor Solar 15 tubos | 2,10 m ² | 4 | R\$ 1.492,00 | R\$ 5.994,65 |
| Coletor Solar 20 tubos | 2,81 m ² | 3 | R\$ 1.989,00 | R\$ 5.972,02 |

Fonte: Autoria própria (2017).

4.3 CÁLCULO DA TIR

O cálculo da taxa interna de retorno, conforme a equação (8) que consta no item 2.6, se baseou nos custos totais de investimento para a implantação de cada uma das duas alternativas de coletores.

Em contra partida definiu-se o gasto que se teria em energia elétrica no caso do uso exclusivo de chuveiro para o aquecimento da água de banho. Os custos totais para os três possíveis cenários estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Estimativa de custos para os três cenários possíveis

(continua)

| Tipo de aquecimento | Custo de implantação | Custo energia elétrica mensal | Custo Total |
|-----------------------|----------------------|-------------------------------|--------------|
| Solar - coletor plano | R\$ 5.716,24 | - | R\$ 5.716,24 |

Tabela 4 – Estimativa de custos para os três cenários possíveis

(conclusão)

| Tipo de aquecimento | Custo de implantação | Custo energia elétrica mensal | Custo Total |
|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Solar - coletor a vácuo | R\$ 7.853,02 | - | R\$ 7.853,02 |
| Elétrico - chuveiro | R\$ 100,00 | R\$ 98,57 | R\$ 198,57 |

Fonte: Autoria própria (2017).

O cálculo da TIR foi realizado para as duas alternativas de SAS em estudo, correlacionando cada uma delas com o custo de energia elétrica mensal que seria economizado ao adotar-se o aquecimento através de um SAS.

Os resultados obtidos foram de aproximadamente 29 meses para os coletores de placas planas e 40 meses para os de tubos a vácuo. O resumo dos valores de TIR obtidos pode ser visualizado na Tabela 5.

Tabela 5 – Cálculo da TIR para os dois tipos de coletores estudados

| Tipo de coletor | TIR (meses) | TIR (anos) |
|------------------------|--------------------|-------------------|
| Placa plana | 28,8 | 2,4 |
| Tubos a vácuo | 39,5 | 3,3 |

Fonte: Autoria própria (2017).

A análise dos resultados obtidos nos mostra que os coletores de placas planas apresentam um melhor custo benefício. Porém, deve-se levar em consideração que os coeficientes adotados para este estudo foram os informados pelos fabricantes de coletores devido à intenção de se utilizar dados referentes a coletores disponíveis comercialmente no mercado brasileiro. Portanto, este fator, além de outros, influencia no desempenho dos coletores, afetando o resultado obtido para a produção média diária de energia específica – PMDEE de cada coletor dimensionado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo realizar a análise comparativa entre dois tipos de coletores para um mesmo local. Conforme se observou ao longo deste, foram dimensionados os coletores de placas planas e os de tubos a vácuo. Partindo da premissa de se realizar um estudo teórico que tivesse como base um exemplo que pudesse ser instalado, realizou-se a definição da edificação que serviu como modelo para o projeto, que também foi caracterizado com a finalidade de atender a esta premissa inicial.

Posteriormente, procedeu-se ao dimensionamento do reservatório e dos coletores que iriam compor o sistema de aquecimento solar. Para este utilizou-se de norma brasileira, também tendo o intuito de realizar um estudo que possa servir para um exemplo real.

Seguindo a mesma linha de raciocínio iniciou-se a coleta de dados necessários a estimativa de custos que teriam sua importância na determinação da taxa interna de retorno, a qual foi calculada com o fim de obter um indicador que pudesse ilustrar a diferença entre o investimento necessário à implantação de um SAS que utilizasse um dos dois tipos de coletores.

Observou-se que os coletores apresentaram desempenhos similares, resultando em uma área coletora com valores próximos para ambos os tipos estudados. A partir dessas informações foi possível avaliar a estimativa de custos, a qual mostrou que mesmo nos dias atuais onde os coletores de tubos a vácuo estão mais difundidos comercialmente para o uso residencial, em relação ao cenário encontrado alguns anos atrás, estes ainda não possuem seu custo próximo ao custo dos coletores de placas planas, modelo de coletor que teve seu uso comercial no Brasil difundido anteriormente ao outro modelo estudado.

Levando em consideração o uso de coletores com características próximas às dos estudados, pode-se considerar que os coletores de placas planas apresentaram uma estimativa de custo menor para o mesmo projeto que os coletores de tubos a vácuo.

Ressalta-se o fato dos parâmetros adotados para o dimensionamento das áreas coletoras necessárias para cada tipo de coletor ser o informado pelo

fabricante. E, isto nos traz a necessidade de verificar através de testes laboratoriais, os quais não estavam no escopo deste estudo, se tais parâmetros se verificam. Outros fatores também podem vir a ser estudados em trabalhos posteriores como, por exemplo, a metodologia adotada ter como base somente a NBR 15596 (ABNT, 2008), podendo-se adotar uma metodologia mais detalhada.

Enfim acredita-se que a análise do desempenho destes dois tipos de coletores poderá ser realizada de diferente forma, inclusive a fim de verificar se as placas planas realmente apresentam o melhor custo benefício.

REFERÊNCIAS

AECWEB. **Armazenamento Acoplado**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/tematico/img_figuras/img-2-508%24%242889.jpg>. Acesso em 15/06/2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7198**: Projeto e execução de instalações de água quente. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15569**: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – projeto e instalação. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15747-1**: Sistemas solares térmicos e seus componentes – coletores solares - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2009.

CARVALHO, Filipe Rocha de; SIONEK, Mirella Cristina. **Análise da eficiência de um coletor solar plano**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Campus Curitiba, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

COLLE, Sérgio; PEREIRA, Enio Bueno. **Atlas de Irradiação Solar do Brasil**: 1a versão para irradiação global derivada de satélite e validada na superfície. Brasília, 1998.

CRESESB. **Centro de referência para energia solar e eólica Sérgio Brito**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 21/04/2017.

DUTRA, Ricardo M.; MARIANO, Jacqueline B. LA ROVERE, Emilio L.; SOARES, Jeferson B.; TRIGO, Aline G.; VIEIRA, Tatiana L.; OLIVEIRA Luciano B. **Planejamento energético da oferta de energia a partir de energias renováveis: uma proposta de indicadores para Avaliação Integrada**. In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Energia - CBE, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/artigo/CBE_XI-Artigo1.pdf>. Acesso em: 06/09/2016.

E-CYCLE. **Coletor solar de placa plana**. Disponível em: <www.ecycle.com.br>. Acesso em: 27/10/2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional 2016**: Ano base 2015. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2016&anoFimColeta=2015>>. Acesso em: 06/09/2016.

E-RADIAR. **Esquema de circulação natural, ou termossifão**. Disponível em: <http://www.eradiar.com.br/index.php?site=descricao_links.php&id_produto=1>. Acesso em: 09/06/2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Tabela de consumo e eficiência energética**: Coletor solar aplicação banho e piscina. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/coletores-solares-banho-e-piscina.pdf>>. Acesso em 15/06/2017.

JAMP BRASIL. **Detalhe do comportamento da água no tubo a vácuo**. Disponível em: <http://jampbrasil.com.br/_media/images/user_editor/2312013180534.jpg>. Acesso em: 02/12/2016.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/publicacoes/livros>>. Acesso em: 30/09/2016.

MANEA, Tiago Francisco; ROSA, Fábio Niemezewski da; KRENZINGER, Arno. **Determinação dos Parâmetros de Desempenho de um Coletor Solar de Tubos de Vidro a Vácuo**. In: IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.acquaviva.com.br/CD_CBENS/trabalhos/T226.pdf>. Acesso em: 29/09/2016.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta; WALTER, Arnaldo César da Silva. **Experiências de geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: Aspectos técnicos e econômicos**. Memoria - Reunión regional sobre generación de electricidad a partir de biomasa. Serie Florestal nº 7. Santiago, Chile, 1996. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s0c.htm>>. Acesso em: 08/02/2017.

OUROSOL. **Armazenamento integrado**. Disponível em: <<http://www.ourosol.com.br/ckfinder/userfiles/images/novo%2010.JPG>>. Acesso em 15/06/2017.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; DE ABREU, Samuel Luna; RUTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 1ª ed. São José dos Campos, 2006.

PEREIRA, Elizabeth; PALETTA, Francisco. COELHO, Suani; ZILES, Roberto; BENEDITO, Ricardo; LÚCIO, Geraldo; MAMBELLI, Regina; GALHARDO, Camila; PINHO, João Tavares; SILVA, Ennio Peres. **Série energia e sustentabilidade: Energias renováveis**. 1ª ed. São Paulo, 2012.

POMILIO, José Antenor **Eletrônica de Potência para Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica**. Campinas, 2013. Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/it744/CAP1.pdf>>. Acesso em: 29/09/2016.

ROSA, Fábio Niemezewski da; MANEA, Tiago Francisco; KRENZINGER, Arno. **Estudo comparativo da utilização de coletores solares planos e tubulares para aquecimento de água**. In: Anais do IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana – São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.acquaviva.com.br/CD_CBENS/trabalhos/T258.pdf>. Acesso em: 24/03/2017.

SOLAR CENTER. **Armazenamento convencional**. Disponível em: <<http://www.solarcenter-rs.com.br/editor/Image/placa-solar-2.jpg>>. Acesso em: 15/06/2017.

SOLARES ONLINE. **Composição do reservatório térmico**. Disponível em: <<http://www.solares-online.com.br/images/blog/reservatorio-termico-solar.jpg>>. Acesso em 15/06/2017.

SWERA. **Temperatura média anual de Curitiba**. Disponível em: <<https://maps.nrel.gov/swera/#/?aL=JlyXkv%255Bv%255D%3Dt&bL=groad&cE=0&IR=0&mC=-24.5271348225978%2C-48.84521484375&zL=6>>. Acesso em: 10/06/2017.

TEK HOUSE. **Esquema de circulação forçada, ou por pressão direta**. Disponível em: <<http://www.tekhouse.com.br/?go=comofunciona&categoriaID=1&itemID=4>>. Acesso em: 09/06/2017.

THERMO SUL. **Reservatório térmico**. Disponível em: <<http://www.thermosul-rs.com.br/wp-content/uploads/2015/03/boillergrande.jpg>>. Acesso em: 15/06/2017.

TIBA, Chigueru; FRAIDENRAICH, Naum; MOSZKOWICZ, Maurício; CAVALCANT, Evandro Sérgio Camelo; LYRA, Francisco José Maciel; NOGUEIRA, Ângela Maria de Barros; GALLEGOS, Hugo Grossi; DE ARAÚJO, Deisiane Cristina Nascimento; MAMEDE, Frederico Jorge Santos; DE PINHO Júnior, Alfredo Ferreira; KIDA, Cátia Helena; DE OLIVEIRA, Tito Marcelo Almeida. **Atlas Solarimétrico do Brasil**: banco de dados solarimétricos. Recife, 2000. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf>. Acesso em: 20/09/2016.

UNISOL AQUECEDORES. **Detalhe dos tubos do coletor solar de tubos a vácuo**. Disponível em: <<http://www.unisolaquecedores.com.br>>. Acesso em: 27/10/2016.

UNISOL AQUECEDORES. **Coletor solar de tubos a vácuo**. Disponível em: <<http://www.unisolaquecedores.com.br/produtos>>. Acesso em: 27/10/2016.