

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**GABRIELLA REBELATO**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO SOLAR DE BAIXO  
CUSTO CONSTITUÍDOS POR CHAPAS DE ALUMÍNIO REAPROVEITÁVEIS E  
TUBOS DE POLIETILENO**

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2022**

**GABRIELLA REBELATO**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO SOLAR DE BAIXO CUSTO CONSTITUÍDOS POR CHAPAS DE ALUMÍNIO REAPROVEITÁVEIS E TUBOS DE POLIETILENO**

**Study of the feasibility of low-cost solar collector systems constituted by reusable aluminum plates and polyethylene tubes**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Bruno Arantes Moreira.

Coorientadora: Prof. Dra. Michelle Milanez França.

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Francisco Beltrão



GABRIELLA REBELATO

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO SOLAR DE BAIXO CUSTO CONSTITUÍDOS  
POR CHAPAS DE ALUMÍNIO REAPROVEITÁVEIS E TUBOS DE POLIETILENO**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra Em Engenharia Ambiental: Análise E Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Meio Ambiente.

Data de aprovação: 30 de Maio de 2022

Dr. Bruno Arantes Moreira, Doutorado - Fundação Universidade Federal da Grande Dourados (Ufgd)

Dr. Jeconias Rocha Guimaraes, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. William Renzo Cortez Vega, Doutorado - Universidade Federal da Grande Dourados (Ufgd)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 30/05/2022.

Dedico este trabalho à todos que me ajudaram e  
estiveram sempre ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente quero demonstrar o meu reconhecimento à minha família, em especial aos que me ajudaram na prática e cederam seus espaços para desenvolvimento do projeto, acredito que sem o apoio deles seria muito mais difícil. Assim como quero agradecer aos meus familiares que já partiram, em especial meu avô que me incentivou nos estudos desde sempre.

Gostaria de deixar registrado também meus agradecimentos aos amigos que encontrei nessa jornada e todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa. E aqueles que não estão presentes entre essas palavras, podem estar certos que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço a UTFPR pela cooperação e ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA-FB), assim como a banca de aprovação por todas as contribuições e sugestões. Agradeço imensamente ao meu orientador Prof Dr. Bruno Arantes Moreira que mesmo longe sempre esteve presente, principalmente por toda paciência e sabedoria para me guiar e toda ajuda prestada que foram de grande valia para essa realização e também a coorientadora Prof<sup>a</sup> Dra. Michelle por sempre nos auxiliar.

E por fim, agradeço o apoio através da bolsa de estudos da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (Capes).

## RESUMO

Neste estudo, dois sistemas de captação solar de baixo custo foram propostos e avaliados. Tais sistemas tem como finalidade principal, a redução no consumo de energia elétrica para aquecimento de água de forma viável e sustentável. Os captadores propostos foram construídos com chapas provenientes do descarte de indústrias gráficas, material de elevada condutividade térmica e elevada resistência à radiação solar, que foram utilizadas como aletas no sistema de aquecimento. As chapas de alumínio foram utilizadas para desenvolver medidas de mitigação dos impactos negativos das ações do homem sobre o meio ambiente através da destinação ambientalmente correta de resíduos, reutilizando materiais descartados, gerando benefícios socioeconômicos. No captador também foram utilizados tubos de polietileno, material que possui características de fácil aquisição comercial e elevada flexibilidade, permitindo reduzir a quantidade de acessórios necessários para a construção do coletor, reduzindo, desta forma, os pontos passíveis de falha. Em um dos sistemas foi utilizado para construção, tubos de polietileno na configuração “S”, de forma que o coletor era fixado diretamente no telhado. O outro sistema proposto foi desenvolvido com os tubos em paralelo, presos a um suporte para fornecer sustentação ao sistema. Ambos os sistemas foram conectados a um reservatório térmico localizado em uma posição vertical superior, de modo a permitir a ocorrência do termossifão. Os experimentos foram realizados a partir de medidas da variação da temperatura do fluido no boiler em períodos entre dezembro e março. Os resultados mostraram a viabilidade dos equipamentos propostos para aquecer o fluido. Para o captador em configuração “S” foram obtidos ganhos térmicos superiores a 30% do fluido em relação à temperatura ambiente. Para o coletor com tubos em paralelo, foi possível observar que com apenas 0,86 m<sup>2</sup> de área de captação solar, a água no boiler alcançou temperaturas próximas a 40°C, e uma eficiência térmica de 39% (eficiência esta considerada elevada para coletores de baixo custo). De maneira geral, os captadores propostos diferenciam-se de outros previamente desenvolvidos por apresentarem uma menor quantidade de acessórios nas tubulações, bem como, materiais de elevada resistência à irradiação solar, podendo, portanto, serem considerados uma alternativa viável e sustentável para serem implementados em residências.

**Palavras-chave:** energia; coletor; aquecimento; descarte.

## ABSTRACT

In this study, two low-cost solar collector systems were proposed and evaluated. Such systems have as main purpose, the reduction in the consumption of electric energy for heating water in a viable and sustainable way. The proposed collectors were built with plates from the disposal of printing industries, material with high thermal conductivity and high resistance to solar radiation, which were used as fins in the heating system. The aluminum plates were used to develop measures to mitigate the negative impacts of human actions on the environment through the environmentally correct disposal of waste, reusing discarded materials, generating socioeconomic benefits. Polyethylene tubes were also used in the collector, a material that has characteristics of easy commercial acquisition and high flexibility, allowing the reduction of the amount of accessories needed for the construction of the collector, thus reducing the points susceptible to failure. In one of the systems, polyethylene tubes in the "S" configuration were used for construction, so that the collector was fixed directly on the roof. The other proposed system was developed with the tubes in parallel, attached to a support to provide support to the system. Both systems were connected to a thermal reservoir located in a higher vertical position, in order to allow the thermosiphon to occur. The experiments were performed from measurements of the temperature variation of the fluid in the boiler in periods between december and march. The results showed the feasibility of the proposed equipment to heat the fluid. For the "S" configuration collectors, thermal gains greater than 30% of the fluid were obtained in relation to the ambient temperature. For the collector with tubes in parallel, it was possible to observe that with only 0.86 m<sup>2</sup> of solar capture area, the water in the boiler reached temperatures close to 40°C, and a thermal efficiency of 39% (this efficiency is considered high for low-cost collectors). In general, the proposed collectors differ from others previously developed by presenting a smaller quantity of accessories in the pipes, as well as materials with high resistance to solar irradiation, and can therefore be considered a viable and sustainable alternative to be implemented in residences.

**Keywords:** energy; collector; heating; disposal.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema de aquecimento solar de água convencional com sistema termossifão.....	22
Figura 2 - Localização do município de Francisco Beltrão na mesorregião do estado do Paraná e localização do estado do Paraná no Brasil.....	27
Figura 3 - Limites de Francisco Beltrão com municípios vizinhos.....	28
Figura 4 - Precipitação anual no Estado do Paraná.....	29
Figura 5 - Umidade relativa do ar anual no Estado do Paraná.....	30
Figura 6 - Temperatura média do ar anual no Estado do Paraná.....	31
Figura 7 - Rosa dos ventos anual - Distribuição de velocidade.....	32
Figura 8 - Imagem fotográfica de uma chapa de impressão <i>ofsset</i> .....	33
Figura 9 - Esquema do captador solar de baixo custo em configuração "S" com aletas de chapas de alumínio.....	35
Figura 10 - Ilustração da unidade experimental.....	38
Figura 11 - Ilustração da unidade experimental.....	40
Figura 12 - Imagem fotográfica da unidade experimental.....	41
Gráfico 1 - Matriz energética mundial.....	18
Gráfico 2 - Matriz energética do Brasil.....	19
Gráfico 3 – Comportamento e condições climáticas associadas ao sistema de aquecimento solar em configuração “S” com um serpenteamento. (a) Variação de temperatura no sistema de aquecimento solar em que $T_{boiler}$ é a temperatura do fluido no boiler e $T_{amb}$ é a temperatura ambiente. (b) Correntes de vento.....	45
Gráfico 4 - Temperaturas máximas nos dias do experimento.....	46
Gráfico 5 - Comportamento e condições climáticas associadas ao sistema de aquecimento solar em configuração “S” com dois serpenteamento. (a) Variação de temperatura no sistema de aquecimento solar em que $T_{boiler}$ é a temperatura do fluido no boiler e $T_{amb}$ é a temperatura ambiente. (b) Correntes de vento. (c) Precipitação pluviométrica.....	48
Gráfico 6 - Temperaturas máximas nos dias do experimento.....	50
Gráfico 7 - Comportamento e condições climáticas associadas ao sistema de aquecimento solar em configuração “S” com três serpenteamentos. (a) Variação de temperatura no sistema de aquecimento solar em que $T_{boiler}$ é a temperatura do fluido no boiler e $T_{amb}$ é a temperatura ambiente. (b) Correntes de vento. (c) Precipitação pluviométrica.....	52
Gráfico 8 - Temperaturas máximas nos dias do experimento.....	54
Gráfico 9 - Ganho térmico médio.....	56
Gráfico 10 - Ganho térmico percentual máximo.....	56
Gráfico 11 - Ganho térmico médio máximo.....	57
Gráfico 12 - Comportamento e condições climáticas associadas ao sistema de aquecimento solar com tubos de polietileno em paralelo. (a) Variação de	



temperatura no sistema de aquecimento solar em que  $T_{\text{boiler}}$  é a temperatura do fluido no boiler e  $T_{\text{amb}}$  é a temperatura ambiente. (b)

Correntes de vento.....	60
Gráfico 13 - Temperaturas máximas obtidas para cada dia do experimento.....	62
Gráfico 14 - Radiação solar incidente .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Data e hora de início e término de cada experimento .....	39
Tabela 2 - Peso dos materiais utilizados em um metro de coletor.....	58
Tabela 3 - Peso dos materiais utilizados em 75 metros de coletor .....	58
Tabela 4 - Eficiência térmica do sistema de aquecimento solar .....	63
Tabela 5 - Materiais utilizados para a confecção da unidade completa e seus respectivos valores.....	65
Tabela 6 - Materiais utilizados para a confecção da unidade completa e seus respectivos valores.....	66

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1</b>	<b>Geração de energia .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2</b>	<b>Energia solar.....</b>	<b>19</b>
<b>4.3</b>	<b>Sistema ASBC – Aquecedor solar de baixo custo .....</b>	<b>21</b>
<b>4.4</b>	<b>Resíduos gráficos .....</b>	<b>22</b>
<b>4.5</b>	<b>Aletas e sistema termossifão .....</b>	<b>24</b>
<b>4.6</b>	<b>Inclinação dos telhados de residências de baixo custo.....</b>	<b>25</b>
<b>4.7</b>	<b>Radiação solar no Brasil.....</b>	<b>26</b>
<b>4.8</b>	<b>Município de Francisco Beltrão.....</b>	<b>26</b>
4.8.1	Precipitação .....	28
4.8.2	Umidade.....	29
4.8.3	Temperatura.....	30
4.8.4	Ventos .....	31
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
<b>5.1</b>	<b>Captador solar em configuração “S” com chapas de alumínio associadas .....</b>	<b>34</b>
5.1.1	Instalação das aletas.....	35
5.1.2	Unidade experimental completa .....	36
5.1.3	Ensaio experimentais .....	36
<b>5.2</b>	<b>Coletor solar com tubos de polietileno associado a chapas de alumínio recicladas.....</b>	<b>39</b>
5.2.1	Unidade experimental.....	39
5.2.2	Ensaio experimentais .....	42
5.2.3	Cálculo da eficiência térmica do sistema de captação solar .....	42
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>6.1</b>	<b>Resultados do captador solar em configuração “S” com chapas de alumínio associadas .....</b>	<b>44</b>
6.1.1	Experimento 1 - Unidade experimental com um serpenteamento.....	44
6.1.2	Experimento 2 - Unidade experimental com dois serpenteamentos .....	47

6.1.3	Experimento 3 - Unidade experimental com três serpenteamentos .....	51
6.1.4	Ganho térmico.....	55
6.1.5	Densidade superficial .....	58
<b>6.2</b>	<b>Experimento 4 - Resultados do captador solar com tubos de polietileno em paralelo associado a chapas de alumínio recicladas .....</b>	<b>59</b>
6.2.1	Cálculo da eficiência térmica do sistema de captação solar .....	62
<b>7</b>	<b>CUSTOS .....</b>	<b>65</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>68</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O sol é considerado uma fonte inesgotável de energia limpa e gratuita, além de ser um recurso natural e indispensável para a vida no planeta Terra. Assim como a energia solar, a energia hidráulica, energia geotérmica, energia eólica, biomassa e a maré motriz são fontes renováveis utilizadas atualmente. Há também as fontes não renováveis, que são nocivas ao meio ambiente, porém possuem mais deriváveis e são mais usuais no cotidiano, como o carvão, petróleo e diversos gases (PRADO et al., 2014).

Conhecida como uma fonte de energia ecologicamente correta e com potencial facilmente disponível em muitas áreas do mundo durante o ano todo, a energia solar é a fonte mais disponível de energia (NASEER et al., 2019).

A utilização da radiação solar para aumentar a energia térmica de um fluido, ocorre por meio dos coletores solares. Nos últimos anos, os coletores solares de baixo custo têm-se popularizado, tais coletores utilizam materiais de fácil aquisição, custo reduzido ou mesmo reciclados de forma obter um sistema de aquecimento solar com um custo substancialmente menor quando comparado com os clássicos sistemas de captação solar comerciais (APPEL, 2019; REBELATO, 2019). Porém, sabe-se que os materiais reciclados e de custo reduzido geralmente não resistem por um longo período de tempo quando expostos continuamente a irradiação solar.

Além disso, verifica-se que a montagem e instalação dos captadores de custo reduzido, geralmente não são realizadas de forma simples, o que torna a implementação relativamente difícil quando realizada por mão de obra técnica não especializada.

Atualmente um dos modelos mais difundidos no fornecimento de água aquecida para aplicações residenciais e comerciais são os coletores solares planos. Eles caracterizam-se por apresentarem área de incidência de radiação solar equivalente a área de absorção de radiação. Tais coletores são projetados para trabalhar com temperaturas baixas e médias de fluido, reduzindo o consumo de energia elétrica associado ao aquecimento de água utilizada, por exemplo, em chuveiros e piscinas (ALMEIDA, 2013).

Appel (2019) relatou em seu estudo que geralmente os captadores solares são construídos com diversas conexões para formar o sistema de tubulações, tais acessórios aumentam a probabilidade de perdas de fluido indesejadas. Desta forma,

o autor indicou a utilização de tubos de polietileno devido a sua maior flexibilidade. Tal propriedade permitiu desenvolver uma nova configuração dos tubos de forma a induzir o termosifão com menor necessidade de acessórios.

Rebelato (2019) propôs a utilização de chapas de impressão *offset* para funcionarem como aletas, visando desenvolver um sistema de aquecimento com materiais reaproveitáveis de elevada resistência à irradiação solar. A chapa de impressão *offset* é um material utilizado para impressão direta nas indústrias gráficas, onde parte pode ser reutilizada. As indústrias gráficas geram uma quantidade significativa de resíduos sólidos e além do consumismo e de fontes poluidoras, o desperdício de materiais também é um dos problemas ambientais vivenciado atualmente pela humanidade.

Embora há vários estudos na área de coletores solares de baixo custo, sabe-se que ainda existem alguns problemas recorrentes nestes tipos de equipamentos. No presente trabalho, apresentamos a utilização da configuração com tubos de polietileno proposto por Appel (2019), bem como, as chapas de impressão *offset* para funcionarem como aletas no sistema de aquecimento, proposto por Rebelato (2019), de forma a idealizar dois novos sistemas de captação solar. Em ambos os sistemas de captação foi utilizado o mínimo possível de acessórios para montagem da rede de tubulações, reduzindo, assim, possíveis vazamentos, bem como, utilizado materiais reciclados de elevada resistência à radiação solar, permitindo, desta forma, reduzir as principais desvantagens comumente presentes nos sistemas de aquecimento de baixo custo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Desenvolver dois novos sistemas de captação solar de baixo custo, constituídos por chapas de alumínio reaproveitáveis e tubos de polietileno (mangueiras de jardim), utilizando uma energia limpa, inesgotável e gratuita.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Reutilizar chapas de alumínio provenientes do descarte de indústrias gráficas, como aleta;
- Avaliar dois sistemas com baixo custo de produção e baixo impacto ambiental através de materiais alternativos e reciclados;
- Produzir dois sistemas com baixa complexidade de execução, durável e com baixa expectativa de falha;
- Desenvolver dois sistemas de captação solar com o mínimo de conexões possíveis;
- Avaliar se as chapas de alumínio são funcionais para aquecer o fluido do tubo.

### 3 JUSTIFICATIVA

No contexto de que o território brasileiro é amplo e possui baixa variação da radiação solar, nota-se um grande potencial para o desenvolvimento de energias sustentáveis (VECCHIA, 2010). Mas grandes períodos de seca se tornaram mais frequentes no Brasil, o que aumenta a preocupação com a insuficiência energética, uma vez que a matriz energética brasileira é composta principalmente por recursos hídricos (SILVA, 2020).

A matriz energética nacional de geração de energia elétrica, é em sua grande parte oriunda de hidrelétricas, representando 68,1% do total gerado no país. As usinas hidrelétricas têm papel fundamental para o desenvolvimento do nosso país, porém, um levantamento feito pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico mostrou que nos últimos sete anos, os reservatórios das hidrelétricas receberam um volume de água inferior à média histórica, e os períodos de estiagem comprometem o seu funcionamento, podendo assim acarretar colapsos, como o apagão energético que ocorreu no ano de 2001 (SILVA, 2020).

Diante disso, faz-se necessário promover a conscientização em relação ao consumo desenfreado de energia elétrica, produzindo soluções que reduzam este consumo e o impacto ambiental, bem como as emissões de CO<sub>2</sub>, conservando os recursos hídricos finitos e contribuindo socioeconomicamente na qualidade de vida das famílias de menor renda.

Neste contexto, a justificativa deste trabalho se dá pelo intuito de desenvolver coletores solares construídos com material proveniente de resíduo sólido de indústrias gráficas, afim de reduzir os custos se comparado com os que estão disponíveis no mercado, ainda sendo coletores de fácil montagem e com conexões que ocasionem poucos problemas, cumprindo seus objetivos utilizando uma fonte de energia inesgotável e limpa.



## 4 REVISÃO DA LITERATURA

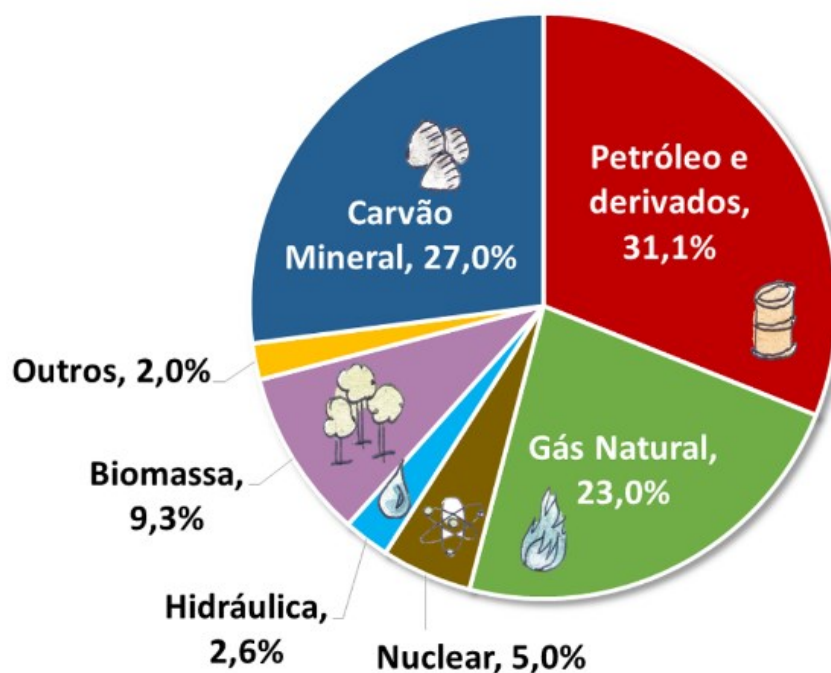
### 4.1 Geração de energia

Durante muitos anos, a humanidade utilizou os recursos naturais do planeta, para suprir suas necessidades energéticas, sem grandes preocupações em relação aos efeitos que causariam ao meio ambiente (ALMEIDA et al., 2016).

Com isso, a energia tem sido a base do desenvolvimento das civilizações. Muitos conhecimentos científicos e tecnológicos assimilados pelo homem, centraram-se na busca da apropriação e controle da conversão da energia, isto é, do processo de obtenção da energia que melhor se ajuste às suas demandas, permitindo assim, que diferentes fontes energéticas fossem utilizadas ao longo da história. Neste contexto, o uso dos recursos energéticos foi, e segue sendo, um fator primordial no processo de suprimento das necessidades da sociedade (SILVA; DO CARMO, 2017).

As fontes de geração de energia se dividem em não renováveis e renováveis. Como a reposição das fontes de energia fóssil e nuclear requer um horizonte de tempo geológico, essas são consideradas não-renováveis. Já as fontes renováveis de energia são repostas imediatamente pela natureza e são consideradas inesgotáveis, pois suas quantidades se renovam constantemente ao serem usadas, é o caso dos potenciais hidráulicos (quedas d'água), eólicos (ventos), biomassa (energia de matéria orgânica), a energia das marés e das ondas, a radiação solar e o calor do fundo da Terra (geotermal) (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

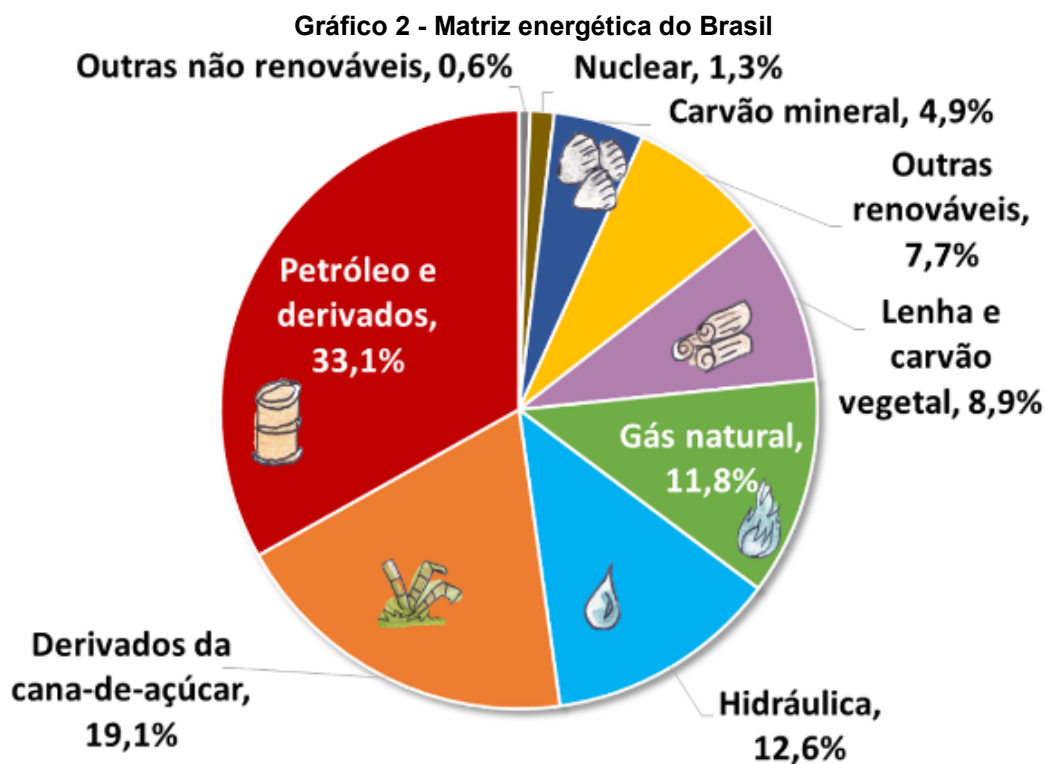
Somando através do Gráfico 1, à participação da energia hidráulica e da biomassa, com a energia solar, eólica e geotérmica que correspondem juntas a 2% (identificadas como "Outros"), as fontes renováveis totalizam aproximadamente 14% da matriz energética mundial. Desta forma, o mundo utiliza majoritariamente no seu suprimento energético, as fontes não renováveis, em particular, os combustíveis fósseis como o petróleo, carvão mineral e gás natural.

**Gráfico 1 - Matriz energética mundial**

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2021)

Esses combustíveis são grandes causadores de problemas climáticos, que colocam em risco a sustentabilidade e o abastecimento de longo prazo do planeta. Em virtude desses fatores, assuntos relacionados à preservação do meio ambiente e aos recursos naturais têm sido amplamente discutidos em eventos nacionais e internacionais, estando entre as prioridades e as preocupações atuais da comunidade mundial (SILVA; DO CARMO, 2017).

Já a matriz energética do Brasil é muito diferente da mundial. Apesar do consumo de energia de fontes não renováveis ser maior do que o de renováveis, usamos mais fontes renováveis que no resto do mundo, conforme Gráfico 2.



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2021)

Somando a lenha e carvão vegetal, a hidráulica, derivados de cana e outras renováveis, juntas totalizam 48,3%, quase metade da nossa matriz energética.

## 4.2 Energia solar

Energia solar é a energia proveniente do sol, considerada uma alternativa energética muito promissora para enfrentar os desafios da expansão da oferta de energia com menor impacto ambiental. Pode ser utilizada diretamente para o aquecimento do ambiente, aquecimento de água e para produção de eletricidade, com possibilidade de reduzir em 70% o consumo de energia convencional. Sendo que quase todas as fontes de energia renováveis são formas indiretas de energia solar (SILVA; DO CARMO, 2017).

Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico (PACHECO, 2006).

A expectativa mundial é que as energias renováveis substituam gradativamente as energias geradas a partir de fontes fósseis. Nos países em desenvolvimento, as energias renováveis proporcionam uma série de vantagens e recursos, tendo em vista que a utilização de energia traz consigo a incidência de várias taxas consequentes do desenvolvimento econômico (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2011).

A energia solar por ser uma fonte limpa, renovável e abundante, é considerada uma solução ideal para abastecer eletricamente áreas remotas, desprovidas do fornecimento de energia elétrica, uma vez que para sua instalação em pequena escala não obriga a enormes investimentos em linhas de transmissão. A agregação dessas características traz vantagens positivas tanto para o meio ambiente, quanto para a sociedade em geral (GOMES, 2012).

Foi promovida nas últimas décadas como uma alternativa para combater as mudanças climáticas e seu uso aumentou significativamente. Os sistemas de energia térmica fotovoltaica e solar estão, portanto, em um processo contínuo de melhoria e o setor de energia continua se esforçando para implementá-los da maneira mais eficiente possível (SÁNCHEZ-PANTOJA; VIDAL; PASTOR, 2018).

Com o crescimento populacional nas últimas décadas, fez-se necessário um aumento do uso deste recurso energético. Levando em consideração que as fontes comumente utilizadas são esgotáveis, não renováveis e poluidoras, é imprescindível desenvolver medidas para mitigar estes impactos negativos e suprir através de fontes alternativas, as tradicionais fontes energéticas (BORTOLETTO; PEZZUTO, 2012).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2017), tendo como ano base 2016, o setor residencial foi responsável por 25,6% de todo o consumo de energia elétrica e é composta por equipamentos que incluem sistemas de iluminação, refrigeração e aquecimento, eletrodomésticos e outros dispositivos. Espera-se que o consumo total de energia no setor residencial cresça 1,8% ao ano entre 2016 e 2026. Sendo que os maiores responsáveis pela demanda elétrica residencial são o ar-condicionado, a geladeira e o chuveiro.

Por compor cerca de  $\frac{1}{4}$  do consumo médio de uma residência, o chuveiro tem grande impacto no consumo, levando em conta que nem todas as residências possuem ar condicionado, o chuveiro toma lugar ainda mais importante na

composição de consumo de energia nas residências, tornando o estudo ainda mais relevante (APPEL, 2019).

Por isso, em países tropicais, como o Brasil, que contam com um grande potencial de radiação solar, a utilização da energia solar é viável em praticamente todo o território. Porém, o número de empreendimentos no Brasil ainda é inexpressivo, principalmente quando comparado a outros países do mundo que se empenharam em criar políticas efetivas para fomentar o setor (SILVA; DO CARMO, 2017).

### **4.3 Sistema ASBC – Aquecedor solar de baixo custo**

Segundo Lopes (2004), considerando a grande incidência solar no Brasil, é possível economizar energia elétrica por meio da utilização da energia solar para aquecer a água, através da diminuição dos custos gerados pelos chuveiros elétricos ou até mesmo substituindo-os, tornando este tipo de sistema atrativo.

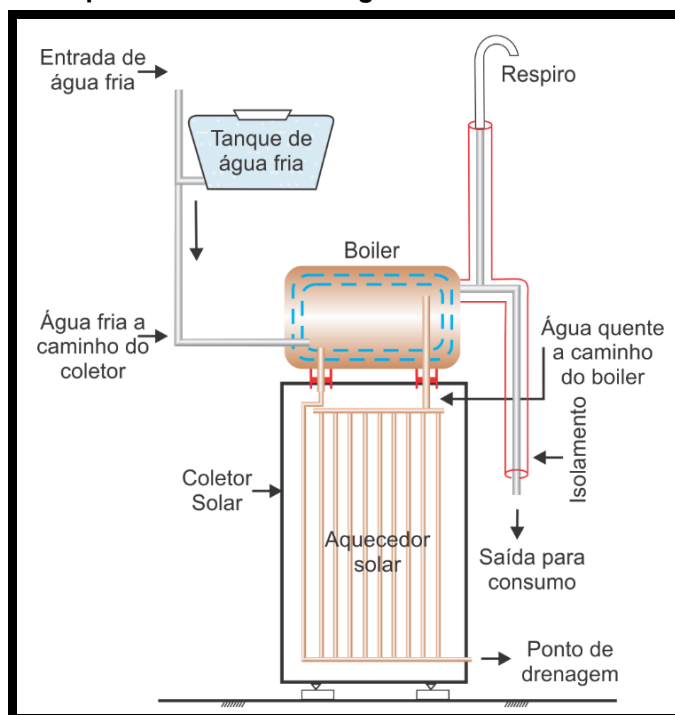
Há dois itens básicos utilizados nos aquecedores solares fabricados no Brasil: a placa coletora solar e o reservatório térmico, chamado de boiler. O desempenho de ambos está relacionado um com o outro. Além da placa e do boiler, são necessárias as tubulações, conexões e o fluido, sendo a água, o mais utilizado (SIQUEIRA, 2009).

O custo inicial para a implantação de um coletor solar ainda é considerado elevado para a renda de muitas famílias de países como o Brasil. Diante deste cenário, uma alternativa são os sistemas de aquecimento solares populares, ou seja, os Aquecedores Solares de Baixo Custo (ASBC), tais coletores solares são desenvolvidos com materiais de custo reduzido ou reciclados, além de serem projetados de maneira que a construção pode ser realizada de forma mais simples, permitindo o método de construção “faça você mesmo” (DIY – Do it yourself) (REBELATO, 2019).

A operação desse sistema se inicia com a captação da energia para aquecimento do fluido. Assim, faz-se com que aconteça a diminuição da sua densidade, iniciando o termossifão. O modelo de um sistema de aquecimento solar de água convencional com sistema termossifão pode ser observado na Figura 1.

Para isto acontecer, é necessário que os coletores estejam mais baixos que o reservatório, tornando o método mais econômico (REBELATO, 2019).

**Figura 1 - Sistema de aquecimento solar de água convencional com sistema termossifão**



Fonte: Rebelato (2019)

Uma forma de baixar o custo do aquecedor solar, é de reutilizar ou reciclar, no lugar de materiais nobres, materiais como aletas para aumentar a superfície de absorção, transferindo o calor através da condutividade térmica. Porém, coletores de baixo custo geralmente utilizam materiais que não resistem por um longo período de tempo quando expostos continuamente a radiação solar.

O reservatório de um aquecedor solar alternativo pode ser a própria caixa d'água da residência, também pode ser utilizado caixa de isopor, tambores de plástico de fibra de vidro ou plástico rígido desde que sejam isolados termicamente em suas extremidades com lãs (PET, vidro, rocha), isopor, madeira ou até mesmo jornal (SIQUEIRA, 2009).

#### 4.4 Resíduos gráficos

A indústria gráfica contribui expressivamente no progresso socioeconômico do Brasil. Esta impacta nos setores de ensino, cultura e na difusão de conhecimento

e cria a necessidade de aprimoramento nas técnicas de produção e obtenção de maior eficiência (BARBOSA et al., 2009). Os autores salientam que a área vem aperfeiçoando as técnicas de produção, com eficiência alavancada e uma crescente preocupação com o meio ambiente.

No ano de 2018, a indústria gráfica brasileira completou 210 anos, progressivamente elas geram uma série de resíduos sólidos, como embalagens vazias de tintas, de cartuchos da impressora de prova, de produtos químicos, solventes, papéis com tinta, materiais impressos descartados. Além disso, gera-se a solução de molha utilizada na lavagem das impressoras (efluente líquido), blanquetas (borracha que garante aderência da tinta), chapas de alumínio usadas, resíduos de marcação nas chapas de alumínio feita pela máquina gravadora, resíduo da goma utilizado no processo de revelação das chapas de alumínio, resíduos de perfuração das chapas, entre outros (CALEGARI et al., 2015).

Pode-se citar como exemplo a gráfica da UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde em um mês, quatro toneladas de resíduos foram gerados nos setores de impressão *offset* e de acabamento. Esta quantidade corresponde a aproximadamente 600 chapas de alumínio, 650 panos industriais e 18 blanquetas, além de embalagens e papéis contaminados com tinta (CALEGARI et al., 2015).

As chapas de alumínio são utilizadas como matriz na impressão de panfletos, livros, jornais, revistas, entre outros materiais gráficos. Cada uma imprime apenas uma cor de tinta, ou seja, quando o trabalho possui mais de uma cor, cada cor é utilizada em uma chapa de impressão, tendo capacidade de 50.000 a 500.000 impressões iguais. Porém, após seu uso não podem ser regravadas, sendo necessário seu descarte e se comparando com grandes impressões, quando a tiragem for para pequenos trabalhos, as placas tornam-se mais caras devido seu custo-benefício (ABIMFI, 2012; SAAD, 2012).

Essas chapas de impressão *offset* podem variar de 0,15 a 0,5 milímetros de espessura e possuem três camadas, uma fotossensível, outra de substrato e a terceira camada é o alumínio. Sua condutividade térmica é de 205,00 W/(m.k), enquanto a condutividade térmica do cobre é de 385,00 W/(m.K), em comparação, o ferro tem condutividade térmica de 79,5 W/(m.K) (YOUNG, 1992).

#### 4.5 Aletas e sistema termossifão

As chapas de impressão *offset* são planas, lisas e constituídas por alumínio (material de elevada condutividade térmica e resistente a irradiação solar), ou seja, possuem características excelentes para serem utilizadas como aletas em sistemas de coletor solar (REBELATO, 2019).

Abrahão et al. (2007, p. 1) explicam que: “As aletas são superfícies estendidas a partir de uma superfície de um objeto, de modo a aumentar sua taxa de transferência de calor para o ambiente (ou vice-versa) por meio do aumento da convecção”.

Siqueira (2009) e Arouca (2010) apontam que a densidade da água, se dá conforme sua temperatura e o sistema de termossifão está baseado nesta diferença. A circulação do fluido está ligada proporcionalmente com a radiação solar recebida e o funcionamento do sistema termossifão será intermitente se a temperatura do fluido do coletor e do reservatório se igualarem ou se a intensidade solar não for suficiente para manter a temperatura do fluido em diferentes níveis. Assim, a água quente por ser menos densa que a água fria sobe pelos canos até o reservatório e permanece em sua parte superior e a água fria, por sua vez mais densa que a quente, desce para a parte inferior do reservatório, promovendo assim a circulação natural da água pela unidade experimental.

O reservatório deve ser instalado pelo menos 50 cm abaixo do reservatório de água fria e no máximo 500 cm entre o coletor e o reservatório, sendo que o reservatório sempre deve se manter acima do coletor, com o intuito de criar pressão suficiente para que o boiler se mantenha sempre cheio, bem como pelo menos 50 cm acima da entrada do coletor solar para viabilizar o efeito de termossifão. Este arranjo pode ser disposto de forma diferente, porém, haverá necessidade de um pressurizador para que o sistema funcione (SIQUEIRA, 2009).

No caso do Brasil, como os coletores operam no hemisfério sul, sua orientação deve ser dada para o norte e o ângulo conforme a latitude do local. Se o coletor funcionar com o sistema de termossifão, este ângulo deverá estar inclinado a mais 10° que o ângulo da latitude. Este aumento se dá para que o início do processo de circulação do termossifão comece mais facilmente, também compensando a declinação anual solar, fazendo com que o sol incida o mais perpendicularmente possível na placa fixa (REBELATO, 2019).



#### 4.6 Inclinação dos telhados de residências de baixo custo

Existe no comércio diferentes materiais para cobrir uma residência e entre eles cada um pode ter sua inclinação para instalação, mas pelo fato deste trabalho desenvolver um coletor solar de baixo custo, construído com material de baixo custo e de descarte, acredita-se que a utilização do mesmo ocorrerá principalmente por famílias de baixa renda.

Uma forma de adquirir a casa própria, é através de financiamentos, um deles muito conhecido pela população brasileira é o programa do governo federal Minha Casa Minha Vida. E para ele, na cartilha da Caixa, há a característica geral da cobertura. Cita-se nela que sobre a laje é necessário a utilização de telha cerâmica ou de fibrocimento, com espessura mínima de seis milímetros (CAIXA, 2014).

Há uma norma regulamentadora imposta para cada tipo de telha e há uma inclinação para cada cobertura. Após estudos, concluiu-se que para a telha cerâmica é necessária a inclinação de 30% à no máximo 36%. Para as telhas de fibrocimento (melhor custo-benefício) a inclinação média utilizada é de 15%, sendo inclinação mínima de 5° (9%) e máxima de 30° (58%) (REBELATO, 2019).

Logo, a instalação do sistema de captação solar é compatível com as edificações abrangidas pelo programa de habitação minha casa minha vida, onde a inclinação padrão das edificações supera a inclinação mínima necessária para o funcionamento dos captadores (REBELATO, 2019).

Com a obrigatoriedade de laje sob a cobertura das edificações, comumente é utilizado um volume mais elevado que a laje de cobertura, o qual é destinado para o reservatório de água da edificação. O reservatório necessita de uma altura manométrica mínima de 100 cm para o adequado abastecimento de água da residência. Esta altura está dentro dos parâmetros de funcionamento do processo de termossifão (REBELATO, 2019).

No Brasil, como os coletores operam no hemisfério sul, deve-se ajustar o captador solar mais para o norte na cobertura da residência para garantir maior incidência de luz durante o dia, com inclinação angular similar ao da latitude local e posicionado onde haja pouco sombreamento durante o dia (ANEEL, 2004). Se isso não for totalmente possível, instalar o captador solar mais próximo das indicações.

#### **4.7 Radiação solar no Brasil**

Para um coletor solar desenvolver bom desempenho, a intensidade de radiação solar na placa coletora e a temperatura do ambiente são importantes fatores a serem levados em consideração. Levando em consideração que grande parte da extensão territorial do Brasil se encontra entre a linha do Equador e o trópico de Capricórnio, a incidência solar é grande e não varia muito durante o dia. E ainda por possuir ao longo do país predominância de altitudes mais baixas, ocorrem temperaturas mais elevadas, com média superior a 20°C (REBELATO, 2019).

A Aneel (2004) cita que pelo país possuir um clima predominantemente tropical e temperaturas elevadas em comparação aos países europeus, os quais atualmente detêm os maiores índices de investimentos em produção de energia solar, o Brasil se encontra em melhor localização e clima para utilizar tal fonte.

Na busca por fontes alternativas o Brasil apresenta grandes diferenciais em relação a outros países, como condições geográficas e climáticas favoráveis além de sua imensa biodiversidade. (SILVA; DO CARMO, 2017).

#### **4.8 Município de Francisco Beltrão**

Em 1945 o distrito de Francisco Beltrão, até então Vila Marrecas, pertencia para o interior do futuro município de Renascença, mas sua transformação foi rápida, seu povoado começou a se formar em 1947, quando Damásio Gonçalves construía a primeira pensão e em menos de cinco anos a vila era elevada à condição de sede do município. Em 1954, Francisco Beltrão transformava-se também em sede de Comarca. O desenvolvimento era grande, impulsionado pela extração da madeira e agricultura. O nome do município é uma homenagem ao paranaense Francisco Gutierrez Beltrão, engenheiro, secretário de estado e grande colonizador do Paraná (IBGE, 2017).

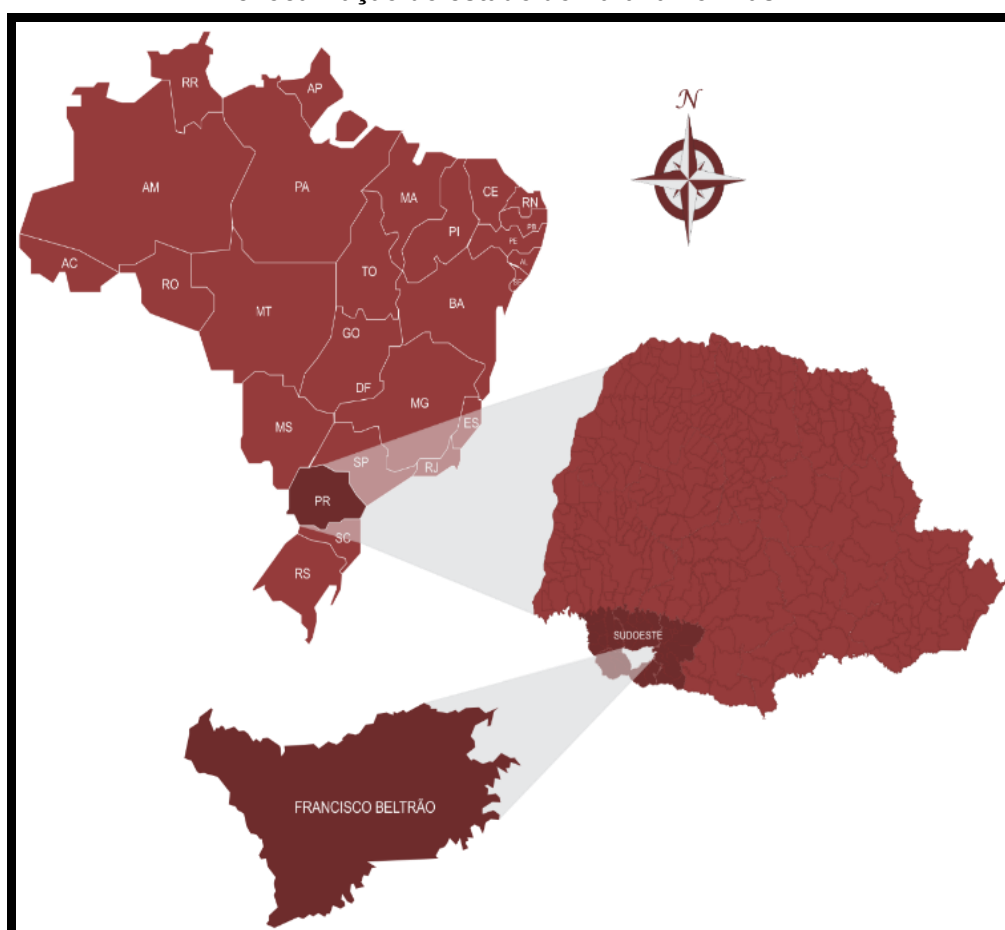
Francisco Beltrão é um município brasileiro localizado no centro do Sudoeste do estado do Paraná, com área total de 732.939 km<sup>2</sup> e população estimada em 92.216 pessoas em 2020, conforme dados do IPARDES. O maior adensamento ocorre na parte mais plana, o centro da cidade, localizado na parte sudeste do

município com aproximadamente 50 km, local que desenvolveu fortemente o comércio, construções públicas e agências bancárias (IBGE, 2017).

Localiza-se a cerca de 470 km da capital do estado, Curitiba, a cerca de 70 km da Argentina e a 30 km da divisa do estado com Santa Catarina e em menos de 5 km encontra-se a cidade vizinha, Marmeleiro (REBELATO, 2019).

A Figura 2 mostra a localização do município no estado do Paraná e do estado do Paraná no Brasil.

**Figura 2 - Localização do município de Francisco Beltrão na mesorregião do estado do Paraná e localização do estado do Paraná no Brasil**



Fonte: Rebelato (2019)

Seu relevo é bastante variável, possui áreas praticamente planas e em contrapartida também acentuados declives. Sua altitude média é de 570 m, mas encontra-se entre altitude mínima de 450 m e máxima de 950 m.

O município delimita-se com as seguintes cidades: Nova Esperança do Sudoeste, Enéas Marques e Verê ao norte, Itapejara d'Oeste, Bom Sucesso do Sul

e Renascença ao leste, Manfrinópolis, Pinhal de São Bento e Ampére ao oeste e ao Sul, o município de Marmeleiro, conforme Figura 3.

**Figura 3 - Limites de Francisco Beltrão com municípios vizinhos**



**Fonte: IPARDES (2021)**

Segundo Machado (2015), as coordenadas geográficas de Francisco Beltrão são: latitude (distância medida em graus ao longo do Equador ao meridiano de Greenwich) 26° (graus) 04' (minutos) 51'' (segundos) S (ao Sul) e longitude (distância medida em graus, porém do meridiano de Greenwich ao longo do Equador) 53° 03' 18'' O (Oeste).

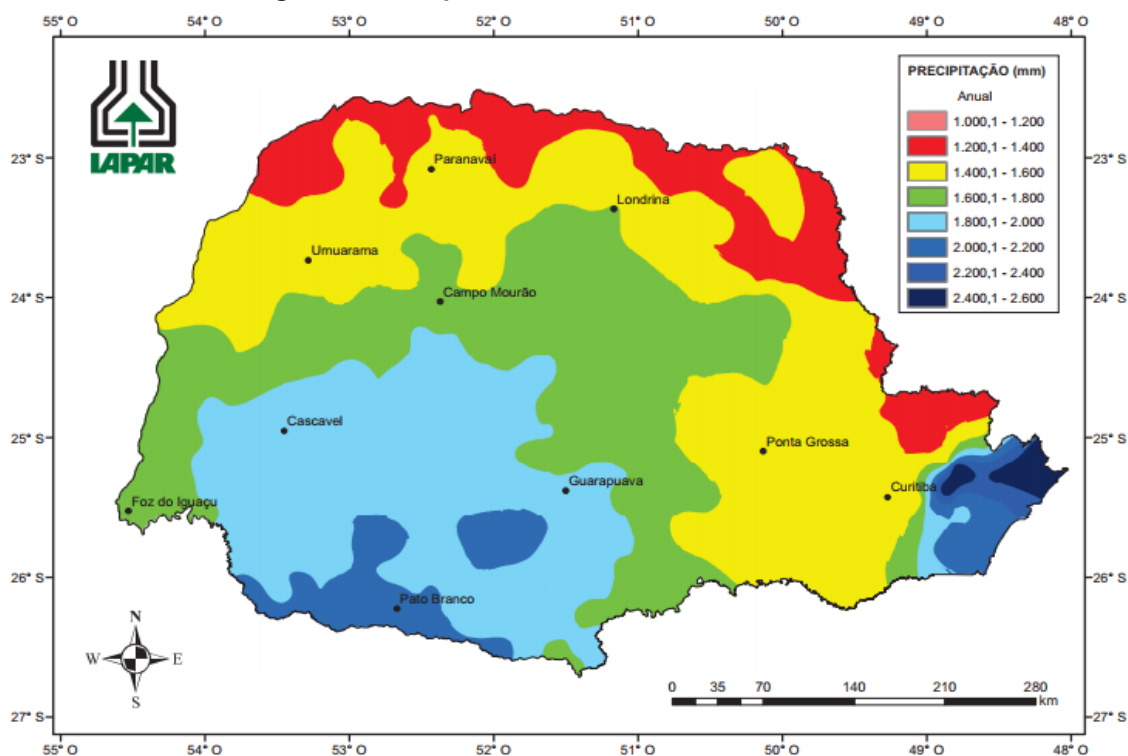
Atualmente, o município é um dos maiores da região e concentra vários tipos de serviços e comércios. Possui rodovias partindo de quase todas as direções, formando um entroncamento viário regional (REBELATO, 2019).

#### 4.8.1 Precipitação

Define-se precipitação como sendo qualquer deposição em forma líquida ou sólida proveniente da atmosfera, podendo ser chuva, granizo, neve, neblina, chuvisco, orvalho e outros. É medida em milímetros, sendo equivalente a um litro de água em uma área de 1 m<sup>2</sup> (IAPAR, 2019).

Como pode-se observar na Figura 4, a precipitação anual média do município de Francisco Beltrão é de 2100 mm.

**Figura 4 - Precipitação anual no Estado do Paraná**



Fonte: IAPAR (2019)

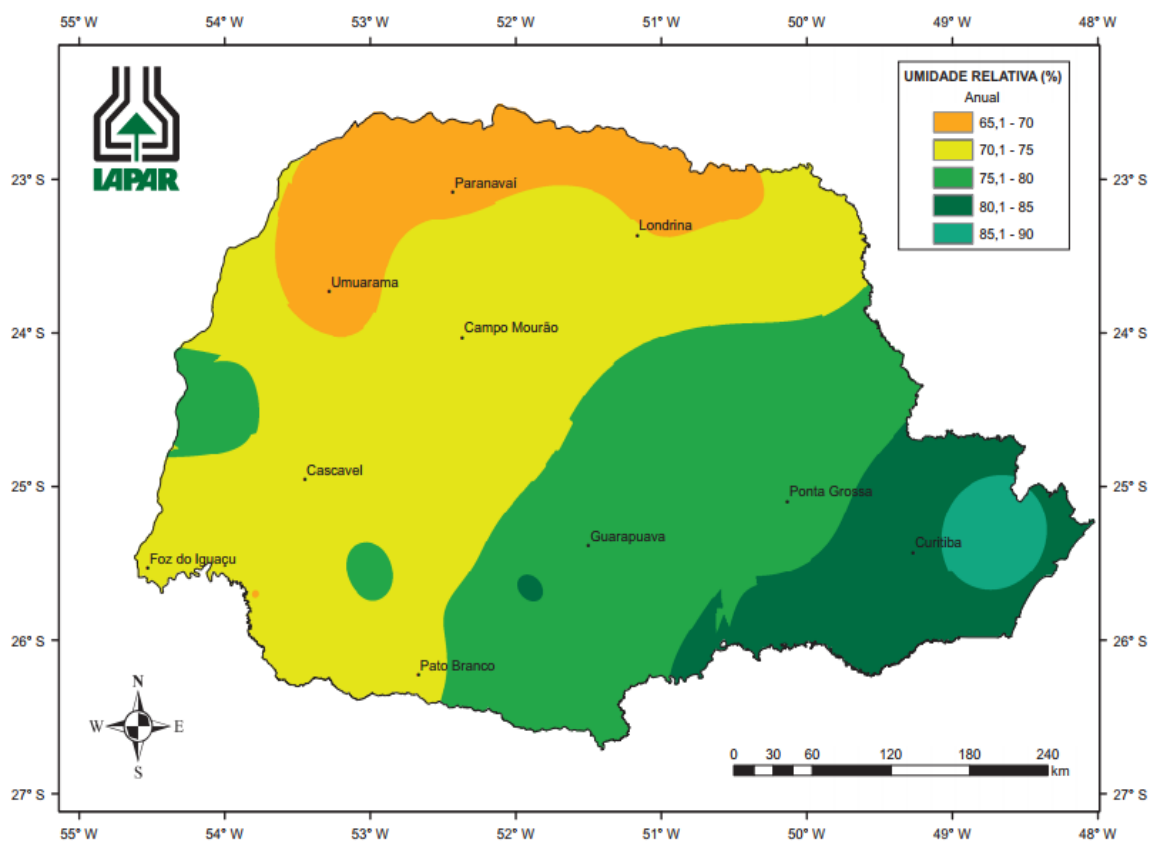
A precipitação do estado do Paraná é bastante variada. Nas regiões como a Central e o Oeste paranaense, chegam a atingir entre 10% a 15% de precipitação e já a região Sudoeste do Paraná, possui diferentes medidas de precipitação, que variam de 20% até 45% na precipitação média anual. O município de Francisco Beltrão recebe em torno de 25% a 30%, ou seja, está na média de precipitação anual do estado do Paraná (REBELATO, 2019).

Segundo a IAPAR (2019), o mês de agosto é o mês mais seco, com apenas 110,0 mm de precipitação média e o mês mais chuvoso é o de outubro, com 250 mm de precipitação média.

#### 4.8.2 Umidade

Na Figura 5, apresenta-se a umidade média anual do Estado do Paraná.

**Figura 5 - Umidade relativa do ar anual no Estado do Paraná**



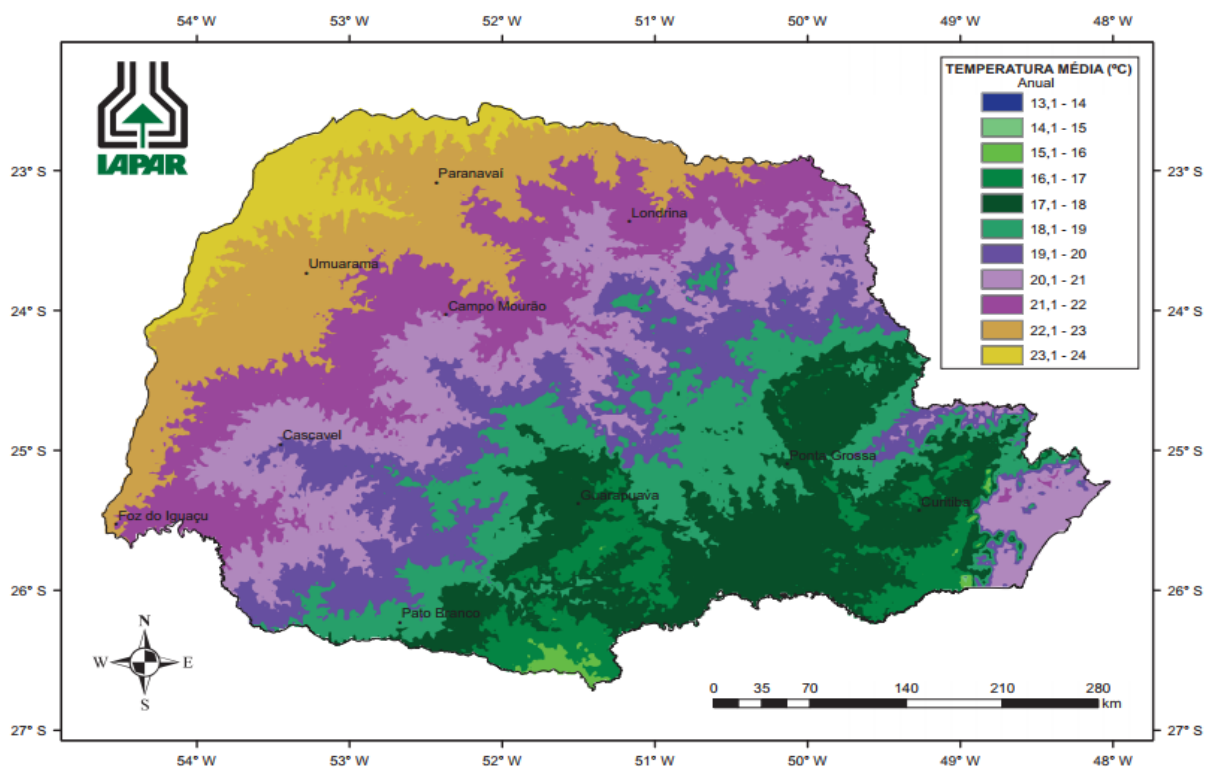
Fonte: IAPAR (2019)

Pode-se observar que a umidade anual da localização do município de Francisco Beltrão é de 72,55%, sendo que o período da manhã não oscila tanto quanto o da tarde.

#### 4.8.3 Temperatura

Francisco Beltrão tem temperaturas que variam de 29,7°C a 6,2°C, com média anual de 18,5°C, como pode ser visto na Figura 6.

**Figura 6 - Temperatura média do ar anual no Estado do Paraná**



Fonte: IAPAR (2019)

As temperaturas mínimas e máximas anuais do município de Francisco Beltrão, se comparado com os outros municípios do Estado, encontra-se sempre com temperaturas médias, com variações aceitáveis para a implantação de um sistema de aquecimento solar, não havendo grande possibilidade de congelamento do sistema.

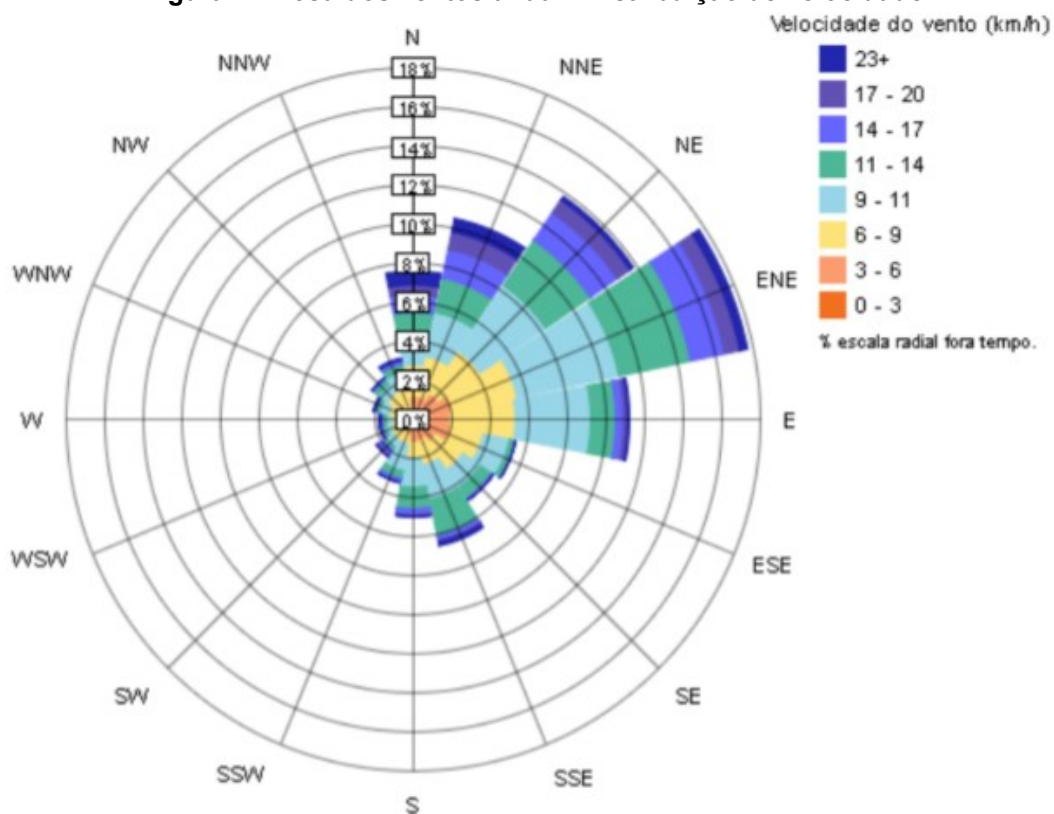
Segundo dados do IAPAR (2019), os meses mais quentes no município de Francisco Beltrão são os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, superando os 23°C de média e a temperatura mínima média registrada nestes meses foi de 21,7°C. A temperatura média mais baixa registrada, normalmente ocorre no mês de junho. Nota-se então, que o clima do município é ameno durante o ano inteiro, pois não ocorre verões muito quentes, nem invernos rigorosos.

#### 4.8.4 Ventos

Como pode-se observar na Figura 7, o vento anual predominante no município de Francisco Beltrão – PR encontra-se na direção para o intermédio

nordeste, seguindo do colateral nordeste e cardeal leste, com velocidade predominante entre 9 e 17 km/h.

**Figura 7 - Rosa dos ventos anual - Distribuição de velocidade**



Fonte: Rebelato (2019)

Durante o ano dificilmente os ventos chegam a mais de 24 km/h e através da análise de intensidade dos ventos mensais, apenas nos meses mais frios do ano (junho, julho e agosto) a velocidade dos ventos passam um pouco acima dos 24 km/h, tornando a sensação térmica mais baixa e um resfriamento maior nesta época do ano (REBELATO, 2019).



## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

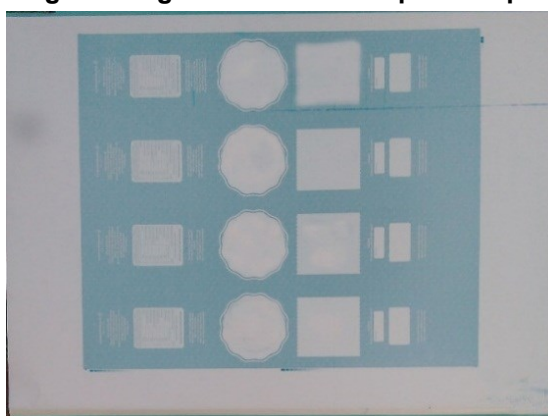
Neste trabalho foram propostos dois captadores solares de baixo custo:

- captador solar em configuração “S” com chapas de alumínio associadas.
- coletor solar com tubos de polietileno associado a chapas de alumínio recicladas.

Ambos os coletores foram construídos com chapas de alumínio reaproveitadas para funcionarem como aletas no sistema de aquecimento. Tais chapas possuem elevada condutividade térmica e resistência à irradiação solar. Os tubos de polietileno possuem características de fácil aquisição comercial e elevada flexibilidade. A utilização das chapas foi proposto pela primeira vez por Rebelato (2019) e a utilização das tubulações de polietileno foi proposto por Appel (2019).

As chapas de alumínio foram obtidas a partir do descarte de uma indústria gráfica. Nestas indústrias, estas chapas são utilizadas como matriz de impressão nas impressoras designadas como *offset*. Após a utilização, essas chapas são geralmente descartadas, gerando grande quantidade de resíduo, permitindo desta forma, o reaproveitamento do material. A imagem de uma chapa de impressão *offset* é apresentada na Figura 8.

**Figura 8 - Imagem fotográfica de uma chapa de impressão *ofsset***



**Fonte: Autoria própria (2020)**

Nas chapas de impressão *offset* existem porções de área na cor ciano, estas áreas possuem características que permitem a absorção de tinta para depois transmitir para o papel, gerando assim a impressão. Para o desenvolvimento do captador solar, as áreas na cor ciano e na cor prata não fizeram diferença, tendo em

vista que as chapas foram todas pintadas na cor preto fosco. O recobrimento das chapas na cor preto fosco é importante para aumentar absorção da radiação solar, e assim, transmitir uma maior quantidade de calor para o fluido.

### **5.1 Captador solar em configuração “S” com chapas de alumínio associadas**

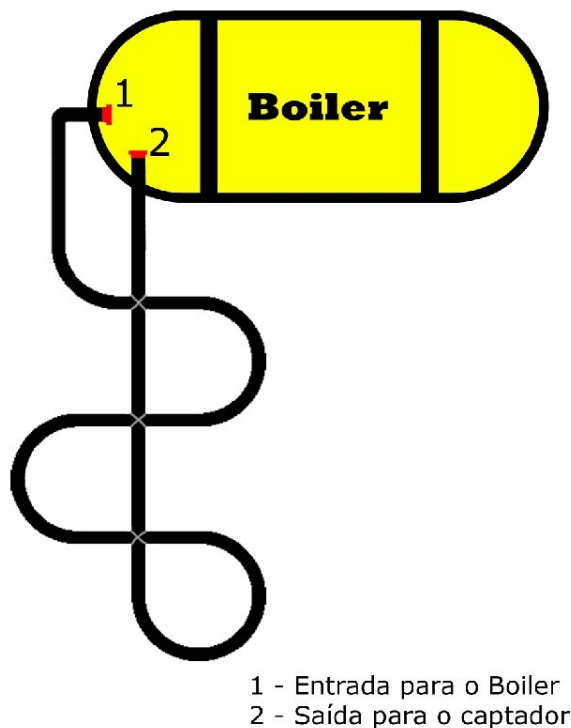
A montagem da tubulação do captador solar seguindo a geometria em “S” foi proposto por Appel (2019) e tal técnica permitiu reduzir a quantidade de conexões para a montagem do captador, melhorando a confiabilidade do equipamento em relação aos pontos passíveis de falha, evitando, assim, possíveis vazamentos no sistema.

O sistema completo possuía 30 m<sup>2</sup> de captação e 75 m de comprimento de tubo que foram divididos em três partes em paralelo com 25 m exatamente iguais (10 m<sup>2</sup> de captação solar cada), desenvolvidos em formato “S”.

Foram utilizados tubos de polietileno, conhecidos comercialmente como mangueiras de irrigação ou de jardim, pois tal material possui característica de elevada flexibilidade, permitindo uma fácil montagem no formato “S”.

Como pode ser observado na Figura 9, o sistema “S” é composto de um reservatório que possui uma saída para o captador, com uma mangueira que se prolonga inicialmente de maneira retilínea e desenvolve, em seu trajeto, deslocamentos em arco, compondo trajetos semelhantes a senoidais, os quais, nos cruzamentos com a parte retilínea, recebem as fitas Hellermann (abraçadeiras plásticas), sendo que, após os trajetos senoidais, se projetam até a entrada para o boiler (APPEL, 2019).

**Figura 9 - Esquema do captador solar de baixo custo em configuração "S" com aletas de chapas de alumínio**



1 - Entrada para o Boiler  
2 - Saída para o captador

**Fonte: Autoria própria (2022)**

A montagem foi realizada sobre um telhado inclinado, eliminando a necessidade de suportes de ajustes de inclinação os quais poderiam onerar a construção do coletor. A configuração em formato "S" juntamente com a cobertura inclinada foi utilizada para induzir a circulação natural do fluido (termossifão).

Foi utilizado o ensaio passivo em regime batelada, ou seja, quando o fluido não entra e nem sai do sistema durante o ensaio, com o objetivo de comparar a temperatura do reservatório do coletor com a temperatura do reservatório convencional, através da coleta dos dados.

#### 5.1.1 Instalação das aletas

Para anexar as aletas aos tubos de polietileno, foi utilizado linha de monofilamento (linha de nylon) e uma agulha de 150 mm, desta forma, foi possível fixar as aletas na tubulação de forma simples, sem a necessidade de um gabarito específico para geração de cortes mais complexos. Para amenizar a degradação térmica, todas as aletas foram pintadas com tinta *spray* na cor preto fosco. Costa

(2007) cita que os pigmentos pretos absorvem a radiação ultravioleta, aumentando assim a temperatura do fluido.

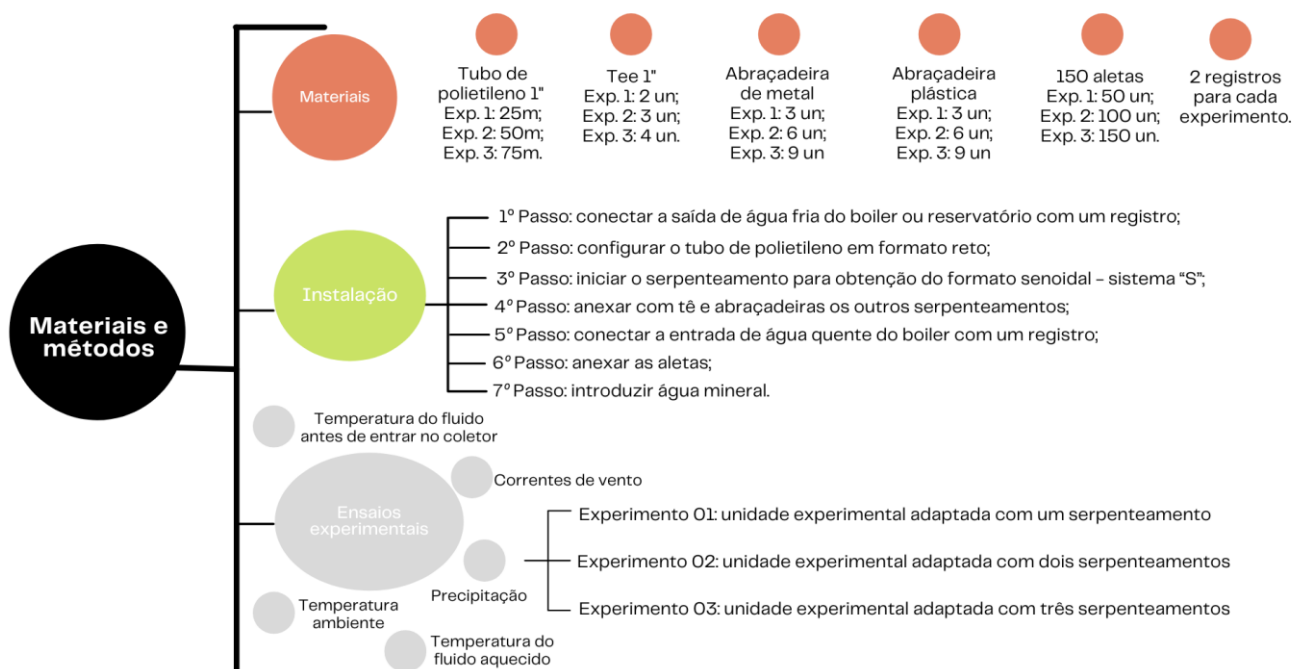
Em cada experimento foram utilizadas 50 aletas e notou-se que para a instalação não é necessário nenhum conhecimento técnico.

### 5.1.2 Unidade experimental completa

Com o sistema de captação solar montado, fez-se a associação com o boiler e o termopar e na sequência foi introduzido água mineral no tubo até encher.

Os materiais necessários, os passos para instalação do captador solar e os experimentos podem ser observados no Fluxograma 1.

**Fluxograma 1 - Materiais e métodos para instalação da unidade**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

### 5.1.3 Ensaio experimentais

Os ensaios experimentais consistiram em registrar a temperatura do fluido na parte superior do boiler de 100 litros, ou seja, a temperatura do fluido aquecido pelo sistema de captação solar que seria distribuída para a residência.

As temperaturas eram medidas a cada 20 minutos de forma automática, com o termômetro da marca Mastech, modelo MS6514, através de dois termopares.

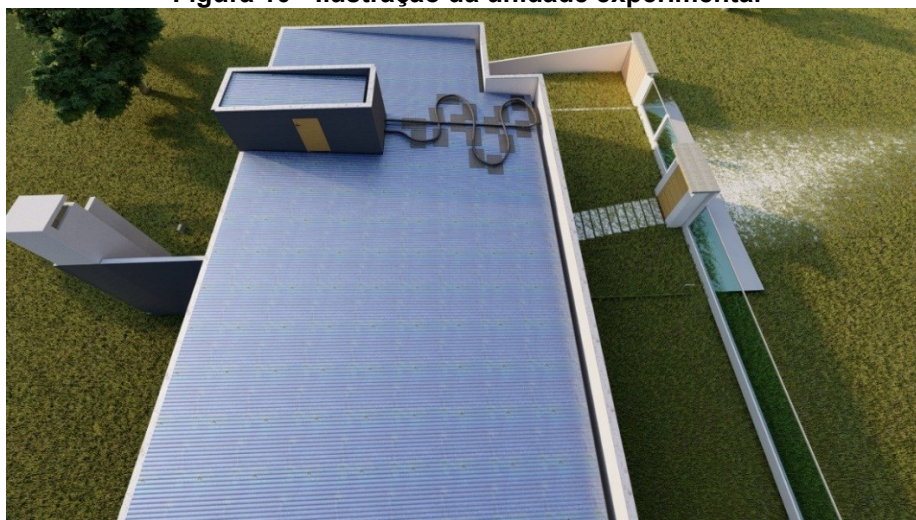
Também foram obtidas as informações de temperatura ambiente, correntes de vento e precipitação através da estação meteorológica localizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Francisco Beltrão, Brasil.

Os ensaios experimentais foram conduzidos no verão e outono em dias distintos e com condições climáticas variadas, todos realizados no município de Francisco Beltrão – PR. Durante os experimentos o reservatório térmico (boiler) estava devidamente associado ao sistema de captação solar.

Os experimentos foram realizados neste período do ano pois segundo estudos anteriores, coletores solares planos sem cobertura tendem a ter um rendimento muito baixo nas estações mais frias, principalmente na região Sul do Brasil que apresenta invernos mais rigorosos, podendo ocorrer o risco de congelamento do fluido. Por isso, este tipo de coletor solar é mais eficiente no verão, estação que possui uma incidência maior na quantidade de radiação solar.

Foram realizados três experimentos, denominados de Experimento 01, Experimento 02 e Experimento 03, e a ilustração dos sistemas de captação desenvolvidos estão apresentados na Figura 10.

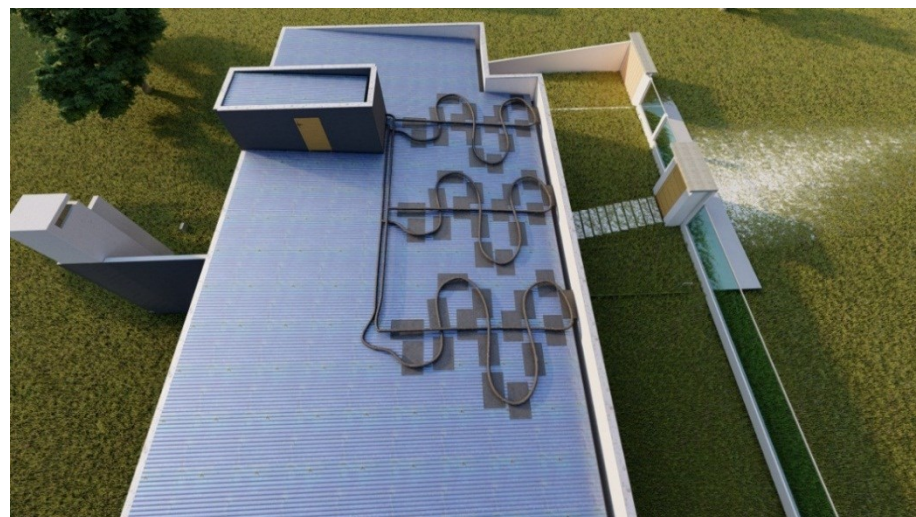
**Figura 10 - Ilustração da unidade experimental**



**a) Experimento 01**



**b) Experimento 02**



**c) Experimento 03**

**Fonte: Autoria própria (2022)**

As datas e horas de início e término para cada experimento podem ser observados na Tabela 1 a seguir.

**Tabela 1 - Data e hora de início e término de cada experimento**

<b>Experimento</b>	<b>Data/Início</b>	<b>Hora/Início</b>	<b>Data/Término</b>	<b>Hora/Término</b>
01	04/12	18:40	11/12	17:40
02	18/02	17:00	25/02	19:30
03	26/02	11:00	05/03	19:00

**Fonte: Autoria própria (2022)**

As informações obtidas com os experimentos permitiram avaliar a viabilidade do uso dos tubos de polietileno e das chapas *offset* como aletas para serem utilizadas em um aquecedor solar de baixo custo.

## **5.2 Coletor solar com tubos de polietileno associado a chapas de alumínio recicladas**

Os tubos de polietileno utilizados neste coletor solar tem condutividade térmica 66% maior que os tubos de PVC relatados por exemplo no trabalho de Rebelato (2019), tendo o polietileno condutividade 0,35 W/m.K e o PVC 0,21 W/m.K. Como estes elementos estão em contato direto com a água a ser aquecida, a maior condutividade traz ganhos ao conjunto.

Os ganhos adicionados ao aquecedor também se dão ao que se refere a suas conexões. As abraçadeiras metálicas, por terem grande amplitude térmica ao ficarem expostas a radiação solar, compõem uma ligação mecânica que tende a resistir melhor que ligações químicas as ações de retração a que são submetidas.

Assim, ao utilizar estes materiais, o coletor se mostrou mais resistente as ações do vento e da chuva, as quais permitem reduzir as torções nos tubos, sendo que, tais movimentações são indesejadas, pois, poderiam ocasionar falhas nas conexões, aumentando o risco de vazamentos.

### **5.2.1 Unidade experimental**

O coletor solar proposto foi desenvolvido com dimensões de 115 cm x 75 cm, totalizando 0,86 m<sup>2</sup> de área de captação solar. Para montagem, inicialmente foi

anexado os tubos de polietileno em paralelo a um suporte de madeira. Como as chapas *offset* são finas e relativamente flexíveis, foi possível moldá-las em cima dos tubos e aparafusá-las, de forma a obter uma associação chapa-tubulação com o máximo de contato possível. A ilustração da unidade experimental completa pode ser observada na Figura 11.

**Figura 11 - Ilustração da unidade experimental**

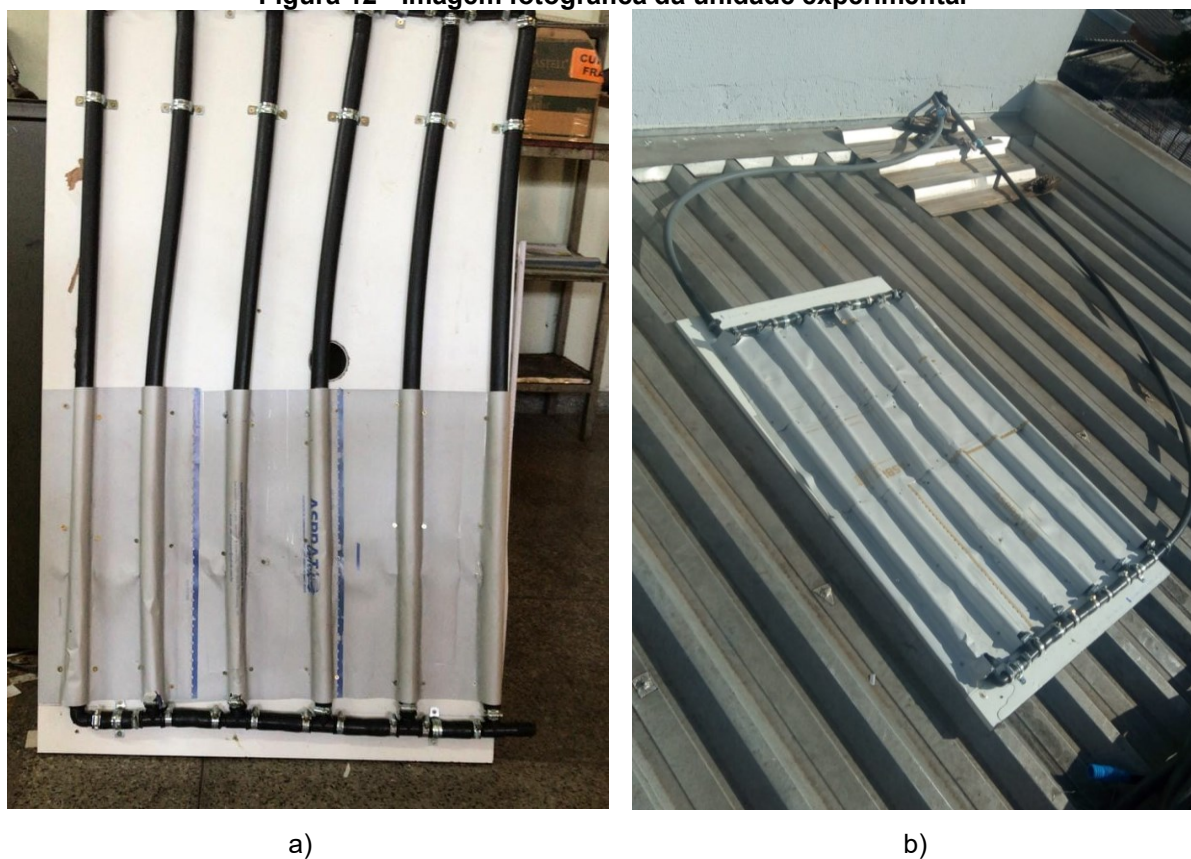


**Fonte: Autoria própria (2022)**

Para um melhor entendimento, na Figura 12 têm-se duas imagens fotográficas da unidade experimental. Na Figura 12a tem-se a unidade antes de anexar todas as aletas e na Figura 12b tem-se a unidade completa antes de ser realizado o recobrimento com tinta na cor preto fosco.



Figura 12 - Imagem fotográfica da unidade experimental



Fonte: Autoria própria (2022)

Com o sistema de captação solar montado, fez-se então a associação com o boiler e o termopar. Na sequência foi introduzida água no tubo até completar a capacidade do reservatório térmico.

Foram utilizados os seguintes materiais para a montagem do captador solar:

- 06 tubos de polietileno para irrigação, com comprimento de um metro e diâmetro de  $\frac{3}{4}$  de polegada;
- 02 joelhos de  $\frac{3}{4}$  de polegada;
- 10 conexões tee de  $\frac{3}{4}$  de polegada;
- 32 abraçadeiras de metal;
- 06 chapas de impressão *offset* formato 4 (46x38 cm x 4 mm de espessura);
- 72 parafusos de madeira (rosca soberba);
- 01 suporte de madeira.

### 5.2.2 Ensaaios experimentais

Os ensaios experimentais consistiram em registrar a temperatura do fluido na parte superior do boiler de 100 litros, ou seja, a temperatura do fluido aquecido pelo sistema de captação solar que seria distribuída para a residência.

As temperaturas eram medidas a cada 20 minutos de forma automática, com o termômetro da marca Mastech, modelo MS6514, através de dois termopares.

Também foram obtidas as informações de temperatura ambiente, correntes de vento e precipitação através da estação meteorológica localizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Francisco Beltrão, Brasil.

Os ensaios experimentais foram conduzidos no verão em dias distintos e com condições climáticas variadas. Os ensaios foram realizados no município de Francisco Beltrão – PR e tiveram início no dia 05/02 às 18:00h até o dia 08/02 às 17:00h. Durante os experimentos o reservatório térmico (boiler) estava devidamente associado ao sistema de captação solar.

As informações obtidas com os experimentos permitiram avaliar a viabilidade do uso dos tubos de polietileno e das chapas *offset* como aletas para serem utilizadas em um aquecedor solar de baixo custo.

### 5.2.3 Cálculo da eficiência térmica do sistema de captação solar

O Sol emite uma grande quantidade de energia para a Terra, porém, a quantidade de energia radiante recebida no topo da atmosfera, é diferente da quantidade que atinge o solo terrestre. Para obter a radiação incidente no coletor solar, é necessário algumas informações, como a hora do dia da coleta, época do ano, latitude geográfica, inclinação e orientação do coletor.

A eficiência térmica do sistema de aquecimento solar pode ser determinada pela razão do ganho útil em um determinado período de tempo pela energia solar incidente neste mesmo período de tempo,

$$\eta = \frac{Q_u}{A_s I} \quad (1)$$

em que  $Q_u$  é a energia térmica útil absorvida pelo fluido de trabalho (kJ),  $A_s$  é a área de captação solar do coletor ( $m^2$ ) e  $I$  é fluxo de radiação solar incidente na placa coletora ( $kJ/m^2$ ).

De acordo com Barbosa et. al (2019), a energia térmica útil absorvida,  $Q_u$ , pode ser obtida a partir da Equação 2:

$$Q_u = mc_p (T_i - T_f) \quad (2)$$

em que  $m$  é massa de fluido no reservatório térmico,  $c_p$  é o calor específico do fluido,  $T_i$  é a temperatura inicial do reservatório térmico e  $T_f$  é a temperatura do reservatório após transcorrido um tempo  $t$ .

A temperatura inicial ( $T_i$ ) utilizada foi a primeira temperatura do dia em que foi observado o início de uma elevada taxa de crescimento da temperatura do boiler. A temperatura final ( $T_f$ ) utilizada foi a temperatura máxima do dia.

As informações de radiação solar incidente foram obtidas a cada 15 minutos ( $I_h$ ), a partir dos dados fornecidos pela Estação Meteorológica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Francisco Beltrão.

Desta forma, foi obtido o fluxo total de radiação incidente a partir do somatório da radiação incidente para cada 15 minutos,  $I = \sum I_h$ . Assim, com tais informações e a partir da Equação 1 e da Equação 2, chegou-se a seguinte expressão (COSTA, 2007),

$$\eta = \frac{mc_p (T_i - T_f)}{A_s \sum I_h} \quad (3)$$

A Equação 3 pode ser utilizada para determinar a eficiência do sistema de aquecimento solar. Para este estudo foi considerado 100 kg de massa de água e calor específico da água no valor de  $c_p = 4147 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$  e a partir dos experimentos realizados na unidade experimental completa, foi possível estimar a quantidade de energia radiante incidente no coletor e calcular a quantidade de energia absorvida pela água.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados dos dois coletores solares, obtidos a partir das unidades experimentais e demais dados pertinentes, como vento e precipitação pluviométrica. Assim como, a comparação das unidades experimentais e outros resultados convenientes.

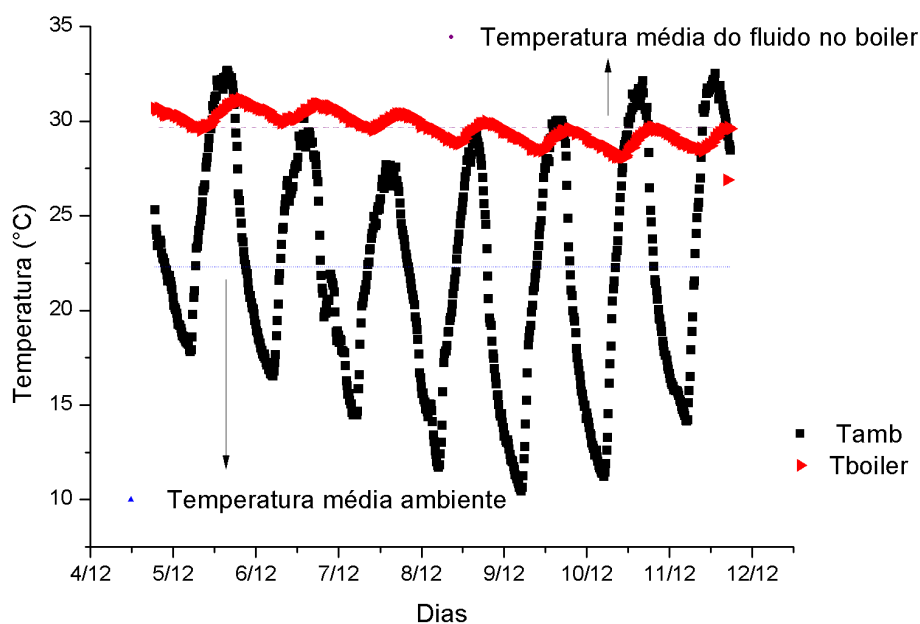
### **6.1 Resultados do captador solar em configuração “S” com chapas de alumínio associadas**

Na seção são mostrados os resultados de cada unidade de serpenteamento do captador solar em configuração “S” com chapas de alumínio associadas.

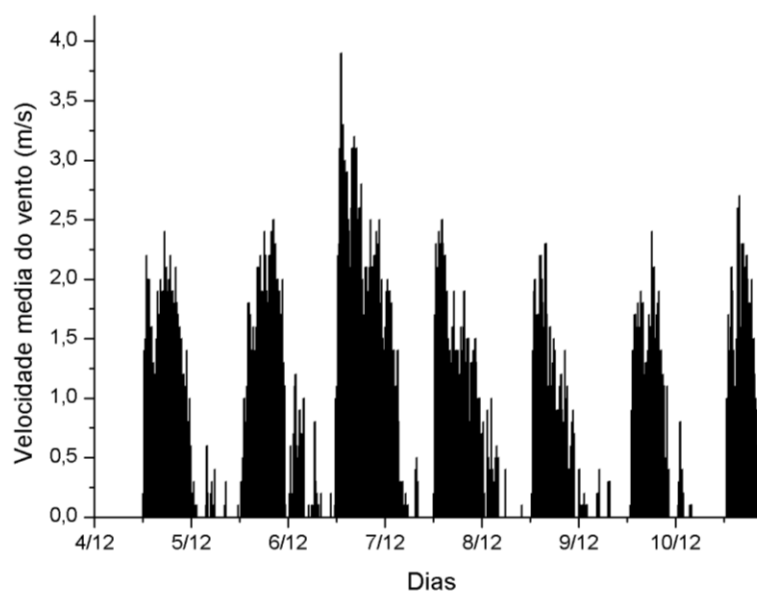
#### **6.1.1 Experimento 1 - Unidade experimental com um serpenteamento**

O Gráfico 3a apresenta os resultados da variação da temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ) e da temperatura do fluido no boiler ( $T_{boiler}$ ), para a unidade experimental com os tubos em configuração “S” com 1 serpenteamento. As condições climáticas durante o experimento foram de predominância de céu claro e não houve precipitação durante o experimento. As correntes de vento estão apresentadas no Gráfico 3b.

**Gráfico 3 – Comportamento e condições climáticas associadas ao sistema de aquecimento solar em configuração “S” com um serpenteamento. (a) Variação de temperatura no sistema de aquecimento solar em que  $T_{boiler}$  é a temperatura do fluido no boiler e  $T_{amb}$  é a temperatura ambiente. (b) Correntes de vento.**



(a)



(b)

**Fonte: Autoria própria (2021)**

Observa-se no Gráfico 3a que a temperatura ambiente mínima foi de 10,45°C e a máxima 32,67°C. A temperatura mínima do boiler foi de 28,1°C no dia 10/12 às 08:20h, e seu ápice foi de 31,2°C no dia 05/12 às 19:20h. Tais resultados indicaram uma amplitude térmica substancialmente menor da temperatura do fluido

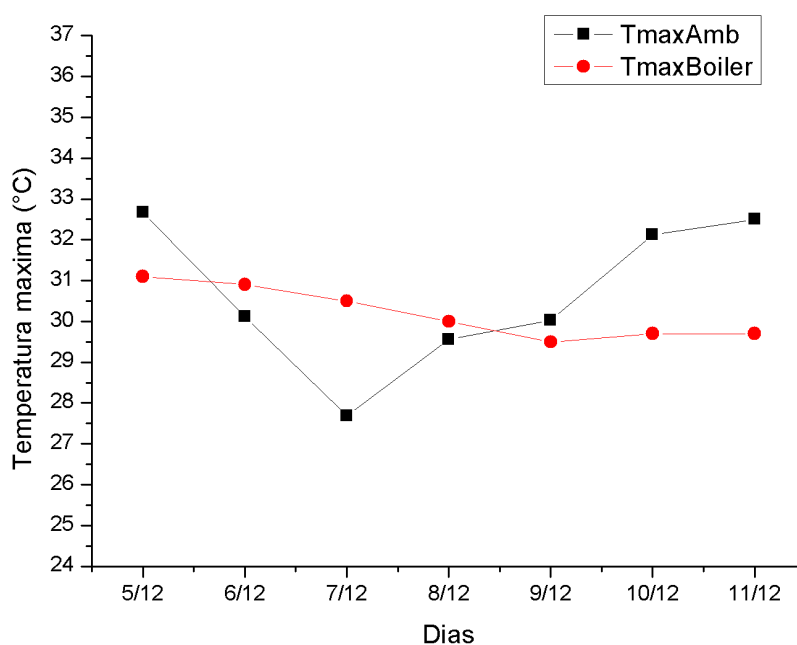
em relação a temperatura ambiente. Enquanto a amplitude da temperatura ambiente no experimento foi de  $22,2^{\circ}\text{C}$ , para o fluido no boiler a amplitude foi de apenas  $3,1^{\circ}\text{C}$ .

Observa-se também no Gráfico 3 que a temperatura do fluido no boiler ( $T_{\text{boiler}}$ ) se manteve acima da temperatura ambiente ( $T_{\text{amb}}$ ) na maior parte do experimento. A temperatura média ambiente durante o experimento foi de  $22,3^{\circ}\text{C}$  e a temperatura média do fluido no boiler foi de  $29,7^{\circ}\text{C}$ . Desta forma, os resultados indicaram que mesmo a unidade com apenas 1 serpenteamento houve viabilidade do sistema de aquecimento solar.

Especialistas na área de dermatologia indicam que a temperatura ideal para banho deve ser entre  $29^{\circ}\text{C}$  e  $38^{\circ}\text{C}$ , pois é uma faixa de temperatura próxima a temperatura corporal (EBSERH, 2017). Pelo Gráfico 3a, verifica-se que a temperatura do fluido esteve acima de  $29^{\circ}\text{C}$  em praticamente todo o experimento.

A maior diferença da  $T_{\text{boiler}}$  em relação a  $T_{\text{amb}}$  foi de  $18,65^{\circ}\text{C}$ , ou seja, a água através da aleta captou grande capacidade térmica de energia solar. Para uma melhor compreensão das temperaturas máximas obtidas no experimento com 1 serpenteamento, no Gráfico 4 pode ser observado as temperaturas máximas diárias referente a temperatura ambiente ( $T_{\text{maxAmb}}$ ) e a temperatura do fluido no boiler ( $T_{\text{maxBoiler}}$ ).

**Gráfico 4 - Temperaturas máximas nos dias do experimento**



Fonte: Autoria própria (2022)

No Gráfico 4 verifica-se que a temperatura máxima do ambiente e máxima do fluido no boiler atingidas foram relativamente próximas. A maior diferença da  $T_{\max\text{Boiler}}$  em relação a  $T_{\max\text{Amb}}$  foi de  $2,81^{\circ}\text{C}$ , sendo que, essa maior diferença de temperatura foi verificada quando houve redução na temperatura ambiente. Desta forma, o sistema “S” mostrou-se como um excelente sistema de aquecimento para manter a temperatura do fluido no boiler em valores relativamente elevados, mesmo com a redução na temperatura externa no período diurno.

Nota-se também no Gráfico 3a que a temperatura ambiente ( $T_{\text{amb}}$ ) seguiu um comportamento cíclico em que houve elevação de temperatura durante o período diurno e redução de temperatura no período noturno.

A temperatura do fluido no boiler ( $T_{\text{boiler}}$ ) também apresentou comportamento cíclico, no entanto, bem mais suavizado. Enquanto a temperatura ambiente reduziu substancialmente, após o pôr do sol, no caso do fluido, a temperatura foi mantida sem grandes oscilações.

A menor variação de temperatura do fluido no boiler pode favorecer o uso da água aquecida para banhos em qualquer período do dia. Como desvantagem dessa menor oscilação de temperatura pode-se mencionar a ausência de picos de elevada temperatura do fluido.

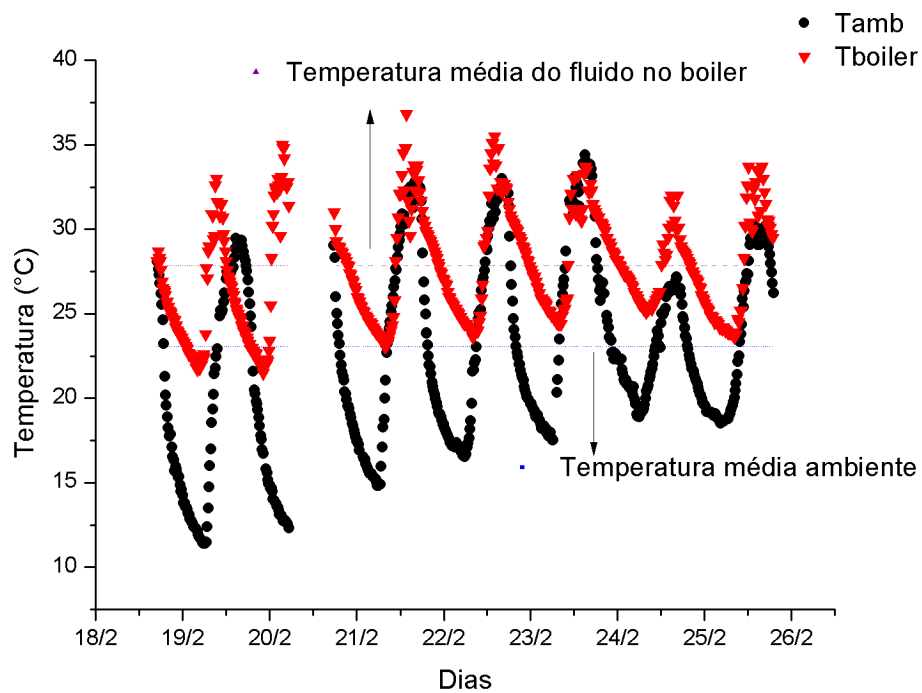
No Gráfico 3b, verifica-se que as correntes de vento em velocidades relativamente baixas, menores que  $4\text{ m/s}$ , não influenciaram de forma significativa as temperaturas associadas ao sistema de aquecimento solar.

Valores mais elevados de temperatura do fluido no boiler foram observados nos experimentos com 2 e 3 serpenteamentos, conforme mostrado na sequência.

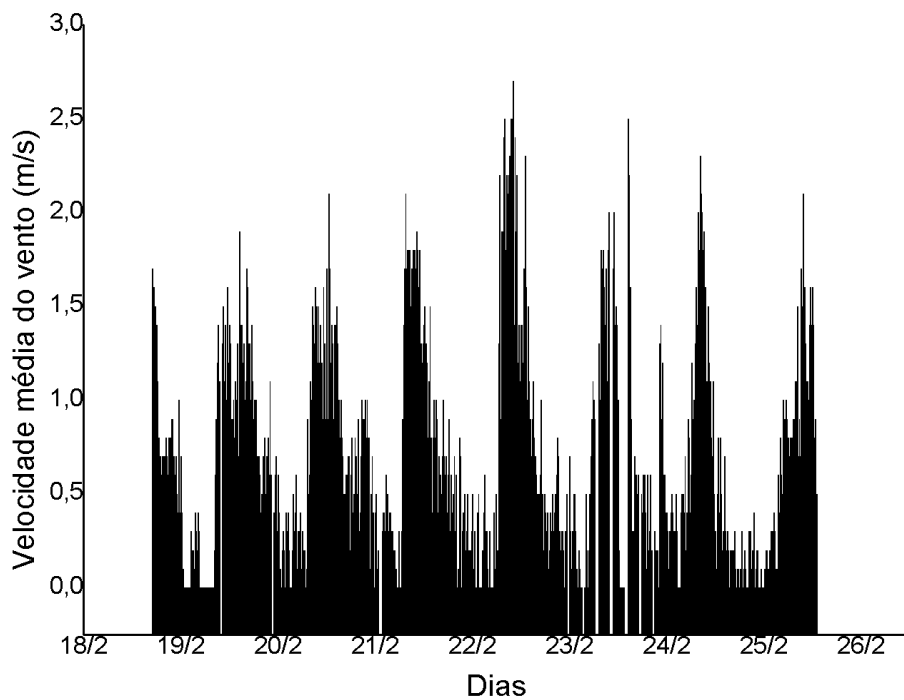
### 6.1.2 Experimento 2 - Unidade experimental com dois serpenteamentos

O Gráfico 5a apresenta os resultados da variação da temperatura ambiente ( $T_{\text{amb}}$ ) e da temperatura do fluido no boiler ( $T_{\text{boiler}}$ ), para a unidade experimental com os tubos em configuração “S” com 2 serpenteamentos. As condições climáticas durante o experimento foram de predominância de céu claro. As correntes de vento e a precipitação pluviométrica estão apresentadas no Gráfico 5b e 5c.

Gráfico 5 - Comportamento e condições climáticas associadas ao sistema de aquecimento solar em configuração "S" com dois serpenteamento. (a) Variação de temperatura no sistema de aquecimento solar em que  $T_{boiler}$  é a temperatura do fluido no boiler e  $T_{amb}$  é a temperatura ambiente. (b) Correntes de vento. (c) Precipitação pluviométrica.

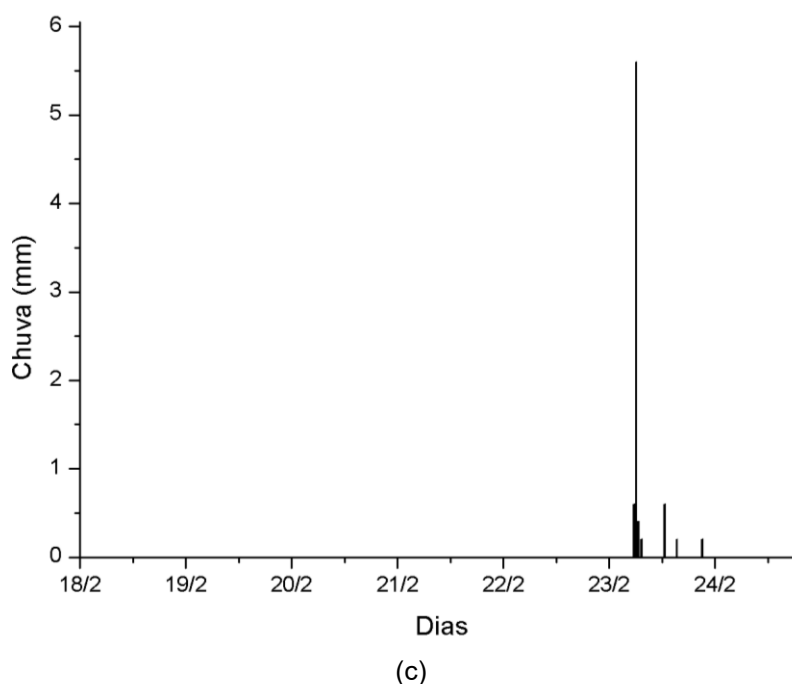


(a)



(b)





**Fonte: A autoria própria (2021)**

No Gráfico 5a observa-se também que tanto a  $T_{amb}$  quanto à  $T_{boiler}$  seguiram um comportamento cíclico em que houve elevação de temperatura durante o período diurno e redução de temperatura no período noturno. No entanto, verifica-se que houve menor redução de temperatura no período noturno da temperatura do fluido no boiler.

Neste experimento 2, a temperatura do fluido no boiler ( $T_{boiler}$ ) se manteve acima da temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ) em grande parte do experimento. A  $T_{amb}$  mínima foi de  $11,39^{\circ}\text{C}$  e a máxima  $34,39^{\circ}\text{C}$ . A temperatura mínima do boiler foi de  $21,5^{\circ}\text{C}$  no dia 19/02 às 22:15h e seu ápice foi de  $36,8^{\circ}\text{C}$  no dia 21/02 às 13:45h. A temperatura média ambiente durante o experimento foi de  $22,5^{\circ}\text{C}$  e a temperatura média do fluido no boiler foi de  $27,4^{\circ}\text{C}$ .

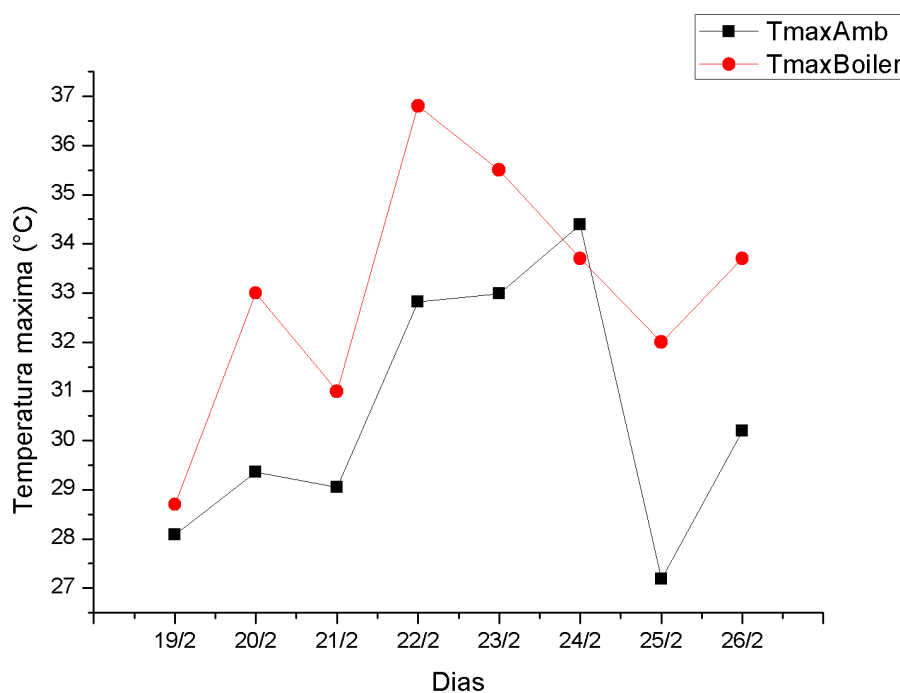
Tais resultados indicaram uma amplitude térmica menor da temperatura do fluido em relação a temperatura ambiente. Enquanto a amplitude associada a temperatura ambiente foi de  $23^{\circ}\text{C}$ , para o fluido no boiler, a amplitude foi de  $15,3^{\circ}\text{C}$ .

Ao comparar a amplitude térmica do fluido no experimento com 1 serpenteamento com o experimento com 2 serpenteamentos, verifica-se que houve o aumento na amplitude térmica do fluido com o aumento do sistema de captação solar. Desta forma, o aumento na área de captação, permitiu aumentar a

temperatura máxima do fluido. No entanto, também favoreceu a redução de temperatura no período noturno.

A maior diferença da  $T_{\text{boiler}}$  em relação a  $T_{\text{amb}}$  foi de  $22,13^{\circ}\text{C}$ , ou seja, a água através da aleta captou grande capacidade térmica de energia solar. Para uma melhor compreensão das temperaturas máximas obtidas no experimento com 1 serpenteamento, no Gráfico 6 pode ser observado as temperaturas máximas diárias referente a temperatura ambiente ( $T_{\text{maxAmb}}$ ) e a temperatura do fluido no boiler ( $T_{\text{maxBoiler}}$ ).

**Gráfico 6 - Temperaturas máximas nos dias do experimento**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

No Gráfico 6 verifica-se que as temperaturas máximas do fluido no boiler atingidas foram superiores em praticamente todos os dias do experimento. Tais resultados se diferem do captador com 1 serpenteamento, em que o sistema de captação neste caso apresentou temperaturas ambiente máxima, próxima a temperatura máxima do boiler. O sistema com 2 serpenteamento, chegou a apresentar  $T_{\text{maxBoiler}}$  acima de  $T_{\text{maxAmb}}$  superior em quase  $5^{\circ}\text{C}$ .

As velocidades das correntes de vento registradas durante o experimento foram relativamente baixas (menores que  $3 \text{ m/s}$ ), como pode ser observado no

Gráfico 6b. Desta forma, pode-se concluir que o vento não influenciou de forma significativa nas temperaturas associadas ao sistema de aquecimento solar.

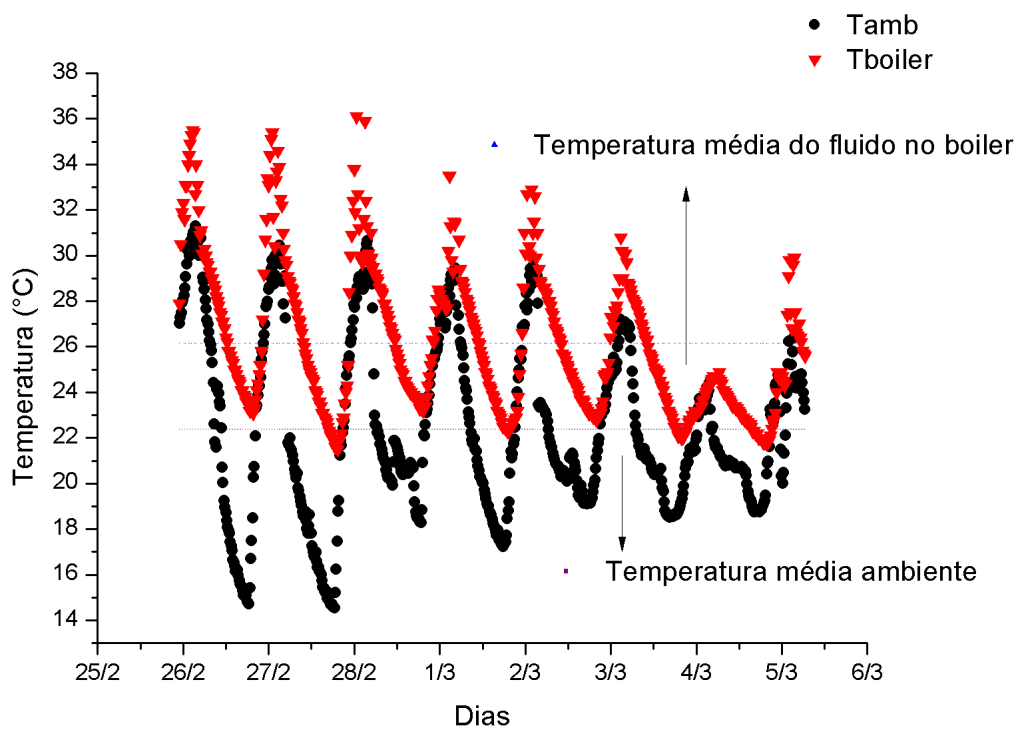
Verifica-se no Gráfico 5c que no dia 23/02 as condições climáticas foram mais instáveis com chuvas pontuais. Diante destas condições, logo após houve uma redução substancial na  $T_{amb}$  e uma suave redução na  $T_{boiler}$ . Desta forma, mesmo com o tempo atmosférico não muito favorável foi observado que a  $T_{boiler}$  ficou acima da  $T_{amb}$ , indicando a viabilidade do captador mesmo em condições instáveis.

Maiores diferenças da temperatura do fluido no boiler em comparação com a temperatura ambiente foram observados nos experimentos com 3 serpenteamentos, conforme mostrado na sequência.

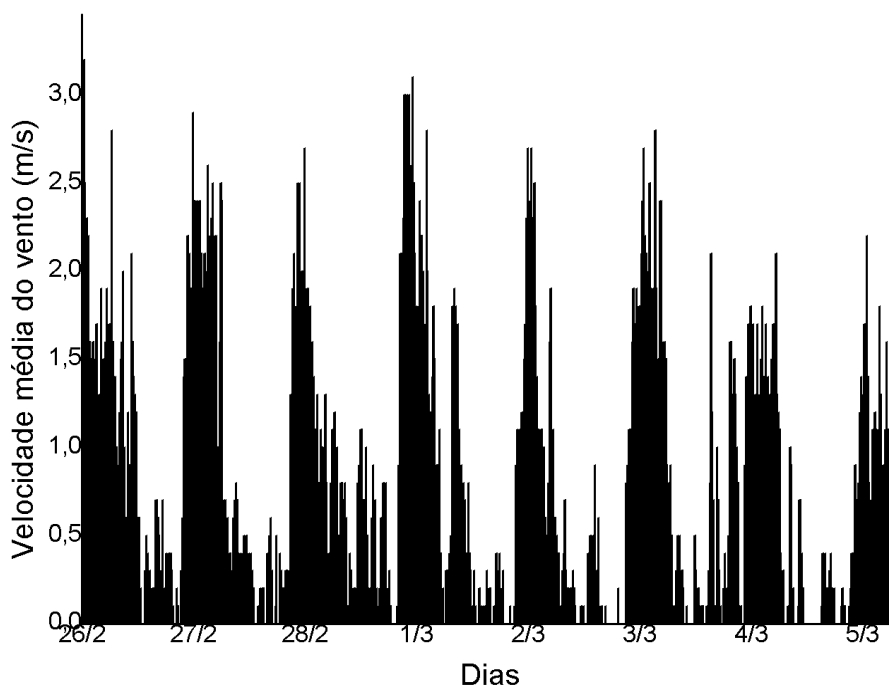
### 6.1.3 Experimento 3 - Unidade experimental com três serpenteamentos

O Gráfico 7a apresenta os resultados da variação da temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ) e da temperatura do fluido no boiler ( $T_{boiler}$ ), para a unidade experimental com os tubos em configuração “S” com 3 serpenteamentos. As condições climáticas no experimento 3 foram de céu claro na maior parte do tempo. No entanto, houve chuvas pontuais em alguns dias que reduziram a temperatura ambiente e a temperatura do fluido no boiler. As correntes de vento e a precipitação pluviométrica estão apresentadas no Gráfico 7b e 7c.

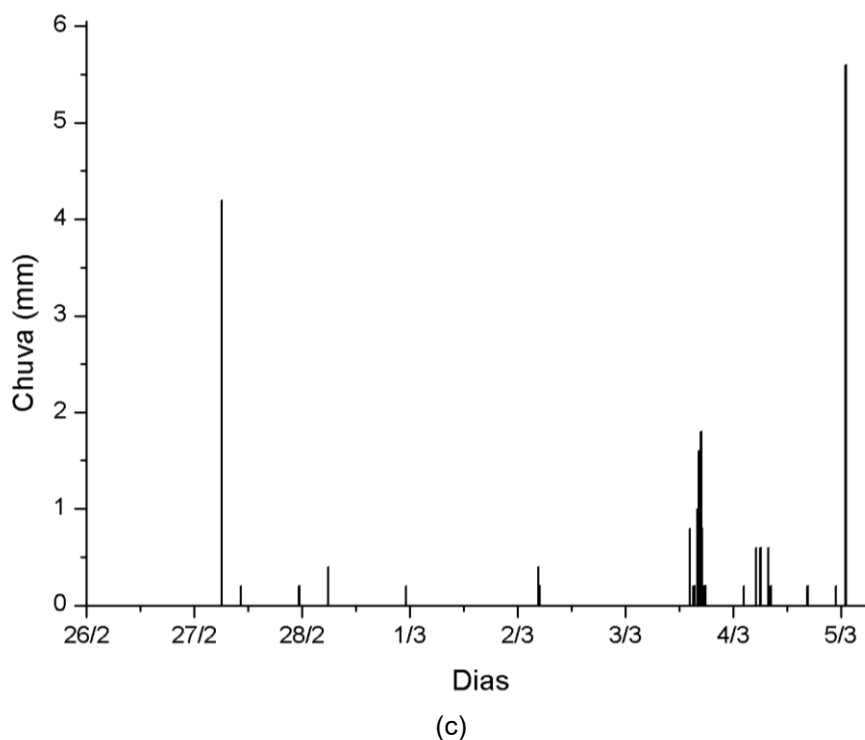
**Gráfico 7 - Comportamento e condições climáticas associadas ao sistema de aquecimento solar em configuração "S" com três serpenteamentos. (a) Variação de temperatura no sistema de aquecimento solar em que  $T_{boiler}$  é a temperatura do fluido no boiler e  $T_{amb}$  é a temperatura ambiente. (b) Correntes de vento. (c) Precipitação pluviométrica.**



(a)



(b)



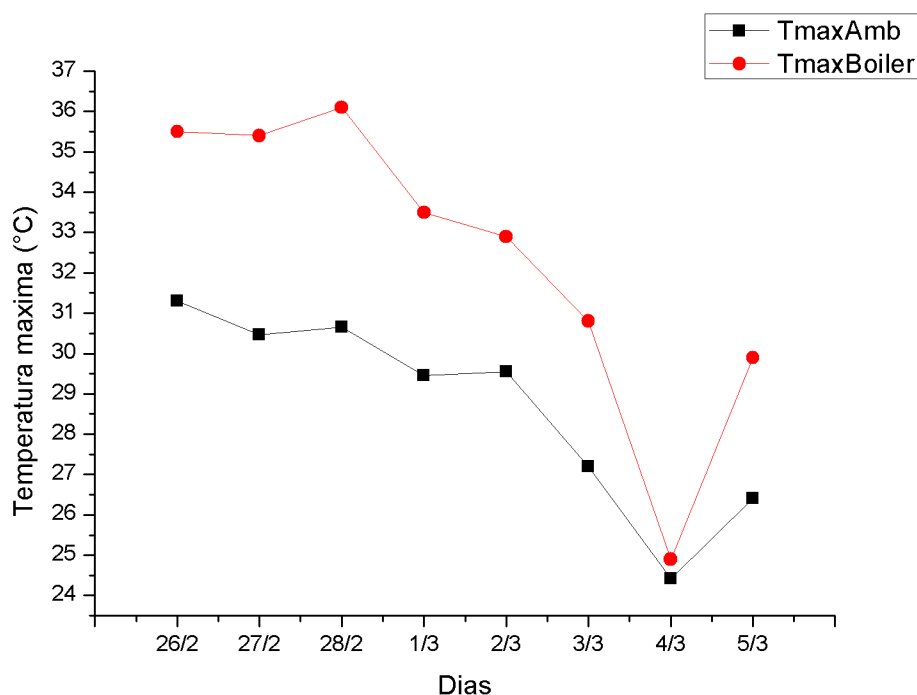
**Fonte: A autoria própria (2021)**

No Gráfico 7a verifica-se que a  $T_{\text{boiler}}$  se manteve acima da  $T_{\text{amb}}$  em todo o experimento. Durante este experimento, a  $T_{\text{amb}}$  mínima foi de  $14,53^{\circ}\text{C}$  e a máxima  $31,3^{\circ}\text{C}$ . A temperatura mínima do boiler foi de  $21,5^{\circ}\text{C}$  no dia 28/02 às 7:20h e seu ápice com uma temperatura de  $36,1^{\circ}\text{C}$  no dia 28/02 às 12:40h. A temperatura média ambiente durante o experimento foi de  $22,4^{\circ}\text{C}$  e a temperatura média do fluido no boiler foi de  $26,2^{\circ}\text{C}$ .

A amplitude térmica associada a temperatura ambiente foi de  $16,8^{\circ}\text{C}$ , para o fluido no boiler, a amplitude foi de  $14^{\circ}\text{C}$ . Os resultados indicam que houve uma menor diferença de amplitude térmica entre  $T_{\text{amb}}$  e  $T_{\text{boiler}}$  quando comparado com os experimentos com um e com 2 serpenteamentos. Desta forma, pode-se concluir que o aumento do captador solar para 3 serpenteamentos, ocasionou o aumento da amplitude térmica do sistema de aquecimento solar.

A maior diferença da  $T_{\text{boiler}}$  em relação a  $T_{\text{AMB}}$  foi de  $8,85^{\circ}\text{C}$ , ou seja, a água através da aleta captou grande capacidade térmica de energia solar. No Gráfico 8 pode ser observado as  $T_{\text{max}}$  da  $T_{\text{amb}}$  e da  $T_{\text{boiler}}$  em cada dia.

Gráfico 8 - Temperaturas máximas nos dias do experimento



Fonte: Autoria própria (2022)

Verifica-se também que as temperaturas máximas do boiler chegaram a ficar acima de 36°C enquanto nesse mesmo dia a temperatura máxima ambiente estava em torno de 30,6°C. Tais valores indicaram um ganho térmico absoluto de 5,5°C representando um ganho térmico percentual de cerca de 18%.

No Gráfico 7a observa-se que tanto a  $T_{amb}$  quanto à  $T_{boiler}$  seguiram um comportamento cíclico em que houve elevação de temperatura durante o período diurno e redução de temperatura no período noturno.

As velocidades das correntes de vento registradas durante o experimento foram relativamente baixas (máxima de 3,2 m/s), como pode ser observado no Gráfico 7b. Desta forma, pode-se concluir que o vento não influenciou de forma significativa nas temperaturas associadas ao sistema de aquecimento solar.

As condições climáticas no experimento 3 foram de céu claro na maior parte do tempo. No entanto, houve chuvas pontuais em alguns dias que reduziram a temperatura ambiente e a temperatura do fluido no boiler (Gráfico 7c). Diante destas condições, a  $T_{boiler}$  manteve-se acima de  $T_{amb}$ , embora a diferença entre as duas temperaturas tenha se tornado menor, conforme mostra o Gráfico 8.

Os modelos de coletores solares de baixo custo, atualmente são compostos por tubos de PVC, conexões, aletas e isolamento com diferentes configurações.

Parte das falhas em tubulações hidráulicas estão ligadas a grande quantidade de conexões e instalação incorretas, como torções nas tubulações, adaptações nas tubulações sem o uso correto das técnicas de instalação e o aquecimento dos tubos, ficando evidente que as conexões são um ponto crítico de projetos hidráulicos, pois são locais mais susceptíveis a dilatação e retração térmica (SANCHES, 2008). No coletor desenvolvido, não foi verificada falhas, nem mesmo vazamentos durante todo o experimento, isto porque foi construído com tubo de polietileno, eximindo o uso de conexões.

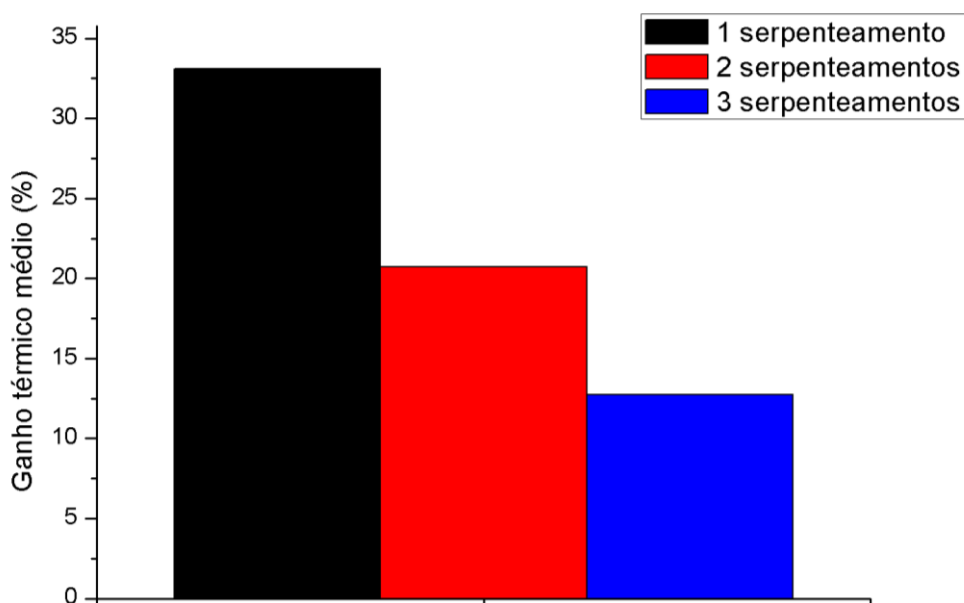
#### 6.1.4 Ganho térmico

Neste item foram calculados o ganho térmico médio, o ganho térmico percentual máximo e o ganho térmico médio máximo do coletor solar através da Equação 4.

$$((T_{\text{méd}_B} - T_{\text{méd}_{\text{amb}}})/T_{\text{méd}_{\text{amb}}}) * 100\% \quad (4)$$

Para obter o ganho térmico médio foi realizado a média de todos os resultados da  $T_B$  durante o experimento e a média de todas as  $T_{\text{amb}}$  do experimento e inseridos na Equação 4. O resultado para cada experimento (1, 2 e 3 serpenteamentos) está demonstrado no Gráfico 9.

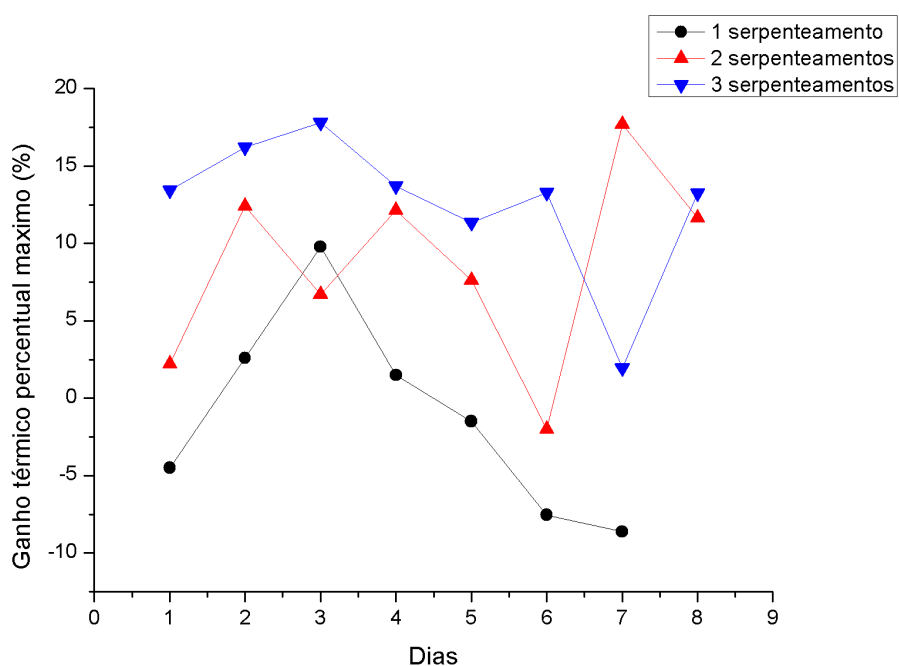
Gráfico 9 - Ganho térmico médio



Fonte: Autoria própria (2022)

Para obter o ganho térmico percentual máximo de cada experimento, foi selecionado as temperaturas máximas do boiler ( $T_{\max\text{Boiler}}$ ) e as temperaturas máximas ambiente ( $T_{\max\text{Amb}}$ ) para cada dia do experimento e inseridos na Equação 4. O resultado está demonstrado no Gráfico 10.

Gráfico 10 - Ganho térmico percentual máximo

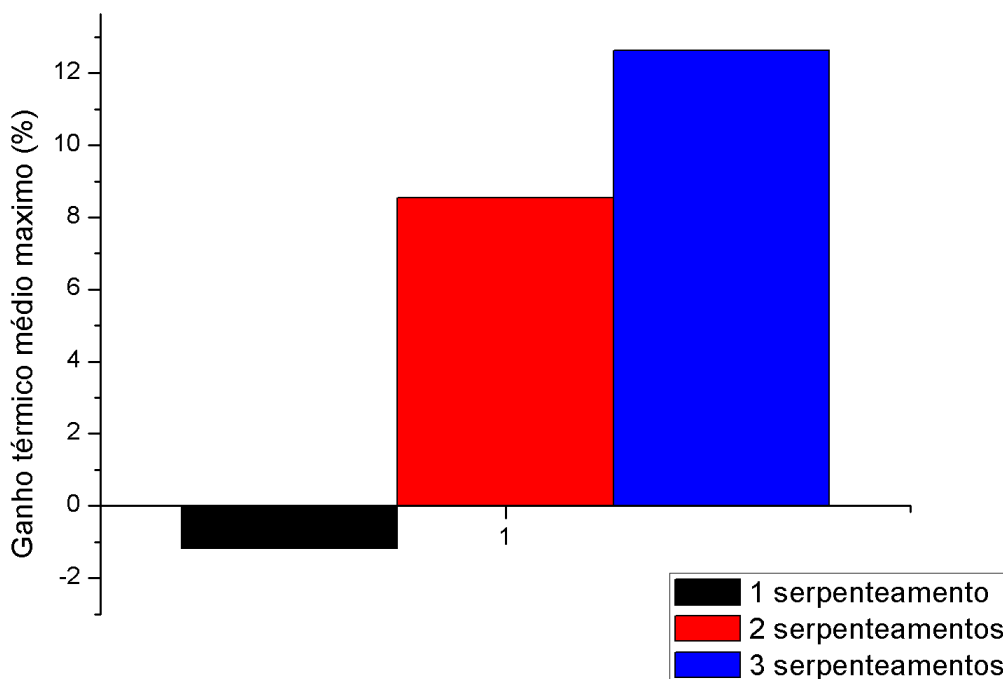


Fonte: Autoria própria (2022)



Na sequência o Gráfico 11 demonstra a média do ganho térmico percentual máximo para cada experimento.

**Gráfico 11 - Ganho térmico médio máximo**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

A partir dos resultados obtidos, observou-se que o ganho térmico médio (Gráfico 9) com 1 serpenteamento pode ser considerado melhor por manter sua temperatura constante mesmo no período noturno. Isso pode ser justificado pelo fato do coletor possuir menor área de captação solar, fazendo com que dissipe menor quantidade de calor no período noturno e consequentemente o sistema fica mais eficiente. Porém, ele é menos eficiente durante o dia, desta forma, em relação ao ganho térmico máximo (Gráfico 11) seu resultado foi o pior entre os experimentos, justamente por possuir menor área de captação solar.

Deste modo, para atingir valores de temperatura do fluido no boiler mais elevadas (cerca de 40°C), o coletor necessário deve possuir uma área de captação maior, no entanto, como consequência, haverá maior queda na temperatura no período noturno.

### 6.1.5 Densidade superficial

Para analisarmos se a cobertura de uma residência suportaria o coletor solar, realizamos o cálculo do peso e da força total do coletor solar exercido sobre a cobertura de uma residência. O cálculo foi realizado em relação a um metro e multiplicado pela metragem total do coletor desenvolvido (75 m). Sendo que em um metro de tubo de polietileno, podem ser anexados até duas chapas *offset* e 500 ml de água.

Assim, foram obtidos os seguintes dados:

**Tabela 2 - Peso dos materiais utilizados em um metro de coletor**

	Tube polietileno	Chapas (2 un.)	Água (500 ml)
<b>Peso (g)</b>	159	172	433

Fonte: Aatoria própria (2022)

Os valores multiplicados por 75 m, são, respectivamente:

**Tabela 3 - Peso dos materiais utilizados em 75 metros de coletor**

	Tube polietileno	Chapas (2 un.)	Água (500 ml)
<b>Peso (g)</b>	11925	12900	32475

Fonte: Aatoria própria (2022)

A soma total do experimento é de 57300 g = 57,3 Kg.

Através da equação 5, onde F é força (N), m é massa (Kg) e g é a gravidade (9,807) obtivemos a força exercida pelo coletor igual a 562 N.

$$F = m \times g \quad (5)$$

Como em 1 m<sup>2</sup> de cobertura cabem 15,5 telhas cerâmicas e o coletor ocupa 45 m<sup>2</sup> da cobertura, o coletor ocupa 697,5 telhas da cobertura (15,5 x 45).

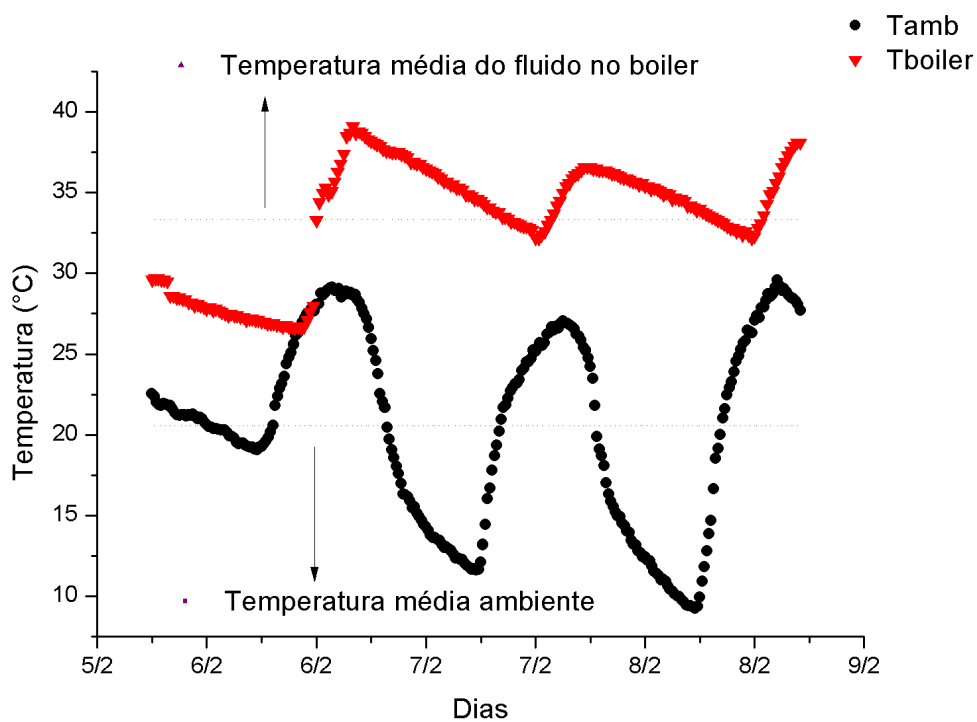
Segundo a ABNT NBR15310:2005 cada telha deve suportar 1000 N, desta forma, 697,5 telhas suportam 697500 N (697,5 x 1000).

Assim, o maior coletor entre os experimentos (experimento 3) exerce uma força de 562 N sobre as telhas que suportam até 697500 N. Desta forma, conclui-se que a cobertura das residência suporta o coletor para todos os experimentos realizados.

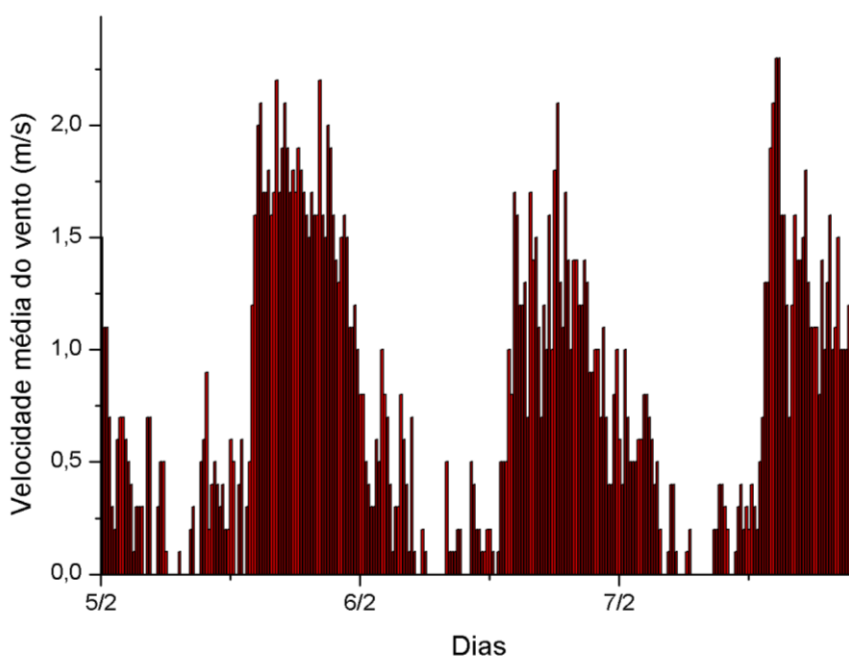
## **6.2 Experimento 4 - Resultados do captador solar com tubos de polietileno em paralelo associado a chapas de alumínio recicladas**

O Gráfico 12a apresenta os resultados da variação da temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ) e da temperatura do fluido no boiler ( $T_{boiler}$ ), para a unidade experimental com tubos de polietileno em paralelo. As condições climáticas durante o experimento foram de predominância de céu claro e não houve precipitação durante o experimento. No Gráfico 12b, as velocidades das correntes de vento registradas durante o experimento foram relativamente baixas (máxima de 2,3 m/s). Desta forma, a princípio, o vento não influenciou de forma significativa no sistema de aquecimento solar.

**Gráfico 12 - Comportamento e condições climáticas associadas ao sistema de aquecimento solar com tubos de polietileno em paralelo. (a) Variação de temperatura no sistema de aquecimento solar em que  $T_{boiler}$  é a temperatura do fluido no boiler e  $T_{amb}$  é a temperatura ambiente. (b) Correntes de vento.**



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2022)

No Gráfico 12a verifica-se que a  $T_{\text{boiler}}$  se manteve acima da  $T_{\text{amb}}$  em praticamente todo o experimento. Observa-se também que tanto  $T_{\text{boiler}}$  quanto  $T_{\text{amb}}$  seguiram um comportamento cíclico em que houve elevação de temperatura durante o período diurno e redução de temperatura no período noturno. No entanto, para  $T_{\text{boiler}}$  o comportamento cíclico mostrou-se mais evidente após o primeiro dia de experimento, em que ocorreu ganho de temperatura do fluido pelo sistema de aquecimento.

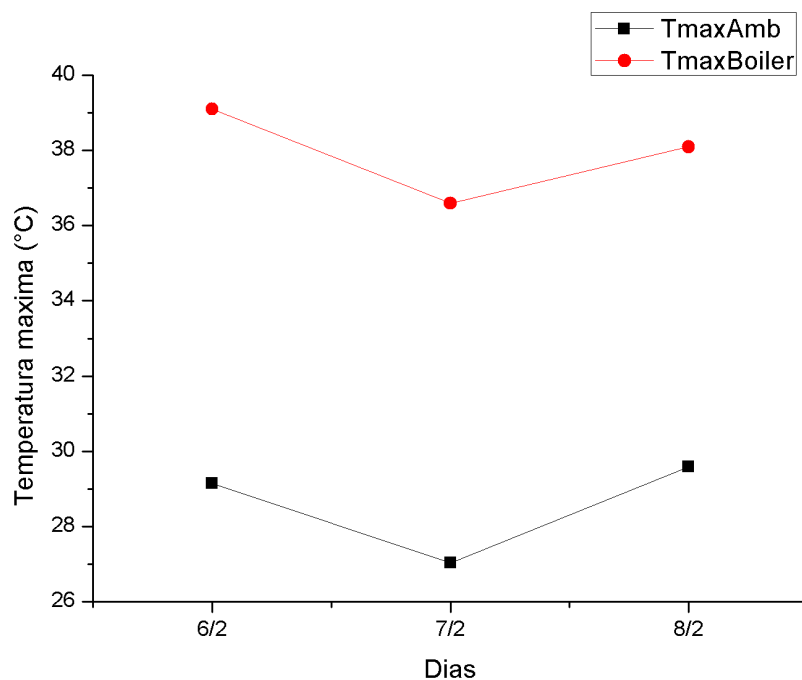
No período noturno, a temperatura do fluido no boiler apresentou menor redução quando comparada com a temperatura ambiente. Isto indicou que praticamente não ocorreu termossifão inverso à noite, em que o fluido perde temperatura devido o resfriamento das placas. Além disso, a menor oscilação na temperatura do fluido no boiler indicou que a água aquecida pelo sistema proposto pode ser utilizada mesmo em períodos noturnos.

No Gráfico 12a verifica-se que a temperatura ambiente mínima foi de  $9,2^{\circ}\text{C}$  e a máxima de  $29,6^{\circ}\text{C}$ . A temperatura mínima do boiler foi de  $26,6^{\circ}\text{C}$  no dia 06/02 às 10:20h, e seu ápice foi de  $39,1^{\circ}\text{C}$  na mesma data às 16:00h.

A amplitude térmica associada a temperatura ambiente foi de  $20,4^{\circ}\text{C}$ , para o fluido no boiler, a amplitude foi de  $12,5^{\circ}\text{C}$ . Tais resultados indicaram que houve uma menor diferença de amplitude térmica para o fluido no boiler.

A maior diferença da  $T_{\text{boiler}}$  em relação a  $T_{\text{amb}}$  foi de  $24,85^{\circ}\text{C}$ . Tais resultados indicaram que a temperatura do boiler se manteve substancialmente acima da temperatura ambiente, indicando a viabilidade do equipamento proposto. Além disso, a temperatura do fluido no boiler mostrou-se próxima da temperatura ideal para banho em qualquer hora do dia, mesmo no período noturno em que se tem maiores perdas de calor para o ambiente.

Para uma melhor análise do sistema proposto, no Gráfico 13 pode ser observado as temperaturas máximas da temperatura ambiente ( $T_{\text{maxAmb}}$ ) e da Temperatura do boiler ( $T_{\text{maxBoiler}}$ ) para cada dia de experimento.

**Gráfico 13 - Temperaturas máximas obtidas para cada dia do experimento**

**Fonte: Aatoria própria (2022)**

Verifica-se no Gráfico 13 que as temperaturas máximas do boiler ficaram próximas do valor de 40°C enquanto as temperaturas máximas ambiente ficaram em torno de 30°C. Tais valores indicaram um ganho térmico absoluto de aproximadamente 10°C e um ganho térmico percentual de cerca de 33,3%.

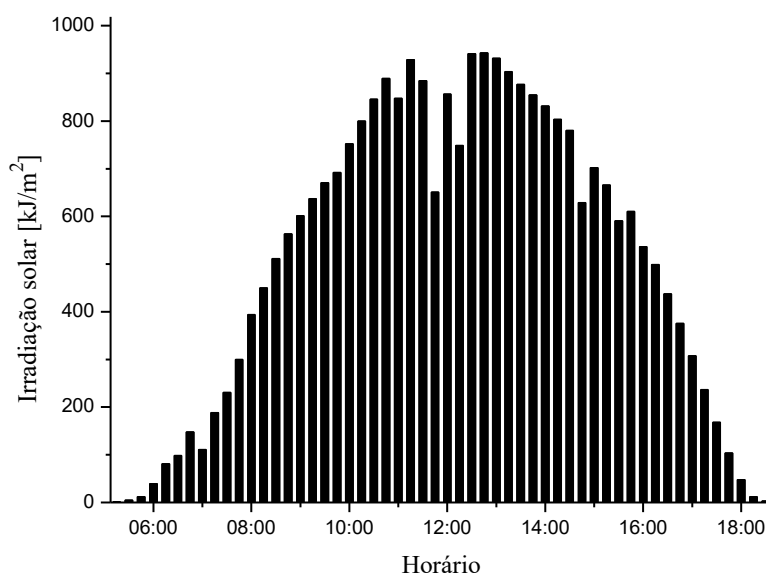
### 6.2.1 Cálculo da eficiência térmica do sistema de captação solar

A eficiência energética é geralmente usada como um dos parâmetros mais importantes para introduzir e comparar sistemas térmicos, incluindo os coletores solares planos. A eficiência de coletores solares depende dos parâmetros do coletor e das perdas térmicas para o ambiente. Quanto maior a quantidade de energia que o fluido de trabalho conseguir absorver, maior a eficiência térmica do coletor (PAIVA et al., 2017).

Para uma melhor análise da viabilidade do sistema de captação solar proposto, foi determinada a sua eficiência térmica. A eficiência térmica foi obtida a partir da Equação 3 e dos resultados do fluxo de radiação incidente no captador solar.

Os resultados do fluxo de radiação incidente para cada 15 minutos ( $I_h$ ), referentes ao experimento realizado no dia 06/02 estão mostrados no Gráfico 14. Tais informações foram obtidas a partir dos dados fornecidos pela Estação Meteorológica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Francisco Beltrão.

**Gráfico 14 - Radiação solar incidente**



**Fonte: Elaborado por autoria própria a partir de dados da estação meteorológica (2022)**

A partir das informações do Gráfico 14, obteve-se que o fluxo total de radiação incidente no período das 11:40h às 14:00h era de  $\sum I_h = 13857,3 \text{ kJ/m}^2$ . Este intervalo de tempo está associado ao período que levou para a temperatura do boiler passar de  $T_i = 28^\circ\text{C}$  para  $T_f = 39,1^\circ\text{C}$ .

O resultado estimado da eficiência térmica ( $\eta$ ) e os valores utilizados para esta estimativa estão dispostos na Tabela 4.

**Tabela 4 - Eficiência térmica do sistema de aquecimento solar**

$m$ (kg)	$A_s$ ( $\text{m}^2$ )	$T_i$ ( $^\circ\text{C}$ )	$T_f$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\sum I_h$ ( $\text{kJ/m}^2$ )	$\eta$
100	0,86	28,0	39,1	13857,3	39%

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Ao comparar a eficiência de diversos sistemas de aquecimento solar, Barbosa et al. (2019) mencionou que os coletores que fazem uso de tubos isolados

a vácuo atingiam eficiências maiores entre 55 e 60% enquanto os sistemas convencionais de chapas planas alcançaram percentuais entre 33 e 42%, corroborando a viabilidade do atual estudo o qual alcançou 39% de eficiência.

Um ponto perceptível em relação ao coletor apresentado por Barbosa et al. (2019), é que o sistema apresentado neste estudo tem maior robustez estrutural e durabilidade, bem como menos pontos de falhas, isso se deve ao fato de utilizarmos chapas *offset* as quais são compostas de uma única lamina homogênea e rígida, este material se torna melhor em comparação as caixas longa vida que possuem construção composta e sua integridade depende do agente aglutinante. Se ambos os estudos forem comparados em relação a temperatura máxima, Barbosa et al. (2019) obteve melhor resultado, mas isso pode ser justificado devido ao tamanho do boiler, já que o utilizado por Barbosa et al. (2019) possuía 25 L de água, bem menos que o deste estudo que foi utilizado um boiler de 100 L, outro motivo é a região dos estudos, visto que a região sul possui menor radiação solar.



## 7 CUSTOS

Nesta sessão serão apresentados os custos de cada coletor solar e para cada unidade experimental completa.

Os coletores solares alternativos possuem custos que diferem muito entre suas diversas configurações. Em relação a um sistema de aquecimento solar de 2 m<sup>2</sup>, encontrado no mercado, Thomas (2014) levanta um valor de R\$ 1.900,00, custo de um sistema compacto, com armazenamento de 200 litros, valor este, apenas do produto, sem a instalação. Enquanto, um sistema de aquecimento solar, com tubos a vácuo, encontra-se no valor de R\$ 13.000,00, onde, a placa é importada da China, possui 9 m<sup>2</sup> e foi utilizado um boiler para o armazenamento.

Na Tabela 5, são apresentados os materiais utilizados e seus respectivos valores, para o desenvolvimento do captador solar em configuração “S” com chapas de alumínio associada, para cada experimento.

**Tabela 5 - Materiais utilizados para a confecção da unidade completa e seus respectivos valores**

<b>Material</b>	<b>Valor unitário</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor total</b>
Sucata de Chapas de alumínio	R\$ 0,25 un	50	R\$ 12,50
Tubo de polietileno 1 polegada	R\$ 1,15/m	25	R\$ 28,75
Conexões Tee 1 polegada	R\$ 2,00 un	02	R\$ 04,00
Abraçadeiras de metal	R\$ 1,00 un	03	R\$ 03,00
Abraçadeiras plásticas	R\$ 0,25 un	03	R\$ 0,75
Registros	R\$ 06,20 un	02	R\$ 12,40
Tinta spray preto fosco 400 ml	R\$ 12,30 un	01	R\$ 12,30

**a) Experimento 01**

<b>Material</b>	<b>Valor unitário</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor total</b>
Sucata de chapas de alumínio	R\$ 0,25 un	100	R\$ 25,00
Tubo de polietileno 1 polegada	R\$ 1,15/m	50	R\$ 57,50
Conexões Tee 1 polegada	R\$ 2,00 un	03	R\$ 06,00
Abraçadeiras de metal	R\$ 1,00 un	06	R\$ 06,00
Abraçadeiras plásticas	R\$ 0,25 un	06	R\$ 01,50
Registros	R\$ 06,20 un	02	R\$ 12,40
Tinta spray preto fosco 400 ml	R\$ 12,30 un	01	R\$ 12,30

**b) Experimento 02**

<b>Material</b>	<b>Valor unitário</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor total</b>
Sucata de chapas de alumínio	R\$ 0,25 un	150	R\$ 37,50

Tubo de polietileno 1 polegada	R\$ 1,15/m	75	R\$ 86,25
Conexões Tee 1 polegada	R\$ 2,00 un	04	R\$ 08,00
Abraçadeiras de metal	R\$ 1,00 un	09	R\$ 09,00
Abraçadeiras plásticas	R\$ 0,25 un	09	R\$ 02,25 un
Registros	R\$ 6,20 un	02	R\$ 12,40 un
Tinta spray preto fosco 400 ml	R\$ 12,30 un	02	R\$ 24,60 un

**c) Experimento 03**

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Na Tabela 6, são apresentados os materiais utilizados e seus respectivos valores, para o desenvolvimento do coletor solar com tubos de polietileno associado a chapas de alumínio recicladas.

**Tabela 6 - Materiais utilizados para a confecção da unidade completa e seus respectivos valores**

<b>Material</b>	<b>Valor unitário</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor total</b>
Sucata de chapas de alumínio	R\$ 0,25 un	06	R\$ 01,50
Tubo de polietileno ¾ polegada	R\$ 1,20/m	06	R\$ 07,20
Conexões Tee ¾ polegada	R\$ 1,50 un	10	R\$ 15,00
Conexões Joelho ¾ polegada	R\$ 1,10 un	02	R\$ 02,20
Abraçadeiras de metal	R\$ 1,00 un	32	R\$ 32,00
Parafusos de madeira 4x3	R\$ 0,16 un	72	R\$ 11,52
Registro	R\$ 6,20 un	02	R\$ 12,40
Tinta spray preto fosco 400 ml	R\$ 12,30	01	R\$ 12,30
Suporte de madeira 115cm x 75 cm	R\$ 10,00	01	R\$ 10,00

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Para ambos os coletores, o material mais caro é o boiler de 100 litros, este tipo reservatório não é obrigatório, podendo ser utilizada a própria caixa d'água da residência, se isolada termicamente, contudo, vale salientar que mesmo com os adequados isolamentos, o desempenho do boiler é melhor que da caixa d'água.

Para a fabricação do captador solar em configuração "S" com chapas de alumínio associada, para o Experimento 01 o valor total gasto foi de R\$ 73,70. No Experimento 02 o valor total gasto foi de R\$ 120,70. No Experimento 03 o valor total gasto foi de R\$ 180,00. Custos ainda considerados baixos se comparado aos coletores comerciais.

Para a fabricação do coletor solar com tubos de polietileno associado a chapas de alumínio recicladas o valor total gasto foi de R\$ 104,12, novamente custo considerado baixo se comparado aos coletores comerciais.

Caso a residência não possua caixa d'água e esta for a opção de utilização como reservatório, o valor de uma, com capacidade de 100 litros, custa em média R\$ 110,00, totalizando para o experimento mais caro realizado (Experimento 03) um valor de R\$ 290,00 (ASBC + reservatório).

Se comparado com os outros dois modelos de coletores solares de baixo custo citados anteriormente, os modelos desenvolvidos saíram mais em conta que ambos.

## 8 CONCLUSÕES

Neste trabalho dois sistemas de captação solar construídos com materiais de custo reduzido e reaproveitáveis foram propostos e avaliados. Tais captadores foram desenvolvidos com tubos de polietileno associado a chapas de alumínio provenientes do descarte de indústrias gráficas.

As chapas de alumínio reaproveitadas utilizadas em ambos os captadores mostraram-se como excelentes materiais para funcionarem como aletas nos sistemas de aquecimento (lisas, de espessura fina, elevada condutividade térmica e elevada resistência à irradiação solar).

Os sistemas de captação propostos foram designados de: a) Captador solar em configuração “S” e b) Coletor solar com tubos de polietileno. Ambos não tem complexidade técnica quanto a montagem ou instalação e concluiu-se que qualquer pessoa pode realizar sua montagem e que não ocorreu falhas e/ou vazamentos no sistema durante todo o período, mesmo com as oscilações nas temperaturas.

### *a) Captador solar em configuração “S”*

O sistema de captação solar em configuração “S” proposto teve como principal diferencial a menor quantidade de conexões necessárias para construção, permitindo, assim, evitar possíveis vazamentos. Tal coletor mostrou-se de fácil montagem e instalação, reduzindo o tempo necessário para implementação, além de possuir os custos de construção bem menores quando comparado com os coletores convencionais disponíveis comercialmente.

O captador em configuração “S”, alcançou um pico de temperatura próximo a 37°C, quando o pico de temperatura ambiente no dia foi de 33°C. Tal constatação confirma a aplicação e viabilidade do equipamento proposto.

Os resultados indicaram que quanto maior a área de captação solar, maior foi a temperatura máxima alcançada. Os coletores com maiores áreas de captação também se mostraram menos eficientes quando avaliados no período noturno, tendo em vista que, obtiveram temperatura média do fluido no boiler menores. Tal constatação se deve ao fato de a dissipação de calor no período noturno ser maior em coletores de maior área.

No sistema “S” foi necessário maior área de captação solar para o aquecimento do fluido quando comparado com o coletor de tubos em paralelo.

*b) Coletor solar com tubos de polietileno*

No coletor solar com tubos de polietileno associado a chapas de alumínio recicladas, os resultados mostraram elevado ganho térmico do fluido no período diurno. Com apenas 0,86 m<sup>2</sup> de área de captação solar, foram alcançadas temperaturas do fluido no boiler próximas a 40°C. Em alguns momentos do dia foi verificado uma diferença de temperatura do fluido em relação a temperatura ambiente que chegou a 24°C.

O coletor obteve uma eficiência térmica de 39%, tal eficiência quando comparada com outros coletores de baixo custo, mostrou-se bastante elevada, confirmando a viabilidade do equipamento proposto.

A temperatura do fluido no boiler mostrou-se próxima da temperatura ideal para banho em qualquer hora do dia, mesmo no período noturno em que se tem maiores perdas de calor para o ambiente.

Assim, diante da necessidade de água aquecida, sobretudo para as famílias de baixa renda, público alvo para a utilização dos sistemas alternativos, os equipamentos propostos podem ser considerados apropriados, pois, além do baixo custo, quando comparado aos sistemas comerciais, suas instalações podem ser realizadas sem a necessidade de elevados conhecimentos técnicos, nem de grandes alterações nas instalações hidráulicas existentes, tornando os sistemas alternativos viáveis economicamente.

De maneira geral os coletores solares podem ser considerados uma excelente alternativa para reduzir o consumo de energia elétrica para o aquecimento de água, mas ainda é necessário uma sensibilização das pessoas perante a importância da economia de energia, pois a crescente demanda elétrica pode acarretar em vários riscos ecológicos, sejam eles através da implantação de novas usinas hidroelétricas, alagando vastas áreas, quanto pela infraestrutura de transmissão de energia, que degrada áreas de mata, ou até mesmo pelo simples funcionamento de tecnologias menos ecológicas, como usinas termoelétricas.

## REFERÊNCIAS

- ABIMFI – Associação Brasileira da Indústria de Material Fotográfico e de Imagem. **O que são as chapas Off-set**. Manual de chapas offset. 2012.
- ABRAHÃO, P. B. *et al.* **Estudo do comportamento e desempenho de aleta tipo pino**. Relatório de trabalho de conclusão em engenharia mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- ALMEIDA, E. *et al.* **Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica**. Open Journal Systems, volume 1, n. 2, 2016.
- ALMEIDA, G. S. M.; **Pesquisa e desenvolvimento de um sistema termoeletrico do tipo linear fresnel reflector**. Dissertação (Mestrado em Energia Renováveis) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, p. 86, 2013.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2004. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/busca?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fbusca%3Fp\\_auth%3D732VnHia%26p\\_p\\_id%3D3%26p\\_p\\_lifecycle%3D1%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_state\\_rcv%3D1&\\_101\\_assetEntryId=15026195&\\_101\\_type=content&\\_101\\_groupId=656835&\\_101\\_urlTitle=relatorio-aneel-2004&inheritRedirect=true](http://www.aneel.gov.br/busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fbusca%3Fp_auth%3D732VnHia%26p_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D1%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_state_rcv%3D1&_101_assetEntryId=15026195&_101_type=content&_101_groupId=656835&_101_urlTitle=relatorio-aneel-2004&inheritRedirect=true). Acesso em: agosto 2021.
- APPEL, J. C. R. **Desenvolvimento de sistema de aquecimento solar de baixo custo e complexidade técnica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.
- AROUCA, A. M. M. **Influência do material, tipo de escoamento e proteção transparente sobre o desempenho do coletor de um aquecedor solar de baixo custo**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia – MG, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15310: Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, p. 09. 2005.
- BARBOSA, D. O. *et al.* **Cartilha ABTG boas práticas ambientais para a indústria gráfica**. 2ª Edição ed. São Paulo: [s.n.]. 2009.
- BARBOSA, E. G. *et al.* **Influence of the absorber tubes configuration on the performance of low cost solar water heating systems**. Journal of cleaner production, 222, 22-28, março 2019.
- BORTOLETTO, D. R.; PEZZUTO, C. C. **Análise de desempenho de um aquecedor solar de baixo custo**: Reservatório Térmico Alternativo. Anais do XVII Encontro de Iniciação Científica e Anais do II Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. PUC – Campinas. 25 e 26 de Setembro de 2012.

CAIXA. Home Page. **Programa Minha Casa Minha Vida/FAR – Especificações mínimas**. Disponível em: <http://rionegro.pr.gov.br/sistemas/arquivos/licitacoes/files/Concorrenca%202011-2014%20-%20ANEXO%20I%20-%20Especifica%C3%A7%C3%B5es%20-%20PMCMV%20Faixa%2001>. Acesso em fevereiro de 2021.

CALEGARI, E. P. *et al.* **Levantamento dos resíduos gerados na gráfica da UFRGS visando a reutilização de materiais para o desenvolvimento de produtos**. 4º Fórum Internacional Ecoinnovar. Santa Maria – RS, 2015.

COSTA, R. N. A. **Viabilidade térmica, econômica e de materiais de um sistema solar de aquecimento de água a baixo custo para fins residenciais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE SERVIÇOS HOSPITALARES. EBSEH, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/ebserh/pt-br/hospitais-universitarios/regiao-centro-oeste/hc-ufg/comunicacao/noticias/qual-e-a-temperatura-ideal-para-o-banho#:~:text=Segundo%20Camilla%20de%20Barros%20Borges,de%20dores%20musculares%20e%20articulares>. Acesso em: maio 2022.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energias renováveis: um futuro sustentável**. Revista USP, São Paulo, n. 72, p. 6-15, 2007.

GOMES, C. P. **Energia Solar: utilização como fonte de energia alternativa**. Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, Vol. 2, nº 1, p. 159-163, 2012.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. **Energia e meio ambiente**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná). Home Page. **Atlas climático**. Disponível em: <http://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>. Acesso em maio de 2021.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Home Page. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/francisco-beltrao/historico>. Acesso em julho de 2021.

IPARDES (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social). Caderno Estatístico. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Cadernos-municipais>. Acesso em maio de 2021.

LOPES, J. T. **Dimensionamento e análise térmica de um dessalinizador solar híbrido**. Trabalho final (mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2004.

MACHADO, E. F. S. **Desenvolvimento de sistemas de geolocalização e rastreamento para a plataforma android – compass**. 2015. Monografia de Especialização (Especialista em Desenvolvimento de Sistemas de Internet e Dispositivos Móveis – Licenciatura em Informática) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano decenal de expansão de energia 2026**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br). Acesso em setembro de 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Disponível em: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br). Acesso em maio de 2022.

NASEER, A. *et al.* **Experimental investigation of photovoltaic panel thermal management using hybrid PCMS**. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/338230563\\_EXPERIMENTAL\\_INVESTIGATION\\_OF\\_PHOTOVOLTAIC\\_PANEL\\_THERMAL\\_MANAGEMENT\\_USING\\_HYBRID\\_PCMS](https://www.researchgate.net/publication/338230563_EXPERIMENTAL_INVESTIGATION_OF_PHOTOVOLTAIC_PANEL_THERMAL_MANAGEMENT_USING_HYBRID_PCMS). Acesso em Maio de 2020. Fifth international conference on advances in mechanical engineering. 2019.

PACHECO, F. **Energias renováveis**: breves conceitos. Conjuntura e planejamento, Salvador, n. 149, p. 4-11, 2006.

PAIVA, E. S. A. *et al.* **Análise comparativa da eficiência térmica de coletores A, B e C com penetração de água**. Revista Brasileira de Energia Solar, Ano 8, v. VIII, n. 2, p. 81-87, 2017.

PRADO, G. O. *et al.* **Estado da arte em tecnologias de captação da energia solar para fins térmicos**. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis – SC, 2014.

REBELATO, D. L. **Desenvolvimento de coletor solar construído com material proveniente de resíduo sólido de indústrias gráficas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

SAAD, F. **Usos para Chapas de impressão de alumínio**. Março de 2012. Disponível em: <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/6060-usos-para-chapas-deimpressao-de-aluminio/>. Acesso em 23 de maio de 2020.

SANCHES, G. **Eliminação de vazamentos em redes externas no contexto de programas de uso racional da água** – Estudo de caso: Universidade de São Paulo. Ambiente Construído, v. 8, n. 2, p. 41–51, 2008.

SÁNCHEZ-PANTOJA, N.; VIDAL, R.; PASTOR, M. C. **Aesthetic impact of solar energy systems**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, volume 98, p. 227-238, 2018.

SILVA, M. E. D. **Padrões ambientais emergentes e sustentabilidade dos sistemas 2**. Ponta Grossa: Editora Atena, capítulo 20, 2020.

SILVA, R. G.; DO CARMO, M. J. **Energia solar fotovoltaica**: uma proposta para melhoria da gestão energética. Inter Science Place, v. 12, n. 2, p. 129-173, 2017.

SIQUEIRA, D. A. **Estudo de desempenho do aquecedor solar de baixo custo**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia – MG, 2009.

THOMAS, N. **Sistemas alternativos de aquecimento solar para água do banho no estado do Rio Grande do Sul**. Artigo (Pós-Graduação em Eficiência Energética



Aplicada aos Processos Produtivos), Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2014.

VECCHIA, R. **O Meio Ambiente e as Energias Renováveis**: Instrumentos de Liderança Visionária para a Sociedade Sustentável. 1ª ed. 2010.

YOUNG, H. D. **Values for diamond and silica aerogel from CRC Handbook of Chemistry and Physics**. University Physics, 7th Ed. Table 15-5, 1992.