

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS FRANCISCO BELTRÃO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL:
ANÁLISE E TECNOLOGIA AMBIENTAL

DANIELLY LETÍCIA REBELATO

**DESENVOLVIMENTO DE COLETOR SOLAR CONSTRUÍDO COM MATERIAL
PROVENIENTE DE RESÍDUO SÓLIDO DE INDÚSTRIAS GRÁFICAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

FRANCISCO BELTRÃO

2019

DANIELLY LETÍCIA REBELATO

**DESENVOLVIMENTO DE COLETOR SOLAR CONSTRUÍDO COM MATERIAL
PROVENIENTE DE RESÍDUO SÓLIDO DE INDÚSTRIAS GRÁFICAS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof^o Dr. Bruno Arantes Moreira.

Coorientadora: Prof^a Ma. Cleila Cristina Navarini Valdameri.

FRANCISCO BELTRÃO

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UTFPR – Câmpus Francisco Beltrão

R289d Rebelato, Danielly Letícia

Desenvolvimento de coletor solar construído com material proveniente de resíduo sólido de indústrias gráficas / Danielly Letícia Rebelato. – Francisco Beltrão: [s.n.], 2019. 94 f. il.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Arantes Moreira.

Coorientadora: Profª. Ma. Cleila Cristina Navarini Valdameri.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Francisco Beltrão, 2019.

Bibliografia: f. 74-80

1. Energia solar - Sistema passivo. 2. Produtos reciclados. 3. Aquecimento solar. 4. Aquecedores solares de água. 5. Energia - Fontes alternativas. I. Moreira, Bruno Arantes, orient. II. Valdameri, Cleila Cristina Navarini, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. IV. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Ambiental. V. Título.

CDD: 628



FOLHA DE APROVAÇÃO Nº 008

**DESENVOLVIMENTO DE COLETOR SOLAR CONSTRUÍDO COM MATERIAL
PROVENIENTE DE RESÍDUO SÓLIDO DE INDÚSTRIAS GRÁFICAS**

por

Danielly Letícia Rebelato

Esta dissertação foi apresentada às treze horas e trinta minutos do dia vinte e sete de maio de dois mil e dezenove como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL, com área de concentração em Meio Ambiente, linha de pesquisa em Tecnologia Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo citados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. William Renzo Cortez Vega - UFGD
Membro externo

Prof. Dr. Bruno Arantes Moreira – UTFPR
Orientador

Prof.^a Dr.^a Michelle Milanez França – UTFPR
Membro

Prof. Dr. Rodrigo Lingnau – UTFPR
Coordenador

Para
os braços
que me envolvem.

AGRADECIMENTOS

Ao grande arquiteto do Universo.

Dedico este Trabalho aos meus avós paternos e maternos, Itacir “In Memoriam” e Norma Rebelato, Clemente “In Memoriam” e Berenice Tafarel “In Memoriam”, pela existência de meus pais Rodney e Rosemar Rebelato, pois sem eles este Trabalho e muito dos meus sonhos não seriam realizados. Além de todo amor, carinho e ensinamentos repassados à mim e à eles.

Em especial minha vó, por sempre me incentivar nos estudos, me apoiar em todos os momentos e sempre ter uma comidinha gostosa me esperando. Aos meus pais, por todo carinho e orgulho demonstrados à mim. E pela minha irmã Gabriella Rebelato, por ser minha companheira e amiga em todas as horas.

Ao meu namorado, colega, sócio, pessoa com quem amo partilhar a vida, Jean Appel. Obrigada pelo carinho, paciência, por estar sempre presente, me ajudando e apoiando e por sua capacidade de me trazer paz na correria do nosso cotidiano.

Meus dengos, King e Barragán, por alegrarem a casa, me desestressar, mostrar sua lealdade e amor puro, além dos demais animais de estimação que não moram comigo.

Aos meus amigos, pela paciência dos meus momentos ausentes. Com vocês, as pausas entre os estudos melhoraram e melhoram tudo o que tenho produzido na vida.

E de alguma forma toda minha família, que fizeram parte de mais esta formação e que vão continuar presentes em toda minha vida.

A todos os envolvidos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, professores e demais profissionais da UTFPR-FB e aos colegas que convivi nesse período de aprendizado e me deram total apoio e auxílio, além de todo conhecimento repassado, que só enriqueceu minha trajetória.

Em especial ao meu orientador, Professor Doutor Bruno Arantes Moreira, profissional extremamente qualificado, quero expressar o meu reconhecimento, admiração e agradecê-lo pela paciência, dedicação, incentivo, compreensão e principalmente por acreditar em minha capacidade.

A minha coorientadora, Professora Mestre Cleila Navarini Valdameri, por me acolher, disponibilizar seu tempo, ser amiga, atenciosa e dedicada sempre que eu precisava de uma direção.

Agradeço a banca, por acolherem o convite desta grande etapa de minha vida, pela atenção e engajamento na busca de aprimoramentos e sugestões para o Trabalho.

Concluindo, é difícil agradecer todas as pessoas que de algum modo, nos momentos serenos e/ou apreensivos, fizeram ou fazem parte da minha vida, por isso, agradeço de coração, todos os braços que me envolvem.

A gente tem que sonhar,
senão as coisas não acontecem.

(Oscar Niemeyer)

REBELATO, Danielly Letícia. DESENVOLVIMENTO DE COLETOR SOLAR CONSTRUÍDO COM MATERIAL PROVENIENTE DE RESÍDUO SÓLIDO DE INDÚSTRIAS GRÁFICAS. 2019. 112f. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2019.

RESUMO

A degradação ambiental é um grande problema da sociedade atual, sendo necessário buscar alternativas para mitigar os impactos negativos gerados pelo homem sobre o meio ambiente, através de soluções sustentáveis, viáveis e que visa o reuso de materiais que usualmente são descartados, contaminando e/ou poluindo o meio ambiente. Neste contexto, este trabalho tem como principal objetivo, desenvolver um captador solar construído com materiais de baixo custo e recicláveis. O coletor proposto, diferencia-se de outros coletores alternativos por ser construído com o reuso de chapas de alumínio, provenientes de impressoras offset, utilizadas em diversas indústrias gráficas. Desta forma, tais chapas foram adaptadas no captador solar para funcionarem como aletas, que ao se associarem com as tubulações de PVC, formaram um sistema de captação de elevada eficiência. Para análise da viabilidade do captador solar proposto, foram realizados três experimentos, divididos em duas categorias. No experimento sem aleta e no experimento com aleta, os ensaios foram em regime batelada e no experimento completo, o ensaio foi passivo em regime contínuo. Através dos resultados do experimento sem e com aleta, foi possível verificar que a aleta é funcional para a água atingir uma temperatura mais alta. No experimento completo, percebeu-se que em todos os períodos estudados, houve ganho térmico durante o dia. Como melhores resultados, verificou-se que o sistema aumentou 13°C na temperatura do reservatório em relação a temperatura inicial. Desta forma, os experimentos indicaram a viabilidade da utilização do coletor solar proposto, como uma excelente forma de reduzir o consumo de energia elétrica para o aquecimento de água. Em um contexto geral, o estudo trouxe uma nova alternativa de material reaproveitável para utilização no desenvolvimento de sistemas de aquecimento de baixo custo, promovendo, desta forma, o desenvolvimento sustentável. Os benefícios e a implementação do captador devem ser disseminados amplamente, em especial entre a população de baixa renda.

Palavras-chave: Energia solar. Eficiência energética. Chapas de impressão *offset*. Aquecimento solar. Termossifão.

REBELATO, Danielly Letícia. DEVELOPMENT OF SOLAR COLLECTOR CONSTRUCTED WITH MATERIAL FROM SOLID WASTE FROM GRAPHIC INDUSTRIES. 2019. 112f. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2019.

ABSTRACT

Environmental degradation is a major problem in today's society and it's necessary to seek alternatives to mitigate man-made impacts on the environment through sustainable, viable solutions that see the reuse of materials that are usually discarded, contaminating and / or polluting the environment. This context, this work has as main objective, to develop a solar collector with materials of low cost and recyclable. The proposed collector differs from other alternative collectors by being constructed with the reuse of aluminum sheets, derived from compensated, used in several graphic industries. In this way, these chapters were adapted in a solar collector to function like fins, at the same time that they were associated to PVC pipes, forming a system of capture of high efficiency. Analysis of the feasibility of the proposed solar collector, were extra the experiences, divided into two categories. In the experiment without breath and without experiment with fin, the tests were in baptized regime and without complete experiment, the test was passive in continuous regime. Comparing the results of the experiment with and without fin, it was possible to verify if there is a source of water to reach a higher temperature. No complete experiment, published in all its studied aspects, had a thermal gain during the day. As a result of the console, it was found that the system increased 13 ° C at the reservoir temperature from the initial temperature. In this way, the experiments indicated a feasibility of using the proposed solar collector as a way of reducing the consumption of electric energy for water heating. In a general context, the study had a new alternative of recyclable material for use in low-cost heating systems, thus promoting sustainable development. The benefits and implementation of the survey should be widely disseminated, especially among the low-income population.

Keywords: Solar energy. Energy efficiency. Offset printing plates. Solar heating. Thermosyphon.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 – Coletor solar plano.....	28
Figura 02 – Coletor calha parabólica.....	28
Figura 03 – Coletor torre solar.....	29
Figura 04 – Coletor bacia parabólica.....	30
Figura 05 – Coletor lentes Fresnel.....	30
Figura 06 – Sistema de aquecimento solar de água convencional com sistema termossifão.....	32
Figura 07 – Componentes do sistema de um modelo de um ASBC residencial.....	34
Figura 08 – Modelo de chapa de impressão <i>offset</i>	39
Figura 09 – Localização do município de Francisco Beltrão na mesorregião do estado do Paraná e localização do estado do Paraná no Brasil.....	46
Figura 10 – Precipitação do estado do Paraná no trimestre mais chuvoso.....	47
Figura 11 – Precipitação anual do estado do Paraná.....	48
Figura 12 – Umidade média anual.....	50
Figura 13 – Temperatura média (°C) anual do estado do Paraná.....	51
Figura 14 – Rosa dos ventos anual – Distribuição de velocidade.....	53
Figura 15 – Rosa dos ventos mensais – Distribuição de frequência.....	54
Figura 16 – Ilustração da unidade experimental sem aleta.....	56
Figura 17 – Gabarito de corte para duas chapas de impressão <i>offset</i>	57
Figura 18 – Ilustração da unidade experimental com aleta.....	58
Figura 19 – Peças e sua localização na unidade experimental completa.....	60
Figura 20 – Imagem fotográfica da unidade experimental completa.....	61
Figura 21 – Balanço energético da Terra.....	62
Figura 22 – Irradiação de Francisco Beltrão.....	63

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Variação de temperatura do experimento com aleta.....	66
Gráfico 02 – Relação da temperatura da água com o experimento com aleta e sem aleta.....	67
Gráfico 03 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 01: Período de 10/02 a 21/02/2018.....	69
a) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente.....	69
b) Vento.....	69
c) Chuva.....	69
Gráfico 04 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 02: Período de 22/02 a 24/02/2018.....	70
a) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente.....	70
b) Vento.....	71
c) Chuva.....	71
Gráfico 05 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 03: Período de 06/03 a 07/03/2018.....	72
a) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente.....	72
b) Vento.....	72
c) Chuva.....	72
Gráfico 06 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 04: Período de 21/04 a 27/04/2018.....	73
d) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente.....	73
a) Vento.....	73
b) Chuva.....	73
Gráfico 07 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 05: Período de 13/08 a 16/08/2018.....	74
a) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente.....	74
b) Vento.....	75

c) Chuva.....	75
Gráfico 08 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 06: Período de 26/11 a 30/11/2018.....	76
a) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente.....	76
b) Vento.....	76
c) Chuva.....	76
Gráfico 09 – Temperaturas atingidas pelo coletor nas quatro estações do ano.....	77
Gráfico 10 – Diferenças de temperatura entre a saída de água do reservatório e a temperatura da água na saída do coletor.....	79

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01 – Resumo anual de precipitação total (mm) de Francisco Beltrão.....	49
Tabela 02 – Resumo anual da temperatura média (°C) de Francisco Beltrão.....	52
Tabela 03 – Aquisição de dados da unidade experimental completa.....	68
Tabela 04 – Ganho térmico (°C) e quantidade de energia incidente absorvida pelo coletor (%) nos dias 26/11/2018 (primavera), 12/02/2018 (verão), 14/05/2018 (outono) e 13/08/2018 (inverno) de hora em hora.....	81
Tabela 05 – Materiais utilizados para a confecção da unidade completa e seus respectivos valores.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

a.C.	Antes de Cristo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A_{ext}	Área externa do coletor
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASBC	Aquecedores Solares de Baixo Custo
c	Calor específico da água
cm	Centímetros
CFC	Clorofluorcarboneto
d	Dia do ano (varia de 01 dia a 365 dias)
DIY	<i>Do It Yourself</i> (Faça Você Mesmo)
G	Radiação global
h	Hora
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
J/Kg°C	Jaule por quilograma por graus Celsius
J/m ² .s	Jaule por metro quadrado por segundo
kg	Quilogramas
km	Quilômetros
km/h	Quilômetros por hora
km ²	Quilômetros quadrados
kWh/m ² .dia	Quilowatt-hora por metro quadrado por dia
kWh	Quilowatt-hora
l	Litros
m	Metros
MJ	Megajoule
mm	Milímetros
m ²	Metro quadrado
Nº	Número
NBR	Norma Brasileira/Norma Técnica
O	Oeste
PET	Poli tereftalato de etileno
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos

PP	Polipropileno
PR	Paraná
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de polivinila
Q_{inc}	Valor incidente
$Q_{útil}$	Calor transferido para a água
R\$	Reais
S	Sul
s	Segundos
SAS	Sistema de aquecimento solar
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
un	Unidade
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
$W/(m.K)$	Watt por metro por kelvin
°	Graus
°C	Grau Celsius
'	Minutos
''	Segundos

SUMÁRIO

1 ASPECTOS INTRODUTÓRIOS	16
1.1 INTRODUÇÃO.....	17
1.2 PROBLEMA.....	19
1.3 HIPÓTESES.....	20
1.4 OBJETIVOS.....	20
1.4.1 Objetivo Geral	20
1.4.2 Objetivos Específicos	21
1.5 JUSTIFICATIVA.....	22
2 REVISÃO DE LITERATURA	24
2.1 RADIAÇÃO SOLAR: DIRETA, DIFUSA E GLOBAL.....	25
2.2 COLETORES E CONCENTRADORES SOLARES.....	27
2.3 PRINCIPAIS COMPONENTES E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA CONVENCIONAL.....	31
2.4 SISTEMA ASBC – AQUECEDOR SOLAR DE BAIXO CUSTO.....	33
2.5 NORMAS RELACIONADAS A COLETOR SOLAR PARA AQUECIMENTO DE FLUIDO.....	36
2.6 PATENTES DE COLETORES SOLARES DE BAIXO CUSTO NO BRASIL.....	37
2.7 OS RESÍDUOS GRÁFICOS.....	38
2.8 ALETAS E SISTEMA TERMOSSIFÃO.....	40
2.9 INCLINAÇÃO DOS TELHADOS DE RESIDÊNCIAS DE BAIXO CUSTO E DIMENSIONAMENTO DAS CAIXAS D'ÁGUA.....	41
3 MATERIAL E MÉTODOS	44
3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	45
3.2 O MUNICÍPIO DE FRANCISCO BELTRÃO.....	45
3.2.1 Localização	46
3.2.2 Precipitação	47
3.2.3 Umidade	50
3.2.4 Temperatura	51
3.2.5 Ventos	53
3.3 UNIDADE EXPERIMENTAL COM E SEM ALETA.....	55
3.3.1 Montagem da unidade experimental sem aleta	56
3.3.2 Montagem da unidade experimental com aleta	57

3.4 UNIDADE EXPERIMENTAL COMPLETA.....	58
3.4.1 Montagem da unidade experimental completa.....	59
3.5 RADIAÇÃO SOLAR.....	62
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	65
4.1 RESULTADOS DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS COM E SEM ALETA.....	66
4.2 RESULTADOS DA UNIDADE EXPERIMENTAL COMPLETA.....	68
4.3 COMPARATIVO DA UNIDADE EXPERIMENTAL COMPLETA EM CADA ESTAÇÃO DO ANO.....	77
4.4 ANÁLISE DE ABSORÇÃO.....	80
4.5 CUSTOS.....	81
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
5.1 CONCLUSÕES.....	86
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	86
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
6.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
7 PUBLICAÇÕES REFERENTES AO TRABALHO.....	96
7.1 PUBLICAÇÕES DE ARTIGOS REFERENTES AO TRABALHO.....	97
7.2 PATENTE.....	97
8 ANEXOS.....	98
8.1 ANEXOS.....	99

Neste capítulo será apresentada a base das informações necessárias para melhor entendimento do projeto, como a introdução ao tema juntamente com a organização do trabalho, em seguida, é apresentado o problema, hipóteses, objetivos e seguido pela justificativa.

1.1 INTRODUÇÃO

O sol é considerado uma fonte inesgotável de energia limpa e gratuita, além de ser um recurso natural é 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).

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, o clima brasileiro é predominantemente tropical e por possuir ao longo do país predominância de altitudes mais baixas ocorrem temperaturas mais elevadas, com predominância média superior a 20°C. Conclui-se que o país é ambientalmente favorecido, se comparado aos países desenvolvidos, os quais investem amplamente nas tecnologias de captação de energia solar.

Pelo exposto, há um vasto campo de pesquisas realizadas para melhor aprimoramento e desenvolvimento de equipamentos que buscam a melhor utilização da energia solar, beneficiando a economia e aprimorando fontes de energia que apresentem custo reduzido de equipamentos voltados a este setor (HINRICHS et al., 2011).

Em proveito da energia solar, é necessário convertê-la de forma direta ou indireta. Na forma direta, utiliza-se painéis solares fotovoltaicos, os quais convertem os raios solares em energia elétrica, para em seguida ser utilizada. Em relação a conversão de forma indireta, é necessário captar a radiação em uma grande área de insolação através de captadores ou concentradores solares, para assim gerar a eletricidade (PRADO et al., 2014).

Os captadores e concentradores solares são produzidos em diversos modelos e são utilizados para diversas finalidades tanto em residências, como comércios e

indústrias. De modo a aproveitar melhor esta energia limpa, segundo Hinrichs et al. (2011) pode-se aquecer água de piscinas, chuveiros e torneiras em geral, caldeiras e também ser convertida em energia elétrica.

Já o coletor solar plano tem o intuito de absorver e armazenar o calor, geralmente de um fluido, pela praticidade de transporte, o qual será aquecido, transportado e armazenado no reservatório. Este trabalho, utilizou esta forma de captação.

Apesar do cenário favorável, o custo inicial para a aquisição de um sistema de captação solar é relativamente elevado, necessita de tubulações adequadas, infraestrutura e ainda existem paradigmas culturais a serem quebrados (RODRIGUES; MATAJS, 2004).

Além do consumismo e de fontes poluidoras, o desperdício de materiais também é um dos problemas ambientais vivenciado atualmente pela humanidade. Na indústria gráfica há geração significativa de resíduos sólidos, onde parte pode ser reutilizada e partes não, como no caso das chapas de impressão *offset*, material utilizado para impressão direta nas indústrias gráficas. Nesta perspectiva, objetivou-se reutilizar em forma de aleta as chapas de impressão *offset*.

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.

Deste modo, intentou-se desenvolver um sistema de captação solar composto por chapas de alumínio provenientes do descarte de impressões *offset*, funcional e economicamente mais viável.

Além disso, foi verificado, registrado e comparado o ganho e perda térmica entre sistemas com e sem aletas e a diferença das temperaturas dos fluidos, examinadas as conexões dos canos de PVC (policloreto de polivinila) e das chapas de alumínio e ainda avaliada a viabilidade do uso das chapas como aleta. Foi também estimado a quantidade de radiação solar incidente no coletor e calculado a quantidade de energia absorvida pela água.

A presente dissertação está estruturada em oito capítulos. No capítulo 1, foram abordados os aspectos introdutórios e como já visto, sua parte inicial dá-se pela introdução ao tema. A seguir, será apresentado o problema, hipóteses, objetivo geral, objetivos específicos e justificativa.

Na revisão bibliográfica, capítulo 2, são apresentadas as bases e estudos pertinentes para a realização do projeto, abordando-se os temas: energia solar - radiação direta, difusa e global, coletores e concentradores solares, principais componentes e funcionamento do sistema de aquecimento solar de água convencional, sistema ASBC (aquecedor solar de baixo custo), normas relacionadas a coletor solar para aquecimento de líquido, patentes, os resíduos gráficos, aletas, sistema termossifão, inclinação dos telhados de residências de baixo custo e dimensionamento das caixas d'água.

Encontram-se no capítulo 3, as metodologias adotadas para a elaboração deste trabalho, a apresentação das características do local do estudo, bem como localização, precipitação, umidade, temperatura e dados sobre os ventos que incidem no município, assuntos pertinentes para o trabalho.

Ainda neste capítulo, foi abordado material e métodos utilizados para as experiências com e sem aletas e a unidade experimental completa, como produto final.

Seguindo, o capítulo 4 apresenta os resultados e discussões. As considerações finais encontram-se no quinto capítulo, juntamente com as sugestões para trabalhos futuros.

Para finalizar, no sexto capítulo encontra-se as referências bibliográficas, o capítulo sete são publicações referentes ao trabalho e o último capítulo são os anexos.

1.2 PROBLEMA

É necessário desenvolver medidas que reduzam os impactos negativos causados pela interação humana com o meio ambiente, sendo que a degradação ambiental é uma realidade atual.

O aumento da utilização da energia solar, sendo ela uma fonte de energia inesgotável e limpa é uma destas medidas, porém, com um custo inicial alto. Levando isto em consideração questiona-se:

É possível reutilizar chapas de impressão offset como uma solução sustentável, economicamente viável e funcional para o desenvolvimento de um coletor solar de baixo custo?

1.3 HIPÓTESES

Sabe-se que desde o início da humanidade, o homem utilizava o sol como recurso energético direta e indiretamente. Atualmente, seu uso está associado à agricultura, ao controle térmico, tratamentos e diagnósticos medicinais, às transações financeiras, entre outros (PALZ, 2002; PRADO et al., 2014).

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). Neste sentido, o aproveitamento da energia solar para aquecimento de água e geração de energia elétrica, são destaques de aproveitamento deste meio.

Deve-se também levar em consideração que além do consumismo e de fontes poluidoras, outro problema ambiental vivenciado atualmente é o desperdício de materiais. Em 2010, foi sancionada a Lei Federal número 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual prevê medidas e diretrizes para o correto gerenciamento dos resíduos sólidos, tais como redução, não geração e/ou reutilização de resíduos sólidos, destinação adequada, compartilhamento da responsabilidade referente ao ciclo de vida dos produtos, cooperação entre o poder público com a sociedade, entre outras (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019).

Deste modo, este trabalho oferece o desenvolvimento de um coletor solar de baixo custo, construído com material proveniente de resíduo sólido de indústrias gráficas, para população de baixa renda, havendo pouca necessidade de conhecimento técnico para a execução do mesmo e com intuito de aquecer a água para o chuveiro das residências destas famílias, através de uma fonte de energia limpa, gratuita e inesgotável, o Sol.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver um novo sistema de captação solar de baixo custo, a fim de utilizar uma energia limpa, inesgotável e gratuita, composto de chapas de alumínio

provenientes do descarte de impressões *offset*, como uma solução economicamente viável e funcional.

1.4.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- Utilizar a energia proveniente do sol como fonte de energia limpa e gratuita, aproveitando as boas condições de irradiação solar do Brasil;
- Reutilizar resíduo sólido gerado por indústrias gráficas, como aleta;
- Fabricar um sistema com baixo custo de produção, baixo impacto ambiental, durável e com pouca expectativa de falha, através de materiais alternativos e reciclados;
- Verificar o ganho térmico de um sistema sem aletas em relação a um sistema igualmente montado, porém com a utilização de aletas;
- Avaliar se as chapas de alumínio são funcionais para aquecer o fluido do tubo;
- Verificar o ganho e perda de temperatura entre o sistema com aleta e sem aleta e em relação as temperaturas ambientes;
- Comparar as diferenças de temperatura e ganho térmico dos fluidos do sistema com aleta e sem aleta;
- Avaliar a viabilidade do uso de chapas de alumínio provenientes do descarte de impressões offset, para utilização como aleta no coletor solar de baixo custo;
- Verificar se as conexões das chapas feitas através de encaixes apresentarão alguma deformação ou problema;
- Analisar se as conexões dos canos de PVC apresentarão vazamentos;
- Comparar os dados da unidade experimental completa nas quatro estações do ano;
- Estimar a quantidade de energia radiante incidente no coletor;
- Calcular a quantidade de energia absorvida pela água;
- Verificar o custo do sistema proposto e compará-lo ao de um coletor solar convencional.

1.5 JUSTIFICATIVA

Branco (2012) justifica que a queima de combustíveis, o aumento da produção de subprodutos indesejáveis, a devastação das florestas e inundações de amplas áreas para formação de hidrelétricas, vem acarretando em problemas ambientais e levando a necessidade do desenvolvimento de se obter energia de outras formas.

Segundo Vecchia (2010), uma natureza em equilíbrio, em harmonia e um planeta salubre, são algumas das preocupações para a preservação da civilização humana, denominada biocivilização, diante disso, houve um aumento da utilização da bioenergia.

Hinrichs et al. (2011) salientam que houve um grande crescimento na utilização de fontes de energia limpa, como a eólica, solar, geotérmica, entre outras, principalmente na Europa. As fontes renováveis equivalem a 8% da energia mundial aproximadamente, quando se inclui todos os usos de biomassa, este valor aumenta para 22%.

As energias renováveis proporcionam uma série de recursos e vantagens para os países em desenvolvimento, já que a utilização de energia é afetada diretamente pelas taxas de desenvolvimento econômico (HINRICHS et al., 2011).

Levando em consideração que o Brasil possui água em abundância, não há grande variação de incidência solar durante o ano, possui clima tropical propício e tem ampla disponibilidade territorial, o país tem um grande potencial para o crescimento e desenvolvimento sustentável no setor energético (VECCHIA, 2010).

A indústria gráfica é conhecida como uma das áreas que mais contribui socioeconomicamente para o Brasil, pois impacta no setor da cultura, ensino e na difusão de conhecimento (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.

Neste contexto, a justificativa deste trabalho se dá pela necessidade de desenvolver um coletor solar construído com material proveniente de resíduo sólido de indústrias gráficas (chapas de alumínio utilizadas para impressão offset), de forma com que de menor custo do que as que estão disponíveis no mercado, que cumpra seus objetivos e que utilize uma fonte de energia inesgotável e limpa.

Desta maneira, a proposta deste trabalho tem o intuito de verificar e comparar as diferenças de ganho e perda de temperatura dos experimentos durante as estações

do ano. Além disso, busca-se avaliar se as conexões das chapas e das tubulações apresentarão deformações, problemas e/ou vazamentos, investigar se as chapas de alumínio são funcionais e viáveis para sua utilização como aleta em um coletor solar de baixo custo.

Neste capítulo serão apresentadas algumas informações relevantes referentes a energia recebida do sol que se espalha pela atmosfera, em seguida, serão apresentados os modelos mais utilizados de captadores solares, entre eles os alternativos de baixo custo, quais são os principais componentes para o funcionamento de um aquecedor de fluido e as normativas necessárias para a comercialização de coletores, incluindo a apresentação de dois modelos de patentes, para melhor comparação com o coletor solar de baixo custo apresentado neste trabalho. Será relatado também, sobre os resíduos sólidos gerados nas indústrias gráficas, o que são e para que servem as aletas, sobre o sistema de termossifão e por fim um estudo sobre a inclinação dos telhados de residências de baixo custo e dimensionamento das caixas d'água.

2.1 RADIAÇÃO SOLAR: DIRETA, DIFUSA E GLOBAL

Segundo Prado (2011), a energia total incidente sobre a superfície terrestre, mais conhecida como radiação solar, é influenciada pela inclinação da rotação e também pela translação da Terra. Devido esta inclinação do eixo imaginário do planeta, a incidência da luz solar varia entre alguns períodos do ano e regiões.

As variações mais intensas acontecem no polo sul e polo norte durante os solstícios (que ocorrem duas vezes por ano: em junho e dezembro) e na linha do equador nos equinócios (que ocorrem em março e setembro). Sendo que solstício é quando há maior intensidade solar no hemisfério sul em determinada época do ano e na outra época a luz solar incide sobre o hemisfério norte e equinócio é quando a intensidade solar incide com a mesma intensidade em ambos os hemisférios (PRADO, 2011).

A radiação solar quando entra na atmosfera, tem sua distribuição espectral e intensidade dependente da massa atmosférica atravessada pela radiação e das condições atmosféricas, pois ao atravessar há constantes interações como reflexões, espalhamentos (de Rayleigh provocado por gases e Mie provocada por poeira e aerossóis) e sendo parte absorvida. A partir disto, a radiação solar pode ser classificada em duas partes distintas: a radiação solar direta e a difusa (LOPES, 2004; SIQUEIRA, 2009).

A radiação solar direta, define-se por não sofrer nenhum desvio causado pela atmosfera, ou seja, os raios solares partem do sol e atingem diretamente a superfície terrestre. No caso da radiação solar difusa, esta é composta por todos os raios solares os quais não seguiram um caminho direto até o solo sofrendo um desvio em seu trajeto, através da reflexão ou espalhamento da atmosfera, ou seja, parte da radiação sofreu modificações na trajetória ao atravessar a atmosfera. A radiação global, também chamada de radiação solar total, é a soma das parcelas de radiação direta e difusa que incidem na superfície (LOPES, 2004; SIQUEIRA, 2009).

Segundo Palz (1981), quando o tempo está nublado a radiação difusa é maior que a radiação direta. Por outro lado, quando o sol encontra-se próximo ao horizonte a radiação difusa quase iguala-se com a radiação direta e quando o sol está próximo ao zênite (ponto perpendicular ao solo comumente observado as 12:00 horas) a radiação direta é dez vezes superior que a difusa.

Há duas formas para a obtenção da energia solar: a forma direta e a indireta. A forma direta ocorre através da radiação de calor e luz sobre determinados materiais, os semicondutores: destaca-se as células fotovoltaicas (fótons contidos na luz solar) e termoelétrica que segundo ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), (2004, p. 29) “caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas”.

Para obtenção de energia solar na forma indireta, é necessária uma grande área de insolação para captá-la através de coletores solares e assim gerar a eletricidade ou aquecer o fluido.

Considerando que a luz solar encontra-se em toda superfície terrestre, esta pode ser utilizada de forma descentralizada, pois não necessita o transporte através de redes para sua distribuição.

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. A Aneel (2004) cita que pelo fato do Brasil estar localizado próximo a linha do Equador, não há grandes variações de incidência solar durante o dia. Acrescenta-se que pelo país possuir um clima tropical e temperaturas elevadas em comparação aos países europeus, os quais atualmente detêm os maiores índices de investimentos em produção de energia solar, dessa forma, o Brasil se encontra em melhor localização e clima para utilizar tal fonte.

Contudo, a região sul do país encontra-se mais distante do Equador. Para potencializar a radiação solar para sua utilização, pode-se ajustar o captador solar que não seja móvel para o norte, com inclinação angular similar ao da latitude local e posicionado onde haja pouco sombreamento durante o dia conforme o período do ano que se requer mais energia (ANEEL, 2004).

2.2 COLETORES E CONCENTRADORES SOLARES

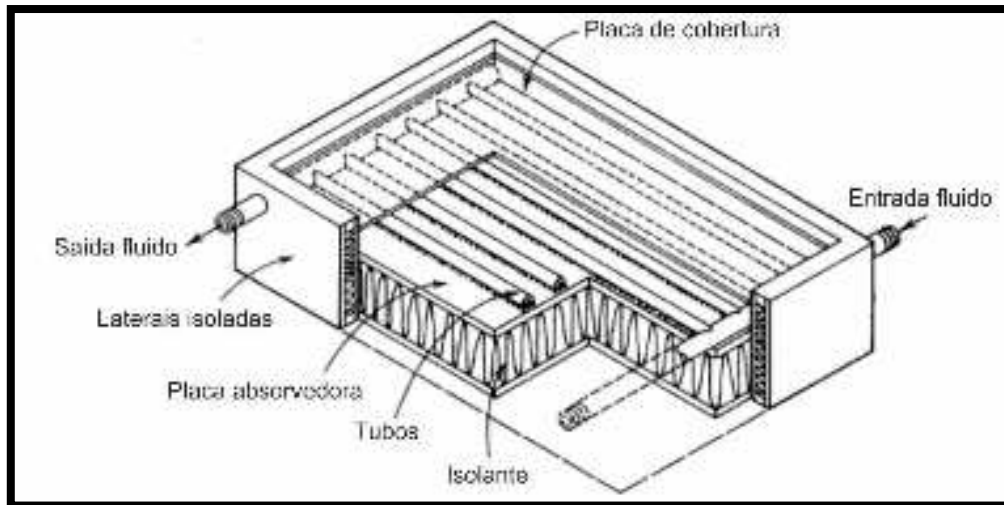
Segundo Anderson (1977), a utilização de coletores solares é registrada desde a pré-história, em 212 a.C., onde o cientista grego Archimedes inventou, através de um espelho côncavo metálico, um método para queimar a frota romana. Meinel e Meinel (1976), citam que nos anos de 1600, Atanásio Kircher resolveu verificar se a história de Archimedes era válida, assim, realizou algumas experiências para tentar colocar fogo em uma pilha de madeira, a distância.

A partir do século XVII, fornos solares feitos com lentes de vidro e espelhos, estavam sendo utilizados em toda a Europa e Oriente Médio, para fundir ferro, cobre e outros materiais (MEINEL; MEINEL, 1976).

Nos últimos 50 anos, muitos projetos foram construídos para coletar a energia solar e utilizá-la em diversas finalidades. Trends in Renewable Energies (2007), cita que muitos países estão criando programas de incentivo em prol da energia solar, fornecendo financiamentos com juros baixos e subsidiando preços para obtenção de tais equipamentos. Atualmente os modelos mais difundidos no mercado são os coletores de placa plana e os concentradores.

O coletor solar plano (Figura 01), geralmente é utilizado para aquecer a água de chuveiros, piscinas e de lavagem de roupas, pois a temperatura é superior que a temperatura ambiente. Sua superfície é plana e o intuito do equipamento é de absorver e armazenar o calor geralmente em um fluido pela praticidade de transporte. Após a captação solar, o fluido é aquecido no coletor e feito o transporte do mesmo do reservatório para o armazenamento.

Figura 01 – Coletor solar plano

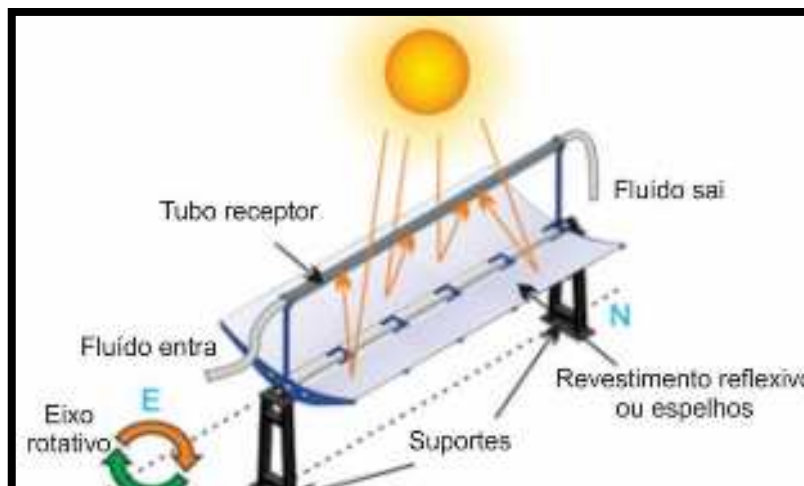


Fonte: Adaptado de Struckmann (2008).

Segundo Curinga, Lima e Souza (2013) há vários modelos de captadores solares do tipo concentrador, os mais utilizados são os coletores do tipo calha parabólica, do tipo torre solar, bacia parabólica e lentes Fresnel. Estes modelos têm como característica direcionar os raios solares de forma linear ou pontual e atingem maiores temperaturas, sendo definidos da seguinte forma:

- Coletor calha parabólica (Figura 02): também conhecido como coletor tipo calha ou cilíndrico. Este concentrador possui foco linear e é utilizado para aquecimento de águas em caldeiras e em estações elétricas. Seu sistema de aquecimento consiste na concentração dos raios solares em um tubo receptor, onde encontra-se o fluido a ser aquecido.

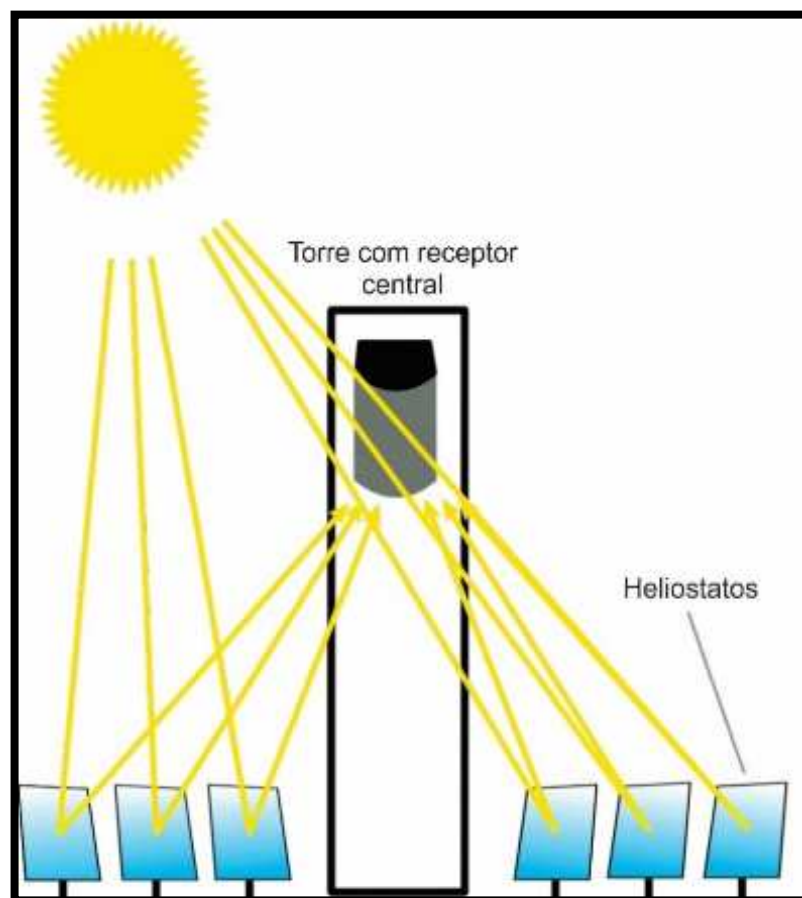
Figura 02 – Coletor calha parabólica



Fonte: Adaptado de <http://www.sltenergy.com/parabolic-trough-sol-yatna-csp/>, acesso em janeiro de 2019.

- Coletor torre solar (Figura 03): garante estoque quando há condições desfavoráveis, pois atinge altas temperaturas e pode ser armazenado de forma mais fácil. Sua característica é de possuir superfícies planas ou côncavas instaladas em um pilar que circundam um absorvedor térmico fixo localizado no topo de uma torre.

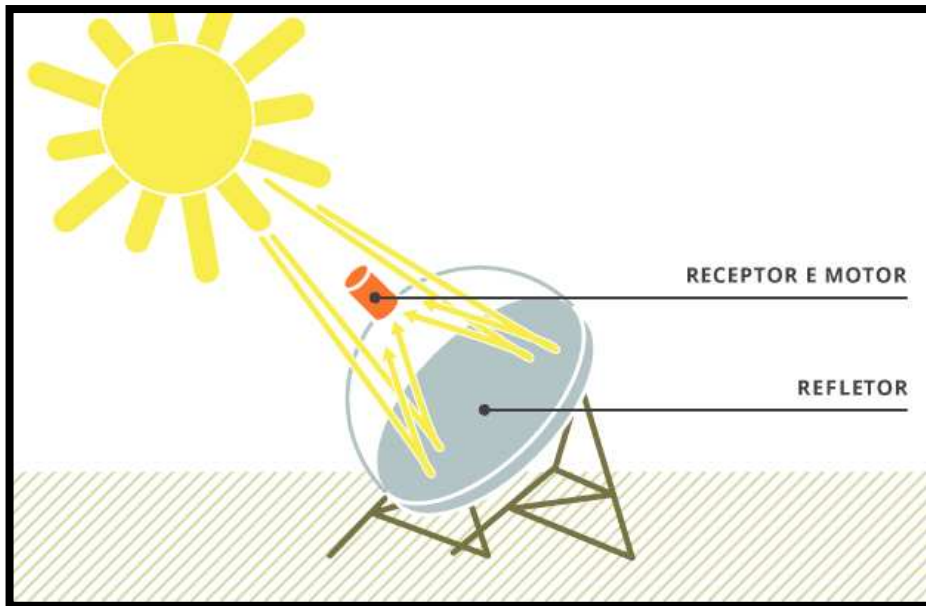
Figura 03 – Coletor torre solar



Fonte: Adaptado de Storch et al., (2015).

- Coletor bacia parabólica (Figura 04): pode ser encontrado também como parabólico de revolução ou parabolóide. Este concentrador possui foco pontual e é utilizado em equipamentos que necessitam altas temperaturas. A concentração dos raios são direcionados para o foco da parábola, no absorvedor pontual e este converte a energia solar indiretamente ou diretamente em energia elétrica.

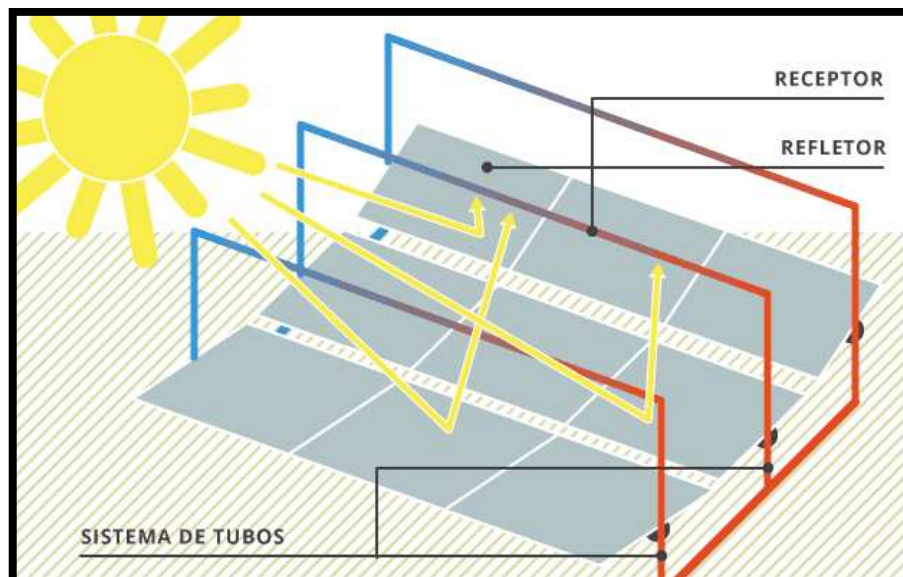
Figura 04 – Coletor bacia parabólica



Fonte: Adaptado de <http://energiaheliotermica.gov.br>, acesso em janeiro de 2019.

- Coletor lentes Fresnel (Figura 05): seu funcionamento dá-se por uma ou mais lentes que focam a energia em uma área de concentração e após é repassado para a geração de energia elétrica, aquecimento de água, entre outros casos.

Figura 05 – Coletor lentes Fresnel



Fonte: Adaptado de <http://energiaheliotermica.gov.br>, acesso em janeiro de 2019.

As desvantagens em utilizar os concentradores são o desamparo energético noturno. Quando o tempo encontra-se nublado, tem-se baixa produtividade e há

efeitos negativos causados pelo vento e sombras. Uma alternativa é utilizar outros meios de combustíveis para auxiliar na geração da energia.

2.3 PRINCIPAIS COMPONENTES E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA CONVENCIONAL

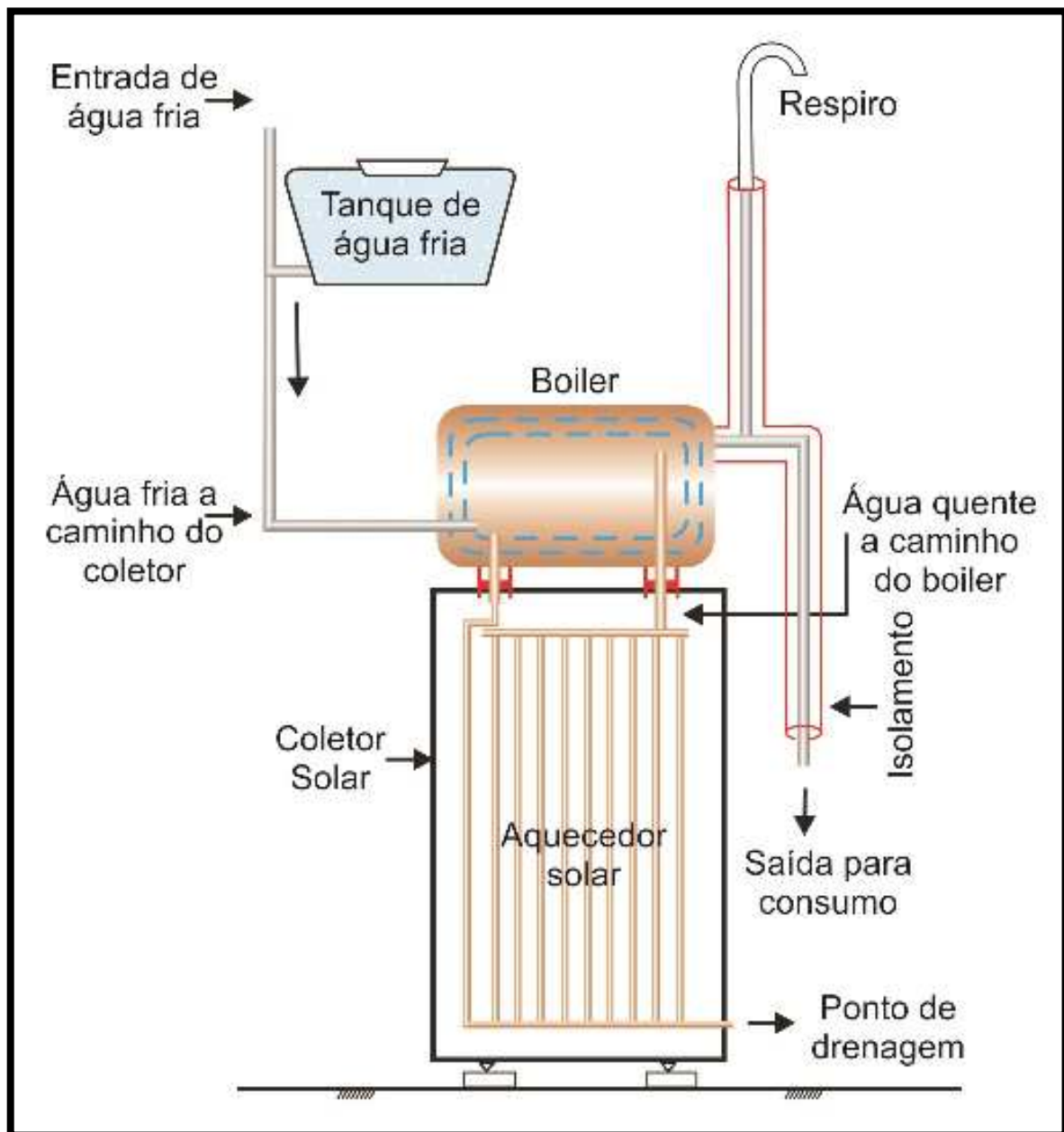
Segundo Siqueira (2009), há dois itens básicos utilizados nos aquecedores solares fabricados no Brasil: a placa coletora solar e o reservatório térmico, chamado de boiler. O desempenho de ambos está relacionado um com o outro. Além da placa e do boiler, são necessárias as tubulações, conexões e o fluido, sendo a água, o mais utilizado. O modelo de um sistema de aquecimento solar de água convencional com sistema termossifão, pode ser analisado na Figura 06.

No coletor solar plano convencional os principais componentes são: o fundo do sistema, podendo ser metálico (parte estrutural), o isolamento térmico nas laterais e nos fundos para não haver ou reduzir as perdas de calor, a aleta ou chapa de alumínio que auxilia no aquecimento. O sistema conta ainda com uma serpentina de cobre, que irá aquecer o fluido através da absorção e transferência de calor e a cobertura transparente para provocar o efeito estufa e reduzir perdas, sendo que a distância da placa absorvedora e da cobertura deve ser de no mínimo 5cm, segundo Gupta e Garg (1968).

O coletor solar é o principal componente do sistema de aquecimento solar, nele o fluido é aquecido e segue para ser armazenado no boiler até ser utilizado. Segundo Duffie e Beckman (1980), o coletor solar deve ter alta absorção de radiação e transmissividade de calor, porém, lembram que alguns materiais e mecanismos perdem energia e radiação térmica, sendo necessário que a superfície não a emita ou que a emitância seja a mais baixa possível para não haver perdas.

O boiler tem como principal função armazenar e garantir que a água aquecida pelo coletor permaneça quente durante a noite até o dia seguinte, assim como nos dias chuvosos. O reservatório é composto de materiais como aço inox, alumínio ou cobre na parte interna e externa. Entre a camada interna e externa é utilizado materiais com baixa condutividade térmica, como lã de vidro, rocha ou PET (poli tereftalato de etileno).

Figura 06 - Sistema de aquecimento solar de água convencional com sistema termossifão



Fonte: Adaptado de Sunline (2014).

O reservatório deve ser instalado pelo menos 50 cm abaixo do reservatório de água fria, com o intuito de criar pressão suficiente para que o boiler mantenha-se sempre cheio, bem como pelo menos 50 cm acima da entrada do coletor solar para viabilizar o efeito de termossifão o qual será abordado posteriormente. Este arranjo pode ser disposto de forma diferente, porém, haverá necessidade de um pressurizador para que o sistema funcione (SIQUEIRA, 2009).

2.4 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. Porém, o custo inicial para a implantação ainda é considerado relativamente elevado.

Um método que pode-se levar em consideração são os sistemas de aquecimento solares populares, ou seja, aqueles que possuem baixo custo em sua produção e na simplificação para fabricação, com eficiência pouco reduzida se comparada com aquecedores comerciais que possuem isolamento e cobertura transparente (SIQUEIRA, 2009).

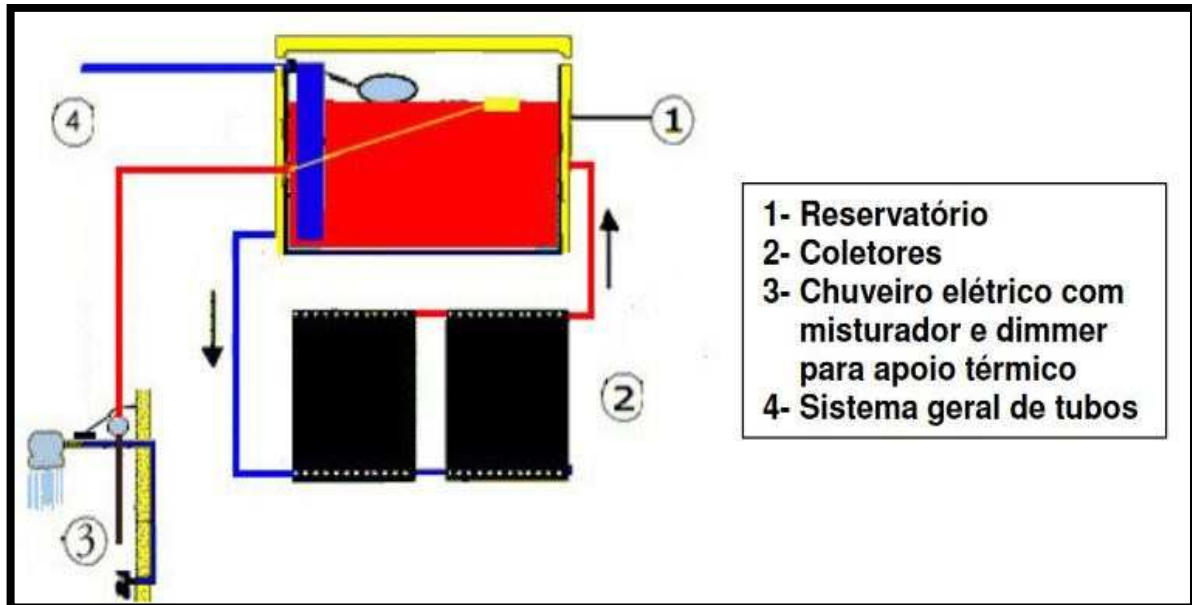
Kreider e Kreith (1981) citam que existem no mínimo sete fatores que podem afetar a quantidade de radiação solar que um coletor pode receber: se a região possui clima predominantemente nublado ou chuvoso, sombras no coletor, orientação do coletor, luminosidade solar do dia, época do ano, condições atmosféricas e o formato do coletor. Levando os quesitos em consideração, a localização do Brasil é privilegiada nas melhores condições citadas e faz com que os aquecedores solares de baixo custo possuam eficiência satisfatória.

Os ASBC podem ser implantados em residências e em locais de porte médio, como escolas, academias e até mesmo na agricultura. Segundo a Organização Não Governamental Sociedade do Sol (2008), para um sistema com capacidade de 1.000l (litros), ou seja, capaz de atender o banho para aproximadamente 40 crianças ou 30 adultos, é necessário cerca de dez coletores e o valor total da implantação é em torno de R\$ 1.000,00, com vida útil de 10 anos. Para uma família com quatro pessoas, o sistema deve ser composto por três placas coletoras interligadas com 0,91m² para um reservatório de 170l.

O sistema de funcionamento de um ASBC (Figura 07), possui o mesmo princípio que o sistema tradicional, tendo como diferencial os materiais utilizados e o “faça você mesmo” (*DIY – Do it yourself*). A operação do 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. Para isto acontecer, é necessário que os coletores estejam mais baixos que o reservatório, tornando o método mais econômico, caso contrário, pode-se utilizar uma bomba. O processo é

contínuo até o fluido atingir a mesma temperatura e houver boa irradiação solar (ORG SOSOL, 2008).

Figura 07 – Componentes do sistema de um modelo de um ASBC residencial



Fonte: ORG SOSOL, 2008.

Outra forma de baixar o custo do aquecedor solar, é utilizar aletas para aumentar a superfície de absorção, transferindo o calor através da condutividade térmica. No lugar dos materiais nobres com condutividade mais alta, pode-se reutilizar ou reciclar metais com condutividade menor.

Outra alternativa é utilizar a própria caixa d'água, geralmente encontrada no forro das casas brasileiras, a fim de enviar o fluido para o reservatório térmico sem pressão excessiva que possa influenciar negativamente no funcionamento do boiler. Além disso, pode-se utilizar o chuveiro elétrico nos dias nublados como aquecedor de apoio e também a possibilidade da construção de um ASBC com menos conhecimento técnico.

Nos ASBC, não pode-se fazer a utilização da cobertura de vidro, geralmente utilizada em coletores encontrados no mercado, pois a água aqueceria demais e os materiais em PVC sofreriam danos, uma vez que estes possuem limites de temperatura, além disso torna os ASBC mais simples com a ausência da caixa retangular. Ambos os componentes (cobertura de vidro e a caixa retangular) são necessários nos coletores convencionais para diminuir a influência da interação dos ventos no rendimento e obter maior temperatura (SIQUEIRA, 2009).

Ressaltando que através do ASBC é possível utilizar materiais em PVC como encanamento que interliga o chuveiro, no reservatório e nos coletores, sendo que no sistema comercial são necessários canos específicos para altas temperaturas e a ausência da caixa retangular e da cobertura também faz com que haja redução de perigo da água muito quente machucar alguém. É importante ressaltar que para cada local são necessários estudos de localização, implantação, inclinação dos aparelhos, entre outros para um bom funcionamento.

Com intenção de diminuir a perda de calor, a água quente fica armazenada no reservatório devidamente isolado termicamente. O apoio térmico do ASBC é formado por um chuveiro elétrico com um controlador eletrônico de potência, chamado *dimmer*, que permite um ajuste fino na elevação da temperatura da água do banho (SIQUEIRA, 2009).

Siqueira (2009) cita que o processo de estratificação é de grande importância para que o projeto do coletor solar seja mais simples e isso só é permitido porque a água quente é mais leve que a fria e enquanto não houver movimentação da água dentro do reservatório, esta separação se mantém. O processo de difusão faz com que a parte superior do reservatório, a qual está aquecida, interaja com a parte inferior do reservatório onde o fluido se encontra em uma temperatura inferior. Estes transferem lentamente o calor da parte superior para a parte inferior até que o fluido alcance uma homogeneização de temperatura ao longo do dia.

Há outros modelos de coletores solares de baixo custo, também chamados de coletores solares alternativos, que possuem a mesma finalidade do sistema tradicional: obter boa captação de energia para aquecimento de um fluido de forma mais barata e que faz a utilização de materiais com baixo valor, como garrafas PET, embalagens longa vida (conhecidas também como "embalagens *Tetra Pak*"), entre outros materiais.

Como dito anteriormente, o reservatório de um aquecedor solar alternativos 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).

2.5 NORMAS RELACIONADAS A COLETOR SOLAR PARA AQUECIMENTO DE FLUIDO

Para um bom desempenho técnico, os coletores solares para aquecimento de um fluido devem seguir a ABNT NBR 15747 parte 1 e parte 2, criadas em 11 de agosto de 2009. Na primeira parte encontra-se os requisitos gerais e em sua segunda parte os métodos de ensaio.

A ABNT NBR 15747-1:2009 cita que os materiais devem possuir resistência as intempéries que irão estar expostas, como alta temperatura, penetração de chuva, resistência ao congelamento, choque térmico, resistência a impactos, que não haja vazamentos, danos ou deformações tanto no coletor quanto na cobertura a ser instalada. A instalação e montagem do coletor deve ser segura, sem arestas cortantes, fluidos tóxicos, contaminantes ou com demais características potencialmente perigosas.

Se comercializados, também faz-se necessário que os coletores possuam etiquetas com identificação de fabricação, temperatura de estagnação, fabricante, dimensões, materiais utilizados no coletor, características físicas, entre outros e manual de instruções para a instalação (ABNT, 2009).

Na segunda parte da norma, são especificados três métodos de ensaio para validar a primeira parte da norma: durabilidade, desempenho térmico, segurança e confiabilidade dos coletores. Também é citado como a estrutura de montagem do coletor deve ser, inclinação, orientação entre outras generalidades, para ser possível manter um padrão e ser realizado um dos três métodos de ensaio e após, o coletor ser inspecionado (ABNT, 2009).

A ABNT NBR15569:2008 refere-se aos sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto – projeto e instalação, aplicada em coletores solares planos com e sem reservatório térmico e eventual sistema auxiliar para aquecimento da água. Além disso, é considerado os aspectos de dimensionamento, instalação, manutenção, concepção e arranjo hidráulico de um SAS (sistema de aquecimento solar), no qual o fluido utilizado é a água.

2.6 PATENTES DE COLETORES SOLARES DE BAIXO CUSTO NO BRASIL

Existe um vasto campo de pesquisas realizadas para melhor aprimoramento e desenvolvimento de equipamentos que buscam a utilização da energia solar, deste modo, estudou-se dois modelos de patentes, para melhor comparação com o coletor solar de baixo custo construído com chapas de alumínio provenientes do resíduo sólido de indústrias gráficas.

A patente PI 0402869-4 A2 de Jose Alcino Alano, 2004, trata-se da invenção de um sistema de aquecimento solar composto de embalagens descartáveis, como garrafas pet e embalagens cartonadas (caixinhas longa vida). No entanto, sabe-se que estes materiais reciclados, não resistem por um longo período de tempo, quando expostos continuamente a irradiação solar. Além disso, verifica-se que a montagem deste sistema de captação, exige uma série de cortes nas embalagens, o que torna a construção do coletor relativamente difícil. Portanto, o desenvolvimento de um sistema de coletor solar com embalagens descartáveis pode não ser o ideal.

Outro coletor de baixo custo proposto, foi registrado pela patente nº 014090002818 de Gilberto F. Bezerra, 2010. Esta invenção trata-se de um captador solar de baixo custo, em que sua construção possui conexões através de soldagem. No entanto, sabe-se que a montagem com o uso de ferro de solda, exige conhecimento técnico, oferece risco de queimaduras aos seus usuários e também requer um extenso tempo para o desenvolvimento do coletor, além de ser um processo que torna o coletor suscetível a vazamentos, quando realizado por alguém sem a devida especialidade técnica.

Neste contexto, verifica-se que o correto funcionamento destes coletores alternativos de baixo custo exige conhecimentos técnicos para sua montagem, demandam destreza e há o inconveniente fato que as conexões expostas a radiação solar e as consequentes variações térmicas tendem a gerar vazamentos com o passar do tempo.

Por estes motivos, verificou-se a necessidade de novos protótipos que contemplem características de baixo custo de construção e facilidade de instalação, ou mesmo, se possível, o uso de materiais já utilizados em outros processos, que contemplem características de elevada resistência em relação à irradiação solar.

Deste modo, afere-se que na indústria gráfica existe geração significativa de resíduos sólidos, onde parte pode ser reutilizada e partes não. Como no caso das

chapas de impressão offset, material constituído por alumínio, utilizado para impressão direta nas indústrias gráficas, e, que, após impressão, são geralmente descartadas, gerando grande quantidade de tal resíduo.

Nesta perspectiva, objetivou-se durante a pesquisa, através desta invenção, fazer o pedido de patente, propondo um captador solar alternativo que utilize materiais de fácil aquisição e baixo custo (como tubos de PVC), bem como, materiais provenientes de resíduos sólidos de elevada durabilidade, como as chapas de alumínio descartadas por indústrias gráficas.

2.7 OS RESÍDUOS GRÁFICOS

Devido a gradativa produção de bens de consumo incita-se o crescimento e aumento do acúmulo de resíduos sólidos, que por sua vez resultam de atividades humanas de origem hospitalar, doméstica, comercial, industrial, agrícola, de serviços e de varrição (ABNT NBR 10004:2004).

Segundo Braga (2005), a poluição é a alteração da hidrosfera ou litosfera de forma indesejável, tanto nas características físicas, biológicas ou químicas da camada, podendo causar ou causando prejuízos para a sobrevivência, atividades ou saúde dos seres vivos e/ou deteriorando materiais.

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, do mesmo modo preocupa-se nos impactos que causam no meio ambiente (BARBOSA; WITTMANN, 2009).

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 impressão *offset* (Figura 08) 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 (watt por metro por kelvin), 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).

Figura 08 – Modelo de chapa de impressão *offset*



Fonte: CAPARROZ, 2012.

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).

As chapas podem ser recicladas e reutilizadas em fogões solares, utilizando as chapas no seu interior, exterior e como refletores, assim não precisando conexões a gás ou elétricas e podendo ser utilizado em ambiente externo. Outro método é utilizar as chapas como telhas, pois são de alumínio, material mais leve se comparando com os materiais convencionais utilizados, após seu uso, pode ser reutilizada novamente, oferecendo uma economia significativa (SAAD, 2012). Aponta-se ainda o emprego das chapas de impressão offset em captadores solares, como aletas, objeto de estudo deste trabalho.

2.8 ALETAS E SISTEMA TERMOSSIFÃO

Abrahão et al. (2007, p. 1) reportam 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”, ou seja, a superfície das aletas captam ou dissipam o calor. As aletas são comumente utilizadas em captadores solares, motores elétricos, compressores, transformadores, entre outros.

No âmbito de um coletor solar, a placa que absorve a radiação solar é o principal componente e deve obedecer a critérios rígidos em sua construção, para possuir aderência e estanqueidade, pois juntamente com a chapa estão os tubos que possuirão o fluido em seu interior (LOPES, 2004).

Quanto ao sistema de termossifão, 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 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.

A vazão dos captadores solares se dá através da função do ganho útil de energia do coletor que aumenta a temperatura, fazendo com que diminua a densidade

da água, que por sua vez aumenta a vazão do sistema alto ajustável (SIQUEIRA, 2009).

Close (1962) observou em uma grande quantidade de testes referentes as condições de operação que o aumento da temperatura da água é de cerca de 10°C. Gupta e Garg (1968) citaram que os coletores solares apresentam aumento de temperatura constante do fluido que entra e sai do coletor.

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 (SIQUEIRA, 2009).

Para o funcionamento adequado do termossifão é necessário um desnível de no mínimo 50 cm e no máximo 500 cm entre o coletor e o reservatório, sendo que o reservatório sempre deve-se manter acima do coletor.

Conforme Siqueira (2009), o sistema mais amplamente utilizado possui um circuito dito aberto, onde a água utilizada no consumo circula no interior da grade de tubos do coletor e sempre que esta é consumida, o reservatório é reabastecido automaticamente através de uma torneira boia.

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.

2.9 INCLINAÇÃO DOS TELHADOS DE RESIDÊNCIAS DE BAIXO CUSTO E DIMENSIONAMENTO DAS CAIXAS D'ÁGUA

Se tratando da inclinação dos telhados em relação a inclinação mínima para o funcionamento dos captadores, há vários tipos de telhas e várias inclinações para cada uma delas, mas pelo fato deste trabalho se tratar do desenvolvimento de um coletor solar de baixo custo, construído com material proveniente de um resíduo sólido gerado em indústrias gráficas, acredita-se que a utilização do mesmo se dará para famílias de baixa renda.

Uma forma de adquirir a casa própria, é através de financiamentos, um deles muito conhecido pela população brasileira é programa do governo federal Minha Casa Minha Vida. Segundo a Sienge (2016), o programa possui quatro tipologias, estas se diferem principalmente quanto ao valor da obra, tamanho da habitação e a renda mensal da família.

Em cada tipologia há especificações mínimas à serem seguidas e para este trabalho, a especificação que interessa é a do tipo de cobertura necessária para a habitação. Desta forma, 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, foi determinado que para a telha cerâmica é necessária a inclinação de 30% e no máximo 36%. Acima deste valor acarretasse problemas, como goteiras. 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%).

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.

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.

Referente ao tamanho da caixa d'água, a NBR 5626/98 recomenda seguir a norma local (prefeitura/código de obras) para definir seu volume. Entretanto, os reservatórios devem suprir dois dias do consumo de uma residência e variam conforme a localização da casa e sua utilização.

Para dimensionar o reservatório, recomenda-se para uma residência o consumo médio de 150l por pessoa/dia. Em apartamentos, o consumo médio por pessoa é de 200l por dia. Ou seja, se a residência possui dois moradores, é necessário

ter uma caixa d'água de 600l, sendo, duas pessoas x 150l por pessoa x dois dias (REALI et. al, 2002).

Porém, este dimensionamento do reservatório prevê todos os usos residenciais e não só o volume de água consumido para banho. Para calcular o tamanho do reservatório com utilização apenas para armazenar a água do chuveiro, foi utilizado os estudos de Barreto (2008).

Segundo Barreto (2008), um morador consome diariamente um valor padrão de 40l por dia no chuveiro. Levando em consideração seus levantamentos, ele avaliou sete residências, quais os valores médios consumidos diariamente foram de 35,3l por dia por pessoa, num banho com duração de oito minutos com vazão de cinco litros por minuto.

Logo, a instalação de um reservatório de 100l para o aquecedor solar de baixo custo deve suprir as demandas plenamente, tendo em vista a grande inércia térmica da água, um volume elevado do reservatório pode reduzir a temperatura máxima do fluido, reduzindo a eficiência do reservatório e o deixando a mercê de grandes perdas térmicas durante a noite.

Além desta perda, o reservatório do aquecedor é somado ao reservatório normal, assim, caso haja algum eventual problema com o abastecimento de água, o chuveiro pode ser suprido pelo reservatório convencional.

Este capítulo aborda a metodologia adotada e também expõe estudos referentes a cidade de Francisco Beltrão - PR, município onde os experimentos foram realizados, levantando dados importantes para a pesquisa sobre o local, como precipitação, umidade, temperatura e ventos, tido como a caracterização da área de estudo. O presente capítulo apresenta também a caracterização e estruturação do banco de dados.

3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A metodologia adotada para a dissertação foi baseada na pesquisa bibliográfica, a qual é elaborada através de revisões literárias, tendo como fontes livros, periódicos científicos, entre outros, sendo que, o projeto proposto neste trabalho é de natureza experimental e quantitativa.

Para o desenvolvimento do projeto, optou-se em construir três unidades experimentais: a unidade experimental sem aleta, a unidade experimental com aleta e a unidade experimental completa.

3.2 O MUNICÍPIO DE FRANCISCO BELTRÃO

A intensificação de habitantes no município ocorreu no ano de 1940, através da imigração de descendentes de italianos e alemães vindos das serras gaúchas e catarinenses, mas o primeiro registro de habitantes na região dá-se por volta de 1922, segundo a Mfrural (2014).

Em dezembro de 1952, a então vila Marrecas, desmembrou-se de Clevelândia e foi consolidada município, seu nome, Francisco Beltrão, foi herdado de um engenheiro, uma das primeiras pessoas a passar pelo município (MFRURAL, 2014).

O relevo do município de Francisco Beltrão é bastante variável, sua altitude é de 570m, mas encontra-se entre 450m a 950m. Possui áreas praticamente planas e em contrapartida também acentuados declives.

Francisco Beltrão possui população estimada em 88.465 pessoas, conforme dados do IBGE de 2017. O maior adensamento ocorre na parte mais plana, o centro da cidade, local qual desenvolveu fortemente o comércio e conta com diversas construções públicas, agências bancárias e lojas diversificadas (IBGE, 2017).

O município é considerado 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 e por ser um município de referência, Francisco Beltrão é um grande gerador de empregos (MFRURAL, 2014).

A seguir, será apresentado dados do município de Francisco Beltrão que são pertinentes para os experimentos.

3.2.1 Localização

Francisco Beltrão localiza-se no centro do Sudoeste do estado do Paraná, encontra-se a 470km da capital Curitiba, fica a cerca de 30km da divisa do estado com Santa Catarina, a aproximadamente 70km da Argentina e em menos de 5km encontra-se a cidade vizinha, Marmeleiro (SUDOESTEONLINE, 2014). Na Figura 09 mostra-se a localização do município no estado do Paraná e do estado do Paraná no Brasil.

Figura 09 – Localização do município de Francisco Beltrão na mesorregião do estado do Paraná e localização do estado do Paraná no Brasil



Fonte: A autora (2019).

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).

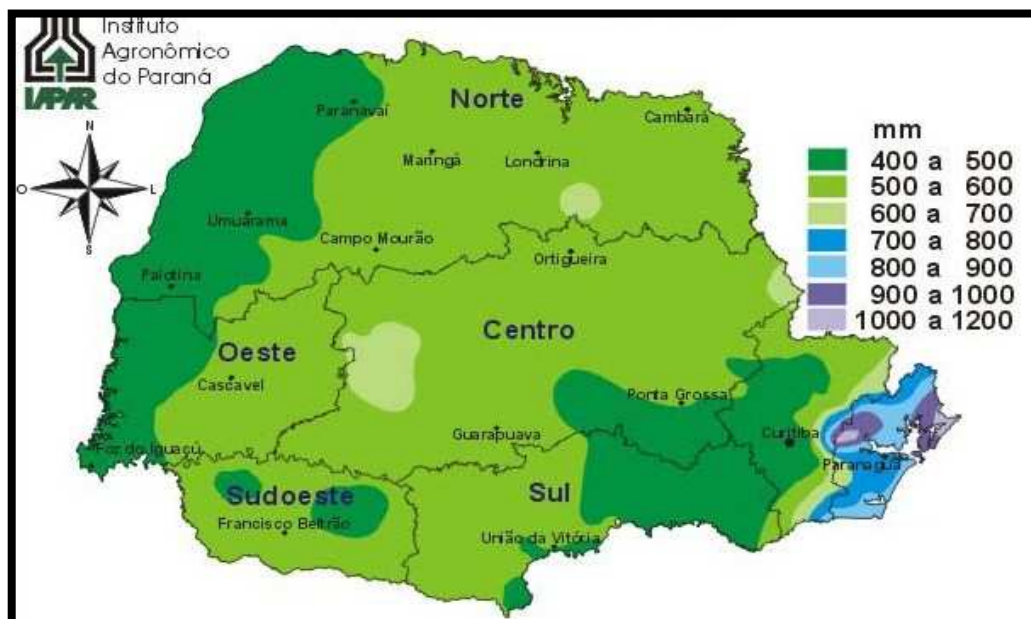
O município delimita-se com as seguintes cidades: Nova Esperança do Sudoeste, Enéas Marques e Verê ao norte, Itapejara d'Oeste, Bom Sucesso do Sul e Renascença ao leste, Manfrinópolis, Pinhal de São Bento e Ampére ao oeste e ao Sul, o município de Marmeleiro (SUDOESTEONLINE, 2014).

Segundo o IBGE (2016), a área total do município é de 735.111km² e localizado na parte sudeste do município encontra-se o núcleo da cidade, com aproximadamente 50km².

3.2.2 Precipitação

Segundo o Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR (2017), precipitação é qualquer deposição da água proveniente da atmosfera, sendo ela na forma sólida ou líquida, exemplo: chuva, chuveiro, granizo, orvalho, neblina, neve, entre outros. Geralmente a precipitação é medida em milímetros, sendo que um milímetro equivale a um volume de um litro de água numa superfície de 1m².

Figura 10 – Precipitação do estado do Paraná no trimestre mais chuvoso



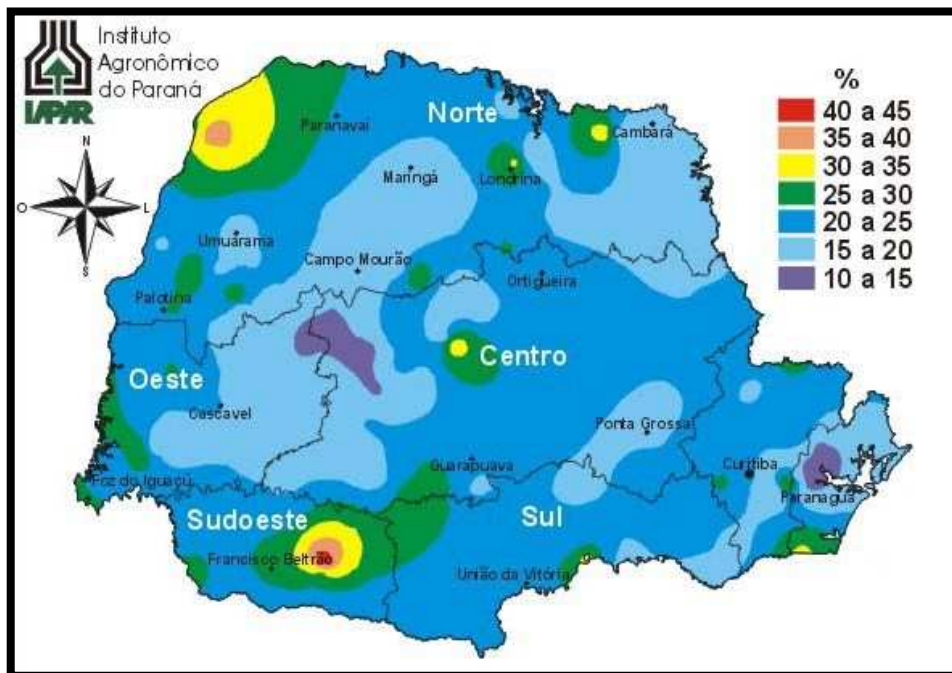
Fonte: IAPAR (2017).

Como pode-se observar na Figura 10, a precipitação do município de Francisco Beltrão no trimestre mais chuvoso, que são os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, foi de 500mm a 600mm.

Considerando o coeficiente de variação, que segundo Mohallem et al. (2008, p. 499) é: “uma medida de dispersão empregada para estimar a precisão de experimentos e representa o desvio-padrão expresso como porcentagem da média”, observa-se na Figura 11 que a precipitação do estado do Paraná é bastante variada.

Nas regiões como a central e o oeste paranaense, há locais que chegam a atingir apenas 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.

Figura 11 – Precipitação anual do estado do Paraná



Fonte: IAPAR (2017).

Na Tabela 01, apresenta-se a média da precipitação total mensal, juntamente com o total anual (TA) do município de Francisco Beltrão desde 1974 até 2017, com destaque nos meses que foram coletados os dados para os experimentos.

É possível observar que o mês de agosto é o mês mais seco, com apenas 112,0 mm de precipitação média e o mês mais chuvoso é o de outubro, com 256,8 mm de precipitação média, com base nos dados desde 1974 até 2017.

Tabela 01 – Resumo anual de precipitação total (mm) de Francisco Beltrão

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TA
1974	133,1	112,9	112,5	112,3	51,4	142,2	34,0	145,1	60,9	185,5	208,9	190,6	1489,4
1975	171,4	187,1	128,2	133,8	80,6	122,1	108,0	106,4	250,8	389,7	243,6	189,1	2110,8
1976	220,8	92,0	88,6	105,1	181,0	128,8	44,7	99,8	59,1	174,0	129,6	128,8	1452,3
1977	150,5	178,9	132,2	44,5	30,6	171,4	57,1	140,3	134,8	153,1	302,1	142,1	1637,6
1978	81,6	35,1	23,7	0,5	70,4	129,8	255,6	77,4	143,9	111,0	173,2	95,5	1197,7
1979	58,6	150,6	67,2	220,2	471,5	9,3	192,6	192,1	206,2	478,3	185,8	245,2	2477,6
1980	221,6	217,8	109,6	51,6	161,9	51,0	110,9	150,6	126,0	173,8	99,8	133,9	1608,5
1981	125,6	180,8	99,6	239,7	28,0	121,5	8,2	78,1	96,9	138,8	270,3	395,2	1782,7
1982	71,1	250,3	128,5	40,7	136,8	397,7	296,6	176,5	54,0	264,3	540,7	182,5	2539,7
1983	92,8	262,4	357,2	265,3	610,8	211,5	668,2	24,8	312,4	180,2	220,0	199,7	3405,3
1984	280,9	218,7	203,2	137,6	77,9	261,3	82,5	226,9	129,9	153,1	227,0	189,9	2188,9
1985	40,4	228,7	169,4	141,5	94,7	36,5	119,1	64,9	103,2	140,3	172,9	44,2	1355,8
1986	197,5	171,1	169,3	195,9	303,1	41,4	91,6	129,8	258,1	127,8	145,8	69,9	1901,3
1987	138,5	212,7	84,5	345,8	340,2	141,0	120,4	77,8	43,8	197,1	226,2	154,9	2082,9
1988	156,1	62,8	102,7	219,8	206,1	189,5	3,9	9,1	30,9	205,9	29,8	149,3	1365,9
1989	474,3	243,0	109,9	131,3	111,9	118,9	132,9	174,3	275,3	246,4	134,6	80,7	2233,5
1990	421,6	157,8	110,1	356,3	274,4	302,9	192,5	242,5	279,1	267,9	125,7	218,6	2949,4
1991	114,8	79,7	58,1	236,7	44,0	388,3	39,7	52,2	120,0	158,2	125,8	256,1	1673,6
1992	41,8	212,2	214,0	125,7	388,1	273,8	124,0	153,5	121,4	229,7	214,5	84,3	2183,0
1993	239,9	84,1	75,6	51,0	339,1	221,4	180,1	19,2	264,2	211,8	105,0	125,6	1917,0
1994	122,0	242,4	106,5	114,3	294,5	208,3	209,5	20,2	139,2	257,1	262,6	311,0	2287,6
1995	186,4	111,3	166,3	170,4	15,3	175,9	90,6	35,1	219,7	240,9	100,4	92,7	1605,0
1996	310,5	381,9	305,9	66,5	47,3	209,4	139,9	97,1	240,6	465,1	171,4	286,1	2721,7
1997	143,8	259,0	43,0	86,3	271,2	292,1	126,0	232,4	214,0	414,0	259,1	140,2	2481,1
1998	202,6	301,1	316,2	440,2	209,8	59,2	124,5	293,7	339,8	383,7	35,1	165,7	2871,6
1999	193,0	228,3	51,3	209,7	118,9	182,7	112,2	16,2	100,7	312,0	52,3	126,6	1703,9
2000	210,1	227,6	164,5	138,0	124,5	114,6	112,3	113,9	223,2	294,9	127,0	114,8	1965,4
2001	197,6	238,3	143,1	249,4	125,7	147,4	137,5	52,9	205,8	199,8	198,6	138,4	2034,5
2002	282,5	61,4	87,0	71,5	346,7	76,1	82,0	142,0	169,1	410,6	366,2	251,1	2346,2
2003	163,5	280,1	126,9	98,2	122,8	106,9	78,4	43,3	135,1	230,5	202,6	268,6	1856,9
2004	179,3	32,9	132,5	96,9	239,6	136,0	164,5	45,7	122,5	363,2	186,8	79,2	1779,1
2005	170,1	9,8	62,1	219,9	343,1	291,8	118,3	125,6	246,1	388,8	47,1	23,0	2045,7
2006	167,1	63,5	205,6	149,2	21,8	75,1	80,7	116,6	156,2	187,7	116,6	247,5	1587,6
2007	317,2	193,0	50,4	321,6	268,3	20,2	159,9	29,0	50,3	202,1	290,0	162,3	2064,3
2008	105,1	73,3	50,3	276,4	74,3	172,1	50,9	113,6	124,2	295,9	135,8	65,7	1537,6
2009	219,3	60,8	57,8	63,8	239,4	113,0	158,4	113,5	242,0	403,2	126,9	122,3	1920,4
2010	258,5	112,6	237,3	391,4	180,2	69,9	120,4	52,3	45,5	247,6	83,1	300,4	2099,2
2011	289,4	181,4	96,0	119,2	19,0	119,4	244,1	348,8	199,7	295,3	128,0	60,4	2100,7
2012	124,2	274,4	60,3	321,1	70,3	149,0	121,4	0,9	69,7	259,1	40,7	313,5	1804,6
2013	183,9	246,4	354,6	133,8	137,6	380,6	93,4	146,8	210,6	224,7	130,2	194,9	2437,5
2014	201,0	98,4	291,9	134,0	290,9	436,4	149,9	51,4	361,0	182,3	224,4	155,5	2577,1
2015	257,0	128,9	176,3	56,9	242,9	145,5	324,1	78,8	134,3	166,3	372,2	462,4	2545,6
2016	200,0	292,3	269,5	122,8	213,7	54,0	59,4	167,2	83,3	213,3	119,6	275,8	2070,9
2017	142,0	99,3	111,4	135,8	348,0	114,2	11,6	150,7	28,9	472,7	299,8	220,8	2135,2

Fonte: Adaptado de Arquivo Digital da IAPAR, 2018.

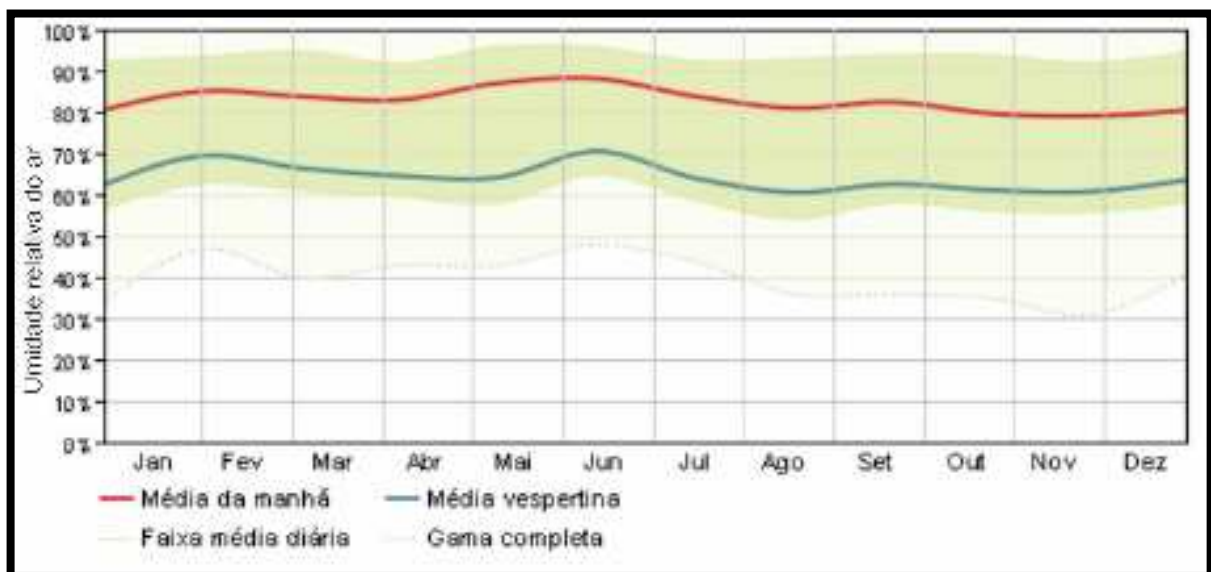
A coleta de dados para o experimento sem aleta e o experimento seguinte, com e sem aleta, serão avaliados em julho de 2017, no inverno, mês com média de 134,8 mm de precipitação.

Levando em consideração que o projeto completo será avaliado nas quatro estações do ano, especificadamente nos meses de fevereiro e março (verão), abril (outono), agosto (inverno) e novembro (primavera) de 2018, observa-se na Tabela 01, que as médias variam bastante nestes meses. Sendo que as precipitações médias são de 171,3 mm, 141,2 mm, 166,9 mm e 180,9 mm, sendo fevereiro, março, abril, agosto e novembro respectivamente.

3.2.3 Umidade

Na Figura 12, apresenta-se a umidade média anual do município de Francisco Beltrão:

Figura 12 – Umidade média anual



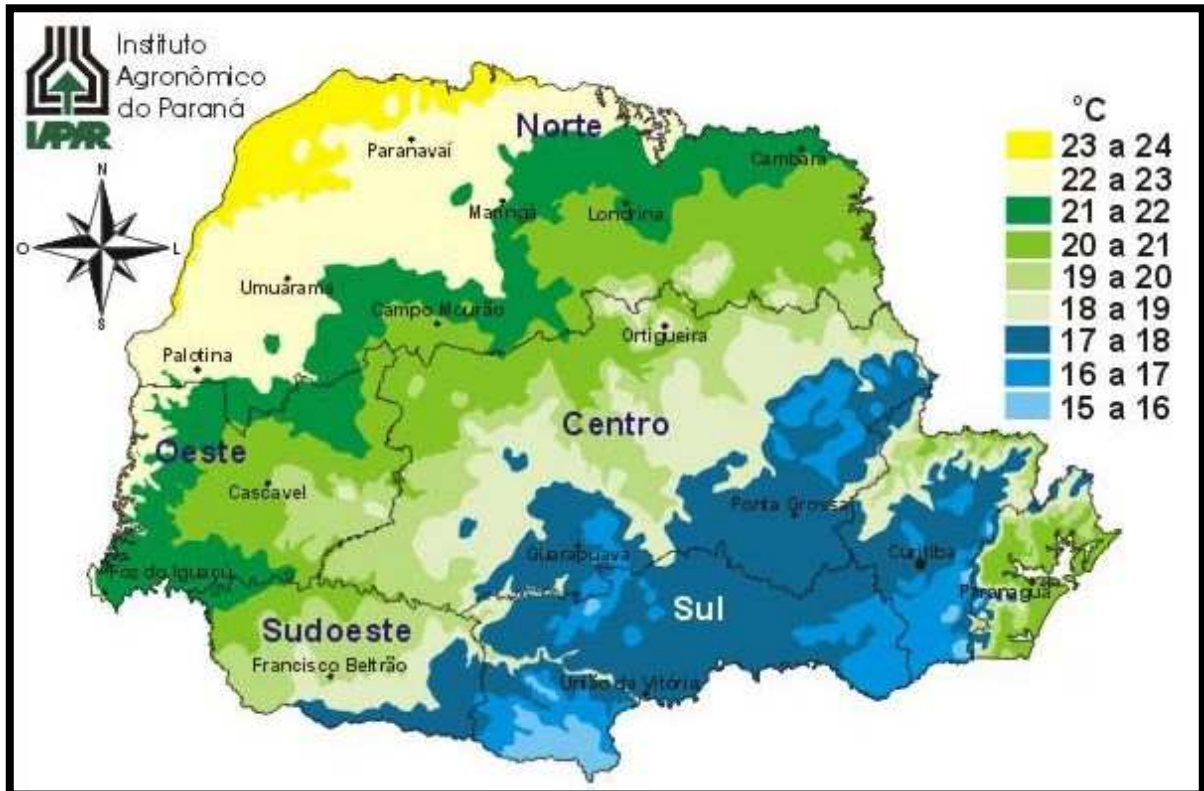
Fonte: Green Building Studio – Autodesk, 2009.

Por meio da Figura 12, pode-se observar que a umidade anual entre o período da manhã e o da tarde oscila cerca de 20%, onde o período da manhã durante o ano não oscila tanto quanto o da tarde.

3.2.4 Temperatura

Na Figura 13, é representada a temperatura média diária (média de 24 horas) no período, em graus Celsius no estado do Paraná:

Figura 13 – Temperatura média (°C) anual do estado do Paraná



Fonte: IAPAR (2017).

Como pode-se observar, o município de Francisco Beltrão se comparado com os outros municípios do Estado, encontra-se entre as temperaturas mais elevadas e das mais baixas registradas nas médias anuais.

Na Tabela 02 é apresentado o resumo mensal e anual de temperatura média em Francisco Beltrão, com ênfase nas temperaturas médias ocorridas nos meses onde os experimentos serão executados: julho de 2017, fevereiro e março de 2018, abril de 2018, agosto de 2018 e novembro de 2018, sendo que as diferenças positivas representam valores acima da média histórica e as diferenças negativas representam valores abaixo da média histórica.

Tabela 02 – Resumo anual de temperatura média (°C) de Francisco Beltrão

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MEDIA
1974	23,3	23,5	22,3	18,8	16,1	12,3	14,8	15,3	18,1	19,1	20,0	23,0	18,9
1975	22,5	23,7	22,5	18,6	15,4	14,4	12,1	17,3	17,8	18,4	20,6	22,4	18,8
1976	23,3	22,2	20,6	17,3	15,4	12,8	13,8	14,5	15,6	18,6	20,5	22,2	18,1
1977	23,1	23,8	22,1	17,9	16,4	14,9	17,6	15,5	18,3	20,7	21,3	23,1	19,6
1978	24,3	23,6	23,3	18,3	14,4	14,6	16,3	14,6	18,5	20,8	21,5	23,3	19,5
1979	23,5	23,5	21,7	17,9	14,2	13,3	13,4	17,2	16,1	20,2	20,6	22,8	18,7
1980	22,5	23,1	23,4	20,6	16,9	13,4	14,7	16,2	15,0	20	21,6	22,9	19,2
1981	24,0	23,6	22,0	19,2	18,0	13,2	13,2	16,7	17,6	19,5	21,6	21,5	19,2
1982	23,4	22,6	22,2	19,2	15,5	15,1	15,5	17,6	18,8	19,6	20,6	22,0	19,3
1983	24,2	23,5	21,2	19,6	17,6	13,1	14,9	16,2	15,5	20,2	20,5	23,1	19,1
1984	23,9	24,4	22,4	18,1	17,2	15,3	15,3	13,7	17,2	22,3	21,5	21,9	19,4
1985	24,2	23,4	22,1	19,9	15,7	13,7	13,7	16,4	17,8	20,5	23,2	24,7	19,6
1986	24,4	23,1	21,6	19,8	16,7	15,4	14,2	16,2	17,1	19,3	22,4	23,1	19,4
1987	24,1	21,8	21,9	20,3	13,8	12,9	17,5	14,8	16,8	19,7	22,5	22,4	19,0
1988	24,4	22,3	23,7	19,1	14,5	13,0	12,4	17,0	19,6	19,4	22,5	24,5	19,4
1989	22,2	22,7	21,7	19,8	15,4	14,0	12,5	15,1	16,1	18,7	21,4	23,6	18,6
1990	22,8	22,8	22,6	20,3	14,6	13,1	11,6	15,4	15,5	21,2	23,2	23,3	18,9
1991	24,2	22,7	23,3	19,7	16,9	14,7	14,1	16,7	19,3	20,3	21,9	23,5	19,8
1992	23,9	23,4	21,6	18,4	16,4	16,5	12,2	14,5	17,2	20,1	20,7	24,2	19,1
1993	23,4	21,6	22,1	20,5	15,8	13,7	13,8	15,5	16,4	20,8	21,7	23,5	19,1
1994	23,7	23,3	21,3	19,8	17,4	13,7	15,1	16,7	19,1	20,9	20,7	24,3	19,7
1995	23,4	23,0	21,7	17,4	15,1	15,6	17,2	17,8	17,6	18,5	22,3	23,8	19,5
1996	24,0	23,0	21,4	20,0	16,2	12,7	12,3	17,0	16,9	19,2	22,5	22,8	19,0
1997	24,0	23,5	21,4	18,1	15,9	13,9	15,7	16,1	18,7	19,8	22,2	24,1	19,5
1998	24,5	23,0	21,6	18,9	15,0	13,3	15,1	16,1	16,9	20	22,3	22,5	19,1
1999	23,4	22,9	23,1	18,8	14,1	13,2	13,9	15,5	18,7	19	20,3	23,1	18,8
2000	23,7	22,9	21,9	19,4	14,3	15,7	10,7	16,1	17,4	21,3	22,0	23,3	19,1
2001	23,8	23,8	23,2	20,8	14,8	13,3	14,6	17,9	18,1	20,3	22,6	22,6	19,7
2002	22,6	22,3	24,4	21,8	17,6	16,1	13,8	17,4	15,9	20,7	21,8	23,3	19,8
2003	24,1	23,7	22,1	18,7	14,6	16,5	15,2	13,2	17,7	20,5	21,0	22,1	19,1
2004	23,5	22,5	21,9	20,8	13,9	14,5	13,9	15,7	19,6	19,3	20,7	22,4	19,1
2005	23,8	24,2	23,2	19,9	16,7	16,3	13,0	16,5	14,9	20,4	22,7	23,5	19,6
2006	24,2	23,2	22,3	18,3	13,3	15,5	15,7	16,2	17,1	22	21,9	24,2	19,5
2007	24,0	23,7	23,2	20,2	14,4	15,0	12,5	15,8	20,1	21	20,8	23,4	19,5
2008	23,1	23,1	22,0	18,2	14,6	12,6	15,7	16,9	15,9	20,1	22,1	23,4	19,0
2009	22,2	23,6	22,8	20,0	16,2	11,8	12,9	15,9	17,2	20	23,7	23,6	19,2
2010	23,9	24,3	22,2	18,5	14,7	14,4	14,0	14,9	18,5	18,4	20,6	21,8	18,9
2011	23,4	23,0	22,1	19,4	15,1	12,7	14,4	15,2	17,4	20,1	20,8	22,3	18,8
2012	23,3	24,0	21,3	18,3	15,5	14,1	13,6	17,8	18,7	20,4	23,0	24,1	19,5
2013	22,9	22,7	20,1	18,0	15,4	14,5	13,4	13,7	16,6	19,5	22,1	23,5	18,5
2014	23,4	23,9	20,8	19,1	15,6	14,8	14,1	16,4	18,8	22,5	22,3	23,1	19,6
2015	23,5	23,2	22,3	19,8	17,0	15,5	14,7	18,7	19,0	22	21,4	23,0	20,0
2016	24,1	24,0	21,2	21,5	15,5	11,6	14,5	15,7	16,8	19,8	21,8	22,7	19,1
2017	23,3	23,9	22,5	19,1	18,1	15,1	14,3	17,5	21,9	19,5	20,8	23,7	20,0

Fonte: Adaptado de Arquivo Digital da IAPAR (2018).

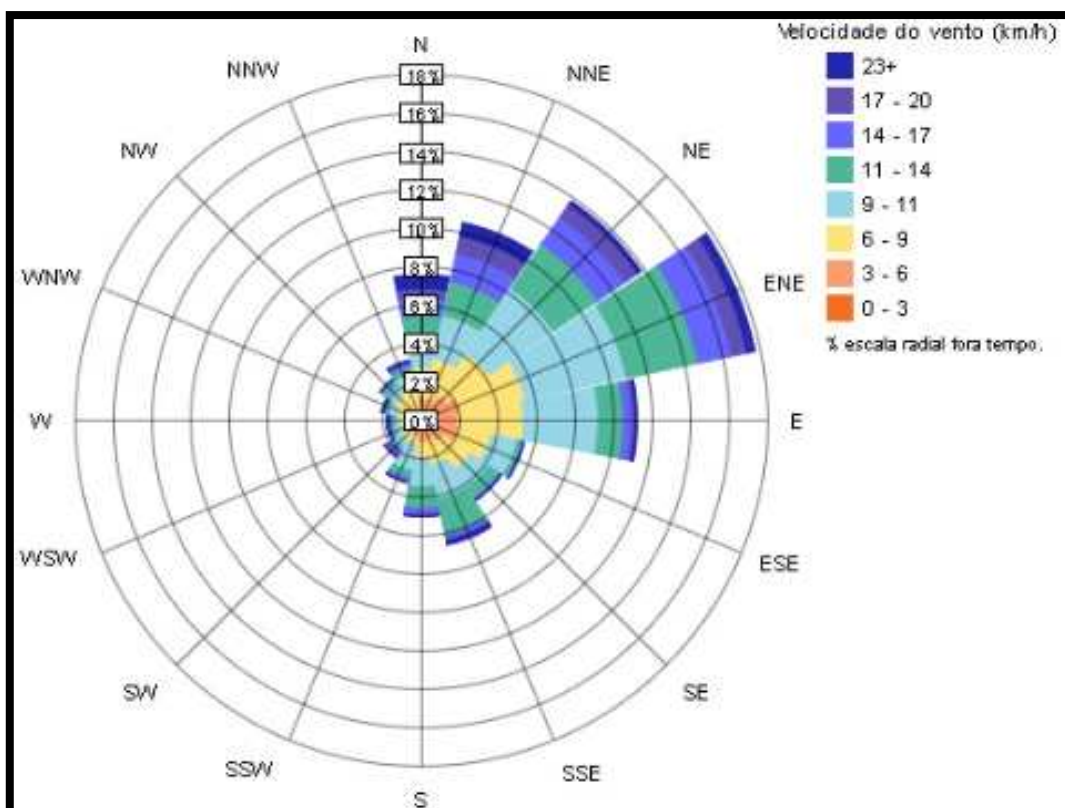
Com base nos dados da Tabela 02, é possível observar que os meses mais quentes no município de Francisco Beltrão são os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, superando os 23°C de média e temperaturas mínimas médias registradas nestes meses de 21,5°C, 22,2°C e 21,6°C, respectivamente.

Durante o inverno a temperatura média mais baixa é registrada em junho, com 14,1°C. Nota-se então, que o clima do município é agradável durante o ano inteiro, pois não ocorre verões muito quentes, nem invernos rigorosos.

3.2.5 Ventos

Na Figura 14, pode-se observar a rosa dos ventos anual com sua distribuição de velocidade para o município de Francisco Beltrão – PR.

Figura 14 – Rosa dos ventos anual – Distribuição de velocidade

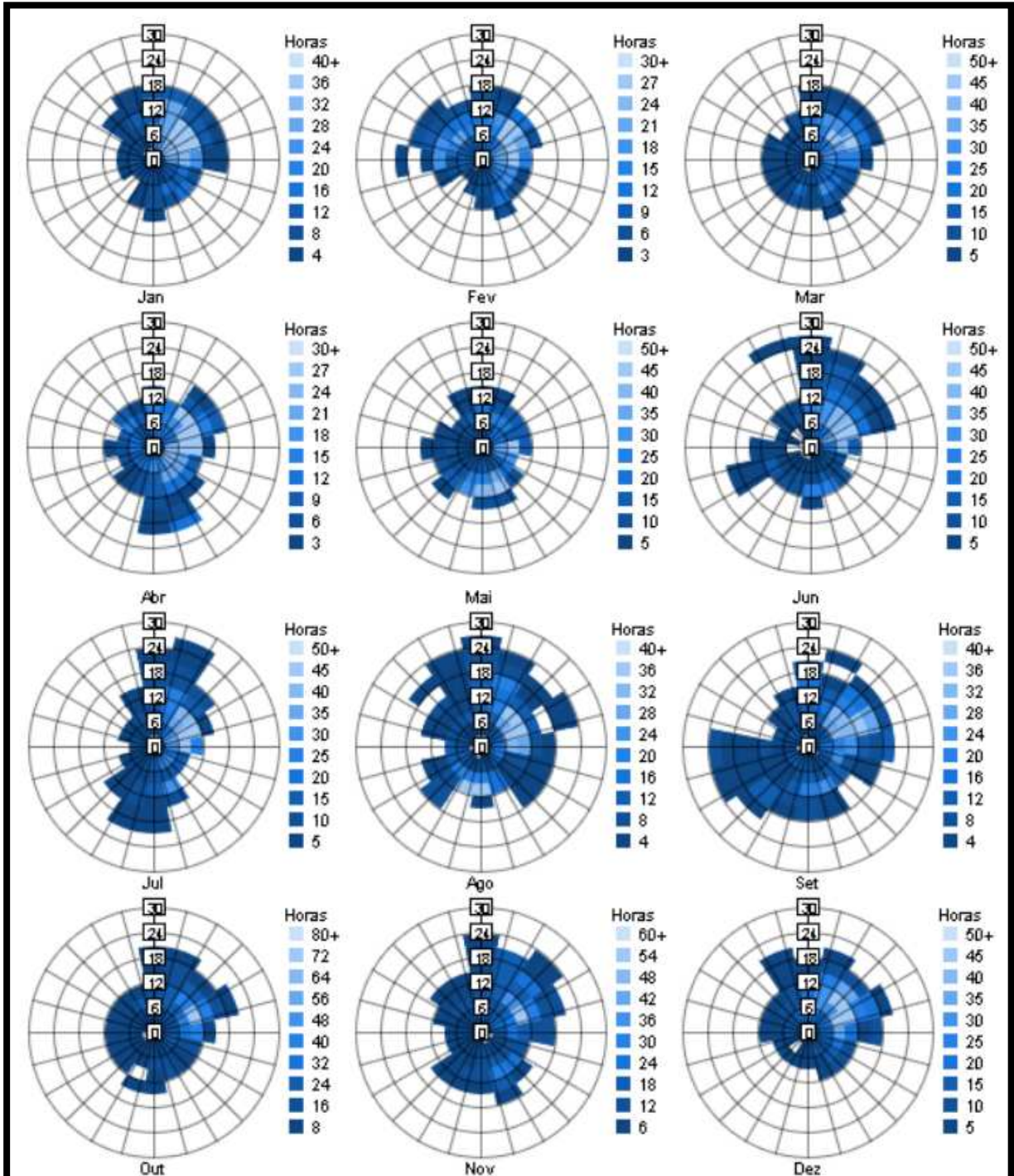


Fonte: Green Building Studio – Autodesk (2009).

Observa-se na Figura 14 que o vento anual predominante encontra-se na direção para o intermédio nordeste, seguindo do colateral nordeste e cardinal leste, com velocidade predominante entre 9 e 17 km/h.

Na Figura 15, apresenta-se por meio da rosa dos ventos anual a distribuição de frequência dos ventos no município.

Figura 15 – Rosa dos ventos mensais – Distribuição de frequência



Fonte: Green Building Studio – Autodesk (2009).

Percebe-se que durante o ano dificilmente os ventos chegam a mais de 24 km/h e que o mais proveniente (nordeste), como visto na Figura 15, chegam no máximo até 24 km/h.

Pode-se perceber também, através da análise de intensidade dos ventos mensais, que 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.

3.3 UNIDADE EXPERIMENTAL COM E SEM ALETA

Na unidade experimental sem aleta, para efeito de comparação com a unidade com aleta, foi utilizado apenas o cano de PVC, o CAP (cano utilizado para vedação de pontos finais de rede ou pontos de espera) e a tinta *spray* cor preta para sua construção.

Com base nos resultados de Souza (2002), optou-se em utilizar o PVC para condução do fluido. Sua degradação térmica se acentua com níveis de temperatura acima de 60°C na sua superfície e o intuito deste trabalho não é chegar até tal temperatura.

A construção da unidade experimental com aleta deu-se da seguinte forma: cortou-se as chapas de alumínio conforme a moldagem e o cano de PVC, fez-se a junção das chapas com o cano, a vedação de um lado do cano com CAP e pintou-se a unidade com o *spray*.

Para a obtenção de dados destas duas unidades experimentais, os ensaios foram em regime batelada, ou seja, quando o fluido não entra e nem sai do sistema durante o ensaio.

Inicialmente foram obtidas as informações referentes a temperatura da água na unidade experimental com aleta e avaliado se o fluido teria aumento em sua temperatura. Em seguida, foi feita a comparação da eficiência das chapas no aquecimento do fluido com a unidade experimental sem aleta. Como confirmado o ganho, prosseguiu-se com a unidade experimental completa.

Para a obtenção das medidas precisas de temperatura nas unidades experimentais com e sem aletas e ambiente, foi necessário utilizar um termômetro digital, da marca Ketotek, modelo HTC-2, com precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$, o qual mede temperatura interna e externa. Sua alimentação é com uma pilha AAA.

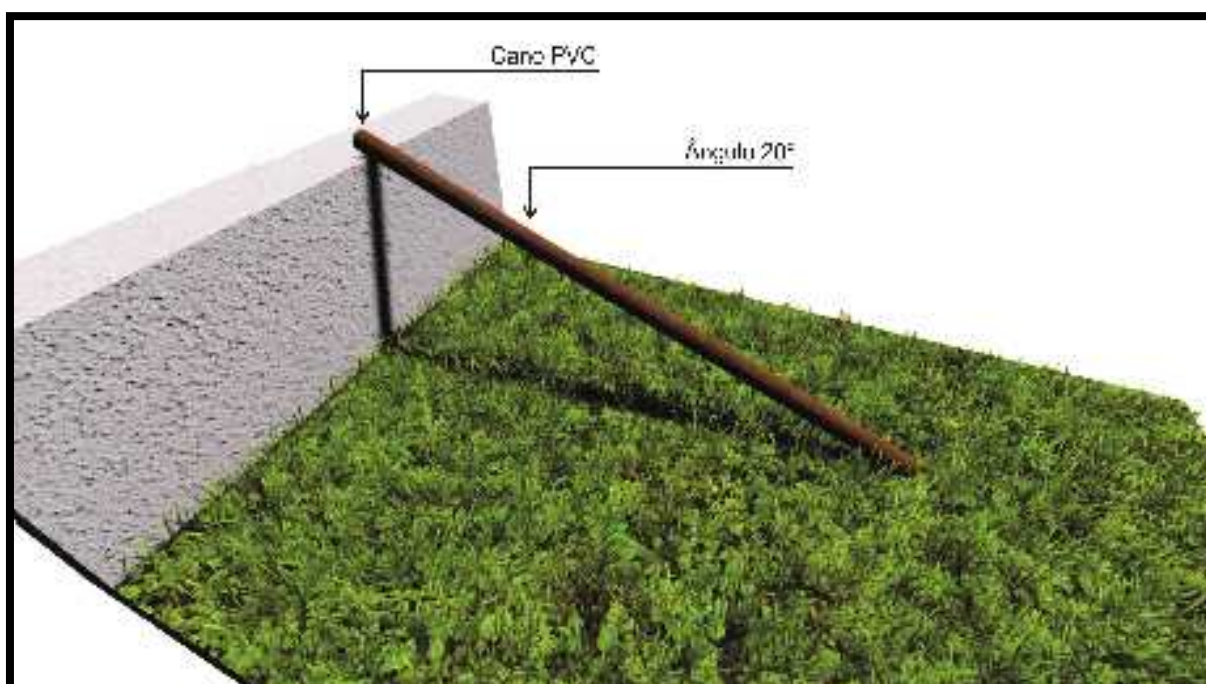
As unidades, com e sem aleta, foram analisadas em dias de céu limpo, com pouca ou sem interferência de nuvens, pois estas atrapalham na obtenção dos dados. O período de avaliação foi entre as 9h e 16h, sendo que neste período o nível de energia utilizável era o máximo.

Todos os ensaios foram realizados no município de Francisco Beltrão – PR e o comprimento longitudinal dos coletores foram alinhados com o Norte a fim de garantir maior incidência de luz durante o dia.

3.3.1 Montagem da unidade experimental sem aleta

Para a unidade experimental sem aleta (Figura 16) foi utilizado um tubo de PVC de 100 cm de comprimento com 25 mm de diâmetro. Uma das suas extremidades foi vedada e a extremidade superior aberta para a introdução do termômetro digital.

Figura 16 – Ilustração da unidade experimental sem aleta



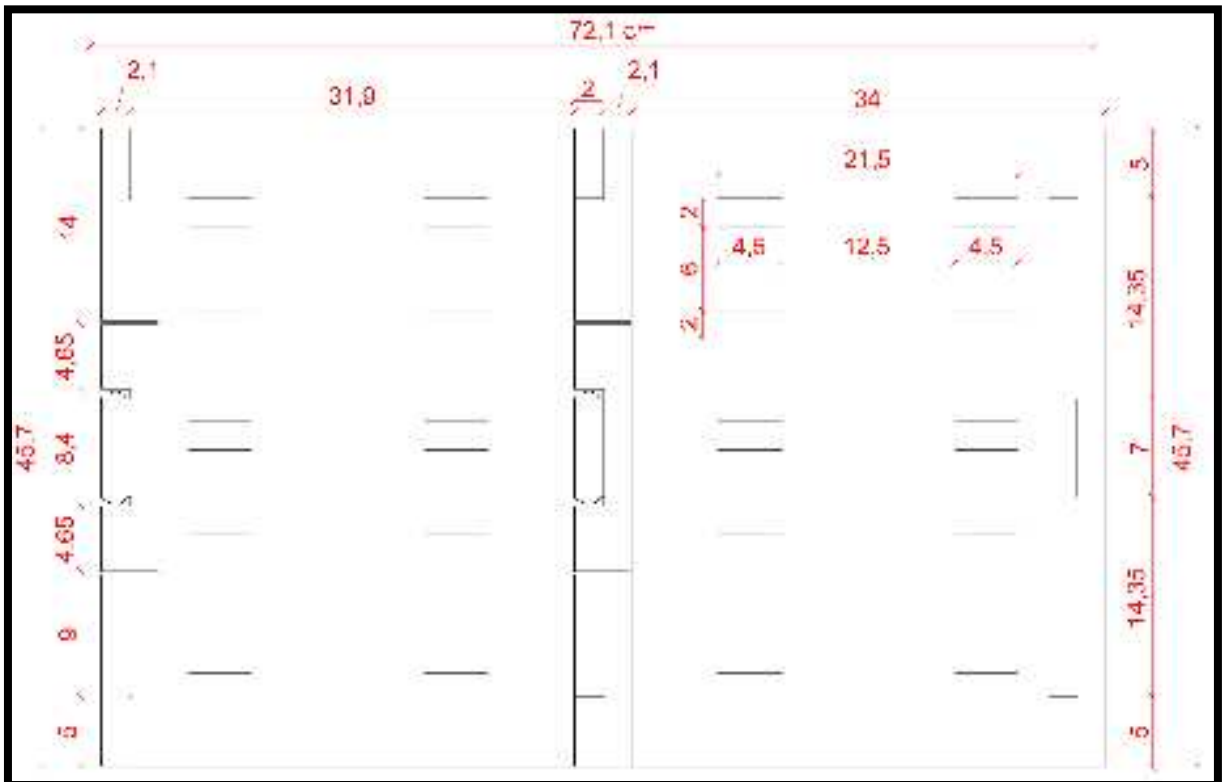
Fonte: A autora (2017).

Também foi utilizado para pintar o cano tinta *spray* na cor preto fosco e o fluido utilizado dentro do tubo de PVC foi a água mineral. O experimento foi posicionado à 20° de inclinação em relação ao solo, de modo com que está dentro da média em relação a inclinação dos telhados de baixo custo, que variam de 12% a 30% e seu comprimento longitudinal também foi alinhado com o norte.

3.3.2 Montagem da unidade experimental com aleta

Para a fabricação da unidade experimental com aleta, inicialmente cortou-se as chapas offset com o auxílio de um gabarito impresso, contendo todas as linhas de corte, conforme representado na Figura 17.

Figura 17 - Gabarito de corte para duas chapas de impressão *offset*.



Fonte: A autora (2019).

Os cortes podem ser feitos tanto com uma tesoura como podem ser criadas placas de corte por pressão. As linhas de corte presentes no gabarito foram desenvolvidas para conectar duas ou mais chapas, bem como, para fazer a junção entre as chapas (aletas) e a tubulação PVC.

A unidade experimental com aleta (Figura 18) era constituída por duas chapas de alumínio com 457 x 381 x 015 mm, um tubo de PVC de 100 cm de comprimento com 25 mm de diâmetro, uma das suas extremidades foi vedada e a extremidade superior aberta para a introdução do termômetro digital.

Figura 18 – Ilustração da unidade experimental com aleta



Fonte: A autora (2017).

Após a junção das chapas, o tubo foi entrelaçado com a aleta coletora e ambos pintados com tinta *spray* na cor preto fosco. O fluido utilizado dentro do tubo de PVC foi a água mineral.

Este experimento foi instalado numa inclinação de 20° em relação ao nível do solo, pelo fato das inclinações dos telhados de baixo custo estarem com inclinação entre 12% e 30% e alinhado com o norte.

3.4 UNIDADE EXPERIMENTAL COMPLETA

Para a unidade experimental completa, inicialmente cortou-se os canos de PVC e as chapas de alumínio conforme a moldagem e fez-se a junção tanto entre as chapas quanto aos canos com as chapas. Em seguida, fez-se a junção entre os canos e as conexões, o teste de estanqueidade e pintou-se toda a unidade experimental com o *spray*.

Para a obtenção de dados deste experimento foi utilizado o ensaio passivo em regime contínuo. O sistema passivo, também chamado de termossifão e o regime contínuo, quando o fluido está entrando e saindo simultaneamente da unidade experimental durante o ensaio.

Neste experimento foram colhidos dados de temperatura na saída do reservatório para o coletor e na parte superior do boiler. O sistema de aquisição de dados ficava ligado 24 horas por dia e salvava os dados das temperaturas.

O reservatório utilizado foi adquirido em 2017, no valor de R\$ 667,00 (seiscentos e sessenta e sete reais), com capacidade de 100l e suas principais características são as seguintes: possui isolamento térmico em PU (poliuretano) rígido sem CFC (clorofluorcarboneto), seu revestimento externo é em alumínio, pés em PP (polipropileno) e o reservatório é construído em aço inox AISI 304. Além disso, possui retorno dos coletores, saídas de consumo e recebimento de água da caixa d'água. Se necessário, possui aquecimento secundário com termostato, caso não haja aquecimento suficiente do coletor solar, sendo possível ajustar a temperatura de 0°C a 90°C, com garantia de três a cinco anos e certificação do Inmetro Procel.

Para a unidade experimental completa, foi utilizado o termômetro da marca Mastech, modelo MS6514, com precisão de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, com duas saídas termopar, sendo utilizada uma na saída do boiler para a utilização do chuveiro e a outra na entrada da água no coletor solar. Sua alimentação é por bateria.

A unidade experimental completa foi realizada em dias distintos, em diferentes períodos do ano e com condições climáticas variadas. Os dados meteorológicos, foram coletados através da estação meteorológica localizada na UTFPR *câmpus* Francisco Beltrão e todos os ensaios foram realizados no município de Francisco Beltrão – PR.

O comprimento longitudinal dos coletores foram alinhados com o Norte, a fim de garantir maior incidência de luz durante o dia e optou-se em utilizar a cor preto fosco da tinta spray, pelo fato da mesma amenizar a degradação térmica. Costa (2007) cita que os pigmentos pretos absorvem a radiação ultravioleta, aumentando assim a temperatura do fluido.

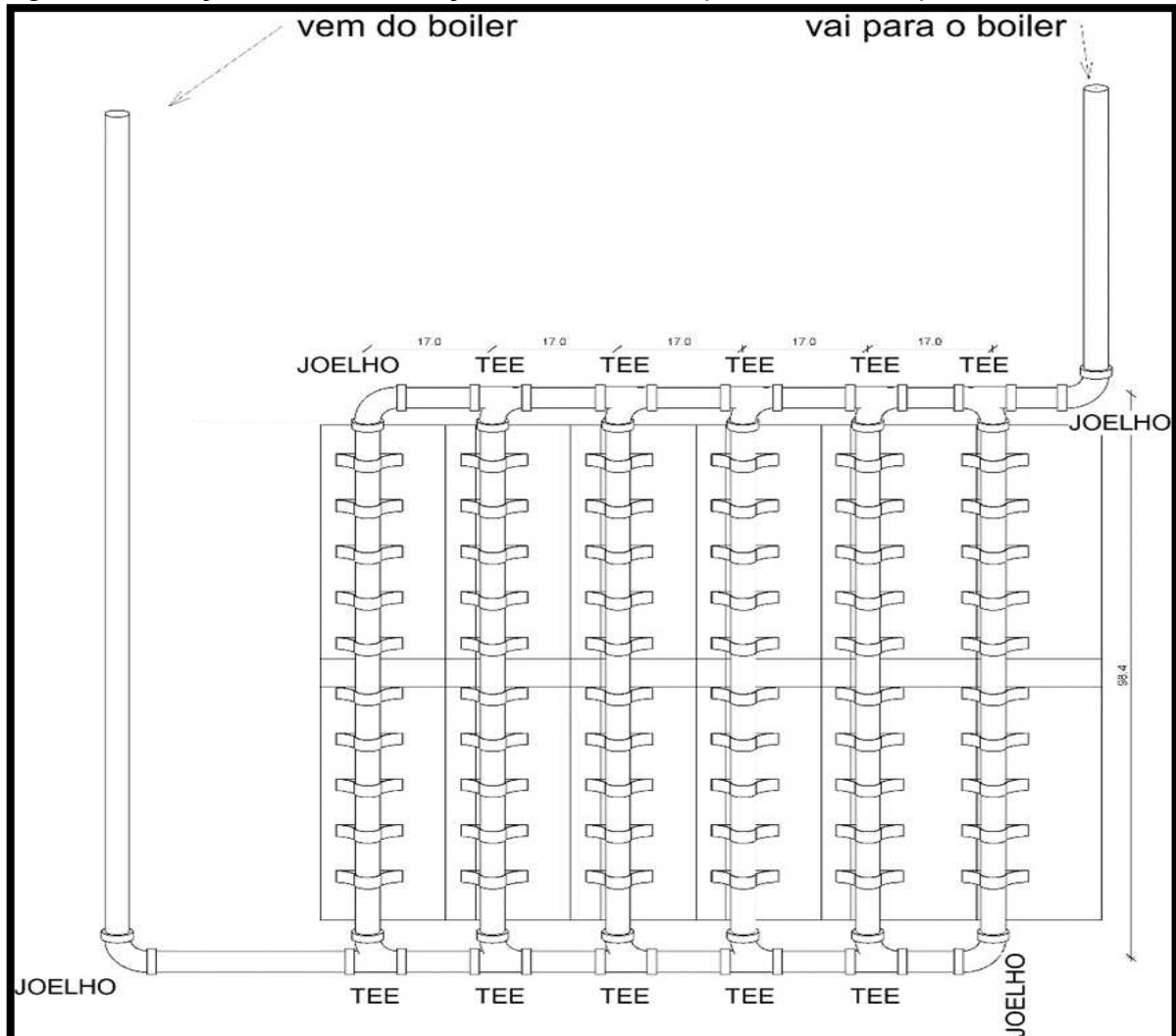
No experimento completo, os dados foram coletados nas quatro estações do ano: primavera, verão, outono e inverno, em dias atípicos, podendo assim haver grande alteração nas temperaturas obtidas em cada estação.

3.4.1 Montagem da unidade experimental completa

Para a unidade experimental completa, inicialmente cortou-se os encaixes nas chapas offset com a ajuda do gabarito impresso (Figura 17). Este modelo foi constituído por seis chapas de alumínio com 457 x 381 x 015 mm, totalizando 0,80 m², seis tubos de PVC de 90 cm de comprimento com 25 mm de diâmetro, dez

conexões T, quatro conexões curva, uma das suas extremidades foi conectada na parte inferior do reservatório e a outra na parte superior do reservatório (Figura 19).

Figura 19 - Peças e sua localização na unidade experimental completa



Fonte: A autora (2019).

As dimensões da unidade experimental completa foram definidas através de pesquisas bibliográficas, como por exemplo de Barcellos et al. (2003), onde desenvolveram um coletor solar de 1,0m², com funcionamento através do sistema passivo e reservatório com armazenamento de 50l, isolado com manta de lã de vidro. Também, conforme o manual de instrução e montagem experimental do ASBC, da entidade intitulada Sociedade do Sol (2009), onde haviam três modelos propostos com área de 0,78m² cada. Outro exemplo que pode ser citado, é o coletor solar feito com tubos de PVC soldáveis marrom de Urbano (2012), com 0,9 m² e reservatório térmico de baixo custo.

Toda a unidade experimental foi pintada com tinta *spray* na cor preto fosco, como pode ser observado na Figura 20 e o fluido utilizado dentro do tubo de PVC foi a água mineral. A inclinação utilizada para esta unidade foi de 20°, com elevação de 700 cm acima do nível do solo e alinhada com o norte.

Figura 20 – Imagem fotográfica da unidade experimental completa



Fonte: A autora (2019).

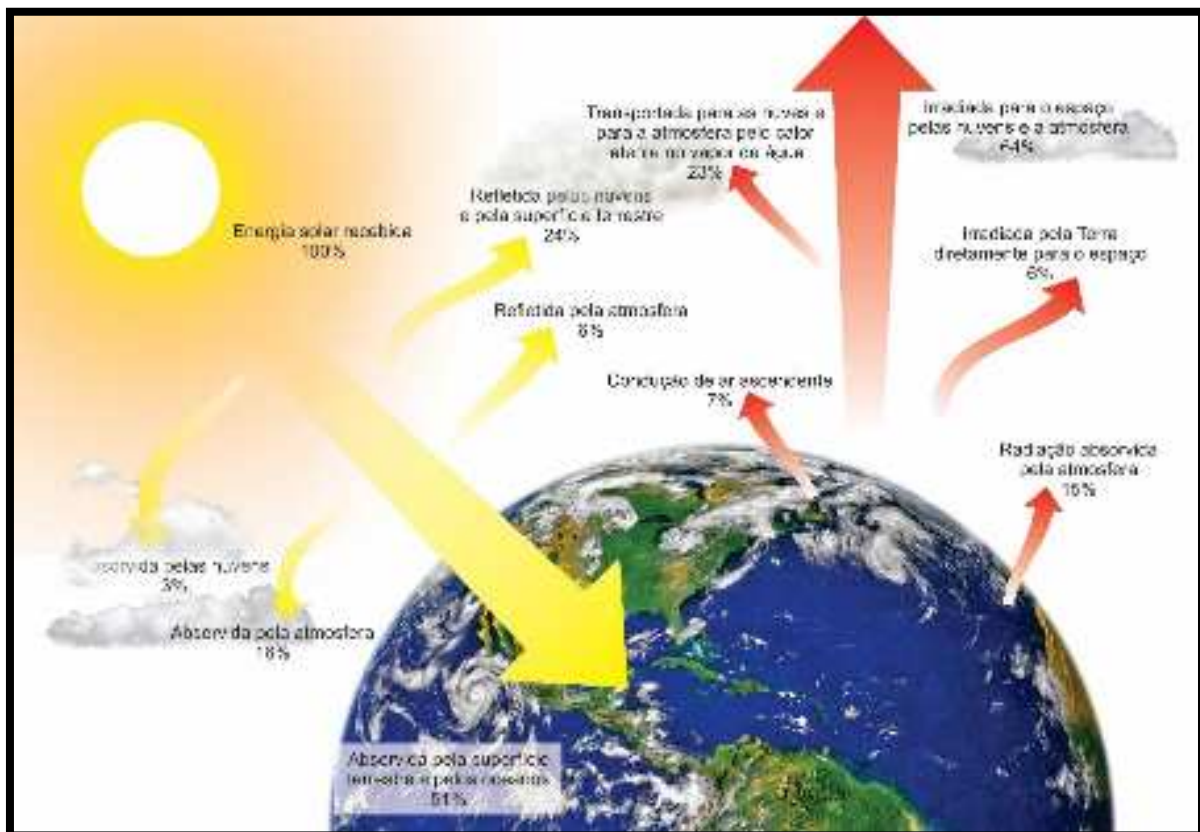
Vale salientar que para um reservatório de 100l, o recomendado é utilizar um coletor solar com 1m² em regiões que possuem temperaturas amenas e boa insolação. Nas regiões que possuem menos insolação e possui temperaturas mais baixas, o recomendado é que se utilize um coletor solar de 1m² para cada 80l. Em regiões mais frias, o recomendado é um coletor solar de 1m² para um reservatório de 60l (URBANO, 2012).

O autor ainda enfatiza que o aumento no número de coletores solares, não irá aumentar significativamente a temperatura do fluido do coletor solar, mas sim, aquecerá a água mais rápido, fazendo com que a água dentro do reservatório aqueça em menor tempo, sendo funcional para residências com maior número de banhos diários, dando tempo para o fluido aquecer novamente para banhos noturnos (URBANO, 2012).

3.5 RADIAÇÃO 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. Estes fatores podem ser observados na Figura 21:

Figura 21 – Balanço energético da Terra



Fonte: A autora (2019), modificado de Castro (2017).

A radiação solar é atenuada devido alguns processos atmosféricos: a absorção, a reflexão e a difusão. A absorção, é quando parte da radiação do sol é absorvida pela atmosfera, isso acontece através do vapor de água, ozono, dióxido de carbono, entre outras partículas. Quando parte da radiação solar é reenviada para o espaço, chama-se reflexão, isso acontece quando a radiação incide em um corpo e sofre uma mudança de direção. E quando a radiação solar se dispersa no espaço, chama-se difusão, isso ocorre quando parte da radiação é refletida em várias direções através das partículas sólidas, líquidas e gases que estão em suspensão na atmosfera.

Para se 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. Quanto a eficiência térmica (η), é possível estimar através da equação (1):

$$\eta = \frac{Q_{util}}{Q_{inc}} = \frac{Q_{util}}{G \cdot A_{ext}}$$

Onde, segundo Pereira (2002):

Q_{util} é o calor transferido para a água

Q_{inc} é o valor incidente

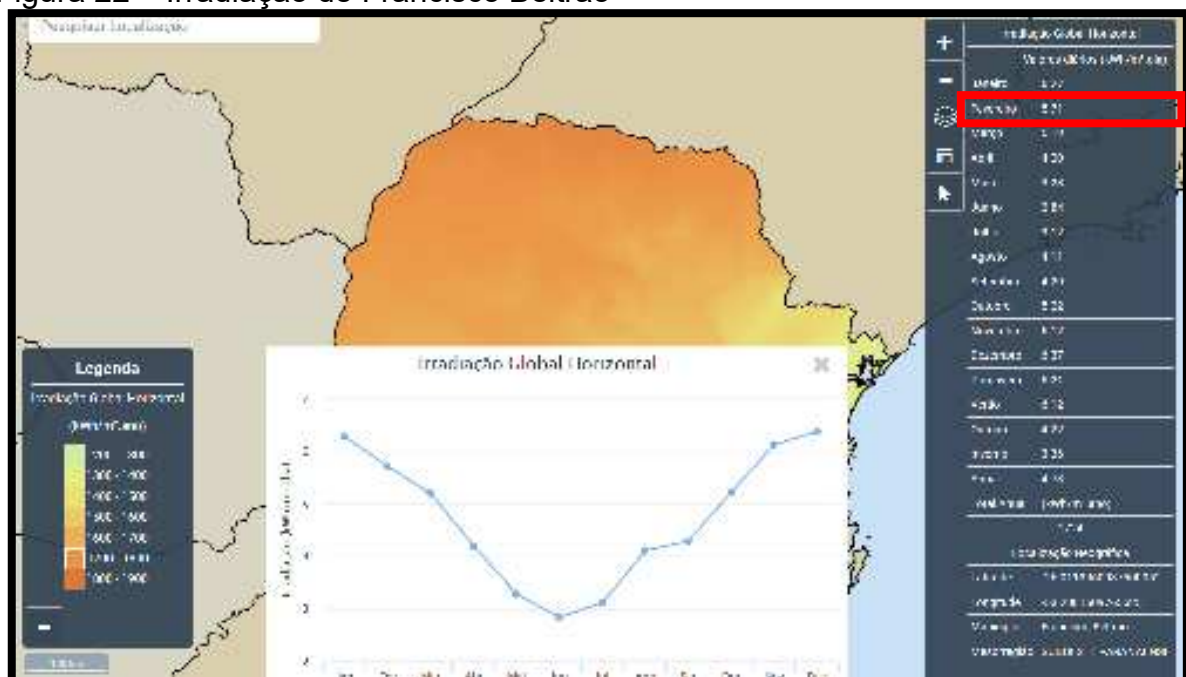
G é a radiação global

A_{ext} é a área externa do coletor

Para se obter a constante da radiação solar, foi utilizada a latitude (26°04'51"S) e longitude (53°03'18"O) de Francisco Beltrão – PR, onde as coletas foram realizadas.

A radiação global (G) utilizada, foi obtida no site atlassolarparana.com (Figura 22) no valor de 5.71 kWh/m².dia para o mês de Fevereiro em Francisco Beltrão -PR. Os autores Weiller et al. (2007), salientam, que a radiação incidente no plano inclinado é diferente da radiação recebida em um plano horizontal, porém, como para obter essa pequena diferença é muito complexo, é possível estimar um valor aproximado.

Figura 22 – Irradiação de Francisco Beltrão



Fonte: atlassolarparana.com, acesso em Fevereiro de 2019.

Segundo Duffie (1991), é possível se obter a declinação solar através do ângulo formado entre o plano da órbita da Terra e o plano do equador terrestre. No município de Francisco Beltrão – PR, este ângulo varia entre $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$, juntamente com a translação da Terra. Sendo possível calcular através da equação:

$$d = 23,45^\circ \operatorname{sen} \left(\frac{360(284 + d)}{365} \right),$$

Onde:

d é o dia do ano (varia de 01 dia a 365 dias)

A partir das coletas obtidas da unidade experimental completa, é possível estimar a quantidade de energia radiante incidente no coletor e calcular a quantidade de energia absorvida pela água.

Como exemplo, a coleta do dia 24/02/2018 no período das 13:00hs as 14:00hs, uma massa de água igual a 15,3kg situada no coletor, mais um volume de 100l no reservatório, foi aquecido um total de 115,3kg de água, com temperatura inicial igual a 26,1°C até a temperatura de 31,9°C.

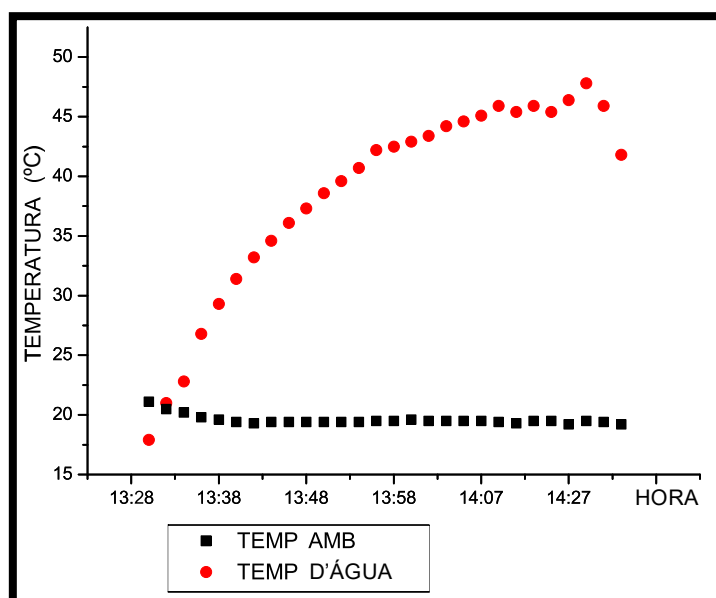
No capítulo quatro, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir das unidades experimentais e demais dados pertinentes, como vento e umidade dos dias de coleta. Assim como, a comparação da unidade experimental completa em cada estação do ano, a estimativa da quantidade de energia radiante incidente no coletor e a quantidade de energia absorvida pela água, bem como os custos da unidade experimental completa.

4.1 RESULTADOS DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS COM E SEM ALETA

O procedimento do experimento com aleta, foi realizado no dia 23 de julho de 2017, das 13:29h as 14:59h, com coleta de temperatura de dois em dois minutos. Neste dia, as temperaturas ambientes mínimas foram de 19,2°C e máximas de 21,1°C e vento de 14km/h registrados na estação meteorológica da cidade.

As 13:29h foi injetada a água no experimento em temperatura de 17,9°C. Após uma hora e 26 minutos o fluido atingiu seu ápice em uma temperatura de 47,8°C, como pode ser visto no Gráfico 01. Em seguida, a temperatura começou a baixar.

Gráfico 01 – Variação de temperatura do experimento com aleta



Fonte: A autora (2019).

De início verificou-se se a temperatura do fluido aumentaria em algum momento. Através do Gráfico 01, percebe-se que a elevação da temperatura do fluido inserido no coletor foi de quase 30°C, ou seja, a água através da aleta captou grande

capacidade térmica de energia solar, totalizando um ganho de até 2,67 vezes em relação a temperatura inicial do fluido.

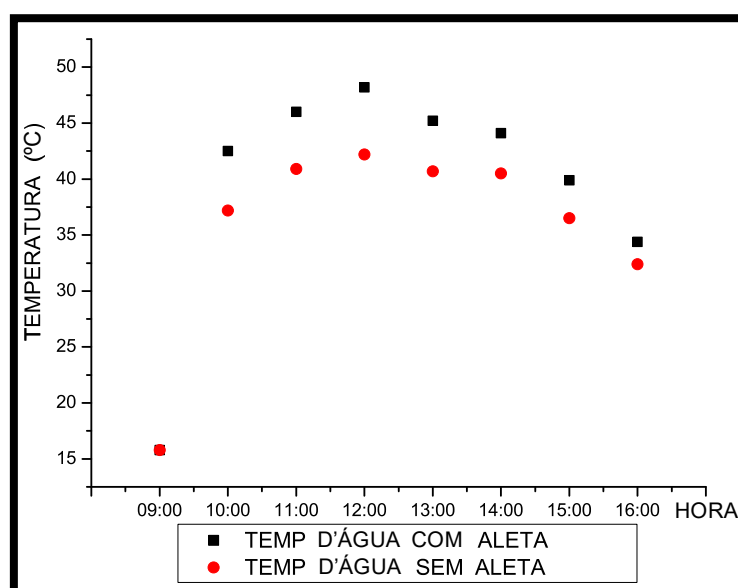
O experimento sem aleta, foi realizado no dia 24 de julho de 2017, juntamente com o experimento com aleta, ambos tiveram início às 9:00h até 16:00h, com intervalo de uma hora nas medições da temperatura. As temperaturas ambientes mínimas foram de 15°C e máximas de 29,9°C e com ventos de 18km/h registrados na estação meteorológica da cidade.

Este experimento foi utilizado na intenção de avaliar e comparar a eficiência da aleta no aquecimento, visto que o funcionamento da aleta já havia sido testado na experiência anterior.

O fluido utilizado no cano sem aleta inicialmente encontrava-se a 15,8°C e atingiu seu ápice as 12:00h, com temperatura máxima de 42,2°C. A água introduzida no cano com as aletas também encontrava-se a 15,8°C com seu ápice no mesmo horário, 12:00h, mas atingindo a temperatura de 48,2°C, ou seja, obteve aumento de 6°C em relação ao experimento sem aleta.

Verifica-se assim que as aletas são funcionais para a água atingir uma temperatura mais alta. No Gráfico 02 observa-se que a unidade experimental com aleta teve um aumento de 6°C em relação a unidade experimental sem aleta e em média manteve uma temperatura de 42,7°C.

Gráfico 02 – Relação da temperatura da água com o experimento com aleta e sem aleta



Fonte: A autora (2019).

Após os experimentos com aleta e sem aleta, percebeu-se que a velocidade e direção dos ventos tiveram influência quanto ao rendimento. Pelo fato do experimento com aleta possuir uma área de superfície maior, possuindo maior contato com o ar, acarretava em menor rendimento quando havia interação do vento sob as aletas. Havendo assim necessidade de analisar a contribuição do vento e de outras interpéries.

Também verificou-se que não houveram problemas ou deformações nas conexões dos encaixes e que as aletas melhoraram a eficiência do experimento, aumentando a temperatura do fluido.

4.2 RESULTADOS DA UNIDADE EXPERIMENTAL COMPLETA

A aquisição dos dados da unidade experimental completa, foram realizados nos meses de fevereiro (coleta de dados 01 e 02), março (coleta de dados 03), abril (coleta de dados 04), agosto (coleta de dados 05) e novembro (coleta de dados 06) do ano de 2018, com diferentes elementos climáticos e durante vários dias seguidos, conforme pode ser visualizado através da Tabela 03:

Tabela 03 – Aquisição de dados da unidade experimental completa

Coleta	Estação do ano	Período
Coleta 01	Verão	10/02 a 21/02/2018
Coleta 02	Verão	22/02 a 24/02/2018
Coleta 03	Verão	06/03 a 07/03/2018
Coleta 04	Outono	21/04 a 27/04/2018
Coleta 05	Inverno	13/08 a 16/08/2018
Coleta 06	Primavera	26/11 a 30/11/2018

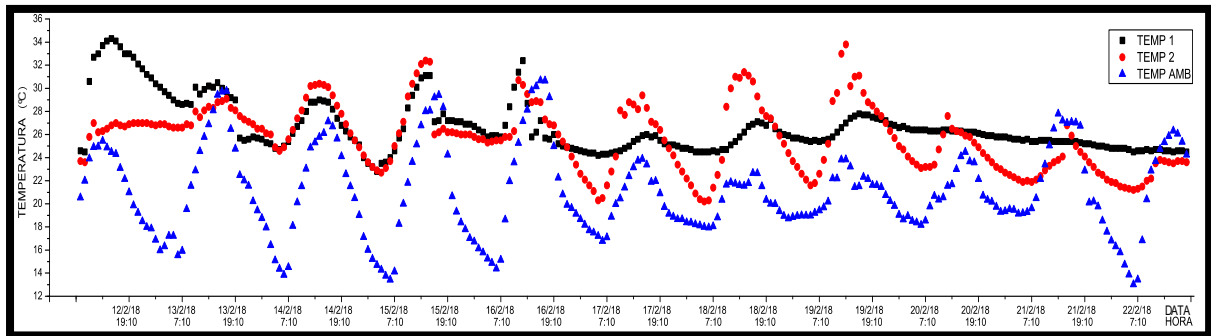
Fonte: A autora (2019).

Como pode ser observado através da Tabela 03, a primeira coleta de dados (coleta 01) teve início no dia 10/02 às 00h:00 e as temperaturas foram medidas até dia 21/02 às 18:00hs. Os resultados obtidos estão apresentados no Gráfico 03 A, B e C.

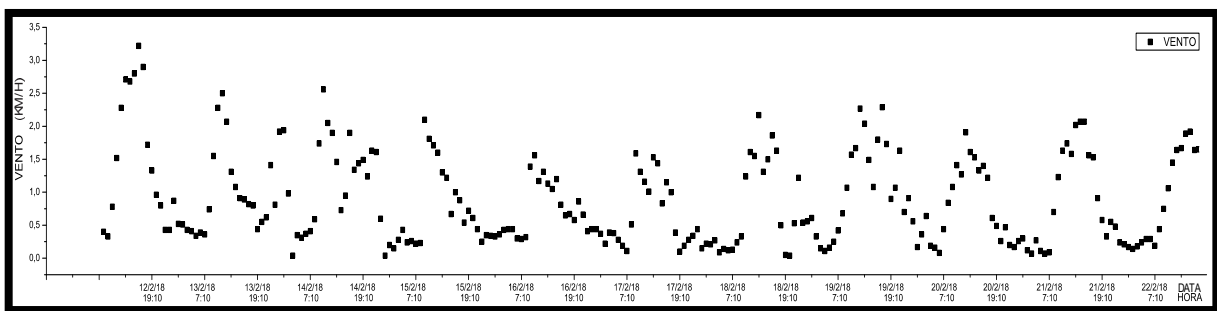
O Gráfico 03 A, apresenta a temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), a temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e a temperatura

ambiente, no Gráfico 03 B é apresentado os ventos recorrentes nos dias coletados e o Gráfico 03 C, mostra se houve chuva nos dias coletados.

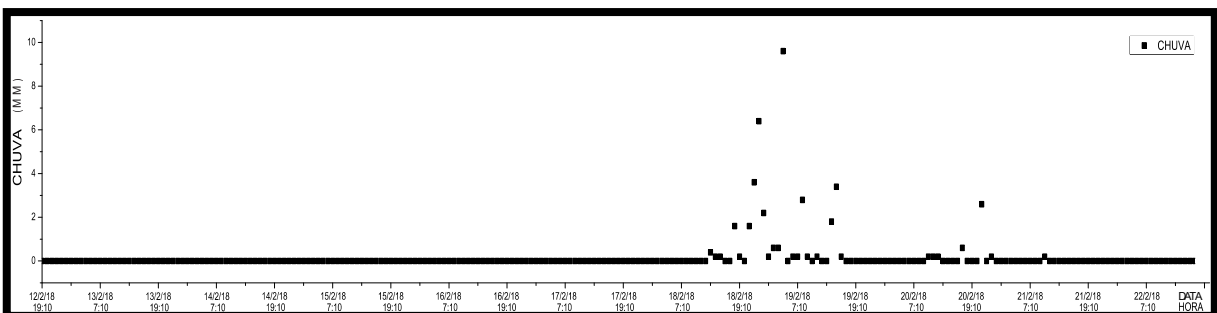
Gráfico 03 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 01: Período de 10/02 a 21/02/2018



a) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente.



b) Vento



c) Chuva

OBS.: Gráficos maiores nos anexos.

Fonte: A autora (2019).

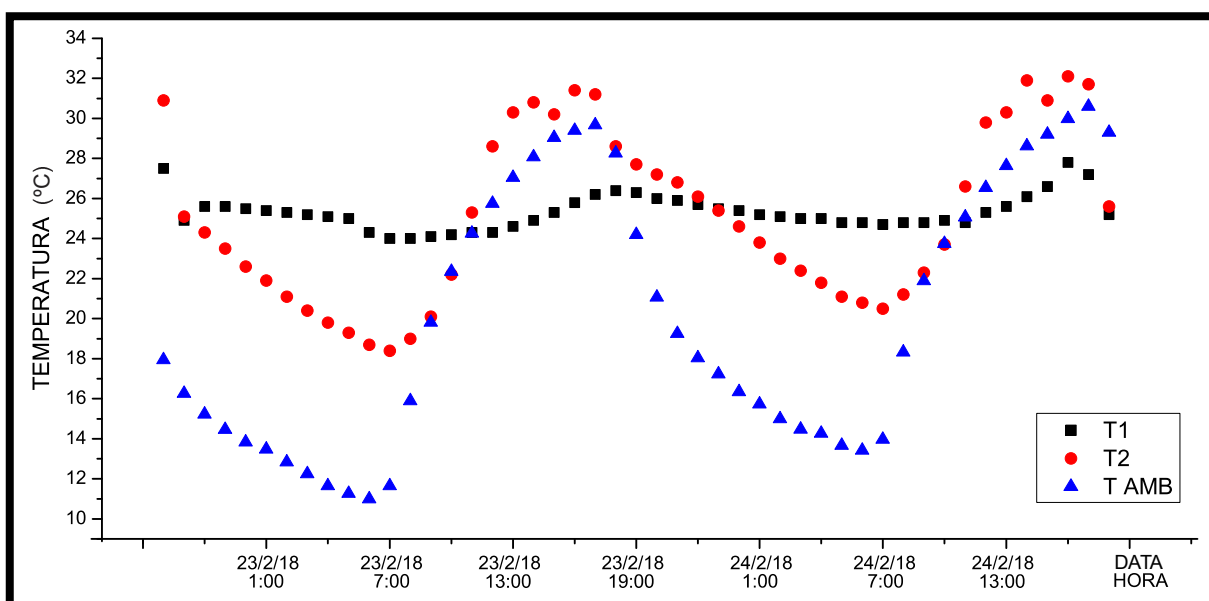
Observa-se que a temperatura do fluido na entrada do captador solar (T_1) teve menor variação em relação a parte superior do reservatório (T_2), a qual é usada para o consumo. Nota-se também que na maior parte do tempo, a T_2 manteve sua temperatura acima da temperatura ambiente e atingiu temperatura máxima de 33,5°C, enquanto a água que entrava no sistema de aquecimento (T_1) na mesma hora atingiu a temperatura máxima de 27,0°C.

Nos dias chuvosos, os quais a chuva chegou a 9,6 mm, a temperatura sofreu uma acentuada queda, o que indica que o processo de termossifão ocorre de forma reversa nos dias com baixas temperaturas e que pode ser agravado por chuvas, através da perda de calor para a água da chuva, por condução. Essa queda acentuada de temperatura, pode ser explicada pela ausência de invólucro com vedação superior em vidro no captador proposto, que auxilia no efeito estufa, porém, é necessário verificar se o modelo proposto se adequaria com a involucro de isolamento transparente e se é viável a aplicação da mesma.

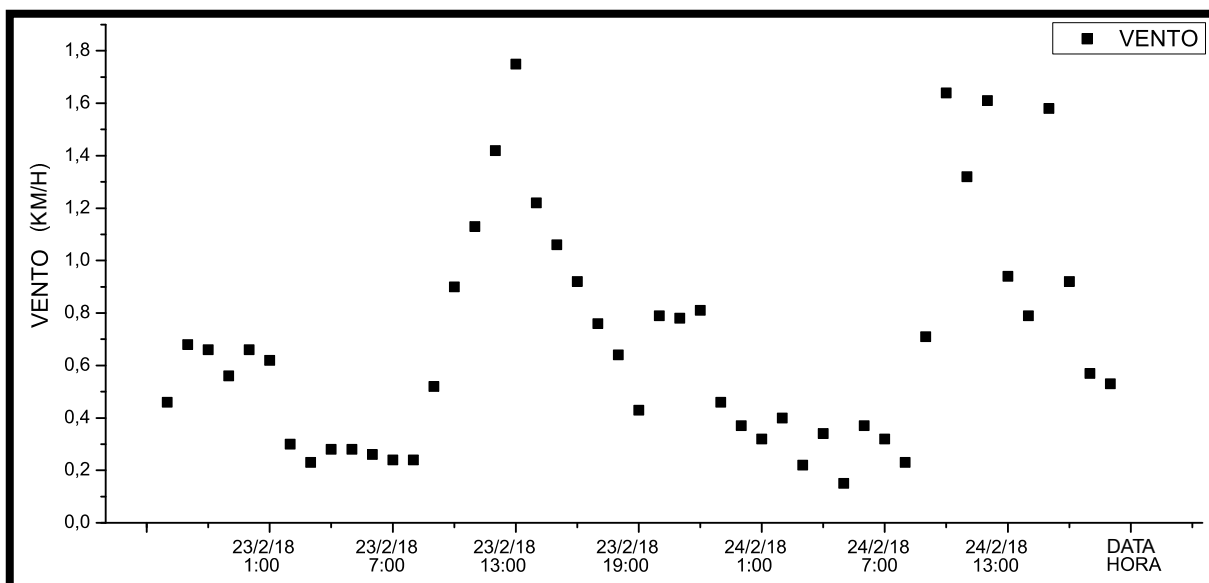
O estudo em longos períodos de tempo, como neste experimento, ajudam a entender o comportamento dos sistemas de ASBC quando instalados em residências. Neste caso, notou-se que se faz necessário estudar uma forma que o sistema bloqueie ou impeça o termossifão de fazer seu processo inverso, podendo assim aumentar os ganhos térmicos.

A coleta de dados 02, teve início no dia 22/02 às 20:00 horas e a última medição se deu no dia 24/02 às 18:00hs. Neste experimento foram aferidas as temperaturas apresentadas no Gráfico 04 A, ventos no Gráfico 04 B e chuva no Gráfico 04 C:

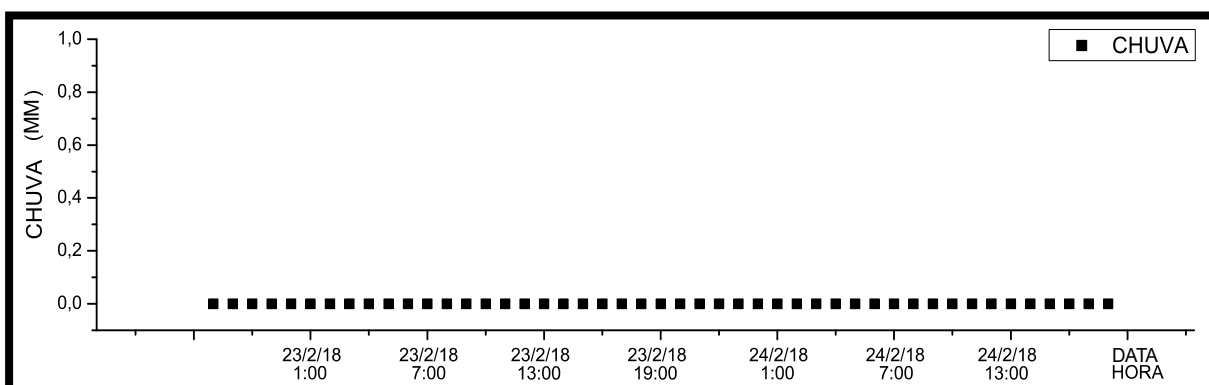
Gráfico 04 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 02: Período de 22/02 a 24/02/2018



a) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente



b) Vento



c) Chuva

OBS.: Gráficos maiores nos anexos.

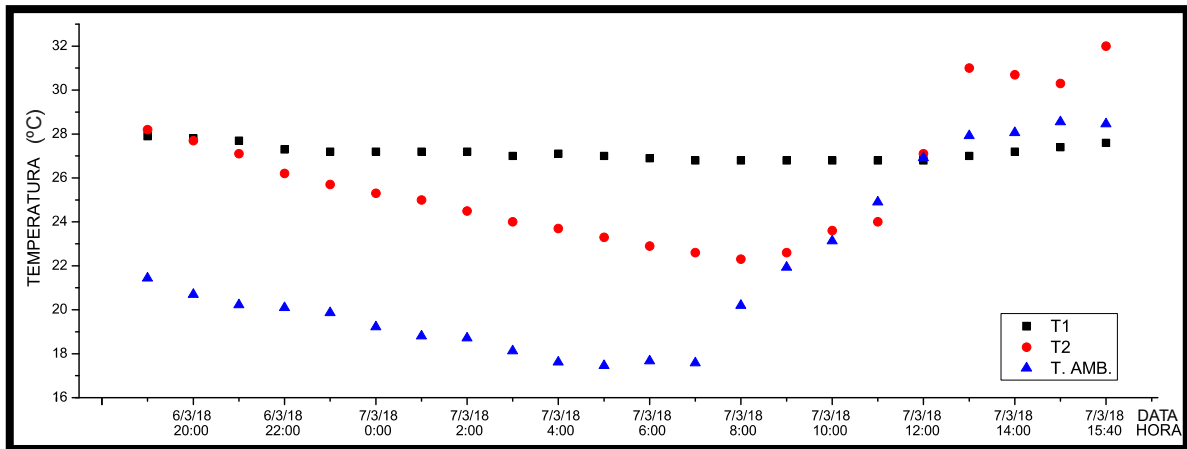
Fonte: A autora (2019).

A temperatura do fluido da entrada do reservatório (T_1) manteve-se estável, com um acréscimo de cerca de 3°C e a temperatura do fluido na saída para o consumo (T_2) sofreu grandes variações. Observou-se que a temperatura máxima T_2 chegou a $32,7^\circ\text{C}$ e em relação ao T_1 , a temperatura máxima alcançada foi 28°C .

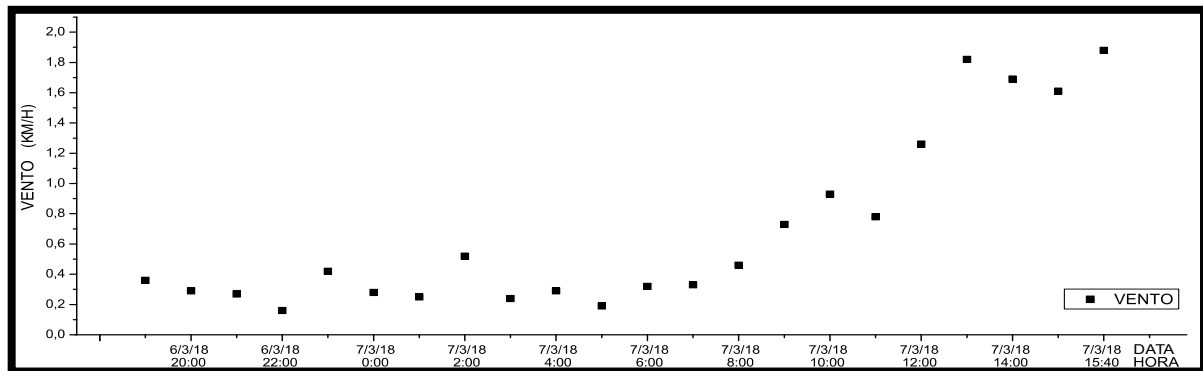
Houve um ganho de temperatura de mais de 4°C (16%), sempre mantendo-se acima da temperatura ambiente. Nesta coleta de dados não houve chuva e houveram poucas interações do vento.

A coleta de dados 03, teve seu início no dia 06/03 às 19:00 horas e findaram no dia 07/03 às 15:40hs, registrando os dados mostrados no Gráfico 05 A, Gráfico 05 B e Gráfico 05 C:

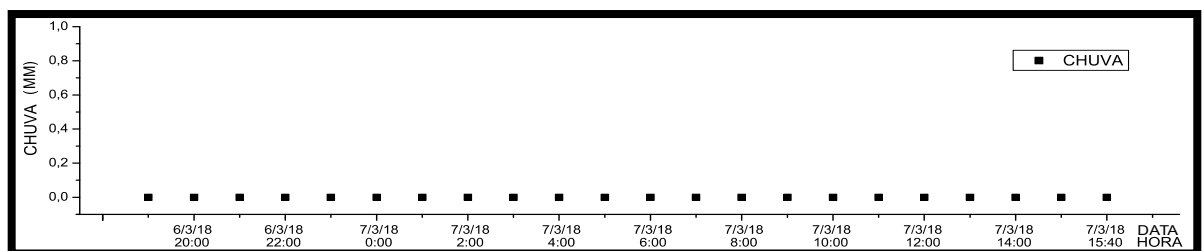
Gráfico 05 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 03: Período de 06/03 a 07/03/2018



a) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente



b) Vento



c) Chuva

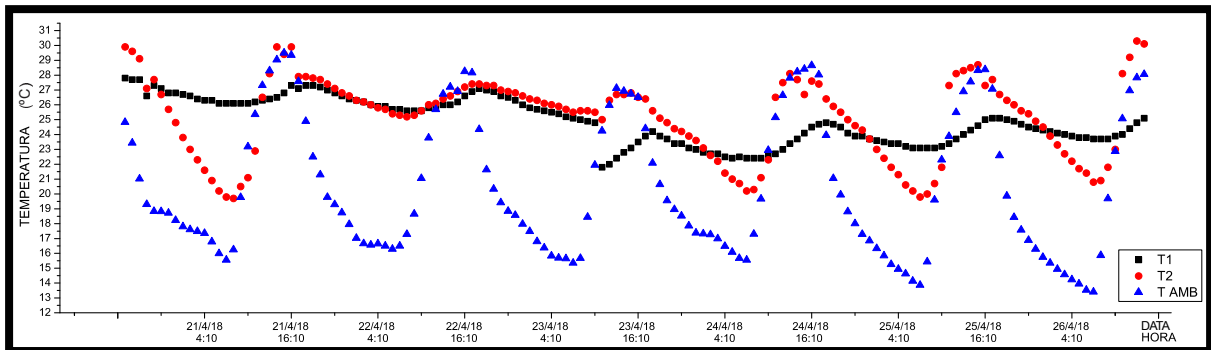
OBS.: Gráficos maiores nos anexos.

Fonte: A autora (2019).

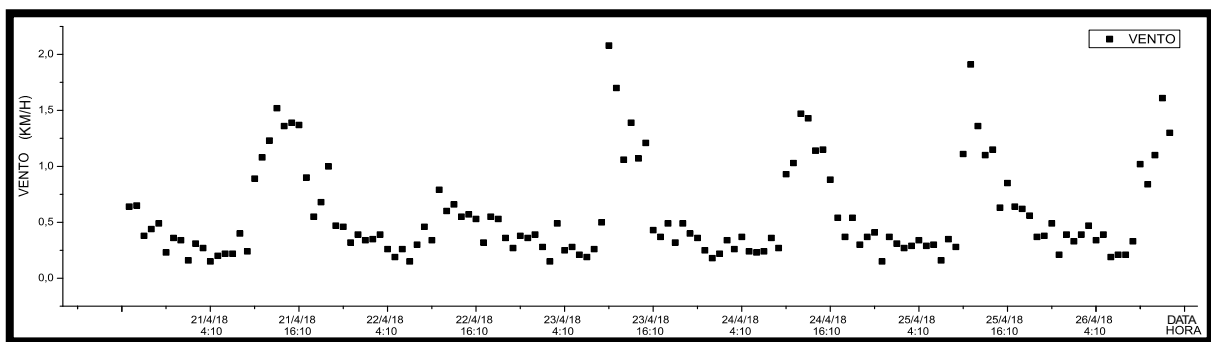
Observou-se que a temperatura máxima na saída para consumo (T_2) foi de $33,5^{\circ}\text{C}$, enquanto, a temperatura do fluido na entrada para o sistema de aquecimento solar variou de $26,8^{\circ}\text{C}$ a $27,9^{\circ}\text{C}$, ou seja, obteve-se um ganho térmico de mais de 20% novamente. Não houveram interações de chuva e houve pouca influência do vento nestes dias, como pode-se observar no Gráfico 05.

A coleta de dados número 04 ocorreu no dia 21/04, com início às 16:30hs até o dia 27/04 as 14:30hs e apresentou os resultados mostrados no Gráfico 06 A, Gráfico 06 B e Gráfico 06 C:

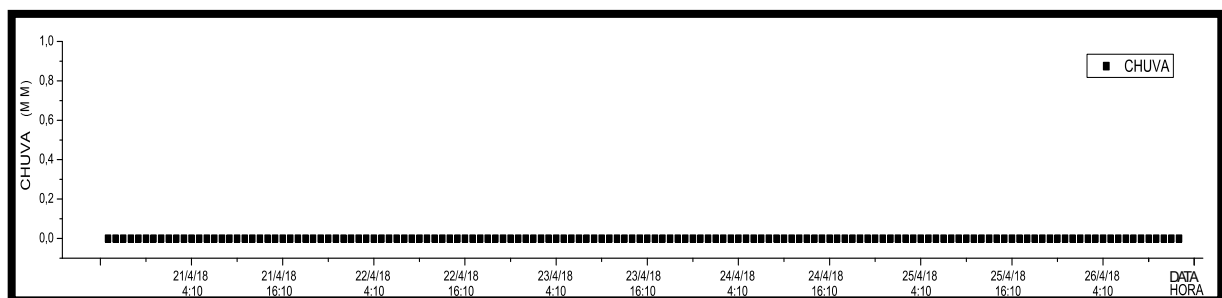
Gráfico 06 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 04: Período de 21/04 a 27/04/2018



a) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente



b) Vento



c) Chuva

OBS.: Gráficos maiores nos anexos.

Fonte: A autora (2019).

Os dados evidenciaram que existe elevado ganho térmico durante os horários de insolação tanto da saída para o consumo como na entrada do sistema. Porém, percebe-se a necessidade de mais pesquisas que investiguem o motivo da redução térmica no período noturno.

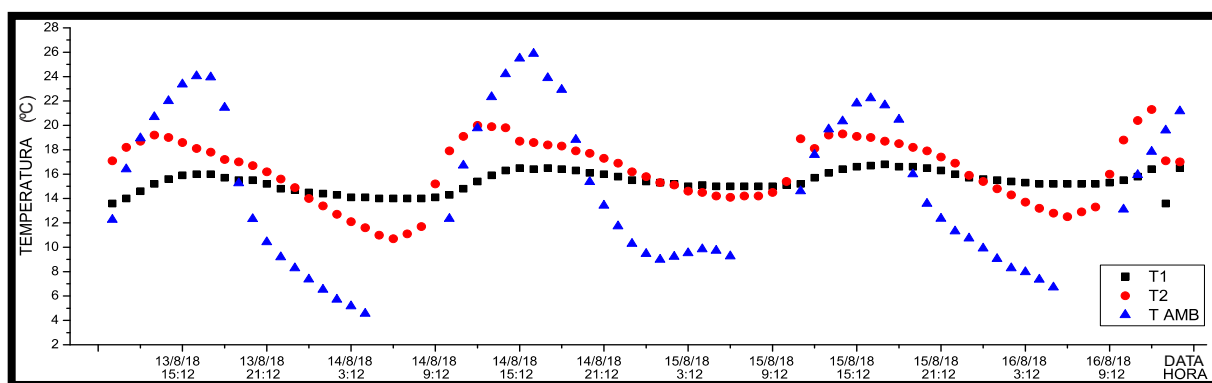
Pode-se perceber através do Gráfico 06, que a tendência observada para T_{amb} foi bem diferente que a tendência observada para T_1 e T_2 . Isso pôde ser observado devido a coleta ter sido em maiores números de dias, os quais estavam adequados para o bom funcionamento de um coletor solar.

Mesmo com o processo de termossifão inverso durante a noite, o experimento mostrou um ganho térmico médio de mais de 3°C e se for considerada a amplitude térmica do reservatório que foi de $22,3^{\circ}\text{C}$ a 31°C o sistema de aquecimento conseguiu aquecer $8,7^{\circ}\text{C}$ ao longo de cinco dias, os quais poderiam ser potencializados sem o efeito do termossifão inverso a noite, que remove o calor do boiler.

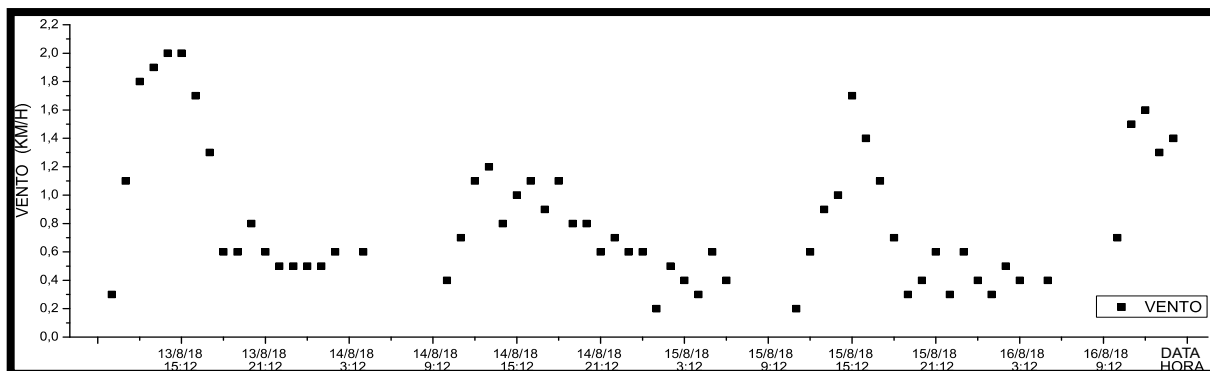
Gupta e Garg (1968) citam um invólucro com uma cobertura transparente pode provocar o efeito estufa e reduzir perdas, diante disto, é interessante verificar se uma caixa de isolamento com face superior transparente se adequaria no modelo experimental completo e se é viável a aplicação da mesma, tanto para gerar o efeito estufa e haver a redução da interação do captador com o vento, quanto economicamente, se tratando de um coletor solar de baixo custo.

A coleta de dados número 05 ocorreu no dia 13/08, com início às 10:00hs até o dia 16/08 as 14:00hs e apresentou os resultados mostrados no Gráfico 07 A, Gráfico 07 B e Gráfico 07 C:

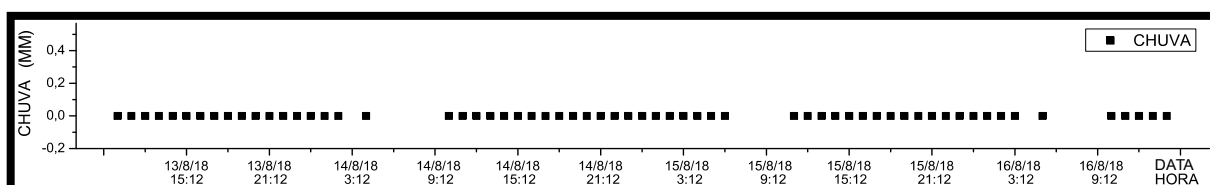
Gráfico 07 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 05: Período de 13/08 a 16/08/2018



a) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente



b) Vento



c) Chuva

OBS.: Gráficos maiores nos anexos.

Fonte: A autora (2019).

Nesta coleta, foram considerados três dias de medições, sem precipitação. Assim como nas análises anteriores, o objetivo foi verificar o comportamento do fluido na entrada do captador solar (T_1), com a temperatura do fluido que vai para o consumo (T_2) e a temperatura ambiente, bem como a influência do vento e da chuva.

Nota-se que a (T_1) teve menos variações que a (T_2). Nos períodos diurnos, a temperatura para consumo chegou a atingir aproximadamente 5°C a mais que a temperatura do fluido da entrada do captador solar, porém, durante a noite teve perda de até 3°C .

Se comparada a temperatura ambiente, tanto a (T_1) quanto a (T_2) se comportaram de forma positiva, com exceção nos períodos noturnos. Sendo que no dia 14/08 durante a madrugada, a temperatura ambiente atingiu $4,5^\circ\text{C}$, a temperatura do fluido na entrada do captador solar estava com temperatura de $14,1^\circ\text{C}$.

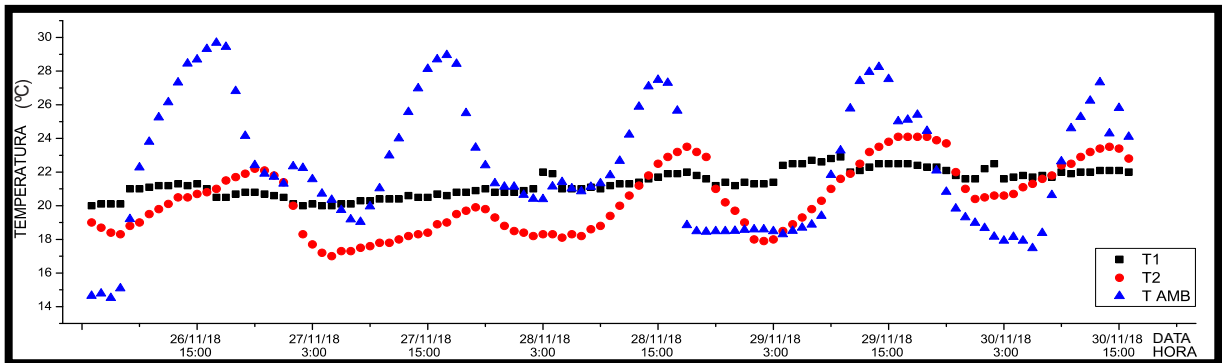
Observou-se que o vento agiu de forma negativa, quando interagiu com a unidade experimental completa. Vale salientar, que estes dados foram coletados no inverno, considerado rigoroso, na região Sul do Brasil e os coletores solares planos sem cobertura tendem a ter um rendimento muito baixo, nesta época do ano, podendo ocorrer risco de congelamento do fluido.

Porém, mesmo com baixas temperaturas, o fluido do coletor obteve ganho térmico e através do acompanhamento do equipamento no decorrer desta época do

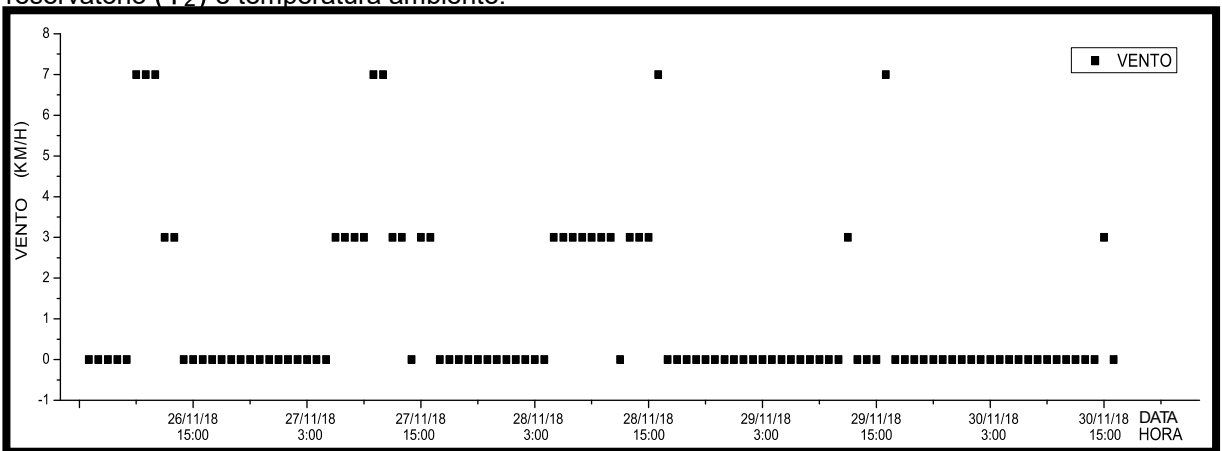
ano, conclui-se que não houve em nenhum momento o total congelamento do fluido, mesmo quando as temperaturas chegaram a ficar abaixo de 0°C.

A última coleta, chamada de coleta de dados 06, iniciou-se no dia 26/11, às 04:00hs e finalizou no dia 30/11 as 16:00hs. Os resultados estão apresentados no Gráfico 08 A, Gráfico 08 B e Gráfico 08 C:

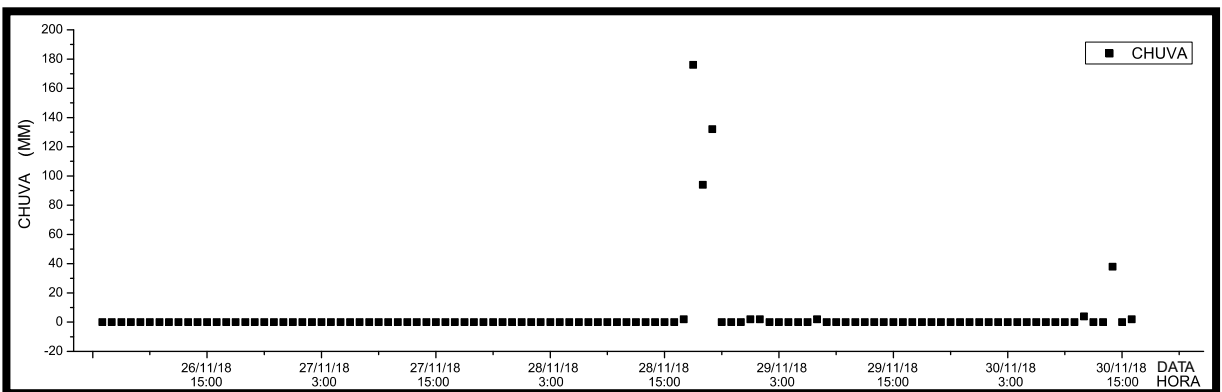
Gráfico 08 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 06: Período de 26/11 a 30/11/2018



a) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente.



b) Vento



c) Chuva

OBS.: Gráficos maiores nos anexos.

Fonte: A autora (2019).

Observou-se através do Gráfico 08, que a (T_1) teve menos variações que a (T_2), notou-se também que mesmo com a temperatura ambiente sendo alta, nos dias nublados o coletor não obteve grandes ganhos de temperatura. Somado a grande interação dos ventos, resultou em um aquecimento menos eficiente e quando houve precipitação, o contato da água da chuva com o coletor fez que este perdesse calor.

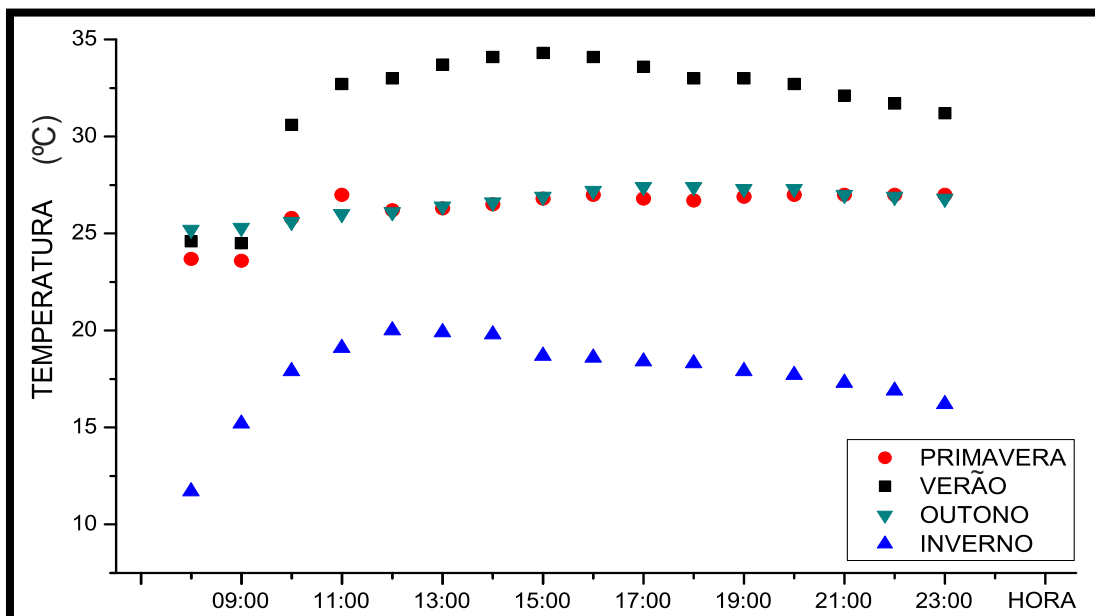
4.3 COMPARATIVO DA UNIDADE EXPERIMENTAL COMPLETA EM CADA ESTAÇÃO DO ANO

Devido as coletas serem realizadas em estações do ano diferentes e dada a impossibilidade delas serem realizadas em um dia com as mesmas condições meteorológicas, este trabalho trata-se de um estudo experimental com informações quantitativas.

A comparação dos resultados, têm o intuito de realizar uma análise do comportamento dos dados das temperaturas registradas. Para tal comparação, foram compostos dois gráficos.

No Gráfico 09, são demonstradas as temperaturas atingidas pelo coletor e no Gráfico 10, são demonstradas as diferenças de temperatura entre a saída de água do reservatório e a temperatura da água na saída do coletor.

Gráfico 09 – Temperaturas atingidas pelo coletor nas quatro estações do ano



Fonte: A autora (2019).

Ambos os gráficos tiveram suas temperaturas medidas com intervalo de uma hora, durante um período de 24 horas, em um dia de cada estação do ano, sendo eles: 27 de novembro (primavera), 26 de fevereiro (verão), 27 de abril (outono) e 14 de agosto de 2018 (inverno).

As temperaturas exibidas no Gráfico 09, foram coletadas na parte superior do reservatório, onde toda água quente se concentra e é coletada para o uso, demonstrando assim, o comportamento térmico do reservatório nos quatro períodos distintos analisados: primavera, verão, outono e inverno.

Percebe-se um grande aumento de temperatura a partir das 08 horas da manhã, os quais são mais acentuados nos períodos analisados de inverno e no de verão. O fluido, demonstra ganho térmico durante todo o período no qual a luz solar incide no captador, enquanto a temperatura entre o outono e a primavera esse ganho foi mais ameno.

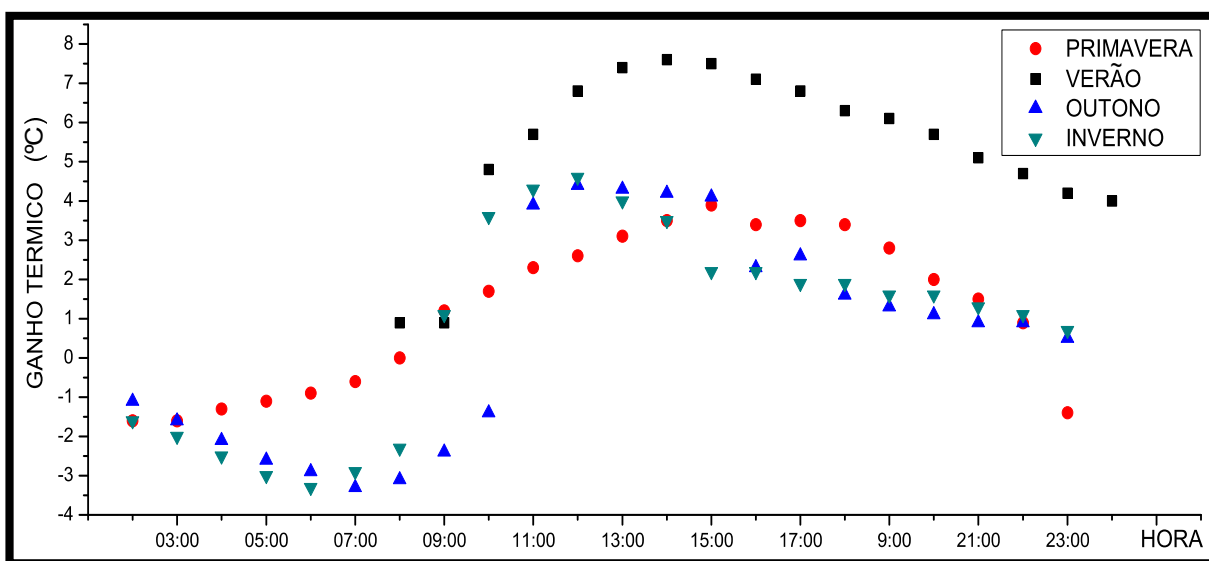
Como já citado, o coletor apresenta perda térmica durante a noite, a qual pode ser estudada em trabalhos futuros, visando reduzir esta perda e aumentar a eficiência do sistema.

Para a padronização de dados e melhor verificação do funcionamento do coletor, foram calculadas as temperaturas de ganho, compostas pela temperatura da parte inferior do reservatório (mais fria), subtraídas, da temperatura da parte superior do reservatório (aquecida), demonstrando os ganhos e perdas de temperatura.

Lembrando que, se a temperatura de saída for 20°C e a de entrada 25°C, teremos um ganho de 5°C, porém, vale ressaltar, que há troca de calor por condução dentro do reservatório, fazendo com que os 20°C da temperatura de saída aumentem, gerando assim, um gráfico do ganho imediato de cada hora e não demonstrando o ganho total acumulado de calor.

É conveniente ressaltar, que uma vez que a água é aquecida e transportada para a parte superior, esta conduz calor ao resto do reservatório, então, os valores expostos no Gráfico 10, são do aumento da temperatura de cada hora e não do ganho acumulativo de temperatura. O parâmetro deste gráfico é mostrar qual foi o produto entre a água que ia para o coletor e a água que chegava ao reservatório.

Gráfico 10 – Diferenças de temperatura entre a saída de água do reservatório e a temperatura da água na saída do coletor



Fonte: A autora (2019).

Durante o verão, foi computado maior ganho térmico e nas estações de outono e inverno, o coletor obteve menores temperaturas, comportamento o qual já era previsto pelo fato do verão ter a incidência de maiores quantidades de radiação solar.

Como exemplo: no horário das 11:00hs, do inverno, o fluido do reservatório saiu a 19,1°C, obteve um ganho térmico de 4,3°C e retornou ao reservatório em 23,4°C, porém, devido a troca de calor que ocorre através de diversos fatores, (como por exemplo a perda de calor da água recém aquecida, para a água do reservatório), as 13:00hs o fluido que saía para o coletor, se encontrava a 19,9°C, obtendo um ganho térmico de 4,0°C e retornando para o reservatório com 23,9°C.

Outro exemplo, dado no mesmo horário, porém no verão: inicialmente o fluido saiu do reservatório com 32,7°C, obteve um ganho térmico de 5,7°C, retornou com 38,4°C, houve a troca de calor dentro do reservatório, as 13:00hs o fluido saiu do reservatório com 33,7°C, obteve um ganho térmico de 7,4°C, retornando ao reservatório com 41,1°C, havendo novamente a troca de calor e assim sucessivamente.

Os sistemas de aquecimento alternativos têm grande potencial para racionalizar energia elétrica, aproveitando a radiação solar e sem necessidade de grandes investimentos financeiros, atuando no aquecimento ou preaquecimento somado a um suporte termo elétrico.

4.4 ANÁLISE DE ABSORSÃO

Através da equação 1 (página 43), podemos afirmar que a quantidade de energia absorvida na coleta do dia 24/02/2018, das 13:00hs as 14:00hs, é igual 1,604 MJ (Megajoule), considerando que o acúmulo de temperatura da água no reservatório foi de 5,8°C e o calor específico da água é de $c = 4186 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$.

A estimativa da quantidade de energia incidente no coletor, é obtida pelo produto de $G = 2400 \text{ J/m}^2.\text{s}$ (5,71Kwh) da fonte de cima pela área exposta do coletor $A_{\text{ext}} = 0,90 \text{ m}^2$ e pelo tempo total de exposição ao Sol, 60 minutos (3.600 s). Assim, obtemos $Q_{\text{inc}} = 7,776 \text{ MJ}$.

Lembrando que dessa radiação incidente, apenas 51% é efetivamente absorvida na superfície da Terra, ou seja, $Q_{\text{inc}} = 3,96 \text{ MJ}$. A razão entre essas duas grandezas nos mostra que aproximadamente 40% da quantidade de energia incidente foi absorvida pelo coletor.

Se comparado com o coletor solar de baixo custo de Weiller et. al (2007), que também é utilizado para aquecimento de água em residências, seu modelo captou aproximadamente 20% da energia incidente, ou seja, 20% a menos que o coletor solar de baixo custo proposto neste trabalho.

Essa diferença pode ocorrer devido as condições climáticas dos dias analisados, modelo de coletor solar diferente, quantidade de energia incidente no coletor, entre outros fatores.

A radiação global (G) utilizada para a elaboração da tabela, foi obtida no site atlassolarparana.com e pode ser observada na Figura 22 da página 49. Os valores foram de 5.2 kWh/m².estação para a estação primavera, 6.1 kWh/m².estação no verão, 4.2 kWh/m².estação no outono e 3.3 kWh/m².estação no inverno, para o município de Francisco Beltrão -PR.

Através da Tabela 04, é possível verificar o ganho térmico de hora em hora dos dias 26/11/2018 (primavera), 12/02/2018 (verão), 14/05/2018 (outono) e 13/08/2018 (inverno). Também observa-se a quantidade de radiação solar que incidia no coletor solar e foi absorvida, nos mesmos dias das quatro estações, de hora em hora.

Tabela 04 – Ganho térmico (°C) e quantidade de energia incidente absorvida pelo coletor (%) nos dias 26/11/2018 (primavera), 12/02/2018 (verão), 14/05/2018 (outono) e 13/08/2018 (inverno) de hora em hora

Hora	Estações do ano/Coletas							
	Primavera 26/11		Verão 12/02		Outono 14/05		Inverno 13/08	
	Ganho térmico	Radiação absorvida	Ganho térmico	Radiação absorvida	Ganho térmico	Radiação absorvida	Ganho térmico	Radiação absorvida
02:00	-1,6	-10,2			-1,6	-8,3	-1,1	-4,5
03:00	-1,6	-10,2			-2,0	-10,3	-1,6	-6,5
04:00	-1,3	-8,3			-2,5	-12,9	-2,1	-8,6
05:00	-1,1	-7,0			-3,0	-15,5	-2,6	-10,6
06:00	-0,9	-5,7			-3,3	-17,1	-2,9	-11,9
07:00	-0,6	-3,8			-2,9	-15,0	-3,3	-13,5
08:00	0	0,0	0,9	6,8	-2,3	-11,9	-3,1	-12,7
09:00	1,2	7,7	0,9	6,8	1,1	5,7	-2,4	-9,8
10:00	1,7	10,8	4,8	36,0	3,6	18,7	-1,4	-5,7
11:00	2,3	14,7	5,7	43,1	4,3	22,3	3,9	16,0
12:00	2,6	16,6	6,8	51,4	4,6	23,9	4,4	18,0
13:00	3,1	19,8	7,4	55,9	4,0	20,7	4,3	17,6
14:00	3,5	22,4	7,6	57,5	3,5	18,1	4,2	17,2
15:00	3,9	24,9	7,5	53,7	2,2	11,4	4,1	16,8
16:00	3,4	21,7	7,1	53,7	2,2	11,4	2,3	9,4
17:00	3,5	22,4	6,8	51,4	1,9	9,8	2,6	10,6
18:00	3,4	21,7	6,3	47,7	1,9	9,8	1,6	6,5
19:00	2,8	17,9	6,1	46,1	1,6	8,3	1,3	5,3
20:00	2	12,8	5,7	43,1	1,6	8,3	1,1	4,5
21:00	1,5	9,6	5,1	38,5	1,3	6,8	0,9	3,6
22:00	0,9	5,7	4,7	35,5	1,1	5,7	0,9	3,6
23:00	-1,4	-9,0	4,2	31,7	0,7	3,6	0,5	2,0

Fonte: A autora (2019).

Através da Tabela 04, é possível perceber que o maior ganho térmico deu-se no verão, atingindo 7,6°C, conseqüentemente, a maior quantidade de energia incidente absorvida pelo coletor, foi no mesmo período, atingindo 57,5%.

4.5 CUSTOS

Os coletores solares alternativos possuem custos que diferem muito entre suas diversas configurações. Conforme dados da entidade intitulada Sociedade do

Sol (2008), que desenvolvem sistemas alternativos, no mesmo padrão do coletor desenvolvido neste trabalho, demonstram um equipamento com custo de aproximadamente R\$ 250,00 feito com forro de PVC, salientando que é apenas o coletor, sem o boiler, com apenas uma caixa d'água de 250l. Outro sistema de aquecimento solar, disponibilizado pela CELESC (2005), produzido com garrafas PET e embalagens Tetra Pak, sem boiler e com caixa d'água de 310l, obteve custo aproximado de R\$ 650,00.

O maior custo em ambos os sistemas (forro de PVC e o de garrafas PET e embalagens Tetra Pak) são as caixas d'água, que custaram R\$ 145,00. Vale salientar, que muitas vezes o valor do reservatório não está incluso, pois, geralmente, a água aquecida pelo coletor, fica reservada dentro do mesmo reservatório que possui a água fria, tornando assim, o sistema ainda mais barato.

O segundo material com maior valor, foi a placa de forro de PVC alveolar modular de 1,25 x 0,62m, no sistema com forro de PVC, no valor de R\$ 17,00 e no segundo sistema, foi o tubo soldável em PVC 20mm, no valor de R\$ 108,00.

Em relação a um sistema de aquecimento solar de 2m², encontrado no mercado, Thomas (2014) levanta um valor de R\$ 1.900,00, custo de um sistema compacto, com armazenamento de 200l, 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 9m² e foi utilizado um boiler para o armazenamento.

Na Tabela 05, são apresentados os materiais utilizados e seus respectivos valores, para o desenvolvimento da unidade experimental completa.

Tabela 05 – Materiais utilizados para a confecção da unidade completa e seus respectivos valores

Material	Valor Unitário	Quantidade	Valor Total
Chapas de alumínio com 457 x 381 x 015mm	R\$ 4,00 kg	06	R\$ 1,50
Tubos de PVC de 90cm de comprimento e 25mm de diâmetro	R\$ 2,00 m	06 (5,4 m)	R\$ 10,80
Conexões Tee 90° 25mm de diâmetro	R\$ 1,05 un	10	R\$ 10,50
Conexões curva 90° 25mm de diâmetro	R\$ 2,39 un	04	R\$ 9,56
Reservatório 100l	R\$ 667,00	01	R\$ 667,00
Caixa d'água 100l	R\$ 110,00	01	R\$ 110,00

Fonte: A autora (2019).

Os valores são a média de três orçamentos obtidos no ano de 2018, em lojas de materiais de construções localizadas no município de Francisco Beltrão – PR, com exceção do reservatório boiler, este foi obtido através de compra online, após três orçamentos, sendo adquirido com a empresa pelo orçamento de menor valor.

Como pode-se observar na Tabela 5, o material mais caro é o boiler de 100l, 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 coletor solar de baixo custo projetado neste trabalho, o valor total gasto foi de R\$ 32,36. Se acrescentado o valor do reservatório, o valor total foi de R\$ 699,36, custo ainda considerado baixo se comparado aos coletores comerciais. Vale salientar que a tubulação necessária para conexão do captador com o boiler, não foram quantificadas neste valor, por serem variáveis, dependendo do formato da edificação, posição do reservatório, bem como, a distância do reservatório até o captador.

Caso a residência ainda não possua caixa d'água e esta for a opção de utilização como reservatório, o valor de uma, com capacidade de 100l, custa em média R\$ 110,00, totalizando o projeto (ASBC + reservatório) num valor de R\$ 142,36. Se comparado com os outros dois modelos de coletores solares de baixo custo citados anteriormente, o modelo com as chapas de impressão *offset* saiu mais em conta que ambos.

Diante da necessidade de água aquecida, sobretudo para as famílias de baixa renda, público alvo para a utilização dos sistemas alternativos, o modelo proposto torna-se apropriado, pois, além do baixo custo, quando comparado aos demais sistemas, sua instalação pode ser realizada por qualquer pessoa, não necessitando conhecimentos técnicos abrangentes, nem de grandes alterações nas instalações hidráulicas existentes, tornando o sistema alternativo mais viável economicamente.

Embora em alguns dos resultados a água não tenha atingido a temperatura ideal para banho, o sistema pode ser usado como pré-aquecimento para água, com posterior aquecimento elétrico, o qual ajudaria a diminuir o consumo de energia elétrica, reduzindo os gastos mensais da família.

Mesmo que já existam vários sistemas alternativos viáveis, ainda é necessário uma sensibilização das pessoas perante a importância da economia de energia, pois o chuveiro elétrico ainda é o meio mais difundido para o aquecimento

de água para o banho, com baixo custo de aquisição e rápido de aquecer a água do banho.

Entretanto, a crescente demanda elétrica pode acarretar em vários riscos ecológicos, sejam dados pela implantação de novas usinas hidroelétricas, alagando vastas áreas, quanto pela infraestrutura de transmissão de energia, que degrada áreas de mata ou pelo simples funcionamento de tecnologias menos ecológicas, como usinas termoelétricas.

5.1 CONCLUSÕES

Pode-se considerar que o principal objetivo deste trabalho foi atingido. Assim, foi possível o desenvolvimento de um sistema de captação da radiação solar composto de chapas de alumínio provenientes do descarte de impressões *offset*, como solução economicamente viável e funcional com o intuito de utilizar uma energia limpa, inesgotável e gratuita, além do reaproveitamento de um resíduo sólido. Além disso, foram apresentados vários ensaios demonstrando de forma sólida que o sistema funciona de forma eficiente, assim como atende todos os quesitos definidos neste trabalho.

Todos os argumentos apresentados corroboram que as aletas provenientes das chapas *offset* contribuiriam para o ganho de temperatura em relação a sistemas não aletados. Verificou-se também a funcionalidade e praticidade das conexões entre as chapas com o uso apenas de encaixes, sem a necessidade de parafusos, rebites ou outros componentes que possam aumentar o custo de produção do sistema. Estas conexões por caixilhos além de reduzirem o custo de produção, se mostraram uma forma efetiva de conexão, sem apresentar nenhum tipo de deformação nestas chapas, as quais possuem grande coeficiente de dilatação térmica.

Através dos resultados obtidos, pode-se concluir que sempre houve ganho térmico durante o dia da unidade experimental completa. Como melhor resultado, o sistema aumentou 13°C na temperatura do reservatório em relação a sua temperatura inicial.

Os tubos de PVC atenderam as necessidades apresentadas pelo sistema, não apresentando problemas em suas conexões e o fluido não ultrapassou os 60°C, que é a temperatura máxima de serviço dos tubos de PVC, atingindo apenas 45°C.

O captador solar proposto pode ser considerado uma forma eficiente e viável para utilizar a energia solar no Brasil, bem como a reutilização do resíduo sólido gerado por indústrias gráficas, tornando-se um captador solar de fácil construção, com baixo custo de produção, pouca expectativa de falhas e construindo-o utilizando materiais alternativos ou reciclados.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para dar continuidade a este trabalho, pode-se citar:

- A necessidade de estudar um método para não haver a perda de calor do fluido durante a noite ou em períodos diurnos, nos quais não há insolação;
- A fabricação de novos coletores alternativos planos que possuam o mesmo volume, para possibilitar a comparação dos resultados obtidos entre eles;
- Execução de um captador solar maior, para verificar se a temperatura do fluido na saída para o consumo alcança uma temperatura maior;
- Verificar se uma caixa de isolamento com a face superior transparente pretendendo gerar um efeito estufa e a redução da interação do captador com o vento, se adequaria no modelo experimental completo e se é viável a aplicação da mesma;
- Realizar coletas mensais, com duração mínima de três dias, no período de um ano;
- Verificar minimização dos custos da energia em uma residência com o sistema instalado.

6.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALANO, JOSÉ ALCINO. Patente número PI 0402869-4 A2. **Aquecimento solar composto de embalagens descartáveis**. 2004. Disponível em <<https://www.escavador.com/patentes/421393/aquecimento-solar-composto-de-embalagens-descartaveis>> acesso em outubro de 2018.

Anderson B. **Solar energy: fundamentals in building design**. New York: McGraw-Hill; 1977.

ARRUDA, L. B. **Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Escola Politécnica, USP, São Paulo, SP. 230 p. 2004.

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. **ASHRAE Handbook: heating, ventilating and air-conditioning system and equipamento**. Atlanta. Cap. 33. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626 – Instalação predial de água fria**. Rio de Janeiro. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004 - Resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15569 – Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação**. Rio de Janeiro. 2008.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15747-2: Sistemas solares térmicos e seus componentes – Coletores solares**. Parte 2: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 2009.

AGUASPARANA. Home Page. **Sistema de Informações Hidrológicas – Pluviometria**. Disponível em <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=264>> acesso em Setembro de 2017.

ARAÚJO, M.S. ; ABIB, M. L. S. **Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol 25, n 2, p. 176-194, 2003.

AROUCA, ALINE MARQUES MORAES. **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.

ARRUDA, L. B. **Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Escola Politécnica, USP, São Paulo - SP. 230p. 2004.

ATLASSOLARPARANA. **Mapa interativo**. Disponível em < <http://atlassolarparana.com/>> acesso em Fevereiro de 2019.

BARBOSA, DANIELE DE O. et al. **Cartilha ABTG Boas Práticas Ambientais para a Indústria Gráfica**. 2ª Edição ed. São Paulo: [s.n.]. 2009.

BARCELLOS, A. L. JR., MEDEIROS, F. H. C., NOTOMI, E. H., MENDES, N., MOURA, L. M. **Análise Experimental de coletores Solares Planos para Aquecimento de Água em edificações**. Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído – ENCAC, Curitiba – PR, p. 952-959. 2003.

BARRETO, DOUGLAS. **Residential water consumption pattern and internal uses of water**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 23-40, abr/jun. 2008.

BEZERRA, GILBERTO F. Patente número 014090002818. **Método para montagem de serpentinas de aquecedores solares de água para banho com segmentos de mangueira de plástico, serpentina, ferro de solda adaptado**. 2010.

BORTOLETTO, DANILO REZENDE; PEZZUTO, CLAUDIA COTRIM. **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.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental - 2a Edição - Benedito Braga e outros**, 2005.

BRANCO, SAMUEL MURGEL. **Energia e Meio Ambiente**. 2ª ed. São Paulo: Moderna, 2012.

CAIXA. Home Page. **Programa Minha Casa Minha Vida/FAR – Especificações Mínimas**. Disponível em < <http://rionegro.pr.gov.br/sistemas/arquivos/licitacoes/files/Concorrencia%20011-2014%20-%20ANEXO%20I%20-%20Especificaca%C3%A7%C3%B5es%20-%20PMCMV%20Faixa%201.pdf>> acesso em Maio de 2018.

CALEGARI, ELIANA PAULA; PORTO, JUSSARA SMIDT; OLIVEIRA, DIEGO JUCÁ DE LIMA; ANGRIZANI, CLARISSA COUSSIRAT. **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.

CAPARROZ, FERNANDO. Home Page. **FÔRMAS (chapas ou matrizes)**. 2012. Disponível em <<http://www.tecnologiagrafica.com.br/>> acesso em Janeiro de 2019.

CASTRO, CATARINA. Home Page. **A radiação solar**. 2017. Disponível em < <https://www.slideshare.net/CarvalhoCC/variabilidade-da-radiao-solar-geral> > acesso em Fevereiro de 2019.

CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. **Aquecedor Solar com Uso de Materiais Reciclados**. Manual de Instalação. Florianópolis: CELESC, 2005. Disponível em < [https://www.tupa.unesp.br/Home/Extensao/AquecedorSolar/Manual deconstrucao.pdf](https://www.tupa.unesp.br/Home/Extensao/AquecedorSolar/Manual%20de%20construcao.pdf) > acesso em Janeiro de 2019.

CLOSE, D.J. **The Performance of Solar Water Heaters with Natural Circulation**. Solar Energy, vol 6, p, 33-40, 1962.

COSTA, RAIMUNDO NONATO ALMEIDA. **Viabilidade Térmica, Econômica e de Materiais de um Sistema Solar de Aquecimento de água a Baixo Custo para Fins Residenciais**. Dissertação para obtenção de grau de mestre em engenharia mecânica. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

CURINGA, A. M.; LIMA, L. B. M.; SOUZA, L. F. **Projeto de Concentrador Solar para Dessalinização**. In: IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN. Currais Novos, 2013.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 1ªEd, New York: John Wiley & Sons, 1980.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 2ªEd, Wisconsin: John Wiley & Sons, 1991.

ENERGIA HELIOTÉRMICA. Home Page. **Energia Heliotérmica: como funciona?**. Disponível em < <http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/como-funciona> > acesso em Janeiro de 2019.

FRANCISCO BELTRÃO. Prefeitura de Francisco Beltrão, 2014. Disponível em <<http://franciscobeltrao.pr.gov.br>> acesso em Setembro de 2017.

FRANCISCO BELTRÃO. Prefeitura de Francisco Beltrão, 2016. **Beltrão figura como 5ª melhor cidade brasileira em infraestrutura**. Disponível em < <http://franciscobeltrao.pr.gov.br/cidade/beltrao-figura-como-5a-melhor-cidadebrasileira-em-infraestrutura/> > acesso em Setembro de 2017.

HINRICHS, ROGER A.; KLEINBACH, MERLIN; REIS, LINEU B. **Energia e Meio Ambiente**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

GUPTA C, L.; GARG, H. P. **System Design in Solar Water Heaters with Natural Circulation**. Solar Energy. Vol 1, N. 12, p. 163-182, 1968.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. Home Page. **Cartas climáticas do Paraná**. Disponível em < <http://www.iapar.br/pagina-856.html> > acesso em Setembro de 2017.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. Arquivo Digital. **FB-TM-PR_iapar**. 2018.

IBGE. Home Page. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/pr/francisco-beltrao/panorama>> acesso em Setembro de 2017.

IBGE. Home Page. Disponível em <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=410840>> acesso em Setembro de 2017.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Home Page. **Caderno estatístico Município de Francisco Beltrão**. Disponível em <<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=85600>> acesso em Setembro de 2017.

KREIDER, J.F.; KREITH, F. **Solar Energy handbook**. [S.l.]: EUA, 1981.

LOPES, JOAQUIM TEIXEIRA. **Dimensionamento e Análise Térmica de um Dessalinizador Solar Híbrido**. Trabalho final de mestrado profissional em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas. São Paulo. 2004.

MACHADO, EVERTO FÁBIO DA SILVA. **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.

MEINEL AB, MEINEL MP. **Applied solar energy: an introduction**. Reading, MA: Addison-Wesley; 1976.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>> acesso em Junho de 2019.

MFRURAL. Home Page. Disponível em <<http://www.mfrural.com.br/cidade/francisco-beltrao-pr.aspx>> acesso em Setembro de 2017.

MINEROPAR. **Avaliação do potencial e consultoria técnica no município de Francisco Beltrão**. Governo do Estado do Paraná. Curitiba, 2002.

MOHALLEM, D.F.; TAVARES M.; SILVA, P. L.; GUIMARÃES, E. C.; FREITAS, R. F. **Avaliação do coeficiente de variação como medida da precisão em experimentos com frangos de corte**. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.60, n.2, p.449-453, 2008.

PALZ, W. Energia Solar e Fontes Alternativas. Tradução de “**Solar electricity: an economic approach to solar energy**”. Hemus, SP. 2002.

PEREIRA, E.M.D. **Energia Solar aplicada: instalações solares de pequeno porte**. Edição 6, Belo Horizonte: PUC Minas virtual. 2002.

PRADO, GUSTAVO OTERO. **Concentrador solar para dessalinização de água: projeto e construção**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química – Universidade Federal de Uberlândia - MG. 2011.

PRADO, G. O.; ULHOA, T. F.; DAMASCENO, J.J.R.; VIEIRA, L.G.M. **Estado da Arte em Tecnologias de Captação da Energia Solar para Fins Térmicos**. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis – SC, 2014.

REALI, MARCO ANTÔNIO PENALVA; MORUZZI, RODRIGO BRAGA; PICANÇO, AURÉLIO PESSÔA; CARVALHO, KARINA QUERNE DE. **Instalações Prediais de Água**. Apostila. Escola De Engenharia De São Carlos - Departamento De Hidráulica E Saneamento, Universidade De São Paulo. 2002.

REBELATTO, DANIELLY LETÍCIA; APPEL, JEAN CARLOS RAVANELLI; MOREIRA, BRUNO ARANTES; NAVARINI, CLEILA VALDAMERI. **Análise comparativa entre sistema de captação solar com e sem aletas compostas de chapas de alumínio provenientes do descarte de impressões offset**. XIX Engema – Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. São Paulo – SP, 2017.

RODRIGUES, D.; MATAJS, R. **Mudando o Curso do Uso Doméstico de Energia: Ações para a Promoção do Uso de Coletores Termosolares e Políticas e Mercados para Energia Sustentável**, Instituto Vitae Cicilis, 2004.

SAAD, FLÁVIA. **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 18 de Julho de 2017.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. Home Page. **Sanepar amplia sistema de esgoto em Francisco Beltrão**. Disponível em <<http://site.sanepar.com.br/noticias/sanepar-amplia-sistema-de-esgoto-em-francisco-beltrao>> acesso em Setembro de 2017.

SIENGE. Home Page. **Minha Casa Minha Vida**. Disponível em <<https://www.sienge.com.br/minha-casa-minha-vida/#historia>> acesso em Maio de 2018.

SIQUEIRA, DÉBORA ABRAHÃO. **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.

SLT ENERGY LTD. Home Page. **Parabolic Trough (SOL Yatna CSP)**. Disponível em <<http://www.sltenergy.com/parabolic-trough-sol-yatna-csp/>> acesso em Janeiro de 2019.

SOCIEDADE DO SOL. Home Page. **Aquecedor solar de baixo custo**. Disponível em <<http://www.sociedadedosol.org.br/projetos/asbc-aguas-de-banho/>> acesso em Janeiro de 2019.

SOCIEDADE DO SOL. Home Page. **Manual Experimental de Instrução de Manufatura e Uso do ASBC de Porte Médio para Agricultura e Entidades Assistenciais Volume de 1000 Litros**. Disponível em <www.sociedadedosol.org.br> acesso em Abril de 2018.

SOCIEDADE DO SOL. Home Page. **Manual de Manufatura e Instalação Experimental do ASBC – Aquecedor Solar de Baixo Custo**. 2009. Disponível em <www.sociedadedosol.org.br> acesso em Abril de 2018.

SOLAR E SOL AQUECEDORES. Home Page. **Reservatório para Aquecedor Solar 100 Litros Inox**. Disponível em <<http://www.solaresol.com.br/loja/boiler-100-litros-nivel-desnivel.html>> acesso em Maio de 2018.

SOUZA, L. G. M.; GOMES, U. U. **Viabilidade térmica, econômica e de materiais da utilização de tubos de PVC como elementos absorvedores em coletores de um sistema de aquecimento de água por energia solar**. Tese de Doutorado do Programa de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, UFRN. 2002.

STOKES, Teresa. **The Power of the Sun – One of four lectures pertaining to Global Warming**. Illinois Institute of Technology. IPRO 331: Global Warming Research and Community Outreach. 2016. Disponível em <<https://slideplayer.com/slide/5833174/>> acesso em Janeiro de 2019.

STORCH, HENRICK VON; ROEB, MARTIN; STADLER, HANNER; HOFFSCHMIDT, BERNHARD. **Methanol production via solar reforming of methane - Scientific Figure on ResearchGate**. Conference: 11th SOLLAB Doctoral Colloquium. Março de 2015. Disponível em <https://www.researchgate.net/figure/1-Working-principle-of-solar-power-tower-with-central-receiver_fig1_312194149> acesso em Janeiro de 2017.

STRUCKMANN, FABIO. **Analysis of a Flat-plate Solar Collector**. Project Report, 2008 MVK160 Heat and Mass Transport. Dept. of Energy Sciences, Faculty of Engineering, Lund University, Lund, Swede. 2008.

SUDOESTEONLINE. Home Page. Disponível em <http://www.sudoesteonline.com.br/franciscobeltrao/municipio_sobre.asp> acesso em Setembro de 2017.

SUNLINE, SOLAR ENERGY SERVICES. Home Page. **Suline Solar Water Heater, 2014**. Disponível em <http://www.solarwaterheatingindia.com/pdf/SUNLINE_SOLAR_BROCHURE%20-2014.pdf> acesso em Março de 2018.

THOMAS, NATALIA. **Sistemas alternativos de aquecimento solar para água do banho no estado do Rio Grande do Sul**. Artigo para Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. 2014.

TRENDS IN RENEWABLE ENERGIES. SolarAcess.com. **Canadian Associatoin for Renewable Energies**. 2005-2007.

URBANO, EDISON. **Aquecedor Solar de Água Feito com Tubos de PVC Próprios para Água Potável e Resistentes às Intempéries**. Manual de Construção e Instalação, versão 1.2, nov 2012.

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

WEILLER, LUIZ ARTUR. et al. **Construindo um coletor solar de baixo custo: uma oportunidade para ensinar Física**. XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA. 2007.

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

7.1 PUBLICAÇÕES DE ARTIGOS REFERENTES AO TRABALHO

REBELATTO, DANIELLY LETÍCIA; APPEL, JEAN CARLOS RAVANELLI; MOREIRA, BRUNO ARANTES. **Análise da viabilidade do uso de chapas de alumínio provenientes do descarte de impressões offset para utilização como aletas em coletores solares.** II Simpósio Brasileiro Desenvolvimento Territorial Sustentável. Matinhos – PR, 2017.

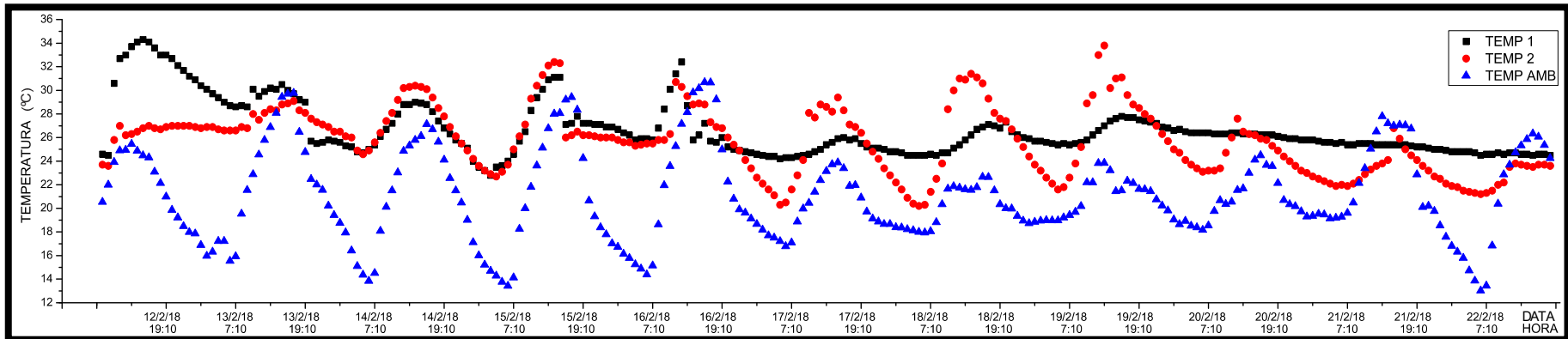
REBELATTO, DANIELLY LETÍCIA; APPEL, JEAN CARLOS RAVANELLI; MOREIRA, BRUNO ARANTES; VALDAMERI, CLEILA CRISTINA NAVARINI. **Análise comparativa entre sistema de captação solar com e sem aletas compostas de chapas de alumínio provenientes do descarte de impressões offset.** XIX ENGEMA Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. USP – São Paulo, 2017.

7.2 PATENTE

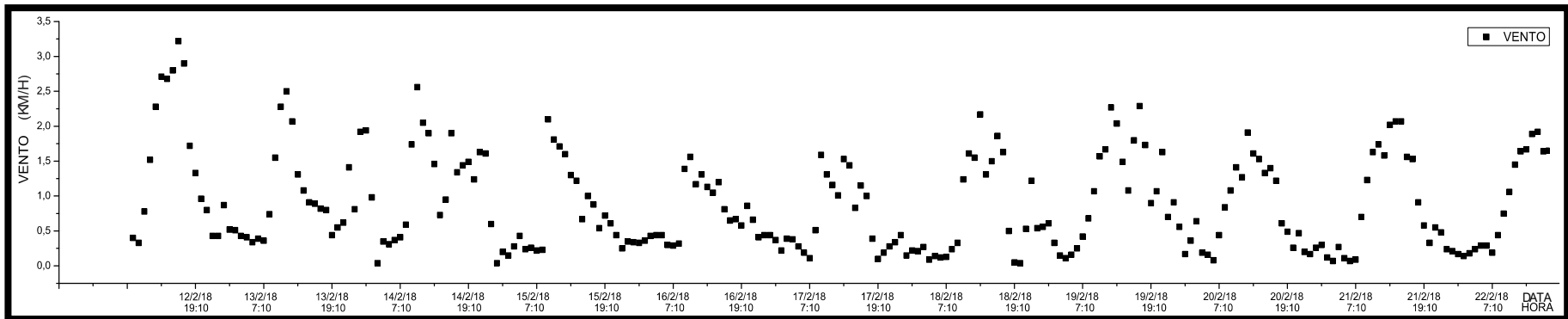
Para acompanhamento, acesse o site do INPI e insira o número do processo: BR 10 2019 012512 8.

8.1 ANEXOS

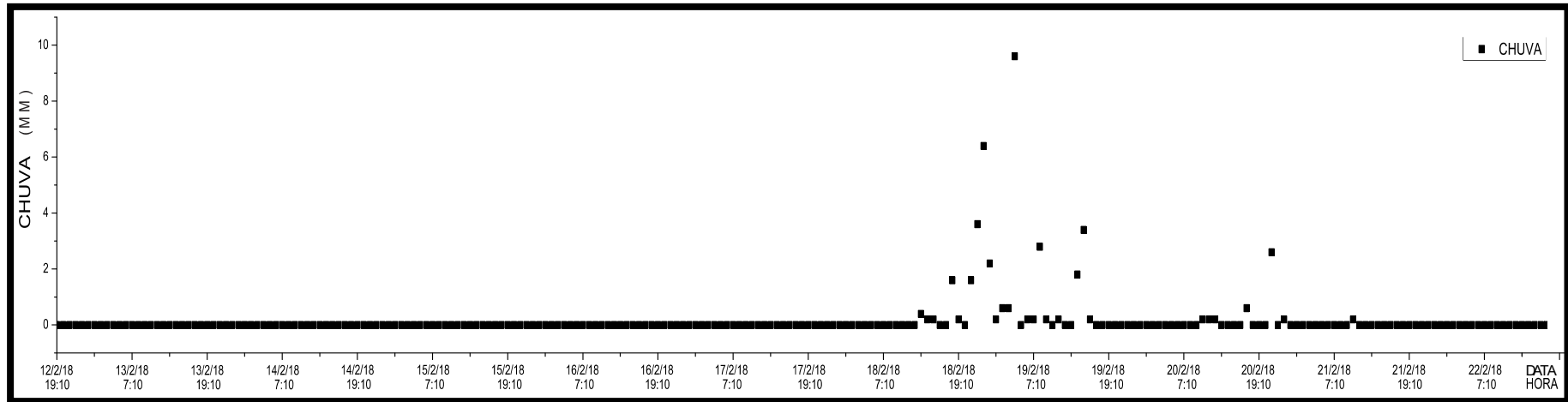
Gráfico 03 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 01: Período de 10/02 a 21/02/2018



a) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente.



b) Vento

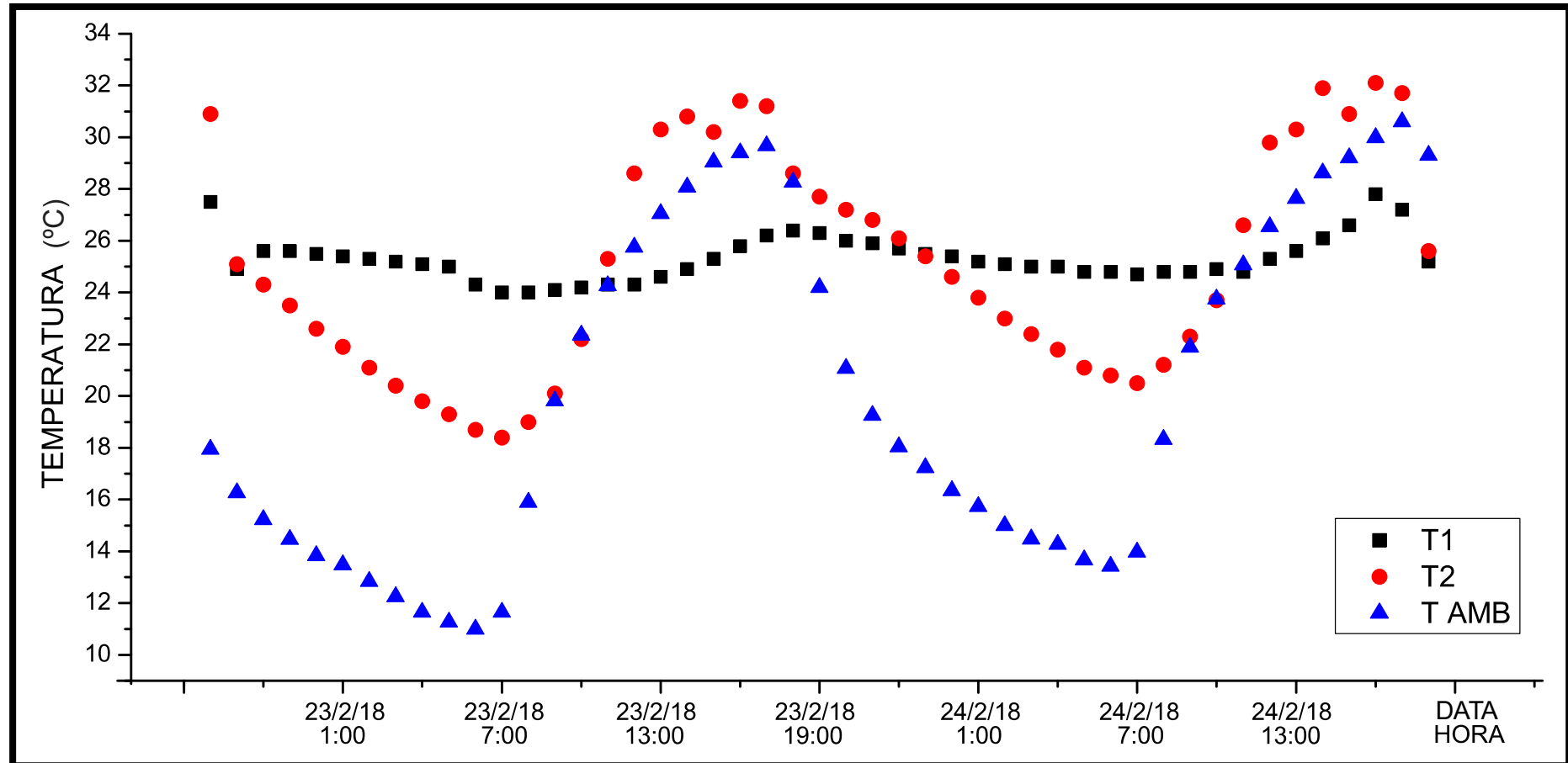


c) Chuva

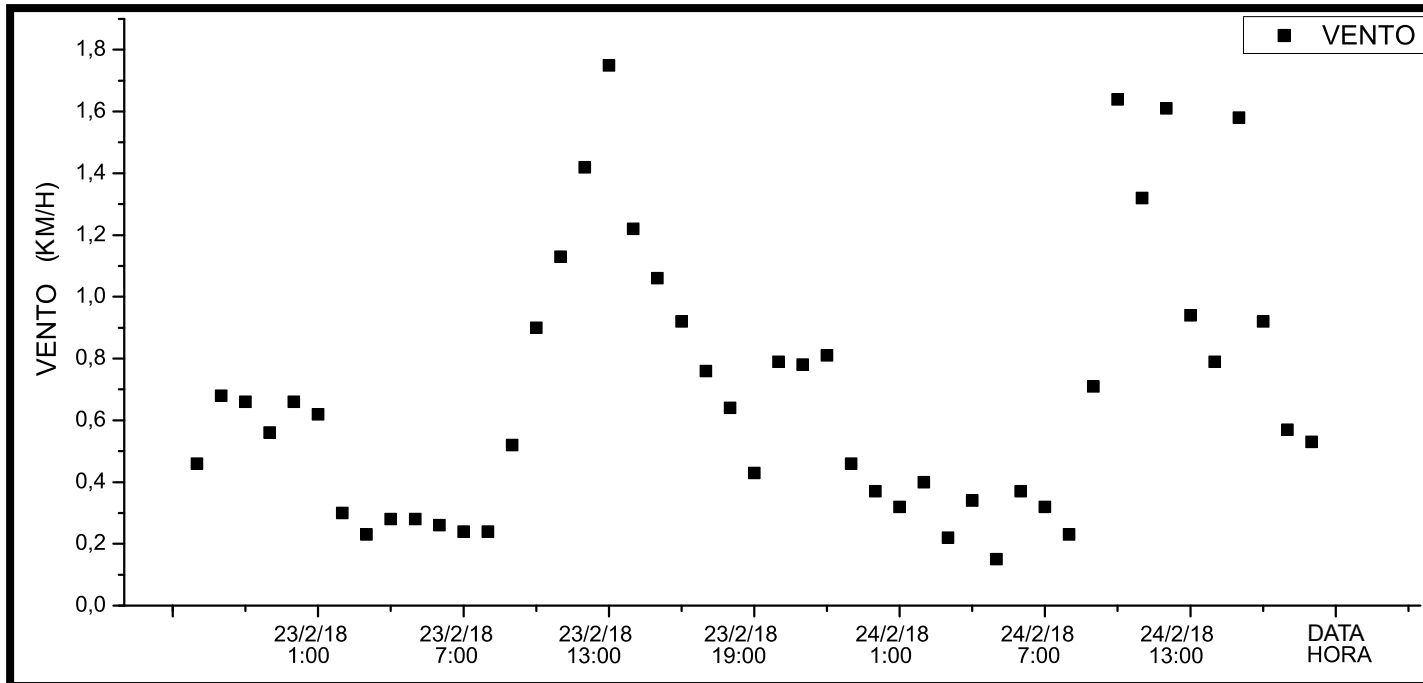
OBS.: Gráficos maiores nos anexos.

Fonte: A autora (2019).

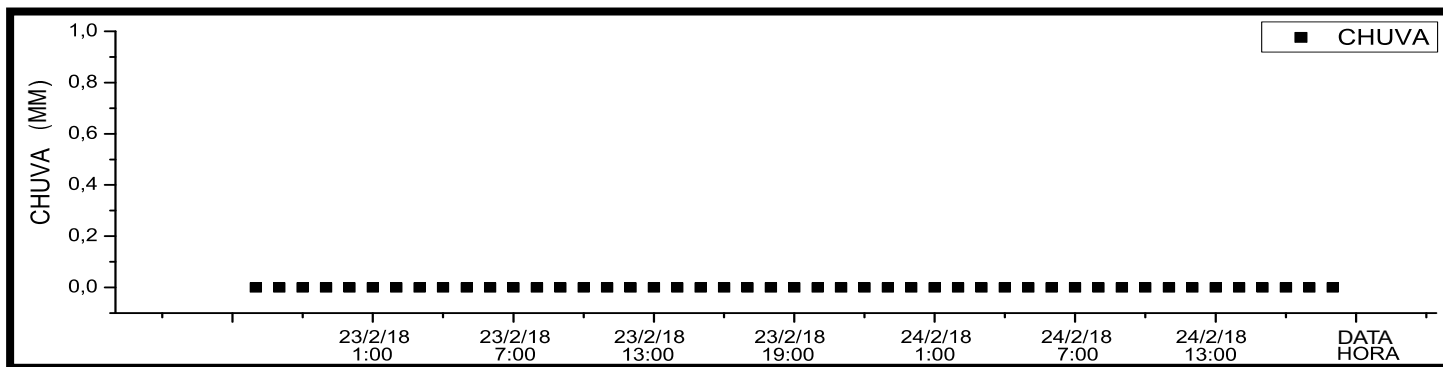
Gráfico 04 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 02: Período de 22/02 a 24/02/2018



a) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente



b) Vento



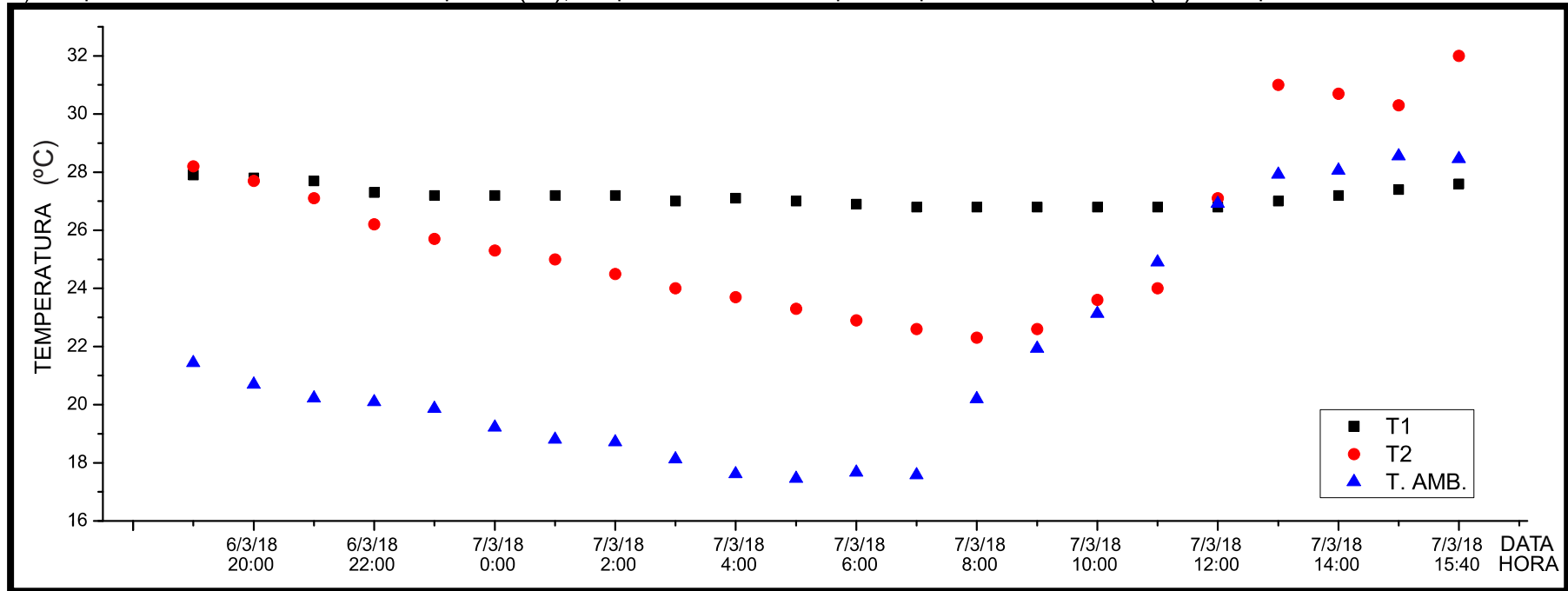
c) Chuva

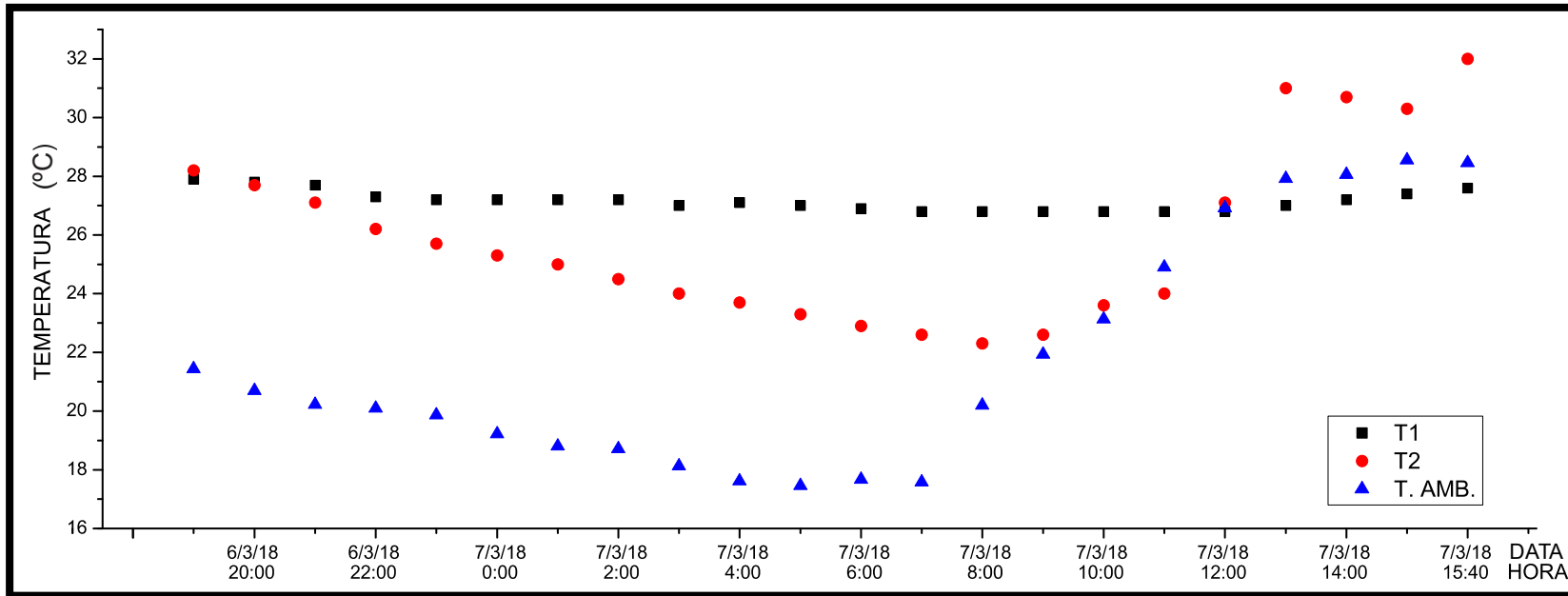
OBS.: Gráficos maiores nos anexos.

Fonte: A autora (2019).

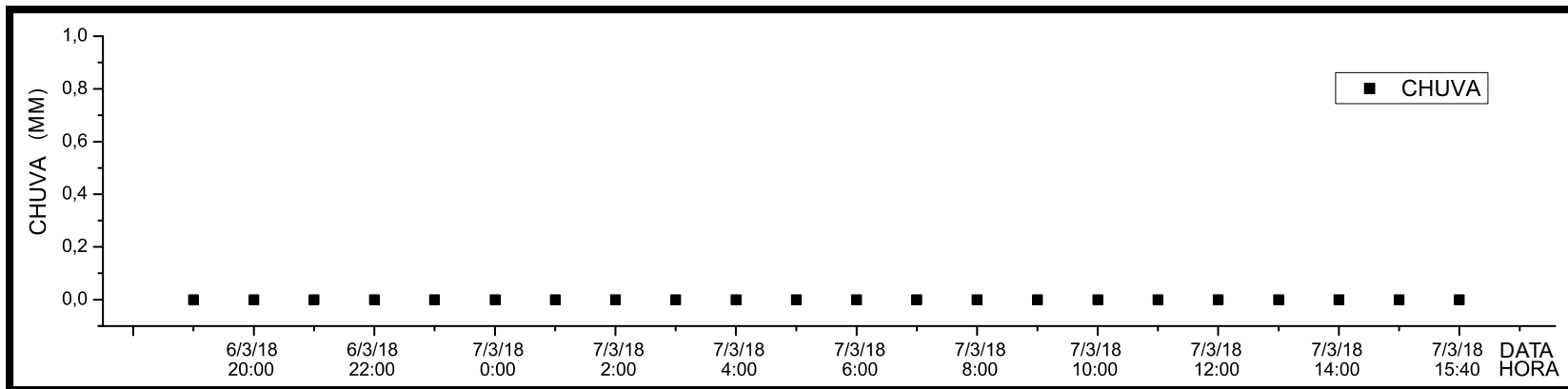
Gráfico 05 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 03: Período de 06/03 a 07/03/2018

a) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente





b) Vento

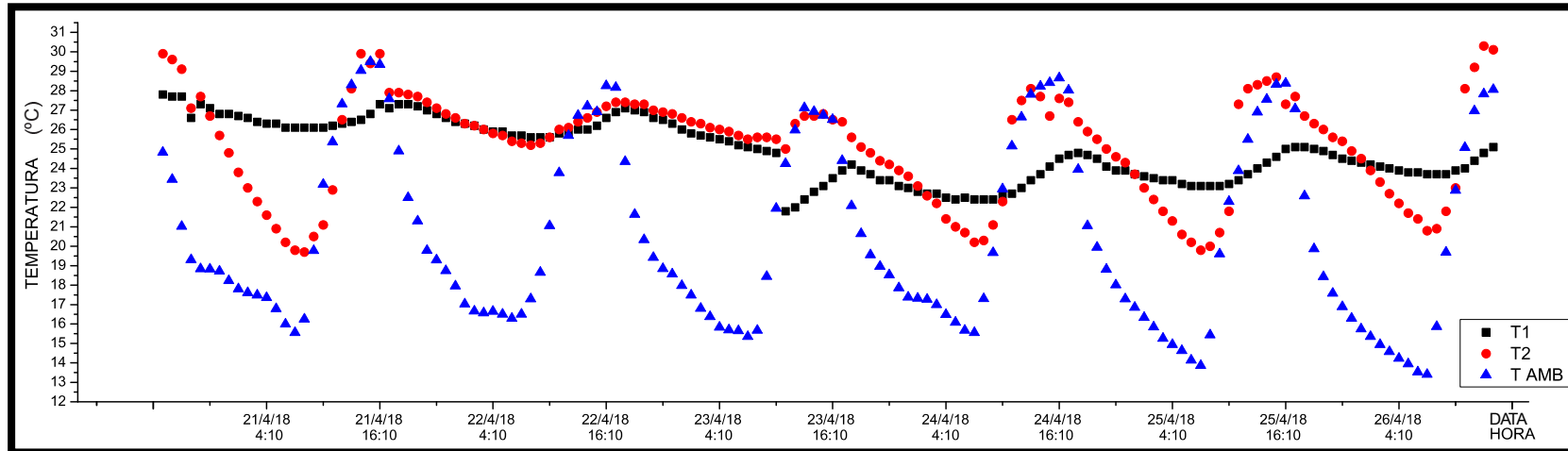


c) Chuva

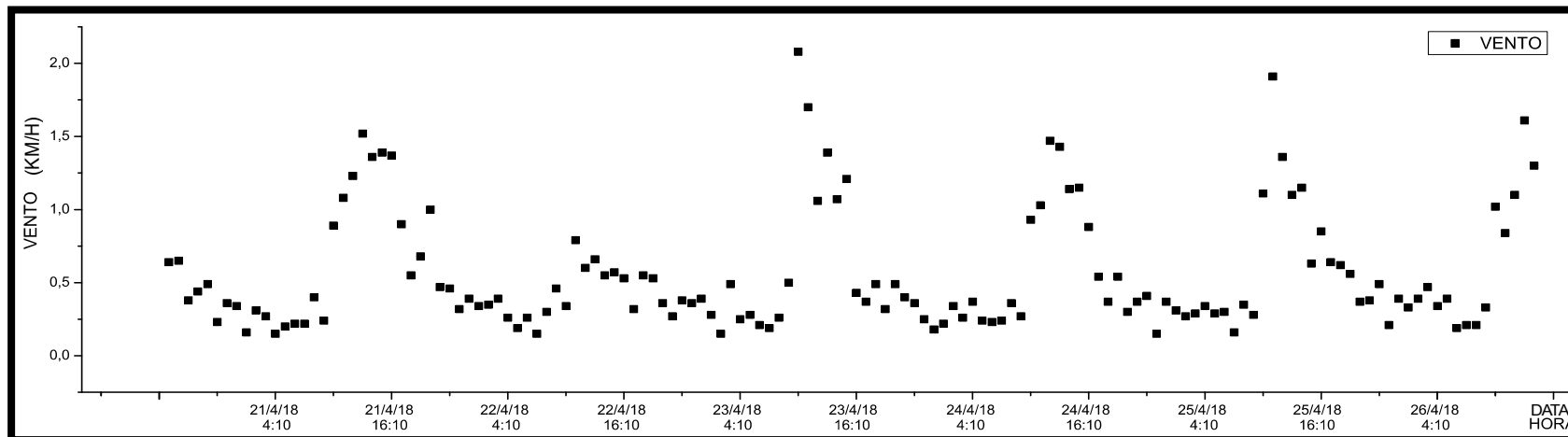
OBS.: Gráficos maiores nos anexos.

Fonte: A autora (2019).

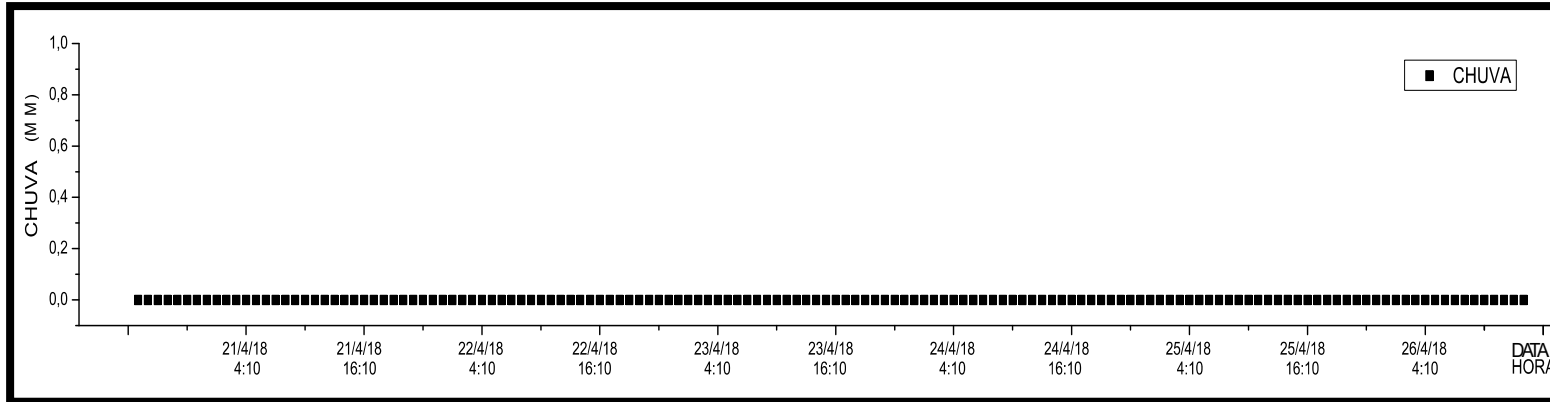
Gráfico 06 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 04: Período de 21/04 a 27/04/2018



a) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente

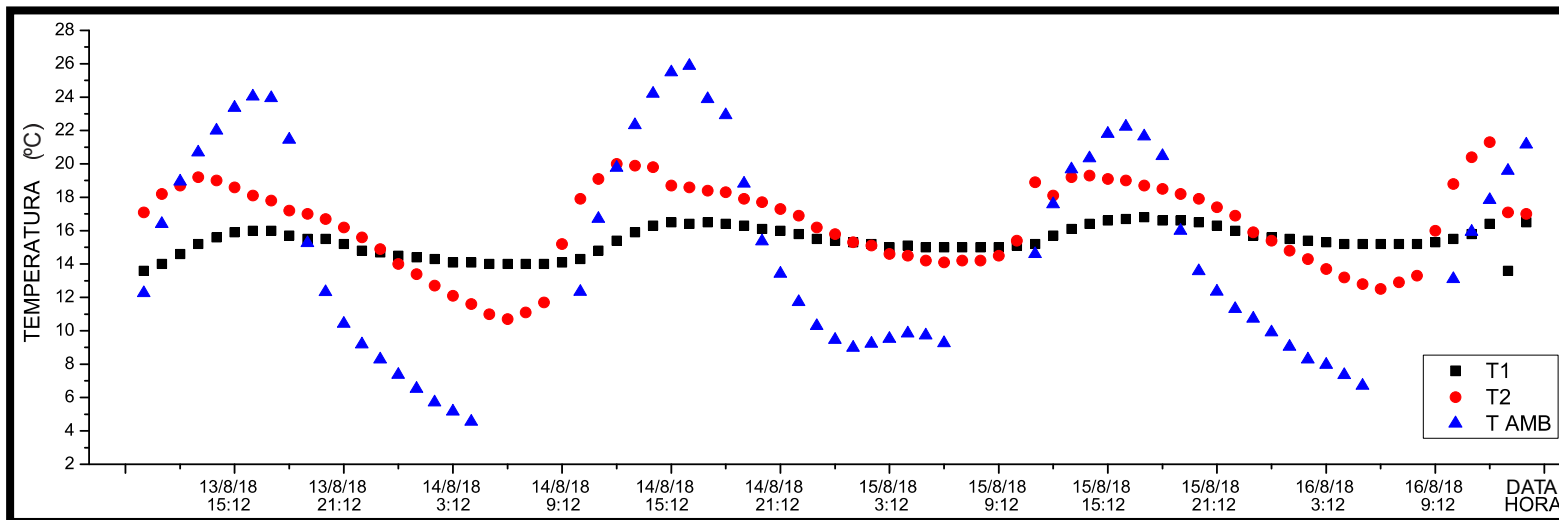


b) Vento

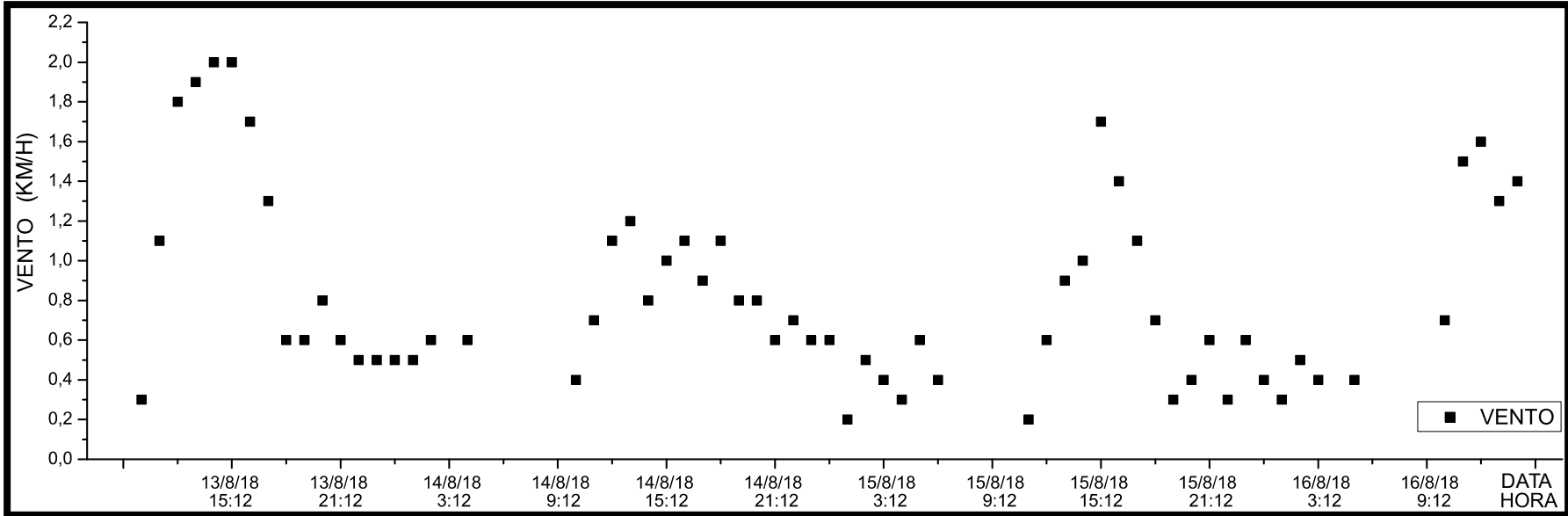


c) Chuva
 OBS.: Gráficos maiores nos anexos.
 Fonte: A autora (2019).

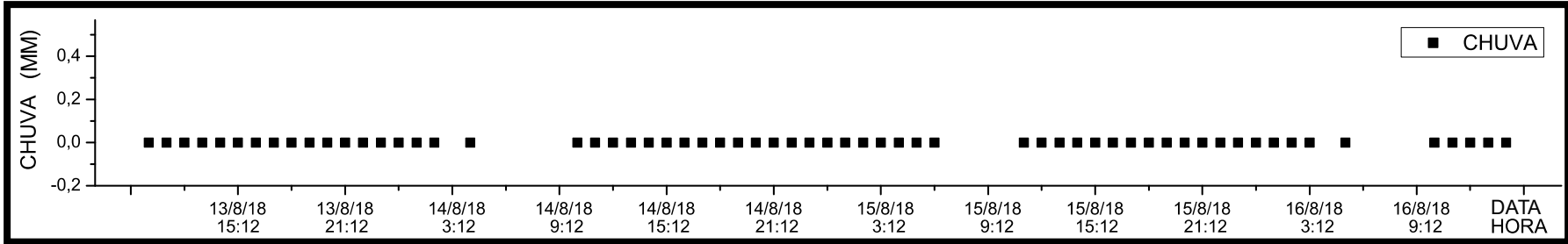
Gráfico 07 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 05: Período de 13/08 a 16/08/2018



a) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente



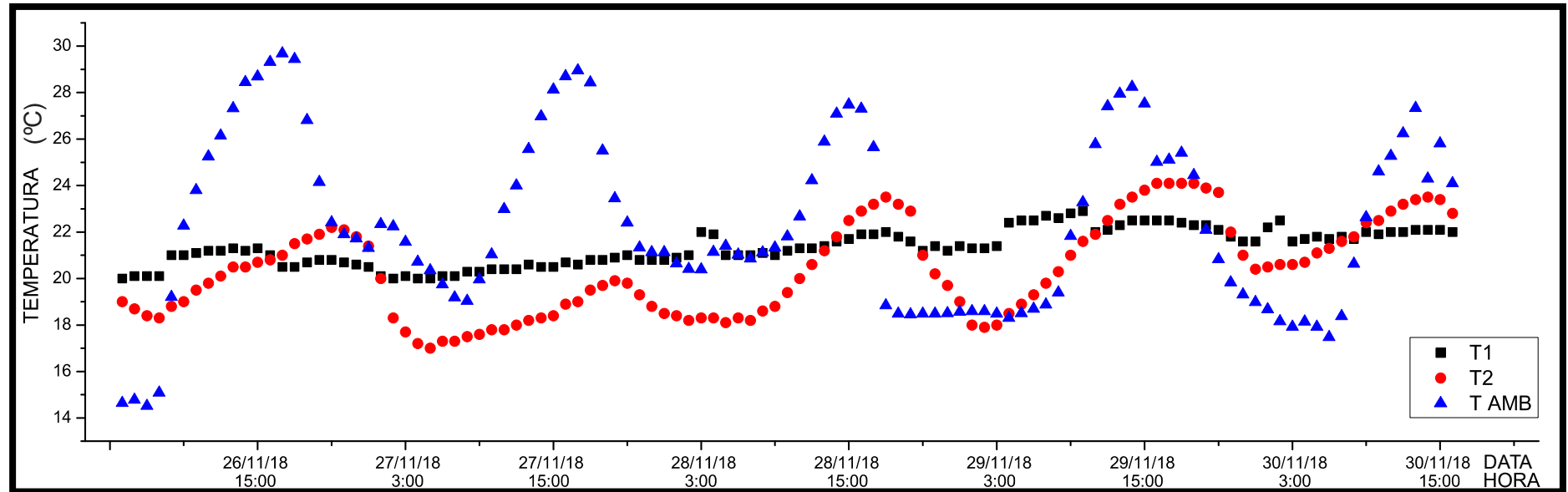
b) Vento



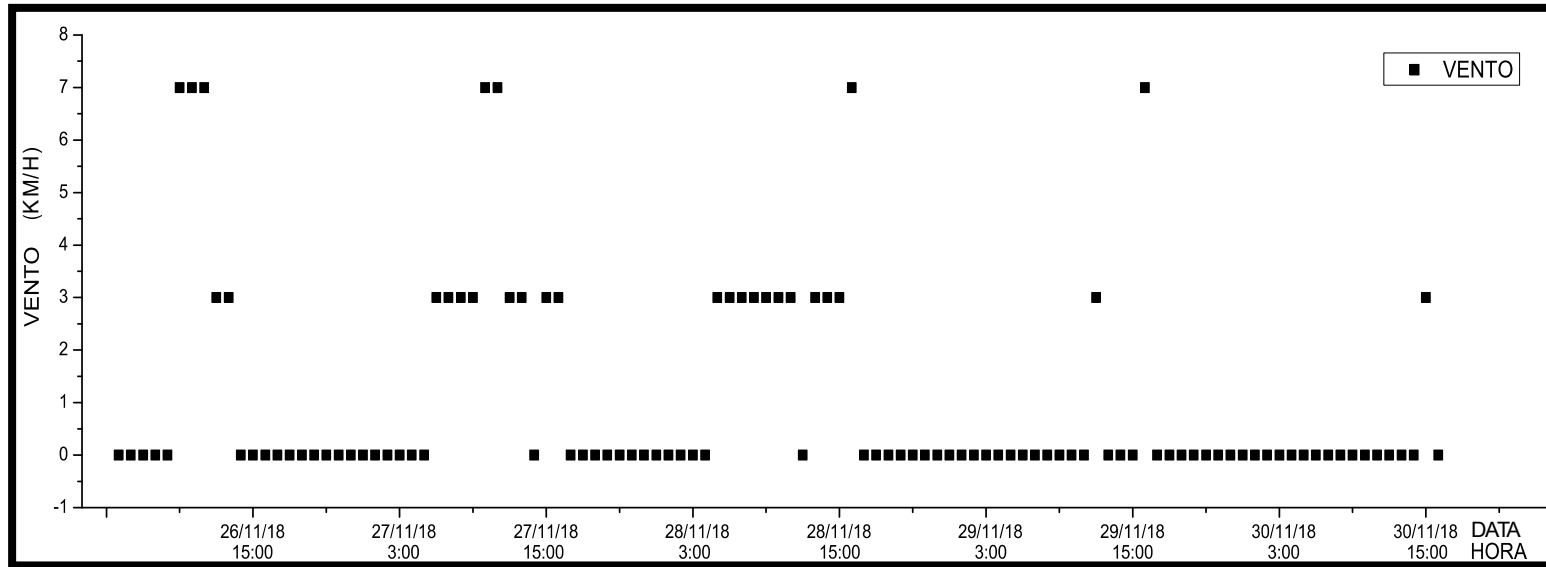
c) Chuva

OBS.: Gráficos maiores nos anexos.
Fonte: A autora (2019).

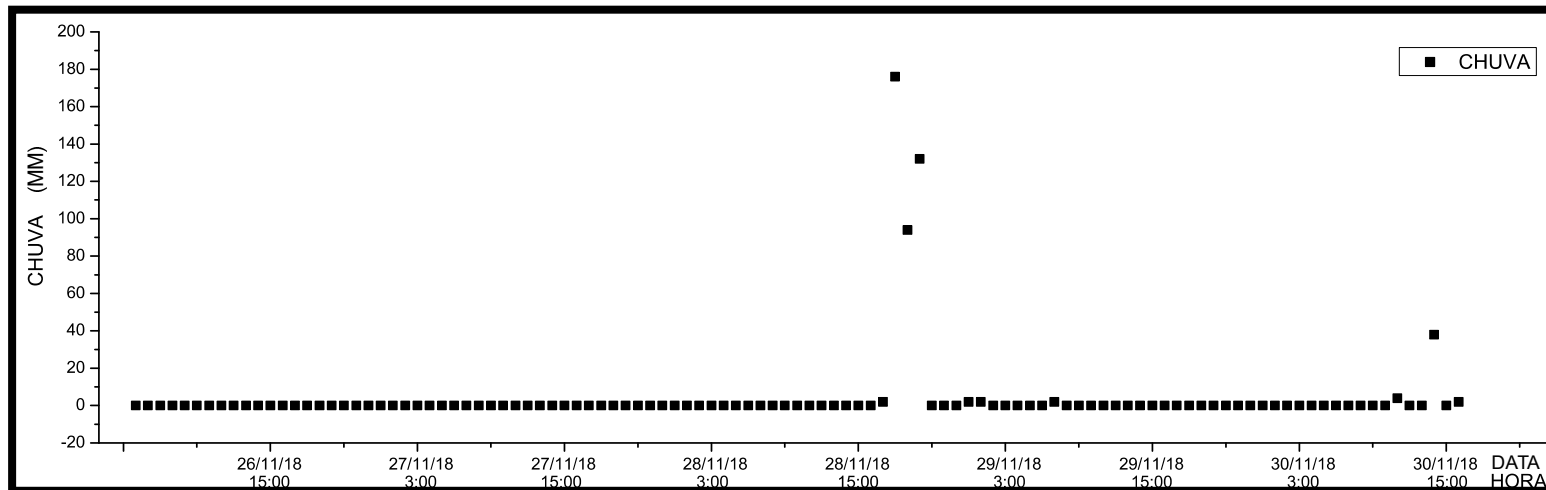
Gráfico 08 – Variação de temperatura no sistema de captação solar conectado ao reservatório boiler - Coleta de dados 06: Período de 26/11 a 30/11/2018



a) Temperatura do fluido na entrada do captador (T_1), temperatura do fluido na parte superior do reservatório (T_2) e temperatura ambiente.



b) Vento



c) Chuva

OBS.: Gráficos maiores nos anexos.

Fonte: A autora (2019).