

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Laura Flores Friedrich

**VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DE SISTEMA SOLAR PASSIVO DE  
AQUECIMENTO DE AR ATRAVÉS DE GANHO ISOLADO DE CALOR  
PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA 2 BRASILEIRA**

Santa Maria, RS, Brasil  
2018

**Laura Flores Friedrich**

**VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DE SISTEMA SOLAR PASSIVO DE  
AQUECIMENTO DE AR ATRAVÉS DE GANHO ISOLADO DE CALOR PARA A  
ZONA BIOCLIMÁTICA 2 BRASILEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos

Santa Maria, RS  
2018

Friedrich, Laura Flores  
VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DE SISTEMA SOLAR PASSIVO DE  
AQUECIMENTO DE AR ATRAVÉS DE GANHO ISOLADO DE CALOR PARA  
A ZONA BIOCLIMÁTICA 2 BRASILEIRA / Laura Flores  
Friedrich.- 2018.  
89 p.; 30 cm

Orientadora: Joaquim Cesar Pizzutti Santos  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil, RS, 2018

1. Arquitetura Bioclimática 2. Sistema Solar 3.  
Aquecimento Passivo 4. Conforto Térmico I. Santos,  
Joaquim Cesar Pizzutti II. Título.

**Laura Flores Friedrich**

**VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DE SISTEMA SOLAR PASSIVO DE  
AQUECIMENTO DE AR ATRAVÉS DE GANHO ISOLADO DE CALOR PARA A  
ZONA BIOCLIMÁTICA 2 BRASILEIRA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

**Aprovada em 29 de agosto de 2018:**

---

**Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Marcos Alberto Oss Vaghetti, Dr. (UFSM)**

---

**Eduardo Grala da Cunha, Dr. (UFPEl)**

Santa Maria, RS  
2018

## DEDICATÓRIA

Dedico esta conquista aos meus pais,  
à minha irmã e aos meus afilhados.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador, prof. Dr. Joaquim Pizzutti, por disponibilizar a mim esta pesquisa, por esclarecer as minhas dúvidas, acreditar em minhas ideias e por me passar tranquilidade e confiança durante os assessoramentos.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Maria pela infraestrutura e à Capes pela bolsa de estudos.

Agradeço à Rosa, secretária da pós-graduação de engenharia civil, por facilitar a mim os caminhos que estavam ao seu alcance e pelo excelente atendimento.

Agradeço ao Adriano, Juliana e toda a equipe MetalBox, fábrica de esquadrias de Cruz Alta, pelo patrocínio da esquadria de alumínio do meu coletor solar e pela parceria de sempre. Agradeço ao Fernando, Angelita e Felipe, da Marmoraria Tolfo de Cruz Alta-RS, por patrocinar os granitos de acabamento para o meu coletor solar e pela disponibilidade de sempre.

Agradeço ao meu pai, Vitor, pelas inúmeras vezes que discutiu ideias comigo e procurou soluções que pudessem me ajudar, além de todos os abraços fortes e cheios de carinho. Agradeço à minha mãe, Lisete, por desde o meu nascimento ter me dado todo o amor, amparo, cuidado e força para que eu seguisse em busca dos meus objetivos e realizasse meus sonhos.

À minha mana, Adriana, que é o meu braço direito, por nunca ter deixado a minha motivação cair, por sempre dizer que eu conseguiria e por estar ao meu lado em todos os momentos da minha vida. Ao Fernando, meu cunhado, por auxiliar em tudo que fosse possível e por estar presente em minha vida desde os meus nove anos. Aos meus afilhados Felipe e a recém-nascida Aurora, por serem a luz da minha vida.

Agradeço à Dona Eroni e ao Seu Ademir Pezerico por todo o carinho e torcida para o sucesso dessa dissertação.

Agradeço a minha grande e querida amiga Denise, que esteve presente em todos os momentos do mestrado, que sempre esteve pronta para me ouvir, para tomar um café e para me ajudar.

Ao meu colega de mestrado Fábio, pela amizade ao longo da pós-graduação.

À Jéssica, amiga querida que conheci em Santa Maria, que acompanhou as euforias, lágrimas, planejamentos e chás desde que iniciei essa trajetória.

À Liliana, colega e amiga querida que guardarei sempre com muito carinho no coração.

À Naiara, minha amiga de fé, minha irmã camarada. Amiga que compartilhou comigo muitas das felicidades e também as angústias de fazer mestrado. Amizade que levarei para sempre comigo.

Agradeço a minha psicóloga, Giana, por sempre me ajudar a refletir, me mostrar outros pontos de vista e me auxiliar em minha evolução pessoal.

Por fim agradeço ao meu amor, Vinícius, por estar presente em cada momento desse mestrado, em cada parte da construção do meu protótipo de sistema solar, em cada dia, desde então, da minha vida. Por todos os inúmeros dias que disponibilizou tempo, paciência e disposição para me ajudar. Por todas as horas que me escutou, por todas as lágrimas que enxugou, por todas as palavras de motivação que me deu. Não há palavras que descrevam tudo o que isso significa.

À todos os a cima citados, minha eterna gratidão!

## EPÍGRAFE

“Quando uma criatura humana desperta para um grande sonho e sobre ele lança toda a força de sua alma, todo universo conspira a seu favor.”  
**(Johann Goethe)**



## RESUMO

### VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DE SISTEMA SOLAR PASSIVO DE AQUECIMENTO DE AR ATRAVÉS DE GANHO ISOLADO DE CALOR PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA 2 BRASILEIRA

AUTORA: Laura Flores Friedrich

ORIENTADOR: Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos

O sistema solar passivo por ganho isolado de calor caracteriza-se por coletar e armazenar a radiação solar em espaços isolados termicamente, os coletores solares. O fluxo de calor acontece por convecção do ar. Este trabalho tem por objetivo principal analisar a viabilidade de aplicação de sistema solar passivo na zona bioclimática 2 brasileira. Sua metodologia foi dividida nas fases de escolha do local, construção do protótipo, instalação de equipamentos, coleta de dados, simulação computacional de carga térmica de calefação, análise de comportamento de temperaturas e rendimento. O protótipo foi construído na Casa Popular Eficiente localizada no Centro de Eventos da UFSM e os testes foram realizados com fechamento superior de vidro simples e vidro duplo. Averiguou-se que o rendimento do sistema solar em função da radiação solar incidente com o fechamento de vidro duplo (50,43%) é superior em 11,38% ao rendimento do sistema com fechamento de vidro simples (39,05%). Isso se dá em virtude da estanqueidade adquirida com os vidros duplos e sua capacidade de reter o calor, reduzindo a troca térmica com o meio externo. Observou-se que a radiação solar recebida é suficiente para o aquecimento e armazenamento de calor no coletor solar, porém a transmissão de calor por convecção natural, também chamada de termossifão, não é o suficiente para transmitir toda a carga térmica necessária e deixar o ambiente na temperatura de conforto para o clima de inverno. Para imprimir maior rendimento ao sistema e incremento nas temperaturas do ambiente, faz-se necessário auxílio mecânico – como por exemplo o uso de um exaustor - a fim de auxiliar na transmissão do ar quente ao ambiente e, assim, alcançar o conforto térmico.

**Palavras-chave:** Arquitetura Bioclimática. Sistema Solar. Aquecimento Passivo. Conforto Térmico.

## ABSTRACT

### FEASIBILITY OF APPLICATION OF A PASSIVE SOLAR SYSTEM FOR AIR HEATING THROUGH HEAT ISOLATED GAIN FOR BIOCLIMATIC ZONE 2 BRAZILIAN

AUTHOR: Laura Flores Friedrich  
ORIENTER: Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos

The passive solar system by isolated heat gain is characterized by collecting and storing solar radiation in thermally isolated spaces, the solar collectors. The heat flow occurs by convection of the air. The main objective of this work is to analyze the feasibility of applying a passive solar system in the Brazilian bioclimatic zone 2. Its methodology was divided in the phases of site selection, prototype construction, equipment installation, data collection, computational simulation of thermal load of heating, analysis of temperature behavior and yield. The prototype was built in the Efficient People's House located at the UFSM Event Center and tests were performed with single glass top and double glass top closures. It was verified that the yield of the solar system as a function of the incident solar radiation with the closing of double glass (50.43%) is higher in 11.38% to the yield of the system with simple glass closure (39.05%). This is due to the tightness acquired with double glazing and its ability to retain heat, reducing thermal exchange with the external environment. It was observed that the solar radiation received is sufficient for the heating and storage of heat in the solar collector, but the transmission of heat by natural convection, also called thermosyphon, is not enough to transmit all the necessary thermal load and leave the environment in the comfort temperature for the winter weather. Finally, in order to print higher system performance and increase ambient temperatures, it is necessary to provide mechanical assistance - such as the use of an exhaust hood - to help the transmission of hot air to the environment and thus achieve thermal comfort .

**Keywords:** Bioclimatic Architecture. Solar System. Heating Passive. Thermal comfort.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Série Histórica do Consumo Total de Energia Elétrica no Brasil e revisão de demanda do período de 2020-2050 .....	17
Figura 2.1 - Diferentes faixas do espectro de radiação de acordo com o comprimento de onda.....	19
Figura 2.2 - Formas de Radiação solar na superfície Terrestre .....	20
Figura 2.3 – Potencial Energético Solar em Escala Mundial.....	21
Figura 2.4 - Carta Solar da cidade de Santa Maria – RS .....	23
Figura 2.5 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro .....	24
Figura 2.6 - Território correspondente a zona bioclimática 2 no Brasil.....	24
Figura 2.7 - Temperaturas médias mensais e zona de conforto para Santa Maria- RS .....	27
Figura 2.8- Carta Bioclimática com TRY para a cidade de Santa Maria .....	28
Figura 2.9- Aquecimento solar passivo de ganho direto .....	30
Figura 2.10 - Aquecimento solar passivo de ganho indireto .....	30
Figura 2.11 - Corte de sistema solar passivo por ganho isolado de Calor .....	32
Figura 2.12 – Processos de Ganho de Calor por superfície Transparente.....	34
Figura 2.13 – Fórmula de Coeficiente de Performance de condicionador de ar.....	35
Figura 3.1 - Fluxograma de Metodologia .....	39
Figura 3.2 - Casa Eficiente .....	40
Figura 3.3 - Casa Eficiente .....	41
Figura 3.4 - Materiais construtivos usados na CPE .....	42
Figura 3.5 - Fachada CPE .....	43
Figura 3.6 - Planta Baixa Técnica CPE .....	44
Figura 3.7 - Corte A-A' CPE .....	44
figura 3.8 - Corte B-B' CPE .....	45
Figura 3.9 - Corte Esquemático do dormitório em estudo e SSPAA .....	46
Figura 3.10 - Movimento do Ar no SSPAA. ....	47
Figura 3.11 - Local onde foi construído o SSPAA, antes das intervenções .....	48
Figura 3.12 - Local onde foi construído o SSPAA, depois de limpeza feita pela SulClean .....	48

Figura 3.13 - Coletor solar após a retirada da carga de terra .....	49
Figura 3.14 - Colocação de lona duplicada no fundo do coletor solar .....	49
Figura 3.15 - Coletor solar com lona e contra-piso feitos .....	50
Figura 3.16 - Coletor Solar acrescentadas duas fiadas de tijolos .....	50
Figura 3.17 - Detalhe das camadas de isopor e papelão.....	51
Figura 3.18 - Execução de abertura dos buracos para entrada de ar quente no dormitório .....	51
Figura 3.19 - Coletor solar após a instalação de esquadria de alumínio e vidro simples 4mm .....	52
Figura 3.20 - Coletor Solar com execução concluída .....	52
Figura 3.21 - Sensores de Temperatura da Empresa FOX Internet of things .....	53
Figura 3.22 - Planilhas de monitoramento sistema FOX iot .....	54
Figura 3.23 - Equipamento <i>Indoor Climate Analyser</i> . .....	54
Figura 3.24 - Dados climáticos obtidos através do BDMEP .....	55
Figura 3.25 - Posicionamento dos sensores de temperatura e velocidade do vento, em planta .....	58
Figura 3.26 - Posicionamento dos sensores de temperatura e velocidade do vento, em corte .....	59
Figura 3.27 - Balanço Térmico de ambiente .....	60
Figura 3.28 - Análise das flutuações da temperatura operativa para o período de 24 horas .....	62
Figura 4.1 - Análise de temperaturas internas e externas com fechamento de vidro simples .....	70
Figura 4.2 - Posicionamento dos sensores para análise de temperaturas do coletor solar .....	71
Figura 4.3 - Temperaturas do coletor solar em 25 de maio de 2018 .....	72
Figura 4.4 - Correlação entre as radiações solares recebidas e transmitidas – Fechamento de Vidro Simples .....	74
Figura 4.5 - Análise de temperaturas internas e externas com fechamento de vidro duplo .....	79
Figura 4.6 - Temperaturas do coletor solar em 17 de junho de 2018 .....	80
Figura 4.7 - Correlação entre as radiações solares recebidas e transmitidas – Vidro Duplo .....	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 2.....	27
Tabela 2.2: Tipos de Vedações externas para a zona bioclimática 2.....	27
Tabela 2.3: Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 2.....	27
Tabela 2.4: Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico.....	27
Tabela 2.5: Relatório geral das estratégias bioclimáticas para Santa Maria.....	30
Figura 3.1: Tabela de correlação entre a radiação global horizontal e a radiação inclinada.....	56
Tabela 3.2: Fator Solar normal (FSnormal) para vidros comuns, policarbonatos e acrílico.....	65
Tabela 3.3: Valores de FSreal e FSrel médio para os materiais do grupo 1.....	66
Tabela 3.4: Características Óticas para ângulos de incidência Variados: vidros comuns.....	66
Tabela 4.1: Diferença de temperaturas interna e externa 25 de maio de 2018.....	69
Tabela 4.2: Diferenças de temperatura do coletor solar em 25 de maio de 2018..	71
Tabela 4.3: Dados de Radiação Solar Recebida e Transmitida para o fechamento de vidros simples.....	74
Tabela 4.4: Dados de Velocidade do Vento, Volume de Ar, Energia Calorífica Insuflada no dormitório e dados de renovação do ar.....	75
Tabela 4.5: Rendimento do SSPAA em relação a radiação Recebida.....	77
Tabela 4.6: Diferença de temperaturas interna e externa 17 de junho de 2018.....	79
Tabela 4.7: Diferenças de temperatura no interior do coletor solar em 17 de junho de 2018.....	82
Tabela 4.8: Radiação Solar Recebida e Transmitida – Vidro Duplo.....	83
Tabela 4.9: Dados de Velocidade do Vento, Volume de Ar e Energia Calorífica Insuflada – Vidro Duplo.....	84
Tabela 4.10: Comparativo entre resultados de vidros duplos.....	86
Tabela 4.11: Análise comparativa entre tipologia 01 e tipologia 02.....	87

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1. OBJETIVOS.....	17
<b>1.1.1. Objetivo Geral.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1.2. Objetivos Específicos.....</b>	<b>18</b>
1.2. JUSTIFICATIVA.....	18
1.3. ESTRUTURA DO CAPÍTULO.....	20
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
2.1. RADIAÇÃO SOLAR.....	21
2.2. INCIDÊNCIA SOLAR NO BRASIL E SEU POTENCIAL TÉRMICO.....	22
2.3. ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA E O CONFORTO TÉRMICO.....	23
<b>2.3.1. Zonas Bioclimáticas.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.2. Zona Bioclimática 2 Brasileira e suas Estratégias de Projeto.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.3. Clima de Santa Maria – RS.....</b>	<b>28</b>
2.3.3.1. <i>Carta Bioclimática de Santa Maria –RS.....</i>	30
2.4. AQUECIMENTO SOLAR PASSIVO.....	31
2.5. SISTEMA SOLAR PASSIVO POR GANHO ISOLADO DE CALOR.....	33
<b>2.5.1 Transmissão de Calor .....</b>	<b>34</b>
2.5.1.1 <i>Condução.....</i>	34
2.5.1.2 <i>Convecção .....</i>	35
2.5.1.3 <i>Radiação.....</i>	35
<b>2.5.2 Inércia Térmica.....</b>	<b>36</b>
<b>2.5.3 Transferência de Calor em Superfícies Transparentes.....</b>	<b>36</b>
<b>2.5.4 Rendimento.....</b>	<b>37</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>38</b>
3.1. LOCAL – CASA POPULAR EFICIENTE .....	40
3.2. CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO DE AQUECIMENTO SOLAR PASSIVO..	45
3.3. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS E COLETA DE DADOS.....	53
<b>3.3.1 Equipamentos de Temperatura.....</b>	<b>53</b>
<b>3.3.2 Equipamento de Velocidade do Vento.....</b>	<b>54</b>
<b>3.3.3 Dados de Radiação Solar.....</b>	<b>55</b>
3.4. MEDIÇÃO <i>IN LOCO</i> .....	57

3.5	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE CARGA TÉRMICA.....	60
3.6	TIPOLOGIAS TESTADAS.....	61
3.7	INDICADORES DE GRAUS-HORA.....	62
3.8	RENDIMENTO DO SISTEMA SOLAR PASSIVO DE AQUECIMENTO DE AR.....	63
<b>3.8.1</b>	<b>Radiação Solar recebida pelo Coletor Solar.....</b>	<b>63</b>
<b>3.8.2</b>	<b>Energia Calorífica transmitida do Coletor solar ao dormitório.....</b>	<b>64</b>
<b>3.8.3</b>	<b>Rendimento em Relação a Radiação Solar recebida pelo Coletor Solar.....</b>	<b>64</b>
<b>3.8.4</b>	<b>Rendimento em relação a Radiação Solar transmitida pelo fechamento De Vidro.....</b>	<b>65</b>
3.8.4.1	<i>Fechamento de Vidro Simples.....</i>	65
3.8.4.2	<i>Fechamento de Vidro Duplo.....</i>	66
<b>3.8.5</b>	<b>Rendimento em relação a Carga Térmica do Quarto.....</b>	<b>67</b>
<b>3.8.6</b>	<b>Análise comparativa entre resultados.....</b>	<b>67</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DE RESULTADOS.....</b>	<b>68</b>
4.1	SISTEMA SOLAR PASSIVO COM FECHAMENTO DE VIDRO SIMPLES....	68
4.1.1	Análises de Temperatura.....	68
4.1.2	Análise de Indicadores de Graus Hora.....	70
4.1.3	Análise de Diferenças de Temperatura do Coletor Solar.....	70
4.1.4	Relação de Radiação Solar e Radiação Solar Transmitida.....	73
4.1.5	Análise de Energia Calorífica Insuflada no Dormitório.....	75
4.1.6	Análise de Rendimento do SSPAA – Fechamento de Vidro Simples.....	76
4.2	SISTEMA SOLAR PASSIVO COM FECHAMENTO DE VIDRO DUPLO.....	78
4.2.1	Análises de Temperatura.....	78
4.2.2	Análise de Indicadores de Graus Hora.....	80
4.2.3	Análise de Diferenças de Temperatura do Coletor Solar.....	80
4.2.4	Radiação Solar Recebida e Radiação Solar Transmitida.....	82
4.2.5	Análise de Energia Calorífica Insuflada no Dormitório.....	84
4.2.6	Análise de Rendimento do SSPAA.....	85
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>88</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>90</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos mais importantes segmentos para o desenvolvimento econômico e social, assim como a arquitetura tem um papel fundamental na disseminação de ideais e conceitos, os quais garantem a aplicabilidade de novos métodos tecnológicos e nova percepção das pessoas quanto ao conceito de abrigo.

Desde o início das civilizações, quando o período arquitetônico era o Vernacular, o homem construía sua morada com técnicas e conceitos locais, guiadas pelo clima e características regionais, conforme afirma Lamberts (2014), tendendo a ser confortáveis termicamente. Porém, segundo Wassouf (2014), este cuidado foi se esvaindo ao longo do século XX a partir da arquitetura de estilo internacional pós-guerra, onde foi se perdendo a preocupação projetual com o conforto térmico e energético e projetando as edificações com base em parâmetros estéticos, funcionais e econômicos.

A internacionalização da maneira de construir e o uso de técnicas que não se adaptavam a todos os climas resultaram em edificações desconfortáveis termicamente, onde o uso de soluções artificiais se fazia obrigatório. Segundo WASSOUF (2014, p. 15):

(...) o Estilo internacional desvincula dos condicionantes locais para aplicar-se internacionalmente. Assim, o projeto e a execução das edificações contemporâneas se desenvolveram através de parâmetros estéticos, funcionais e econômicos, limites que cercearam a liberdade arquitetônica aceita pela sociedade.

Somente na década de 1970, com a crise do petróleo e o uso desenfreado da energia elétrica que surgiu a necessidade de redirecionar o olhar arquitetônico para técnicas que garantam o conforto sem utilizar de maneira exacerbada a energia elétrica, Mascaró (1992). Não se pode deixar de notar o absurdo da arquitetura moderna, fruto de uma era de exploração imobiliária e de desperdício, de acordo com Costa (2011).

Inicia-se, então, uma fase onde se faz necessário retroceder aos métodos arquitetônicos que tomam partido o clima e materiais regionais e também acrescentar novas técnicas que englobem eficiência energética e sustentabilidade.



Tomou-se consciência de que a energia é finita e que a construção de novas fontes energéticas causa grandes impactos ambientais. Deve-se, então, pensar nas fontes renováveis e de que modo se quer deixar o planeta para as gerações futuras. Segundo Allen (2011) a sustentabilidade pode ser definida como a satisfação das necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazer as suas necessidades.

Para reduzir o consumo de energia de uma edificação, deve-se projetar tendo como princípios os métodos passivos de conforto. De acordo com Wassouf (2014), a importância da arquitetura passiva na construção e reciclagem das edificações deve ser reafirmada devido ao seu grande potencial em economia energética.

Para que se consiga obter conforto nas edificações e eficiência energética, faz-se uso da arquitetura bioclimática (OLGYAY, 1963) onde as fontes naturais são elementos chaves para a construção. É a forma de construir onde são aproveitados os recursos oferecidos pela natureza, sem alterar o seu equilíbrio ecológico.

O sol é imprescindível para a existência da vida humana e é evidente o papel que a energia solar pode desempenhar na expansão da matriz energética brasileira, aumentando sua resiliência com a diversificação das fontes e exploração de possíveis complementaridades, conforme relata o Atlas brasileiro de Energia solar (2017).

É pela consciência de que se deve aproveitar os recursos naturais disponíveis e abundantes, como a energia solar, assim como exercer a profissão de arquitetos e engenheiros de modo a proporcionar tecnologia e conforto aos usuários, que este projeto visa analisar a viabilidade de aplicação de um sistema solar passivo de aquecimento de ar por ganho isolado de calor na zona bioclimática 2 brasileira.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

Este projeto de pesquisa tem por objetivo principal analisar a viabilidade de aplicação de um sistema solar passivo de aquecimento de ar através de ganho isolado de calor para a zona bioclimática 2 brasileira.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Analisar a viabilidade de construção de coletor solar, bem como a composição estética em relação à edificação;
- Averiguar a condições de funcionamento do sistema solar passivo de aquecimento de ar por ganho isolado de calor;
- Avaliar o rendimento do coletor solar;
- Definir qual a tipologia mais vantajosa térmica e economicamente para aplicação na zona bioclimática 2 brasileira.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

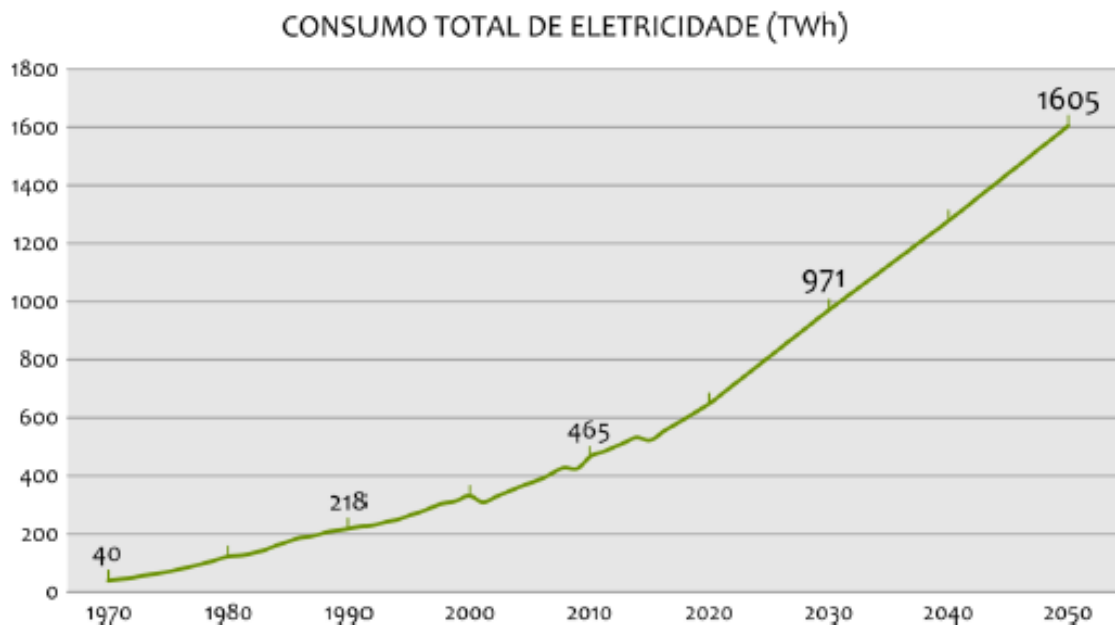
O conceito de desenvolvimento sustentável, para o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017) é proveniente de um processo de avaliação e reavaliação das relações entre a sociedade e o meio ambiente e, por se tratar de um processo contínuo, várias abordagens que foram elaboradas sofreram alterações gradativas ao longo do tempo, buscando um equilíbrio entre as dimensões social, econômica e ambiental.

Conforto ambiental, para Lamberts (2014) pode ser entendido como um conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem-estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo.

O desafio da arquitetura é utilizar através de meios passivos e naturais para atingir a zona de conforto e bem-estar do usuário. Para Costa (2012) pode-se afirmar que, na maior parte do Brasil, o condicionamento térmico das edificações por meios puramente naturais é perfeitamente possível.

O consumo de energia elétrica vem crescendo consideravelmente e a previsão para as próximas décadas é ainda mais elevada (Figura 1.1). Torna-se evidente, portanto, o importante papel que a energia solar pode desempenhar na economia de energia elétrica para sistemas complementares de conforto ambiental, tanto de resfriamento, quanto para aquecimento.

Figura 1.1: Série Histórica do Consumo Total de Energia Elétrica no Brasil e previsão de demanda do período de 2020-2050.



Fonte: (Pereira et. Al., 2017, p. 14)

O aproveitamento do abundante recurso energético solar disponível em território brasileiro consiste na conversão da radiação solar em energia térmica, potencializando esta capacidade através de sistemas solares dos mais variados tipos. A NBR 15220-3 divide o território brasileiro em oito zonas bioclimáticas e para cada uma são propostas estratégias de projeto para atingir o conforto térmico. Para o caso da cidade de Santa Maria, situada na Zona Bioclimática 2 brasileira, propõe como principal solução para o caso de inverno, o uso de aquecimento solar passivo da edificação e o aproveitamento da inércia térmica dos materiais construtivos.

Por ter-se consciência do problemático cenário da energia elétrica no país, das necessidades de atitudes e novas tecnologias sustentáveis, pela pouca existência de pesquisas referentes a este tipo de sistema solar passivo em âmbito nacional, pela abundante fonte de energia térmica disponível e pelo conforto ser direito de toda e qualquer pessoa, que se justifica esta pesquisa que idealiza, constrói e analisa um sistema solar passivo para aquecimento de ar através de ganho isolado de calor, com as premissas de ser politicamente correto, economicamente viável e socialmente justo.

### 1.3 ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS

A dissertação está organizada em seis capítulos. O primeiro capítulo introduz a temática do trabalho, explica os objetivos geral e específicos e a justificativa da pesquisa. O segundo capítulo abrange fundamentação teórica referente a temas que auxiliem na compreensão do projeto proposto. O capítulo três descreve minuciosamente os materiais e métodos usados desde a concepção do protótipo proposto até suas análises finais. No capítulo quatro estão todos os resultados e as suas respectivas análises. No capítulo cinco estão as conclusões e o capítulo seis apresenta as referências bibliográficas que foram utilizadas ao longo de toda a pesquisa.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

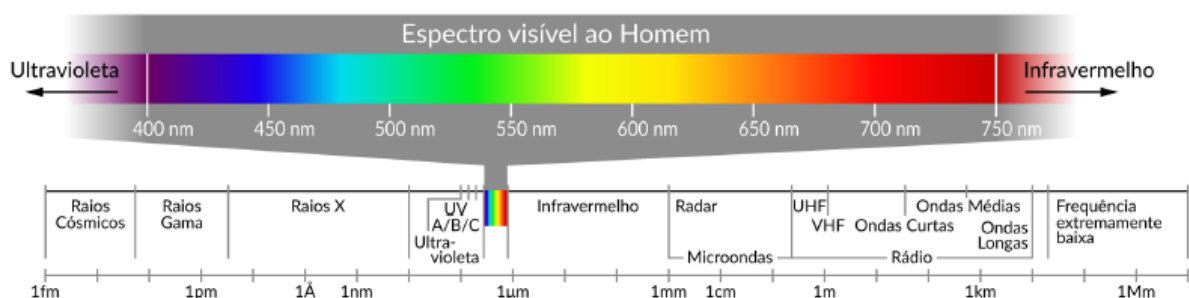
Este Capítulo será dividido em três subseções e delineará a fundamentação teórica da pesquisa, abordando primeiramente a arquitetura bioclimática, seus zoneamentos e estratégias; assuntos referentes à energia solar, incidência solar no Brasil, os métodos passivos que contribuem com a eficiência energética dos ambientes; e para finalizar haverá um apanhado das principais informações referentes ao sistema solar passivo por ganho isolado de calor, seu funcionamento, formas de transmissão de calor, rendimento do sistema e trabalhos relacionados.

### 2.1 RADIAÇÃO SOLAR

O Sol é uma estrela de extrema importância para a vida no planeta e a radiação solar é uma das principais variáveis para caracterizar o aspecto climático de uma cidade. Segundo Ayoade (1996), a quantidade de radiação solar recebida sobre o topo da atmosfera terrestre depende de três fatores: da época do ano, do período do dia e da latitude.

A energia irradiada pelo sol tem uma característica espectral, ou seja, chega com diferentes intensidades de acordo com o comprimento de onda da radiação emitida. Para Pereira et. Al (2010), a maior parte da energia irradiada pelo sol encontra-se na faixa do espectro que vai de  $0,3\mu\text{m}$ , que efetivamente será transformada em calor pelos coletores solares (figura 2.1).

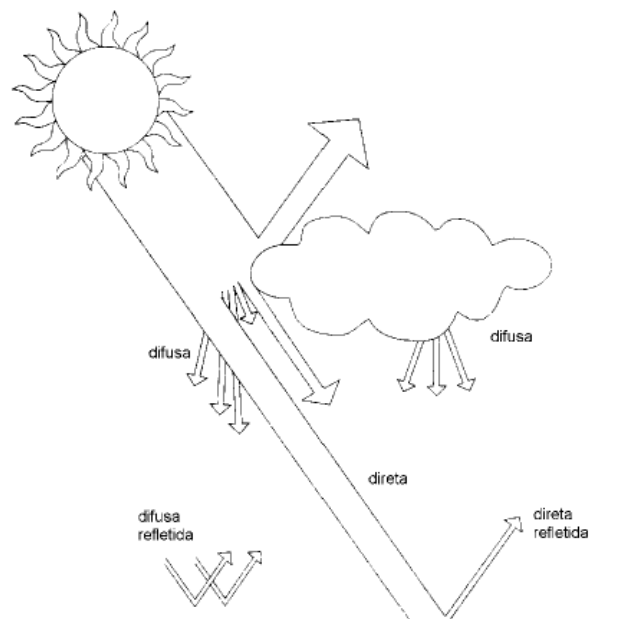
Figura 2.1: Diferentes faixas do espectro de radiação de acordo com o comprimento de onda.



Fonte: (Atlas Brasileiro, 2017, p.15).

A radiação solar global é a somatória da porcentagem direta e difusa da irradiância solar. Na figura 2.2, de Yannas (sd.) ilustra resumidamente as formas como a irradiância solar se apresenta na superfície terrestre, onde a parcela direta atinge diretamente a Terra e é atenuada pela transmitância da atmosfera. Já a parcela difusa sofre um espalhamento pelas nuvens e pelas partículas da atmosfera.

Figura 2.2 – Formas de Radiação Solar na superfície Terrestre.



Fonte: Yannas (sd).

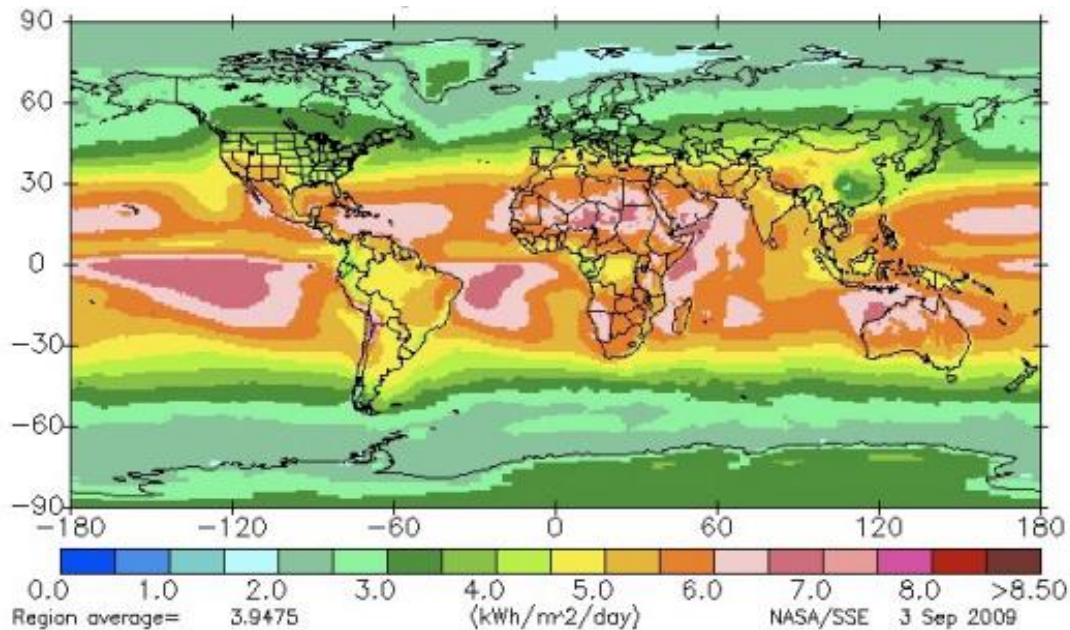
Segundo a NBR 15220-1, irradiância é a taxa de radiação solar incidente sobre um corpo, por unidade de área da superfície (ABNT, 2003). Nos sistemas de aquecimento solar, é imprescindível saber o quanto de energia solar o sistema está recebendo.

## 2.2 INCIDÊNCIA SOLAR NO BRASIL E SEU POTENCIAL TÉRMICO

O Brasil é um país com grande potencial energético solar, conforme pode ser verificado na figura 2.3, entretanto, essa riqueza nacional ainda é pouco explorada, conforme Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017). Observando a figura verifica-se

que a Energia Solar Potencial do Brasil é de 1600 KW/m<sup>2</sup>/ano, o que possibilita sua utilização em todo o território nacional.

Figura 2.3 – Média Energética Anual entre junho de 1983 até junho de 2005.



Fonte: (Dienstmann, 2009, p. 60)

### 2.3 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA E O CONFORTO TÉRMICO

A palavra bioclimatologia é derivada de bioclima e se refere ao clima específico em determinadas áreas, o qual garante o desenvolvimento de seres vivos. A arquitetura bioclimática, por sua vez, tem como premissas básicas alinhar os aspectos naturais de onde a edificação será inserida com as necessidades de projeto. Isto significa tirar partido dos fatores climáticos e do que a natureza pode oferecer, de acordo com sua localização geográfica.

A expressão “projeto bioclimático” foi originada na década de sessenta pelos irmãos Olgay. A arquitetura bioclimática busca através de seus próprios elementos climáticos e naturais criar situações que atinjam o conforto térmico. Olgay (1973) desenvolveu um diagrama bioclimático no qual relaciona a arquitetura e o clima com estratégias bioclimáticas.

Análises e técnicas sobre o clima e suas características, entretanto, já eram utilizadas desde o século XIX, na forma de projetar e construir. Era o período da arquitetura Vernacular, caracterizada por ser genuína, correta, pura e isenta de estrangeirismos.

A arquitetura bioclimática é a ferramenta que possibilita ao usuário desfrutar do conforto em seus diversos âmbitos. Quanto melhores forem as condições do ambiente a que se está submetido, menos esforço o organismo fará para manter-se em equilíbrio, e maior será o seu rendimento de atividade. Segundo Papst (1999), a arquitetura bioclimática baseia-se na correta aplicação de elementos arquitetônicos e tecnologias construtivas para consumir-se menos energia.

A constante preocupação com o clima e as variações que ele apresenta torna o projeto satisfatório do ponto de vista do usuário. Segundo Frota (2001, p.53):

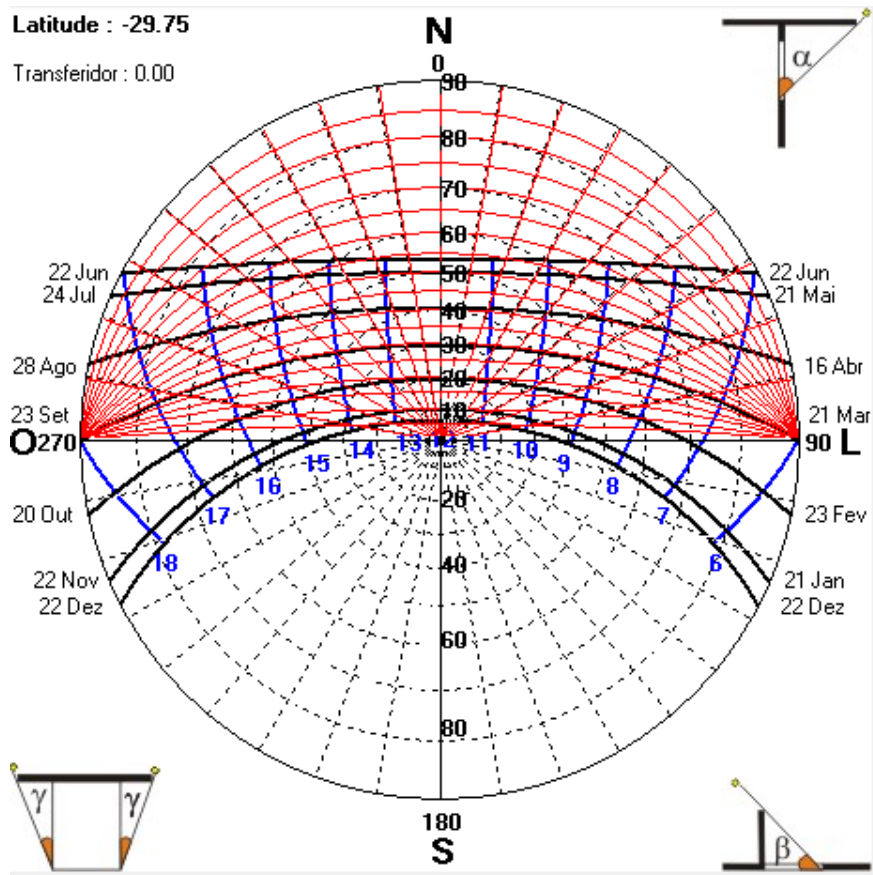
Dentre as variáveis climáticas que caracterizam uma região, podem-se distinguir as que mais interferem no desempenho térmico dos espaços construídos: a oscilação diária e anual da temperatura e umidade relativa, a quantidade de radiação solar incidente, o grau de nebulosidade do céu, a predominância de época e o sentido dos ventos e índices pluviométricos.

O objetivo principal da arquitetura bioclimática é harmonizar as construções com a natureza, a fim de diminuir o impacto ambiental e elevar o índice de conforto térmico por meios passivos. Para a concepção deste tipo de projeto é necessária à análise de diversas variáveis ambientais, como temperatura e umidade relativa do ar, insolação, incidência e velocidade dos ventos predominantes.

Como ferramenta de auxílio na elaboração do projeto, usam-se cartas solares, as quais são feitas especificamente para cada cidade de acordo com a sua latitude. Através delas é possível analisar em que horários a incidência solar atinge as aberturas de uma edificação. Podem ser obtidas através do software SOL-AR, como ilustra na figura 2.4. Os dados climáticos também podem ser analisados através de cartas bioclimáticas (GIVONI, 1992), construída sobre um diagrama psicrométrico, com dados de temperaturas de bulbo seco e úmido, umidade absoluta e umidade relativa.



Figura 2.4: Carla Solar da cidade de Santa Maria – RS.



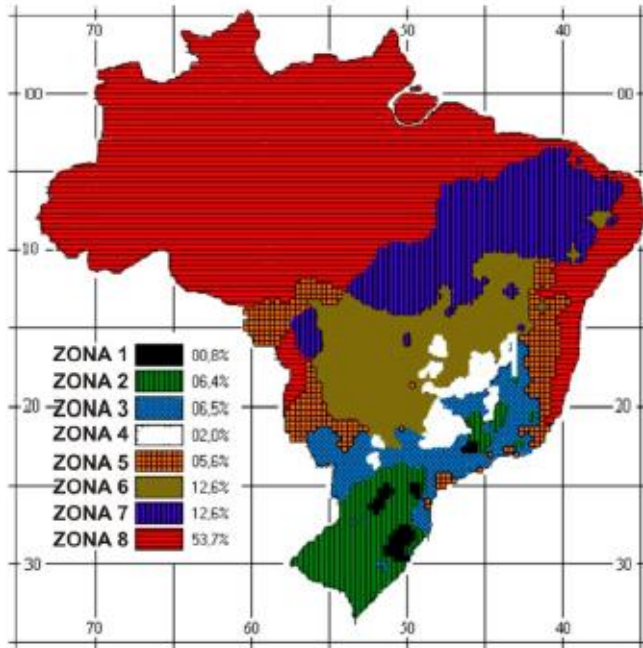
Fonte: (Software SOL-AR).

### 2.3.1 Zonas Bioclimáticas

Sabe-se que o território Brasileiro é vasto geograficamente, contendo inúmeros climas. Para facilitar a compreensão e aplicabilidade da arquitetura bioclimática, a NBR 15220-3, estabelece que o território brasileiro seja subdividido em oito zonas bioclimáticas, além de fazer recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados.

A divisão do território brasileiro se fez pelas características referentes ao clima e, para cada uma destas zonas, foram feitas recomendações técnico-construtivas para otimizar o conforto térmico e, por sua vez, o desempenho térmico da edificação (Figura 2.5).

Figura 2.5: Zoneamento Bioclimático Brasileiro.

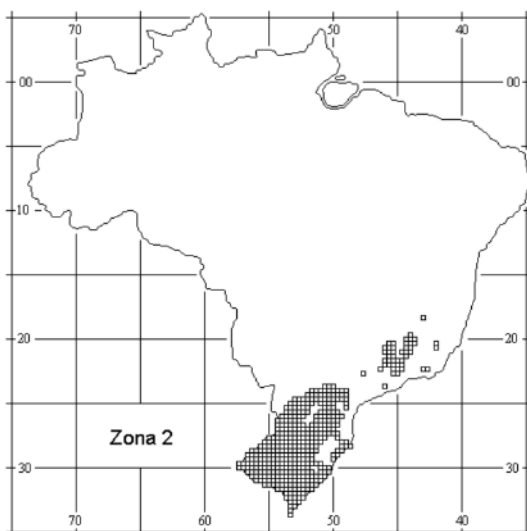


Fonte: (ABNT NBR 15220-3, 2003, p. 3).

### 2.3.2. Zona Bioclimática 2 Brasileira e suas Estratégias de Projeto

O projeto do qual se trata esta dissertação situa-se na cidade de Santa Maria, RS, inserida na Zona Bioclimática 2 Brasileira. Na figura 2.6, elucidam-se quais as partes do território brasileiro compreendem esta zona bioclimática.

Figura 2.6: Território correspondente à zona bioclimática 2 em território brasileiro.



Fonte: (ABNT NBR 15220-3, 2003, p. 4).

A ABNT NBR 15220-3 fornece diretrizes construtivas para cada zona bioclimática, considerando parâmetros e condições como o tamanho das aberturas para a ventilação, proteção das aberturas, vedações externas e condicionamento térmico passivo. Seguem nas tabelas 2.1, 2.2 e 2.3 as estratégias de projeto para a zona bioclimática 2 brasileira, assim como na tabela 2.4 o detalhamento das estratégias de condicionamento térmico.

Tabela 2.1: Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 2

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Permitir sol durante o inverno

Fonte: (ABNT. NBR 15220-3, 2003, p.5).

Tabela 2.2: Tipos de Vedações externas para a zona bioclimática 2

Vedações externas
Parede: Leve
Cobertura: Leve isolada

Fonte: (ABNT. NBR 15220-3, 2003, p.5).

Tabela 2.3: Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 2

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
	Nota: O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano. Os códigos J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).

Fonte: (ABNT. NBR 15220-3, 2003, p.5).

Tabela 2.4: Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico.

Estratégia	Detalhamento
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.

Fonte: (ABNT. NBR 15220-3, 2003, p.5).

Observa-se, através das tabelas acima ilustradas, que para o caso de inverno na zona bioclimática 2 brasileira é usado o aquecimento solar como forma de obtenção de conforto térmico. Considerando-se que o desempenho térmico da edificação é importante para o bem-estar de seus usuários, e quando localizados na ZB2 tem maior nível de desconforto térmico no inverno, busca-se averiguar as características e resultados referentes ao desempenho térmico e rendimento do sistema solar proposto nesta pesquisa. Bem como se refere Pereira et al. (2017, p.11):

Uma das questões fundamentais para o desenvolvimento sustentável está na inovação e desenvolvimento de tecnologias de conversão e aproveitamento de recursos energéticos naturais. A necessidade de energia para o desenvolvimento de um país é inquestionável, porém a aplicação de tecnologias que buscam o incremento da eficiência energética e a sustentabilidade da produção asseguram e possibilitam um desenvolvimento com impactos ambientais reduzidos.

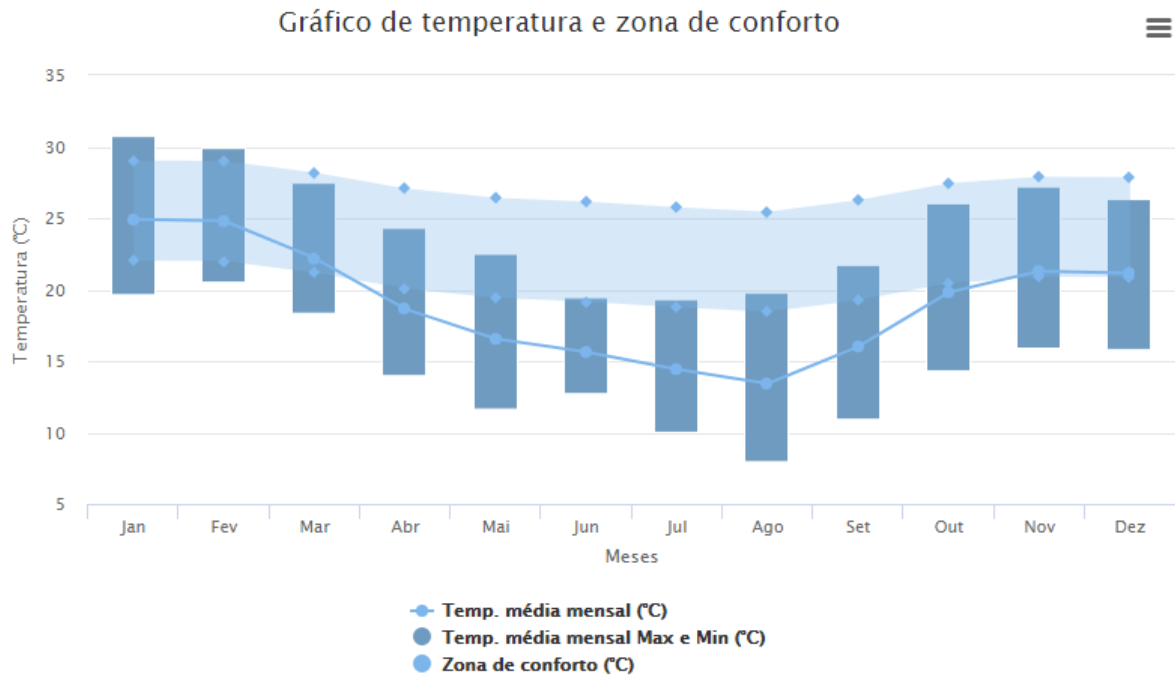
### **2.3.3 Clima de Santa Maria –RS**

A cidade de Santa Maria está inserida na região central do Rio Grande do Sul, zona bioclimática 2 brasileira, onde o clima é predominantemente subtropical úmido, correspondendo a estações bem definidas: verão com elevadas temperaturas e inverno com frio intenso, sendo o inverno mais rigoroso do país. As chuvas no decorrer do ano são bem distribuídas.

As técnicas bioclimáticas e de eficiência energética devem ser observadas e estudadas desde a concepção do projeto arquitetônico, pois desta forma a edificação estará apta a proporcionar o maior nível de conforto térmico aos seus usuários.

Primeiramente observa-se a trajetória solar, de acordo com a carta solar da cidade em questão, juntamente com os índices de irradiação e níveis de temperatura. Para melhor compreensão, ilustra-se na figura 2.7, as temperaturas médias mensais e as zonas de conforto para Santa Maria ao longo do ano.

Figura 2.7: Temperaturas médias mensais e zona de conforto para Santa Maria- RS.



Fonte: (Labee, 2018)

Nota-se que os meses de menor temperatura na cidade de Santa Maria são maio, junho, julho, agosto e setembro, onde a zona de conforto tem maior distância em relação às temperaturas externas. Percebe-se, também, que o nível de desconforto pela temperatura se faz muito mais iminente nos meses de inverno, onde a zona de conforto é minimamente atingida quando os maiores níveis mensais são atingidos. A consciência do comportamento das temperaturas e dos níveis de irradiação solar são passos fundamentais para a viabilidade de aplicação de um sistema enquadrado em arquitetura bioclimática.

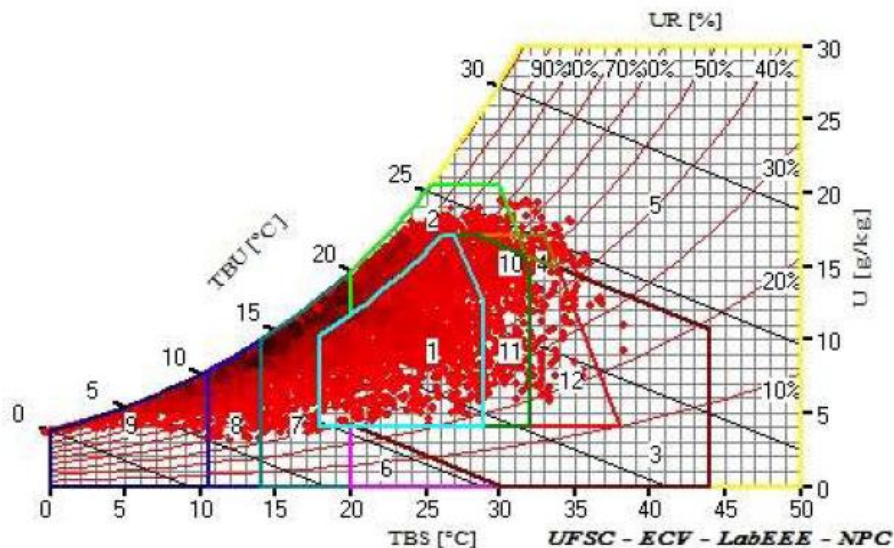
O conforto térmico é atingido se as trocas de calor entre o homem e o meio estiverem equilibradas. Isso é manifestado através do bem-estar do indivíduo no ambiente em que está inserido. Segundo Humphreys (1979), a temperatura de conforto varia de acordo com a receptividade e adaptabilidade dos usuários a certos costumes, não podendo ser considerada uma constante.

### 2.3.3.1 Carta Bioclimática de Santa Maria-RS

A carta psicrométrica, ou carta bioclimática, para Lamberts (2014) é uma ferramenta importante no entendimento das transformações do ar úmido, ou seja, diferentes combinações das variações de temperatura e de umidade e as influências nos processos de transferência de calor.

Em pesquisa feita para o município de Santa Maria, Flores (2009) através do tratamento dos dados climáticos, originou uma carta Bioclimática referente ao município, conforme ilustra na figura 2.8.

Figura 2.8: Carta Bioclimática com TRY para a cidade de Santa Maria.



Fonte: (Flores, 2009, p.77).

Tabela 2.5: Relatório geral das estratégias bioclimáticas para Santa Maria.

Conforto	TRY	TMY2
	28,5%	30,6%
	71,5%	69,4%
<b>Calor</b>	20,3%	20,3%
Ventilação	18,4%	18,4%
Alta inércia para resfriamento	0,59%	0,74%
Resfr. evaporativo	0,56%	0,70%
<b>Desconforto</b>	0,58%	0,55%
<b>Frio</b>	51,26%	49,1%
Aquecimento solar/Inércia térmica	29,4%	27,1%
Aquecimento solar passivo	13%	11,5%
Aquecimento artificial	8,86%	10,5%
Umidificação	0%	0%

Fonte: (Flores, 2009, p.77).

Percebe-se ao avaliar os dados da carta bioclimática e relatório geral das estratégias bioclimáticas para Santa Maria, que 71,5% das horas do ano apresentam desconforto, sendo 51,2% por frio e 20,3% por calor. As estratégias indicadas são inércia térmica para aquecimento solar em 29,4% do ano, aquecimento solar passivo em 13% do ano, aquecimento artificial em 8,86% do ano para o inverno e a ventilação natural em 18,4% do ano.

## 2.4 AQUECIMENTO SOLAR PASSIVO

O uso de fontes renováveis de energia como a energia solar, pode reduzir significativamente o impacto ambiental de uma edificação. A energia solar é uma fonte de calor radiante que pode ser usada de inúmeras maneiras para proporcionar conforto térmico, além de desencadear processos naturais dos quais todos os seres vivos dependem, conforme Pereira et al (2017).

O aquecimento solar passivo utiliza de processos naturais básicos como o fluxo de energia térmica associada à radiação, condução e convecção, que são os principais meios de transmissão de calor, Wassouf (2014). Caracterizam-se, então, como passivos os métodos que dispensam os meios mecânicos para funcionar.

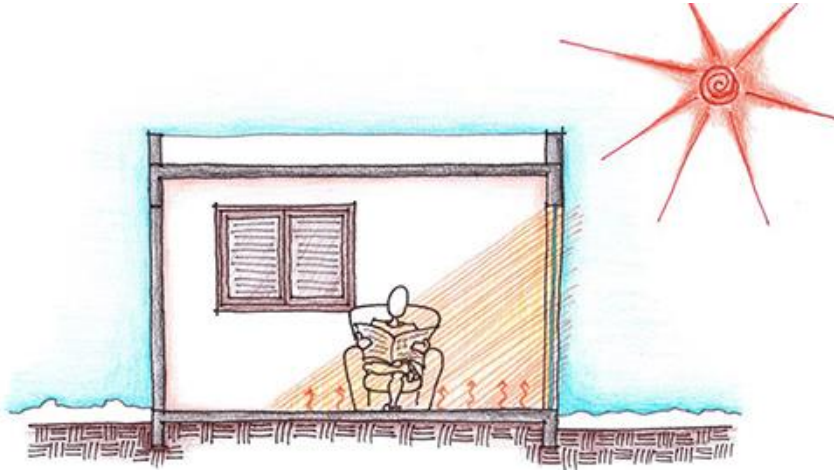
Existem estratégias de projeto, dentro da arquitetura bioclimática, que permitem gerenciar processos naturais para aquecer ou resfriar ambientes. Quando a radiação solar incide em materiais construtivos, reações diversas são provocadas dependendo da estratégia utilizada. Segundo Sustainable Sources (2018) o calor produzido pelo sol provoca movimentos de ar que podem ser previsíveis em espaços projetados e essas respostas ao calor solar levam a elementos de design, escolhas de material e posicionamentos que podem fornecer efeitos de aquecimento e resfriamento em uma residência.

As principais formas de aquecimento solar passivo são aquelas denominadas por ganho direto de calor, ganho indireto de calor ou ganho isolado de calor.

O ganho direto de calor caracteriza-se por receber radiação solar direta em superfícies de vidro, onde ao ser transmitida para dentro do ambiente é convertida em energia térmica, aquecendo a edificação. Para estes casos, como afirma Pinto e Dias (2005) é interessante que se projete um brise horizontal na superfície superior

da janela, para que se consiga controlar essa incidência solar na estação de verão, evitando o sobreaquecimento, desde que seja feito um estudo de acordo com a orientação solar. Tal metodologia de aquecimento passivo é ilustrada pela figura 2.9.

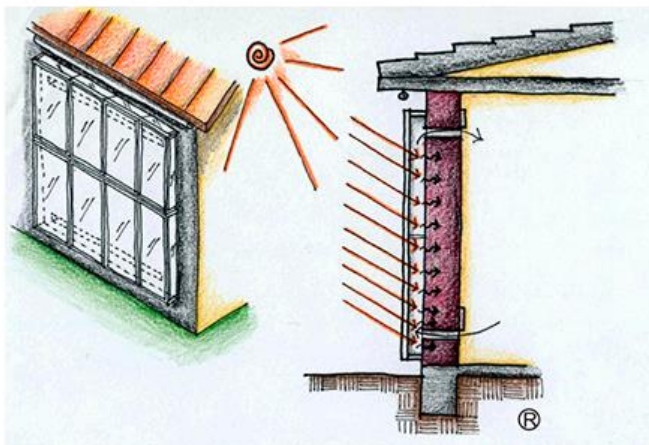
Figura 2.9: Aquecimento solar passivo de ganho direto. Fonte:



Fonte: (Labeee, 2018).

O segundo método de aquecimento passivo é ganho indireto de calor, que se caracteriza por captar a energia solar por meio de uma parede acumulação. Exemplo desta forma de aquecimento é a parede trombe, ilustrada na figura 2.10, que pode ser ventilada ou não ventilada. Para aumentar os ganhos térmicos a parede deve ser pintada de cor escura.

Figura 2.10: Aquecimento solar passivo de ganho indireto.



Fonte: (Labeee, 2018).



O terceiro método de aquecimento passivo é por ganho isolado de calor, caracterizados por conter componentes separados do corpo da edificação, chamados de coletores solares. Eles, não só aquecem o ar, como mantêm a temperatura por um período de tempo devido aos componentes de inércia térmica que possuem em sua construção.

## 2.5 SISTEMA SOLAR PASSIVO POR GANHO ISOLADO DE CALOR

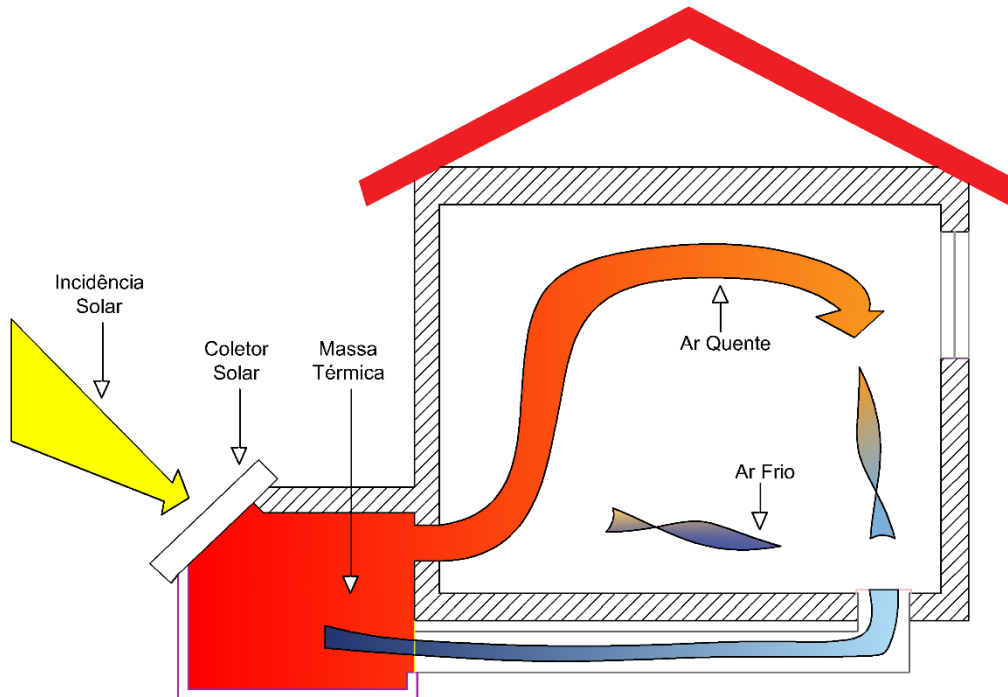
O sistema solar passivo por ganho isolado de calor caracteriza-se por coletar e armazenar a radiação solar em espaços isolados termicamente das edificações as quais influenciarão. Geralmente nesses sistemas a radiação solar é coletada para o aquecimento de ar ou água. O fluxo de calor acontece por convecção do ar, ocorrendo o chamado loop conectivo natural, ou seja, a constante movimentação do ar.

Os componentes necessários para o funcionamento deste sistema, segundo Swift (2008) são, um coletor solar, que absorve a radiação solar, o fluido, o qual fará a troca energética no processo de sua movimentação, uma massa de armazenamento, também chamada de massa térmica, para que o sistema solar influencie a temperatura do ambiente ao qual estará conectado por mais tempo e dutos de conexão entre a entrada de ar e a saída de ar desde sistema.

O coletor solar, peça chave para o funcionamento deste sistema, deve ficar fora da edificação e possuir orientação solar norte, pois dessa maneira ele pegará máxima incidência solar durante o dia. Seu fechamento superior deve ser em vidro, material que possui alta porcentagem de transmissão de calor.

Os coletores solares são posicionados abaixo do ambiente ao qual se conecta para aquecer. Este posicionamento é em função da movimentação do fluido, no caso o ar. O ar aquecido sobe e entra na edificação e ao perder calor, o ar fica mais denso e movimenta-se a áreas mais baixas, retornando ao coletor solar e é reaquecido. Na figura 2.11, o corte esquemático ilustra os componentes do sistema e o ciclo no qual o ar se movimenta.

Figura 2.11: Corte Esquemático de sistema solar passivo por ganho isolado de calor.



Fonte: Autora.

## 2.5.1 Transmissão de Calor

A transmissão de calor existe quando há uma diferença de temperatura entre dois corpos ou um corpo e um fluido, tendendo a desaparecer espontaneamente pela passagem de calor de uma para a outra. Para Costa (2012) a transmissão seca de calor pode efetuar-se de três maneiras distintas, designadas de condução, convecção e radiação.

### 2.5.1.1 Condução

A condução é transferência de energia das partículas mais energéticas de um elemento para as partículas menos energéticas por vibração. Para Costa (2012) esse movimento vibratório permite um intercâmbio de energia cinética entre as moléculas, das quais as temperaturas de maior temperatura cedem, por choque,

energia as de menor temperatura, originando-se, assim, a transmissão de calor por meio de condução.

Quanto maior a temperatura das moléculas, mais apresentam movimentação e mais rápida se dá a transferência de calor. A taxa de condução de calor por um meio depende da geometria, da espessura, do tipo de material e da diferença de temperatura onde está inserida.

#### *2.5.1.2 Convecção*

Convecção é a transferência de calor através de fluidos. Ela pode acontecer de maneira natural e a movimentação do fluido se dá através da diferença de pressão ocasionada pela diferença de temperatura, segundo Costa (2012).

A convecção é natural quando a movimentação do ar, no caso do coletor solar, será devido à elevação do ar mais quente, o qual possui menor densidade e a descida do ar mais frio, o qual possui maior densidade, para ocupar o seu lugar. Já a convecção forçada quando o fluido é forçado a se movimentar através de equipamentos mecânicos.

#### *2.5.1.3 Radiação*

A radiação é a transmissão de calor emitida pela matéria sob a forma de ondas eletromagnéticas obtida através da modificação eletrônica de átomos ou moléculas. Para Costa (2012), todos os corpos emitem energia calorífica sob a forma de radiações semelhantes à luz.

A energia emitida por toda matéria que se encontra a uma temperatura finita é chamada de radiação. Enquanto a transferência de calor por condução ou convecção requer a presença de um meio material, a radiação não necessita dele (INCROPERA e DEWITT, 2002).

## 2.5.2 Inércia Térmica

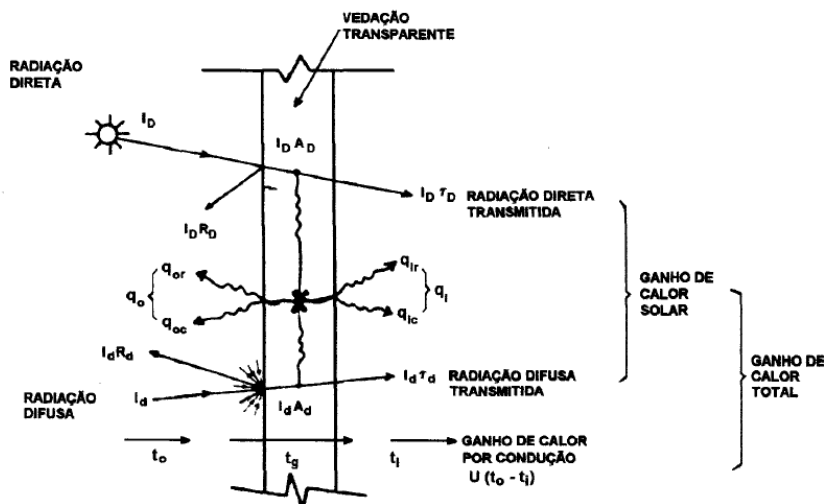
A inércia térmica é uma característica relacionada à capacidade térmica de um material por uma unidade de tempo. Dornelles (2004) descreve a inércia térmica como a capacidade de uma edificação de absorver e libertar calor algum tempo depois, em função da qual pode ocorrer a diminuição de amplitude das temperaturas internas no ambiente construído.

O conceito de inércia térmica é a combinação entre a densidade e a espessura de um material e, conseqüentemente, a capacidade térmica dos componentes. O uso da inércia térmica além de amortecer os picos de temperatura externa, proporciona um atraso no pico máximo e mínimo na temperatura interna.

## 2.5.3 Transferência de Calor em Superfícies Transparentes

Quando há a incidência de radiação solar direta e difusa em uma superfície translúcida, o total de calor que passar pelo material é igual ao somatório das frações de radiação direta e difusa transmitida, a fração dessa radiação que é absorvida e reirradiada para o interior e uma fração que é transferida por condução. Na figura 2.12, estão ilustrados tais processos.

Figura 2.12: Processos de ganho de Calor através de Superfície transparente.



Fonte: (Santos, 2012, p.92)

#### 2.5.4 Rendimento

O rendimento de um sistema é a resposta em porcentagem do quão eficiente ele está sendo. É a relação entre a energia utilizada como forma de trabalho e a energia fornecida.

Assemelha-se ao coeficiente de performance (COP) de um condicionador de ar. O COP trata-se de um índice que relaciona a capacidade de fornecer calor de um equipamento (energia útil) à potência requerida pelo compressor (energia consumida).

Figura 2.13: Fórmula de coeficiente de performance de condicionador de ar.

$$\text{COP} = \frac{\text{ENERGIA ÚTIL}}{\text{ENERGIA CONSUMIDA}}$$

Fonte: Procel, 2011.

Para realizar uma tarefa, toda máquina, todo organismo, precisa de determinada potência, ou seja, determinada quantidade de energia por unidade de tempo. Porém, nem toda a potência requerida é usada na realização da tarefa. Desse modo, toda máquina possui um rendimento que é o quociente entre a potência útil (ou seja, utilizada na realização da tarefa) e a potência total disponível.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

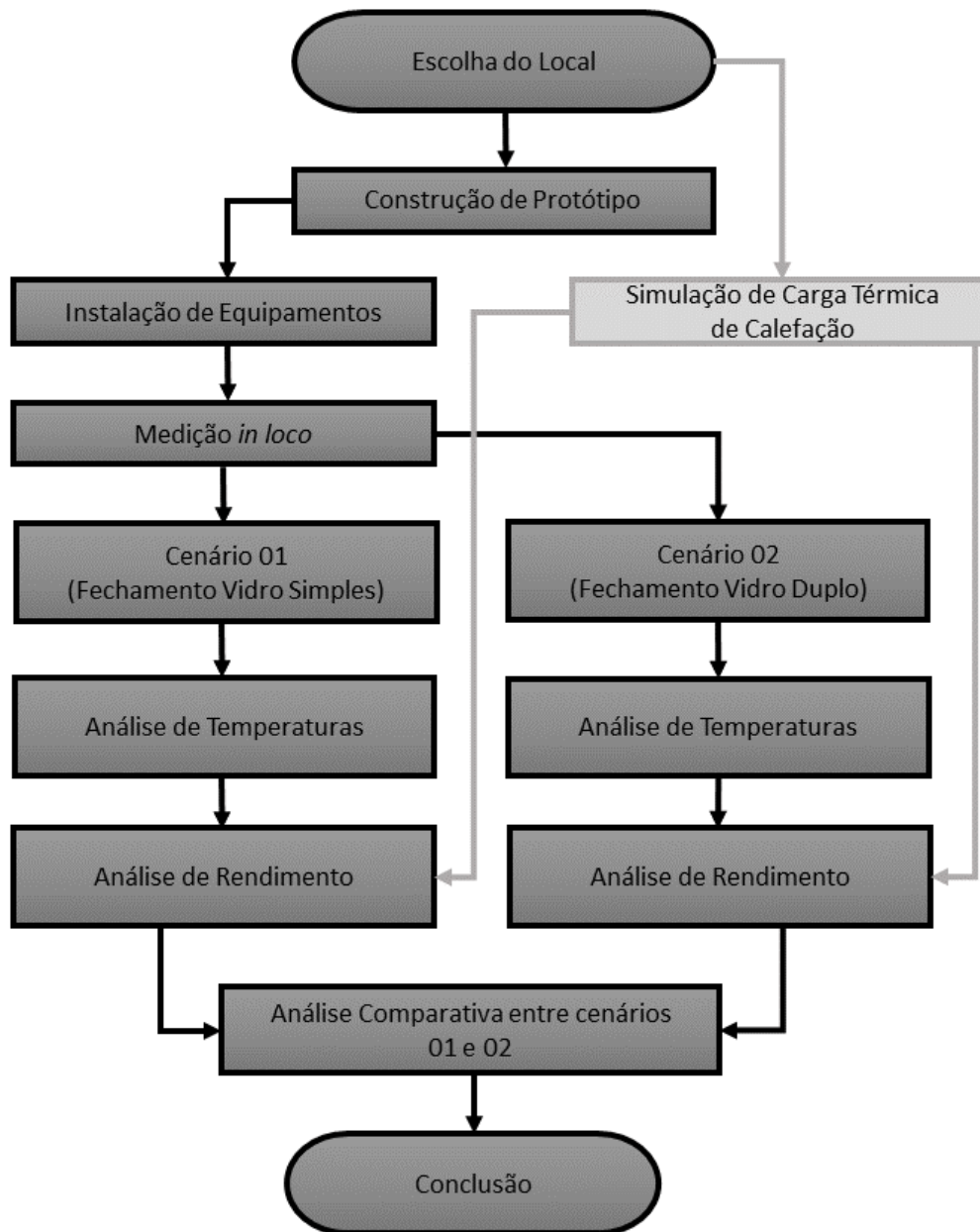
A presente pesquisa é de cunho experimental e sua concepção se caracteriza como quantitativa baseada em resultados que foram adquiridos através de medições *in loco* e em bancos de dados acadêmicos.

O processo metodológico utilizado para o diagnóstico de funcionamento do sistema solar passivo de aquecimento de ar (SSPAA) foi dividido nas fases de escolha do local; construção do protótipo; instalação de equipamentos; coleta de dados; simulação computacional de carga térmica de calefação através da modelagem, configuração e análise dos resultados; análise de comportamento de temperaturas; e rendimento. Os testes foram realizados com duas tipologias. A primeira delas apresenta fechamento superior com esquadria de alumínio e vidro simples. Já a segunda apresenta fechamento de vidros duplos.

Através da análise dos dados obtidos, pode-se definir a viabilidade de aplicação deste sistema e determinar qual a tipologia mais vantajosa para a sua instalação na zona bioclimática 2 brasileira, onde está inserida a cidade de Santa Maria – RS, tornando público este método passivo de aquecimento de ar.

A metodologia está ilustrada através de um fluxograma na figura 3.1.

Figura 3.1: Fluxograma de Metodologia.



Fonte: (Autora).

### 3.1. LOCAL – CASA POPULAR EFICIENTE

O projeto foi idealizado, construído e testado na Casa Popular Eficiente - CPE, localizada no Centro de Eventos da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, edificação ilustrada nas figuras 3.2 e 3.3. Esta edificação é um projeto de residência unifamiliar de interesse social, resultado de uma parceria estabelecida entre a UFSM, e a Universidade Luterana do Brasil - ULBRA, a qual tem como premissas básicas o desenvolvimento e aplicação de técnicas que valorizem a redução do consumo de energia elétrica e a utilização de condicionantes bioclimáticos, incentivando, sobretudo, o conforto dos moradores aliado a ações que preservem o meio ambiente. Propõe, também, a análise do comportamento dos materiais, servindo como base no melhoramento dos produtos, técnicas e processos empregados.

Figura 3.2: Casa Eficiente.



Fonte: (Autora).



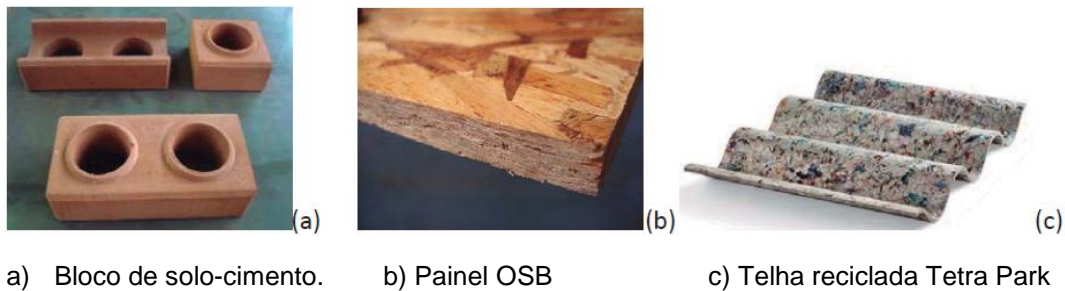
Figura 3.3: Casa Eficiente.



Fonte: (Autora).

A CPE, em sua execução, contou com materiais construtivos ecológicos, caracterizados por baixo impacto ambiental e pela escolha de utilização em função da facilidade de acesso a esses materiais na região. Exemplos desses materiais são os tijolos de solo-cimento, as telhas recicladas Tetra Park, os painéis OSB, os impermeabilizantes e as tintas ecológicas, conforme elucidado na figura 3.4. Além disso, implementaram soluções sustentáveis como o aproveitamento da ventilação cruzada, da incidência solar, da água da chuva, das águas cinza e o uso de vegetação específica para sombreamento. Ratifica-se esta informação por Vagheti et. al (2015) que dentro das metas da pesquisa, está a avaliação do comportamento físico e mecânico dos materiais utilizados no protótipo, através de ensaios nos laboratórios do Centro de Tecnologia, bem como uma análise de desempenho ao longo do tempo das soluções sustentáveis, como a eficiência térmica e energética do aquecedor solar da água para o banho, o aproveitamento das águas da chuva para o vaso sanitário e outros fins, a vegetação e a ventilação cruzada como forma de conforto térmico da residência e o tratamento e aproveitamento das águas cinza do banheiro e da máquina de lavar roupas.

Figura 3.4: Materiais construtivos usados na CPE.



a) Bloco de solo-cimento.

b) Painel OSB

c) Telha reciclada Tetra Park

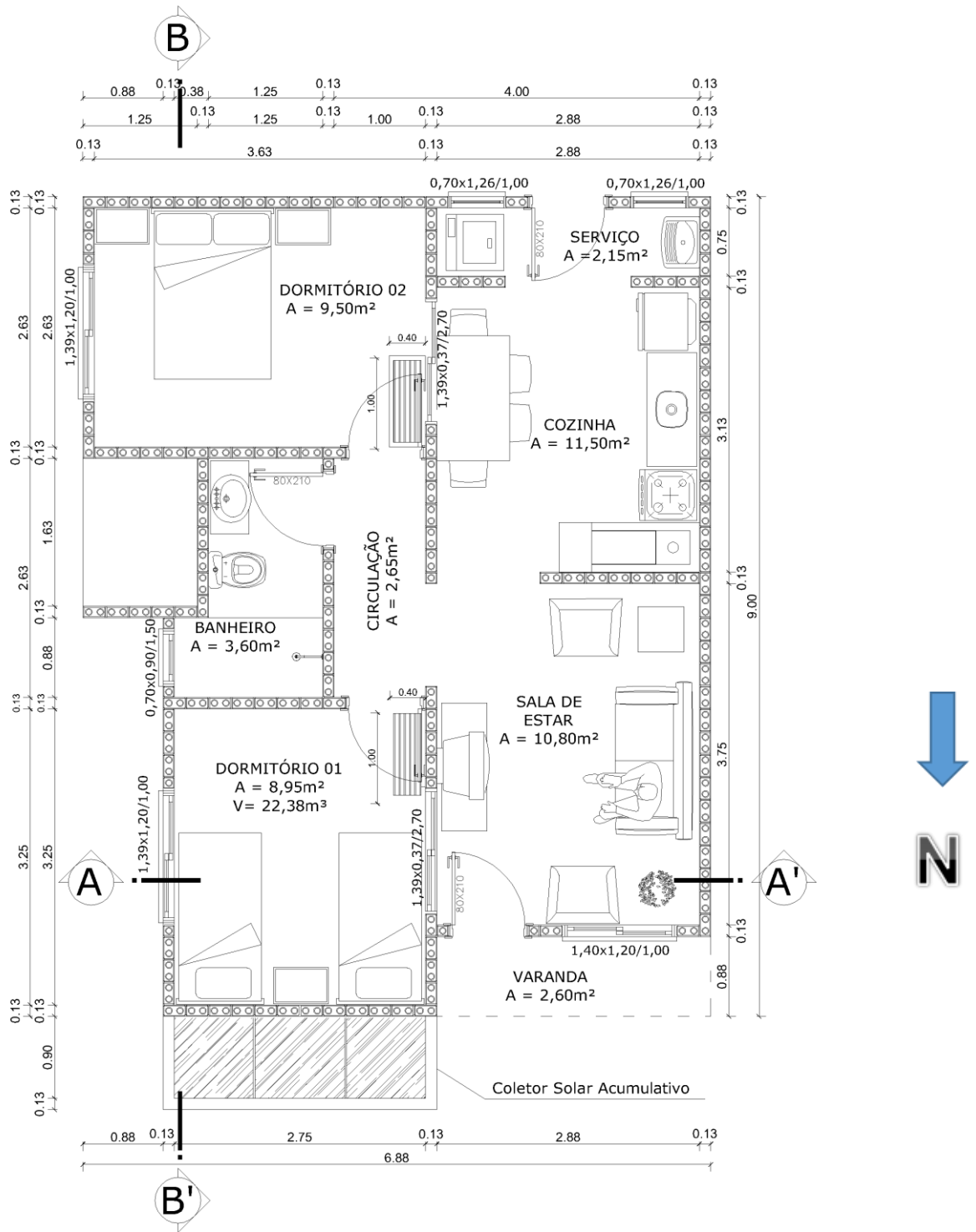
Fonte: (VAGHETTI et al., 2013, p 230).

A idealização da CPE perpassa os objetivos acadêmicos, uma vez que os materiais e técnicas inovadoras são testados para também serem difundidos no meio profissional e implementados na comunidade. Segundo VAGHETTI et Al. (2015, p. 228):

A construção de um protótipo de Casa Popular Eficiente no campus da Universidade Federal de Santa Maria – RS, localizada na zona bioclimática 2 brasileira, tem como objetivo geral proporcionar para a região central do Rio Grande do Sul uma opção de moradia de baixo custo adaptado à realidade regional e que considere itens importantes de sustentabilidade, fornecendo subsídio de projeto aos meios públicos para futuras implantações em conjuntos habitacionais de interesse social do município. A pesquisa visa também à conscientização da comunidade acadêmica e profissional da importância de conceber e projetar edificações com premissas de sustentabilidade, envolvendo a natureza e o ambiente como formas de proporcionar conforto aos moradores, propiciando harmonia entre o contexto material e o humano.

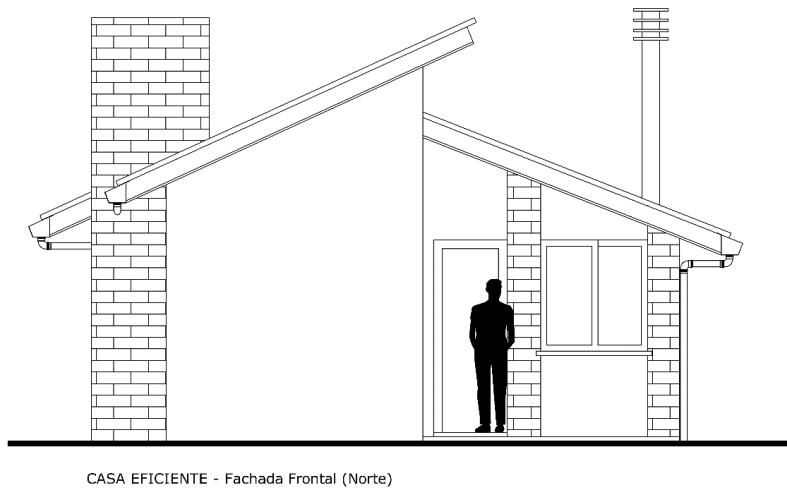
A CPE possui área total construída de 55 m<sup>2</sup>. Seu projeto arquitetônico engloba uma varanda de acesso à residência, sala de estar, cozinha e área de serviço integradas, dois dormitórios e um banheiro. A orientação solar de sua fachada principal é norte, não possuindo desvio azimutal. A fachada principal e a planta baixa técnica da casa seguem nas figuras 3.5 e 3.6, respectivamente, para compreensão do projeto.

Figura 3.5: Planta Baixa Técnica CPE.



Fonte: (Autora).

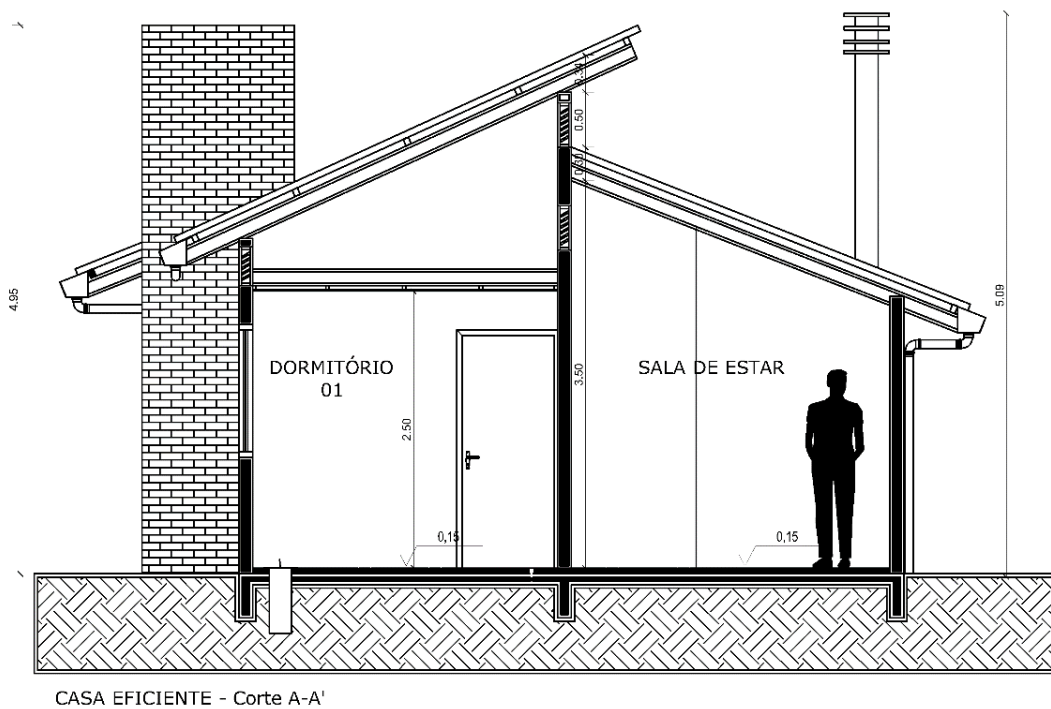
Figura 3.6: Fachada CPE.



Fonte: (Autora).

O corte A-A', demarcado em planta, segue na figura 3.7. Nele aparece a sala de estar e o dormitório 01, ambiente usado para testes do SSPAA.

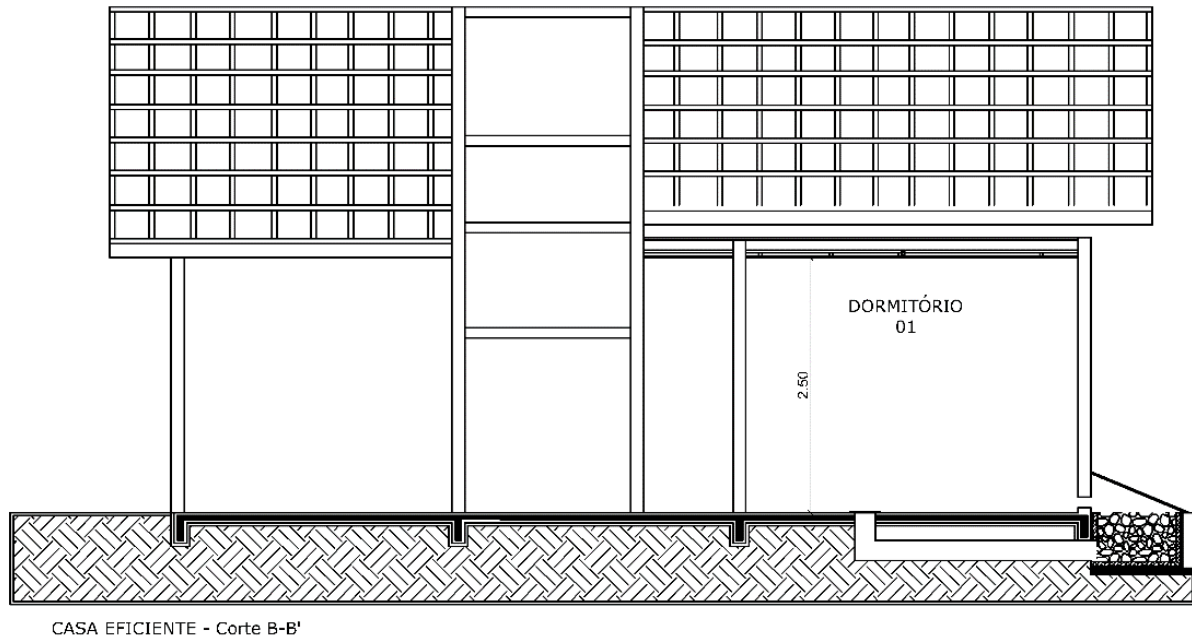
Figura 3.7: Corte A-A' CPE.



Fonte: Autora.

Nota-se na figura 3.8, onde é ilustrado o corte transversal B-B', que o dormitório 01 possui um pé-direito de dois metros e cinquenta centímetros e que o coletor solar fica isolado em relação à residência, sendo sua construção independente.

Figura 3.8: Corte B-B' CPE

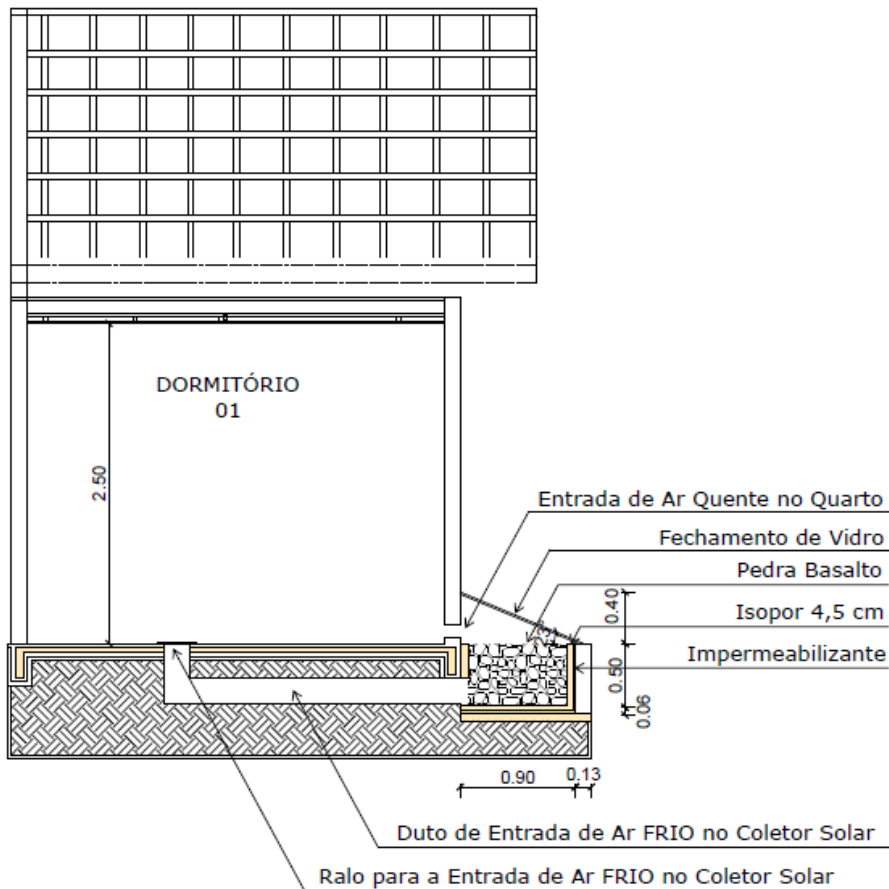


Fonte: (Autora).

### 3.2. CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO DE AQUECIMENTO SOLAR PASSIVO

A construção do SSPAA iniciou em janeiro de 2017, após escolha do local e definição das estratégias a serem utilizadas. Elucida-se em corte esquemático, imagem 3.9, o detalhamento dos elementos construtivos, aparecendo exclusivamente o ambiente onde o sistema influenciará termicamente.

Figura 3.9: Corte Esquemático do dormitório em estudo e SSPAA.



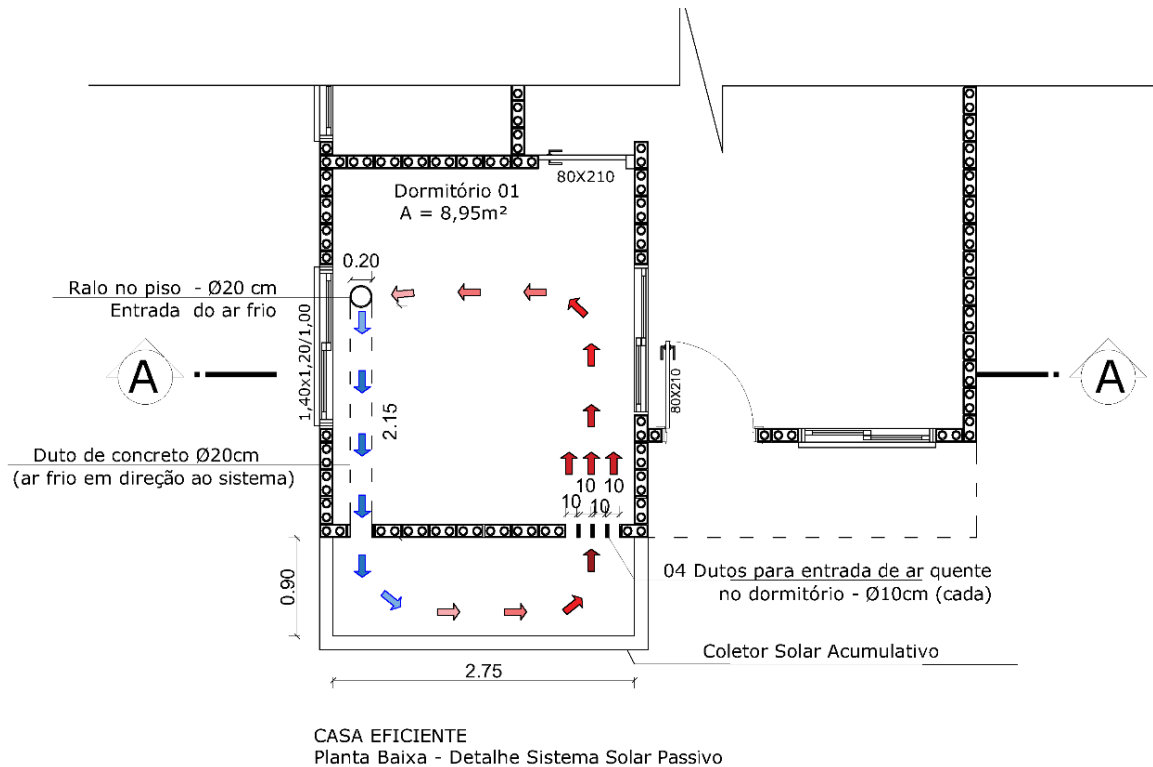
Fonte: (Autora).

Destaca-se que no piso do dormitório existe um ralo. Este é o ponto de partida para o funcionamento do sistema solar passivo, uma vez que o ar frio é mais denso e se deslocará para regiões mais próximas ao chão, onde encontrará no ralo um meio para se deslocar. Este meio se dá pelo duto de concreto que o conduzirá até o início do coletor solar.

O fluxo do ar dentro do sistema solar passivo para aquecimento de ar é demonstrado pela figura 3.10. O ar frio é caracterizado pelas setas azuis, que vão se modificando em um gradiente para a cor vermelha à medida que o ar vai aumentando sua temperatura. A movimentação do ar acontece por convecção natural do ar, ou seja, a diferença de pressão e temperatura faz o ar frio se movimentar para regiões mais baixas, enquanto o ar quente se movimenta para as regiões mais altas. Como esclarece Costa (2012, p. 90):

Convecção é a passagem de calor de uma zona a outra de um fluido por efeito do movimento relativo das partículas do mesmo, movimento esse provocado pela diferença de pressão ocasionada pela diferença de temperatura e consequentemente diferença de densidade da massa fluida considerada.

Figura 3.10: Movimento do Ar no SSPAA.



Fonte: Autora.

O local destinado para a construção do coletor solar, parte indispensável para o funcionamento do sistema solar, encontrava-se repleto de terra e vegetação, figura 3.11. Solicitou-se, então, a empresa de manutenção da UFSM, que fizesse a limpeza do local, figura 3.12.

Figura 3.11: Local onde foi construído o SSPAA, antes das intervenções.



Fonte: (Autora).

Figura 3.12: Local onde foi construído o SSPAA, depois de limpeza feita pela SulClean.



Fonte: (Autora).

Toda a terra foi retirada do espaço destinado a ser o coletor solar, deixando o espaço livre para as adequações e implementação do protótipo, ilustrada pela figura 3.13. Instalou-se uma lona dupla sobre o chão de terra, a qual subiu também nas laterais do coletor solar, figura 3.14. Após a fixação dessa lona fez-se o contrapiso de três centímetros, figura 3.15.



Figura 3.13: Coletor solar após a retirada da carga de terra.



Fonte: (Autora).

Figura 3.14: Colocação de lona duplicada no fundo do coletor solar.



Fonte: (Autora).

Figura 3.15: Coletor solar com lona e contrapiso feitos.



Fonte: (Autora).

A esse sistema, acrescentaram-se duas fiadas de tijolos na parte frontal e laterais do coletor solar, figura 3.16. Esta medida foi executada para que o fechamento superior ficasse acima do nível do piso do ambiente interno, uma vez que os dutos para o retorno do ar ao quarto serão instalados nesse local. O coletor solar recebeu camada de argamassa para reboco, impermeabilização 4,5 centímetros de isopor formando uma camada de isolamento térmica, a qual minimiza consideravelmente suas trocas de calor com exterior, figura 3.17.

Figura 3.16: Coletor Solar acrescentadas duas fiadas de tijolos.



Fonte: (Autora).

Figura 3.17: Detalhe das camadas de isopor e papelão.



Fonte: (Autora).

Efetivaram-se quatro orifícios para o retorno do ar ao ambiente interno, figura 3.18. Este ar, que foi aquecido no percurso realizado dentro do coletor solar, volta ao dormitório com elevada carga térmica, potencializando o aumento de temperatura no interior do dormitório. A soma da área dos quatro orifícios corresponde à área do duto de entrada de ar frio no coletor solar, permitindo equilíbrio para a movimentação do ar.

Figura 3.18: Execução de abertura dos buracos para entrada de ar quente no dormitório.



Fonte: (Autora).

Para o fechamento superior utilizou-se esquadria de alumínio e vidro incolor 4mm, conforme demonstra a figura 3.19. Este fechamento foi devidamente impermeabilizado, garantindo a estanqueidade do coletor solar.

Figura 3.19: Coletor solar após a instalação de esquadria de alumínio e vidro simples 4mm.



Fonte: (Autora).

Para finalizar as instalações, foram colocadas manualmente pedras basalto dentro do coletor solar, fazendo o seu preenchimento, conforme figura 3.20. A esquadria ficou dividida em três folhas de 90x90m, sendo a da esquerda móvel para manutenção do SSPAA.

Figura 3.20: Coletor Solar com execução concluída.



Fonte: (Autora).

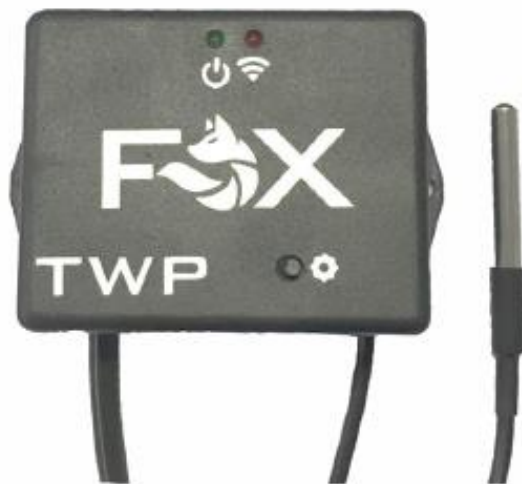
### 3.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS E COLETA DE DADOS

As análises de comportamento térmico e de rendimento do sistema solar passivo tornaram-se viáveis através da coleta dos dados específicos. Para isso foram utilizados equipamentos aferidos de medição de temperatura e velocidade do vento. Por fim realizou-se a coleta dos dados de radiação solar.

#### 3.3.1 Equipamentos de Temperatura

Os sensores para coleta de temperatura utilizados, ilustrado pela figura 3.21, foram alugados da empresa FOX Internet Of Things, localizada na incubadora tecnológica da UFSM. Com sensibilidade desde -50 °C até 125°C são à prova d'água e calibrados, garantindo a veracidade dos dados coletados. O monitoramento das temperaturas aconteceu em tempo real, sendo registradas a cada dez minutos. O portal da empresa disponibiliza acesso virtual aos sensores, além do fornecimento de planilhas de monitoramento, figura 3.22.

Figura 3.21: Sensores de Temperatura da Empresa FOX Internet of things.



Fonte: (Fox IOT, 2017).



### 3.3.3 Dados de Radiação Solar

Os dados de radiação solar são indispensáveis para as análises de comportamento térmico de sistemas passivos. Estes dados foram coletados através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP, fornecido pelo INMET.

Para a utilização dos dados obtidos nas planilhas climáticas, como a demonstrada na figura 3.24, precisou-se fazer duas conversões. A primeira delas é em função do horário, que é demonstrado em UTC.

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia, UTC refere-se a uma “coordenada de Tempo Universal, com referência ao Meridiano de Greenwich (Inglaterra), equivalente ao horário de Londres, que corresponde a 3 horas a mais em relação ao horário de Brasília”. Logo, quando se refere à 00 horas UTC, equivale a 21:00 horas pelo horário de Brasília.

Figura 3.24: Dados climáticos obtidos através do BDMEP.

Data	Hora UTC	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pto. Orvalho (°C)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação (kJ/m²)
		Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir. (°)	Raj.	
23/05/2018	00	9.4	9.9	9.4							1010.7	1010.7	1010.3	0.6	20	1.5	-3.54
23/05/2018	01	8.5	9.5	8.2							1010.9	1010.9	1010.7	0.4	67	1.0	-3.54
23/05/2018	02	7.8	8.8	7.8							1011.0	1011.0	1010.9	0.4	97	0.9	-3.54
23/05/2018	03	7.5	8.0	7.3							1011.5	1011.5	1011.0	0.4	225	1.4	-3.54
23/05/2018	04	7.3	7.5	6.9							1011.3	1011.6	1011.3	0.5	10	1.2	-3.54
23/05/2018	05	6.3	7.3	6.3							1011.3	1011.5	1011.2	0.3	47	0.9	-3.54
23/05/2018	06	6.2	6.6	6.0							1011.2	1011.4	1011.2	0.5	209	0.7	-3.54
23/05/2018	07	5.5	6.5	5.4							1011.4	1011.4	1011.2	0.7	295	2.6	-3.54
23/05/2018	08	4.9	5.6	4.9							1011.6	1011.6	1011.3	0.6	260	1.3	-3.54
23/05/2018	09	4.5	4.9	4.4							1011.9	1011.9	1011.6	0.2	95	1.1	-3.54
23/05/2018	10	4.4	4.6	4.2							1012.6	1012.6	1011.9	0.4	310	0.8	-3.52
23/05/2018	11	5.6	5.6	4.2							1013.3	1013.3	1012.6	0.8	152	1.0	100.8
23/05/2018	12	10.0	10.0	5.6							1013.5	1013.6	1013.3	0.3	153	1.0	669.9
23/05/2018	13	12.0	12.0	9.7							1013.9	1013.9	1013.5	0.5	45	1.5	1355.
23/05/2018	14	14.3	14.4	12.0							1014.1	1014.2	1013.8	1.4	121	2.9	1831.
23/05/2018	15	15.6	15.9	14.1							1013.8	1014.2	1013.8	1.2	31	3.5	2150.
23/05/2018	16	16.2	16.5	14.9							1013.2	1013.8	1013.2	1.6	105	3.6	2257.
23/05/2018	17	16.2	17.0	16.0							1012.7	1013.2	1012.7	1.7	246	3.7	2142.
23/05/2018	18	18.2	18.2	16.2							1012.4	1012.7	1012.4	0.6	288	3.7	1807.
23/05/2018	19	17.2	18.3	16.9							1012.4	1012.4	1012.3	1.2	199	3.1	1272.
23/05/2018	20	15.5	17.4	15.5							1012.5	1012.5	1012.4	2.1	179	3.2	612.0
23/05/2018	21	11.7	15.5	11.7							1012.8	1012.8	1012.4	0.4	11	2.9	30.74
23/05/2018	22	9.4	11.7	9.4							1013.3	1013.3	1012.8	0.7	31	1.8	-3.54
23/05/2018	23	7.7	9.4	7.6							1013.5	1013.5	1013.3	0.7	77	1.4	-3.54

Fonte: (INMET, 2018).

A segunda conversão é feita em função da radiação. A planilha do INMET fornece os dados de radiação solar global horizontal, mas precisa saber quais os valores correspondentes em radiação inclinada. Para isso, buscou-se através do programa Radiasol, o índice equivalente entre a radiação global horizontal e a radiação inclinada, sendo que a segunda apresenta níveis maiores que a primeira. Aplicaram-se estes índices aos níveis de radiação coletados pelo INMET, e, então, obtiveram-se os índices de radiação solar inclinada para a correta análise de dados. Ilustra-se tal procedimento, tabela 3.1.

Tabela 3.1: Correlação entre a radiação global horizontal e a radiação inclinada.

COLETOR SOLAR COM FECHAMENTO EM VIDRO SIMPLES					
Horário Brasília	RADIASOL (w/m <sup>2</sup> )		Índice de Relação entre as 2	INMET (KJ/m <sup>2</sup> )	Horizontal*Índice
	Rad. Global Horizontal	Rad. Inclinada		Rad. Global Horizontal	Inclinada (KJ/m <sup>2</sup> )
00:00	0	0	0	-3,54	0
01:00	0	0	0	-3,54	0
02:00	0	0	0	-3,54	0
03:00	0	0	0	-3,54	0
04:00	0	0	0	-3,54	0
05:00	0	0	0	-3,54	0
06:00	1	1,29	1,2900	20,87	26,92
07:00	84	121	1,4405	22,78	32,81
08:00	203	265	1,3054	110,4	144,12
09:00	315	408	1,2952	665,3	861,72
10:00	424	547	1,2901	1335	1722,28
11:00	443	564	1,2731	1809	2303,11
12:00	441	564	1,2789	2129	2722,80
13:00	383	490	1,2794	2228	2850,44
14:00	321	415	1,2928	2114	2733,05
15:00	205	274	1,3366	1770	2365,76
16:00	78	112	1,4359	1245	1787,69
17:00	2	2,59	1,2952	597,4	773,75
18:00	1	1,28	1,2801	28,62	36,63
19:00	0	0	0	-3,54	0
20:00	0	0	0	-3,54	0
21:00	0	0	0	-3,54	0
22:00	0	0	0	-3,54	0
23:00	0	0	0	-3,54	0

Fonte: (Autora).



### 3.4 MEDIÇÃO IN LOCO

Segundo Lamberts (2014), a temperatura é a variável mais conhecida e de mais fácil medição. A variação da temperatura na superfície da Terra resulta basicamente dos fluxos das grandes massas de ar e da diferente recepção do sol de local para local.

Para análise e compreensão do funcionamento do SSPAA optou-se pela construção física do protótipo, assim como se optou pela medição *in loco* das variáveis e análise dos dados obtidos em um dia real do inverno na cidade de Santa Maria, localizada na zona bioclimática 2 brasileira.

Para tanto, usou-se como referência a NBR 15575-1, onde orienta a avaliação térmica através do procedimento 2 – Medição *in loco* (informativo, Anexo A), onde diz:

#### **A.1 Avaliação do desempenho térmico de edificações por meio de medição**

**A.1.1** A avaliação do desempenho térmico de edificações, via medições *in loco*, deve ser feita em edificações em escala real (1:1).

**A.1.2** Medir a temperatura de bulbo seco do ar no centro dos recintos dormitórios e salas, a 1,20 m do piso. Para as medições de temperatura, seguir as especificações de equipamentos e montagem dos sensores, apresentadas na ISO 7726.

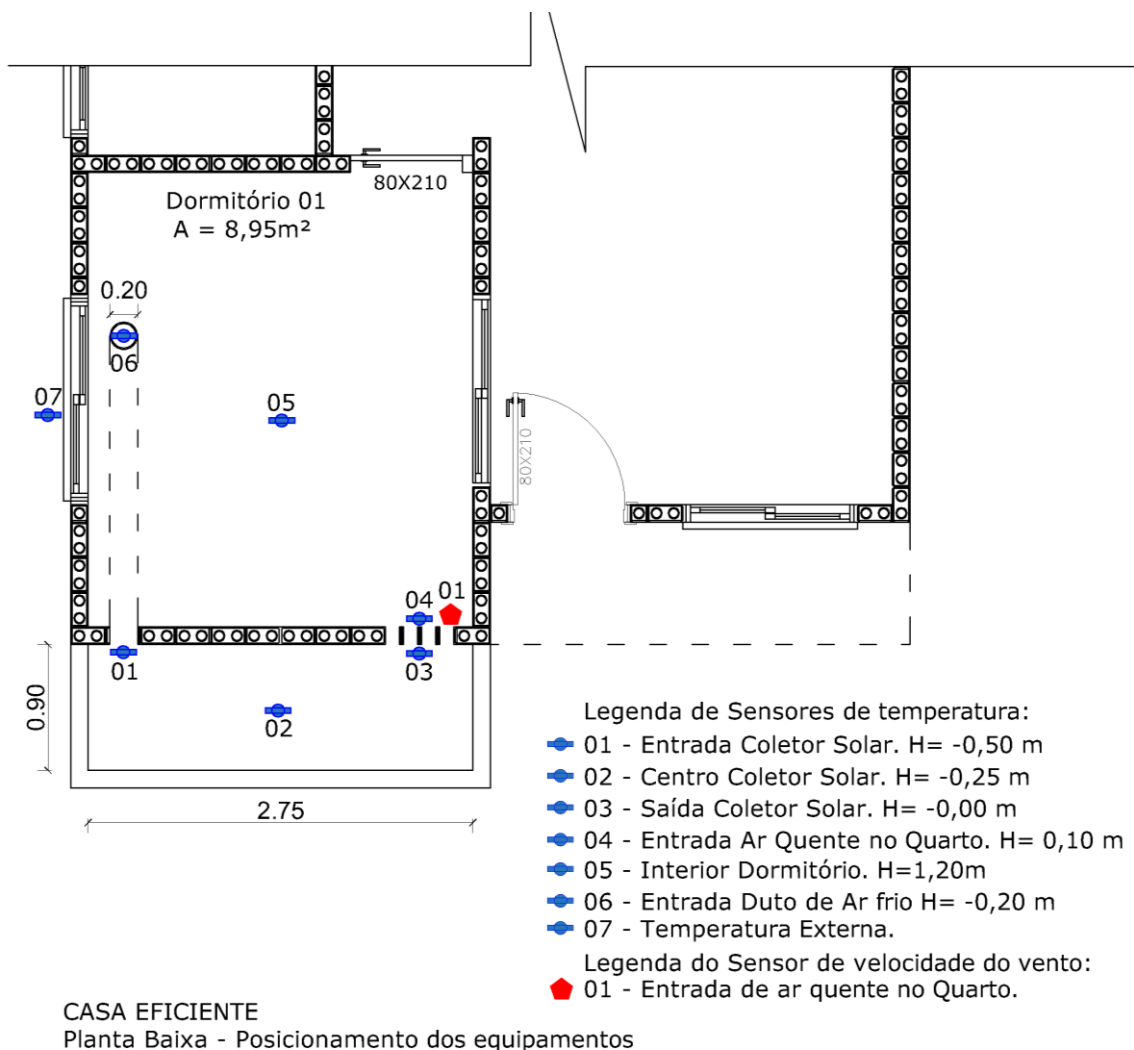
**A.1.6** Período de medição: O dia tomado para análise deve corresponder a um dia típico de projeto, de verão ou de inverno, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes. Recomenda-se, como regra geral, trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro dia. Para efeito da avaliação por medição, o dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior medidos no local.

O posicionamento dos equipamentos de medição de temperatura foi feito da seguinte forma: três sensores de temperatura em três pontos e alturas diferentes dentro do coletor solar, nomeados sensores 01, 02 e 03 em planta; um sensor dentro do quarto, no local de transição entre a saída do coletor solar e a entrada do ar quente no dormitório, nomeado sensor 04; um sensor no centro do dormitório, a uma altura de 1,2 metros, nomeado sensor 05; um ponto no ralo de coleta de ar frio no quarto, a uma altura de -0,50 metros, sensor 06; e um ponto de temperatura externa, posicionado na aba do telhado, onde ficou protegido de radiação solar

direta, sensor 07. Ilustra-se em planta e corte o posicionamento dos sensores e suas respectivas alturas, nas figuras 3.25 e 3.26.

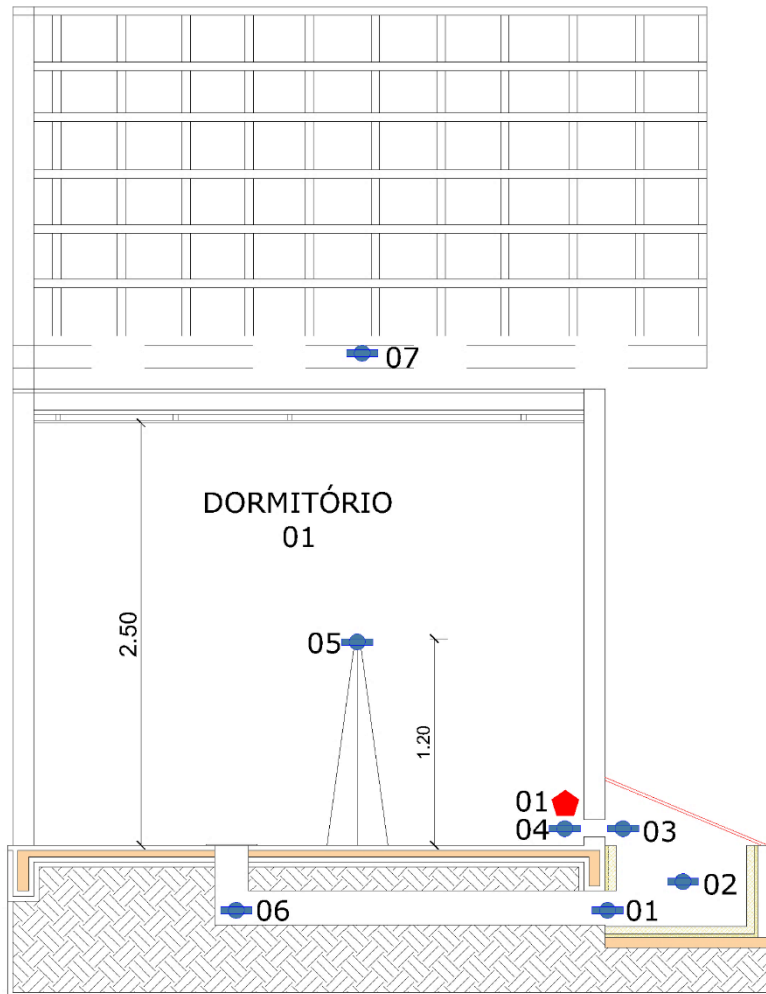
Já o equipamento *Indoor Climate Analyser* foi posicionado estrategicamente no ponto onde o ar sai aquecido do coletor solar e entra no dormitório, para que se possa obter o volume de ar aquecido entrando no dormitório em determinado período de tempo. O seu posicionamento está ilustrado nas figuras 3.25 e 3.26, na cor vermelha.

Figura 3.25: Posicionamento dos sensores de temperatura e velocidade do vento, em planta.



Fonte: (Autora).

Figura 3.26: Posicionamento dos sensores de temperatura e velocidade do vento, em corte.



**Legenda de Sensores de Temperatura:**

- 01 - Entrada Coletor Solar. H= -0,50 m
- 02 - Centro Coletor Solar. H= -0,25 m
- 03 - Saída Coletor Solar. H= -0,00 m
- 04 - Entrada Ar Quente no Quarto. H= 0,10 m
- 05 - Interior Dormitório. H= 1,20m
- 06 - Entrada Duto de Ar frio H= -0,50 m
- 07 - Temperatura Externa.

**Legenda do Sensor de Velocidade do Vento:**

- ◆ 01 - Entrada Ar Quente no quarto

Fonte: (Autora).

Os dados de temperatura começaram a ser coletados em agosto de 2017 e encerrados em julho de 2018, fechando o período de um ano. O ano de 2017 fez um

inverno atípico, onde se obtiveram poucos dias suficientes com temperaturas baixas para que os dados fossem relevantes.

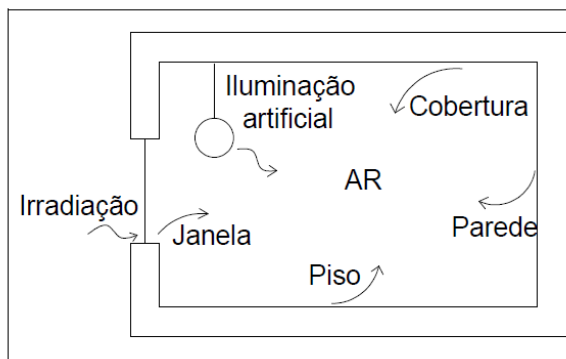
Já no ano de 2018, ocorreram várias frentes frias significativas e se pode coletar dados de dias parecidos e consecutivos, atendendo ao procedimento 2, do anexo A, referente à NBR 15575-1.

### 3.5 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE CARGA TÉRMICA DE CALEFAÇÃO

Carga térmica é o calor a ser fornecido ou extraído do ar, por unidade de tempo, para manter o ambiente nas condições desejadas. A carga térmica de aquecimento é, então, a quantidade de calor necessária à calefação de um ambiente, segundo Costa (2012). A consciência da existência e da quantidade desta carga térmica é importante para a correta análise de dados, onde se busca saber quais são os efeitos que a carga térmica está ocasionando nas temperaturas e na sensação de conforto do ambiente.

Para o cálculo de carga térmica do ambiente em que o coletor solar influencia, contou-se com o software de simulação computacional EnergyPlus. Nele são considerados os balanços térmicos, ilustrados na figura 3.27, onde estão os principais fatores de ganhos e perdas de calor, os quais influenciam diretamente na carga térmica da edificação.

Figura 3.27: Balanço Térmico de ambiente.



Fonte: Lamberts e Melo, 2008.

A carga térmica é proveniente de todas as variáveis que compõe a edificação, o clima e o entorno de onde está inserida, os equipamentos, iluminação e população que ocupam esse espaço.

Lamberts e Melo, 2008, afirmam que as características construtivas de uma edificação são de extrema importância para a sua eficiência energética e que cada vez mais empresas e projetistas buscam conhecimento das interações térmicas que ocorrem nas edificações, para que o conforto seja obtido e, em virtude disso, e o menor uso de equipamentos elétricos de condicionamento de ar.

Para a simulação computacional da carga térmica do dormitório, onde o ar quente do SSPAA atua diretamente, foram consideradas: 1 renovação de ar, carga térmica de iluminação nula, carga nula para equipamentos ou motores e população nula.

Foi considerado dessa forma pois o dormitório permaneceu com portas e janelas fechados e desocupado durante todo o período de medições. Os dados de carga térmica saem por hora ao longo de todo o dia, detalhando ganhos e perdas de calor.

### 3.6 TIPOLOGIAS TESTADAS

O sistema de aquecimento de ar é passivo e a movimentação do ar funciona por convecção. Optou-se por testar o sistema solar em duas tipologias diferentes de fechamento superior, visando potencializar os efeitos térmicos e de rendimento. São elas:

- Coletor Solar com Fechamento de Vidro Simples;
- Coletor Solar com Fechamento de Vidro Duplo.

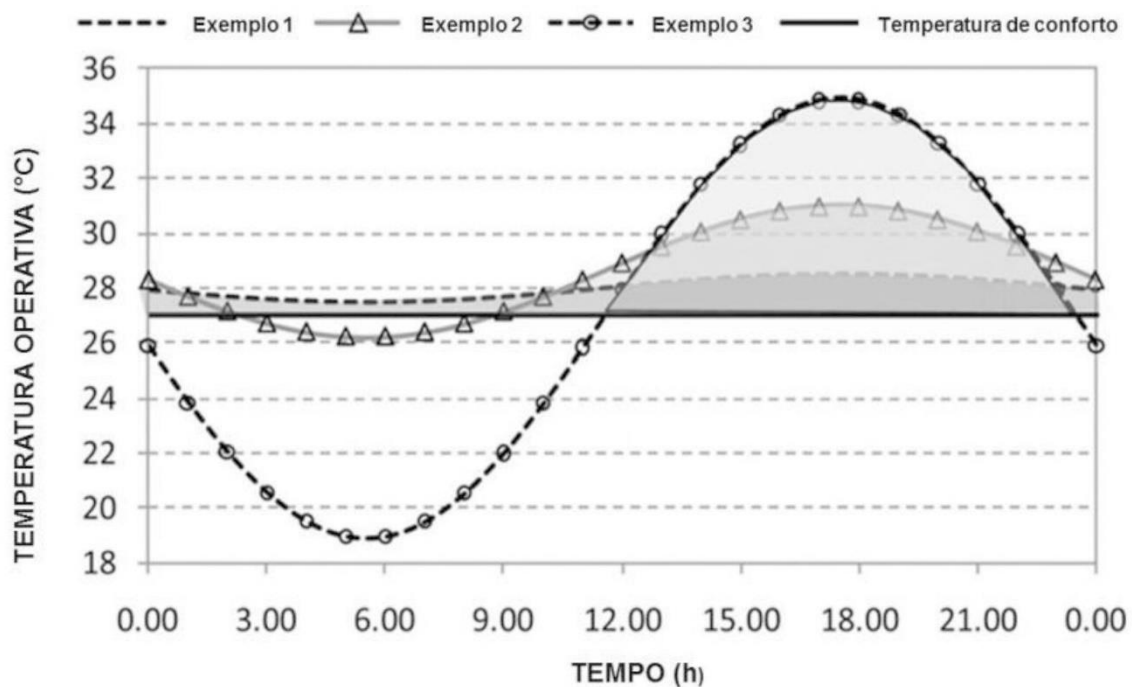
Ao longo das análises serão demonstrados os efeitos de cada uma dessas tipologias e suas correlações com a intensidade de radiação solar recebida e as temperaturas internas que se conseguiram chegar.

### 3.7 INDICADORES GRAUS-HORA

O GhDT (Graus-horas de Desconforto Térmico), é determinado pela diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de conforto quando a temperatura operativa ultrapassa o valor definido da temperatura de conforto estabelecida para o mês em estudo, segundo Rodrigues et. Al (2015).

Na figura 3.28, ilustra-se a situação de abrandamento da curva de temperatura desconfortável. A atenuação da curva de desconforto como resultado do coletor solar proposto neste estudo resulta na diminuição do desconforto por baixas temperaturas.

Figura 3.28: Análise das flutuações da temperatura operativa para o período de 24 horas



Fonte: adaptado de Sicurella, Evola e Wurtz, 2012.

Esta foi, então, a primeira análise feita no sistema solar proposto. O somatório dos graus-hora dá um total de graus-dia, ou seja, a quantia de temperatura que se ganhou ao longo de um período de 24 horas.

Realizou-se para cada hora do dia, a diferença de temperatura externa pela interna, somando-se os resultados. Este valor será o ganho de calor em graus-hora que a edificação alcançou.

### 3.8 RENDIMENTO DO SISTEMA SOLAR PASSIVO DE AQUECIMENTO DE AR

Todos os sistemas ou máquinas, para realizar um trabalho, precisam de uma quantidade de energia por unidade de tempo. Entretanto, nem toda a energia é utilizada na realização de sua tarefa, sendo uma parte dissipada.

O rendimento do sistema é a resposta em porcentagem da sua eficiência, ou seja, é a relação da potência útil pela potência total, sendo de fundamental importância averiguar qual é o rendimento deste sistema solar passivo de aquecimento de ar para concluir a validade de sua aplicação no clima em que foi inserido.

Para o cálculo de rendimento do sistema solar proposto, divide-se o somatório da energia calorífica que foi insuflada no dormitório durante o período de um dia, pelo somatório de radiação solar que o coletor solar recebeu neste mesmo dia, dada pela equação 01

$$R = \frac{\sum Q}{\sum Rad} \quad (01)$$

Onde:

R = Rendimento do sistema (%)

$\sum Q$  = Somatório de Energia insuflada no período de um dia (KJh)

$\sum Rad$  = Somatório de radiação solar recebida pelo sistema solar no período de um dia (KJ)

#### 3.8.1 Radiação Solar recebida pelo Coletor Solar

Para averiguar esta primeira análise de rendimento do SSPAA, precisa-se primeiramente saber o quanto de radiação solar incide no coletor solar ao longo do dia. Os dados de radiação solar global horizontal foram coletados através do INMET e convertidos em radiação solar sobre superfície inclinada a partir dos coeficientes obtidos através do programa Radiasol, como descrito no item 3.2.2.

Multiplica-se, então, a radiação solar inclinada pela área do fechamento superior do coletor solar, que é de vidro. Estes dados estão tabelados com médias horárias no período de 24 horas dos dias em estudo. Finaliza-se esta etapa fazendo o somatório da radiação recebida pelo painel ao longo do dia.

### 3.8.2 Energia Calorífica transmitida do Coletor solar ao dormitório

O coletor solar além de captar e armazenar a energia solar, também transmite este ar quente para dentro do ambiente ao qual se conecta. Esta movimentação natural do ar, vai proporcionar gradativamente o aumento da temperatura e maior aproximação da zona de conforto no período de inverno.

Para quantificar o que o coletor solar insufla de carga térmica para dentro do dormitório, utiliza-se a fórmula:

$$Q = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T \cdot 3600 \quad (2)$$

Onde:

Q= Energia Térmica (KJh)

V = Velocidade do vento x Área dos orifícios de entrada de ar quente (m/s)

$\rho$ = massa específica do ar (Kg/m<sup>3</sup>)

c = calor específico do ar (KJ/(Kg.K))

$\Delta T$  = Diferença de temperatura da entrada de ar quente no dormitório e temperatura interna do quarto (°C)

### 3.8.3 Rendimento em Relação à Radiação Solar recebida pelo Coletor Solar

O primeiro rendimento analisado do SSPAA será averiguado em função da radiação solar recebida pelo coletor solar, ou seja, é a relação entre a energia transmitida pela energia solar recebida.



### 3.8.4 Rendimento em relação à Radiação Solar transmitida pelo fechamento de Vidro

A segunda análise de rendimento realizada no SSPAA é em relação à radiação solar transmitida pelo vidro, ou seja, em relação à fração da radiação solar total que penetrou no coletor solar. Pode-se, então, fazer um comparativo entre os rendimentos em função da radiação solar incidente e radiação solar transmitida, verificando como se comporta sua eficiência.

#### 3.8.4.1 Fechamento de Vidro Simples

Obtém-se o rendimento do SSPAA em relação à quantidade de Radiação Solar transmitida pelo fechamento de vidro simples através dos ângulos de incidência solar para cada hora do dia, conforme Santos (2008, p. 49)

Sabendo-se os ângulos de incidência solar ao longo do dia, precisa-se saber o fator solar do vidro para cada ângulo. A tabela 3.2 apresenta o fator solar para incidência normal para vidro incolor de 4 mm, como o usado no fechamento superior do coletor solar. A partir desse valor é calculado o fator solar para qualquer ângulo, usando-se coeficiente de correção, conforme Santos (2012).

Tabela 3.2: Fator Solar normal (FS<sub>normal</sub>) para vidros comuns, policarbonatos e acrílico.

MATERIAL	COR	GRUPO	ESPESSURA (mm)				
			2	4	6	8	10
			FS	FS	FS	FS	FS
VIDROS COMUNS	Incolor	1	0,88	0,86	0,84	0,83	0,81
	Verde	1	0,81	0,74	0,68	0,63	0,59
	Bronze	1	0,81	0,73	0,68	0,63	0,59
	Cinza	1	0,79	0,71	0,64	0,59	0,55
	Azul	1	0,76	0,67	0,60	0,55	0,51
POLICARBONATOS	Incolor	1	0,85	0,84	0,82	0,81	0,80
	Verde	1	0,83	0,79	0,76	0,72	0,69
	Bronze	1	0,78	0,71	0,65	0,60	0,56
	Cinza	1	0,73	0,63	0,56	0,50	0,46
	Azul	1	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71
ACRÍLICO INCOLOR		1	0,88	0,87	0,86	0,86	0,85

Fonte: (Santos, 2012, p. 10) .

O fator de correção para qualquer ângulo solar, obtido na tabela 3.3, é multiplicado pelo fator solar normal, obtendo-se o fator solar para o ângulo de incidência de radiação solar a cada hora.

A quantidade de calor solar que entra através do vidro para o interior do coletor solar é obtida multiplicando-se a radiação solar incidente a cada hora pelo Fator Solar correspondente ao ângulo de incidência.

Tabela 3.3: Valores de FSreal e FSrel médio para os materiais do grupo 1

ÂNGULO	FATOR SOLAR Relativo - GRUPO 1										
	VIDROS COMUNS							REFLETIVOS PIROLÍTICOS			
	Incolor	Incolor	Incolor	Verde	Cinza	Bronze	Azul	Verde	Bronze	Cinza	Prata
	3 mm	5 mm	8 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm	6 mm	6 mm	6 mm	4 mm
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99	1,00
30	0,99	0,98	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	1,00	0,97	0,97	0,99
40	0,98	0,97	0,97	0,96	0,95	0,96	0,95	0,95	0,95	0,94	0,97
50	0,94	0,94	0,94	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,89	0,94
60	0,89	0,89	0,88	0,86	0,87	0,87	0,86	0,84	0,86	0,84	0,90
70	0,75	0,76	0,75	0,73	0,73	0,73	0,73	0,72	0,74	0,73	0,77
80	0,48	0,48	0,47	0,46	0,47	0,47	0,47	0,45	0,46	0,46	0,48

Fonte: (Santos, 2012, p.5) .

### 3.8.4.2 Fechamento de Vidro Duplo

Para o fechamento de vidro duplo, se pega o índice de transparência do vidro, tabela 3.4, e multiplica-se pela radiação solar recebida, utilizando-se o ângulo de incidência solar para cada hora do dia específico em que os dados foram coletados.

Tabela 3.4: Características Óticas para ângulos de incidência Variados: vidros comuns.

Material	Ângulo	Refletância (%)				Transmitância(%)			
		UV	Vis	IV	Total	UV	Vis	IV	Total
		300 a 380 nm	380 a 780 nm	780 a 2000 nm	300 a 2000 nm	300 a 380 nm	380 a 780 nm	780 a 2000 nm	300 a 2000 nm
Vidro comum: incolor 3 mm (01)	0	10	10	10	10	74	89	82	85
	10	10	10	10	10	74	89	82	85
	20	10	10	10	10	72	89	82	85
	30	12	11	10	11	72	88	81	84
	40	13	11	13	12	69	85	80	83
	50	17	15	16	15	63	81	78	80
	60	22	19	20	19	60	75	74	75
	70	35	28	36	31	45	62	64	63
	80	58	53	56	55	28	37	41	39

Fonte: (Santos, 2002, p 151).

Posteriormente, utiliza-se o produto da transparência multiplicada pela radiação solar e faz-se o mesmo procedimento descrito no item anterior, onde é utilizado o fator solar normal e multiplicado pelo fator solar relativo, para então multiplicar-se pela radiação solar. Desta forma, obtém-se a quantidade de calor que foi transmitida para dentro do sistema solar através do fechamento com vidro duplo.

### 3.8.5 Rendimento em relação à Carga Térmica do Quarto

O cálculo de rendimento em relação à carga térmica é a relação entre o que foi insuflado de calor para o dormitório durante o dia, pela carga térmica<sup>1</sup> do dormitório durante o dia:

$$\boxed{R_{ct} = \frac{\sum Q}{\sum C_t}} \quad (3)$$

Onde :

$R_{ct}$  = Rendimento em relação à carga térmica (%)

$\sum Q$  = Energia que foi insuflada no período de um dia (KJh)

$\sum C_t$  = Carga térmica de calefação da edificação no período de um dia típico de inverno (KJh)

### 3.8.6 Análise comparativa entre resultados

Para finalizar as análises, será feito uma tabela comparativa entre os resultados obtidos com o fechamento superior de vidro simples e com o fechamento de vidro duplo. Desta forma, haverá embasamento para avaliar a viabilidade de aplicação deste sistema solar na zona bioclimática 2 brasileira.

---

<sup>1</sup> A carga térmica foi obtida através de simulação computacional, como se refere no item 3.4.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

As medições no protótipo do SSPAA contemplaram duas tipologias distintas. Na primeira delas o fechamento superior do sistema se deu por uma esquadria de alumínio com vidro simples incolor (4mm). Já na segunda, o fechamento se deu por uma esquadria de alumínio com vidros duplos, incolores, 4mm, espaçados em câmara de ar de 2mm (4mm + 2mm + 4mm). Essas duas tipologias foram selecionadas para que se pudesse perceber as diferenças nos ganhos térmicos de uma para a outra e qual das duas teria mais vantagem térmica e economicamente.

Este capítulo é destinado à análise dos resultados referentes ao sistema solar passivo de aquecimento de ar por ganho isolado de calor proposto nesta dissertação.

### 4.1 SISTEMA SOLAR PASSIVO COM FECHAMENTO DE VIDRO SIMPLES

Este item contempla as análises dos resultados do sistema solar passivo de aquecimento de ar com a tipologia de vidro simples, incolor, 4mm. Os dados são referentes ao dia 25 de maio de 2018, sendo ele o terceiro dia consecutivo com as mesmas características climáticas, como sugere a norma NBR 15575, procedimento 2, o qual determina sobre medições *in loco*.

#### 4.1.1 Análises de Temperatura

A primeira análise foi referente às temperaturas internas e externas a que se chegaram com o uso do coletor solar na tipologia com fechamento de vidro simples. Na tabela 4.1 pode-se observar os valores de temperatura externa, interna e as diferenças de temperatura de uma para a outra. Através da figura 4.1 pode-se perceber que a amplitude térmica exterior é maior que a interior, onde se consegue manter a temperatura elevada por mais tempo.

Constatou-se, de acordo com o gráfico, que a temperatura externa começa a se elevar às 8 horas da manhã em virtude de ser o horário que inicia a incidência

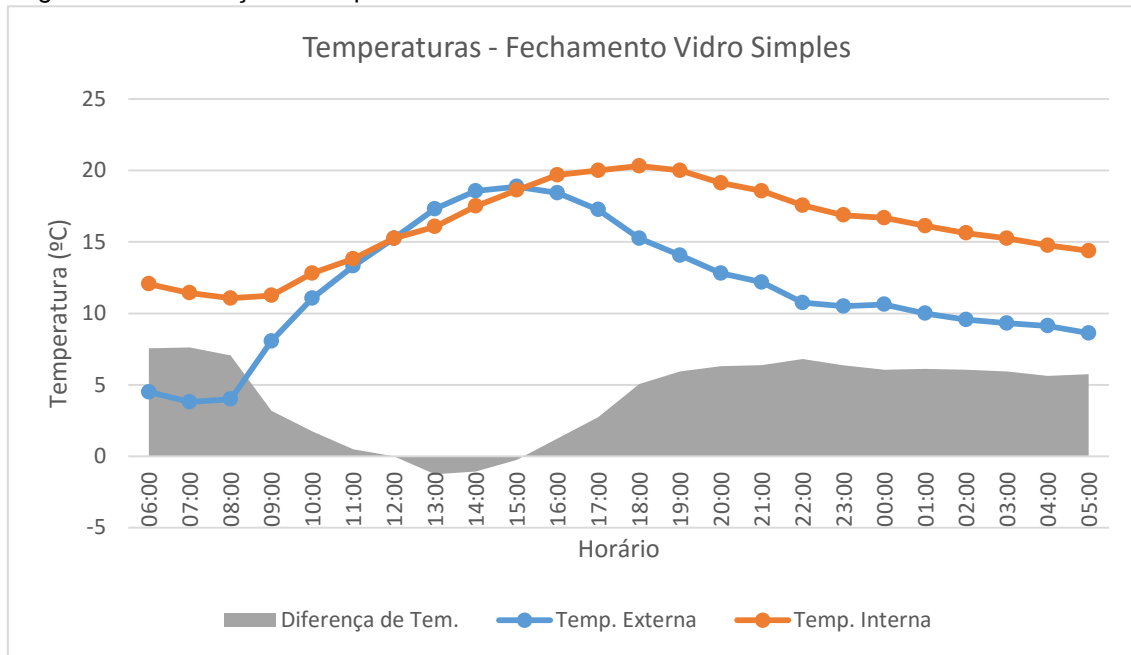
solar. Há, inclusive, um período entre 12:00h e 15:00h, que a temperatura externa fica mais elevada que a interna. Porém, a partir das 16:00h a temperatura interna se eleva e consegue se manter mais estável que a interna. Justifica-se tal fato pela ação do coletor solar e pelo seu preenchimento com pedras basalto, as quais possuem em suas características alto índice de inércia térmica, garantindo a maior constância nas temperaturas.

Tabela 4.1: Análise de temperaturas internas e externas com fechamento de vidro simples.

25/05/2018 - Fechamento de Vidro Simples			
Horário	Temp. Externa (°C)	Temp. Interna (°C)	Diferença de Tem. (°C)
06:00	4,5	12,06	7,56
07:00	3,81	11,43	7,62
08:00	4	11,06	7,06
09:00	8,06	11,25	3,19
10:00	11,06	12,81	1,75
11:00	13,31	13,81	0,5
12:00	15,25	15,25	0
13:00	17,31	16,06	-1,25
14:00	18,56	17,5	-1,06
15:00	18,87	18,62	-0,25
16:00	18,43	19,68	1,25
17:00	17,25	20	2,75
18:00	15,25	20,31	5,06
19:00	14,06	20	5,94
20:00	12,81	19,12	6,31
21:00	12,18	18,56	6,38
22:00	10,75	17,56	6,81
23:00	10,5	16,87	6,37
00:00	10,62	16,68	6,06
01:00	10	16,12	6,12
02:00	9,56	15,62	6,06
03:00	9,31	15,25	5,94
04:00	9,12	14,75	5,63
05:00	8,62	14,37	5,75
			Ganho em Graus/Hora $\Sigma = 101,55 \text{ } ^\circ\text{C}$

Fonte: (Autora).

Figura 4.1: Diferença de temperaturas interna e externa 25 de maio de 2018.



Fonte: (Autora).

#### 4.1.2 Análise de Indicadores de Graus Hora

A análise do ganho térmico em graus/hora, como referido anteriormente, foi concluído através do somatório das diferenças de temperaturas internas e externas ao longo de um período de 24 horas.

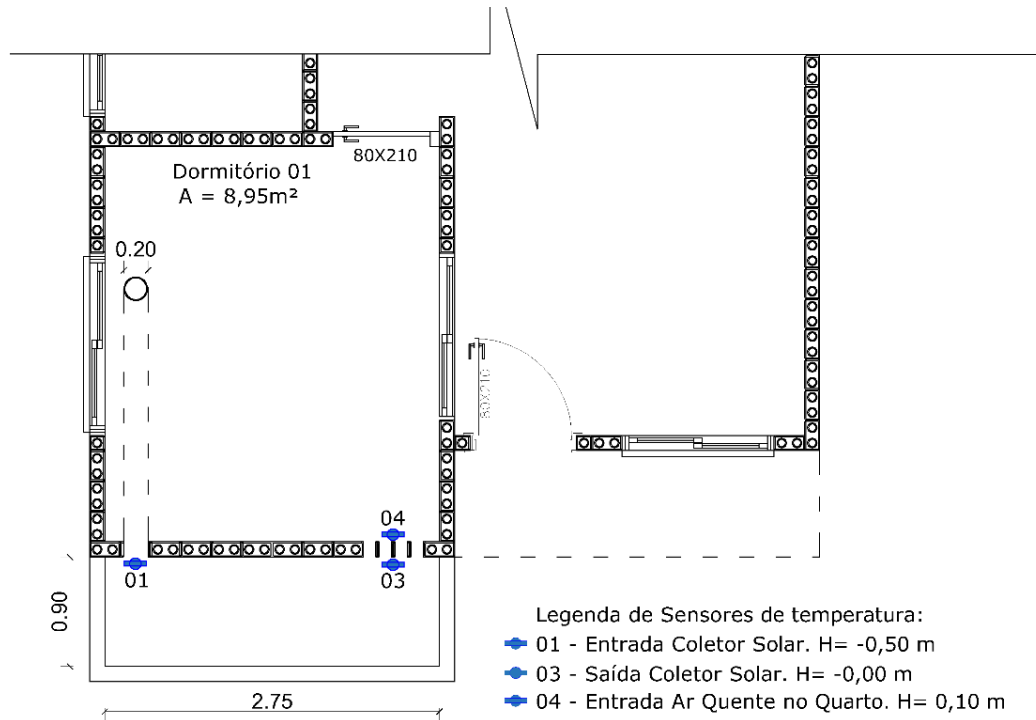
Para 25 de maio, dia em que foram obtidas as medidas necessárias para as análises com vidro simples, o somatório das diferenças de temperatura foi de 101,55, ou seja, a curva de amplitude térmica no interior do ambiente foi amenizada, diminuindo os graus-hora de desconforto térmico.

#### 4.1.3 Análise de Diferenças de Temperatura do Coletor Solar

Esta análise foi realizada a fim de averiguar o ganho térmico dentro do sistema solar passivo de aquecimento de ar. Para isso, utilizou-se a temperatura no

sensor 01, localizado na entrada do coletor solar, e a temperatura da entrada de ar quente no ambiente em estudo, sensor 04, conforme ilustra na figura 4.2.

Figura 4.2: Posicionamento dos sensores para análise de temperaturas do coletor solar.

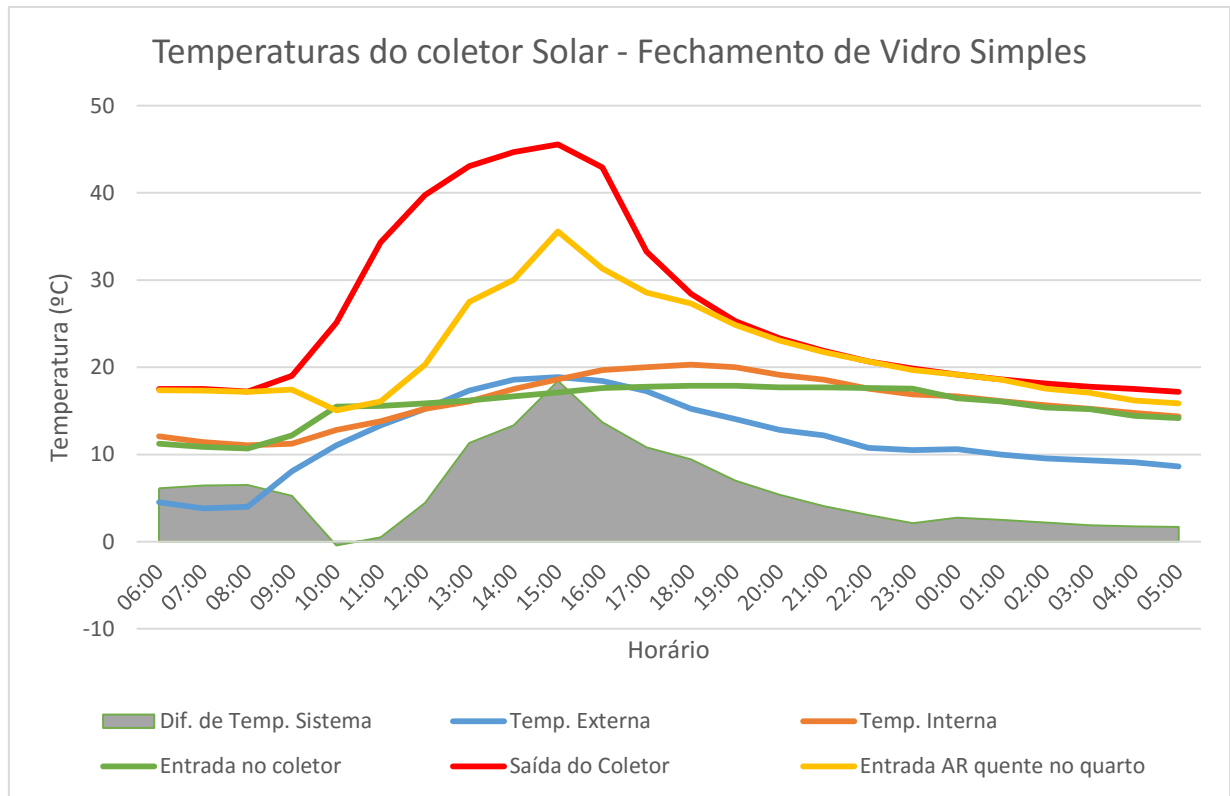


Fonte: (Autora).

Nota-se através da figura 4.3 que o ponto de maior temperatura encontra-se dentro do coletor solar, sensor 03, e que na transição entre a saída do coletor solar e a entrada de ar quente no dormitório há uma perda de carga térmica. A curva de temperatura do sensor 4 é inferior se comparada à curva de temperatura do sensor 3.

Observa-se que o somatório das diferenças de temperatura desde o início do percurso do sistema solar até o local aonde chega o ar quente no dormitório é  $140,24^\circ\text{C}$ , sendo este o valor de ganho térmico em graus/hora, uma vez que a avaliação foi feita apenas para o sistema fechado do coletor solar e o dormitório em estudo.

Figura 4.3: Temperaturas do coletor solar em 25 de maio de 2018.



Fonte: (Autora).

Tabela 4.2: Diferenças de temperatura do coletor solar em 25 de maio de 2018.

25/05/2018 - Fechamento de Vidro Simples				
	Entrada no coletor (sensor 01)	Saída do Coletor (sensor 03)	Entrada AR quente no quarto (sensor 04)	Dif. de Temp. Sistema
Horário	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
06:00	11,25	17,5	17,37	6,12
07:00	10,87	17,5	17,31	6,44
08:00	10,68	17,2	17,18	6,5
09:00	12,18	19	17,43	5,25
10:00	15,5	25,12	15,06	-0,44
11:00	15,56	34,31	16,06	0,5
12:00	15,87	39,75	20,31	4,44
13:00	16,18	43,06	27,5	11,32
14:00	16,68	44,68	30,02	13,34
15:00	17,12	45,56	35,56	18,44
16:00	17,62	42,93	31,31	13,69
17:00	17,75	33,25	28,56	10,81
18:00	17,87	28,43	27,31	9,44
19:00	17,87	25,31	24,87	7
20:00	17,68	23,31	23,06	5,38



Continua...

21:00	17,68	21,87	21,75	4,07
22:00	17,62	20,68	20,68	3,06
23:00	17,56	19,87	19,68	2,12
00:00	16,43	19,18	19,18	2,75
01:00	16,06	18,62	18,56	2,5
02:00	15,37	18,12	17,56	2,19
03:00	15,18	17,75	17,06	1,88
04:00	14,43	17,5	16,18	1,75
05:00	14,18	17,18	15,87	1,69
				$\Sigma = 140,24$

Fonte: (Autora).

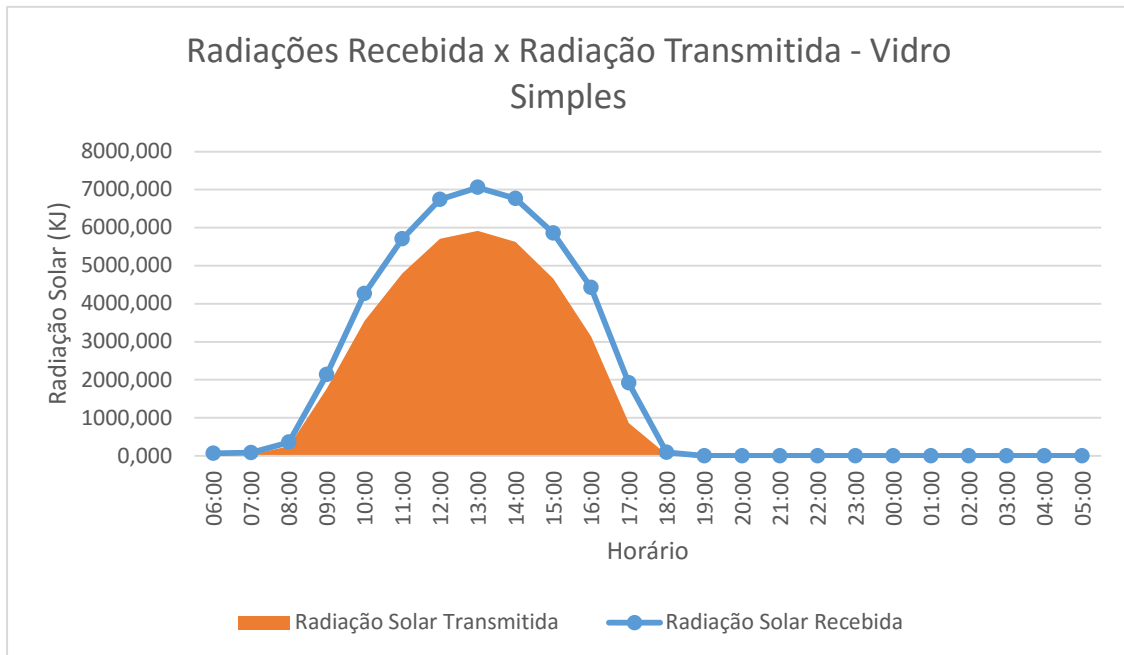
#### 4.1.4 Radiação Solar Recebida e Radiação Solar Transmitida

Os dados de radiação solar inclinada são obtidos na unidade de medida KJ/m<sup>2</sup>. No intuito de verificar o quanto de radiação solar incidiu no painel, fez-se o procedimento descrito no item 3.8.1, sendo seu resultado em KJ, conforme listado na tabela 4.4.

Do mesmo modo, para determinar o valor da radiação transmitida para dentro do coletor solar, ou seja, a quantidade dessa radiação que passou pelo vidro e foi convertida em energia térmica dentro do coletor solar, precisou-se fazer o procedimento descrito no item 3.8.2. Multiplicou-se, então, o resultado deste fator solar pela radiação recebida pelo painel, obtendo o valor de radiação solar transmitida pelo vidro, dados da tabela 4.3.

Através da figura 4.4, percebe-se que a radiação solar transmitida é inferior à radiação solar incidente no coletor solar, mas há uma proporcionalidade entre ambas.

Figura 4.4: Correlação entre as radiações solares recebidas e transmitidas – Fechamento de Vidro Simples



Fonte: (Autora).

Tabela 4.3: Dados de Radiação Solar Recebida e Transmitida para o fechamento de vidros simples.

Horário	Radiação Solar Inclinada	Radiação Solar Recebida	Radiação Solar Transmitida
	KJ/m <sup>2</sup>	(KJ)	(KJ)
06:00	27,031	66,901	27,617
07:00	32,814	81,215	36,498
08:00	144,118	356,693	253,073
09:00	861,722	2132,762	1765,287
10:00	1722,276	4262,633	3544,891
11:00	2303,106	5700,188	4794,314
12:00	2722,803	6738,937	5708,553
13:00	2850,444	7054,849	5915,491
14:00	2733,053	6764,306	5625,332
15:00	2365,756	5855,246	4657,848
16:00	1787,692	4424,538	3139,210
17:00	773,752	1915,037	860,621
18:00	36,923	91,384	37,723
19:00	0,000	0,000	0,000
20:00	0,000	0,000	0,000
21:00	0,000	0,000	00,00
22:00	0,000	0,000	0,000
3:00	0,000	0,000	0,000

Continua...

00:00	0,000	0,000	0,000
01:00	0,000	0,000	0,000
02:00	0,000	0,000	0,000
03:00	0,000	0,000	0,000
04:00	0,000	0,000	0,000
05:00	0,000	0,000	0,000
	$\Sigma = 18.361,49$	$\Sigma = 45.444,69$	$\Sigma = 36.366,46$

Fonte: (Autora).

#### 4.1.5 Análise de Energia Calorífica Insuflada no Dormitório

A fim de calcular a quantidade de calor que é transmitida para o ambiente em estudo, coletou-se as medidas de velocidade do vento, em m/s. Multiplicou-se esta velocidade pela área dos quatro orifícios por onde o ar quente passa para entrar no dormitório, que é 0,0314 m<sup>2</sup>, obtendo-se o volume de ar. O produto desta multiplicação se deu em m<sup>3</sup>/s, tabela 4.4.

A obtenção da quantidade de calor insuflado foi feita através da equação descrita no item 3.8.2.

Os valores de velocidade do vento, volume de ar insuflado e energia calorífica acrescentada estão listados na tabela 4.4. O total de calor transmitidas no dormitório no período de 24 horas, no dia 25 de maio de 2018, foi 17.750,41 KJh.

Tabela 4.4: Dados de Velocidade do Vento, Volume de Ar, Energia Calorífica Insuflada no dormitório e dados de renovação do ar.

Horário	Vel. Vento	Volume AR (m <sup>3</sup> /s)	Energia Calorífica insuflada	Renovação do AR no quarto
	(m/s)	(0,0314 x V)	(KJh)	(rena/h)
06:00	0,06	0,00188	52,0714	0,304
07:00	0,09	0,00283	82,1911	0,455
08:00	0,12	0,00377	110,6092	0,607
09:00	0,12	0,00377	89,3382	0,607
10:00	0,12	0,00377	-7,4874	0,607
11:00	0,19	0,00590	13,4716	0,961
12:00	1	0,03140	629,6215	5,059

Continua...

13:00	0,97	0,03046	1557,0937	4,907
14:00	1,7	0,05338	3215,8911	8,600
15:00	1,94	0,06092	5072,9342	9,815
16:00	2	0,06280	3882,6659	10,118
17:00	1,1	0,03454	1686,2228	5,565
18:00	0,5	0,01570	669,3274	2,530
19:00	0,29	0,00911	287,8675	1,467
20:00	0,27	0,00848	205,9883	1,366
21:00	0,09	0,00283	51,9438	0,455
22:00	0,09	0,00283	39,0536	0,455
23:00	0,07	0,00219	21,0441	0,354
00:00	0,06	0,00188	23,3981	0,304
01:00	0,06	0,00188	21,2710	0,304
02:00	0,05	0,00157	15,5278	0,253
03:00	0,05	0,00157	13,3298	0,253
04:00	0,03	0,00094	7,4448	0,152
05:00	0,04	0,00126	9,5861	0,202
			$\Sigma = 17.750,41$	55,70

Fonte: (Autora).

#### 4.1.6 Análise de Rendimento do SSPAA – Fechamento de Vidro Simples

Com o objetivo de aferir qual o rendimento do SSPAA com o fechamento de vidro simples em função da Radiação Solar Recebida, foi usada a equação referenciada no item 3.8, dividindo-se o valor de carga térmica transmitida pelo somatório de radiação solar recebida pelo painel, chegando-se a um valor de 39,06%.

$$R = \frac{17.750,41}{45.444,69} \times 100 \quad \longrightarrow \quad R = 39,06\%$$

Na análise de rendimento em função da radiação solar transmitida, para encontrar a porcentagem de rendimento do SSPAA do fechamento de vidro simples, divide-se o valor de carga térmica insuflada no ambiente estudado pelo somatório de radiação solar transmitida para painel, chegando-se a de 48,81%.

$$R = \frac{17.750,41}{36.666,46} \times 100 \quad \rightarrow \quad R = 48,81\%$$

Percebe-se que se considerar a radiação solar transmitida pelo vidro, o rendimento do SSPAA se eleva 9,75%, uma vez que é considerada a porcentagem de radiação solar que realmente foi convertida em carga térmica no interior do coletor solar.

Através de simulação computacional no software EnergyPlus foi calculada a carga térmica de calefação necessária ao ambiente estudado e se encontrou um valor de 29.938,97 KJ. O rendimento em função da carga térmica é a divisão da carga energética insuflada pelo total de carga térmica que o ambiente necessita. Desta forma, o rendimento encontrado foi 59,29%.

$$R = \frac{17.750,41}{29.938,97} \times 100 \quad \rightarrow \quad R = 59,29\%$$

Este resultado indica que o calor insuflado pelo painel foi insuficiente à carga térmica de calefação, resultado que é observado nas temperaturas internas do dormitório, pois embora sejam superiores as externas, estão abaixo das temperaturas de conforto para o inverno, 18°C, em diversos horários do dia, conforme tabela 4.1.

Na tabela 4.5 são listados os dados das três formas de rendimento calculadas, o ganho em graus/hora e o número de renovações de ar a que se conseguiram chegar.

Tabela 4.5: Rendimento do SSPAA em relação à radiação Recebida.

<b>Radiação Solar Recebida (KJ)</b>	<b>Energia Transmitida (KJh)</b>	<b>Rendimento (%)</b>
45.444,69	17.750,41	39,06
<b>Radiação Solar Transmitida (KJ)</b>	<b>Energia Transmitida (KJh)</b>	<b>Rendimento (%)</b>
36.366,46	17.750,41	48,81
<b>Carga Térmica (KJ)</b>	<b>Energia Transmitida (KJh)</b>	<b>Rendimento (%)</b>
29.938,97	17.750,41	59,29
<b>Ganho em Graus-dia (Pela Diferença de Temperatura Interna e Externa)</b>		
101,55 °C		
<b>Renovação do AR</b>		
55,70		

Fonte: (Autora, 2018).

Constatou-se que considerando a radiação solar recebida pelo coletor, o rendimento do SSPAA é de 39,06%, mas considerando-se a radiação solar transmitida o rendimento se eleva para 48,81% e tratando-se do rendimento em relação à carga térmica de calefação do ambiente estudado, o rendimento cresce para 59,29%. Na avaliação de temperaturas, o ganho em graus-hora para a tipologia 01 é de 101,55°C, e a renovação do ar acontece 55,70 vezes ao longo do período de 24 horas.

## 4.2 SISTEMA SOLAR PASSIVO COM FECHAMENTO DE VIDRO DUPLO

Este item contempla as análises dos resultados do sistema solar passivo de aquecimento de ar com a tipologia 02, ou seja, sendo o fechamento superior uma esquadria de alumínio e vidro duplo, com a estruturação de 4mm + 2mm + 4mm, sendo 2mm a câmara de ar.

Os dados são referentes ao dia 17 de junho de 2018, sendo ele o terceiro dia consecutivo com as mesmas características climáticas.

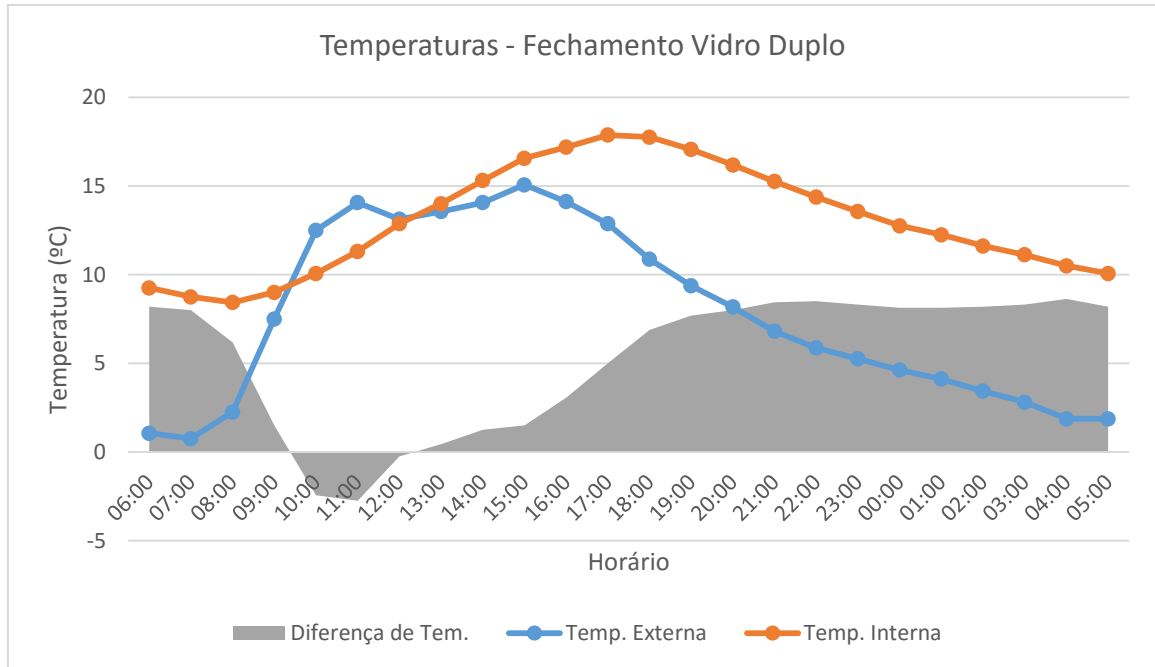
### 4.2.1 Análises de Temperatura

Assim como no caso do vidro simples, a primeira análise foi referente as temperaturas internas e externas a que se chegaram com o uso do coletor solar. Através da figura 4.5, percebe-se que a amplitude térmica exterior é elevada se comparada a interior, onde se consegue manter a temperatura por mais tempo. A tabela 4.6 apresenta os valores de temperatura externa, interna e a diferença de temperatura entre elas.

Constatou-se, de acordo com o gráfico, que a temperatura externa começa a se elevar às 8 horas da manhã, em virtude de ser o horário em que inicia a incidência solar no coletor solar. Houve um período entre 09:00h e 12:00h, que a temperatura externa fica mais elevada que a interna. Porém, a partir das 13:00h a temperatura interna se eleva e consegue maior estabilidade que a externa. Isso se

comprova pela ação da inércia térmica do coletor solar e das pedras basalto que o preenchem.

Figura 4.5: Análise de temperaturas internas e externas com fechamento de vidro duplo.



Fonte: (Autora).

Tabela 4.6: Diferença de temperaturas interna e externa 17 de junho de 2018.

17/06/2018 - Fechamento de Vidro Duplo			
Horário	Temp. Externa	Temp. Interna	Diferença de Tem.
	°C	°C	°C
06:00	1,06	9,25	8,19
07:00	0,75	8,75	8
08:00	2,25	8,43	6,18
09:00	7,5	9	1,5
10:00	12,5	10,06	-2,44
11:00	14,06	11,31	-2,75
12:00	13,12	12,87	-0,25
13:00	13,56	14	0,44
14:00	14,06	15,31	1,25
15:00	15,06	16,56	1,5
16:00	14,12	17,18	3,06
17:00	12,87	17,87	5
18:00	10,87	17,75	6,88
19:00	9,37	17,06	7,69
20:00	8,18	16,18	8

Continua...

21:00	6,81	15,25	8,44
22:00	5,87	14,37	8,5
23:00	5,25	13,56	8,31
00:00	4,62	12,75	8,13
01:00	4,12	12,25	8,13
02:00	3,43	11,62	8,19
03:00	2,81	11,12	8,31
04:00	1,87	10,5	8,63
05:00	1,87	10,06	8,19
			Ganho em Graus/Hora $\Sigma = 127,08 \text{ }^\circ\text{C}$

Fonte: (Autora).

#### 4.2.2 Análise de Indicadores de Graus Hora

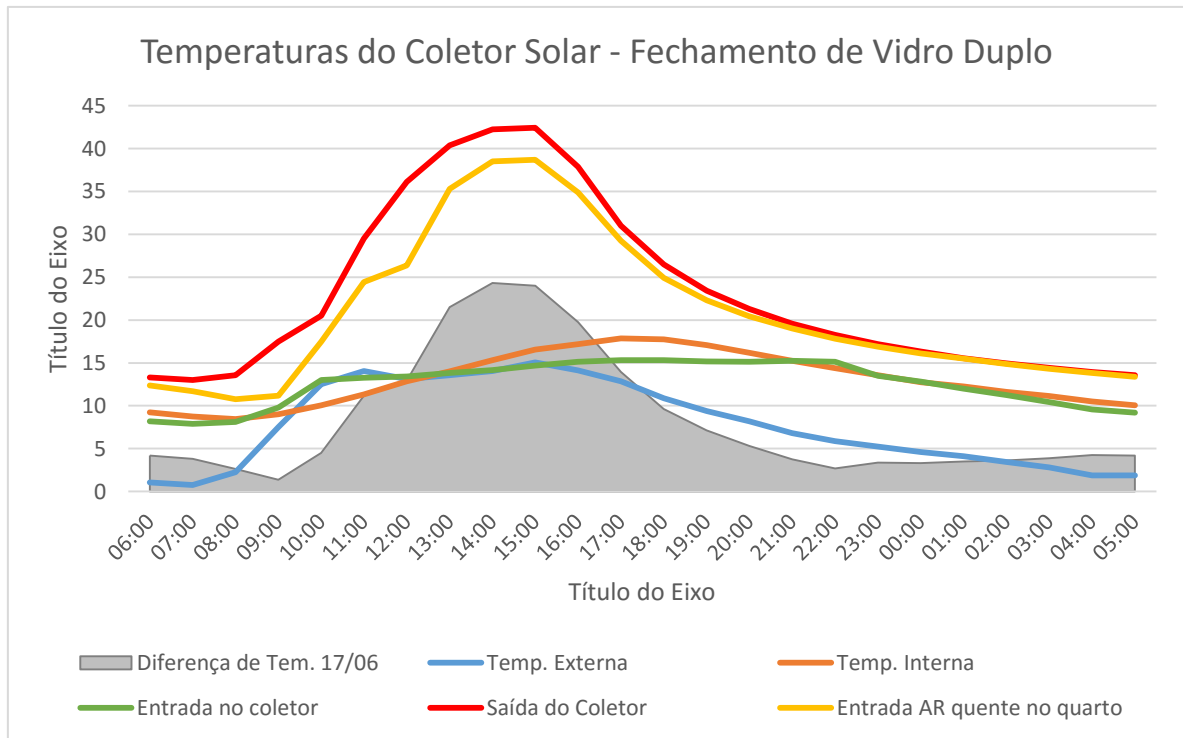
A análise do ganho térmico em graus-hora para o dia 25 de maio de 2018 foi de 127,08°C., constatando-se que a curva térmica do interior do ambiente foi amenizada, diminuindo em graus-hora o nível de desconforto térmico.

#### 4.2.3 Análise de Diferenças de Temperatura do Coletor Solar

Realizou-se esta análise a fim de averiguar qual o ganho térmico dentro do sistema solar passivo de aquecimento de ar. Para isso, observou-se a temperatura no sensor 01, localizado na entrada do coletor solar, e a temperatura da entrada de ar quente no ambiente em estudo, sensor 04, obtendo-se os resultados ilustrados na figura 4.6 e tabela 4.7.



Figura 4.6: Temperaturas do coletor solar em 17 de junho de 2018.



Fonte: (Autora).

Percebe-se que o ponto de maior temperatura se encontra na saída de ar quente do coletor solar. Há uma perda térmica na transição entre a saída do coletor solar e entrada de ar quente no ambiente em estudo. Fato comprovado pelas diferenças de temperatura expostas na figura 4.6 e na tabela 4.7.

As diferenças de temperatura entre a saída do coletor solar e a entrada de ar quente no recinto, ocorrem entre 07:00h e 19:00h. Já no período da noite, com ausência de radiação solar, as temperaturas dos sensores 03 e 04 se mantêm iguais e superiores a temperatura do sensor 01.

Observa-se que o somatório das diferenças de temperatura desde o início do percurso do sistema solar, até o local aonde chega o ar quente no dormitório é 198,75 °C, sendo este o valor de ganho térmico em graus-hora na tipologia 02.

Tabela 4.7: Diferenças de temperatura no interior do coletor solar em 17 de junho de 2018.

17/06/2018 - Fechamento de Vidro Duplo				
Horário	Entrada no coletor	Saída do Coletor	Entrada AR quente no quarto	Diferença de Tem. 17/06
	°C	°C	°C	°C
06:00	8,18	13,31	12,37	4,19
07:00	7,87	13	11,68	3,81
08:00	8,12	13,56	10,75	2,63
09:00	9,81	17,5	11,18	1,37
10:00	13	20,5	17,5	4,5
11:00	13,25	29,5	24,43	11,18
12:00	13,43	36,12	26,37	12,94
13:00	13,81	40,37	35,31	21,5
14:00	14,18	42,25	38,5	24,32
15:00	14,68	42,43	38,68	24
16:00	15,12	37,87	34,87	19,75
17:00	15,31	31	29,25	13,94
18:00	15,31	26,5	24,93	9,62
19:00	15,18	23,43	22,31	7,13
20:00	15,12	21,31	20,43	5,31
21:00	15,25	19,56	19	3,75
22:00	15,12	18,25	17,81	2,69
23:00	13,5	17,18	16,87	3,37
00:00	12,81	16,31	16,12	3,31
01:00	12	15,56	15,5	3,5
02:00	11,25	14,93	14,87	3,62
03:00	10,43	14,43	14,31	3,88
04:00	9,56	13,93	13,81	4,25
05:00	9,18	13,56	13,37	4,19
				$\Sigma = 198,75 \text{ }^{\circ}\text{C}$

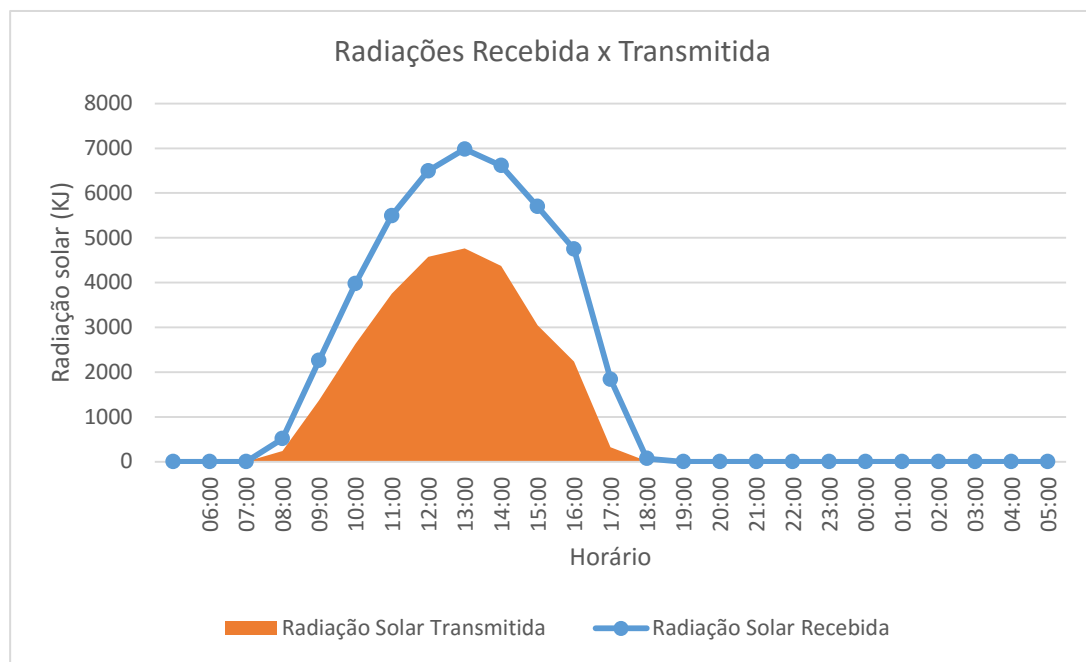
Fonte: (Autora).

#### 4.2.4 Radiação Solar Recebida e Radiação Solar Transmitida

Os dados de radiação solar inclinada são obtidos na unidade de medida KJ/m<sup>2</sup>. Multiplica-se esses valores pela área do vidro do fechamento superior do coletor solar, obtendo-se os resultados em KJ, demonstrado na tabela 4.8. Estes valores são referentes aos níveis de radiação solar que o coletor solar recebeu em um período de 24h. A radiação solar que é transmitida para o interior do coletor solar é calculada conforme descrito no item 3.8.

Através da figura 4.7 e tabela 4.8, percebe-se a relação entre a radiação solar transmitida a radiação solar incidente no coletor solar, e a proporcionalidade entre ambas. Nota-se, também, que se comparada ao vidro simples, a incidência solar transmitida pelo vidro duplo é inferior ao caso do vidro simples, resultado obtido pelo maior nível de estanqueidade e maior percurso da radiação solar no vidro duplo.

Figura 4.7: Correlação entre as radiações solares recebidas e transmitidas – Vidro Duplo



Fonte: (Autora).

Tabela 4.8: Radiação Solar Recebida e Transmitida – Vidro Duplo

Horário	Radiação Solar Inclinada	Radiação Solar Recebida	Radiação Solar Transmitida
	KJ/m <sup>2</sup>		
06:00	0	0,00	0
07:00	0	0,00	0
08:00	206,8000	511,83	238,227
09:00	912,0080	2257,22	1366,761
10:00	1606,7070	3976,60	2628,086
11:00	2219,5126	5493,29	3753,233
12:00	2624,3030	6495,15	4575,799
13:00	2821,2219	6982,52	4763,887
14:00	2672,3580	6614,09	4371,622
15:00	2302,2238	5698,00	3047,292
16:00	1917,5000	4745,81	2235,454

17:00	743,5525	1840,29	322,481
18:00	28,0238	69,36	11,401
19:00	0	0,00	0
20:00	0	0,00	0
21:00	0	0,00	0
22:00	0	0,00	0
23:00	0	0,00	0
00:00	0	0,00	0
01:00	0	0,00	0
02:00	0	0,00	0
03:00	0	0,00	0
04:00	0	0,00	0
05:00	0	0,00	0
	$\Sigma = 18.054,2106$	$\Sigma = 44.684,17$	$\Sigma = 27.314,24$

Fonte: (Autora).

#### 4.2.5 Análise de Energia Calorífica Transmitida no Dormitório

A fim de quantificar a quantidade de calorías insuflada no ambiente em estudo, utilizou-se o mesmo procedimento usado com vidro simples, item 4.1.5, chegando-se a um valor, para o dia 17 de junho de 2018, de 22.533,02 KJh.

Tabela 4.9: Dados de Velocidade do Vento, Volume de Ar e Energia Calorífica Insuflada – Vidro Duplo

Horário	Vel. Vento	Volume AR (m³/s)	Energia Calorífica insuflada no Quarto	Renovação do AR no quarto
	(m/s)	(0,0314 x V)	(KJh)	(ren/h)
06:00	0,14	0,0044	83,1838	0,708
07:00	0,11	0,0035	59,4312	0,556
08:00	0,11	0,0035	41,0247	0,556
09:00	0,12	0,0038	23,3130	0,607
10:00	0,11	0,0035	70,1943	0,556
11:00	0,17	0,0053	267,2827	0,853
12:00	0,95	0,0298	1743,2291	4,806
13:00	0,95	0,0298	2896,4007	4,806
14:00	1,48	0,0465	5104,1317	7,487
15:00	1,5	0,0471	5105,0392	7,589
16:00	1,3	0,0408	3640,8856	6,577
17:00	0,9	0,0283	1779,1062	4,553

18:00	0,42	0,0132	572,9556	2,125
19:00	0,32	0,0100	323,5460	1,619
20:00	0,28	0,0088	210,8381	1,417
21:00	0,1	0,0031	53,1775	0,506
22:00	0,08	0,0025	30,5168	0,405
23:00	0,12	0,0038	57,3466	0,607
00:00	0,14	0,0044	65,7132	0,708
01:00	0,16	0,0050	79,4117	0,809
02:00	0,15	0,0047	77,0010	0,759
03:00	0,17	0,0053	93,5357	0,860
04:00	0,15	0,0047	90,4017	0,759
05:00	0,11	0,0035	65,3587	0,556
			$\Sigma = 22.533,02$	50,79

Fonte: (Autora).

#### 4.2.6 Análise de Rendimento do SSPAA

Através do cálculo de rendimento em função da radiação solar, com fechamento de vidros duplos, chegou-se a um valor de 50,42%.

$$R = \frac{22.533,02}{44.684,17} \times 100 \quad \Rightarrow \quad R = 50,42\%$$

Para encontrar a percentagem de rendimento do SSPAA do fechamento de vidros duplos em função da radiação solar transmitida, divide-se o valor de carga térmica insuflada no ambiente estudado pelo somatório de radiação solar transmitida para painel, chegando-se a de 82,50%

$$R = \frac{22.533,02}{27.314,24} \times 100 \quad \Rightarrow \quad R = 82,50\%$$

Percebe-se que se considerar a radiação solar transmitida pelo vidro, o rendimento do SSPAA se eleva 32,08%. Justifica-se tal aumento no rendimento pois

a radiação solar transmitida para dentro do coletor solar é inferior a radiação que incide sobre ele. Através de simulação computacional no software EnergyPlus foi calculada a carga térmica de calefação necessária ao ambiente estudado e se encontrou um valor de 29.938,97 KJ. O rendimento em função da carga térmica é a divisão da carga energética insuflada pelo total de carga térmica que o ambiente necessita. Desta forma, o rendimento encontrado foi 75,26%.

$$R = \frac{22.533,02}{29.938,97} \times 100 \quad \rightarrow \quad R = 75,26\%$$

Este resultado indica que o calor insuflado pelo painel foi insuficiente à carga térmica de calefação, resultado que é observado nas temperaturas internas do dormitório, pois embora sejam superiores as externas, estão abaixo das temperaturas de conforto para o inverno, 18°C, em diversos horários do dia, conforme tabela 4.6.

Na tabela 4.10 são listados os dados das três formas de rendimento calculadas, o ganho em graus/hora e o número de renovações de ar a que se conseguiram chegar.

Tabela 4.10: Comparativo entre resultados de vidros duplos.

<b>Radiação Solar Recebida (KJ)</b>	<b>Energia Transmitida (KJh)</b>	<b>Rendimento (%)</b>
44.684,17	22.533,02	50,43
<b>Radiação Solar Transmitida (KJ)</b>	<b>Energia Transmitida (KJh)</b>	<b>Rendimento (%)</b>
27.314,24	22.533,02	82,50
<b>Carga Térmica (KJ)</b>	<b>Energia Transmitida (KJh)</b>	<b>Rendimento (%)</b>
29.938,97	22.533,02	75,26
<b>Ganho em Graus-dia</b>		
$\Sigma = 127,08 \text{ }^{\circ}\text{C}$		
<b>Renovação do AR</b>		
50,79		

Fonte: (Autora).

Constatou-se que considerando a radiação solar recebida pelo coletor, o rendimento do SSPAA é de 50,43%, mas considerando-se a radiação solar transmitida o rendimento se eleva para 82,50% e tratando-se do rendimento em relação à carga térmica de calefação do ambiente estudado, o rendimento cresce

para 75,26%. Na avaliação de temperaturas, o ganho em graus-hora para a tipologia 01 é de 101,55, e a renovação do ar acontece 50,79 vezes ao longo do período de 24 horas.

A tabela 4.11 apresenta todos os resultados obtidos com o coletor solar com fechamento de vidro simples e vidro duplo.

Tabela 4.11: Análise comparativa entre a tipologia 01 e a tipologia 02.

SSPAA - Fechamento Vidro Simples	SSPAA - Fechamento Vidro Duplo
Ganho em Graus-dia	Ganho em Graus-dia
101,55 °C	127,08 °C
Renovação do AR	Renovação do AR
55,70	50,79
SSPAA - Fechamento Vidro Simples	SSPAA - Fechamento Vidro Duplo
Rendimento - Radiação Recebida (%)	Rendimento - Radiação Recebida (%)
39,05	50,43
Rendimento - Radiação Transmitida (%)	Rendimento - Radiação Transmitida (%)
48,81	82,50
Rendimento - Carga Térmica (%)	Rendimento - Carga Térmica de Calefação(%)
59,28	75,26

Fonte: (Autora)

Ao comparar os resultados obtidos nas tipologias 01 e 02, pode-se constatar que a tipologia 02, o qual apresenta o fechamento superior do coletor solar de vidros duplos, possui melhores indicadores nas três análises de rendimento feitas, fato justificado justamente pelo fechamento de vidro duplo, que reduz a perda de calor para o meio.

As análises de graus-horas apresenta um resultado consideravelmente maior na tipologia 02, com um ganho térmico de 25,53 °C a mais que a tipologia 01.

## 5. CONCLUSÃO

Ao realizar este estudo, observou-se que a construção do coletor solar é simples, rápida e econômica, uma vez que os materiais construtivos são de fácil aquisição na região, a mão-de-obra é qualificada para tal execução – de acordo com projeto detalhado – e seu custo é relativamente baixo. Tais fatores viabilizam sua implementação e reiteram à difusão do sistema à todas as classes sociais.

Visando contribuir para a composição formal e estética das edificações que poderão receber o sistema de aquecimento solar passivo, propôs-se a construção do protótipo com materiais construtivos que integrem e harmonizem o coletor com a edificação, buscando imprimir sustentabilidade e contemporaneidade ao sistema.

Ao analisar a viabilidade de funcionamento do sistema solar passivo concluiu-se que a radiação solar recebida, disponível na zona bioclimática 2 brasileira, é suficiente para o aquecimento e armazenamento de calor no coletor solar. Porém a transmissão de calor por convecção natural, também chamada de termossifão, não é o suficiente para insuflar toda a carga térmica necessária e deixar o ambiente na temperatura de conforto para o clima de inverno.

O estudo proposto verificou o rendimento do painel de acordo com algumas variáveis, sendo elas: carga térmica de calefação do ambiente em estudo; volume de ar quente insuflado no ambiente; e radiação solar recebida e transmitida para dentro do coletor solar, nas duas variações de fechamento superior: vidro simples e vidro duplo. Com isso, conclui-se que o rendimento do sistema solar em função da radiação solar incidente com o fechamento de vidro duplo (50,43%) é superior em 11,38% ao rendimento do sistema com fechamento de vidro simples (39,05%). Isso se dá em virtude da estanqueidade adquirida com os vidros duplos e sua capacidade de reter o calor, reduzindo a troca térmica com o meio externo.

Os resultados analisados no capítulo 4 desta dissertação indicam que embora o coletor solar chegue a elevadas temperaturas, o calor insuflado pelo painel (17.750,41 KJh com fechamento de vidro simples e 22.533,02 KJh com vidro duplo) foi insuficiente à carga térmica de calefação (29.938,96 KJh), resultado observado nas temperaturas internas do dormitório, que apesar de serem superiores às externas, estão abaixo das temperaturas de conforto para o inverno, 18°C, em diversos horários do dia.



Enfim, constatou-se que existe incidência solar suficiente na zona bioclimática 2 brasileira para a inserção de um sistema passivo de aquecimento de ar através do sol. Porém, para imprimir maior rendimento ao sistema e incremento nas temperaturas do ambiente, faz-se necessário auxílio mecânico – como por exemplo o uso de um exaustor - a fim de auxiliar na insuflação do ar quente ao ambiente e, assim, alcançar o conforto térmico.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1:** Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2:** Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais: desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013. 60 p.

ALLEN, Edward. **Como os edifícios funcionam:** A Ordem Natural da Arquitetura. São Paulo: WMF Martins Fontes Ltda. 2011.

ASHRAE. **Handbook os fundamentals.** American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York, USA, 2005.

AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos.** 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand, Brasil. 1996, 332 p.

COSTA, Ennio Cruz. **Arquitetura Ecológica:** condicionamento térmico natural. 5ª reimpressão. São Paulo, Blücher, 2012.

\_\_\_\_\_. Ennio Cruz. **Física Aplicada à Construção:** 2ª Ed. Conforto Térmico. São Paulo, Blücher, 1974.

**DADOS CLIMÁTICOS** - Universidade Federal de Santa Catarina e LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - 2018 Disponível em: <[http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=RS+-+Santa+Maria&id\\_cidade=bra\\_rs\\_santa.maria.839360\\_inmet](http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=RS+-+Santa+Maria&id_cidade=bra_rs_santa.maria.839360_inmet)> Acessado em: 07 Out, 2017.

**Desempenho de Edificações Habitacionais:** Guia Orientativo para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013. Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). Brasília, 2013.

EuroElecs. **Avaliação de Propriedades Acústicas da “Casa Popular Eficiente”,** 2015. Pag. 946.

FLORES, Michele Gomes, **UFSM, geração de base climática de Santa Maria – RS** – para análise de desempenho térmico e eficiência energética de Edificações. Dissertação de Mestrado, 2014,

FROTA, Anésia Barros. **Manual de Conforto Térmico: Arquitetura, Urbanismo**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

FROTA, Anésia Barros. SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 5. Edição, São Paulo: Studio Nobel, 2001.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia – 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>> Acessado em: 06 Nov, 2017.

LAMBERTS, Roberto. **Desempenho Térmico das Edificações**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (UFSC), 2011.

\_\_\_\_\_. Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**, 3ª edição, Eletrobrás/Procel, 2014.

PAPST, Ana Lígia. **Uso de Inércia Térmica em clima Subtropical: Estudo de Caso em Florianópolis – SC**. Dissertação de Mestrado: UFSC. Florianópolis, 1999.

PEREIRA, Enio Bueno et al; **Atlas brasileiro de energia solar**, 2017, 2ª edição, São José dos Campos, Brasil

RUSSI, Madalena, **UFSM, Projeto e análise da eficiência de um sistema solar misto de aquecimento de água e de condicionamento térmico de edificações para Santa Maria – RS**, 2012, Dissertação de mestrado.

SANTOS, Joaquim Pizzutti dos; **Influência do ângulo de incidência nos ganhos de calor solar através de materiais transparentes**.

SANTOS, Joaquim C. P. **Metodologia para avaliação do desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar**. Tese de Doutorado. São Carlos, SP, 2002

VAGHETTI, Marcos Alberto Oss. MACHADO, Rayner Maurício e Silva Machado. **Casa Popular Eficiente: Desempenho Térmico durante o Inverno**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC), 2015.

**Ventilação Natural em Edificações**. Procel Edifica: Eficiência Energética em Edificações, 2010.

VETTORAZZI, Egoni, **Desenvolvimento de um anteprojeto de sistema de calefação por piso radiante com aproveitamento da energia solar**, 2011, Dissertação de Mestrado,

YANNAS, S. **Solar Energy and Housing Design**. v.1: Principles, Objectives, Guidelines. London, Architectural Association School of Architecture, sd.