



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



LUÍS EDUARDO SOARES PENNA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE EFICIÊNCIA E APLICABILIDADE
ENTRE COLETORES SOLARES PLANOS E COLETORES DE TUBO
EVACUADO PARA EMPREGO RESIDENCIAL**

OURO PRETO - MG

2021

LUÍS EDUARDO SOARES PENNA

luised_penna@hotmail.com

**ANÁLISE COMPARATIVA DE EFICIÊNCIA E APLICABILIDADE
ENTRE COLETORES SOLARES PLANOS E COLETORES DE TUBO
EVACUADO PARA EMPREGO RESIDENCIAL**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: DSc. Luís Antônio Bortolaia.

**OURO PRETO – MG
2021**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

P412a Penna, Luis Eduardo Soares.
Análise comparativa de eficiência e aplicabilidade entre coletores solares planos e coletores de tubo evacuado para emprego residencial. [manuscrito] / Luis Eduardo Soares Penna. - 2021.
48 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Luis Antonio Bortolaia.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Coletores solares - Coletor solar plano. 2. Coletores solares - Coletor solar à vácuo. 3. Energia - Consumo. 4. Água - Aquecimento solar. I. Bortolaia, Luis Antonio. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Luís Eduardo Soares Penna

Análise comparativa de eficiência e aplicabilidade entre coletores solares planos e coletores de tubo evacuado para emprego residencial

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 09 de dezembro de 2021

Membros da banca

DsC. Luís Antônio Bortolaia - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
DsC. Claudio Márcio Santana (Universidade Federal de Ouro Preto)
DsC. Edson Alves Figueira Júnior (Universidade Federal de Ouro Preto)

Luís Antônio Bortolaia, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 27/12/2021



Documento assinado eletronicamente por **Luís Antonio Bortolaia, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/12/2021, às 10:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0262324** e o código CRC **C94CA018**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.013456/2021-60

SEI nº 0262324

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: (31)3559-1533 - www.ufop.br

AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar agradeço aos meus pais, Liége e José Geraldo por terem sempre me motivado e incentivado todos os passos da minha vida.

Aos meus irmãos, José Márcio e Guilherme por todo apoio e companheirismo de sempre.

Ao meu orientador Luís Antônio Bortolaia, por toda paciência e dedicação durante o projeto, foi muito importante para a conclusão do trabalho, me proporcionando um conhecimento maior na área.

Aos meus amigos da República Tróia por toda a irmandade durante meu período em Ouro Preto.

Agradeço também a UFOP e aos professores da Engenharia Mecânica que sempre me proporcionaram um ensino de qualidade.

“O segredo do sucesso é a constância do propósito”.

Benjamin Disraeli

RESUMO

Com a constante evolução tecnológica, a ideia de se utilizar recursos sustentáveis em prol da geração de energia vem cada vez mais sendo desenvolvida. Como o Brasil é um país com ótimo índice de irradiação solar, o presente estudo apresenta a aplicação de diferentes tipos de coletores solares para diminuição do gasto com chuveiros elétricos em duas capitais do país: Fortaleza e Curitiba. Através de uma pesquisa exploratória do sistema de aquecimento de água com abordagem quantitativa do dimensionamento de dois coletores solares, será analisado um estudo de caso em um mesmo tipo de residência para ambas as localidades, uma casa familiar com quatro moradores que apresentam um mesmo consumo de água diariamente. Com os dados pesquisados e os cálculos realizados, serão apresentados o coletor plano e o coletor de tubos escolhidos para análise. Definidos os diferentes coletores, optou-se por selecionar um mesmo reservatório para ambas as situações, um boiler de volume comercial de 200 litros. A partir dos equipamentos selecionados, pode-se notar a divergência nos gastos e no tempo em que o investimento estaria pago para ambas as localidades.

Palavras-chave: coletor solar plano, coletor solar à vácuo, aquecimento de água, energia, dimensionamento, custos.

ABSTRACT

With constant technological evolution, the idea of using sustainable resources in favor of energy generation has been increasingly developed. As Brazil is a country with an excellent rate of solar irradiation, this study presents the application of different types of solar collectors to reduce the cost of electric showers in two capitals of the country: Fortaleza and Curitiba. Through an exploratory research of the water heating system with a quantitative approach of the dimensioning of two solar collectors, a case study will be analyzed in the same type of residence for both locations, a family house with four residents who have the same consumption of water daily. With the researched data and the calculations performed, the flat collector and the tube collector chosen for analysis will be presented. Once the different collectors were defined, it was decided to select the same reservoir for both situations, a boiler with a commercial volume of 200 liters. From the selected equipment, it is possible to notice the divergence in expenses and in the time in which the investment would be paid for both locations.

Key-words: flat solar collector, vacuum solar collector, water heating, energy, dimensioning, costs.

LISTA DE SIMBOLOS

E	poder emissivo da superfície (W/m ²);
ε	emissividade (adimensional)
T_s	temperatura absoluta da superfície (K)
σ	constante de Stefan – Boltzmann (W/m ² K ⁴)
G_{abs}	irradiação absorvida pela superfície (W/m ²)
α	propriedade radiante da superfície denominada absortividade (-)
G	radiação incidente total (W/m ²)
q''_{rad}	fluxo de radiação (W/m ²)
q_{rad}	taxa líquida de transferência de calor por radiação (W)
h_r	coeficiente de transferência de calor por radiação (W/m ² K)
q''_{conv}	fluxo de calor convectivo (W/m ²)
T_s	temperatura da superfície (°C, K)
T_∞	temperatura do fluido (°C, K)
h_c	coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m ² K)
R_t	resistência térmica (°C/W, K/W)
$R_{t,cond}$	resistência térmica condutiva (°C/W, K/W)
$R_{t,conv}$	resistência térmica convectiva (°C/W, K/W)
$R_{t,rad}$	resistência térmica radiante (°C/W, K/W)
Q	quantidade de calor sensível (J)
m	massa do corpo (kg)
C_p	calor específico da substância (J/kg °C)
ΔT	variação da temperatura (°C ou K)
$V_{consumo}$	volume de consumo (l)
V_{armaz}	volume de armazenamento (m ³)

V_{quente}	volume de consumo de água quente (m^3)
$T_{consumo}$	temperatura de consumo de utilização ($^{\circ}C$)
T_{armaz}	temperatura de armazenamento ($^{\circ}C$)
$T_{ambiente}$	temperatura média anual do local da instalação ($^{\circ}C$)
$D_{mês}$	demanda energética ($kWh/mês$)
Q_{dia}	consumo diário de água quente ($litros/dia$)
N	número de dias do mês considerado (-)
T_{acs}	temperatura do consumo de água quente ($^{\circ}C$)
T_{af}	temperatura de água fria da rede ($^{\circ}C$)
$Q_{mês}$	irradiação solar média mensal ($kWh/m^2 \cdot mês$)
Q_{dia}	irradiação solar diária média mensal ($kWh/m^2 \cdot dia$)
A	área mínima do painel (m^2)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variação da Radiação solar no território brasileiro.....	2
Figura 2 - Modos de Transferência de Calor: condução, convecção e radiação.....	5
Figura 3 - Transferência de calor unidimensional por condução.....	6
Figura 4 - Mecanismo de transferência de calor por convecção.....	8
Figura 5 - Tipos de Convecção: (a) Convecção forçada; (b) Convecção natural.....	8
Figura 6 - Matriz Energética Brasileira.....	12
Figura 7 – Consumo típico de energia elétrica de residências brasileiras.....	13
Figura 8 - Fluxograma mostrando as principais etapas do processo de um SAS.....	13
Figura 9 – Sistema de aquecimento solar a partir de um coletor.....	15
Figura 10 – Componentes de um coletor de placa plana.....	16
Figura 11 – Estrutura de um tubo coletor.....	18
Figura 12 – Coletor solar de tubos a vácuo instalado.....	18
Figura 13 – Funcionamento esquematizado de um coletor solar a vácuo.....	19
Figura 14 – Comparação da irradiação solar para Fortaleza.....	36
Figura 15 – Comparação da irradiação solar para Curitiba.....	37
Figura 16 – Orientação geográfica dos coletores.....	21
Figura 17 – Ângulo de inclinação dos coletores.....	21
Figura 18 – Média anual de irradiação para o território brasileiro.....	22
Figura 19 – Modelo de reservatório térmico.....	24
Figura 20 – Fluxograma das etapas do trabalho.....	29
Figura 21 – Média de temperatura mensal em Fortaleza - °C x mês.....	33
Figura 22 – Média de temperatura mensal em Curitiba - °C x mês.....	33
Figura 23 – Coletor plano modelo HELIOTEK MC15 EVOLUTION PRO.....	37
Figura 24 – Coletor à vácuo modelo ECO PRO BNP-1-15.....	38
Figura 25 – Média de energia consumida por um chuveiro.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do SAS.....	14
Tabela 2 – Consumo de pontos de utilização de água quente.....	23
Tabela 3 – Classificação de sistemas de aquecimento solar.....	24
Tabela 4 – Eficiência de determinados coletores solares.....	27
Tabela 5 – Variáveis e Indicadores.....	30
Tabela 6 – Irradiação solar diária média de Fortaleza.....	36
Tabela 7 – Irradiação solar diária média de Curitiba.....	36
Tabela 8 – Cálculo da irradiação média mensal e área do sistema.....	38
Tabela 9 – Cálculo de gastos de implementação do SAS.....	40
Tabela 10 – Retorno do investimento em Fortaleza.....	42
Tabela 11 – Retorno do investimento em Curitiba.....	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	3
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Geral	3
1.3.2	Específicos.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Mecanismos de Transferência de Calor.....	5
2.1.1	Condução	6
2.1.2	Convecção	7
2.1.3	Radiação	9
2.1.4	Resistência Térmica.....	11
2.2	Energias Renováveis.....	11
2.2.1	Energia Solar	12
2.3	Coletores Solares	14
2.3.1	Coletor Solar Plano.....	15
2.3.2	Coletor Solar de Tubo Evacuado.....	17
2.4	Cálculo do Coletor Solar	20
2.4.1	Radiação Solar.....	20
2.4.2	Consumo de água quente.....	22
2.4.3	Cálculo de energia	25
2.4.4	Cálculo da área dos painéis	25
2.5	Taxa interna de retorno (TIR).....	27
3	METODOLOGIA.....	28
3.1	Tipos de pesquisa.....	28
3.2	Materiais e métodos.....	29
3.3	Variáveis e indicadores.....	30
3.4	Instrumentos de coleta de dados	30
3.5	Tabulação de dados	31
3.6	Considerações finais	31

4	RESULTADOS	32
4.1	Determinações do estudo.....	32
4.1.1	Parâmetros de consumo.....	32
4.1.2	Regiões analisadas.....	32
4.2	Dimensionamento do Sistema de Aquecimento Solar.....	34
4.2.1	Consumo médio de água.....	34
4.2.2	Reservatório térmico.....	34
4.2.3	Demanda energética e irradiação solar.....	35
4.2.4	Irradiação real e área dos painéis.....	36
4.3	Determinação do SAS.....	38
4.4	Estimativa de custo de implantação.....	39
4.5	Custo da energia.....	39
4.6	Análise de viabilidade econômica.....	41
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	43
5.1	Conclusão.....	43
5.2	Recomendações.....	43
6	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	45

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

Dado o atual período vivenciado com tecnologias em constante evolução, a humanidade vem, ao longo do tempo, desenvolvendo cada vez mais meios de se obter energia utilizando recursos sustentáveis, de modo a continuar evoluindo e ao mesmo tempo conservando a vida no planeta (OLIVEIRA, 2014).

Como grande parte dos recursos utilizados hoje em dia são considerados finitos, existe uma certa preocupação em relação a extinção dos mesmos. Sendo assim, uma energia renovável com bastante destaque hoje em dia é a proveniente do Sol. A energia solar está sendo cada vez mais estudada e desenvolvida e atualmente é possível de se ver em utilização inclusive nos meios residenciais.

A utilização deste tipo de energia está se tornando um recurso com grande aplicabilidade até mesmo em nosso cotidiano. Considerando que o maior custo de energia elétrica em um meio residencial está fortemente ligado ao uso de chuveiros elétricos, grande parte da população opta por diminuir esse gasto por meio do uso de coletores solares, fazendo com que haja uma queda considerável nas despesas mensais.

Os diferentes tipos de coletores solares estão ganhando força no mercado nacional. Mesmo com um custo que pode ser considerado alto para investimento (valor esse que vem apresentando uma constante queda). A longo prazo esse valor se paga devido contas de energia muito mais baratas, o que vem atraindo cada vez mais pessoas.

O Brasil é considerado um país com alto índice de capacidade de desenvolvimento deste tipo de energia, visto que possui um território vasto, com condições climáticas e um índice de radiação solar propício para tal (BOREAL SOLAR, 2019). Entretanto, como se pode ver na Figura 1, justamente por apresentar uma grande área, existem divergências no nível de radiação em cada região do país.

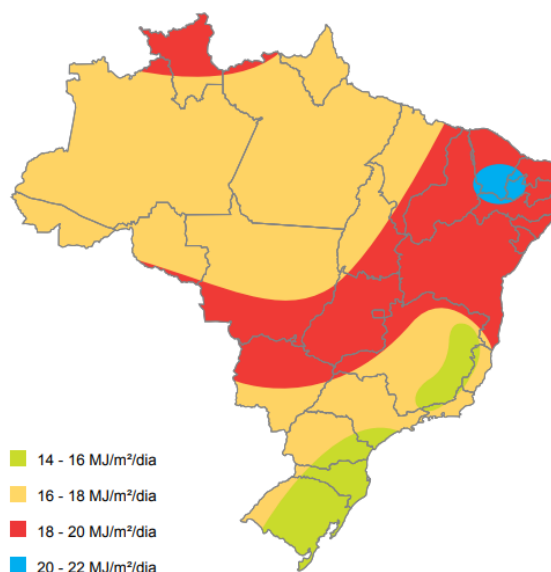


Figura 1: Variação da Radiação solar no território brasileiro.
Fonte: Atlas da Energia Elétrica do Brasil (2002).

Observa-se na Figura 1 que as regiões Nordeste e Centro-Oeste do país são as mais favorecidas em relação ao índice de radiação solar. Porém, independente disso, as outras regiões do Brasil também podem contar a utilização de energia proveniente do sol.

Os coletores solares atuam de forma a realizar o aquecimento da água, através da radiação solar. O coletor de tubo evacuado é composto por uma série de tubos de vidro enfileirados, sendo que cada um conta com 2 tubos concêntricos isolados a vácuo. Já o coletor solar plano apresenta a tubulação no mesmo plano do absorvedor. Ele pode ser classificado como aberto ou fechado, dado que o coletor plano aberto não possui cobertura, diferente do fechado que possui essa cobertura que protege e isola o absorvedor.

Ambos os coletores apresentam suas vantagens de instalação. Entretanto, apresentam divergências na eficiência de acordo com as condições da região onde é implantado.

Sendo assim, a seguinte problemática é abordada:

Dados os coletores solares planos e os coletores solares de tubo evacuado, como analisar qual destes apresentaria a melhor capacidade de aplicação e efetividade em uma residência de acordo com a região onde é instalado?

1.2 Justificativa

O consumo de energia elétrica é algo que apresenta constante crescimento no meio residencial dado o grande avanço tecnológico que temos nos dias de hoje. O chuveiro elétrico é hoje, algo básico e comum em uma residência. Entretanto, seu elevado consumo promove um gasto mensal também elevado e isso vem fazendo com que parte da população busque alternativas a fim de minimizar esse custo.

Sendo o Brasil um país com um grande território e uma localização privilegiada para um alto índice de incidência solar, a aplicação de coletores se torna algo efetivo. Todavia, justamente por apresentar um vasto território, o país possui inúmeras variedades de condições climáticas, tornando possível o uso de diferentes tipos de coletores solares de acordo com a região determinada.

O coletor solar é um equipamento que possibilita coleta, aquecimento e armazenamento de água para torneiras, piscinas e, principalmente, chuveiros. Os modelos planos e de tubo evacuado são os mais comuns para esta finalidade. No entanto, sua eficiência pode ser questionada de acordo com a região onde o mesmo for instalado. Variáveis como temperatura e índice pluviométrico influenciam diretamente na escolha do tipo de coletor, cabendo a esse estudo uma análise da viabilidade de cada um.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Analisar entre os coletores solares planos e os de tubo evacuado, qual apresenta melhor retorno financeiro dada a implantação em diferentes regiões do país.

1.3.2 Específicos

- Realizar revisão bibliográfica sobre os coletores de tubo evacuado, coletores planos e sobre os mecanismos de Transferência de Calor;
- Verificar a viabilidade de implantação de coletores solares dadas diferentes condições;
- Avaliar possível decréscimo nos gastos a partir da implantação de um coletor solar.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho em questão está dividido em cinco capítulos, onde o primeiro apresenta a formulação do problema, a justificativa para o desenvolvimento do estudo e seus objetivos, geral e específicos. O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica em relação aos mecanismos de transferência de calor, além de um estudo mais aprofundado sobre coletores solares de tubo evacuado e os coletores solares planos, bem como conceitos e teorias a respeito dos assuntos. Já no capítulo três, a metodologia adotada na pesquisa será exposta. No capítulo quatro, os resultados obtidos são analisados e, por fim, no capítulo cinco será apresentada a conclusão do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ao longo deste capítulo serão abordados os mecanismos de transferência de calor, sendo eles convecção, condução e radiação. Ademais, também será apresentado sobre as energias sustentáveis e o funcionamento de um sistema de aquecimento solar, além de uma explicação a respeito do funcionamento e estrutura dos coletores solares de tubo evacuado e dos coletores solares planos.

2.1 Mecanismos de Transferência de Calor

Conforme Çengel e Ghajar (2012, p.2), o calor é definido como “a forma de energia que pode ser transferida de um sistema para outro como resultado da diferença de temperatura” e, a ciência que determina as taxas de transferência dessa energia é a transferência de calor. Tal transferência processa-se de um meio com maior temperatura para outro, de temperatura mais baixa, buscando o equilíbrio entre ambos.

Em toda situação onde exista uma variação de temperatura entre dois ou mais meios, haverá troca térmica entre eles com a finalidade de atingirem a mesma condição. Sendo assim, vale ressaltar a existência de três mecanismos de transferência de calor que atuam nessa circunstância e que são abordados a seguir na Figura 2. São eles: condução, convecção e radiação.

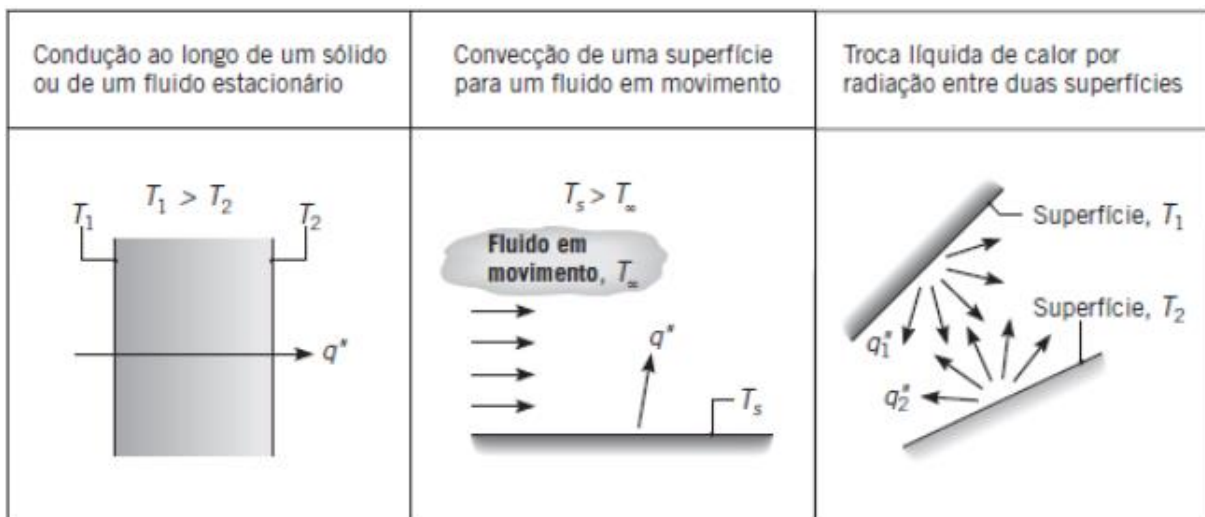


Figura 2 - Modos de Transferência de Calor: condução, convecção e radiação
Fonte: Incropera *et al.* (2008)

2.1.1 Condução

Para Incropera *et al.* (2008), a condução pode ser definida como a transferência de energia das partículas mais energéticas para as menos energéticas por consequência da interação das mesmas. Ela pode ocorrer através de um meio sólido ou fluido, em razão de um gradiente de temperatura no mesmo (Figura 3).

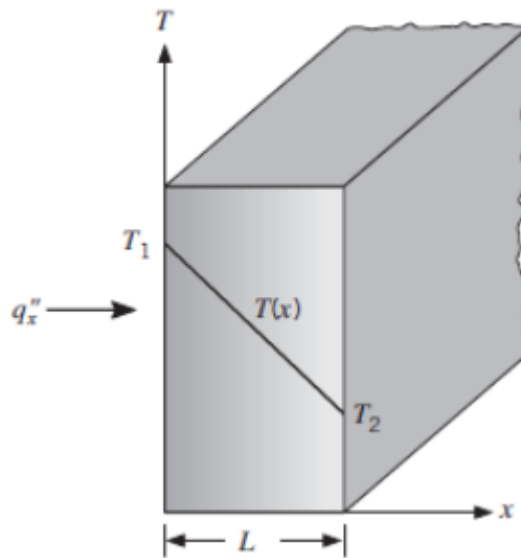


Figura 3 - Transferência de calor unidimensional por condução
Fonte: Incropera *et al.* (2008)

Para o cálculo da transferência de calor por meio da condução, deve-se utilizar a equação dada por meio da lei de Fourier. O fluxo de calor para uma parede plana unidimensional é dado por:

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Onde:

q_x'' - fluxo de calor (W/m²);

k - condutividade térmica do material da parede (W/m.K);

dT/dx - gradiente de temperatura (°C/m, K/m).

A taxa de condução de calor é expressa por:

$$q = q'' * A \quad (2)$$

Onde:

q – taxa de transferência de calor (W);

A – área (m²).

Para Çengel e Ghajar (2012, p.20), “a condutividade térmica (k) é a medida da capacidade do material em conduzir calor”. Ela é um parâmetro baseado no material da parede e seu sinal negativo expresso na equação se dá pelo fato do calor ser transferido na direção da temperatura decrescente. Nas condições de estado estacionário, com a distribuição de temperaturas linear, o gradiente de temperatura é representado por:

$$q_x'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (3)$$

Na equação (3), é fornecida a taxa de transferência de calor por unidade de área, conhecido por fluxo térmico.

2.1.2 Convecção

De acordo com Incropera *et al.* (2008), a forma de transferência de calor por convecção engloba dois tipos de mecanismo. Primeiramente, ocorre devido a difusão (movimento molecular aleatório) e, além disso, a energia também é transferida através do movimento do fluido associado ao grande número de moléculas se movendo em conjunto. De forma mais clara, a convecção ocorre com o contato de um fluido em movimento e uma superfície, ambos apresentando temperaturas diferentes, conforme mostra a Figura 4.

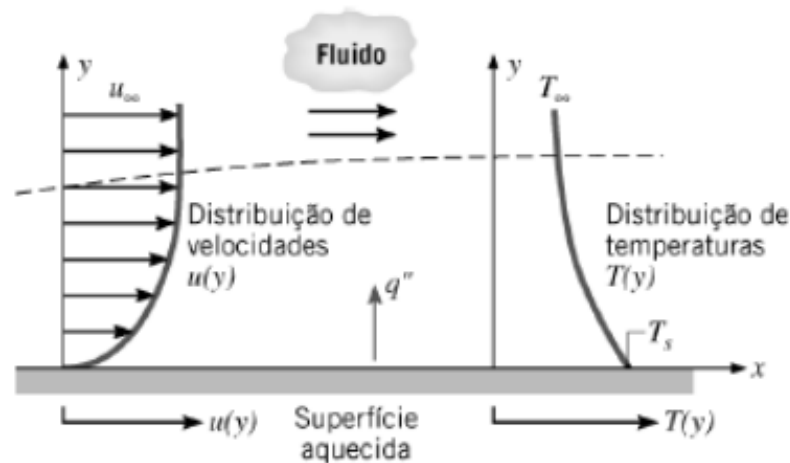


Figura 4 - Mecanismo de transferência de calor por convecção
Fonte: Çengel e Ghajar (2012)

Para Çengel e Ghajar (2012), a convecção é chamada de convecção forçada quando um fluido é forçado a transcorrer por uma superfície a partir de meios externos (ventilador, bomba ou vento). Por outro lado, ela é chamada convecção natural quando o escoamento do fluido é causado por forças de empuxo, originadas por diferenças de densidade devido às variações de temperatura no fluido. A Figura 5 ilustra estes dois tipos de convecção.

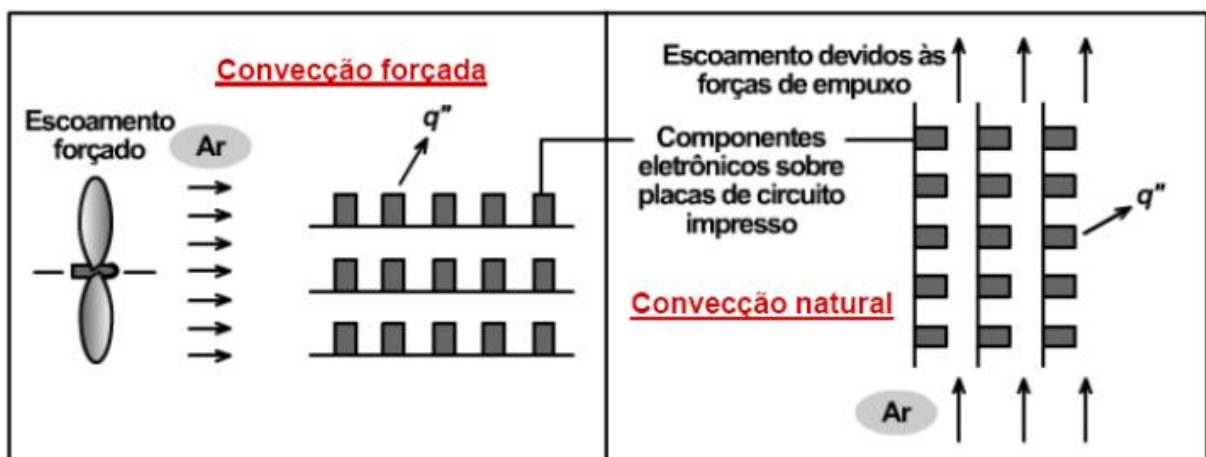


Figura 5 - Tipos de Convecção: (a) Convecção forçada; (b) Convecção natural.
Fonte: Incropera *et al.* (2008)

Incropera *et al.* (2008) afirmam que para todos os processos, determina-se o fluxo de calor por convecção através da lei de Newton do resfriamento, sendo esta expressa por:

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (4)$$

Onde:

q'' - Fluxo de calor convectivo (W/m²);

T_s - Temperatura da superfície (°C, K);

T_∞ - Temperatura do fluido (°C, K);

h - Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m²K).

Para Incropera *et al.* (2008), quando o fluxo de calor é maior que zero, o calor é transferido a partir da superfície. Diferentemente de quando o fluxo de calor for menor que zero, já que nesse caso o calor é transferido para a superfície.

2.1.3 Radiação

Segundo Çengel e Ghajar (2012, p.27), a radiação é definida como “a energia emitida pela matéria em forma de ondas eletromagnéticas como resultado das mudanças nas configurações eletrônicas de átomos ou moléculas”. Vale ressaltar que uma vez que a energia do campo radioativo é transportada através de ondas eletromagnéticas, não há necessidade de um meio material para que ocorra a transferência por radiação, sendo ainda mais eficiente no vácuo.

Em estudos de transferência de calor, é válido destacar a radiação térmica, a qual é definida por ser emitida baseada na temperatura dos corpos, sendo que todos os corpos a uma temperatura superior ao zero absoluto emitem essa radiação.

Para Incropera *et al.* (2008), o fluxo de calor emitido por uma superfície real é dado por:

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (5)$$

Onde:

E - poder emissivo da superfície (W/m²);

ε - emissividade ($0 \leq \varepsilon \leq 1$). A emissividade depende do material da superfície e do seu acabamento;

T_s - temperatura absoluta da superfície (K);

σ - Constante de Stefan – Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$).

Para Incropera *et al.* (2008), a radiação, a partir de sua vizinhança, também pode incidir sobre uma superfície. Ela pode ser originária de diversas fontes e a taxa na qual todas essas radiações incidem sobre uma área unitária da superfície é denominada irradiação (G). Assim, ela ainda pode ser classificada como absorvida, refletida ou transmitida e é dependente da superfície. A Irradiação absorvida pode ser calculada através da equação:

$$G_{abs} = \alpha G \quad (6)$$

Sendo:

G_{abs} - irradiação absorvida pela superfície (W/m^2);

α - propriedade radiante da superfície denominada absorvidade. $0 \leq \alpha \leq 1$;

G - radiação incidente total (W/m^2).

Também é válido expressar a transferência de radiação líquida entre uma superfície e a vizinhança através da equação (Incropera, 2008):

$$q_{rad}'' = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{viz}^4) \quad (7)$$

Sendo:

q_{rad}'' - fluxo de radiação (W/m^2).

Ou,

$$q_{rad} = h_r A (T_s - T_{viz}) \quad (8)$$

Sendo:

q_{rad} – Taxa líquida de transferência de calor por radiação (W).

h_r – Coeficiente de transferência de calor por radiação ($\text{W/m}^2\text{K}$), dado pela equação (9):

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_s - T_{viz}) (T_s^2 + T_{viz}^2) \quad (9)$$

2.1.4 Resistência Térmica

A resistência térmica (R_t), segundo Incropera *et al.* (2008) está relacionada à transferência de calor pela equação:

$$R_t = \frac{\Delta T}{q} \quad (10)$$

A resistência térmica condutiva para uma superfície plana é expressa por:

$$R_{t,cond} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q_x} = \frac{L}{kA} \quad (11)$$

Já para um Tubo cilíndrico é expressa por:

$$R_t = \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}{2\pi kL} \quad (12)$$

A resistência térmica convectiva será:

$$R_{t,conv} = \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{hA} \quad (13)$$

A resistência térmica radiante é expressa por:

$$R_{t,rad} = \frac{T_s - T_{viz}}{q_{rad}} = \frac{1}{h_r A} \quad (14)$$

2.2 Energias Renováveis

As energias renováveis são aquelas que utilizam de fontes renováveis, ou seja, matérias utilizadas como fonte geradora que possam ser repostas. Essas matérias podem ser restituídas tanto pelo próprio homem quanto pela natureza, considerando um curto espaço de tempo para este processo.

Tomando a natureza como responsável, as fontes de energia podem ser derivadas do sol, do vento, da biomassa e do movimento das águas em geral (marés e ondas, por exemplo).

De acordo com a EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2016), no Brasil, cerca de 43% da produção de energia é derivada de fontes renováveis, como hidráulica, biomassa, etanol, além das energias eólica e solar. A Figura 6 detalha sobre a divisão desses recursos no país.

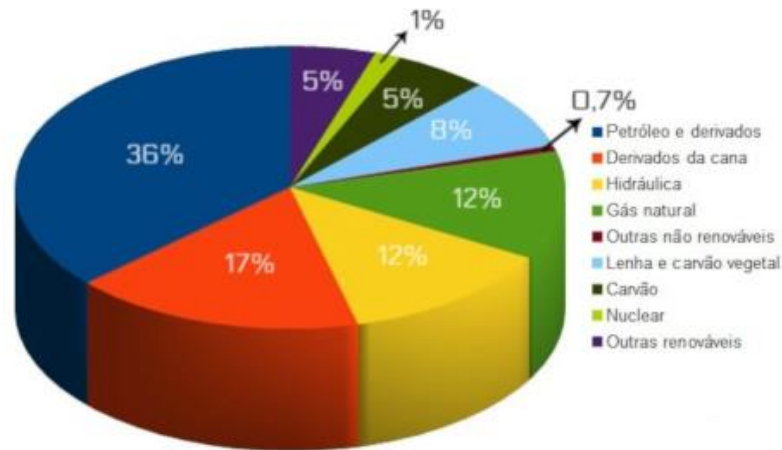


Figura 6 - Matriz Energética Brasileira
Fonte: Mundo Educação

O país apresenta um grande consumo de fontes não-renováveis. Entretanto, visando um consumo mais sustentável, a tendência é de crescimento do uso de energias renováveis.

2.2.1 Energia Solar

A definição de energia solar é dada sendo uma energia renovável e sustentável que utiliza a radiação solar como fonte principal. Nos últimos tempos, ela foi e continua sendo objeto constante de pesquisa, visto que é uma forma limpa de obtenção de energia e seus resultados são satisfatórios. Assim, é uma das fontes alternativas mais promissoras para obtenção energética.

No âmbito residencial brasileiro, de acordo com dados da Eletrobras/Procel (2007), o chuveiro elétrico é responsável por grande parte do consumo energético mensal, como se pode notar na Figura 7. Com isso, a utilização da energia solar como forma de aquecimento da água tende a amenizar esse gasto, se tornando uma forma viável de aplicação.

A energia solar térmica se apresenta utilizável a partir do uso de um mecanismo que aproveita o calor, possibilitando aquecimento da água assim que a mesma entra em contato com

esse sistema. Em seguida, a água já aquecida pode ser direcionada para o uso residencial, utilizada até mesmo para o aquecimento de ambientes.

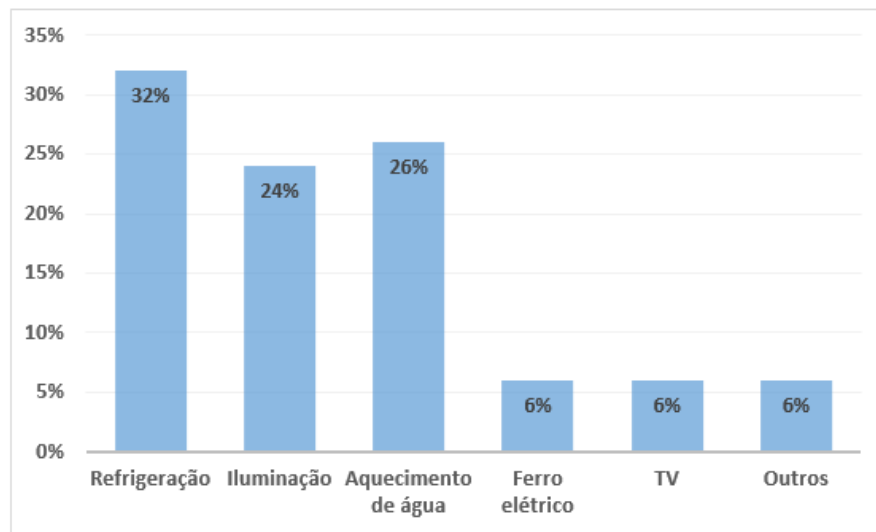


Figura 7 – Consumo típico de energia elétrica de residências brasileiras
Fonte: Adaptado de Eletrobras/Procel (2007)

2.2.1.1 Sistema de Aquecimento Solar

De acordo com a apostila Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar – USP (2010), um sistema de aquecimento solar de água (SAS) funciona a partir das seguintes etapas: captação da energia solar; transferência da energia para o fluido; armazenamento da energia térmica e distribuição da água aquecida para o sistema onde instalado, como mostra a Figura 8.

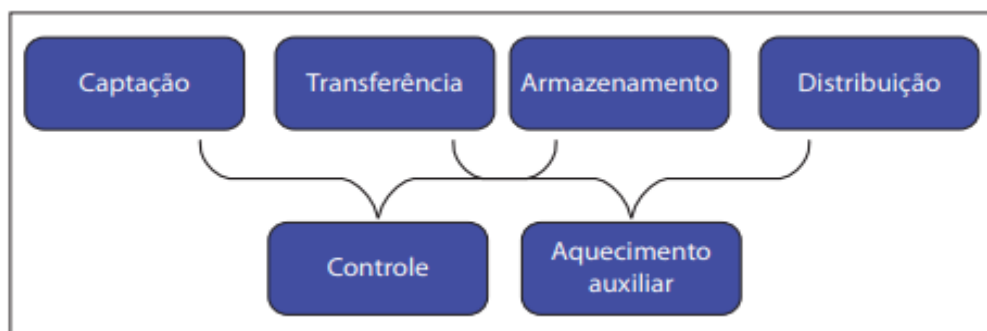


Figura 8 - Fluxograma mostrando as principais etapas do processo de um SAS
Fonte: Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar – USP (2010)

Segundo a NBR 15569 (ABNT, 2008), um sistema de aquecimento solar é composto por coletor solar, reservatório térmico, aquecimento auxiliar, acessórios e suas interligações hidráulicas. Atualmente, é possível observar alguns tipos de SAS e sua classificação se dá de acordo com a Norma, podendo ser observada na tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do SAS

Atributo	Categoria I	Categoria II	Categoria 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	-

Fonte: ABNT (2008)

2.3 Coletores Solares

De acordo com Carvalho e Sionek (2015), o coletor solar é um equipamento que absorve a energia da radiação do sol, transforma-a em calor e transfere este calor para um fluido de trabalho que está passando pelo coletor. O aquecimento deste fluido de trabalho ocorre a partir da absorção da radiação solar pelo componente do coletor responsável por isso, o qual pode variar de acordo com o tipo de coletor usado.

Segundo Duffie e Beckman (1991), coletores solares devem apresentar alta transmissividade e absorvidade de radiação solar. Eles perdem energia por convecção e radiação, sendo desejável que a emitância da superfície seja a mais baixa possível para reduzir as perdas por radiação.

Para o processo de aquecimento de água são necessários três sistemas, sendo eles:

- Sistema de captação – composto pelo coletor e as tubulações que acoplam o coletor ao reservatório;
- Sistema de armazenamento – possui o reservatório térmico e os sistemas auxiliares;
- Sistema de consumo – constituído pela distribuição da água aquecida para o consumo final.

A Figura 9 descreve um sistema de aquecimento através de coletor solar.

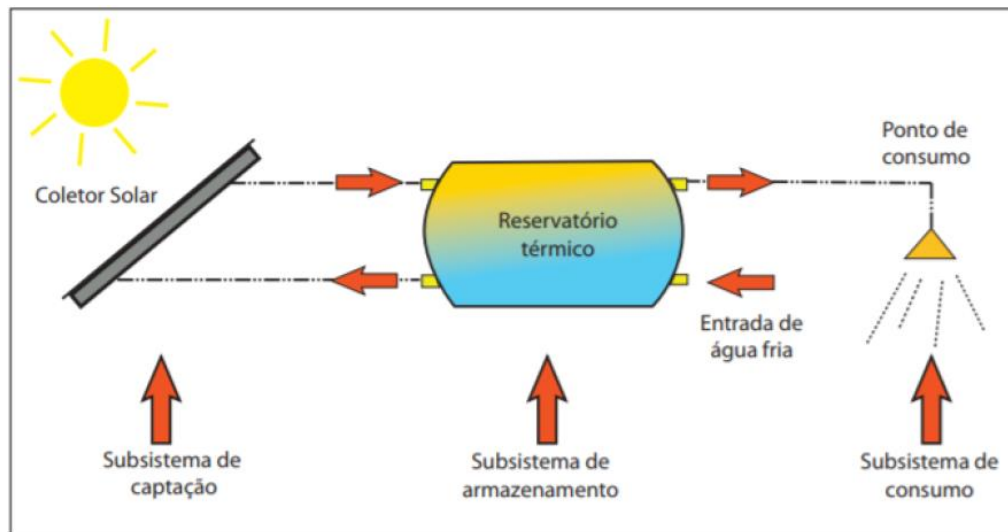


Figura 9 – Sistema de aquecimento solar a partir de um coletor

Fonte: Dasol (2008)

2.3.1 Coletor Solar Plano

Quando a superfície absorvedora do coletor é classificada como plana, tem-se um coletor solar de placas planas. Este tipo de coletor solar, segundo a Solar Energia (2019), tem uma boa relação custo / eficácia em climas moderados e é indicado para aplicações onde se requer aquecimento de piscinas, chuveiros, pré-aquecimento de fluidos industriais, dentre outros.

2.3.1.1 Estrutura

De acordo com Carvalho e Sionek (2015), o coletor solar de placa plana é composto por (Figura 10):

- Vidro: Uma ou mais folhas de vidro ou outro material que conduza facilmente o calor;
- Tubos, aletas ou passagens para direcionar ou conduzir o fluido da entrada até a saída;
- Placa absorvedora a qual os tubos, aletas ou passagens estão conectadas;
- Tubo de alimentação para a admissão e descarga do fluido;
- Isolamento para minimizar a perda de calor pela parte inferior e pelas laterais do coletor;

- Caixa com a função de armazenar e manter os componentes citados acima longe da poeira, umidade, etc.

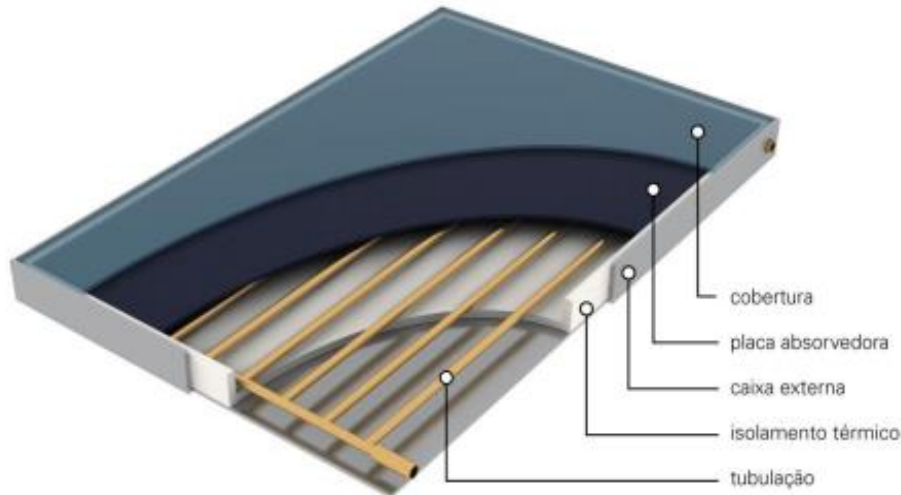


Figura 10 – Componentes de um coletor de placa plana

Fonte: Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Solar & Gás Natural (2011)

Os absorvedores podem ser feitos de materiais diferentes, mas cobre e alumínio são os mais comumente usados devido às suas propriedades térmicas. O absorvedor está localizado no centro do coletor e é protegido por uma caixa de resistência. Na parte posterior e nas laterais existe o isolamento, que evita ao máximo as perdas de calor para o ambiente. Na parte superior fica a cobertura transparente e na lateral existem dois tubos para alimentação e retorno do fluido circulante (LOURENÇO, 2012).

2.3.1.2 Funcionamento

De acordo com Lourenço (2012), o coletor solar plano com cobertura possibilita um processo de aquecimento de água com uma temperatura de operação entre 30°C e 60°C. Normalmente, uma caixa d'água abastece o reservatório com água fria de forma com que ele não fique vazio. A água sai do reservatório para o coletor de modo a ser aquecida durante o processo. Posteriormente ela retorna ao reservatório que distribui de acordo com o uso requisitado.

Seu princípio de funcionamento consiste primeiramente no corpo negro (absorvente) que absorve parte da radiação solar incidente, sendo a outra parcela, transferida para o fluido

no interior dos tubos, podendo então ser armazenada ou utilizada. É importante ressaltar que corpos escuros possuem uma alta taxa de absorção de radiação, justificando sua aplicação.

O vidro ajuda no bloqueio da radiação infravermelha e no isolamento acima do absorvedor, de forma a manter o calor. A cobertura transparente é utilizada para diminuir as perdas por convecção entre a placa absorvedora e o ar contido entre a placa e o vidro. Logo após a primeira etapa, ocorre o chamado efeito estufa. A luz solar atravessa o vidro e parte da radiação que não escapa é refletida novamente para dentro, ocasionando um ganho ainda maior de energia. O isolamento da montagem também é parte essencial do processo, visto que um bom isolamento melhora o uso da energia solar térmica.

2.3.2 Coletor Solar de Tubo Evacuado

O coletor solar a vácuo se diferencia do coletor plano por utilizar tubos, que substituem a lâmina de vidro pelo vácuo, o que garante um excelente isolamento. Ele possui um valor elevado por ser uma tecnologia mais recente, entretanto, sua aplicação pode ser bastante eficaz em determinadas situações.

2.3.2.1 Estrutura

De acordo com Manea, Rosa e Krezinger (2013), um coletor solar de tubo evacuado é composto por:

- Tubos: O tubo interno possui cor escura para maior absorção da radiação solar e nele decorre o fluido de trabalho, sendo que o mesmo está envolto por um tubo de vidro. Entre os tubos interno e o externo, se apresenta o isolamento a vácuo, responsável por reduzir as perdas térmicas por convecção e condução.
- Cabeçote: Os tubos são conectados ao cabeçote, pelo qual passa o fluido de trabalho. Esse cabeçote pode ser de aço, alumínio ou cobre, sendo revestido por algum isolamento térmico;
- Estrutura: A estrutura garante os tubos presos ao cabeçote e na posição adequada à captação da energia solar.

As figuras 11 e 12 exemplificam a estrutura de um tubo e o coletor já instalado:

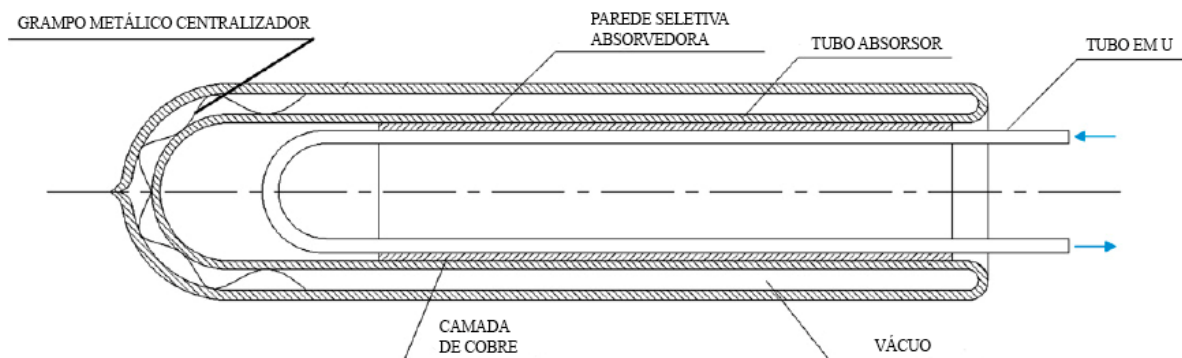


Figura 11 – Estrutura de um tubo coletor
Fonte: Adaptado de Manea et al. (2011)



Figura 12 – Coletor solar de tubos a vácuo instalado
Fonte: PatroSol

O sistema é formado por um conjunto de tubos verticais ligados entre si na parte superior do coletor. A água ou o fluido circulam por esse conjunto de tubos e transferem o calor à água que circula na parte superior do coletor.

2.3.2.2 Funcionamento

Segundo Rosa *et al.* (2013, p.94), “coletores solares que utilizam tubos a vácuo minimizam a troca de calor por convecção e de condução colocando a superfície absorvedora

em um ambiente quase totalmente evacuado de matéria”. A principal função do tubo a vácuo é absorver a radiação pela parte interna e não permitir sua transferência ao meio externo.

Para o modelo de coletor desacoplado (com o reservatório de água separado), a energia absorvida pela placa transforma-se em calor e aquece a água que está no interior dos coletores. Entretanto, esse sistema precisa de uma tubulação auxiliar de interligação entre o coletor e o reservatório (Boiler), sendo esta a única diferença para o modelo acoplado, onde os próprios tubos já são conectados ao reservatório. Ambos os sistemas funcionam por convecção natural.

Outro ponto a ser destacado é que existem as situações de circulação natural ou forçada. Na circulação natural, a água quando aquecida tem uma queda em sua densidade e assim, vai subir até o reservatório, sendo este processo chamado de termossifão. Já na circulação forçada, o coletor fica acima do boiler e para a água fluir até o reservatório é necessário um sistema de bombeamento. A medida em que a água vai esquentando, a bomba é acionada por um sistema de controlador diferencial de temperatura. Esse processo mantém o sistema em operação, enquanto houver radiação solar incidente sobre o coletor ou até toda água do circuito atingir o equilíbrio térmico.

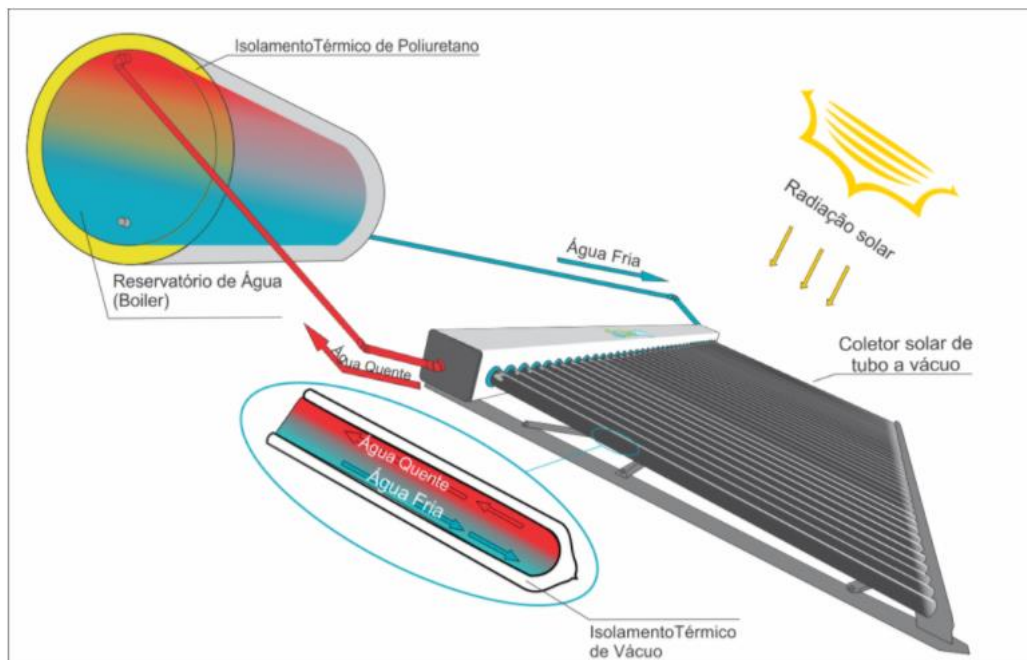


Figura 13 – Funcionamento esquematizado de um coletor solar a vácuo
Fonte: Brassolar (2017)

2.4 Cálculo do Coletor Solar

2.4.1 Radiação Solar

A taxa de radiação solar na superfície terrestre é variável de acordo com a latitude local e a posição no tempo (hora do dia e dia do ano). As figuras 14 e 15, apresentam as variações de irradiação solar para as capitais escolhidas no estudo: Fortaleza e Curitiba. Em virtude da localização da maior parte do território brasileiro ser próxima à linha do Equador, não existem muitas variações da duração solar do dia (ANEEL, 2002).

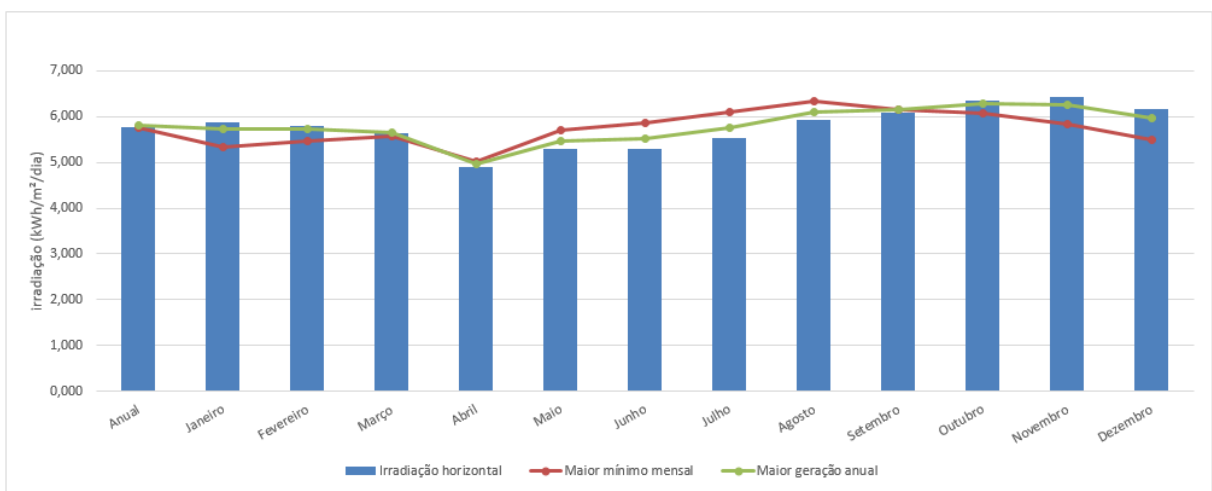


Figura 14 – Comparação da irradiação para Fortaleza
Fonte: Virtux Solar (2021)

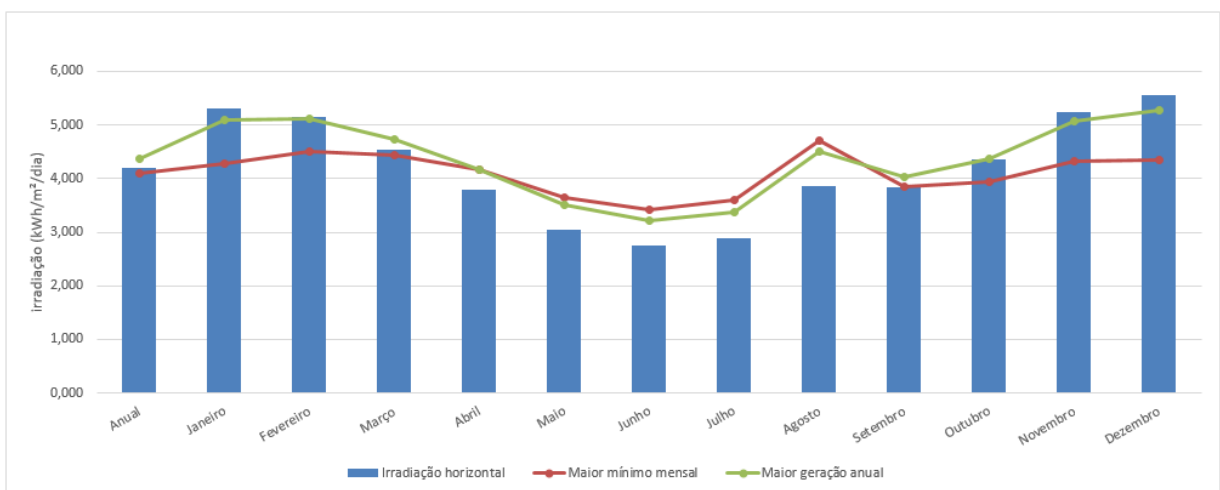


Figura 15 – Comparação da irradiação para Curitiba
Fonte: Virtux Solar (2021)

Pode-se então, ajustar a posição do coletor solar de acordo com a latitude local, aproveitando ao máximo a radiação incidente na localidade.

Em função da posição do coletor, para o melhor aproveitamento da radiação solar, sua orientação deve estar de acordo com as especificações, manual de instalação e projeto. Segundo a NBR 15569 (ABNT, 2008), caso não existam esses documentos, os coletores devem ser instalados voltados para o Norte Geográfico, com desvio máximo de até 30° desta direção.

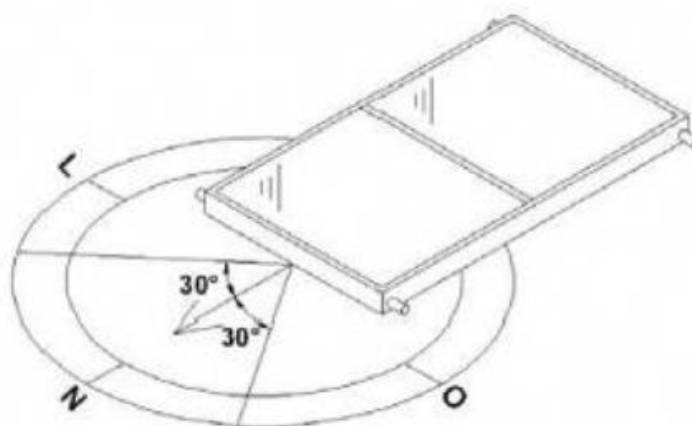


Figura 16 – Orientação geográfica dos coletores
Fonte: NBR 15569 (ABNT, 2008, p.18)

Ainda segundo a NBR 15569 (ABNT, 2008), o ângulo de inclinação deve ser igual ao da latitude do local, acrescido de 10° , nunca inferior a 15° .

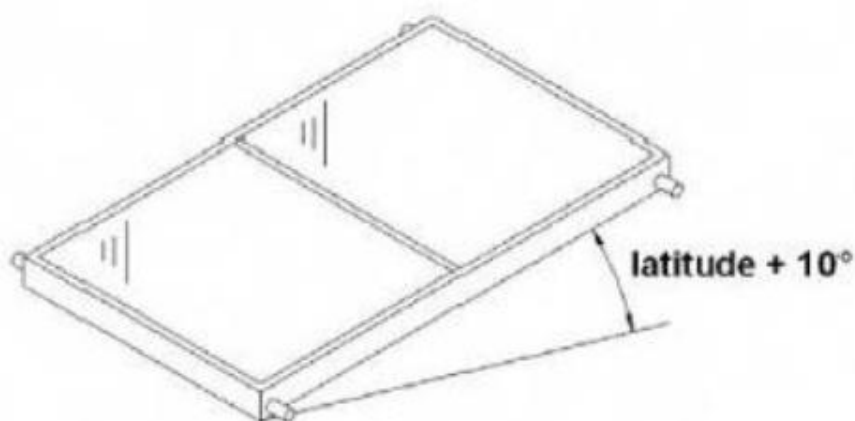


Figura 17 – Ângulo de inclinação dos coletores
Fonte: NBR 15569 (ABNT, 2008, p.18)

O Brasil, por ser um país com um alto valor de Radiação solar, possui um grande potencial de aproveitamento deste tipo de energia. A Figura 18 ilustra o potencial médio anual brasileiro e, de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), diariamente incide entre 4.444 Wh/m² a 5.483 Wh/m² no país. Com esses valores, o Brasil é considerado um dos países com maior índice de capacidade de desenvolvimento deste tipo de energia.

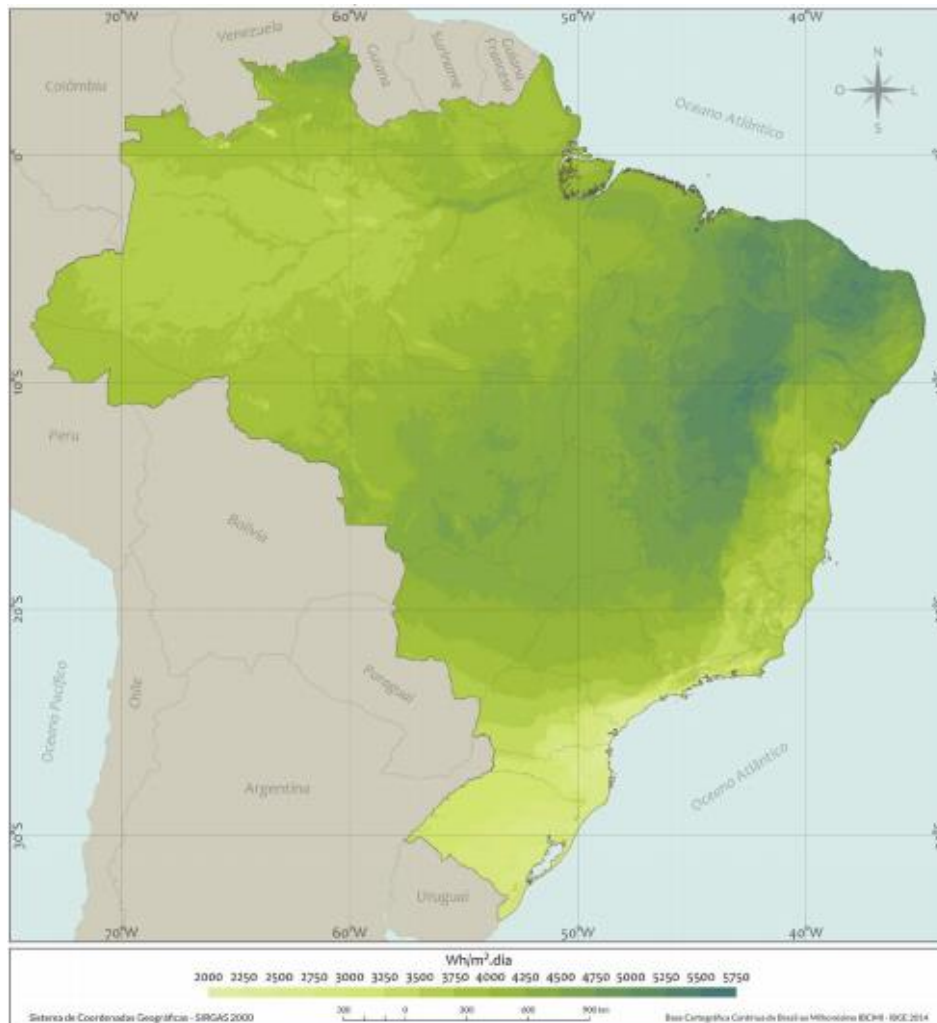


Figura 18 – Média anual de irradiação para o território brasileiro
 Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017, p.50)

2.4.2 Consumo de água quente

No âmbito residencial, o consumo de água quente se dá em diversas ocasiões. A tabela 2 exemplifica os valores considerados como referência de utilização de água, de forma racional, de acordo com a NBR 15569 (2008).

Tabela 2 – Consumo de pontos de utilização de água quente

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

Fonte: NBR 15569 (ABNT, 2008, p.33)

A equação (15) apresenta como o cálculo do volume de consumo pode ser feito:

$$V_{consumo} = \sum (Q_{pu} * T_u * frequência\ de\ uso) \quad (15)$$

Sendo:

$V_{consumo}$ – Volume total de água quente consumido (m³);

Q_{pu} – Vazão da peça utilizada (m³/s);

T_u – Tempo médio de uso diário (s);

Frequência de uso – número total de utilizações por dia.

2.4.2.1 Reservatório Térmico

Como a radiação solar não é constante ao longo do dia, é necessário o uso de um reservatório térmico para armazenar a energia absorvida e possibilitar o uso do sistema em períodos sem essa radiação. O reservatório térmico é um dispositivo, ilustrado na figura 19, com a função de armazenar a água quente, sem que ela perca calor para o meio externo até o momento de consumo.



Figura 19 – Modelo de reservatório térmico
Fonte: Thermo sul (2017)

Como dito anteriormente, o sistema de aquecimento solar pode ser classificado quanto aos diferentes tipos de operação: por circulação natural (termossifão) que ocorre pela diminuição da densidade do fluido aquecido, ou por circulação forçada, sendo necessária a utilização de bombeamento. Entretanto, além dessas categorias, ele também pode ser classificado quanto ao seu porte, que está diretamente relacionado com o volume de água aquecida. A Tabela 3 ilustra esta classificação.

Tabela 3 – Classificação de sistemas de aquecimento solar

Instalação	Volume diário de armazenamento	Tipo
Pequeno porte	$V < 1500 \text{ L}$	Termossifão
Médio porte	$1500 \text{ L} \leq V \leq 5000 \text{ L}$	Circulação forçada
Grande porte	$V > 5000 \text{ L}$	Circulação forçada

Fonte: Eletrobrás PROCEL (2014)

O cálculo do volume do sistema de armazenamento também é feito seguindo a NBR 15569 (ABNT, 2008), dado pela seguinte equação:

$$V_{armaz} = \frac{V_{consumo} * (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})} \quad (16)$$

Sendo:

V_{armaz} – Volume do sistema de armazenamento (m^3);

$V_{consumo}$ – Volume de consumo diário (m³);

$T_{consumo}$ – Temperatura de consumo de utilização (°C);

T_{armaz} – Temperatura de armazenamento da água (°C);

$T_{ambiente}$ – Temperatura ambiente média anual no local da instalação (°C).

2.4.3 Cálculo de energia

Uma vez definida a demanda diária de água quente, deve-se calcular a energia necessária para aquecimento da água do reservatório (Coelho, 2011). Este cálculo é dado por:

$$E_{util} = \frac{V_{armaz} * \rho * C_p * (T_{armaz} - T_{ambiente})}{3600} \quad (17)$$

Sendo:

E_{util} – Energia útil (kWh/dia);

V_{armaz} – Volume do sistema de armazenamento (m³);

ρ – Massa específica da água (1000 kg/m³);

C_p – Calor específico da água (4,18 kJ/(kg.K));

T_{armaz} – Temperatura de armazenamento da água (°C);

$T_{ambiente}$ – Temperatura ambiente média anual no local da instalação (°C).

Para selecionar o coletor solar, deve-se optar para o que tenha a melhor eficiência energética média e que cumpra com a demanda de produção média mensal de energia.

2.4.4 Cálculo da área dos painéis

Para o dimensionamento da área coletora, três cálculos são necessários. Primeiramente, deve-se calcular a demanda energética do sistema e quanto de radiação o sistema irá absorver.

$$D_{mês} = Q_{dia} * N * (T_{acs} - T_{af}) * 1,16. 10^{-3} \quad (18)$$

Sendo:

$D_{mês}$ – Demanda energética (kWh/mês);

Q_{dia} – Consumo diário de água quente (litros/dia);

N – Número de dias do mês considerado;

T_{acs} – Temperatura utilizada para a quantificação do consumo de água quente ($^{\circ}C$);

T_{af} – Temperatura de água fria da rede ($^{\circ}C$);

Para o cálculo da irradiação mensal que o SAS receberá, tem-se:

$$Q_{mês} = Q_{dia} * N * \text{eficiência do coletor selecionado} \quad (19)$$

Sendo:

$Q_{mês}$ – Irradiação solar média mensal (kWh/m². mês);

Q_{dia} – Irradiação solar diária média mensal (kWh/m². dia);

O valor da eficiência do coletor pode ser calculado a partir do quociente entre a energia útil fornecida pelo coletor e a irradiação solar incidente no coletor. Entretanto, os próprios fabricantes realizam alguns ensaios onde é possível determinar a eficiência do coletor. Esses valores podem ser consultados no manual do fabricante ou em tabelas disponibilizadas pelo Inmetro (Tabela 4).

Com esses valores obtidos, torna-se possível o cálculo da área mínima do painel de instalação (m²), dada por:

$$A = \frac{D_{mês}}{Q_{mês}} \quad (20)$$

Tabela 4 – Eficiência de determinados coletores solares

Empresa	Marca	Modelo	Área (m ²)	Produção média mensal de energia por m ² (kWh/mês m ²)	Eficiência energética média (%)
AECOSOL Ms Energia Limpa LTDA	Aecosol MS	Aecosol 270 BP	3,16	80,49	54,9
AECOSOL Ms Energia Limpa LTDA	Aecosol MS	Aecosol 30 BP	2,79	80,4	64,8
BOSCH TERMOTECNOLOGIA LIMITADA	HELIOTEK	MC10 Evolution Pro	1	80,02	57,11
BOSCH TERMOTECNOLOGIA LIMITADA	HELIOTEK	MC15 Evolution Pro	1,5	84,67	60,78
BOSCH TERMOTECNOLOGIA LIMITADA	HELIOTEK	MC20 Evolution Pro	2	89,5	57,11
CRISTIANO EDUARDO DALESSANDRO - ME	Eco Aquecedores	ECO-MD-10	1,41	76,88	64,8
CRISTIANO EDUARDO DALESSANDRO - ME	Eco Aquecedores	ECO-ESP-15	4,12	68,21	64,8
DIMEVA DISTRIBUIDORA E IMPORTADA LTDA	ECOLOGIC	BNP-1-15	2,24	81,07	67,7
DIMEVA DISTRIBUIDORA E IMPORTADA LTDA	ECOLOGIC	BNP-1-25	3,62	81,07	67,7

Fonte: Inmetro (2017)

2.5 Taxa interna de retorno (TIR)

A TIR é um indicador aconselhado para utilização onde se precisa calcular o tempo, em anos, que um investimento demoraria para ter seu valor quitado e começar a trazer lucro para seu investidor. Este indicador é de uso essencial para o consumidor saber qual tipo de coletor seria mais indicado para instalação, visando um bom custo-benefício. Ele pode ser definido através da seguinte equação:

$$TIR = C_i/E_a \quad (21)$$

Sendo:

C_i – Custo total do investimento (R\$);

E_a – Projeção de gastos anuais sem a instalação (R\$/ano).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo a metodologia da pesquisa é apresentada. Sendo assim, é explicitado o tipo de pesquisa utilizada, os materiais e métodos, as variáveis com seus respectivos indicadores e os instrumentos de coleta e tabulação de dados.

3.1 Tipos de pesquisa

A pesquisa pode ser classificada de acordo com os seus objetivos, a sua forma de abordagem, e quanto aos procedimentos técnicos utilizados.

Segundo Gil (2002), pesquisa é o procedimento racional e sistemático que busca proporcionar respostas aos problemas propostos. Ela se torna necessária a partir do momento em que não há informação suficiente ou quando as informações disponíveis estão desordenadas e não podem ser relacionadas ao problema adequadamente.

Quando se trata dos objetivos da pesquisa, ela pode ser exploratória, que, para Gil (2002), tem o objetivo de proporcionar uma visão geral acerca de um fato abordado, com a finalidade de explicitar e aumentar a familiaridade de determinado problema. Descritiva, que analisa, observa, registra e correlaciona aspectos que envolvem fatos ou fenômenos, sem manipula-los. Para Triviños (1987) este tipo de pesquisa exige uma precisa delimitação de técnicas, métodos, modelos e teorias na coleta e interpretação de dados, e ainda assim podem existir resultados equivocados que geram imprecisão. E explicativa, que, de acordo com Gil (2002) é a que mais aprofunda o conhecimento da realidade, sendo o tipo de pesquisa mais complexo e delicado. Tendo a preocupação de identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

De acordo com a forma em que é abordada, ela pode ser considerada qualitativa e, segundo MINAYO (2009, p.22) “ela trabalha com o universo dos significados, dos motivos, das aspirações, das crenças, dos valores e das atitudes”. Sendo assim, ela se preocupa com os aspectos da realidade que não possui representatividade numérica. Procura compreender e explicar as relações sociais.

A pesquisa quantitativa é centrada na objetividade, de acordo com Fonseca (2002). Ela tem por objetivo traduzir toda informação analisada em números utilizando a linguagem matemática. O melhor seria utilizar a pesquisa quantitativa e qualitativa de forma conjunta, pois apresenta melhores resultados e maiores informações.

De acordo com as informações apresentadas, a proposição do problema e os objetivos específicos do presente trabalho, o mesmo consiste, quanto ao objetivo, em uma pesquisa quantitativa e estudo de caso. Será um trabalho de caráter exploratório e serão analisados dois estudos de caso, focando em qual tipo de coletor solar será mais indicado para regiões de diferentes valores de radiação solar incidente. O presente trabalho fará a seleção de um coletor solar para aquecimento de água residencial.

3.2 Materiais e métodos

O presente trabalho faz o dimensionamento de um coletor solar plano e um coletor solar de tubos evacuados, para aquecimento de água residencial em diferentes localidades.

O fluxograma da Figura 20 mostra as etapas de desenvolvimento do trabalho.

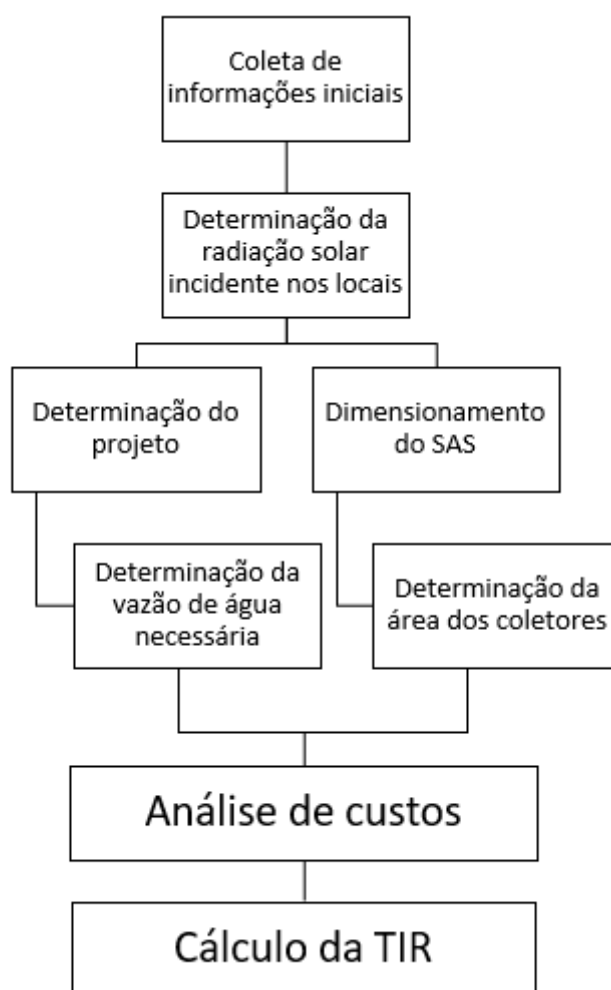


Figura 20 – Fluxograma das etapas do trabalho
Fonte: Pesquisa direta (2021)

Para a seleção do coletor solar, é preciso determinar a área do mesmo. Essa área será determinada em função da radiação solar incidente e da quantidade de água a ser aquecida. Conhecido esses dados, e com o auxílio da tabela do Inmetro (Tabela 4) sobre as eficiências dos coletores solares, é determinada a área do coletor e selecionado o coletor a ser utilizado. A partir daí, será possível uma análise dos custos a fim de esclarecer qual apresenta maior rentabilidade.

3.3 Variáveis e indicadores

De acordo com Triviños (1987), a variável é definida como uma característica perceptível de algo que pode assumir diversos valores. Uma variável pode conduzir diversos indicadores que as caracterizam, e para a escolha desses indicadores, é necessário um aprofundamento sobre o problema analisado.

O presente trabalho faz uma análise baseado no índice de incidência em determinadas localidades e em dados para dimensionamento de um coletor solar. A tabela 5 indica as variáveis principais e seus respectivos indicadores, que serão utilizados nesse trabalho.

Tabela 5 – Variáveis e Indicadores

Variáveis	Indicadores
Localidade	<ul style="list-style-type: none"> • Alta incidência • Baixa incidência
Coletor Solar	<ul style="list-style-type: none"> • Radiação solar incidente • Demanda de água quente • Eficiência • Área • Custo de investimento

Fonte: Pesquisa direta (2021)

3.4 Instrumentos de coleta de dados

Como mencionado no início do capítulo, o presente trabalho possui natureza bibliográfica, qualitativa, quantitativa e estudo de caso. Portanto, os dados serão adquiridos por meio de livros, obras acadêmicas, dissertações, catálogos, entre outros.

3.5 Tabulação de dados

Os dados do presente trabalho serão tabulados a partir do programa *Microsoft Excel* para a realização de cálculos necessários para dimensionamento do coletor, além de construção de tabelas e gráficos. Além dele, o programa *Microsoft Word* será utilizado para o desenvolvimento do trabalho, transformando os resultados obtidos em textos.

3.6 Considerações finais

O presente capítulo apresentou de forma clara a metodologia que é utilizada e as etapas que são desenvolvidas na pesquisa. Ademais, os métodos e materiais que são empregados foram detalhados, juntamente com o tipo de pesquisa abordado, bem como as variáveis com seus respectivos indicadores. Similarmente, é válido ressaltar que a forma como os dados obtidos são tabulados também está expressa no capítulo.

No capítulo seguinte são abordadas as análises dos resultados obtidos a partir dos dados coletados de acordo com a modelagem matemática nos softwares escolhidos.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são discutidos os dados obtidos a partir da coleta de informações de duas cidades de características distintas no Brasil: Fortaleza, na região Nordeste e Curitiba, na região Sul. Para tal estudo, um mesmo tipo de residência onde os moradores utilizam o mesmo consumo de água diariamente é analisado para ambas as regiões. Assim, a partir dos resultados alcançados com o dimensionamento de coletores de tubo evacuado e coletores planos, verifica-se qual apresenta melhor efetividade com objetivo de analisar sua viabilidade econômica.

4.1 Determinações do estudo

Para início dos cálculos, foram determinados alguns fatores a serem adotados para tal estudo.

4.1.1 Parâmetros de consumo

Primeiramente, um mesmo tipo de residência foi determinada para ambas as regiões onde seriam analisadas as condições de implantação dos coletores solares. Uma casa com 4 moradores, utilizando um consumo padrão de água quente diariamente somente para ducha de banho, sendo determinada como uma por dia por pessoa.

4.1.2 Regiões analisadas

Visto que o Brasil apresenta grande divergência de irradiação solar ao longo de seu território, duas cidades de valores distintos são analisadas no presente estudo. Fortaleza, localizada na região Nordeste do país, está situada no ponto de latitude: 3°43'01" Sul, longitude: 38°32'35" Oeste e com altitude do nível do mar de 18m. Já sua temperatura média anual é de 26.7 °C, conforme a figura 21 (CLIMATE-DATA, 2015).

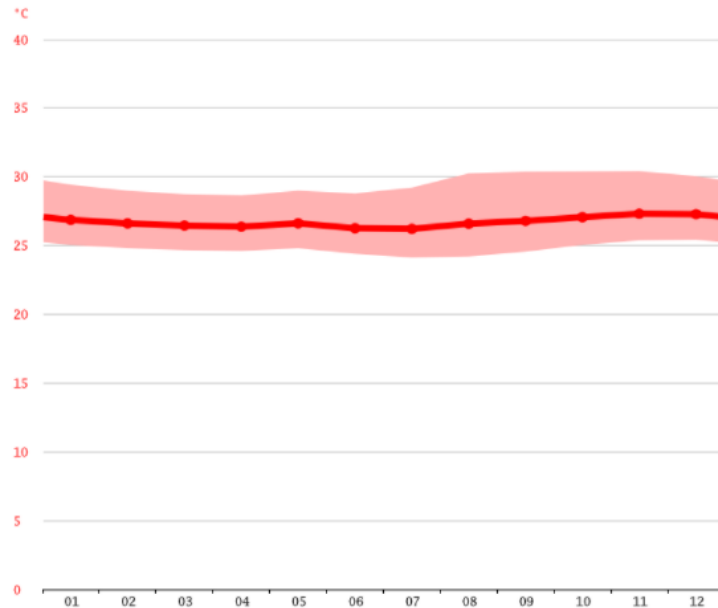


Figura 21 – Média de temperatura mensal em Fortaleza - °C x mês
Fonte: CLIMATE-DATA (2015)

Já em relação a segunda cidade analisada, Curitiba, na região Sul do país, está localizada no ponto de latitude: 25°25'40" Sul, longitude: 49°16'23" Oeste e com altitude do nível do mar de 924m. Já sua temperatura média anual é de 17.2 °C, de acordo com a figura 22 (CLIMATE-DATA, 2015).

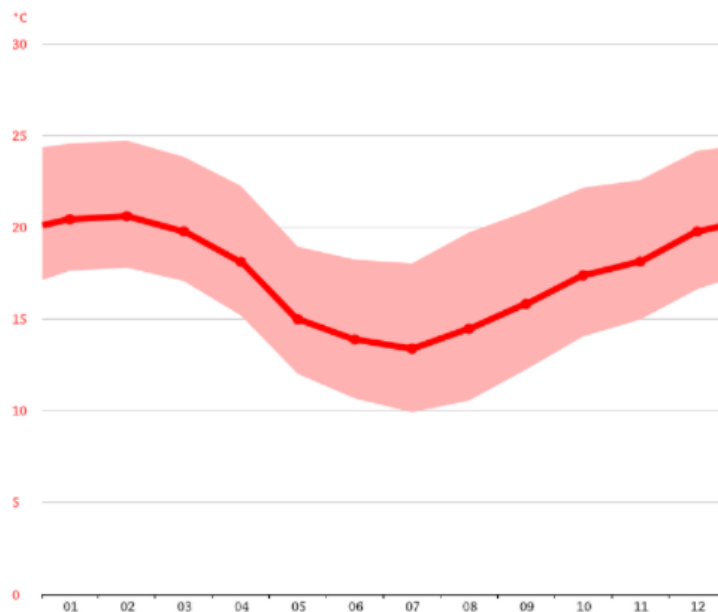


Figura 22 – Média de temperatura mensal em Curitiba - °C x mês
Fonte: CLIMATE-DATA (2015)

4.2 Dimensionamento do Sistema de Aquecimento Solar

4.2.1 Consumo médio de água

De acordo com a Equação 15 e os dados da Tabela 2, calcula-se o consumo do sistema para uma vazão do chuveiro de 6 litros por minuto e um ciclo diário de 10 minutos por pessoa, sendo 1 banho diário para cada. A temperatura adotada para a ducha foi de 40 graus Celsius. Sendo 4 moradores na casa, tem-se:

$$V_{consumo} = Q_{pu} * T_u * \text{frequência de uso}$$

$$V_{consumo} = 6 * 10 * 4 = 240 \text{ litros/dia}$$

4.2.2 Reservatório térmico

O cálculo do volume do reservatório é feito seguindo a NBR 7198 (ABNT, 1993), uma vez que a temperatura de consumo é de 40 °C e a temperatura de armazenamento adotada é de 50 °C, respeitando o exigido pela norma. Como a temperatura média para a cidade de Fortaleza é de 26.7 °C, utiliza-se a equação 16:

$$V_{armaz} = \frac{V_{consumo} * (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})}$$

$$V_{armaz} = \frac{240 * (40 - 26.7)}{(50 - 26.7)}$$

$$V_{armaz} = 137 \text{ litros}$$

Já para a cidade de Curitiba, cuja temperatura média é de 17.2 °C, o volume de armazenamento é o seguinte:

$$V_{armaz} = \frac{240 * (40 - 17.2)}{(50 - 17.2)}$$

$$V_{armaz} = 167 \text{ litros}$$

Como o volume de armazenamento para Fortaleza é de 137 litros e para Curitiba é de 167 litros, de acordo com os dados da tabela 3 é possível concluir que ambos vão ter adotado uma instalação de pequeno porte, do tipo termossifão, já que seu armazenamento será ser menor que 1500 litros. Porém o recomendado pela norma ABNT (2008), é que se utilize um reservatório com um valor maior ou igual a 75% do volume do total gasto de água, que é de 240 litros. Sendo assim, o Boiler em ambas as localidades deverá ter no mínimo 180 litros.

4.2.3 Demanda energética e irradiação solar

Para o cálculo da demanda energética mensal para o aquecimento do total de água quente, adotou-se a necessidade diária de 240 litros, mês equivalente a 30 dias, a temperatura máxima de aquecimento de 40°C, e a temperatura média da cidade de Fortaleza de 26.7 °C. Assim temos a equação 18:

$$D_{mês} = Q_{dia} * N * (T_{acs} - T_{af}) * 1,16. 10^{-3}$$

$$D_{mês} = 240 * 30 * (40 - 26.7) * 1,16. 10^{-3}$$

$$D_{mês} = 111,08 \text{ kWh/mês}$$

Para Curitiba:

$$D_{mês} = 240 * 30 * (40 - 17.2) * 1,16. 10^{-3}$$

$$D_{mês} = 190,43 \text{ kWh/mês}$$

De acordo com a ferramenta de coleta de dados solarimétricos VIRTUX SOLAR (2021), a melhor orientação dos painéis solares na cidade de Fortaleza para obter a maior média anual de incidência solar é 5° Norte, com valor de 5,800 kWh/m²/dia como mostrado na tabela 6:

Tabela 6 – Irradiação solar diária média de Fortaleza

Inclinação	Irradiações (kWh/m ² /dia)												
	Anual	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
0°	5,776	5,871	5,807	5,652	4,910	5,291	5,300	5,525	5,933	6,089	6,344	6,434	6,155
5°	5,800	5,721	5,724	5,654	4,975	5,461	5,520	5,750	6,103	6,148	6,286	6,271	5,966
10°	5,793	5,541	5,611	5,626	5,014	5,601	5,710	5,943	6,239	6,172	6,193	6,073	5,745
15°	5,753	5,333	5,466	5,567	5,027	5,708	5,865	6,099	6,335	6,159	6,062	5,841	5,496
20°	5,679	5,098	5,292	5,477	5,013	5,782	5,985	6,218	6,392	6,107	5,895	5,578	5,217
25°	5,572	4,834	5,090	5,358	4,973	5,821	6,068	6,297	6,408	6,018	5,693	5,281	4,909
30°	5,433	4,546	4,861	5,209	4,906	5,826	6,115	6,338	6,384	5,892	5,458	4,954	4,574

Fonte: Virtux Solar (2021)

Já para a cidade de Curitiba, a melhor orientação dos painéis solares encontrada para obter a maior média anual de incidência solar é 20° Norte, com valor de 4,373 kWh/m²/dia, como mostrado na tabela 7:

Tabela 7 – Irradiação solar diária média de Curitiba

Inclinação	Irradiações (kWh/m ² /dia)												
	Anual	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
0°	4,194	5,318	5,158	4,538	3,782	3,047	2,758	2,892	3,864	3,830	4,359	5,230	5,557
5°	4,272	5,301	5,190	4,623	3,910	3,185	2,895	3,038	4,058	3,910	4,395	5,229	5,528
10°	4,328	5,258	5,195	4,686	4,018	3,307	3,020	3,169	4,229	3,971	4,411	5,201	5,471
15°	4,362	5,189	5,172	4,724	4,106	3,412	3,128	3,284	4,377	4,013	4,405	5,147	5,386
20°	4,373	5,093	5,123	4,737	4,172	3,500	3,221	3,382	4,500	4,035	4,377	5,067	5,273
25°	4,362	4,972	5,047	4,726	4,216	3,569	3,297	3,462	4,597	4,037	4,329	4,961	5,133
30°	4,330	4,833	4,947	4,690	4,237	3,619	3,356	3,524	4,668	4,019	4,260	4,835	4,973

Fonte: Virtux Solar (2021)

4.2.4 Irradiação real e área dos painéis

Para o cálculo da irradiação real absorvida, é necessário primeiramente selecionar algum coletor para utilizar sua eficiência. Então foi consultado a tabela PBE – Coletor Solar aplicação

Empresa	Marca	Modelo	Aplicação	Pressão de Funcionamento		Área Externa do Coletor (m ²)	Produção Média mensal de Energia		Eficiência Energética Média(%)	Classificação	Material Superfície Absorvedora
				(kPa)	(mca)		Por Coletor (kWh/mês)	Por m ² (Específica kWh/mês.m ²)			
AQUESOL INDUSTRIA AQUECIMENTO SOLAR LTDA	AQUESOL	Coletor Solar de 30 tubos	Banho	50	5,10	4,45	297,1	66,73	74	C	Vidro de BoroSilicato
AQUESOL INDUSTRIA AQUECIMENTO SOLAR LTDA	AQUESOL	Coletor Solar de 40 tubos	Banho	50	5,10	5,83	389,2	66,73	74	C	Vidro de BoroSilicato
AQUESOL INDUSTRIA AQUECIMENTO SOLAR LTDA	AQUESOL	Coletor Solar de 50 tubos	Banho	50	5,10	7,22	482,0	66,73	74	C	Vidro de BoroSilicato
AQUESOL INDUSTRIA AQUECIMENTO SOLAR LTDA	AQUESOL	Coletor Solar de 10 tubos	Banho	50	5,10	1,57	119,9	76,15	70,1	B	Vidro de BoroSilicato
AQUESOL INDUSTRIA AQUECIMENTO SOLAR LTDA	AQUESOL	Coletor Solar de 15 tubos	Banho	50	5,10	2,27	172,9	76,15	70,1	B	Vidro de BoroSilicato
AQUESOL INDUSTRIA AQUECIMENTO SOLAR LTDA	AQUESOL	Coletor Solar de 20 tubos	Banho	50	5,10	2,99	227,8	76,15	70,1	B	Vidro de BoroSilicato
BOSCH TERMOTECNOLOGIA LIMITADA	BOSCH	FCC220-2V	Banho	600	61,00	2,08	199,9	96,24	71,06	A	Alumínio
BOSCH TERMOTECNOLOGIA LIMITADA	HELIOTEK	MC10 Evolution	Banho	400	40,00	1,00	75,8	75,80	54,59	B	Alumínio
BOSCH TERMOTECNOLOGIA LIMITADA	HELIOTEK	MC15 Evolution	Banho	400	40,00	1,50	113,7	75,80	54,59	B	Alumínio
BOSCH TERMOTECNOLOGIA LIMITADA	HELIOTEK	MC10 Evolution Pro	Banho	400	40,00	1,00	80,0	80,10	57,11	B	Alumínio
BOSCH TERMOTECNOLOGIA LIMITADA	HELIOTEK	MC15 Evolution Pro	Banho	400	40,00	1,50	127,1	84,70	60,7	A	Alumínio
BOSCH TERMOTECNOLOGIA LIMITADA	HELIOTEK	MC20 Evolution Pro	Banho	400	40,00	1,50	127,1	84,70	60,7	A	Alumínio

Banho e Piscina do INMETRO (2016), e foram selecionados o coletor plano da empresa BOSH TERMOTECNOLOGIA LTDA, modelo HELIOTEK MC15 EVOLUTION PRO, e o coletor à vácuo da empresa ECO PRO PRODUTOS SUSTENTÁVEIS LTDA, modelo ECO PRO BNP-1-15 devido seus bons valores de eficiência e produção média mensal de energia em relação aos concorrentes do mercado.

Empresa	Marca	Modelo	Aplicação	Pressão de Funcionamento		Área Externa do Coletor m²	Produção Média mensal de Energia		Eficiência Energética Média(%)	Classificação	Material Superfície Absorvedora
				(kPa)	(mca)		Por Coletor (kWh/mês)	Por m2 (Específica kWh/mês.m2)			
ECO AQUECEDORES LTDA - ME	ECO AQUECEDORES	ECO-AP-10	Banho	600	61,00	1,57	119,7	76,26	68,6	B	Vidro de BoroSilicato
ECO AQUECEDORES LTDA - ME	ECO AQUECEDORES	ECO- AP-15	Banho	600	61,00	2,30	175,4	76,26	68,6	B	Vidro de BoroSilicato
ECO AQUECEDORES LTDA - ME	ECO AQUECEDORES	ECO-AP-10	Banho	600	61,00	3,04	231,8	76,26	68,9	B	Vidro de BoroSilicato
Ecol Aquecedores Solar Ltda-ME	ECOL	CSP 1X1	Banho	392	39,90	0,97	64,2	66,20	48,44	D	Alumínio
Ecol Aquecedores Solar Ltda-ME	ECOL	CSP 1,7X1	Banho	392	39,90	1,64	108,6	66,20	48,44	D	Alumínio
ECO PRO PRODUTOS SUSTENTAVEIS LTDA	ECOPRO	BNP-1-15	Banho	50	5,00	2,32	179,5	77,39	70	B	Vidro de BoroSilicato
ECO PRO PRODUTOS SUSTENTAVEIS LTDA	ECOPRO	BNP-1-20	Banho	50	5,00	3,05	236,0	77,39	70	B	Vidro de BoroSilicato
ECO PRO PRODUTOS SUSTENTAVEIS LTDA	ECOPRO	BNP-1-30	Banho	50	5,00	4,47	345,9	77,39	70	B	Vidro de BoroSilicato
ECO PRO PRODUTOS SUSTENTAVEIS LTDA	ECOPRO	BNP-1-25	Banho	50	5,00	3,76	291,0	77,39	70	B	Vidro de BoroSilicato
ECO PRO PRODUTOS SUSTENTAVEIS LTDA	ECOPRO	BNP-1-15	Banho	50	5,00	2,32	179,5	77,39	70	B	Vidro de BoroSilicato
ECO PRO PRODUTOS SUSTENTAVEIS LTDA	ECOPRO	BNP-1-20	Banho	50	5,00	3,05	236,0	77,39	70	B	Vidro de BoroSilicato
ECO PRO PRODUTOS SUSTENTAVEIS LTDA	ECOPRO	BNP-1-25	Banho	50	5,00	3,76	291,0	77,39	70	B	Vidro de BoroSilicato
ECO PRO PRODUTOS SUSTENTAVEIS LTDA	ECOPRO	BNP-1-30	Banho	50	5,00	4,47	345,9	77,39	70	B	Vidro de BoroSilicato

Figura 24 – Coletor à vácuo modelo ECO PRO BNP-1-15

Fonte: PBE – Coletor Solar aplicação Banho e Piscina do INMETRO (2016)

Assim, para o cálculo da irradiação mensal que incide no SAS, adotou-se a irradiação diária média mensal de cada cidade e a eficiência de cada coletor selecionado. Sendo o mês com 30 dias, utiliza-se a equação 19:

$$Q_{mês} = Q_{dia} * N * eficiência do coletor selecionado$$

A partir dos valores que são obtidos de irradiação média mensal é possível, através da equação 20, definir a área que cada sistema utilizará para cada tipo de coletor e cada cidade estudada.

$$A = \frac{D_{mês}}{Q_{mês}}$$

Os resultados obtidos:

Tabela 8 – Cálculo da irradiação média mensal e área do sistema

Modelo	Fortaleza		Curitiba	
	Plano	Tubo	Plano	Tubo
Área do coletor (m ²)	1,50	2,32	1,50	2,32
Eficiência (%)	0,607	0,7	0,607	0,7
Dias/mês	30			
Irradiação diária média mensal (kWh/m ² /dia)	5,80	5,80	4,373	4,373
Demanda Energética (kWh/mês)	111,08	111,08	190,43	190,43
Irradiação solar média mensal (kWh/m ² /mês)	105,618	121,80	79,632	91,833
Área do sistema (m ²)	1,05171	0,91	2,391	2,074

Fonte: Pesquisa direta (2021)

A partir dos resultados obtidos na tabela 8, pode-se determinar que os valores de irradiação solar média mensal para Fortaleza são: 105,618 kWh/m²/mês (Plano), 121,80 kWh/m²/mês (Tubo). Já para Curitiba: 79,632 kWh/m²/mês (Plano) e 91,833 kWh/m²/mês (Tubo). Além disso, as áreas para implantação do sistema também são obtidas.

4.3 Determinação do SAS

Com os cálculos necessários já aplicados, é possível definir o número de placas de cada coletor serão utilizadas em cada cidade analisada. Como o coletor plano apresenta uma área externa de 1,50 m², em Curitiba seria necessária o emprego de duas placas, já em Fortaleza apenas uma já atende a exigência. Em relação ao coletor à vácuo, em ambas as cidades a utilização de apenas uma placa já cumpre com a demanda, visto que o mesmo apresenta uma área de 2,32 m².

A respeito do tanque de reservatório de água quente, o sistema tem a necessidade mínima de 180 litros, como calculado anteriormente. Sendo assim optou-se pela utilização de um Boiler de 200 litros, volume comercial mais próximo do exigido pelo sistema.

Como ambos os coletores suportam uma pressão de 5 mca, optou-se pelo reservatório da marca HELIOTEK, modelo MK 200L.

4.4 Estimativa de custo de implantação

De acordo com os resultados obtidos, foram determinados os custos para implantação de ambos os sistemas para as duas cidades. A Tabela 9 demonstra esses valores considerando que a residência já possui instalação pronta de água quente.

Tabela 9 – Cálculo de gastos de implementação do SAS

Modelo Coletor	Fortaleza		Curitiba	
	Plano	Tubo	Plano	Tubo
Preço Coletor	R\$ 729,00	R\$ 3.600,00	R\$ 729,00	R\$ 3.600,00
Quantidade Utilizada	1	1	2	1
Modelo Reservatório	MK 200L	MK 200L	MK 200L	MK 200L
Preço Reservatório	R\$ 2.059,00	R\$ 2.059,00	R\$ 2.059,00	R\$ 2.059,00
Quantidade Utilizada	1	1	1	1
Custo de implantação	R\$ 2.788,00	R\$ 5.659,00	R\$ 3.517,00	R\$ 5.659,00

Fonte: Pesquisa direta (2021)

4.5 Custo da energia

Para o cálculo do valor gasto com energia elétrica, o watt-hora é a medida que se deve levar em consideração. A hora do watt é uma unidade prática de energia equivalente à energia produzida por uma potência de um watt por uma hora.

Para análise do consumo mensal do chuveiro elétrico nas residências em cada cidade, foi utilizado seu valor de consumo médio, dado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas, conforme a imagem a seguir:

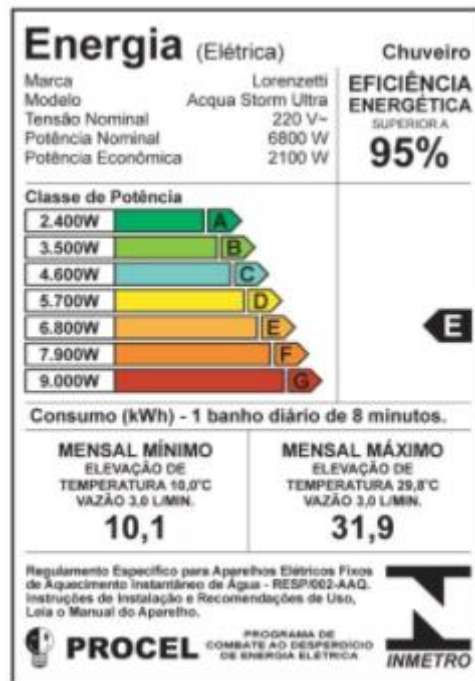


Figura 25 – Média de energia consumida por um chuveiro
Fonte: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2021)

Considerando que cada pessoa da casa tome um banho diariamente e adotando uma média entre o máximo e mínimo mensal do consumo do chuveiro elétrico (Figura 25), calcula-se o gasto mensal para o estudo de caso:

$$E_{total} = 21 * 4 = 84 \text{ kWh/mês}$$

De acordo com dados adotados pela Enel Ceará (2021), o custo do kWh para Fortaleza é de R\$ 0,82701. Já para Curitiba, de acordo com Copel (2021), o custo para o kWh para a cidade é de R\$ 0,42991.

Com esses valores, é possível calcular valor total mensal e anual que o chuveiro elétrico iria consumir em Fortaleza:

$$M = 84 * 0,82701 = R\$ 69,47/\text{mês}$$

$$M = 69,47 * 12 = R\$ 833,63/\text{ano}$$

Já os valores para Curitiba:

$$M = 84 * 0,42991 = R\$ 36,11/mês$$

$$M = 36,11 * 12 = R\$ 433,35/ano$$

4.6 Análise de viabilidade econômica

Primeiramente, para a análise de viabilidade econômica deste projeto, foi utilizado o software Excel para os devidos cálculos. Em seguida, pode-se analisar os valores encontrados de modo a tomar uma conclusão adequada.

Vale ressaltar que o fabricante de sistemas de aquecimento solar apresenta informações em relação a vida útil do equipamento, podendo esta variar entre 15 e 20 anos. Portanto, deve-se levar em conta esse valor para a análise financeira deste projeto.

Sendo assim, as tabelas 10 e 11 são apresentadas com a finalidade de analisar o tempo, em anos, em que o investimento vai se pagar.

Tabela 10 – Retorno do investimento em Fortaleza

TAXA INTERNA DE RETORNO FINANCEIRO		
FORTALEZA		
	Plano	Tubo
Custo total do investimento	R\$ 2.788,00	R\$ 5.659,00
Projeção de gastos anuais sem a instalação	R\$ 833,69	
Tempo de retorno do investimento (anos)	3,3	6,8

Fonte: Pesquisa direta (2021)

Tabela 11 – Retorno do investimento em Curitiba

TAXA INTERNA DE RETORNO FINANCEIRO		
CURITIBA		
	Plano	Tubo
Custo do investimento	R\$ 3.517,00	R\$ 5.659,00
Projeção de gastos anuais sem a instalação	R\$	433,35
Tempo de retorno do investimento (anos)	8,1	13,1

Fonte: Pesquisa direta (2021)

Com esses valores, é possível notar que o investimento dos coletores solares em Fortaleza apresenta um retorno financeiro a partir de 3 a 7 anos, aproximadamente. Para Curitiba, o tempo é maior, podendo chegar a até 13 anos. A partir destes dados calculados pode-se analisar, de fato, a efetividade do investimento e a aplicabilidade dos coletores dadas as cidades apresentadas no estudo.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

No decorrer deste trabalho foram estudados os coletores solares planos e os coletores de tubo evacuado com a finalidade de fazer uma comparação de utilização de ambos em localidades distintas do Brasil. A princípio, foi realizada uma breve revisão dos mecanismos de calor, seguido de uma coleta de dados das cidades de Curitiba e Fortaleza, dimensionamento dos sistemas de aquecimento e análise financeira do projeto. Uma casa de 4 moradores para ambas as cidades foi objeto de estudo.

A partir dos dados pesquisados e dos resultados obtidos, é possível perceber que a diferença de temperatura média das duas cidades é o fator que mais influencia o resultado final. Outro fator que tem grande interferência é o valor da taxa de energia de cada cidade. Como Curitiba apresenta o valor do kWh de apenas R\$ 0,42, isso faz com que o tempo de retorno financeiro para ambos os tipos de coletor seja maior. Combinado a um baixo valor de irradiação solar na cidade, pode ser que este investimento não seja tão vantajoso mesmo com o tempo de vida útil do equipamento variando entre 15 a 20 anos.

Para a cidade de Fortaleza, o investimento pode ser rentável dado o tempo de retorno financeiro variando entre 3 e 7 anos aproximadamente. A cidade apresenta a maior taxa de irradiação dentre as capitais do Brasil, tornando-se um ótimo local para implantação de um sistema de aquecimento solar. Por ser uma casa de apenas 4 moradores, esse retorno financeiro se apresenta viável, acontecendo em um curto prazo.

Além disso, os objetivos específicos apontados foram atingidos, já que foi possível realizar um estudo comparativo entre os coletores, verificar sua viabilidade e avaliar um possível decremento para ambas as situações abordadas.

5.2 Recomendações

Para trabalhos futuros, seguem algumas sugestões:

- Analisar a possibilidade de implementação de outras ferramentas de análise de viabilidade econômica;
- Estudar a influência da inclinação do coletor solar considerando a variação da incidência solar e da área necessária para os meses e estações do ano, ao invés dos valores médios anuais;

- Realizar um equacionamento matemático com um modelo transiente e analisá-lo.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANEEL. (2002). Atlas de energia elétrica do Brasil. Brasília: ANEEL.

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 7198: Projeto e execução de instalações de água quente. Rio de Janeiro, 1993.

BOREAL SOLAR. "**Potencial de energia solar: Quais as melhores regiões brasileiras para captação da luz solar**". Disponível em: <<http://borealsolar.com.br/blog/2016/10/26/potencial-de-energia-solar-quais-as-melhores-regioes-brasileiras-para-captacao-da-luz-solar/>>. Acesso em 14 de fevereiro de 2021.

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.

CELPE. "**Consumo típico de energia elétrica de residências brasileiras**". Disponível em: <<https://servicos.celpe.com.br/pages/index.aspx>>. Acesso em 16 de março de 2021.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de Calor e Massa: uma abordagem prática**. 4.ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

CLIMATE DATA. **Temperatura média de Curitiba - 2021**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/parana/curitiba-2010/>>. Acesso em 11 de setembro de 2021.

CLIMATE DATA. **Temperatura média de Fortaleza - 2021**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/ceara/fortaleza-2031/>>. Acesso em 11 de setembro de 2021.

COELHO, D. M. (2011). Identificação de variáveis críticas e simulação do uso de coletores solares em prédios residenciais. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.

COPEL (2021). Disponível em: <<https://www.copel.com/hpcweb/copel-distribuicao/taxas-tarifas/>>. Acesso em 19 de novembro de 2021.

DASOL - DEPARTAMENTO NACIONAL DE AQUECIMENTO SOLAR. Manual de Capacitação em Projetos de Sistemas de Aquecimento Solar. 2008.

DA ROSA, Fábio Niemezowski; MANEA, Tiago Francisco; KREZINGER, Arno. Estudo comparativo da utilização de coletores solares planos e tubulares para aquecimento de água. Revista Brasileira de Energia Solar, v. 4, n. 2, 2013.

DO BRASIL, Atlas de Energia Elétrica. 3ª edição—Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL (Brasil). 2008.

DUFFIE, John A.; BECKMAN, William A. Solar Energy Engineering Processes and Systems. New York: John Wiley & Sons, 1991.

ELETOBRAS/PROCEL (2007) “**Inovação e Sustentabilidade**”. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/Paginas/Inovacao-e-Sustentabilidade.aspx>>. Acesso em 16 de março de 2021.

ENEL (2021). Disponível em: <https://www.enel.com.br/pt-ceara/Tarifas_Enel.html>. Acesso em 19 de novembro de 2021.

ENERGY SHOP. Disponível em: <<https://www.energyshop.com.br/boiler-baixa-pressao-heliotek-mk-200-litros>>. Acesso em 8 de novembro de 2021.

ENERGY SHOP. Disponível em: <<https://www.energyshop.com.br/boiler-alta-pressao-heliotek-mkp-200-litros>>. Acesso em 8 de novembro de 2021.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2016) - <<https://www.epe.gov.br/pt>>. Acesso em 26 de fevereiro de 2021.

EXTRA. Disponível em: <https://www.extra.com.br/aquecedor-solar-a-vacuo-15-tubos-para-5-a-6-banhos-diarios-1517039771/p/1517039771?utm_medium=cpc&utm_source=google_freelisting&IdSku=1517039771&idLojista=86673>. Acesso em 8 de novembro de 2021.

FONSECA, João José Saraiva da. **Curso de especialização em comunidades virtuais de aprendizagem – informática educativa**. Ceará: Universidade Federal do Ceará, 2002.

FRANCA, Savio. 5 dicas de instalação de aquecedor solar com o abastecimento de água. 2017. Disponível em: <<https://blog.brassolar.com.br/5-dicas-de-instalacao-de-aquecedor-solar/>>. Acesso em 18 de fevereiro de 2021.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P.; BERGMAN, Theodore L.; LAVINE; Adrienne S. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

INMETRO. (2017). Coletor solar aplicação banho e piscina. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/coletores-solares-banho-e-piscina.pdf>>. Acesso em 06 de março de 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Disponível em: <https://www.ipt.br/solucoes/322-certificacao_de_chuveiro_eletrico.htm>. Acesso em 4 de novembro de 2021.

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 8 de setembro de 2021.

INTRODUÇÃO AO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR – USP (2010). Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/60551/mod_resource/content/1/Apostila_Aquecimento_Solar.pdf>. Acesso em 02 de abril de 2021.

KALOGIROU, Soteris A. **Solar thermal collectors and applications**. Elsevier: Progress in Energy and Combustion Science, Nicósia, 2004.

LOURENÇO, Pedro Miguel da Silva. **Modelação de Coletores Solares Planos**. [s.l.]: Universidade de Lisboa, 2012.

MANEA, T.; Rosa, Fabio N.; Krenzinger, A.; Dispositivo para medir o diferencial de temperatura em coletores solares para o aquecimento de água, ASADES, 2011.

MANUAL TÉCNICO PARA PROJETO E CONSTRUÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR & GÁS NATURAL. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/manuais/Manual_Tecnico_para_Projeto_e_Construcao_d_e_Sistemas_de_Aquecimento_Solar_e_Gas_Natural.pdf>. Acesso em 14 de dezembro de 2021.

MINAYO, Maria Cecília de Souza (org); DESLANDES, Suely Ferreira; GOMES, Romeu. Pesquisa Social: teoria, método e criatividade. 28. ed. Petrópolis :Vozes, 2009.

MUNDO EDUCAÇÃO. **“Matriz Energética Brasileira”**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/matriz-energetica-brasileira.html>>. Acesso em 16 de março de 2021.

OBRAMAX. Disponível em: <<https://www.obramax.com.br/coletor-solar-mc15-evolution-pro-15x1m-heliotek-89107781.html>>. Acesso em 8 de novembro de 2021.

OLIVEIRA. (2014). A importância da utilização de energias renováveis para manutenção dos recursos naturais. Disponível em <<https://medium.com/meio-ambiente/a-importancia-da-utilizacao-de-energias-renovaveis-para-manutencao-dos-recursos-naturais-a9c1ff1ac982>>. Acesso em 02 de abril de 2021.

PATROSOL. Disponível em: <<https://www.patrosol.com.br/kits/kit-vacuo/aquecedor-solar-a-vacuo-150-litros-15-tubos>>. Acesso em 16 de março de 2021.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos.

THERMO SUL. Reservatório térmico. Disponível em: < <http://www.thermosulrs.com.br/wp-content/uploads/2015/03/boillergrande.jpg>>. Acesso em: 26 de março de 2021.

TRIVIÑOS, Augusto Nivaldo Silva. Introdução à pesquisa em Ciências Sociais: a pesquisa qualitativa em educação: o positivismo, a fenomenologia, o marxismo. São Paulo: Atlas, 1987.

ROSA, F. N. da. **Aplicabilidade dos Coletores Solares à Vácuo no Brasil**, 2012. 65 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2012.

VILLALVA E GAZOLI, M. G. (2014). Energia Solar Fotovoltaica - Conceitos e Aplicações. São Paulo: Érica.

VIRTUX SOLAR. Disponível em: <<https://www.virtuxsolar.com/sdat/map/>>. Acesso em 4 de novembro de 2021.