



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



ANDRÉ HOFFMANN GONÇALVES DE CASTRO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR
RESIDENCIAL DE BAIXO CUSTO**

OURO PRETO - MG
2021

ANDRÉ HOFFMANN GONÇALVES DE CASTRO
andre.castro@aluno.ufop.edu.br

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR
RESIDENCIAL DE BAIXO CUSTO**

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

C355a Castro, André Hoffmann Gonçalves de .
Análise da viabilidade técnica e econômica da instalação de um sistema de aquecimento solar residencial de baixo custo. [manuscrito] / André Hoffmann Gonçalves de Castro. - 2021.
68 f.: il.: color., gráf., tab..

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

1. Desenvolvimento de recursos hídricos. 2. Aquecimento solar. 3. Tubos - Coletor de tubos de PVC. 4. Dimensões. 5. Energia - Consumo. 6. Racionamento de consumo . I. Bortolaia, Luís Antônio. 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

André Hoffmann Gonçalves de Castro

Análise da viabilidade técnica e econômica da instalação de um sistema de aquecimento solar residencial de baixo custo

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. Elisângela Martins Leal (Universidade Federal de Ouro Preto)
DsC. José Francisco Vilela Rosa (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 15/12/2021



Documento assinado eletronicamente por **Luís Antonio Bortolaia**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/12/2021, às 12:07, 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 **0258893** e o código CRC **738BA287**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.013246/2021-71

SEI nº 0258893

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

AGRADECIMENTO

Primeiramente, aos meus pais Edmilson e Arlete, que me deram seu apoio por todos estes anos, colocando todo o suor de seus trabalhos e suas vidas em favor de fazer com que eu conseguisse atingir meus objetivos pessoais, acadêmicos e profissionais. Além disso, um agradecimento mais que especial ao meu pai, que foi o responsável pela construção do equipamento presente no estudo de caso, se não fosse pelo seu exemplo de ser uma pessoa com enorme curiosidade, tenacidade e determinação, talvez eu nunca tivesse me interessado pela engenharia.

Ao meu orientador Bortolaia, por toda a sua paciência desde o início deste trabalho, pelo seu grande incentivo e capacidade de orientação, onde sempre se manteve atento em todas as etapas, me ajudando sucessivamente a achar respostas para as dúvidas que tive.

A todos os professores do curso de engenharia mecânica por suas importantes lições, não só referentes ao aprendizado do curso, mas também à preparação para a vida e para os dias de trabalho, podem ter certeza que estas não serão esquecidas e sempre lembrarei de vocês com enorme carinho.

A todos moradores da minha casa, dos que passaram e dos que ficaram, foi um imenso prazer conhecer vocês e muito obrigado pelo apoio emocional que foi crucial nestes anos em Ouro Preto.

A equipe Martelada Cheerleaders por todos os ensinamentos e vivência de como é ter uma segunda família, por todas as competições que fomos juntos e que na maioria das vezes ganhamos juntos. Todas essas medalhas de ouro, prata e bronze tem um significado mais que especial e que sempre ficará na minha mente e no meu coração. “Com muita raça, no coração. Azul e vermelho pra ser campeão.”. Obrigado por permitirem que eu fizesse parte da sua história.

“O mundo não é um mar de rosas; é um lugar sujo, um lugar cruel, que não quer saber o quanto você é durão. Vai botar você de joelhos e você vai ficar de joelhos para sempre se você deixar. Você, eu, ninguém vai bater tão forte como a vida, mas não se trata do quão forte você pode bater. Se trata do quanto você aguenta apanhar e seguir em frente, o quanto você é capaz de aguentar e continuar tentando. É assim que se consegue vencer.”.

Rocky Balboa

*“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu.
Há tempo de nascer, e tempo de morrer; tempo de plantar, e tempo de arrancar o que se plantou;
Tempo de matar, e tempo de curar; tempo de derrubar, e tempo de edificar;
Tempo de chorar, e tempo de rir; tempo de prantear, e tempo de dançar;
Tempo de espalhar pedras, e tempo de ajuntar pedras;
tempo de abraçar, e tempo de afastar-se de abraçar;
Tempo de buscar, e tempo de perder; tempo de guardar, e tempo de lançar fora;
Tempo de rasgar, e tempo de coser; tempo de estar calado, e tempo de falar;
Tempo de amar, e tempo de odiar; tempo de guerra, e tempo de paz.”.*

Eclesiastes 3:1-8

RESUMO

Em junho de 2021, os termos estiagem, crise hídrica, queda do nível dos reservatórios de hidrelétricas, e aumento na conta de luz; voltaram a ser ouvidos pela maioria dos brasileiros. Durante o período de estiagem, a oferta de energia é compensada por usinas termelétricas. Isso faz com que a produção de energia se torne mais onerosa e esse preço é repassado ao consumidor. Existem alternativas sustentáveis para amenizar o aumento do custo no consumo de energia e o Brasil é um país com altos índices de incidência solar. Com base nisso, este trabalho apresenta uma análise da viabilidade técnica e econômica da instalação de um sistema de aquecimento solar residencial de baixo custo. Utilizando pesquisas acerca dos sistemas de aquecimento solar de água, são explicados os procedimentos de construção e montagem de sistemas que utilizam tubos de PVC como matéria prima principal. Posteriormente, é apresentado um estudo de caso deste tipo de coletor já instalado em uma residência com quatro pessoas na cidade de Ipatinga – MG. Deste estudo de caso são retirados dados que permitiram os cálculos do dimensionamento de um sistema ideal para um reservatório com 300 litros e para um com 500 litros, onde a área coletora para o sistema de 300 litros é de 3,50 m², e para o sistema de 500 litros de 5,65 m². É calculada a eficiência do coletor de PVC, que é de 41,5%, valor que equivale a 63,8% da eficiência de um coletor comercial, mas que possui um valor de aquisição do equipamento de apenas 47,9% do montante necessário para a compra do sistema comercial. São apresentados os dias nos quais o sistema não atingiria uma temperatura ideal de consumo e, com base nisso é calculado que, em média, anualmente são economizados 1183,2 kWh, o que na bandeira “escassez hídrica” da CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais, é equivalente a R\$ 1552,89. Após essa análise econômica, o investimento no sistema é comparado a um investimento em uma poupança com crescimento mensal de 0,452%, o que no final de 15 anos, que é o tempo de vida útil médio do coletor, representa uma diferença de R\$ 14.691,59, ou seja, 347,8%, observando também que em apenas dois anos, o *payback* do investimento no sistema é atingido. O sistema é comparado também com o investimento em: um sistema de aquecimento comercial, que possui tempo de vida útil de 25 anos. O equipamento comercial, devido ao maior tempo de vida útil, obteve um retorno 33,9% maior do que o sistema artesanal, mas somente alcança seu *payback* em 5 anos.

Palavras-chave: Crise hídrica. Aquecimento solar. Coletor de tubos de PVC. Dimensionamento. Economia energética e financeira.

ABSTRACT

In June 2021, the terms drought, water crisis, drop in the level of hydroelectric reservoirs, and increase in electricity bills; returned to be heard by most Brazilians. During the dry period, the energy supply is compensated by thermoelectric plants. This makes energy production more costly and this price is passed on to the consumer. There are sustainable alternatives to mitigate the increase in the cost of energy consumption and Brazil is a country with high levels of solar incidence. Based on this, this work presents an analysis of the technical and economic feasibility of installing a low-cost residential solar heating system. Using researches on solar water heating systems, the construction and assembly procedures for systems that use PVC pipes as the main raw material are explained. Subsequently, a case study of this type of collector is presented, this system is already installed in a house with four people in the city of Ipatinga – MG. From this case study, data are taken that allowed the calculations of the sizing of an ideal system for a reservoir with 300 liters and one with 500 liters, where the collecting area for the 300 liter system would be 3.50 m², and for the 500 liter system would be 5.65 m². The efficiency of the PVC collector is calculated, which is 41.5%, a value that is equivalent to 63.8% of the efficiency of a commercial collector, but which has an acquisition value of only 47.9% of the necessary amount for the purchase of the commercial system. The days on which the system would not reach an ideal consumption temperature are presented and, based on this, it is calculated that, on average, 1183.2 kWh are saved annually, which under the “water shortage” flag of CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais, is equivalent to R\$ 1552.89. After this economic analysis, the investment in the system is compared to an investment in savings with a monthly growth of 0.452%, which at the end of 15 years, that is the average useful life of the low-cost collector, represents a difference of R\$ 14,691.59, that is, 347.8%, also noting that in just two years, the payback of the investment in the low-cost system is reached. The system is also compared to an investment in a commercial heating system, which has a useful life of 25 years. The commercial equipment, due to its longer useful life, obtained a return 33.9% greater than the artisanal system, but only achieves its payback in 5 years.

Keywords: Water crisis. Solar heating. PVC pipe collector. Sizing. Energy and financial savings.

LISTA DE SIMBOLOS

$\dot{Q}_{cond}$	taxa de transferência de calor por condução (W)
k	condutividade térmica do material (W/ (m.K))
A	área da parede (m ²)
T_1	temperatura na parede 1 (°C, K)
T_2	temperatura da parede 2 (°C, K)
Δx	espessura da parede (m)
$\dot{Q}_{conv}$	taxa de transferência de calor por convecção (W)
h	coeficiente de transferência de calor por convecção (W/(m ² K))
A_s	área da superfície (m ²)
T_s	temperatura da superfície (°C, K)
T_∞	temperatura do fluido suficientemente longe da superfície (°C, K)
$\dot{Q}_{emit}$	taxa de radiação emitida de uma superfície (W)
ε	emissividade (adimensional)
σ	constante de Stefan-Boltzmann (W/ (m ² K ⁴))
G_{abs}	radiação absorvida (W/m ²)
A	absortividade (adimensional)
G	radiação incidente (W/m ²)
q''_{rad}	taxa líquida de transferência de calor por unidade de área (W/m ²)
T_{viz}	temperatura da vizinhança (°C)
q_{rad}	taxa líquida de transferência de calor (W)
h_r	coeficiente de transferência de calor por radiação (W/(m ² K))
R_t	resistência térmica (K/W)
$\dot{Q}_u$	calor útil transferido para o fluido circulante (W)
$\dot{m}$	vazão mássica do fluido (kg/s)

c_p	calor específico do fluido (kJ/kg°C)
T_o	temperatura do fluido que entra no coletor (°C)
T_i	temperatura do fluido que sai do coletor (°C)
$V_{consumo}$	volume total de água quente diário (m³)
Q	vazão do chuveiro (m³/s)
T	tempo médio de uso diário do chuveiro (s)
f	frequência de uso (adimensional)
V_{armaz}	volume do sistema de armazenamento (m³)
$T_{consumo}$	temperatura de consumo (°C)
$T_{ambiente}$	temperatura ambiente média anual do local de instalação (°C)
T_{armaz}	temperatura de armazenamento da água (°C)
$E_{\text{útil}}$	energia útil (kWh/dia)
ρ	massa específica da água (kg/m³)
C_p	calor específico da água (kJ/kg. K)
$A_{coletora}$	área coletora (m²)
E_{perdas}	somatório das perdas térmicas (kWh/dia)
FC_{instal}	fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar (adimensional)
$PMDEE$	produção média diária de energia específica (kWh/m²)
I_G	irradiação global média anual do local da instalação (kWh/m²×dia)
$Fr\tau\alpha$	coeficiente de ganho do coletor solar (adimensional)
Fr_{UL}	coeficiente de perdas do coletor solar (adimensional)
β	inclinação do coletor em relação ao plano horizontal (°)
$\beta_{\text{ótimo}}$	inclinação ótima para o coletor no local da instalação (°)

γ	ângulo de orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico (°)
η	eficiência do coletor (adimensional)
q_u	energia útil ganha (kWh)
G_t	energia solar incidente (kWh/m ²)
C	consumo diário (kWh)
P	potência do chuveiro (W)
h	horas de utilização diária do chuveiro (horas)
I	investimento inicial (R\$)
FC_1	fluxo de caixa, referente ao ano 1 (R\$)
FC_2	fluxo de caixa, referente ao ano 2 (R\$)
FC_n	fluxo de caixa, referente ao ano n (R\$)
TMA	taxa mínima de atratividade (adimensional, em porcentagem ou decimal).
VPL	valor presente líquido (R\$)
TIR	taxa interna de retorno (adimensional, em porcentagem ou decimal).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Condução de calor através de uma parede plana de espessura Δx e área A.	5
Figura 2 – Órbita da Terra em torno do Sol demonstrando a declinação solar.	11
Figura 3 - Componentes da radiação solar ao nível do solo.....	12
Figura 4 - Orientação geográfica dos coletores	12
Figura 5 - Ângulo de inclinação dos coletores	13
Figura 6 - Coletor concentrador parabólico.....	14
Figura 7 - Componentes de uma placa coletora plana.....	14
Figura 8 - Componentes de um coletor solar plano.....	15
Figura 9 - Placa de forro PVC e tubo de PVC cortado.....	16
Figura 10 - Coletor solar de tubos PVC pintado de preto	16
Figura 11 - Representação do sistema de aquecimento solar de água.....	17
Figura 12 - União em paralelo dos coletores.....	18
Figura 13 - Circuitos de água quente e água fria.....	18
Figura 14 - Fluxograma de procedimentos para a problemática	26
Figura 15 - Representação da Montagem dos Tubos PVC.....	29
Figura 16 – Montagem dos Tubos PVC do Estudo de Caso	30
Figura 17 – Colagem dos Tês.....	32
Figura 18 – Tubos no Processo Final de Colagem	32
Figura 19 - Amarração da Chapa de Zinco Pintada.....	33
Figura 20 - Representação do Teste de Estanqueidade	34
Figura 21 - Apresentação Final do Coletor Solar	34
Figura 22 - União das Placas Solares	35
Figura 23 - Disposição dos Furos do Reservatório	36
Figura 24 - Redutor de Turbulência	37

Figura 25 - Detalhe do Encaixe da Mangueira	37
Figura 26 - Articulação do Pescador	38
Figura 27 - Detalhe do Corte do Tubo do Pescador	38
Figura 28 - Boia do Pescador	39
Figura 29 - Boia Colada no Pescador	39
Figura 30 - Isolamento com Manta de Lã de Vidro	40
Figura 31 - Envolvimento Lateral com Chapa de Aço Galvanizado.....	41
Figura 32 - Chapa de Aço Galvanizado da Parte Superior do Reservatório	42
Figura 33 - Chapa de Aço Galvanizado da Parte Inferior do Reservatório	43
Figura 34 - Forma Final do Reservatório Térmico.....	43
Figura 35 - Representação da Instalação na Cidade de São Paulo - SP	44
Figura 36 - Representação da Inclinação dos Coletores.....	45
Figura 37 - Representação do Revestimento da Tubulação	46
Figura 38 - Registro com Misturador	47
Figura 39 - Esquematização do Misturador com PVC	48
Figura 40 - Imagem de Ducha com Controle Eletrônico.....	48
Figura 41 - Tabela de Dados do Radiasol 2.....	50
Figura 42 - Tabela de Temperaturas Medidas	53
Figura 43 - Tabela de Unidades e Orçamentos.....	56
Figura 44 - Orçamento Sistema Solar Comercial.....	56
Figura 45 - Condições Comerciais do Sistema Solar Comercial.....	57
Figura 46 - Descrição dos Equipamentos Presentes na Proposta Comercial	57
Figura 47 - Probabilidade Diária de Precipitação em Ipatinga – MG	59
Figura 48 - Análise Econômica do Investimento no Sistema de Aquecimento Solar Comparado com a Poupança	60
Figura 49 - Análise Econômica do Investimento no Sistema de Aquecimento Solar de Baixo Custo Comparado com o Sistema de Aquecimento Solar Comercial	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Demonstração do ângulo de inclinação em algumas cidades.....	13
Tabela 2 – Variáveis e Indicadores.....	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	2
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	Geral	2
1.3.2	Específicos.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Calor	4
2.1.1	Transferência de Calor.....	4
2.1.2	Calor Útil	10
2.2	Radiação Solar	10
2.2.1	Alterações devido ao Movimento da Terra	10
2.2.2	Radiação solar no nível do solo.....	11
2.3	Absorção de Radiação pelos Coletores	12
2.4	Sistema de Aquecimento Solar.....	13
2.4.1	Coletores Solares	13
2.4.2	Aquecedor Solar de Baixo Custo.....	15
2.5	Dimensionamento	19
2.5.1	Eficiência do Coletor Solar	21
2.6	Economia Energética e Financeira	22
2.7	Análise de Viabilidade Econômica.....	22
2.7.1	Taxa Mínima de Atratividade.....	22
2.7.2	Valor Presente Líquido (VPL).....	23
2.7.3	Taxa Interna de Retorno (TIR)	23
2.7.4	<i>Payback</i>	24
3	METODOLOGIA.....	25
3.1	Tipos de Pesquisa	25
3.2	Materiais e Métodos	26
3.3	Variáveis e Indicadores	27
3.4	Instrumento de Coleta de Dados.....	28
3.5	Tabulação dos Dados.....	28

3.6	Considerações Finais	28
4	RESULTADOS	29
4.1	Montagem do Equipamento.....	29
4.2	Confecção do Coletor com Tubos de PVC.....	31
4.2.1	Procedimentos de Montagem do Coletor	31
4.2.2	Procedimentos de Montagem do Reservatório	35
4.3	Instalação	44
4.3.1	Tubulações.....	45
4.3.2	Chuveiro ou Ducha Eletrônica	48
4.4	Dimensionamento para um Sistema Ideal	49
4.4.1	Eficiência do Coletor do Estudo de Caso x Coletor Comercial	55
4.4.2	Custos do Coletor do Estudo de Caso x Coletor Comercial.....	55
4.5	Cálculo de Economia Energética e Financeira	58
4.6	Viabilidade Econômica.....	59
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	62
5.1	Conclusão	62
5.2	Recomendações	64
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	65

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

De acordo com o diretor-geral do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), Luiz Carlos Ciochi, em audiência pública na Câmara dos Deputados no dia 15/06/2021, o Brasil enfrenta o menor nível dos reservatórios hidrelétricos e se realmente forem seguidos os planos de ações elaborados pelo governo federal e por órgãos do setor, os reservatórios do Sudeste e do Centro-Oeste deverão chegar a novembro de 2021 com 10,3% de sua capacidade, representando o menor nível dos reservatórios desde 2001, ano que o país enfrentou um racionamento de energia (CÂMARA DOS DEPUTADOS/YOUTUBE, 2021).

Com a crise hídrica e queda do nível dos reservatórios de hidrelétricas, a oferta de energia é compensada por usinas termelétricas. O custo de geração de energia fica mais alto e o preço é repassado ao consumidor. Segundo a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (2021), as contas de luz ficarão mais caras, uma vez que foi adotada a bandeira tarifária vermelha de patamar 2, o que representa um custo adicional de R\$6,243 para cada 100kWh consumidos.

Existem algumas alternativas sustentáveis para amenizar o aumento do custo para o consumo de energia, sendo que a aplicação de maior facilidade em uma residência é a energia solar, podendo ser aproveitada com a utilização de coletores fotovoltaicos ou como energia térmica em coletores de aquecimento de água. A energia solar é considerada por muitos a energia mais limpa e renovável e chama a atenção por sua fonte não poluente, inesgotável e gratuita de energia que é o sol. Além disso, o Brasil é um país com alto potencial nessa área (SOUZA, 2021).

Estima-se que o consumo do chuveiro elétrico pode representar mais de 30% do valor de uma conta de luz e uma vez que a utilização da energia solar como energia elétrica ainda não se enquadra no potencial de investimento de grande parte dos brasileiros, a solução então seria utilizar a luz do sol como fonte térmica através do aquecimento de água com coletores solares e com isso reduzir o consumo de energia elétrica (SCARPA, 2016).

Utilizando dados do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o Instituto Locomotiva (2021) conduziu um estudo que mostra que um percentual de 4% da população, anteriormente, presente na classe média, agora se encontra na classe baixa. Segundo a pesquisa, o percentual da classe média brasileira caiu de 51% (2020) para 47% (2021), a pesquisa

considera como classe média famílias com renda mensal per capita entre R\$ 667,87 e R\$ 3.755,76. Essa diminuição das rendas familiares reduz ainda mais o potencial de investimento em aquecedores solares presentes no mercado, tornando interessante a busca por outras alternativas que podem refletir mais a realidade dos brasileiros.

Diante do contexto, tem-se a seguinte problemática:

Qual a viabilidade técnica e econômica da instalação de um sistema de aquecimento solar residencial de baixo custo?

1.2 Justificativa

Com os baixos níveis de água nos reservatórios hidrelétricos e com o crescente aumento do valor da conta de luz, tornou-se necessário a busca por fontes alternativas de energia, sejam elas na produção de energia elétrica ou até na diminuição dos gastos com eletricidade.

O conceito de sustentabilidade cresce cada vez mais, e hoje em dia várias empresas se espelham em um conceito estabelecido por três pilares, sendo eles: ser lucrativo, ser ambientalmente responsável e ser socialmente justo. A utilização de uma fonte de energia renovável, inesgotável e gratuita faz com que o investimento em aquecedores solares seja uma ótima opção.

Devido ao baixo poder de investimento de grande parte da população nesses tempos de pandemia, uma busca por tornar o mundo mais sustentável atrelado a uma alta no valor da conta de luz torna-se necessário procurar outras formas de se utilizar a energia solar como fonte, como por exemplo o aquecedor solar de baixo custo.

Neste trabalho pretende-se dimensionar e demonstrar a montagem de um coletor solar constituído por elementos de baixo custo e que podem ser encontrados facilmente em lojas de materiais de construção, bem como determinar a sua viabilidade técnica e econômica de implementação.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Verificar a viabilidade técnica e econômica da instalação de um sistema de aquecimento solar de baixo custo.

1.3.2 Específicos

- Fazer uma revisão bibliográfica sobre os diferentes tipos de coletores solares;
- Demonstrar o processo de fabricação e montagem do sistema de aquecimento solar de baixo custo, como também realizar o dimensionamento deste;
- Apresentar os resultados obtidos referentes às temperaturas do estudo de caso presente em uma residência com 4 pessoas e suas dimensões;
- Avaliar a quantidade de energia economizada pelo sistema de aquecimento solar de baixo custo. Além de analisar e calcular o retorno financeiro deste, comparando com um investimento em um sistema de aquecimento solar comercial e em uma poupança.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho será dividido em cinco capítulos, sendo o primeiro introdutório, onde são apresentados a formulação do problema, a justificativa para realização do trabalho e seus objetivos geral e específicos. O capítulo dois apresenta a revisão bibliográfica acerca dos diferentes tipos de coletores solares e um estudo sobre o dimensionamento e construção de um aquecedor solar de baixo custo, além do estudo econômico e de viabilidade técnica. No terceiro capítulo são expostos os tipos de pesquisa realizados, os materiais e métodos a serem implementados para solucionar a problemática. No quarto capítulo são apresentados os materiais, cálculos e procedimentos realizados na construção e instalação do equipamento, além disso, são analisados e comparados os resultados teóricos com os encontrados no estudo de caso e, por fim, no último capítulo é realizada a conclusão do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Calor

Segundo Atkins e de Paula (2018), a energia de um sistema está atrelada a sua capacidade de realizar trabalho, mas existem formas de se alterar a energia de um sistema por maneiras que não envolvem trabalho, por exemplo, quando a energia de um sistema se altera como resultado da diferença de temperatura entre o sistema e suas vizinhanças, dizemos que a energia foi transferida na forma de calor. Calor, então, é a energia que espontaneamente é transmitida entre corpos que se encontram em temperaturas diferentes.

2.1.1 Transferência de Calor

Para Çengel e Ghajar (2012), a transferência de energia sempre ocorrerá do meio de maior temperatura para o de menor temperatura, sendo que esse fenômeno se interrompe quando os dois meios se encontrarem na mesma temperatura. Transferência de calor é o nome da ciência que estuda as taxas de transferência de calor. O calor pode ser transferido por três diferentes modos: condução, convecção e radiação.

2.1.1.1 Condução

Segundo Çengel e Ghajar (2012), a condução de calor ocorre quando a energia das partículas mais energéticas de uma substância é transferida para as partículas vizinhas adjacentes menos energéticas, sendo que essa condução pode ocorrer em sólidos, líquidos ou gases. Nos líquidos e gases, a condução ocorre devido às colisões e difusões das moléculas em seus movimentos aleatórios. Já nos sólidos, a combinação das vibrações das moléculas em rede é a causa da condução, sendo que a energia é transportada pelos elétrons livres. A taxa de condução de calor dependerá da geometria, espessura do material e da diferença de temperatura dos meios presentes no sistema (ÇENGEL e GHAJAR, 2012). Na figura 1 pode-se observar a condução de calor através de uma parede plana de espessura Δx e área A .

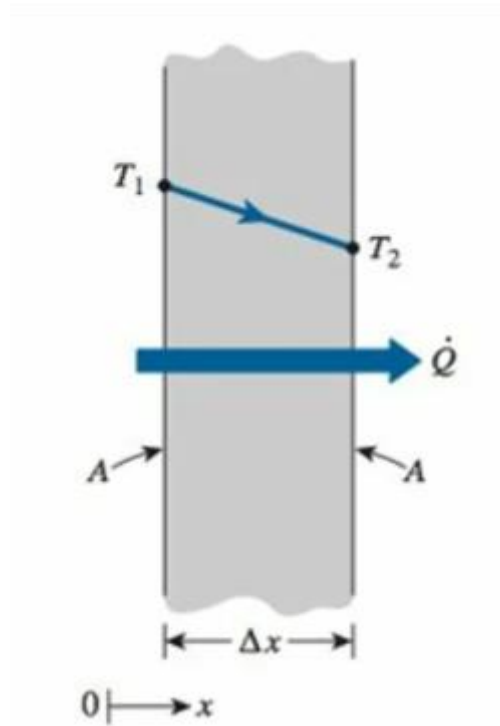


Figura 1 - Condução de calor através de uma parede plana de espessura Δx e área A .

Fonte: Çengel e Ghajar (2012)

Tem-se a equação da taxa de condução de calor:

$$\dot{Q}_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad (1)$$

Na equação (1):

- $\dot{Q}_{cond}$: taxa de transferência de calor por condução (W);
- k : condutividade térmica do material (W/ (m.K));
- A : área da parede (m²);
- T_1 : temperatura na parede 1 (°C, K);
- T_2 : temperatura da parede 2 (°C, K);
- Δx : espessura da parede (m).

A condutividade térmica é uma propriedade do material, conhecida por ser uma propriedade de transporte, que varia de acordo com a estrutura física da matéria. (BERGMAN e LAVINE, 2019)

De acordo com Çengel e Ghajar (2012), a condutividade térmica de um material pode ser definida como a taxa de transferência de calor por meio de uma unidade de comprimento de um material pela unidade de área por unidade de diferença de temperatura. Ou seja, a capacidade de um material de conduzir calor é conhecida por condutividade térmica, sendo que quanto maior sua condutividade, melhor condutor o material será.

2.1.1.2 Convecção

Para Coelho (2018), a convecção é um processo de transferência de calor que acontece quando existem no sistema uma superfície e um fluido. A convecção pode ocorrer de duas maneiras diferentes. A primeira maneira é conhecida por convecção natural e ocorre devido as forças de empuxo, originadas das diferentes massas específicas presentes no fluido, que por sua vez são causadas pelas diferentes temperaturas no fluido. A segunda maneira é chamada de convecção forçada, e possui essa denominação porque o fluido tem seu transporte forçado pela superfície através de meios externos como por um ventilador, bomba e até mesmo o vento.

Çengel e Ghajar (2012) observam que a taxa de transferência de calor por convecção é proporcional à diferença de temperatura e pode ser escrita pela seguinte equação:

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s (T_s - T_{\infty}) \quad (2)$$

Na equação (2):

- $\dot{Q}_{conv}$: taxa de transferência de calor por convecção (W);
- h : coeficiente de transferência de calor por convecção (W/(m²K));
- A_s : área da superfície (m²);
- T_s : temperatura da superfície (°C, K);
- T_{∞} : temperatura do fluido suficientemente longe da superfície (°C, K).

Os mesmos autores discorrem que o coeficiente de transferência de calor por convecção não é necessariamente uma propriedade do fluido, mas sim um parâmetro que é determinado através de experimentos, sendo que vários fatores podem alterar esse coeficiente, como por exemplo a geometria da superfície, a natureza de movimento do fluido, propriedades do fluido e até a velocidade da massa de fluido.

2.1.1.3 Radiação

Segundo Bergman e Lavine (2019), a radiação é uma energia transmitida por uma matéria, independentemente de sua forma, que se encontra em uma temperatura absoluta diferente de zero, sendo a energia transportada por ondas eletromagnéticas (ou fótons). A radiação não precisa de um meio material para se propagar, na verdade a radiação é mais eficiente no vácuo. Çengel e Ghajar (2012) lembram que nos estudos de transferência de calor, a radiação que se busca entender é a radiação térmica, uma vez que é emitida pelos corpos devido a sua temperatura, se diferenciando então de outras formas de radiações eletromagnéticas, como por exemplo os raios x, gama, micro-ondas, ondas de rádio, televisão e outras que também não estão relacionadas com a temperatura.

Para se calcular a taxa de radiação emitida por uma superfície é necessário a utilização da lei de Stefan-Boltzmann para superfícies reais, expressa pela equação abaixo (ÇENGEL e GHAJAR, 2012):

$$\dot{Q}_{emit} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (3)$$

Em que:

- $\dot{Q}_{emit}$: taxa de radiação emitida de uma superfície (W);
- ε : emissividade, propriedade que aponta o quanto a superfície se aproxima do comportamento de um corpo negro ($\varepsilon = 1$), onde o valor pode variar entre 0 e 1;
- σ : constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$);
- A_s : área da superfície (m^2);
- T_s : temperatura absoluta da superfície (K).

De acordo com Bergman e Lavine (2019), a radiação incidirá sobre uma superfície a partir de sua vizinhança, podendo ser oriunda de superfícies às quais o objeto de interesse esteja exposto e até de uma fonte, dita por ele como especial, que é o sol. A energia térmica do material aumenta quando uma porção, ou até mesmo toda a irradiação, é absorvida pela superfície. Essa absorção pode ser calculada através da multiplicação entre a radiação incidente (G) com uma propriedade que varia de acordo com a superfície que está absorvendo a irradiação e também com a natureza da irradiação, chamada absortividade (α), essa variável pode possuir um valor que está entre 0 e 1. Essa relação pode ser observada na equação a seguir:

$$G_{abs} = \alpha G \quad (4)$$

Em que:

- G_{abs} : radiação absorvida (W/m²);
- α : absortividade. $0 \leq \alpha \leq 1$;
- G : radiação incidente (W/m²).

O fluxo líquido (taxa líquida de transferência de calor por unidade de área) por radiação entre uma superfície e a vizinhança é expressa pela equação (BERGMAN e LAVINE, 2019):

$$q''_{rad} = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{viz}^4) \quad (5)$$

Em que:

- q''_{rad} : taxa líquida de transferência de calor por unidade de área (W/m²);
- T_{viz} : temperatura da vizinhança.

Os mesmos autores citam que também é conveniente utilizar uma outra expressão para representar a troca líquida de calor por radiação, sendo essa:

$$q_{rad} = h_r A (T_s^4 - T_{viz}^4) \quad (6)$$

Em que:

- q_{rad} : taxa líquida de transferência de calor (W);
- h_r : coeficiente de transferência de calor por radiação (W/(m²K)).

O coeficiente de transferência de calor por radiação pode ser calculado pela expressão (BERGMAN e LAVINE, 2019):

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_s - T_{viz})(T_s^2 + T_{viz}^2) \quad (7)$$

2.1.1.4 Resistência Térmica

De acordo com Bergman e Lavine (2019), a resistência térmica é uma propriedade dos materiais que mede a dificuldade de se conduzir calor e pode ser calculada pela seguinte equação:

$$q = q''A = \frac{\Delta T}{R_t} \quad (8)$$

Ou seja:

$$R_t = \frac{\Delta T}{q} \quad (9)$$

Sendo:

- R_t : Resistência térmica (K/W).

Dessa forma, a resistência térmica por condução para uma superfície plana pode ser expressa como:

$$R_{t,cond} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q_x} = \frac{L}{kA} \quad (10)$$

Por sua vez, a resistência térmica por convecção como:

$$R_{t,conv} = \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{hA} \quad (11)$$

Por último tem-se a equação de resistência térmica por radiação:

$$R_{t,rad} = \frac{T_s - T_{viz}}{q_{rad}} = \frac{1}{h_r A} \quad (12)$$

2.1.2 Calor Útil

De acordo com Borges (2000, apud DUFFIE e BECHMAN, 1991), o ganho de calor útil de um fluido transferido por uma placa coletora pode ser expresso pela equação:

$$\dot{Q}_u = \dot{m}c_p(T_o - T_i) \quad (13)$$

Em que:

$\dot{Q}_u$: calor útil transferido para o fluido circulante (W);

$\dot{m}$: vazão mássica do fluido (kg/s);

c_p : calor específico do fluido (kJ/kg°C);

T_o : temperatura do fluido que entra no coletor (°C);

T_i : temperatura do fluido que sai do coletor (°C).

2.2 Radiação Solar

Segundo o CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (2008), o Sol fornece $1,5 \times 10^{18}$ kWh para a atmosfera terrestre o que corresponde a 10000 vezes o consumo mundial de energia, podendo ser considerada uma fonte inesgotável de energia e de enorme potencial para utilização em sistemas de captação e conversão em outra forma de energia, como por exemplo em aquecedores solares e em sistemas fotovoltaicos.

2.2.1 Alterações devido ao Movimento da Terra

A Terra descreve uma trajetória elíptica inclinada de aproximadamente $23,5^\circ$ em relação ao plano equatorial ao realizar seu movimento anual ao redor do Sol, o que é observável pelas variações de elevação do Sol no horizonte. Essas variações são o que dá origem às estações do ano e acabam dificultando os cálculos das posições do sol para determinadas datas. (CRESESB, 2008)

No meio dia solar pode-se observar uma posição angular referente ao Sol e ao plano do Equador (Norte positivo), essa posição é conhecida por declinação solar. Esse ângulo pode ser observado na figura 2 e varia de $-23,45^\circ$ até $23,45^\circ$ (BEDAQUE e BRETONES, 2016)

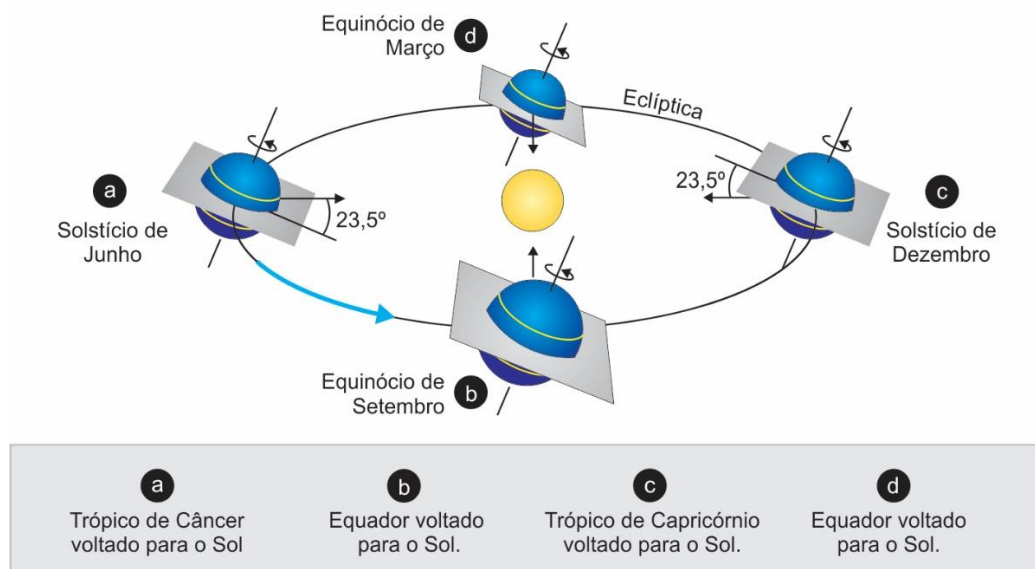


Figura 2 – Órbita da Terra em torno do Sol demonstrando a declinação solar.

Fonte: Saraiva (2012)

2.2.2 Radiação solar no nível do solo

Segundo o CRESESB (2008), é possível definir um valor médio para a quantidade de radiação solar que normalmente é incidida em uma superfície situada no topo da atmosfera, que seria em torno de 1367 W/m^2 . Essa média é obtida a partir dos cálculos entre a constante solar (em torno de $2 \text{ cal}/(\text{cm}^2/\text{min})$), da radiação emitida pelo Sol ao longo do ano, além da realização de correções devido a órbita elíptica.

Nem toda a radiação solar que chega às camadas superiores da atmosfera atingem o solo. A energia solar incidente acaba sendo refletida, transmitida ou absorvida, sendo que apenas a parcela absorvida dará origem aos processos de fotoconversão e termoconversão. As características da radiação solar, como intensidade, distribuição espectral e angular, serão ainda alteradas antes de atingir o solo. Isso ocorre devido as interações com a atmosfera onde ocorrerão efeitos de absorção e espalhamento. Esse fenômeno é dependente do ângulo Zenital do Sol, da distância entre a Terra e o Sol, e das condições atmosféricas e meteorológicas. A radiação solar que atinge o solo, pode ser observada na figura 3, que apresenta o fracionamento dos componentes da radiação solar, onde atingem o solo apenas a irradiação solar direta e a irradiação solar difusa (CRESESB, 2008):

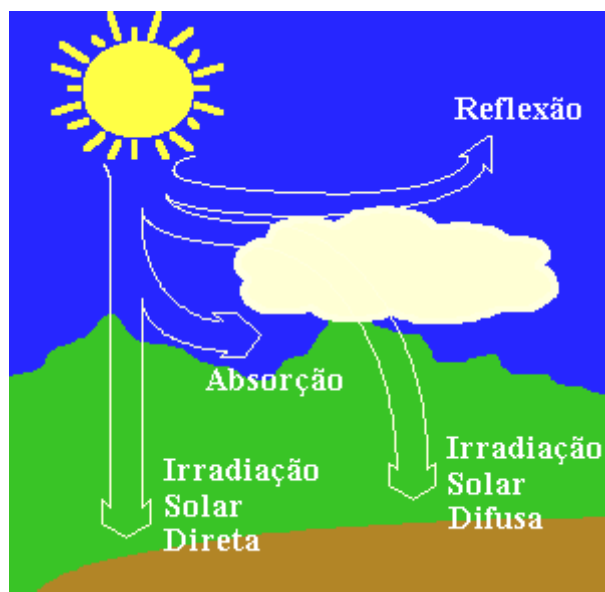


Figura 3 - Componentes da radiação solar ao nível do solo
Fonte: CRESESB (2008)

2.3 Absorção de Radiação pelos Coletores

De acordo os manuais de instalação da empresa Rinnai (2015) e da empresa Sempresustentável (2012), para se atingir a maior eficiência do sistema de aquecimento de água solar, os coletores devem ser direcionados para o norte geográfico. Caso não seja possível esse direcionamento, os coletores deverão ficar no máximo 30° defasados em relação ao norte geográfico, mas sendo necessário o acréscimo de no mínimo 20% de área de coletores. Além disso não se recomenda a instalação com uma defasagem acima de 30° devido às grandes quedas de rendimento do equipamento. A figura 4 é uma demonstração da orientação dos coletores.

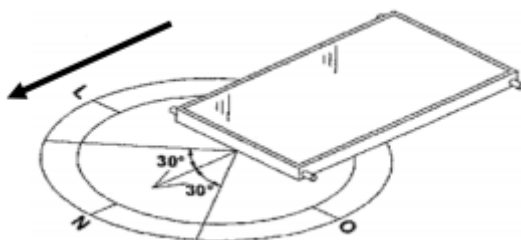


Figura 4 - Orientação geográfica dos coletores
Fonte: Manual de Instalação da Rinnai (2015)

Seguindo os mesmos manuais, se observa agora o ângulo de inclinação dos coletores. O ângulo de inclinação deve ser calculado somando 10° com a latitude da cidade. Se mesmo

após a soma o resultado não atingir 20°, deve-se adotar a inclinação de 20° para não prejudicar o fluxo adequado da água. A figura 5 apresenta a inclinação dos coletores em relação a latitude.

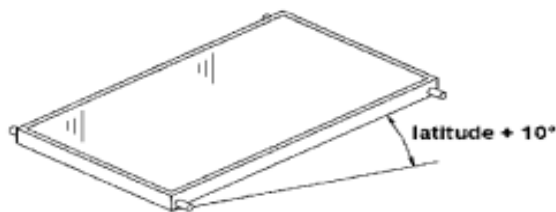


Figura 5 - Ângulo de inclinação dos coletores
Fonte: Manual de Instalação da Rinnai (2015)

A tabela 1 exibe o exemplo do cálculo de inclinação para algumas cidades:

Tabela 1 - Demonstração do ângulo de inclinação em algumas cidades

Inclinação ideal para coletores solares voltados para o norte geográfico	
Cidades – ângulo de inclinação do coletor	
Macapá – 20°	Brasília – 25°
Fortaleza – 20°	Belo Horizonte – 30°
Natal – 20°	Rio de Janeiro – 30°
Maceió – 20°	São Paulo – 33°
Salvador – 25°	Curitiba – 35°
Florianópolis – 35°	Porto Alegre – 40°

Fonte: Manual de Instalação da Rinnai (2015)

2.4 Sistema de Aquecimento Solar

2.4.1 Coletores Solares

De acordo com Borges (1991, *apud* DUFFIE e BECHMAN, 2000), existe uma grande variedade de coletores de energia, mas geralmente eles estão divididos em duas famílias, a dos coletores concentradores e a dos coletores planos. Os coletores concentradores são aqueles que utilizam mecanismos ópticos de refração ou reflexão de forma a concentrar a radiação solar em uma pequena superfície absorvedora, eles geralmente são mais caros, mas também permitem a obtenção de temperaturas de aquecimento acima de 100°. A figura 6 apresenta um coletor concentrador.



Figura 6 - Coletor concentrador parabólico
Fonte: CRESESB (2016)

O mesmo autor discorre que para obtenção de água residencial, os coletores do tipo placa plana seriam mais apropriados. Esses coletores são constituídos de uma superfície negra absorvedora de calor, uma malha ou serpentina de tubos em regime de condução térmica com a superfície absorvedora e uma caixa com isolamento inferior e as vezes lateral, além de possuir uma cobertura transparente superior, geralmente em vidro. As figuras 7 e 8 são representações dos componentes de uma placa coletora plana:

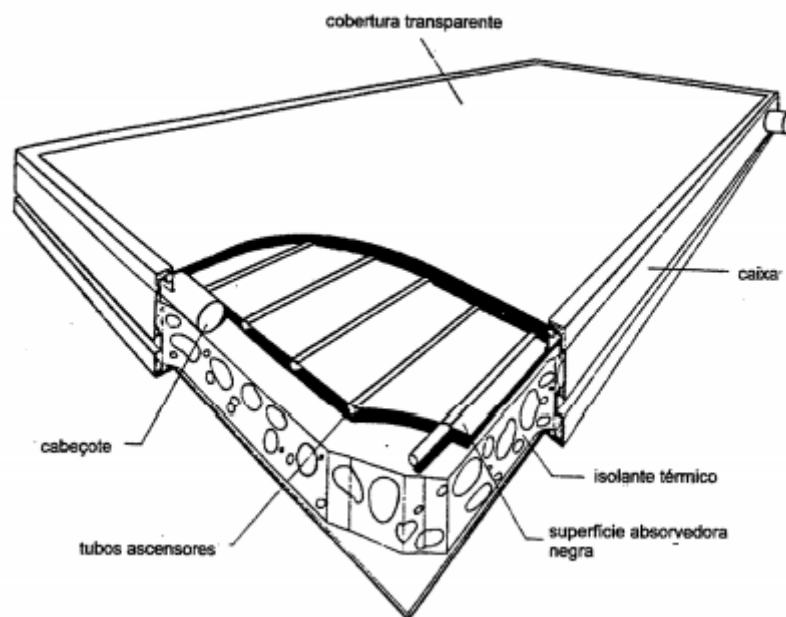


Figura 7 - Componentes de uma placa coletora plana
Fonte: Borges (2000)

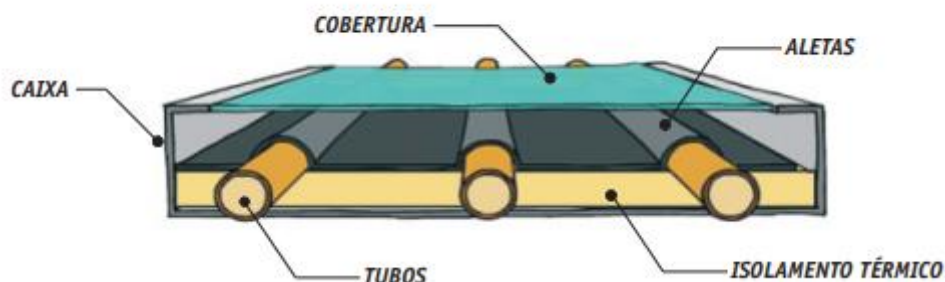


Figura 8 - Componentes de um coletor solar plano
 Fonte: Guia profissional da Soletrol (2011)

2.4.2 Aquecedor Solar de Baixo Custo

Segundo a instituição Sociedade do Sol (2020), o aquecedor solar de baixo custo, ou ASBC, surgiu em 1992 com iniciativa do engenheiro elétrico Augustin T. Woelz e o técnico em mecânica e química José Ângelo Contini. O projeto foi desenvolvido em parceria com o especialista em energia solar térmica tradicional, e técnico em mecânica, Pedro L. Anselmo. O primeiro protótipo foi apresentado durante a Eco 92, que foi um evento ambiental patrocinado pelas Nações Unidas, realizado no Rio de Janeiro em junho de 1992. Esse protótipo foi exposto no estande nacional do SEBRAE que tinha como título: “Um aquecedor solar em cada lar”.

De acordo com a Associação Nacional dos Inventores (2012), ou ANI, o ASBC chama bastante atenção por ser um modelo do tipo “faça você mesmo”, feito com materiais que podem ser encontrados facilmente em lojas de materiais de construção e por um preço acessível.

2.4.2.1 Tipos de Coletores Solares de Baixo Custo

Os coletores que são citados no manual da Sociedade do sol (2009) são fabricados com placas de forro PVC, se diferenciando dos coletores convencionais por não possuírem nem a caixa, nem a cobertura de vidro. A ausência desses componentes é obrigatória, uma vez que a caixa e a cobertura de vidro geram o efeito estufa e com isso um aquecimento adicional, mas isso afetaria a integridade dos componentes de PVC, que tem limite de temperatura. Na figura 9, pode-se observar uma placa de forro PCV e um tubo PVC cortado para encaixar a placa.



Figura 9 - Placa de forro PVC e tubo de PVC cortado
Fonte: Sociedade do Sol (2009)

Edison Urbano (2012), com o intuito de aumentar a durabilidade e confiança do sistema originalmente elaborado pela Sociedade do Sol, desenvolveu um coletor solar feito com tubos de PVC presos a uma placa de material resistente à sol e chuva, por exemplo uma placa de zinco ou alumínio. Na figura 10 se observa um coletor solar de tubos PVC com pintura preta para aumentar a absortividade.



Figura 10 - Coletor solar de tubos PVC pintado de preto
Fonte: Urbano (2012)

2.4.2.2 Funcionamento

O funcionamento do aquecedor solar começa quando a energia solar irradiante, luz e infravermelho, incidem sobre a superfície dos coletores. A energia será absorvida e transformada em calor, aquecendo a água contida nos coletores. Quando aquecida, a água diminui sua massa específica, se movimentando em direção ao reservatório, o que dá início a

um processo de circulação natural da água, conhecido por termossifão. Esse processo ocorrerá continuamente enquanto existir uma boa irradiação solar ou até toda a água do circuito atingir a mesma temperatura. A água aquecida fica armazenada em um reservatório termicamente isolado para evitar perdas de calor para o ambiente (SOCIEDADE DO SOL, 2009). Uma representação desse funcionamento pode ser observada na figura 11.

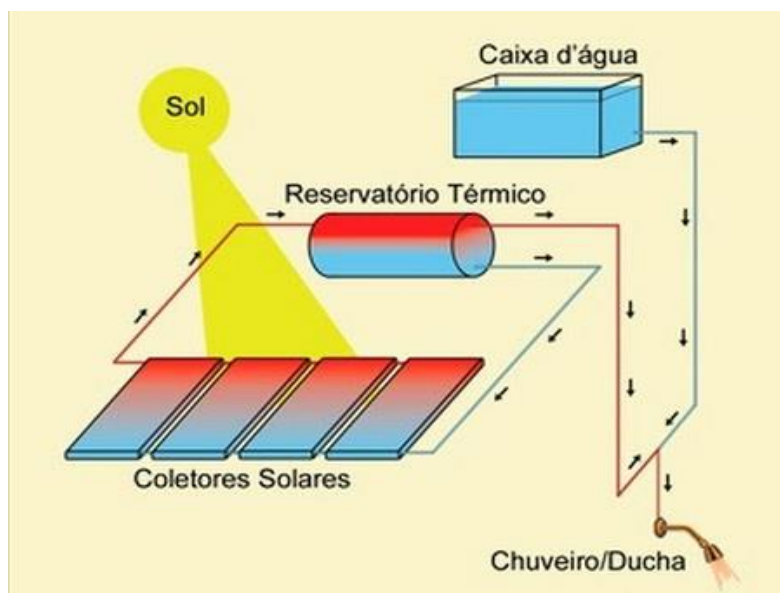


Figura 11 - Representação do sistema de aquecimento solar de água
Fonte: Intelisol (2008)

2.4.2.3 Ligação das Placas

Urbano (2012) e a Sociedade do Sol (2009) discorrem que para realizar a união dos coletores deve-se realizar a montagem em paralelo das placas solares, por ser a disposição que possui:

- a instalação mais simples, podendo ser executada por pessoas que não são especialistas;
- o menor comprimento de tubulações, o que contribui com menos gastos com tubulação;
- um bom rendimento térmico;
- perda de carga reduzida.

Na figura 12 tem-se a representação da união de três coletores solares.

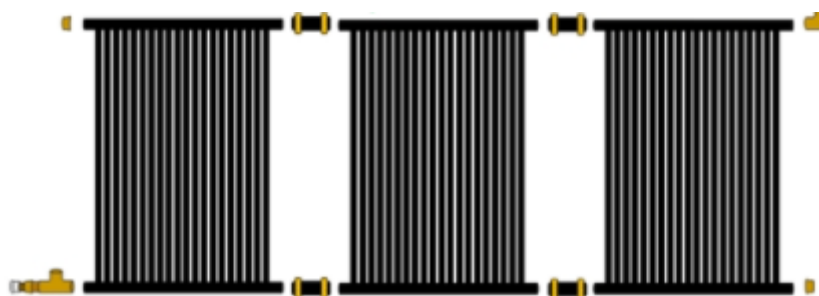


Figura 12 - União em paralelo dos coletores
Fonte: Manual de construção e instalação, Urbano (2012)

2.4.2.4 Sistema de Circulação

De acordo com Urbano (2012), o sistema de aquecimento solar funciona por termossifão, ou seja: a água do fundo do reservatório, que é a água mais fria, fluirá para os coletores instalados abaixo do nível do reservatório. A partir do momento que a água começa a aquecer devido a irradiação solar, a água mais quente ficará mais leve e com isso voltará ao reservatório térmico. Com isso a água fria no reservatório será empurrada para a base dos coletores. Essa circulação se manterá enquanto houver incidência solar ou até a água do circuito todo atingir o mesmo valor. A figura 13 ilustra os circuitos que a água quente e a água fria percorrem.

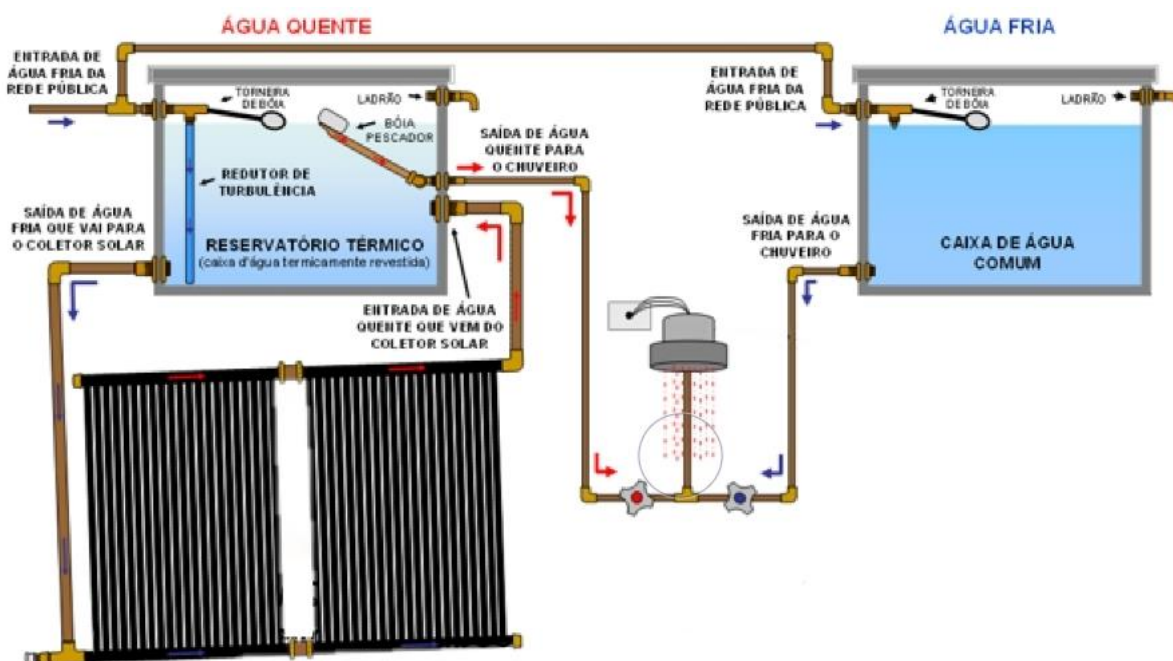


Figura 13 - Circuitos de água quente e água fria
Fonte: Adaptado de Urbano (2012)

Conforme a Figura 13 as etapas de circulação da água quente são:

- entrada de água fria no reservatório pelo tubo redutor de turbulência;
- saída de água fria do reservatório para o coletor;
- entrada de água fria no coletor;
- saída de água aquecida no coletor;
- entrada de água aquecida no reservatório;
- saída de água quente do reservatório pelo pescador;
- registro para dosar o volume de água quente no chuveiro;
- ladrão (segurança contra transbordamento).

As etapas de circulação da água fria são:

- entrada de água (água fria da rua);
- torneira de boia para limitar o nível máximo de água no reservatório térmico e na caixa d'água;
- saída de água fria da caixa d'água para o chuveiro;
- registro para dosar o volume de água fria no chuveiro;
- ladrão (segurança contra transbordamento).

2.5 Dimensionamento

Com a utilização do anexo B da NBR 15569 normalizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008), ou ABNT, pode-se realizar o dimensionamento de um sistema de aquecimento solar para residências unifamiliares. O método considera uma fração solar de 70% e que não exista sombreamento sobre os coletores solares.

A Sociedade do Sol (2009) estabelece que primeiro deve-se ter dimensão do volume de água utilizada, pelos moradores da residência, no banho. Utilizando então a NBR 15569 da ABNT (2008), tem-se a equação:

$$V_{consumo} = Q \times T \times f \quad (14)$$

Em que:

- $V_{consumo}$: volume total de água quente diário (m^3);
- Q : vazão do chuveiro (m^3/s);
- T : tempo médio de uso diário do chuveiro (s);
- f : frequência de uso.

Utilizando a mesma norma para calcular o volume do sistema de armazenamento, tem-se:

$$V_{armaz} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})} \quad (15)$$

Sendo:

- V_{armaz} : volume do sistema de armazenamento (m³);
- $T_{consumo}$: temperatura de consumo (°C), sugere-se em torno de 40°C;
- $T_{ambiente}$: temperatura ambiente média anual do local de instalação;
- T_{armaz} : temperatura de armazenamento da água, sugere-se que seja maior que a temperatura de consumo.

Para se calcular a demanda de energia útil (ABNT, 2008):

$$E_{\acute{u}til} = \frac{V_{armaz} \times \rho \times C_p \times (T_{armaz} - T_{ambiente})}{3600} \quad (16)$$

Sendo:

- $E_{\acute{u}til}$: energia útil (kWh/dia);
- ρ : massa específica da água, igual a 1000 (kg/m³);
- C_p : calor específico da água, igual a 4,18 (kJ/kg.K).

Na NBR 15569 o cálculo da área coletora é definido por:

$$A_{coletora} = \frac{(E_{\acute{u}til} + E_{perdas}) \times FC_{instal} \times 4,901}{PMDEE \times I_G} \quad (17)$$

Sendo:

- $A_{coletora}$: área coletora (m²);
- E_{perdas} : somatório das perdas térmicas (kWh/dia), as perdas podem ser calculadas como 15% da $E_{\acute{u}til}$;
- FC_{instal} : fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar;
- $PMDEE$: produção média diária de energia específica (kWh/m²);
- I_G : irradiação global média anual do local da instalação (kWh/m²×dia).

O PMDEE é calculado pela equação:

$$PMDEE = 4,901 \times (Fr\tau\alpha - 0,0249 \times Fr_{UL}) \quad (18)$$

Em que:

- $Fr\tau\alpha$: coeficiente de ganho do coletor solar (adimensional);
- Fr_{UL} : coeficiente de perdas do coletor solar (adimensional).

O fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar é dado pela equação:

$$FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{ótimo})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]} \quad (19)$$

Sendo:

- β : inclinação do coletor em relação ao plano horizontal (°);
- $\beta_{ótimo}$: inclinação ótima para o coletor no local da instalação, geralmente é o resultado do módulo da latitude do local + 10° (°);
- γ : ângulo de orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico (°).

2.5.1 Eficiência do Coletor Solar

Segundo Carvalho e Sionek (2015) a eficiência de um coletor em um regime permanente pode ser calculada através da equação:

$$\eta = \frac{q_u}{A_{coletora} \times G_t} \quad (20)$$

Sendo:

- η : eficiência do coletor (adimensional)
- q_u : energia útil ganha (kWh);
- $A_{coletora}$: área do coletor (m²);
- G_t : energia solar incidente (kWh/m²)

2.6 Economia Energética e Financeira

De acordo com Lima (2020), para calcular o consumo de energia elétrica referente ao uso do chuveiro durante um dia, é necessário que se utilize a seguinte equação:

$$C = \frac{P \times h}{1000} \quad (21)$$

Em que:

- C : Consumo diário (kWh);
- P : Potência do chuveiro (W);
- h : horas de utilização diária do chuveiro (horas).

Para encontrar o valor anual, o valor do consumo diário deve ser multiplicado pela quantidade de dias do ano.

Lima (2020) também discorre que, para encontrar o valor do consumo em reais, deve-se multiplicar o consumo pelo preço do kWh vigente.

2.7 Análise de Viabilidade Econômica

Segundo Parente (2017), estimar corretamente os valores dos investimentos é de importância fundamental para permitir que as decisões corretas sejam tomadas, principalmente ao se deparar com múltiplas variedades de escolhas. É indispensável realizar uma análise de viabilidade econômica do projeto onde se busca: entender o mercado e o seu empreendimento; fazer uma projeção de receitas; fazer uma projeção de custos e despesas; realizar uma projeção do fluxo de caixa; analisar os principais indicadores. Os principais indicadores a serem analisados são: taxa mínima de atratividade (TMA); valor presente líquido (VPL); taxa interna de retorno (TIR); *payback*. (VALE, 2020)

2.7.1 Taxa Mínima de Atratividade

De acordo com Vale (2020), a taxa mínima de atratividade (TMA) é obtida por meio do cálculo do mínimo valor que um investimento deve remunerar para que, em comparação com as outras possibilidades, este investimento seja escolhido. Um exemplo seria comparar um

investimento de renda variável com algum risco, com outro investimento de renda fixa sem riscos.

2.7.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O valor presente líquido é considerado uma técnica de maior sofisticação de análise de investimento e de análise de projetos, e consiste na concentração de todos os valores esperados do fluxo de caixa na data zero, sendo descontado o investimento inicial para a realização do projeto. (PARENTE, 2017)

O VPL pode ser calculado por:

$$VPL = -I + \left[\frac{FC_1}{(1 + TMA)} + \frac{FC_2}{(1 + TMA)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1 + TMA)^n} \right] \quad (22)$$

Em que:

- I : investimento inicial (R\$);
- FC_1, FC_2, FC_n : são os fluxos de caixa, relativos aos anos 1, 2 até n (R\$);
- TMA : taxa mínima de atratividade (adimensional, em porcentagem ou decimal).

2.7.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Taxa interna de retorno pode ser definida como a taxa de desconto que faz com que o valor presente líquido de um projeto seja igual a zero, sendo então uma métrica que avalia qual o percentual de retorno de um projeto. Quando a TIR é encontrada, ela é comparada com a TMA para decidir se o projeto será aceito, sendo que se a TIR for maior que a TMA, significa que o investimento pode ser aceito. (VALE, 2020)

Tem-se então a equação:

$$VPL = 0 = -I + \left[\frac{FC_1}{(1 + TIR)} + \frac{FC_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1 + TIR)^n} \right] \quad (23)$$

Sendo:

- VPL: valor presente líquido (R\$);
- I : investimento inicial (R\$);
- FC_1, FC_2, FC_n : são os fluxos de caixa, relativos aos anos 1, 2 até n (R\$);
- TIR : taxa interna de retorno (adimensional, em porcentagem ou decimal).

2.7.4 Payback

Segundo Vale (2020), *payback* é um conceito utilizado para descobrir em quanto tempo será obtido o retorno sobre algum investimento realizado. O cálculo do *payback* é bastante simples e permite ao gestor uma visualização rápida do projeto, facilitando a percepção de realizar ou não o investimento. O *payback* também é utilizado para avaliar o risco, sendo que investimentos em que o *payback* se dê perto do final de vida útil do projeto são considerados de alto risco.

Para calcular o *payback* é necessário saber que ele será o valor de “n” para quando os valores da soma dos fluxos de caixa forem maiores que o investimento inicial, ou seja, quando:

$$-I + \left[\frac{FC_1}{(1 + TMA)} + \frac{FC_2}{(1 + TMA)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1 + TMA)^n} \right] \geq 0 \quad (24)$$

Em que:

- I : investimento inicial (R\$);
- FC_1, FC_2, FC_n : são os fluxos de caixa, relativos aos anos 1, 2 até n (R\$);
- TMA : taxa mínima de atratividade (adimensional, em porcentagem ou decimal).

3 METODOLOGIA

No capítulo 3 é exposto o tipo de pesquisa realizado, materiais e métodos do trabalho. É desenvolvido um fluxograma com as etapas do trabalho, definindo subsequentemente as variáveis e os indicadores. No final são indicados os instrumentos de coleta e como é realizada a tabulação dos dados.

3.1 Tipos de Pesquisa

Segundo Marconi e Lakatos (2003), uma pesquisa é realizada com o objetivo de coletar informações ou conhecimentos acerca de um problema, no qual se procura: uma resposta; uma hipótese que se queira comprovar; ou até descobrir novos fenômenos ou entender as relações entre eles.

Os mesmos autores discorrem que a pesquisa quantitativa consiste na investigação de pesquisa empírica com a finalidade de delinear ou analisar as características de fatos ou fenômenos, além de observar e calcular as principais variáveis do problema. A partir disso é que se consegue verificar as hipóteses com a utilização de dados obtidos pelos projetos experimentais, sendo que esses dados são avaliados por sua precisão através de controles estatísticos.

De acordo com Sampieri *et al.* (2013), a pesquisa qualitativa se difere da pesquisa quantitativa por permitir o desenvolvimento de perguntas e hipóteses antes durante e depois da coleta e da análise de dados. Dessa forma é possível primeiro observar quais as perguntas mais importantes para depois aprimorá-las e responde-las. A ação indagativa se move de maneira dinâmica e em ambos os sentidos, sendo eles: entre os fatos e sua interpretação. A pesquisa qualitativa é um processo “circular”, mas que nem sempre segue a mesma sequência, variando de acordo com cada estudo específico.

A pesquisa experimental consiste em investigações empíricas com o objetivo de testar hipóteses de relações de causa-efeito. Os estudos desses tipos de pesquisa utilizam projetos experimentais que tem os seguintes fatores inclusos: grupos de controle, seleção da amostra por técnica probabilística e manipulação das variáveis independentes para controlar os fatores pertinentes. (MARCONI E LAKATOS, 2003)

Segundo Branski *et al.* (2010), o estudo de caso é um método de pesquisa que, em geral, utiliza dados qualitativos coletados a partir de eventos reais. O estudo de caso possui o objetivo de explicar, explorar e descrever fenômenos, sendo caracterizado pela grande profundidade dos

dados recolhidos e pela exaustiva pesquisa, que pode ser acerca de alguns ou apenas um objeto de estudo, permitindo, assim, que sejam absorvidos conhecimentos profundos sobre o fenômeno observado.

A partir da definição do problema e dos objetivos do trabalho, se define a natureza da pesquisa como quantitativa, qualitativa, experimental e estudo de caso. O trabalho possui caráter exploratório, onde será avaliado a viabilidade técnica e econômica da instalação de um sistema de aquecimento solar de baixo custo diante da atual situação energética brasileira.

3.2 Materiais e Métodos

A figura 14 descreve os procedimentos a serem realizados para solucionar a problemática.

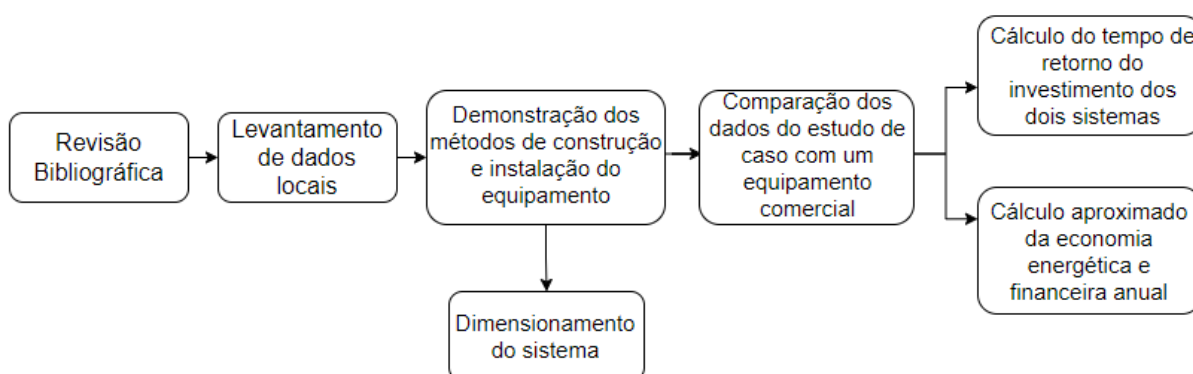


Figura 14 - Fluxograma de procedimentos para a problemática
Fonte: Pesquisa direta (2021)

Com a elaboração da revisão bibliográfica, é possível o recolhimento dos dados e a utilização destes nas equações apresentadas na revisão. A partir disso é abordado o método de construção dos coletores e instalação do sistema, posteriormente é realizado o dimensionamento do equipamento de aquecimento solar de baixo custo com a utilização do *software MS Excel*. A localização escolhida para os cálculos é a região de Ipatinga – MG, local onde se encontra instalado o sistema de aquecimento solar e é utilizado para comparação com os dados obtidos através dos cálculos. Os dados do estudo de caso são comparados com os de um equipamento comercial.

Por fim, são calculados o tempo e o montante de retorno do investimento dos dois equipamentos, também é realizada uma aproximação da quantidade de energia elétrica e da quantia monetária economizada anualmente pelo sistema de baixo custo.

3.3 Variáveis e Indicadores

De acordo com Marconi e Lakatos (2003), os indicadores são medidas ou classificações que são observadas e que, em alguns casos, podem ser manipuladas, permitindo identificar e medir seus aspectos, possibilitando a análise da relação desses indicadores com as variáveis em estudo. Pode-se dizer, então, que esses indicadores interferem nos resultados encontrados nas variáveis. As variáveis, por sua vez, são os valores, fenômenos ou fatores, que são influenciados, determinados ou afetados pelos indicadores. As variáveis podem variar, desaparecer ou aparecer na medida em que os indicadores relacionados são alterados, retirados ou inseridos.

As variáveis e indicadores utilizados neste trabalho podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2 – Variáveis e Indicadores

Variáveis	Indicadores
Dimensões do Sistema de Aquecimento Solar	- Radiação solar incidente; - Eficiência do coletor; - Quantidade de água quente necessária; - Volume de água armazenado; - Temperatura ambiente média; - Inclinação do coletor em relação ao plano horizontal; - Ângulo de orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico; - Área dos coletores.
Viabilidade econômica	- Taxa mínima de atratividade; - Valor presente líquido; - <i>Payback</i>.

Fonte: Pesquisa direta (2021)

3.4 Instrumento de Coleta de Dados

Devido à natureza bibliográfica, qualitativa, quantitativa, experimental e de estudo de caso, este trabalho tem seus principais dados retirados de livros, catálogos, manuais, artigos, monografias, dissertações, além de dados obtidos através da observação direta do sistema de aquecimento solar instalado na cidade de Ipatinga – MG.

3.5 Tabulação dos Dados

Devido a necessidade de realização de cálculos de dimensionamento e de viabilidade econômica, além da construção de tabelas e gráficos, os dados são tabulados no *Excel* para tornar os cálculos mais rápidos e com menor índice de erros, permitindo também uma melhor observação das variáveis e seus indicadores. A partir disso, o *Word* é utilizado para a apresentação dos dados obtidos e para as tabelas e gráficos construídos.

3.6 Considerações Finais

Neste capítulo são apresentados os tipos de pesquisa, os métodos utilizados para a realização deste estudo, as variáveis e seus indicadores relacionados, os instrumentos de coleta de dados e a forma de tabulação destes. Os instrumentos escolhidos e citados neste capítulo estão de acordo com os objetivos deste trabalho.

No capítulo seguinte são apresentados os dados do local do estudo de caso, as análises dos resultados do dimensionamento, a exposição da construção e instalação do sistema de aquecimento solar, comparação com os dados do estudo de caso e a análise de viabilidade econômica.

4 RESULTADOS

4.1 Montagem do Equipamento

O equipamento descrito se refere à uma adaptação do apresentado por Edson Urbano em seu manual. A única diferença se encontra na montagem dos coletores, onde o coletor desenvolvido por ele utiliza 2 tubos de 32mm por 67 de comprimento e 20 tubos de 20mm por 144 cm cada, como pode ser visto na figura 15.

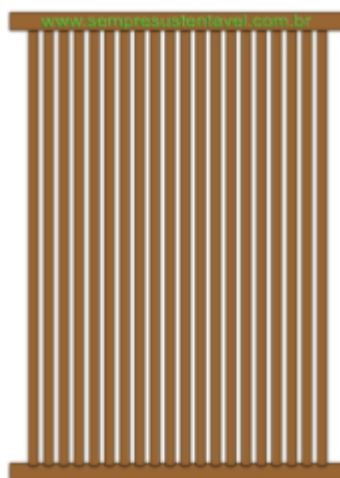


Figura 15 - Representação da Montagem dos Tubos PVC
Fonte: Urbano (2012)

Já no equipamento que é apresentado no estudo de caso, os tubos de 32mm foram tropicalizados para “tês” de forma que facilitassem a fabricação, além disso os tubos utilizados possuem 12,7mm de diâmetro e 2 metros de comprimento. No coletor de Edson seria necessário realizar furações nos tubos de 32mm de forma que permitissem a entrada dos tubos de 20mm para a passagem da água, o que ainda exigiria fixação destes tubos com cola. Para evitar essas furações e colagens, o coletor é confeccionado como pode ser visto na figura 16.



Figura 16 – Montagem dos Tubos PVC do Estudo de Caso
Fonte: Pesquisa direta (2015)

4.2 Confecção do Coletor com Tubos de PVC

As placas do estudo de caso possuem 2 metros de comprimento e 1 metro de largura, totalizando 2 metros quadrados. Para se realizar a confecção de uma placa solar são necessários os seguintes materiais:

- 18 tubos de $\frac{1}{2}$ polegada de 2 metros de comprimento;
- 36 tês de $\frac{1}{2}$ polegada soldável;
- 3 caps (não é multiplicável pelo número de placas);
- 1 chapa de aço galvanizado de 1 metro por 2 metros de 0,43 mm de espessura;
- 36 tubos de união de 30mm de comprimento que ficarão na parte interna dos tês;
- 2 folhas de lixa média para PVC;
- 2 frascos de 175g de adesivo Tigre aquatherm ou similar (quantidade suficiente para todas as placas);
- 1 balde de 900 ml de tinta preta fosca (quantidade suficiente para todas as placas);
- 1 kg de arame galvanizado 1,4 mm (quantidade suficiente para todas as placas);
- 4 luvas de união soldável para unir as placas.

4.2.1 Procedimentos de Montagem do Coletor

Os tubos provavelmente virão em 6 ou 12 metros, então deve-se cortá-los de forma a deixar todos com aproximadamente 2 metros de comprimento, além disso cortar os tubos de 30mm que servirão de união entre os tês. Com os tubos cortados, deve-se lixar as suas extremidades de forma a facilitar o encaixe nos tês, que também deverá ser lixado internamente. Após a fase de lixamento, é realizado a colagem, onde os tubos de 2 metros serão colocados na parte na base do “tê” e mais dois tubos de 30 mm serão colados entre os tês em suas extremidades, como pode ser visto na figura 17.



Figura 17 – Colagem dos Tês
Fonte: Pesquisa direta (2015)

No final da colagem o equipamento que se obtém é semelhante ao da figura 18.



Figura 18 – Tubos no Processo Final de Colagem
Fonte: Pesquisa direta (2015)

O próximo passo é pintar o equipamento de tinta preta fosca e realizar a amarração da chapa de zinco ou alumínio que também deverá ser pintada de preto, como é possível observar na figura 19.



Figura 19 - Amarração da Chapa de Zinco Pintada
Fonte: Pesquisa direta (2015)

O ideal é que, para aumentar a conservação da placa, sejam pintados tanto a parte frontal da chapa quanto a posterior, sendo que na frontal é recomendado a realização de duas mãos de tinta, enquanto na parte traseira uma mão de tinta é suficiente.

Com a placa em posição vertical será realizado as inspeções de forma a verificar se existe algum vazamento existente no equipamento, lembrando de colocar os caps (não há necessidade de realizar a colagem, pode-se realizar a fixação com veda-rosca) nas extremidades do coletor. Após isso, encaixe um tubo de mais ou menos um metro, encha o equipamento com água e mantenha-o assim por uma hora; feito isso, verifique se existem pontos de vazamentos, se sim, realize o encaixe da região novamente com mais atenção e cuidado. A figura 20 é a representação de como deve ser realizado o teste.

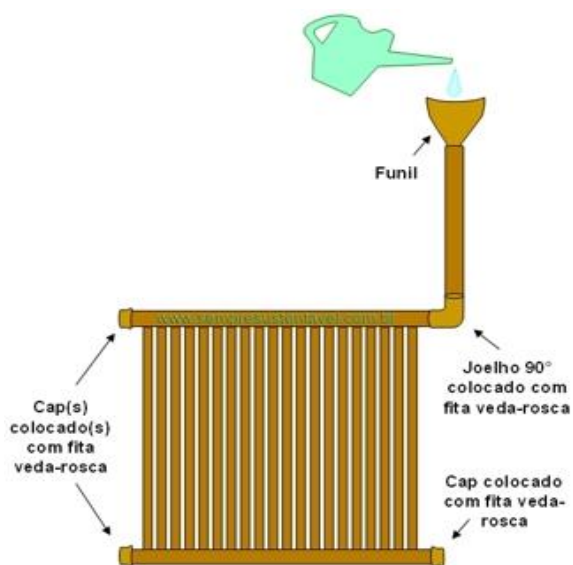


Figura 20 - Representação do Teste de Estanqueidade
Fonte: Urbano (2012)

Após todos estes passos o coletor estará bem parecido ou igual ao apresentado na figura 21.



Figura 21 - Apresentação Final do Coletor Solar
Fonte: Pesquisa direta (2015)

Uma vez que todas as placas não estejam apresentando vazamentos e se for necessário a instalação de mais de uma placa, deve-se realizar a união paralela entre as placas através de duas luvas de união soldável. Na figura 22 é possível observar duas placas unidas desta forma.



Figura 22 - União das Placas Solares
Fonte: Pesquisa direta (2015)

4.2.2 Procedimentos de Montagem do Reservatório

O reservatório foi desenvolvido devido à circulação da água no equipamento funcionar por termossifão, ou seja, a movimentação da água ocorre devido às diferentes temperaturas presentes no sistema. Com isso a água na parte superior do reservatório será a água mais quente, uma vez que tem uma massa específica menor, do mesmo modo, a água mais fria estará localizada na parte inferior do reservatório.

Para o reservatório são necessários os materiais listados abaixo:

- 1 caixa d'água de 500 litros;
- 1 chapa de aço galvanizado de 0,43 mm no tamanho da caixa d'água para a circunferência lateral e para a parte inferior;
- 1 manta de lã de vidro com espessura de 38 mm, também no tamanho da caixa d'água para a circunferência lateral e para a parte inferior;

- 1 torneira de boia;
- 50 cm de mangueira $\frac{1}{2}$ ";
- 1 niple roscável de $\frac{1}{2}$ ";
- 1 joelho 90° roscável de $\frac{1}{2}$ ";
- 5 m de *silver tape* 45 mm;
- 2 caps de $\frac{1}{2}$ ".

4.2.2.1 Furação dos Flanges

O reservatório escolhido no estudo de caso foi uma caixa de água de polietileno de alta densidade de 500 litros. Para realizar o encaixe das tubulações na caixa d'água é necessário que seja realizada a furação para os flanges para as entradas e saídas de água, o ideal é que seja feito com uma furadeira com serra tipo copo. Os furos deverão ser dispostos como na figura 23.



Figura 23 - Disposição dos Furos do Reservatório
Fonte: Urbano (2012)

O furo 1 é onde ficará a entrada de água fria que vem da rua. Esse furo deve ser feito no alto da caixa, mas de forma que evite que as boias batam na caixa quando essa estiver cheia. O furo 2 representa a saída de água para os coletores, deve ser feito o mais baixo possível, de preferência do mesmo lado onde está a entrada de água fria. O furo 3 é a saída de água para o consumo, deve ser feito no meio da caixa. O furo 4 refere à entrada da água dos coletores, deve ser feito um pouco abaixo do furo 3 e do lado oposto ao furo 2, um detalhe é que se a caixa for menor que 300 litros, o furo deve ser realizado um pouco abaixo do meio da caixa, porém se for maior que 500 litros, deve ser feito um pouco acima do meio da caixa. O furo 5 representa o furo para o ladrão, e deve ser feito o mais alto possível, mas que não impeça o fechamento correto da caixa com a tampa.

4.2.2.2 Construção do Redutor de Turbulência

O próximo passo é a construção de um redutor de turbulência que evitará que a água fria vinda da rua se misture com a água quente na parte superior do reservatório, uma vez que ao tomar banho a boia irá permitir a entrada de água fria no reservatório. O redutor de turbulência nada mais é do que uma torneira de boia com um encaixe para mangueira de $\frac{1}{2}$ ". A figura 24 demonstra o redutor de turbulência.



Figura 24 - Redutor de Turbulência
Fonte: Urbano (2012)

A figura 25 mostra o detalhe do encaixe da mangueira de $\frac{1}{2}$ ".



Figura 25 - Detalhe do Encaixe da Mangueira
Fonte: Urbano (2012)

4.2.2.3 Construção do Pescador

O pescador irá garantir que a água para o consumo seja sempre a da camada superior do reservatório, que é a água mais quente, independente do volume de água presente na caixa d'água. Para construir o pescador é necessário um niple roscável, um joelho de 90° roscável, um adaptador soldável curto com bolsa e rosca para registro, um joelho de 90° soldável, um pedaço de tubo e uma boia. Todos as conexões devem ser encaixadas e rosqueadas, não deve ser utilizado cola. As conexões podem ser de $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ " ou de 1".

A articulação do pescador deve ser feita de modo que o joelho de 90° roscável fique frouxa com o adaptador soldável curto com bolsa e rosca para registro, para permitir a movimentação do pescador, como pode ser visto na figura 26



Figura 26 - Articulação do Pescador
Fonte: Urbano (2012)

É possível construir a boia que será colada na extremidade do pescador apenas utilizando peças de PVC. Para isso é necessário que primeiro se calcule o comprimento do pescador colocando as peças articuladas no lugar e avaliando a distância entre o joelho de 90° soldável até o meio do reservatório, após isso faça um corte no tubo em aproximadamente 45°. O tubo do pescador deve ficar como o tubo apresentado na figura 27.



Figura 27 - Detalhe do Corte do Tubo do Pescador
Fonte: Urbano (2012)

Com o tubo do pescador pronto, utilize o valor de aproximadamente $\frac{1}{3}$ de seu comprimento para cortar o tubo que será a boia. Após o corte, dois caps deverão ser colados nos tubos e devem ser feitos dois sulcos nos caps de forma a facilitar a colagem no tubo do pescador, como na figura 28.



Figura 28 - Boia do Pescador
Fonte: Urbano (2012)

No final da confecção e colagem do equipamento, ele estará semelhante ao apresentado na figura 29.



Figura 29 - Boia Colada no Pescador
Fonte: Urbano (2012)

4.2.2.4 Isolamento térmico do reservatório

É necessário que o reservatório seja revestido por materiais que impeçam a troca de calor com o ambiente de forma a manter a temperatura elevada da água. Para isso podem ser utilizados isopor, manta de poliéster, manta acrílica, manta de polietileno expandido, etc. É importante ressaltar que quanto maior a espessura final do revestimento, melhor será a capacidade de manter a temperatura interna do sistema.

No estudo de caso foram utilizadas uma manta de lã de vidro de 38 mm como isolamento térmico, com cortes onde serão passadas tubulações, tanto nas laterais quanto na parte de baixo do reservatório. A figura 30 apresenta apenas o isolamento lateral, mas o isolamento na parte inferior da caixa também foi realizado.



Figura 30 - Isolamento com Manta de Lã de Vidro
Fonte: Pesquisa direta (2015)

Ocorre neste momento os cortes em uma folha de aço galvanizado, onde devem ser passadas as tubulações, como pode ser observado na figura 31.



Figura 31 - Envolvimento Lateral com Chapa de Aço Galvanizado
Fonte: Pesquisa direta (2015)

Também foram feitos cortes para permitir a dobra da folha ao redor da superfície superior do reservatório que possui uma geometria específica. Esses cortes estão apresentados na figura 32.



Figura 32 - Chapa de Aço Galvanizado da Parte Superior do Reservatório
Fonte: Pesquisa direta (2015)

Na figura 33, é apresentada a folha de aço galvanizado que será fixada depois da manta de lã de vidro na parte inferior do reservatório.



Figura 33 - Chapa de Aço Galvanizado da Parte Inferior do Reservatório
Fonte: Pesquisa direta (2015)

Para se concluir a construção do reservatório foram colocadas as mantas de lã de vidro que foram pressionadas contra a superfície do reservatório pelas folhas de aço galvanizado com o auxílio de arames que foram passados ao redor das folhas, além disso a parte superior foi envolvida com papel alumínio e outras partes onde sobraram algumas frestas foram cobertas com *silver tape*. O reservatório, após todas as fases de construção, é apresentado na figura 34.



Figura 34 - Forma Final do Reservatório Térmico
Fonte: Pesquisa direta (2015)

Se o reservatório ficar exposto ao tempo e aos raios ultravioleta, é necessário que se faça um revestimento para proteger o reservatório contra intempéries. Essa cobertura pode ser de plástico, lona, manta de polietileno expandido ou com cobertura em alumínio.

4.3 Instalação

Neste trabalho são apresentados os motivos físicos que explicam as condições necessárias para o funcionamento perfeito do sistema. Nessa parte são apenas demonstradas essas condições, sem explicar os fenômenos físicos responsáveis por isso.

O coletor deve ser instalado de forma que sua face aponte para o norte geográfico. Ele pode ser encontrado utilizando uma bússola presente na maioria dos smartphones utilizados no dia a dia.

Para que o sistema funcione perfeitamente é obrigatório que os coletores estejam abaixo do nível inferior do reservatório, sendo que essa altura entre a ponta superior do coletor e do fundo do reservatório deve ser maior que 5 centímetros e menor que 3 metros. Além disso os coletores devem ter uma inclinação aproximadamente igual à latitude local somada de 10° . A figura 35 demonstra um dispositivo instalado na cidade de São Paulo – SP.

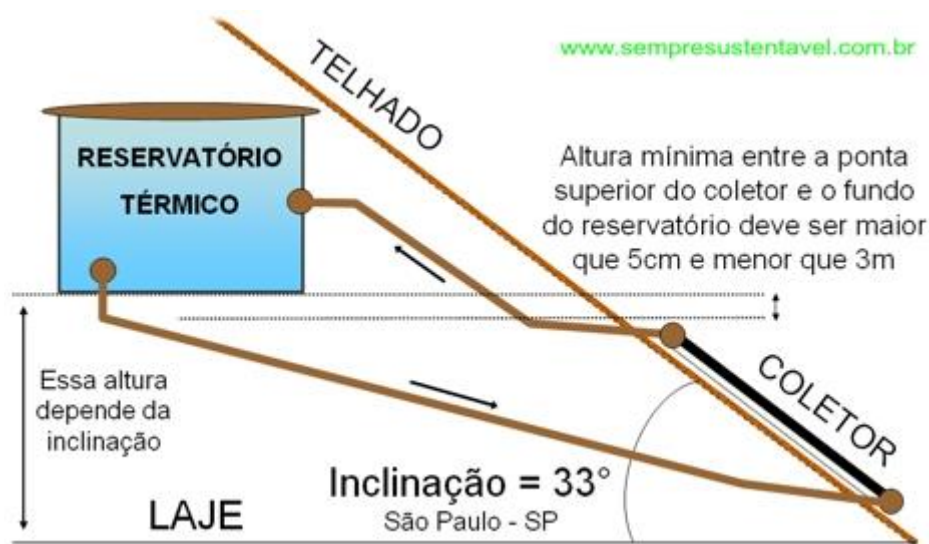


Figura 35 - Representação da Instalação na Cidade de São Paulo - SP
Fonte: Urbano (2012)

Para evitar que se acumulem bolhas de ar dentro do sistema e permitir uma circulação melhor da água é trivial que os coletores tenham no mínimo uma inclinação de 5 centímetros

por coletor. As bolhas são prejudiciais para o sistema uma vez que podem comprometer o funcionamento deste. A figura 36 apresenta os coletores com a inclinação mínima.

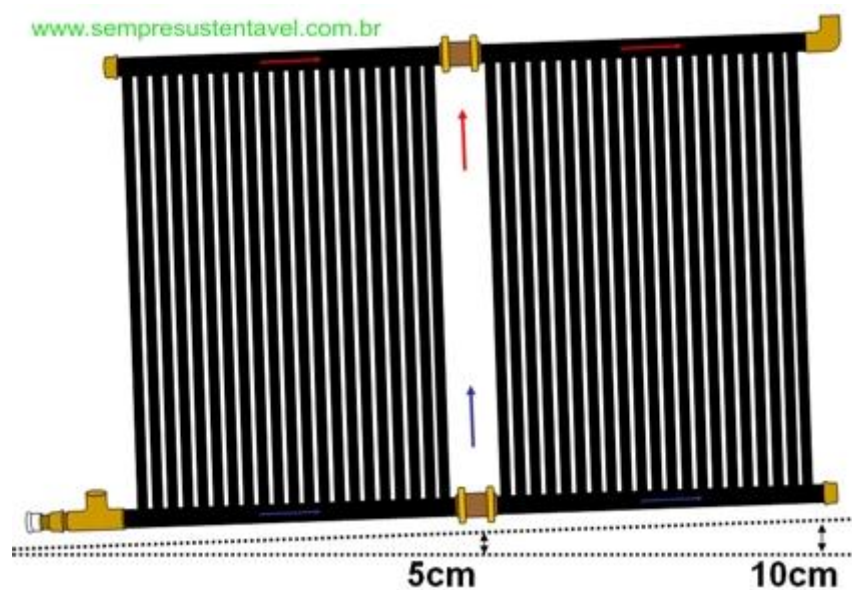


Figura 36 - Representação da Inclinação dos Coletores
Fonte: Urbano (2012)

4.3.1 Tubulações

É interessante que toda a tubulação, entre a saída do coletor até o chuveiro, seja revestida com proteção térmica para diminuir as perdas de calor para o ambiente, como demonstrado na figura 37.

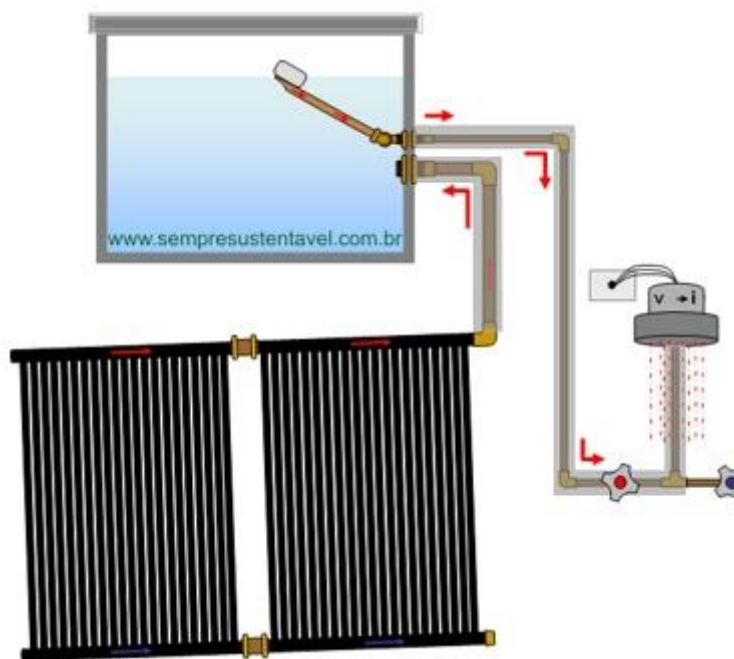


Figura 37 - Representação do Revestimento da Tubulação
Fonte: Urbano (2012)

4.3.1.1 Misturador de água quente e água fria

No estudo de caso, a residência possui tubulações internas previstas para a aplicação de água quente, mas como se trata de um projeto de baixo custo, o misturador é adaptado ao circuito original do box. É necessário que seja feito um furo no teto do box para descer com a tubulação que vem do reservatório térmico através da boia pescador. A tubulação ficará exposta, mas não será necessário que se quebre a parede do box para embutir a tubulação.

Existe no mercado um misturador com um registro acessível que permite a abertura da água quente e que não fique com tubulações muito aparentes, como mostrado na figura 38.

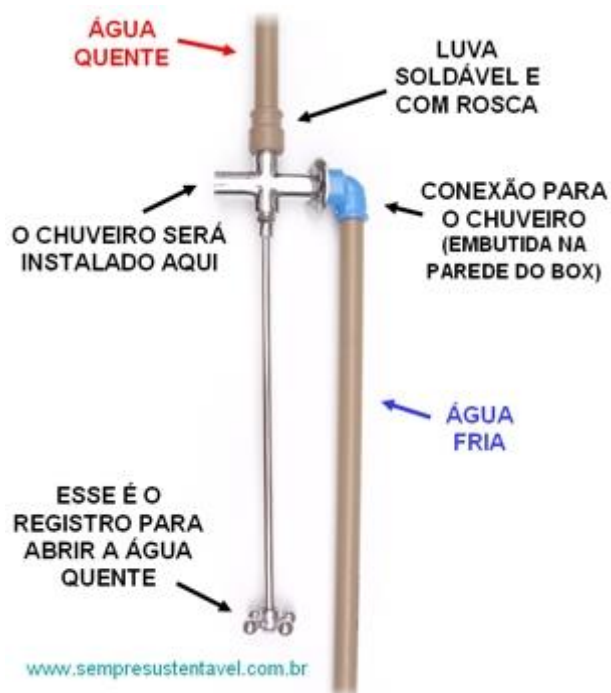


Figura 38 - Registro com Misturador
Fonte: Urbano (2012)

Uma outra possibilidade mais barata, mas menos apresentável, é descer com a tubulação vinda do reservatório até a altura do registro já existente no box e depois subir a tubulação novamente até um “tê” que será instalado antes do chuveiro e que conecte a tubulação de água quente à de água fria dentro da parede do box e o chuveiro. Essa esquematização é demonstrada na figura 39.



Figura 39 - Esquematização do Misturador com PVC
Fonte: Urbano (2012)

Essas duas tubulações são muito importantes porque vão permitir o controle de temperatura da água se a água quente vinda do reservatório estiver em uma temperatura maior do que a necessária.

4.3.2 Chuveiro ou Ducha Eletrônica

Chuveiros e duchas eletrônicas são aparelhos que possuem *dimmers* incorporados que vão permitir que se controle a temperatura da água quente vinda do reservatório se esta estiver em uma temperatura abaixo do que a necessária para o banho quente. A figura 40 trata de uma imagem de uma ducha com controle eletrônico de temperatura.



Figura 40 - Imagem de Ducha com Controle Eletrônico
Fonte: Urbano (2012)

4.4 Dimensionamento para um Sistema Ideal

A partir do anexo B da NBR 15569 normalizada pela ABNT serão apresentados os dados para o dimensionamento ideal do equipamento utilizado no estudo de caso.

A Equação 14 apresenta qual é a quantidade de volume de água quente necessária para os moradores da casa.

$$V_{consumo} = Q \times T \times f$$

Considerando:

- Q : vazão do chuveiro (m^3/s) = $10 \text{ l/min} = 0,000166667 \text{ m}^3/\text{s}$;
- T : tempo médio de uso diário do chuveiro (s) = $10 \text{ min} = 600 \text{ s}$
- f : frequência de uso = 4 vezes, considerando uma vez por pessoa.

Tem-se o seguinte resultado: $V_{consumo} = 0,400008 \text{ m}^3 \cong 400 \text{ litros}$.

Os dados referentes à $T_{ambiente}$ e I_G foram retirados do *software* Radasol 2 disponibilizado pela UFGRS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O Radasol 2 utiliza modelos matemáticos disponíveis na literatura, desenvolvidos por outros autores ou por integrantes do laboratório de energia solar da UFGRS. O *software* possui uma interface amigável e intuitiva, podendo ser utilizada até por pessoas com pouca familiarização com o tema e podem ser utilizados para análises e simulações com maior embasamento teórico.

Ao entrar com informações referentes às coordenadas geográficas do sistema solar, o *software* apresenta uma tabela de dados com o mês, irradiação global média diária, umidade relativa, temperatura máxima, temperatura média e temperatura mínima. Esta tabela pode ser observada na figura 41.

Latitude:		Longitude:		Nome:	
-19,28		42,32		Ipatinga	

Mês	Radiação*	Umidade Relativa	Temp. Máxima	Temp. Média	Temp. Mínima
Janeiro	5,23	79	29,7	24,3	18,7
Fevereiro	5,37	77	30,6	24,7	18,8
Março	5,37	78	29,7	24,2	18,8
Abril	4,50	79	28,3	22,4	17,2
Mai	4,03	80	26,8	20,7	15,0
Junho	3,54	80	25,9	19,1	13,0
Julho	3,96	78	25,6	18,9	12,6
Agosto	4,55	73	26,5	20,1	13,6
Setembro	4,38	75	27,0	21,6	15,2
Outubro	4,55	76	27,8	22,6	17,3
Novembro	4,99	79	28,3	23,2	18,2
Dezembro	5,24	80	28,7	23,2	18,7

Salvar
Cancelar
Excluir

* Radiação em kWh/m²-dia

Figura 41 - Tabela de Dados do Radiasol 2
 Fonte: Pesquisa direta (2021)

Para o cálculo de volume do sistema de armazenamento é utilizado a Equação 15:

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

Em que:

- V_{armaz} : volume do sistema de armazenamento (m³);
- $T_{consumo}$: temperatura de consumo (°C), sugere-se em torno de 40°C;
- $T_{ambiente}$: temperatura ambiente média anual do local de instalação, utilizando dados do *software* Radiasol 2, desenvolvido pela UFRGS, tem-se que a temperatura anual média do ambiente na cidade de Ipatinga é de 22,1°C;

- T_{armaz} : temperatura de armazenamento da água, sugere-se que seja maior que a temperatura de consumo. Adotou-se, 45°C.

Utilizando o *software* Excel para realizar os cálculos, tem-se como resultado: $V_{armaz} = 0,312664 \text{ m}^3 \cong 312,6$ litros. Com este cálculo é possível determinar qual será o volume do reservatório a ser comprado. Comercialmente existem caixas d'água com volumes de 310, 500 e 1000 litros. Neste caso deve ser feito a compra de um reservatório de 310 litros uma vez que atende a necessidade de 312,6 litros, mas também é permitido a compra de um reservatório de 500 litros, mas isso acarretará na necessidade de uma área coletora maior.

Serão apresentados os cálculos de dimensionamento para o sistema com um reservatório de 310 litros e para um com 500 litros.

O cálculo que determina a energia necessária para aquecer a água do sistema a uma temperatura de 45°C é apresentada pela Equação 16:

$$E_{\text{útil}} = \frac{V_{armaz} \times \rho \times C_p \times (T_{armaz} - T_{ambiente})}{3600}$$

Sendo:

- ρ : massa específica da água, igual a 1000 (kg/m³);
- C_p : calor específico da água, igual a 4,18 (kJ/kg.K).

Com o uso do *software* Excel e operando com os dados apresentados anteriormente de T_{armaz} e $T_{ambiente}$, e para $V_{armaz} = 0,31 \text{ m}^3$, tem-se $E_{\text{útil}} = 8,24 \text{ kWh/dia}$

Para $V_{armaz} = 0,5 \text{ m}^3$, o resultado da Equação 16 é: $E_{\text{útil}} = 13,29 \text{ kWh/dia}$

Seguindo pela Equação 17, será calculada a Área coletora, onde é necessário que se tenha a produção média diária de energia específica ou PMDEE, que é calculada através da Equação 18 com a utilização do coeficiente de ganho do coletor solar e do coeficiente de perdas do coletor solar. Devido ao estudo de caso ser realizado com um coletor artesanal, não é possível ter acesso aos dois coeficientes, mas por manipulação da Equação 17, utilizando dados reais, é possível se obter uma aproximação da PMDEE real.

O primeiro passo para achar a PMDEE real é calcular o fator de correção dado pela Equação 19:

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

Sendo:

- β : inclinação do coletor em relação ao plano horizontal ($^{\circ}$) = 20° ;
- $\beta_{ótimo}$: inclinação ótima para o coletor no local da instalação, geralmente é o resultado do módulo da latitude do local + 10° ($^{\circ}$) = $19^{\circ} + 10^{\circ} = 29^{\circ}$;
- γ : ângulo de orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico ($^{\circ}$) = $360^{\circ} - 343^{\circ} = 17^{\circ}$.

Tabulando os dados, se obtém que $FC_{instal} = 1,020236$

A figura 42, apresenta as medições realizadas no reservatório térmico do estudo de caso com o auxílio de um multímetro e um termopar. São medidas a temperatura na parte superior da água presente no reservatório, a temperatura da água no ponto médio e na parte inferior, são medidas também a temperatura de entrada no coletor e a temperatura ambiente.

	temperatura obtida				
data	superior	ponto medio	inferior	entrada	ambiente
18/out	34	31	29	23	25
19/out	27	26	25	23	22
20/out	26	25	24	23	22
21/out	28	25	23	23	22
22/out	38	31	25	23	25
23/out	43	34	26	23	28
24/out	46	39	31	23	32
25/out	34	31	28	23	24
26/out	28	26	24	23	24
27/out	46	42	37	23	27
28/out	43	37	31	23	26
29/out	39	35	27	23	23
30/out	40	36	28	23	24
31/out	31	28	25	23	24
01/nov	25	24	23	23	20
02/nov	42	39	36	23	27
03/nov	46	42	37	23	26
04/nov	44	40	36	23	25
05/nov	44	41	38	23	26
06/nov	46	42	39	23	27
07/nov	45	42	39	23	26
08/nov	38	35	32	23	27
09/nov	39	36	33	23	28
10/nov	46	41	36	23	30
11/nov	26	25	24	23	20

Figura 42 - Tabela de Temperaturas Medidas
Fonte: Pesquisa direta (2021)

O V_{armaz} do estudo de caso também é de 500 litros, mas a partir de medições diárias, apresentadas na figura 42, das temperaturas durante os meses de outubro e novembro, foi percebido que quando houve sol durante o dia inteiro, o reservatório possuía temperatura média em torno de 42°C. Utilizando, então, a Equação 16 e adotando a média de temperatura anual, apresentada pelo *software* Radiasol 2, igual a 22,1°C, pode-se conseguir o valor da energia útil recebida pelo coletor nos dias de maior incidência solar. Portanto:

$$E_{\text{útil}} = \frac{V_{armaz} \times \rho \times C_p \times (T_{armaz} - T_{ambiente})}{3600}$$

Sendo:

- $V_{armaz} = 0,5 \text{ m}^3$
- ρ : massa específica da água, igual a 1000 (kg/m³);

- C_p : calor específico da água, igual a 4,18 (kJ/kg.K);
- $T_{armaz} = 42^\circ\text{C}$;
- $T_{ambiente} = 22,1^\circ\text{C}$.

Com isso, $E_{\text{útil real}} = 11,55 \text{ kWh/dia}$.

A Equação 17 é apresentada como:

$$A_{\text{coletora}} = \frac{(E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}) \times FC_{\text{instal}} \times 4,901}{PMDEE \times I_G}$$

Em que:

- A_{coletora} real é de 6 m²;
- E_{perdas} : somatório das perdas térmicas (kWh/dia), as perdas podem ser calculadas como 15% da $E_{\text{útil}}$, possuindo valor então de 1,732958 kWh/dia;
- $FC_{\text{instal}} = 1,020236$;
- I_G : irradiação global média anual do local da instalação (kWh/m²×dia), que é apresentada pelo *software* Radiasol 2 com o valor médio de 4,6425 kWh/m²×dia.

Ao manipular a Equação 17, é possível conseguir o resultado da PMDEE do coletor real que possui o valor de 2,384937 kWh/m².

Agora com o valor da PMDEE do coletor real é possível calcular a área coletora ideal a partir da Equação 17. Como se está considerando uma hipótese ideal, o coletor possuiria inclinação de 29° e estaria perfeitamente alinhado com o norte geográfico, de forma que $\beta - \beta_{\text{ótimo}}$ seria igual a zero e γ também teria valor nulo, com isso $FC_{\text{instal}} = 1$.

Novamente com a ajuda do *software* Excel tem-se que para o reservatório de 300 litros, a área coletora necessária seria de 3,50 m², mas uma vez que as placas apresentadas são de 2 m² por placa, seriam então necessárias 2 placas coletoras, totalizando 4 m². Para o reservatório de 500 litros, a área coletora encontrada é de 5,65 m², de forma que seriam necessárias então 3 placas coletoras, totalizando 6 m².

4.4.1 Eficiência do Coletor do Estudo de Caso x Coletor Comercial

Para o cálculo da eficiência do coletor, se utiliza a Equação 20:

$$\eta = \frac{q_u}{A_{coletora} \times G_t}$$

Com o objetivo de utilizar os dados calculados e obtidos do estudo de caso, de forma a avaliar a eficiência anual média do coletor, são substituídos:

- a energia útil ganha (q_u) pela energia útil diária ($E_{\text{útil}}$);
- radiação solar incidente (G_t) pela irradiação global média anual do local da instalação (I_G).

Desta forma a equação fica:

$$\eta = \frac{E_{\text{útil}}}{A_{coletora} \times I_G}$$

Sendo:

- $E_{\text{útil}} = 11,55 \text{ kWh/dia}$;
- $A_{coletora} = 6 \text{ m}^2$;
- $I_G = 4,6425 \text{ kWh/m}^2 \times \text{dia}$;

Portanto: η do estudo de caso = 0,415 ou 41,5%.

Para efeitos de comparação foram analisados coletores presentes no catálogo do fornecedor de sistemas de aquecimento solar comercial, e segundo este catálogo e o documento de fiscalização divulgado pelo INMETRO (2021), os coletores solares para banho MC 2000 TF possuem uma eficiência de 65,0%, ou seja, possuindo uma eficiência 1,57 vezes maior do que o coletor de PVC do estudo de caso.

4.4.2 Custos do Coletor do Estudo de Caso x Coletor Comercial

Uma vez que o se é busca defender o sistema de aquecimento solar de baixo custo referente ao seu preço em relação com os coletores comerciais, também serão analisados os valores dos materiais necessários para a sua confecção comparando com o valor do coletor comercial do fornecedor de sistemas de aquecimento solar.

Foram realizados três orçamentos para os itens necessários como pode ser observado na figura 43.

MATERIAIS	Unidades		Valores		
	P/1	Sistema total c/3 placas	Orçamento 1	Orçamento 2	Orçamento 3
PLACA COLETORA					
Tubos de 1/2" de 6 metros	18	54	R\$ 1.236,60	R\$ 1.165,86	R\$ 1.290,60
Tês de 1/2" soldável	36	108	R\$ 339,12	R\$ 187,92	R\$ 304,56
Caps de 1/2"	3	3	R\$ 7,50	R\$ 4,35	R\$ 8,97
Chapa de zinco 1 m x 2 m	1	3	R\$ 323,73	R\$ 381,90	R\$ 429,96
Tubos união 1/2" 30 mm	36	108	R\$ 10,80	R\$ 9,72	R\$ 11,88
Folha de lixa média	1	3	R\$ 6,00	R\$ 5,40	R\$ 7,74
Adesivo Tigre 175g Aquatherm	1	2	R\$ 98,00	R\$ 35,98	R\$ 46,80
Balde de 900ml tinta preta fosca	1	1	R\$ 36,90	R\$ 26,90	R\$ 37,90
Arame galvanizado 1,4 mm 1 kg	1	1	R\$ 29,90	R\$ 15,68	R\$ 18,27
Luvas de união de 1/2" soldável	4	12	R\$ 93,60	R\$ 78,00	R\$ 97,44
RESERVATÓRIO					
Caixa d'água 500l	1	1	R\$ 319,00	R\$ 214,90	R\$ 269,19
Chapa de aço galvanizado 3 m x 1 m x 0,43mm	1	1	R\$ 161,87	R\$ 190,95	R\$ 214,98
Manta de lã de vidro 3 m x 1 m x 38mm	1	1	R\$ 54,00	R\$ 43,40	R\$ 75,73
Torneira de boia	1	1	R\$ 16,91	R\$ 13,14	R\$ 34,50
Mangueira 1/2" de 50mm	1	1	R\$ 0,90	R\$ 0,75	R\$ 1,85
Niple roscavel de 1/2"	1	1	R\$ 1,50	R\$ 1,16	R\$ 1,60
Joelho 90° roscável de 1/2"	1	1	R\$ 2,50	R\$ 2,34	R\$ 2,60
Joelho 90° soldável de 1/2"	1	1	R\$ 1,30	R\$ 1,14	R\$ 1,70
Silver tape 45 mm x 5 m	1	1	R\$ 9,90	R\$ 7,57	R\$ 10,99
Caps de 1/2"	2	2	R\$ 5,00	R\$ 2,90	R\$ 5,98
TOTAL			R\$ 2.755,03	R\$ 2.389,96	R\$ 2.873,24
PREÇO MÉDIO			R\$ 2.672,74		

Figura 43 - Tabela de Unidades e Orçamentos
Fonte: Pesquisa direta (2021)

A partir destes orçamentos é possível obter um preço médio de R\$ 2.672,74 referente aos valores necessários para a aquisição dos componentes das três placas coletoras e do reservatório térmico. O valor da mão de obra não foi levantado, uma vez que a intenção é que o próprio usuário construa o sistema solar de baixo custo. Também foram orçados os coletores e o reservatório comerciais como pode ser visto na figura 44 e 45.

Solução de aquecimento para:

☒ Solar Banho

☐ Aquecedor a gás

☐ Acessórios

☐ Solar Piscina

☐ Bomba de Calor

☐ Demandas especiais

Código	Produto	Qtde.	Preço Un.	Desc.	Total
10015059	Reservatório MK 500 Litros - BP	1	R\$ 2.517,00		R\$ 2.517,00
8732401412	Coletor solar para banho MC 2000 TF18 1,8m²	3	R\$ 1.018,00		R\$ 3.054,00

Figura 44 - Orçamento Sistema Solar Comercial
Fonte: Proposta Comercial (2021)

TOTAL	R\$ 5.571,00
--------------	---------------------

Condições comerciais:

Prazo entrega	07 dias uteis
Frete	Incluso
Mão de obra	Não incluso

Figura 45 - Condições Comerciais do Sistema Solar Comercial
Fonte: Proposta Comercial (2021)

Na proposta comercial são apresentados os produtos que serão entregues e seus valores, além do valor total da compra. Além disso também foi exposto que a mão de obra não estaria sendo ofertada. A figura 46 apresenta os equipamentos presentes na proposta do fornecedor de sistemas de aquecimento solar.

DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS



Reservatório térmico MK 500 Litros (Pressão 5 m.c.a. - Aço Inoxidável ABNT 444 para Água de Rede Pública). A linha MK (baixa pressão) proporcionam maior conforto no banho, garantindo alto desempenho e os menores índices de perda de temperatura do mercado (perda térmica). 03 anos de garantia.



Coletor solar para banho MC 2000 TF18 1,8m² - Vidro solar temperado prismático com baixo teor de ferro, alta transparência, antirreflexivo, que aumenta a eficiência e a produção de energia, além de ter alta resistência a impactos. Absorvedor em chapa única em cobre e alumínio de 8 tubos com solda por ultrassom. Sua tecnologia exclusiva é reconhecida pela alta qualidade e eficiência, permitindo uma economia na conta de luz de até 40% em comparação ao chuveiro elétrico. 05 anos de garantia.

Figura 46 - Descrição dos Equipamentos Presentes na Proposta Comercial
Fonte: Proposta Comercial (2021)

Realizando uma simples operação de divisão é possível avaliar a relação de custo entre os componentes necessários para a confecção das placas e do reservatório, com os coletores e reservatório comerciais.

$$\frac{R\$ 5571,00}{R\$ 2672,74} = 2,08$$

4.5 Cálculo de Economia Energética e Financeira

Para avaliar a economia energética e posteriormente financeira referente à utilização do aquecedor solar de baixo custo, deve-se primeiro analisar qual a quantidade média de energia utilizada pelas 4 pessoas presentes na casa do estudo de caso, por um determinado intervalo de tempo, em relação ao chuveiro elétrico e após isso deve-se multiplicar pelo preço do kWh.

Os chuveiros presentes na casa do estudo de caso possuem potência de 6800 W. Utilizando a Equação 21 e considerando os mesmos valores apresentados no dimensionamento para tempo médio de uso, tem-se que, por dia, em média, são consumidos 4,53 kWh, o que anualmente corresponde a um consumo de 1654,67 kWh devido aos banhos quentes.

Considerando que o preço do kWh na bandeira “escassez hídrica” da CEMIG, na qual o estado de Minas Gerais se encontra no dia 21/11/2021, é de R\$ 1,312450. Tem-se que seriam pagos anualmente R\$ 2171,67 referentes às contas de luz.

O site *WeatherSpark*, a partir de uma análise estatística de relatórios históricos de condições meteorológicas com dados de 1 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2016, oferece uma plataforma de previsões referentes a temperatura, precipitação, incidência solar, umidade, velocidade dos ventos, etc. Com base nesses dados, será feita uma aproximação referente a quantidade de dias de chuva, onde a temperatura do reservatório térmico seria insatisfatória para a utilização da água aquecida pelos coletores, sendo necessária a utilização do chuveiro elétrico. A figura 47 apresenta os dados referentes à probabilidade de chuva na cidade de Ipatinga – MG e a quantidade de dias de chuva nos meses, a linha vermelha “agora” faz referência a data de 19/11/2021.

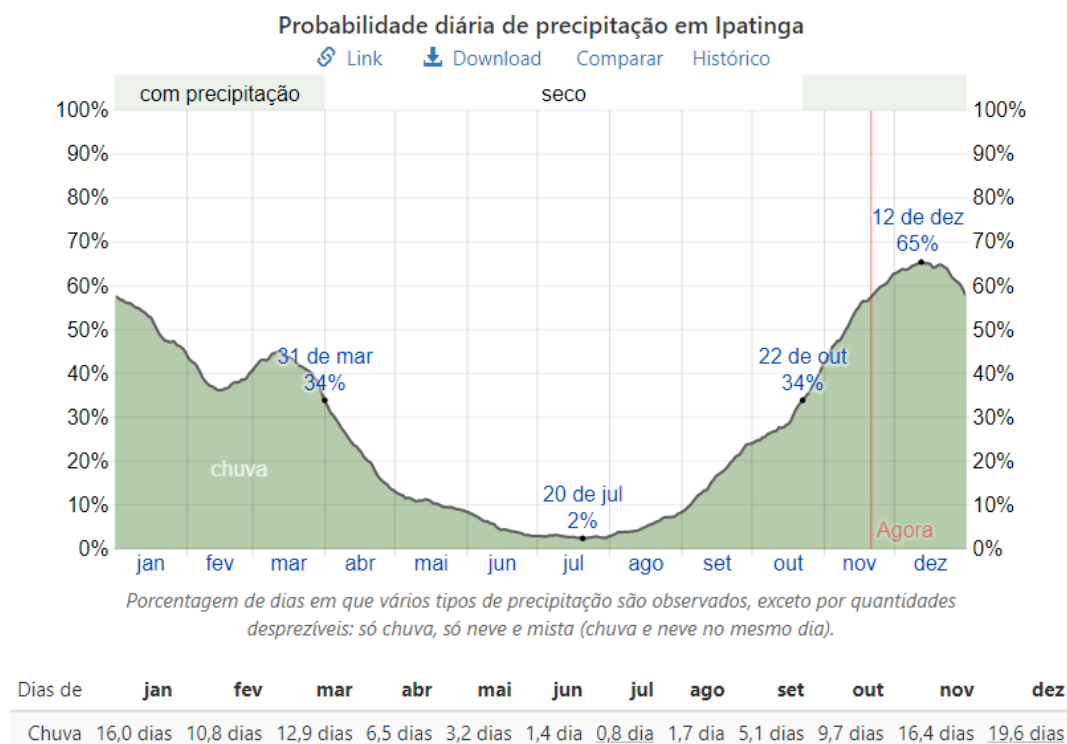


Figura 47 - Probabilidade Diária de Precipitação em Ipatinga – MG
 Fonte: WeatherSpark (2021)

Sendo assim, anualmente em média, na cidade de Ipatinga – MG, durante 104 dias do ano, o sistema de aquecimento solar de baixo custo não atenderia suficientemente uma temperatura adequada para o banho. Desta forma, a economia energética anual propiciada pelo equipamento seria de 1183,2 kWh e a economia financeira anual, perante a bandeira “escassez hídrica” da CEMIG, seria de R\$ 1552,89, que corresponde a 58,1% do valor investido no sistema.

4.6 Viabilidade Econômica

A viabilidade econômica será calculada de forma a comparar um investimento realizado na instalação do sistema de aquecimento solar de baixo custo com uma poupança de renda fixa. A taxa Selic é a taxa básica de juros da economia e determina os juros referentes aos investimentos realizados nas poupanças. Considerando a taxa Selic do dia 20/11/2021 no valor de 7,75% e que ela se mantenha próxima a este valor nos anos seguintes, a taxa de crescimento mensal do valor presente na poupança seria de 0,452%. Pelos cálculos realizados anteriormente, tem-se que, em média, mensalmente, o sistema de aquecimento solar de baixo custo oferece um retorno de 4,842% do investimento realizado. Desta forma será analisado com a ajuda do

software Excel, em quanto tempo acontecerá o retorno do investimento; qual será o valor economizado em 15 anos, que é a média da vida útil do aquecedor solar de PVC de Edison Urbano e qual seria o valor presente líquido caso o investimento fosse feito em uma poupança e só fosse ser retirado ao final destes mesmos 15 anos, ao invés da obtenção do sistema de aquecimento solar de água.

A figura 48 apresenta uma tabela com os resultados dos cálculos referentes à análise econômica.

ANO	AQUECEDOR SOLAR		POUPANÇA C/JUROS DE 0,452%	
	FLUXO DE CAIXA	VALOR PRESENTE	FLUXO DE CAIXA	VALOR PRESENTE NA POUPANÇA
0	-R\$ 2.672,74	-R\$ 2.672,74	-R\$ 2.672,74	R\$ 2.672,74
1	R\$ 1.552,89	-R\$ 1.119,85	-R\$ 2.672,74	R\$ 2.779,14
2	R\$ 1.552,89	R\$ 433,04	-R\$ 2.672,74	R\$ 2.933,69
3	R\$ 1.552,89	R\$ 1.985,93	-R\$ 2.672,74	R\$ 3.096,83
4	R\$ 1.552,89	R\$ 3.538,82	-R\$ 2.672,74	R\$ 3.269,04
5	R\$ 1.552,89	R\$ 5.091,71	-R\$ 2.672,74	R\$ 3.450,83
6	R\$ 1.552,89	R\$ 6.644,60	-R\$ 2.672,74	R\$ 3.642,72
7	R\$ 1.552,89	R\$ 8.197,49	-R\$ 2.672,74	R\$ 3.845,29
8	R\$ 1.552,89	R\$ 9.750,38	-R\$ 2.672,74	R\$ 4.059,12
9	R\$ 1.552,89	R\$ 11.303,27	-R\$ 2.672,74	R\$ 4.284,85
10	R\$ 1.552,89	R\$ 12.856,16	-R\$ 2.672,74	R\$ 4.523,12
11	R\$ 1.552,89	R\$ 14.409,05	-R\$ 2.672,74	R\$ 4.774,65
12	R\$ 1.552,89	R\$ 15.961,94	-R\$ 2.672,74	R\$ 5.040,16
13	R\$ 1.552,89	R\$ 17.514,83	-R\$ 2.672,74	R\$ 5.320,44
14	R\$ 1.552,89	R\$ 19.067,72	-R\$ 2.672,74	R\$ 5.616,31
15	R\$ 1.552,89	R\$ 20.620,61	-R\$ 2.672,74	R\$ 5.928,62
FINAL	R\$ 0,00	R\$ 20.620,61	R\$ 5.928,62	R\$ 0,00

Figura 48 - Análise Econômica do Investimento no Sistema de Aquecimento Solar Comparado com a Poupança
Fonte: Pesquisa direta (2021)

A tabela apresentada na figura 48 demonstra que no final dos 15 anos, o aquecedor solar terá gerado um retorno de R\$ 20.620,21 em seu investimento, já a poupança terá proporcionado apenas um rendimento de R\$ 5.928,62, ou seja, o aquecedor obteria um retorno financeiro 347,8% maior. Além disso, é possível observar que o *payback* do investimento do coletor seria atingido em menos de 2 anos de funcionamento do sistema de aquecimento solar de água.

Para comparar qual seria o retorno se o equipamento comprado fosse o sistema de aquecimento solar da empresa fornecedora de sistemas de aquecimento solar. Este fornecedor afirma que seu coletor possui uma vida útil de aproximadamente 25 anos, mas é necessário que seja realizado uma manutenção anual para que o sistema alcance essa vida útil. O valor dessa

manutenção varia de gira em torno de 150 a 320 reais, para os cálculos será então utilizada a média entre esses dois valores, que é R\$ 235,00, este valor será descontado anualmente do valor do retorno financeiro do equipamento.

A figura 49 apresenta uma tabela que compara o retorno financeiro do sistema de baixo custo com o sistema comercial.

ANO	AQUECEDOR BAIXO CUSTO		AQUECEDOR COMERCIAL		
	FLUXO DE CAIXA	VALOR PRESENTE	FLUXO DE CAIXA	MANUTENÇÃO	VALOR PRESENTE
0	-R\$ 2.672,74	-R\$ 2.672,74	-R\$ 5.571,00	R\$ 0,00	-R\$ 5.571,00
1	R\$ 1.552,89	-R\$ 1.119,85	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	-R\$ 4.253,11
2	R\$ 1.552,89	R\$ 433,04	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	-R\$ 2.935,22
3	R\$ 1.552,89	R\$ 1.985,93	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	-R\$ 1.617,33
4	R\$ 1.552,89	R\$ 3.538,82	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	-R\$ 299,44
5	R\$ 1.552,89	R\$ 5.091,71	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 1.018,45
6	R\$ 1.552,89	R\$ 6.644,60	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 2.336,34
7	R\$ 1.552,89	R\$ 8.197,49	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 3.654,23
8	R\$ 1.552,89	R\$ 9.750,38	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 4.972,12
9	R\$ 1.552,89	R\$ 11.303,27	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 6.290,01
10	R\$ 1.552,89	R\$ 12.856,16	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 7.607,90
11	R\$ 1.552,89	R\$ 14.409,05	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 8.925,79
12	R\$ 1.552,89	R\$ 15.961,94	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 10.243,68
13	R\$ 1.552,89	R\$ 17.514,83	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 11.561,57
14	R\$ 1.552,89	R\$ 19.067,72	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 12.879,46
15	R\$ 1.552,89	R\$ 20.620,61	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 14.197,35
16	R\$ 0,00	R\$ 20.620,61	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 15.515,24
17	R\$ 0,00	R\$ 20.620,61	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 16.833,13
18	R\$ 0,00	R\$ 20.620,61	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 18.151,02
19	R\$ 0,00	R\$ 20.620,61	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 19.468,91
20	R\$ 0,00	R\$ 20.620,61	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 20.786,80
21	R\$ 0,00	R\$ 20.620,61	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 22.104,69
22	R\$ 0,00	R\$ 20.620,61	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 23.422,58
23	R\$ 0,00	R\$ 20.620,61	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 24.740,47
24	R\$ 0,00	R\$ 20.620,61	R\$ 1.552,89	-R\$ 235,00	R\$ 26.058,36
25	R\$ 0,00	R\$ 20.620,61	R\$ 1.552,89	R\$ 0,00	R\$ 27.611,25
FINAL	R\$ 0,00	R\$ 20.620,61	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 27.611,25

Figura 49 - Análise Econômica do Investimento no Sistema de Aquecimento Solar de Baixo Custo Comparado com o Sistema de Aquecimento Solar Comercial
Fonte: Pesquisa direta (2021)

A partir da análise da figura 49, tem-se que o sistema de aquecimento comercial alcançaria seu *payback* em 5 anos e que realizando a comparação do retorno do investimento em relação ao tempo de vida útil, pode-se afirmar que o equipamento comercial obterá um retorno de 33,9% a mais durante toda a sua utilização em comparação com o sistema de baixo custo.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

Este estudo de caso tem como objetivo verificar a viabilidade técnica e econômica da instalação de um sistema de aquecimento solar de baixo custo. Para alcançar este objetivo, o foco do trabalho é a apresentação do sistema de aquecimento desenvolvido por Edson Urbano e do sistema utilizado no estudo de caso, que são, praticamente, o mesmo equipamento. Foi escolhido este tipo de coletor para demonstrar que é possível que uma pessoa consiga construir e instalar seu próprio sistema de aquecimento solar e que a matéria prima necessária pode ser encontrada em lojas de materiais de construção. Utilizando o anexo B da NBR 15569 para dimensionamento de sistemas de aquecimento, e de estudos teóricos para a análise da viabilidade técnica e econômica, são realizados cálculos acerca de uma residência com quatro pessoas na cidade de Ipatinga, Minas Gerais.

Primeiramente é explicado o passo a passo referente à confecção e instalação do sistema de aquecimento solar de baixo custo. Posteriormente é realizado o dimensionamento, onde são apresentados os fatores necessários para se obter um dimensionamento ideal de um sistema, sendo estes a inclinação do coletor em relação ao plano horizontal, que, para um aproveitamento máximo, deve possuir a angulação de 29° em relação ao plano horizontal, e o ângulo de orientação do coletor, onde este deve possuir uma defasagem de zero grau em relação ao norte geográfico. Após isso, são avaliados quais eram os valores destas variáveis no sistema presente no estudo de caso, este possui uma angulação de 20° com o plano horizontal e uma defasagem de 17° com o norte geográfico. Com o auxílio de um multímetro, são realizadas medições para avaliar qual era a temperatura média máxima que poderia ser alcançada pelo sistema o que permite os cálculos referentes às áreas coletoras dos sistemas ideais no trabalho e também aos cálculos sobre a energia útil diária do sistema de aquecimento solar do estudo de caso. Com o valor da $E_{\text{útil}}$ do sistema do estudo de caso é encontrada a eficiência de 41,5% do sistema de baixo custo e esta é comparada com um sistema comercial, que possuía 65% de eficiência, ou seja, 1,57 vezes maior do que a eficiência do sistema de baixo custo.

São realizados três orçamentos referentes aos itens necessários para a construção do sistema solar de baixo custo. Além disso, também é realizado um orçamento de um sistema de aquecimento solar comercial para realizar a comparação dos valores de cada investimento. O valor necessário para a compra dos materiais do sistema de baixo custo resultou em um valor médio de R\$ 2672,74, já o valor de compra do sistema comercial era de R\$ 5571,00, ou seja,

2,08 vezes maior do que o valor do sistema de baixo custo. Além de o sistema de aquecimento solar de baixo custo possuir uma eficiência que justifica o seu investimento em relação aos custos de aquisição, o fato de não ser necessária uma mão de obra especializada para a construção a sua construção chama a atenção, além disso, é um sistema aonde pode-se ir investindo aos poucos, como por exemplo, comprar os materiais referentes à uma placa e realizar a confecção desta, comprar os materiais referentes à outra placa e confeccionar ela, comprar os materiais do reservatório e confeccioná-lo. A título de exemplo o equipamento do estudo de caso foi construído ao longo de três meses, durante o período da noite e durante os dias de folga.

A partir da análise da energia absorvida pelo coletor diariamente e do volume de dias onde o sistema não conseguiria obter uma temperatura adequada para o seu funcionamento, foram avaliados o montante energético que o sistema seria capaz de economizar, em média, ao longo de um ano, que seriam 1183,2 kWh. Com o valor referente à bandeira de “escassez hídrica” da CEMIG vigente na cidade de Ipatinga, Minas Gerais, foi possível calcular que o valor monetário anual economizado seria de R\$ 1552,89, que corresponde a 58,1% do valor investido no sistema.

Com o valor da economia financeira calculada, foi possível realizar os cálculos referentes ao tempo de *payback* e à comparação do investimento no sistema de aquecimento solar com um investimento do mesmo valor feito na poupança, e posteriormente foi realizado uma comparação com o investimento no sistema de aquecimento solar de baixo custo com a obtenção do sistema de aquecimento solar comercial. O *payback* seria atingido pelo sistema de baixo custo em 2 anos de funcionamento, além disso se obteve que ao final de 15 anos, o aquecedor solar seria capaz de gerar um retorno de R\$ 20.620,21, que é 347,8% maior do que o rendimento da poupança que, somada ao dinheiro investido inicialmente, teria um retorno de R\$ 5.928,62. Já ao se comparar o retorno com o sistema de aquecimento comercial, se obteve que, devido ao fato de o tempo de vida útil do sistema comercial ser 10 anos maior, o retorno financeiro ao final da sua vida útil seria 33,9% maior do que se comparado ao retorno financeiro do sistema de baixo custo, mas devido a possuir um valor de investimento inicial 2,08 vezes maior, o *payback* do sistema comercial só seria atingido após 5 anos de utilização do equipamento.

Os objetivos descritos inicialmente foram atingidos, uma vez que foi possível analisar os diferentes tipos de coletores solares presentes no mercado, realizar o dimensionamento de um coletor solar de baixo custo, sendo comparados os resultados deste dimensionamento com

o do estudo de caso presente em uma residência com quatro pessoas, além disso, foi analisado o tempo de retorno do investimento, o valor da energia e do valor monetário economizado anualmente.

5.2 Recomendações

- Começar o quanto antes a coleta dos dados referentes à temperatura do reservatório do sistema de aquecimento solar, de forma a possuir uma maior aproximação dos valores energéticos e financeiros economizados anualmente pelo sistema;
- Calcular e realizar medições relativas à capacidade do reservatório de manter uma temperatura adequada para o consumo após o término da incidência solar durante o dia;
- Calcular a PMDEE real do coletor com os valores do coeficiente de ganho do coletor solar e do coeficiente de perdas do coletor solar.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT. **NBR 15569**: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto - Projeto e instalação. [S. l.: s. n.], 2008.

ALVARENGA, Darlan; MARTINS, Raphael. Economia. *In*: G1. **Classe média 'encolhe' na pandemia e já tem mesmo 'tamanho' da classe baixa**. [S. l.], 17 abr. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/04/17/classe-media-encolhe-na-pandemia-e-ja-tem-mesmo-tamanho-da-classe-baixa.ghtml>. Acesso em: 23 jun. 2021.

ANEEL. **Acionada bandeira vermelha patamar 2 para o mês de junho**. [S. l.], 28 maio 2021. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/acionada-bandeira-vermelha-patamar-2-para-o-mes-de-Junho/656877?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fsala-de-imprensa-exibicao%3Fp_id%3D101_INSTANCE_XGPXSqdMFHrE%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_count%3D3. Acesso em: 23 jun. 2021.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS INVENTORES. **Aquecedor Solar ASBC**. [S. l.], 2012. Disponível em: <http://www.invencoesbrasileiras.com.br/aquecedor-solar-asbc/>. Acesso em: 22 jul. 2021.

ATKINS, Peter; DE PAULA, Julio. **Físico-Química**. 10ª Edição. ed. rev. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2018. v. 1. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521634737/cfi/6/10!/4/4@0:96.1>. Acesso em: 12 jul. 2021.

BEDAQUE, Paulo; BRETONES, Paulo Sergio. Variação da posição de nascimento do Sol em função da latitude. **Rev. Bras. Ensino Fís.** **38**, [s. l.], 2016. DOI <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2015-0023>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/7KxmyjMBkxw5DRTqMWd9GJR/?lang=pt>. Acesso em: 23 jul. 2021.

BERGMAN, Theodore L.; LAVINE, Adrienne S. **INCROPERA**: Fundamentos da Transferência de Calor e de Massa. 8ª Edição. ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2019. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636656/cfi/6/10!/4/2@0:0>. Acesso em: 12 jul. 2021.

BORGES, Thomaz P. de Freitas. **Síntese Otimizada de Sistemas de Aquecimento Solar de Água**. Orientador: Paulo de Barros Correia. 2000. 139 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Unicamp, Campinas, 2000.

BRANSKI, Regina Meyer; FRANCO, Raul Arellano Caldeira; JÚNIOR, Orlando Fontes Lima. **METODOLOGIA DE ESTUDO DE CASOS APLICADA À LOGÍSTICA**. 2010. Disponível em: <http://www.lalt.fec.unicamp.br/scriba/files/escrita%20portugues/ANPET%20-%20METODOLOGIA%20DE%20ESTUDO%20DE%20CASO%20-%20COM%20AUTORIA%20-%20VF%2023-10.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2021.

Câmara dos Deputados. **Comissão de Minas e Energia - Crise hídrica** - 15/06/2021. Youtube, 15/06/2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=wEs03xG7Zvg>>. Acesso em: 23/06/2021

CARVALHO, Felipe Rocha; SIONEK, Mirella Cristina. **ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UM COLETOR SOLAR PLANO**. Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Dias dos Santos. 2015. 79 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba - PR, 2015. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6597/1/CT_COEME_2014-2_05.pdf. Acesso em: 18 nov. 2021.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática**. 4ª Edição. ed. rev. Porto Alegre: AMGH, 2012. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580551280/cfi/4!/4/4@0.00:40.4>. Acesso em: 12 jul. 2021.

COELHO, João Carlos Martins. **Energia e Fluidos: Transferência de Calor**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2016. 292 p. v. 3. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521209508/cfi/4!/4/4@0.00:55.4>. Acesso em: 12 jul. 2021.

CRESESB. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica: Radiação Solar**. [S. l.], 11 jun. 2008. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=301. Acesso em: 23 jun. 2021.

GARDENAL, Isabel. Jornal da Unicamp. In: PORTAL UNICAMP. **O chuveiro na curva do consumo**. Campinas, 25 maio 2014. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/597/o-chuveiro-na-curva-do-consumo>. Acesso em: 24 jun. 2021.

HELIOTEK. **Coletores solares para banho MC 2000 TF**. V112019. ed. [S. l.: s. n.], 2019. 2 p. Disponível em: <https://www.heliotek.com.br/para-casa/aquecedor-solar-para-banho/coletor-solar/coletor-mc2000>. Acesso em: 18 nov. 2021.

INMETRO. **Tabelas de Consumo/Eficiência Energética**: Tipo de Equipamento: Coletor Solar - Aplicação Banho. Versão: 06/09/2021. [S. l.], 6 set. 2021. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/Coletor-Solar-Banho-PBE-2018.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2021.

LIMA, Diego Roberto Sousa. **Como calcular o consumo de energia e os gastos de um chuveiro elétrico**. João Monlevade - MG: OAK Energia, 8 set. 2020. Disponível em: <https://oakenergia.com.br/blog/como-calcular-o-consumo-de-energia-e-os-gastos-de-um-chuveiro-eletrico/>. Acesso em: 17 nov. 2021.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5ª Edição. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 311 p.

PARENTE, Virgínia. ANÁLISE DE INVESTIMENTOS APLICADA A PROJETOS DE ENERGIA. In: MOREIRA, Simoes. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. [S. l.]: Grupo GEN, 2017. cap. 16, p. 336-353. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521633785/>. Acesso em: 14 ago. 2021.

RINNAI. **Sistema de Aquecimento Solar (SAS)**. [S. l.: s. n.], 2015. Disponível em: <https://www.rinnai.com.br/uploads/manual/177.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2021.

SAMPIERI, Roberto Hernández; COLLADO, Carlos Fernández; LUCIO, María del Pilar Baptista. **Metodologia de Pesquisa**. 5ª Edição. ed. [S. l.]: Penso, 2013. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565848367>. Acesso em: 14 ago. 2021.

SCARPA, Marcos. Notícias. In: EDP. **Saiba quanto seu chuveiro pode representar na fatura de energia**. [S. l.], 29 jun. 2016. Disponível em: <https://www.edp.com.br/noticias/saiba-quanto-seu-chuveiro-pode-representar-na-fatura-de-energia>. Acesso em: 22 jun. 2021.

SOCIEDADE DO SOL. **ASBC**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.sociedadedosol.org.br/asbc>. Acesso em: 22 jul. 2021.

SOCIEDADE DO SOL. **Manual de Manufatura e Instalação Experimental do ASBC: AQUECEDOR SOLAR DE BAIXO CUSTO**. [S. l.: s. n.], 2009.

SOLETROL. **Aquecedores Solares de Água**: Guia Rápido para Profissionais. São Manuel - SP: [s. n.], 2011. 66 p.

SOUSA, Rafaela. **Energia Solar**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/energia-solar.htm>. Acesso em 24 de junho de 2021.

URBANO, Edison. **AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA FEITO COM TUBOS DE PVC: MANUAL DE CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO**. [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: <http://www.sempresustentavel.com.br/solar/aquecedor/aquecedor-solar.htm>. Acesso em: 23 jun. 2021.

VALE, Sávio. **Descubra como fazer a análise de viabilidade**: A ferramenta para validação de negócios. [S. l.], 10 ago. 2020. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/analise-de-viabilidade>. Acesso em: 14 ago. 2021.

XAVIER, Rafael. Aquecedor Solar de Baixo Custo, criado na Universidade, estará no Sustentar UFMG. In: **Tecnologias Sociais**. [S. l.], 8 ago. 2017. Disponível em: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/aquecedor-solar-de-baixo-custo-criado-na-universidade-estara-no-sustentar-ufmg>. Acesso em: 24 jun. 2021.