

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE AMBIENTAL  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA AMBIENTAL

JOÃO EDSON DANZIGER FILHO

**TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM PAREDES ACABADAS DE  
ALVENARIA DE TIJOLOS CERÂMICOS COM E SEM PAREDE  
VERDE NO PERÍODO DE INVERNO EM LONDRINA-PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA  
2021

JOÃO EDSON DANZIGER FILHO

**TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM PAREDES ACABADAS DE  
ALVENARIA DE TIJOLOS CERÂMICOS COM E SEM PAREDE  
VERDE NO PERÍODO DE INVERNO EM LONDRINA-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso Superior de Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, câmpus Londrina.

Orientadora: Profa. Dra. Sueli Tavares De Melo Souza  
Coorientadora: Profa. Dra. Patrícia Carneiro Lobo Faria

LONDRINA  
2021

## TERMO DE APROVAÇÃO

### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

#### TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM PAREDES ACABADAS DE ALVENARIA DE TIJOLOS CERÂMICOS COM ESEM PAREDE VERDE NO PERÍODO DE INVERNO EM LONDRINA/PR

Por

João Edson Danziger Filho

Monografia apresentada às 14 horas 00 min. do dia 14 de Maio de 2021 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Aulus Roberto Romão Bineli	Membro
Prof. Marcelo Eduardo Freres Stipp	Membro
Prof. Sueli Tavares de Melo Souza	Orientador
Prof. Orlando de Carvalho Junior	Professor(a) responsável TCCII

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por sempre me dar forças e foco para concluir a graduação e mesmo em momentos difíceis me manteve em pé.

À toda minha família, principalmente aos meus pais João Edson e Cleusa por sempre me darem todo o apoio e estrutura necessário para entrar, permanecer e concluir essa graduação, pois esse sonho se realizou graças a vocês que desde o início estiveram comigo.

Aos meus amigos que ao longo da graduação tiveram um papel importantíssimo em todo o processo. Estes amigos que fiz na universidade estavam presentes em muitos momentos como nas horas de estudo e aprendizado, assim como muitos momentos para espairecer a cabeça e relaxar.

Aos amigos de infância que desde sempre estiveram comigo e me acompanharam ao longo dessa conquista.

A todos os professores, servidores e funcionários da UTFPR-Londrina que tiveram um papel fundamental na minha formação acadêmica e profissional, em especial as minhas orientadoras Profa. Dra. Sueli Tavares de Melo Souza e Profa. Dra. Patrícia Carneiro Lobo Faria que foram excelentes orientadoras, me ajudando e dando suporte para eu alcançar o meu objetivo.

E por último, mas não menos importante gostaria de agradecer todos os envolvidos na realização deste projeto onde pude dar continuidade no estudo com uma base incrível, a todas as empresas que nos disponibilizaram materiais e ao campus por nos ceder o espaço.

DANZIGER, João Edson. **Transferência de calor em paredes acabadas de alvenaria de tijolos cerâmicos com e sem parede verde no período de inverno em Londrina-PR**. 2021. 56 p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2021.

## RESUMO

O uso de paredes verdes vem se mostrando não somente como uma alternativa arquitetônica, mas uma excelente opção para o controle de temperatura interna em edificações, proporcionando um maior conforto térmico e qualidade de vida. O objetivo desse trabalho consistiu em avaliar, durante o inverno, o desempenho térmico dos modelos de tijolos cerâmicos, sendo, um convencional e o outro com a inserção da parede verde, a partir da reprodução em escala reduzida (1:12) do bloco S da UTFPR - Câmpus Londrina. Por isso, foi instalado na fachada norte de um dos modelos o sistema de parede verde modular da *WALLGREEN* com 27 nichos que abrigam o substrato como suporte para as plantas. Para compor a parede foram escolhidas 9 mudas de cada uma das respectivas espécies: Aspargos (*Asparagus densiflorus*), Clorofito (*Chlorophytum comosum*) e Singônio (*Syngonium angustatum*). O sistema de irrigação foi por gotejamento e controle automatizado para fornecer rega de 30 minutos as 7h00 da manhã e 15h45 da tarde. Com o auxílio de 15 sensores (modelo DS18B2) associados a um Arduino Mega foram coletados dados de temperatura do ar em ambiente externo e interno, assim como das superfícies externa (SESP e SECP) e interna (SISP e SICP) dos modelos sem e com parede verde com uma resolução temporal de 5 minutos. Os resultados mostraram que os modelos atenderam ao desempenho térmico estabelecidos nas normas ABNT 15220 e 15575. Foi possível verificar que a inserção da parede verde promoveu para a parte interna dos modelos um amortecimento térmico de 4,5°C para os dias mais quentes e de 5°C para os dias mais frios. Notou-se também uma menor amplitude térmica em comparação ao modelo sem parede verde. Para as superfícies externas e internas a parede verde promoveu uma superioridade ao longo do período de monitoramento, trazendo reduções de temperatura de até 9,5°C da SECP em relação à SESP nos momentos de pico. Ocorreu também redução de até 5,5°C da SICP em relação a SISP. Em relação às taxas de fluxo de calor do modelo com parede verde, pode-se observar uma redução abrupta da taxa, ou seja, redução de até 16,1 W/m<sup>2</sup> em relação ao modelo sem parede verde. Todas as espécies escolhidas mostraram uma redução satisfatória da taxa de condução sendo: 22,32 W para o Aspargo, 15,66 W para o Clorofito e 28,98 W para o Singônio. Em termos percentuais estas taxas correspondem a: 82%, 83% e 93% de redução, o que mostra um excelente desempenho térmico com destaque para a espécie Singônio. Por fim, percebeu-se que mesmo no período de inverno onde as temperaturas não são tão elevadas, a inserção de paredes verdes na face norte do modelo foi eficiente, proporcionando um maior conforto térmico no interior e um potencial de redução no consumo de energia por consequência de menor uso de ares condicionados.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Edificações. Sustentabilidade. Economia.

DANZIGER, João Edson. **Heat transfer in ceramic brick masonry walls finished with and without green wall in the winter period in Londrina-PR.** 2021. 56 p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2021.

## ABSTRACT

The use of green walls has been showing itself not only as an architectural alternative, but an excellent option for the control of internal temperature in buildings, providing greater thermal comfort and quality of life. The objective of this study was to evaluate, during the winter, the thermal performance of the ceramic brick models, one conventional and the other with the insertion of the green wall, based on the small scale reproduction (1:12) of the S block from UTFPR - Câmpus Londrina. For this reason, the WALLGREEN modular green wall system with 27 niches that shelter the substrate as a support for the plants was installed on the north facade of one of the models. To make up the wall, 9 seedlings of each of the respective species were chosen: Aspargos (*Asparagus densiflorus*), Clorofito (*Chlorophytum comosum*) e Singônio (*Syngonium angustatum*). The drip irrigation system was automated and controlled to provide 30-minute watering at 7:00 am and 3:45 pm. With the aid of 15 sensors (model DS18B2) associated with an Arduino Mega, air temperature data were collected in the external and internal environment, as well as the external (SESP and SECP) and internal (SISP and SICP) surfaces of the models without and with green wall with a temporal resolution of 5 minutes. The results showed that the models met the thermal performance established in the ABNT 15220 and 15575 standards. It was possible to verify that the insertion of the green wall promoted a thermal damping of 4.5 ° C for the inside of the models for the hottest days and 5 ° C for the coldest days. It was also noticed a lower thermal amplitude in comparison to the model without green wall. For the external and internal surfaces, the green wall promoted superiority throughout the monitoring period, bringing temperature reductions of up to 9.5 ° C from SECP in relation to SESP at peak times. There was also a reduction of up to 5.5 ° C in SICP compared to SISP. Regarding the heat flow rates of the model with a green wall, an abrupt reduction in the rate can be observed, that is, a reduction of up to 16.1 W / m<sup>2</sup> in relation to the model without a green wall. All the chosen species showed a satisfactory reduction in the conduction rate: 22.32 W for Aspargos, 15.66 W for Clorofitos and 28.98 W for Singônios. In percentage terms these rates correspond to: 82%, 83% and 93% reduction, which shows an excellent thermal performance with emphasis on the species Singônio. Finally, it was noticed that even in the winter period when temperatures are not so high, the insertion of green walls on the north face of the model was efficient, providing greater thermal comfort inside and a potential for reducing energy consumption by consequence of less use of air conditioning.

Keywords: Thermal performance. Buildings. Sustainability. Economy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Zoneamento bioclimático do Brasil.....	17
Figura 2: Condução em paredes planas .....	22
Figura 3: Modelos que foram utilizados.....	28
Figura 4: Imagem do isolamento da cobertura .....	29
Figura 5: Espécies que foram utilizadas no projeto: (A) Aspargo; (B) Clorofito; (C) Singônio .....	29
Figura 6: Vista frontal do suporte já instalado .....	30
Figura 7: Modelo com parede verde completo .....	30
Figura 8: Arduino Mega .....	31
Figura 9: Sensor de temperatura DS18B20 .....	32
Figura 10: Localização do sensor no interior do modelo .....	32
Figura 11: Abrigo com o sensor DS18B20 .....	33
Figura 12: Shield Data Logger SD com RTC DS1307 (A) Vista oblíqua do Shield; (B) Vista lateral do Shield.....	33
Figura 13: Localização do sensor de coletas de dados.....	34
Figura 14: Shield Instalado.....	34
Figura 15: Esquema de alocação dos pontos nos modelos .....	35
Figura 16: Representação horizontal da parede e suas linhas .....	36
Figura 17: Esquema do fluxo de calor na fachada norte .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes .....	18
Tabela 2: Critério para avaliação de desempenho térmico para condições de inverno .....	20
Tabela 3: Dados médios de dias típicos de inverno de algumas cidades brasileiras	20
Tabela 4: Valores máximos para transmitância térmica em paredes .....	21
Tabela 5: Valores máximos para capacidade térmica em paredes .....	21
Tabela 6: Propriedades térmicas dos materiais utilizados .....	37
Tabela 7: Avaliação dos níveis de desempenho no interior dos modelos .....	39
Tabela 8: Valores máximos e mínimos das temperaturas do ar do ambiente e das temperaturas internas dos blocos sem parede verde e com parede verde ao longo das semanas de monitoramento .....	40
Tabela 9: Média das temperaturas semanais.....	41
Tabela 10: Diferenças máximas do fluxo de calor promovido pela parede verde .....	50
Tabela 11: Porcentagem de redução da energia térmica.....	52



## LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1: Temperaturas internas e a ambiente da segunda semana do monitoramento .....	41
Gráfico 2: Temperaturas internas e a ambiente da quarta semana do monitoramento .....	42
Gráfico 3: Temperaturas internas e ambiente do dia mais quente do monitoramento (28/07) .....	42
Gráfico 4: Temperaturas internas e ambiente do dia mais frio do monitoramento (01/08) .....	43
Gráfico 5: Desempenho dos modelos para o ponto A na segunda semana do monitoramento .....	44
Gráfico 6: Desempenho dos modelos para o ponto B na segunda semana do monitoramento .....	44
Gráfico 7: Desempenho dos modelos para o ponto C na segunda semana do monitoramento .....	45
Gráfico 8: Desempenho dos modelos para o ponto A na quarta semana do monitoramento .....	45
Gráfico 9: Desempenho dos modelos para o ponto B na quarta semana do monitoramento .....	46
Gráfico 10: Desempenho dos modelos para o ponto C na quarta semana do monitoramento .....	46
Gráfico 11: Fluxo de calor dos modelos para o ponto A na quarta semana do monitoramento .....	49
Gráfico 12: Fluxo de calor dos modelos para o ponto B na quarta semana do monitoramento .....	49
Gráfico 13: Fluxo de calor dos modelos para o ponto C na quarta semana do monitoramento .....	49

## **LISTA DE ABREVIações**

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

RAR- Resistencia térmica do ar

RSE- Resistencia térmica externa

RSI- Resistencia térmica da superfície interna

INSP- Interna sem parede verde

INCP- Interna com parede verde

SISP- Superfície interna sem parede verde

SESP- Superfície externa sem parede verde

SICP- Superfície interna com parede verde

SECP- Superfície externa com parede verde

W- Watts

UTFPR- Universidade Tecnológica Federal Do Paraná

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Objetivos gerais .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Parede verde.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2 Conforto térmico .....</b>	<b>15</b>
3.2.1 ABNT NBR 15220: 2005 .....	16
3.2.2 ABNT NBR 15575: 2013 .....	19
<b>3.3 Transferência de calor .....</b>	<b>21</b>
3.3.1 Formas de transferência de calor.....	21
3.3.2 Resistência térmica .....	24
3.3.3 Transmitância térmica .....	25
3.3.4 Capacidade Térmica .....	26
<b>3.4 Radiação solar e sua absorção pela vegetação .....</b>	<b>27</b>
<b>3.5 Redução do custo de energia .....</b>	<b>27</b>
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>28</b>
<b>4.1 Modelos construídos .....</b>	<b>28</b>
<b>4.2 Plantas utilizadas para a composição da parede .....</b>	<b>29</b>
<b>4.3 Suporte para a instalação do modelo.....</b>	<b>30</b>
<b>4.4 Monitoramento e equipamentos utilizados no experimento .....</b>	<b>31</b>
4.4.1 Arduino .....	31
4.4.2 DS18B20 .....	32
<b>4.5 Caracterização climática de Londrina-PR.....</b>	<b>35</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>5.1 Caracterização dos modelos.....</b>	<b>36</b>
<b>5.2 Análise da temperatura interna e externa .....</b>	<b>39</b>
<b>5.3 Análise das temperaturas superficiais interna e externa .....</b>	<b>44</b>
<b>5.4 Redução da energia térmica.....</b>	<b>48</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>53</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Há tempos atrás quando o crescimento urbano não era tão intenso a natureza estava presente nas cidades de maneira expressiva. Ao chegar um maior desenvolvimento industrial e os grandes projetos de urbanização em meados do século XX, além da revolucionária invenção do asfalto, que iria substituir as ruas pavimentadas de pedra, as cidades se tornariam lugares mais impermeáveis e com uma menor presença de vegetação. Assim o ecossistema, que antes era balanceado e, portanto, capaz de absorver a água das chuvas e o excesso de radiação solar, sofreu considerável desequilíbrio (GETTER, K.L.; ROWE, D.B.; 2006).

Com essa intensa urbanização, vieram as habitações que possuem a finalidade de proteger seus ocupantes de agentes externos e ainda proporcionar o conforto e qualidade de vida aos mesmos. Entretanto, a diminuição de áreas verdes urbanas gera diversos problemas ambientais, tais como: a diminuição da velocidade da ventilação natural; o aumento da capacidade térmica; a queda da evapotranspiração; o aparecimento das ilhas de calor, aumentando a temperatura em áreas intensamente urbanizadas; entre outros (NUCCI, 1999). Nota-se, também, que a preocupação de adequar as construções às condições climáticas não é mais priorizada, pois tornou-se mais fácil a utilização de aparelhos eletrônicos (ventiladores, climatizadores e ares-condicionados) para alterar o ambiente interno e reduzir o desconforto causado pelo clima (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2009).

Porém, o uso desses equipamentos demanda uma grande quantidade de energia elétrica. De acordo com a Eletrobrás em 2007, cerca de 20% do total de energia produzida no Brasil foi utilizada no funcionamento de ares-condicionados. Dessa forma, na atual situação ambiental, tornou-se essencial que as moradias apresentem propriedades capazes de reduzir a perda e o ganho de calor para proporcionar um conforto térmico aos moradores (SIMÕES et al., 2009), pois isso diminuiria o uso de energia e evitaria danos sociais e ao meio ambiente.

Tais consequências e consumos excessivos de energia, têm contribuído para reforçar a importância de implementar diferentes tipologias de infraestrutura verde, entre as quais podemos citar a arborização urbana e os jardins horizontal e vertical, que podem “reduzir o calor sensível, o escoamento superficial, a poluição, além de contribuir para o aumento da qualidade de vida urbana” (CATUZZO, 2013).

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o desempenho térmico de paredes verdes em um modelo reduzido que irá simular o bloco S da Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Londrina-PR e quantificar a diminuição do gasto de energia térmica em porcentagem proporcionado pelo uso da parede verde.

## **2 OBJETIVOS**

### ***2.1 Objetivos gerais***

Foram analisar o desempenho térmico no inverno por meio da transferência de calor em paredes acabadas de alvenaria de tijolos cerâmicos com e sem parede verde em modelos reduzidos que simulam o Bloco S da UTFPR Câmpus Londrina.

### ***2.2 Objetivos específicos***

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Analisar a variação das temperaturas da superfície externa e interna da fachada Norte do modelo sem e com parede verde;
- Analisar as variações das temperaturas externa e interna dos modelos sem e com parede verde;
- Calcular a transferência de calor promovida através fachada Norte para as condições apresentadas;
- Calcular a porcentagem de redução de energia térmica promovida pelo uso da parede verde com as espécies irrigadas.

## **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **3.1 Parede verde**

O termo paredes verde (*green walls*) engloba todas as formas de superfícies de parede com vegetação. No entanto, existem duas categorias de sistemas principais que se enquadram neste termo: as fachadas verdes (*green facades*) e ou jardins verticais ou paredes vivas (*living walls*) (GREEN ROOFS, 2018).

Parede viva ou *living wall* refere-se às tecnologias que consistem em painéis ou módulos de diferentes materiais, que podem ser pré-plantados ou não e são presos em estruturas verticais de suporte, que sustentam todo o sistema, ou diretamente à parede (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015).

Um jardim vertical, por não ter o solo como suporte, apresenta algumas adversidades, que acabam por restringir o número de plantas que podem ser usados em sua composição. Uma das principais regras na hora de se escolher as plantas para jardim vertical é evitar aquelas que possuem raízes grandes ou agressivas, pois no suporte vertical elas não têm espaço para crescer e geralmente pesam demais (WESTWING, 2018).

Outro fator que deve ser levado em consideração é a incidência de ventos e luz solar direta. Em jardins verticais localizados em fachadas de prédios, por exemplo, o Sol e os ventos intensos podem ser impeditivos para muitas espécies. Assim, devem-se evitar plantas com grande necessidade de água, como também plantas com folhagem macia e delicada (REVISTA MAIS CONSTRUÇÃO, 2018).

Para se observar os melhores benefícios com a utilização dessa técnica é de extrema importância a correta localização da mesma na edificação, onde a fachada com maior incidência de luz solar é a mais indicada, no hemisfério sul, geralmente a superfície norte recebe a maior incidência de luz solar (MORELLI, 2016).

### **3.2 Conforto térmico**

O conforto térmico representa a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições ambientais que o cerca (ABNT, 2005). Segundo Lamberts, Dutra e

Pereira (2009), as variáveis que o influenciam são a temperatura do ar, a umidade relativa, a velocidade do ar, as vestimentas e os esforços físicos realizados.

Quando o ser humano se sente confortável termicamente, seja em sua casa, no ambiente de trabalho, na sala de estudos ou em outros locais do seu dia a dia a tendência é que ele apresente um melhor desempenho e rendimento nas suas atividades físicas e mentais, pois não existe a necessidade da utilização de uma grande quantidade de energia para alterar a temperatura do corpo humano (BELLO, 2013).

Entretanto, quando há um desconforto, seja ele quente ou frio o mecanismo de termorregulação é acionado exigindo um esforço adicional, ou seja, uma quantidade extra de energia é utilizada para regular a temperatura corporal, trazendo de volta para o indivíduo o conforto térmico esperado, essa termorregulação instantânea acaba reduzindo o desempenho na realização de tarefas e causa desconfortos e fadiga térmica nos indivíduos (CAMARGO e FURLAN, 2011).

De acordo com Bello (2013), o mecanismo termorregulador presente no corpo humano não é capaz de evitar o desconforto térmico causado por climas muito intensos e, dessa forma, é essencial que o indivíduo utilize outros meios para manter a temperatura corporal estável. Isto envolve o emprego de roupas apropriadas e também a construção de habitações que possuem características que garantam o conforto térmico.

### *3.2.1 ABNT NBR 15220: 2005*

Segundo Giglio (2005), a norma técnica de desempenho térmico de edificações (ABNT NBR 15220: 2005), que está em vigor desde 30 de maio de 2005, foi derivada do Projeto de Norma da ABNT do ano de 1998, ligado à comissão de estudos (CE-02:135.07) do Comitê Brasileiro da Construção Civil (CB-02) da associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A norma de desempenho térmico de edificações foi subdividida em cinco partes:

- Parte 1 – Definições, símbolos e unidades;

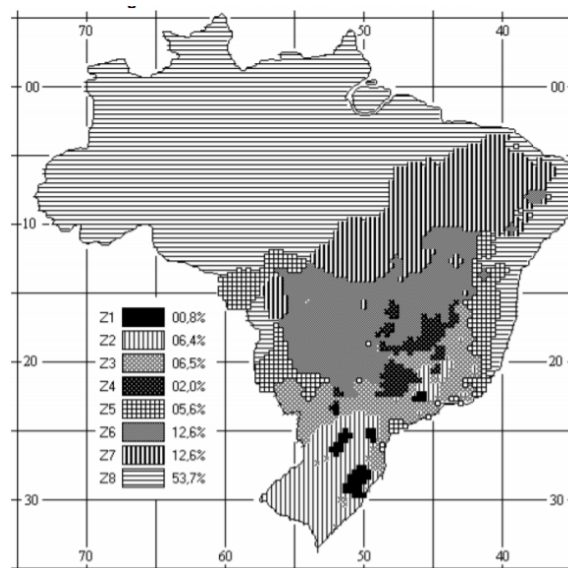


- Parte 2 – Método de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3 – Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4 – Medição de resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5 – Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

A primeira parte informa as unidades das grandezas relacionadas ao tema. A segunda apresenta alguns métodos de cálculo para avaliação dos materiais e combinação dos mesmos e mostra em seu anexo alguns exemplos de cálculo. A terceira apresenta informações para o estabelecimento de estratégias de condicionamento térmico e suas condições de contorno e lista também as propriedades térmicas de alguns materiais. A quarta e quinta parte apresentam métodos que não serão utilizados para esta análise.

A terceira parte traz um mapa de zoneamento bioclimático brasileiro (Figura 1).

**Figura 1: Zoneamento bioclimático do Brasil**

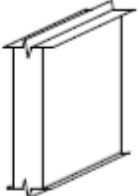
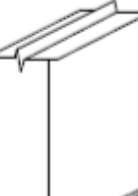

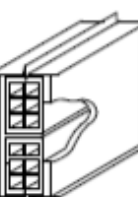
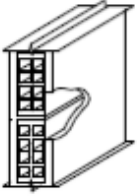


Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2013)

A cidade de Londrina, objeto deste estudo, está localizada na Zona Bioclimática 03 e tem diretrizes bioclimáticas que precisam de estratégias de condicionamento passivo: aquecimento solar da edificação; vedações internas pesadas (inércia térmica); vedações externas leve; e ventilação cruzada; (ABNT, 2005)

Além disso a ABNT-15220 traz na parte 3 os valores de transmitância térmica e capacidade térmica tabelados para algumas paredes como pode ser observado a seguir na Tabela 1.

**Tabela 1: Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes**

Parede	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	φ [horas]
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 5,0 cm	5,04	120	1,3
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10,0 cm	4,40	240	2,7
	Parede de tijolos maciços aparentes Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura total da parede: 10,0 cm	3,70	149	2,4
	Parede de tijolos 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,48	159	3,3
	Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,49	158	3,3

Fonte: Adaptado ABNT 15220-3 (2005)

### 3.2.2 ABNT NBR 15575: 2013

A ABNT 15575: 2013, em suas partes, apresenta requisitos mínimos de desempenho, vida útil e garantia para os elementos que compõem uma edificação. Ela é dividida em seis partes:

1. Requisitos gerais;
2. Sistemas estruturais;
3. Sistemas de pisos;
4. Sistemas de vedações verticais internas e externas;
5. Sistemas de cobertura;
6. Sistemas hidrossanitários.

A norma apresenta três métodos de avaliação de desempenho térmico:

- Método 1: Consiste em um processo simplificado, onde verifica-se o atendimento aos requisitos e critérios para as fachadas e coberturas. Porém, se a edificação não atingir resultado satisfatório, utiliza-se um dos outros dois procedimentos. Estes valores para análise são baseados nas propriedades de transmitância térmica e capacidade térmica, áreas para aberturas de ventilação e sombreamento. Contudo, deve-se ressaltar que estes aspectos são relacionados às fachadas;
- Método 2: Consiste em um processo de simulação computacional, avaliando o desempenho a partir dos dias típicos de verão e inverno, utilizando dados climáticos da cidade onde se encontra a edificação;
- Método 3: Consiste em um processo de medição, onde dados são retirados da edificação ou de protótipos construídos. Estas informações são analisadas, tomando como base o método 2 para a verificação da eficiência da mesma.

Além disso, a norma impõe requisitos mínimos de desempenho no inverno que seria apresentar condições térmicas no interior do edifício habitacional melhores que do ambiente externo, no dia típico de projeto de inverno, nas zonas bioclimáticas 1 a 5. Nas zonas 6, 7 e 8 não é necessário realizar avaliação de desempenho térmico de projeto para inverno.

Para fazer uma avaliação do desempenho da edificação relacionada ao conforto térmico, a ABNT NBR 15575-1 de 2013 apresenta os valores mínimos diários da temperatura do ar no interior de recintos de permanência prolongada, como salas e dormitórios. A tabela 2 mostra os critérios para níveis de desempenho M (mínimo), I (intermediário) e S (superior).

**Tabela 2: Critério para avaliação de desempenho térmico para condições de inverno**

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i, \text{mín.}} \geq (T_{e, \text{mín.}} + 3^{\circ}\text{C})$	Nessas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_{i, \text{mín.}} \geq (T_{e, \text{mín.}} + 5^{\circ}\text{C})$	
S	$T_{i, \text{mín.}} \geq (T_{e, \text{mín.}} + 7^{\circ}\text{C})$	
$T_{i, \text{mín.}}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em °C $T_{e, \text{mín.}}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em °C NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3		

Fonte: Adaptado ABNT NBR 15575-1 (2013)

A tabela 3 apresenta as temperaturas de algumas cidades brasileiras em dias típicos de inverno.

**Tabela 3: Dados médios de dias típicos de inverno de algumas cidades brasileiras**

CIDADE	TEMPERATURA MINIMA DIARIA °C	AMPLITUDE DIARIA DE TEMPERATURA °C
Aracaju	18,7	5,1
Belém	20,4	10,0
Belo Horizonte	8,7	12,6
Brasília	10,0	12,2
Campo Grande	13,7	11,5
Curitiba	0,7	11,6
Londrina	13*	12*

Fonte: Adaptado ABNT NBR 15575-1 (2013) e \*Weather Spark (2020)

Além da tabela 1, a ABNT cita outras tabelas como avaliadoras de desempenho para edificações como as tabelas 4 e 5 a seguir, que trazem valores máximos admitidos para a transmitância térmica e capacidade térmica em paredes.

**Tabela 4: Valores máximos para transmitância térmica em paredes**

<b>Transmitância térmica U</b> W/m <sup>2</sup> .K		
<b>Zonas 1 e 2</b>	<b>Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8</b>	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
<sup>a</sup> $\alpha$ é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013)

**Tabela 5: Valores máximos para capacidade térmica em paredes**

<b>CAPACIDADE TÉRMICA (CT)</b> kJ/m <sup>2</sup> .K	
<b>Zonas 1,2,3,4,5,6 e 7</b>	<b>Zona 8</b>
$\geq 130$	Sem requisito

Fonte: Adaptado ABNT NBR 15575-4 (2013)

### **3.3 Transferência de calor**

Para que se possa entender um pouco sobre o calor e suas formas de transferência, deve-se definir primeiramente o que é o calor. Segundo Incropera (2019), calor é a energia térmica em trânsito em razão de uma diferença de temperaturas no espaço. Portanto, sempre que existir uma diferença de temperatura entre meios, haverá, necessariamente, a transferência de calor.

Segundo Incropera (2019) existem três formas de calor: condução, convecção e radiação.

#### **3.3.1 Formas de transferência de calor**

A transferência de calor por condução pode ser definida como a transferência de energia das partículas mais energéticas para as menos energéticas de uma

substancia devido à interação entre partículas, de outro modo, seria a troca térmica pelo contato entre dois corpos sólidos ou fluídos estacionários.

Além disso, a fração de calor transmitida depende do tipo de material que o corpo é constituído, da espessura e as variações de temperatura em uma mesma área (RODRIGUES, 2010).

A condução em paredes planas, demonstrada na Figura 2, pode ser mensurada através da lei de Fourier, que é representada pela Equação 1 (INCROPERA, 2019).

$$\dot{Q} = K \frac{(T_1 - T_2)}{L} \quad (1)$$

$\dot{Q}$  : é a intensidade de fluxo de calor [W/m<sup>2</sup>];

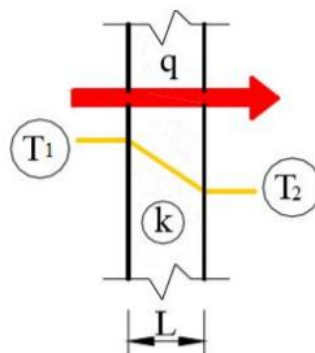
$k$  : é a condutividade térmica do material [W/m\*K];

$L$  : é a espessura da parede [m];

$T_1$  : é a temperatura da superfície 1 [K];

$T_2$  : é a temperatura da superfície 2 [K].

**Figura 2: Condução em paredes planas**



**Fonte: Adaptado Rodrigues (2010)**

A convecção é o processo de transmissão de calor, entre dois fluidos ou entre um sólido e um fluido com diferentes temperaturas, que ocorre por meio do transporte de massa (INCROPERA, 2019). Existem dois tipos de convecção e estas dependem da forma que é iniciado o escoamento do fluido, que são:

- Convecção forçada: o movimento do fluido é provocado por meios mecânicos;
- Convecção natural: o escoamento é resultado da diferença de densidade dos meios.

A equação 2 refere-se a lei de resfriamento de Newton e é utilizada para o cálculo de fluxo de calor (INCROPERA, 2019).

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (2)$$

$q''$ : é a intensidade de fluxo de calor [ $W/m^2$ ];

$h$ : é o coeficiente médio de transferência de calor por convecção [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$T_s$ : é a temperatura da superfície [K];

$T_\infty$ : é a temperatura do fluido [K].

A radiação é definida como a emissão de energia realizada pelos materiais. Este tipo de processo de transmissão de calor não necessita de um meio material ou de contato para que ocorra, pois se realiza por meio de ondas eletromagnéticas. Porém, é dependente da emissividade da superfície do material ( $\epsilon$ ) (INCROPERA, 2019).

A equação 3 foi descrita com base na Lei de Stefan-Boltzmann para representar este tipo de transferência de calor.

$$q''_{Rad} = \epsilon \times \sigma \times (T_s^4 - T_{viz}^4) \quad (3)$$

$\epsilon$ : emissividade do material;

$\sigma$ : constante de Stefan-Boltzman ( $5,67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$ );

$T_s$  : temperatura da superfície [K];

$T_{viz}$  : temperatura da vizinhança [K];

$q''_{Rad}$ : taxa de radiação térmica [ $W/m^2$ ].

### 3.3.2 Resistencia térmica

Segundo Souza (2010) a resistência térmica dos materiais representa a capacidade dos mesmos de impedir ou reduzir a transmissão do calor. A equação 4 mostra a forma de cálculo da resistência térmica (ABNT 15220-2, 2005)

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (4)$$

$e$ : é a espessura da parede [m];

$\lambda$ : é a condutividade térmica do material [W/m\*K].

O resultado dessa equação é a resistência térmica por metro quadrado do material. Para paredes com camadas constituídas de apenas um material,  $R_t$  é obtido por meio da Equação 5 (ABNT 15220-2, 2005).

$$R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (5)$$

Quando as paredes são heterogêneas utiliza-se a Equação 6 (ABNT 15220-2, 2005).

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (6)$$

$A_n$  :é a área de cada camada [m<sup>2</sup>];

$R_n$  :é a resistência térmica de cada camada [m<sup>2</sup>.K /W]

No entanto, é necessário considerar as resistências superficiais, que são aquelas relacionadas com a resistência do ar que se encontra em contato com a superfície da parede, e as das camadas de diferentes materiais que a constituem (ABNT 15220-2, 2005). Considerando esses fatores tem-se a Equação 7.

$$RT = R_{SE} + R_{SI} + R_t \quad (7)$$

$RT$  :é a resistência térmica total;

$R_{SE}$  :é a resistência térmica superficial externa;



$R_{si}$  :é a resistência térmica superficial interna;

$R_t$  :é o somatório das resistências das camadas (incluindo as camadas de ar).

A resistência superficial varia de acordo com vários fatores, tais como: emissividade, velocidade do ar sobre a superfície e temperaturas da superfície, do ar e superfícies próximas (ABNT 15220-2, 2005).

Após o calculo de  $R_T$  podemos reescrever a formula de condução em paredes planas da seguinte forma Equação 8 (INCROPERA, 2019).

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_T} \quad (8)$$

$\dot{Q}$  : é o fluxo de calor [ $W/m^2$ ];

$\Delta T$ : é a variação de temperatura [K];

$R_T$ : é a resistência térmica total [ $m^2.K / W$ ].

Para obter a taxa de transmissão térmica total produzida pela parede, será preciso multiplicar a equação 8 pela área da parede, resultando na seguinte Equação 9 (INCROPERA, 2019).

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q} \times \text{Área da parede} \quad (9)$$

$\dot{Q}_{total}$ : é a taxa de condução total [W];

$\dot{Q}$  : é a taxa de condução [ $W/m^2$ ];

Área da parede [ $m^2$ ].

### 3.3.3 Transmitância térmica

A transmitância térmica é uma variável que indica o desempenho térmico de uma habitação. Pode ser definida como:

“O fluxo de calor que, na unidade de tempo e por unidade de área, passa através do componente, para uma diferença

unitária entre as temperaturas do ar em contato com cada uma das faces desse mesmo componente (RORIZ, 2008, p. 13).”

De acordo com a norma de desempenho térmico de edificações da ABNT NBR 15575/2013 a transmitância térmica é o inverso da resistência térmica total (RT) e é calculada com a Equação 10.

$$U = \frac{1}{RT} \quad (10)$$

### 3.3.4 Capacidade Térmica

A capacidade térmica de um material é definida como a quantidade de calor necessária para que a sua temperatura se eleve em um grau e é quantificada através da Equação 11 (ABNT 15220-2, 2005).

$$CT = \sum_{i=1}^n ei \times ci \times \rho i \quad (11)$$

CT: é a capacidade térmica [J/m<sup>2</sup>.K];

$\rho$ : é a densidade do material [kg/m<sup>3</sup>];

e : é a espessura da camada [m];

c : é o calor específico do material da camada [J/kg.K].

Em paredes heterogêneas a capacidade térmica pode ser calculada através da Equação 12 (ABNT 15220-2, 2005).

$$CT = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{CT_a} + \frac{A_b}{CT_b} + \dots + \frac{A_n}{CT_n}} \quad (12)$$

CT<sub>n</sub> : é a capacidade térmica de cada seção [J/m<sup>2</sup>.K];

A<sub>n</sub> : é a área de cada seção [m<sup>2</sup>].

### **3.4 Radiação solar e sua absorção pela vegetação**

A radiação solar emitida pelo sol se estende em três diferentes tipos de comprimento de ondas, sendo elas: ultravioleta (comprimento de onda de 290nm a 380nm), a visível (comprimento de onda entre 380nm e 780nm) e o infravermelho próximo (comprimento de onda 780nm a 2500nm). Esses comprimentos de onda são absorvidos em partes pelas plantas no processo de fotossíntese, que segundo Rivero (1986) a vegetação absorve 90% da radiação visível e 60% da infravermelha, sendo o restante transmitido entre as folhas ou refletido.

A vegetação geralmente, por ter baixas capacidade calorífica e condutibilidade térmica, bloqueia parcialmente a radiação solar, absorvendo parte dessa radiação pelas folhas e refletindo muito pouco o restante, aumenta também a taxa de evaporação o que possibilita alterar as variáveis climáticas tornando o microclima mais ameno (ROMERO, 2007).

Segundo Abreu (2008), a influência da vegetação não se resume ao ambiente urbano, visto que a vegetação também se propaga às edificações, podendo melhorar o conforto térmico interno e, conseqüentemente, possibilitando inclusive a redução dos gastos energéticos dispensados com condicionadores de ar.

### **3.5 Redução do custo de energia**

Como já relatado no estudo de Silva (2019), o sistema de parede verde pode trazer dentro de seus benefícios uma diminuição no consumo de energia elétrica, visto que o mesmo pode diminuir consideravelmente a temperatura interna e conseqüentemente diminuir o uso de aparelhos térmicos.

Pan e Chu (2016) mostram uma economia diária de 16% no consumo de energia com o uso de paredes verdes em Hong Kong, e uma economia de energia de 37% anualmente também já foi estimada (DJEDJIG et al.,2016), o que reforça a perspectiva de ampliar o uso dessa tecnologia em áreas concentradas de calor como em grandes cidades urbanizadas.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Modelos construídos

Os modelos mostrados na Figura 3 foram construídos com tijolos cerâmicos e foram adaptados conforme a ABNT NBR 15220 (2005). As principais adaptações mostradas nas Figuras 3 e 4 foram: inserção de um sistema de ventilação cruzada, isolamento da cobertura, revestimento das paredes e a aplicação da pintura reflexiva para não influenciar no estudo de desempenho da parede (SILVA, 2019).

**Figura 3: Modelos que foram utilizados**



Fonte: Autoria própria (2020)

**Figura 4: Imagem do isolamento da cobertura**



Fonte: Aatoria própria (2020)

#### **4.2 Plantas utilizadas para a composição da parede**

Dando continuidade ao estudo realizado por Silva (2019) foram escolhidas as mesmas espécies de plantas para compor a parede verde (Figura 5): Aspargo-pendente (*Asparagus densiflorus*), Clorofito (*Chlorophytum comosum*) e Singônio (*Syngonium angustatum*). Vale ressaltar que foi utilizado o mesmo substrato, na proporção 1:1:1 de areia, terra e composto orgânico.

**Figura 5: Espécies que foram utilizadas no projeto: (A) Aspargo; (B) Clorofito; (C) Singônio**



Fonte: Aatoria própria (2020)



### 4.3 Suporte para a instalação do modelo

O suporte que foi utilizado no sistema é o da empresa WallGreen, modelo ECO 27, com 27 nichos para alocar as plantas (Figura 6). Além dos nichos, o modelo compreende um sistema de mangueira e micro aspersor para irrigação, e um vaso plástico com sacola de manta geotêxtil para abrigar o substrato com as plantas.

**Figura 6: Vista frontal do suporte já instalado**



**Fonte: Autoria própria (2020)**

O modelo instalado com o suporte e as plantas escolhidas é apresentado na figura 7, onde foram colocadas as espécies na seguinte ordem no sentido leste - oeste: Aspargo (Ponto A), Clorofito (Ponto B) e Singonio (Ponto C), respectivamente.

**Figura 7: Modelo com parede verde completo**



**Fonte: Autoria própria (2020)**

#### **4.4 Monitoramento e equipamentos utilizados no experimento**

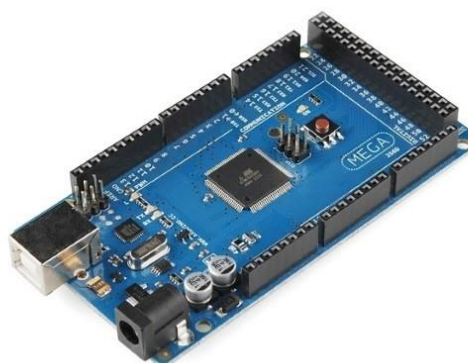
Foi realizado o monitoramento da temperatura interna e externa dos modelos com e sem parede verde e de suas respectivas superfícies nos 3 pontos (A,B e C), durante o período de 10 de julho a 07 de agosto de 2020, na estação de inverno visando a comparação com os resultados coletados no estudo de Silva (2019).

Os dados de temperatura e umidade do ar foram coletados com uma resolução temporal de 5 minutos. O monitoramento ocorreu por meio de 15 sensores. A irrigação foi fornecida por um temporizador eletrônico apenas duas vezes ao dia por se tratar de um período de inverno. Os horários estabelecidos foram: 7:00 da manhã e 15:45 da tarde, ambos com 30 minutos de irrigação. A mangueira é acoplada ao suporte da *WALLGREEN* que promove a irrigação dos vasos.

##### **4.4.1 Arduino**

O protótipo de Arduino modelo MEGA (Figura 8) foi utilizado para coleta de dados, que foram acessados através do software ARDUINO IDE, permitindo assim o comando dos dados através do mesmo e também o acompanhamento dos dados coletados.

**Figura 8: Arduino Mega**



**Fonte: Filipeflop (2020)**

#### 4.4.2 DS18B20

Os sensores de temperatura DS18B20 (Figura 9) foram conectados ao Arduino e soldados com a finalidade de reduzir as falhas de conexão. Segundo o fornecedor, os equipamentos possuem uma incerteza de 0,5 °C.

**Figura 9: Sensor de temperatura DS18B20**



**Fonte: Silva (2019)**

Os sensores de temperatura foram localizados na superfície interna e externa da face norte dos dois módulos utilizados, totalizando 3 pares de sensores de superfície e mais um sensor de temperatura interna (Figura 10)

**Figura 10: Localização do sensor no interior do modelo**



**Fonte: Autoria própria (2020)**

Já em relação ao sensor que aferiu a temperatura externa do ar, o mesmo esteve disposto em um poste localizado entre os dois modelos, onde foi instalado



junto ao abrigo externo produzido pela empresa WRF Comercial Produtos Profissionais, como mostra a Figura 11.

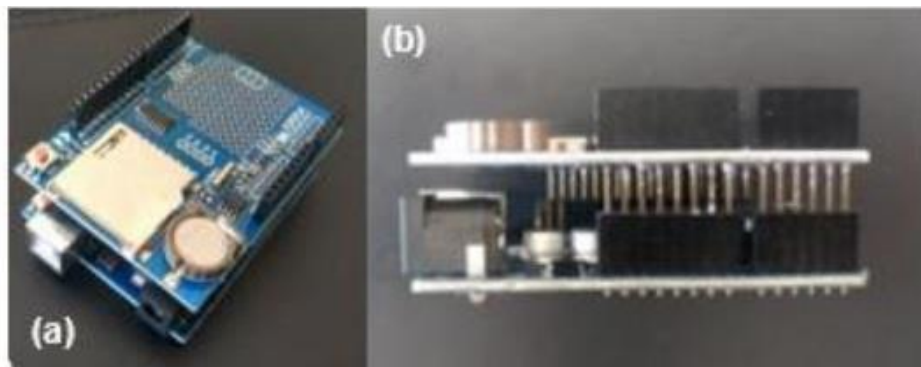
**Figura 11: Abrigo com o sensor DS18B20**



**Fonte: Autoria própria (2020)**

Para a coleta de dados foi utilizado um *Shield* (união de componentes eletrônicos) denominado *Data Logger SD com RTC DS1307* (Figura 12). Esse *Shield* fornece uma maior redução de espaço e praticidade na aquisição de dados e retirada de dados por serem salvos em um cartão de memória. Além disso, com o *RTC (Real time clock)* foi possível mostrar a data e horário em que foram coletados os dados de temperatura e umidade. Este equipamento foi instalado na face sul do modelo e fixado na parte externa (Figura 13). O *Shield* instalado e fixado pode ser observado na figura 14.

**Figura 12: Shield Data Logger SD com RTC DS1307 (A) Vista oblíqua do Shield; (B) Vista lateral do Shield**



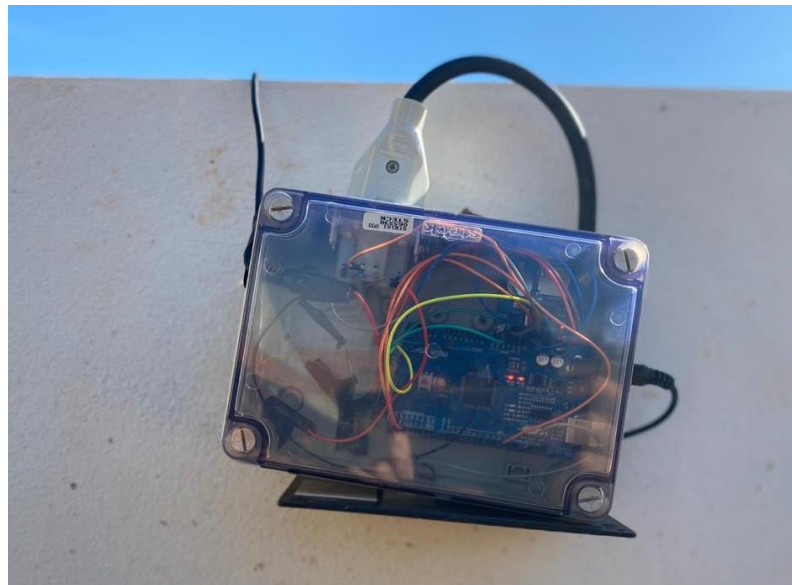
**Fonte: Silva (2019)**

**Figura 13: Localização do sensor de coletas de dados**



**Fonte: Silva (2019)**

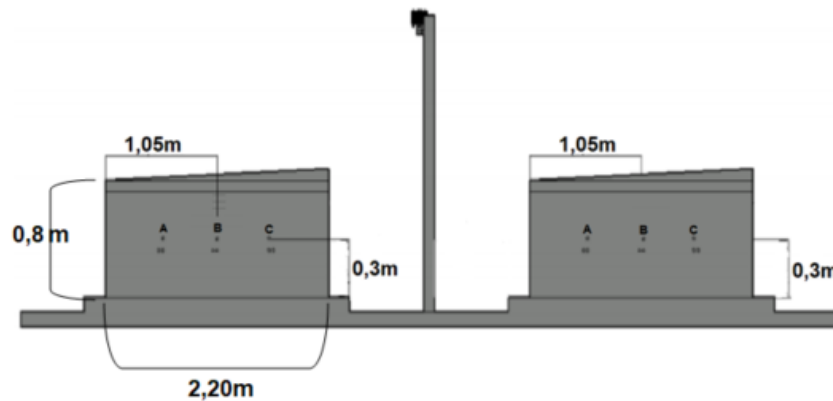
**Figura 14: Shield Instalado**



**Fonte: Autoria própria (2020)**

Os sensores ficaram dispostos em pares, ou seja, um sensor sai e outro entra na parede de modo a obter os dados de temperatura externa e interna, respectivamente. Os sensores mais próximos das laterais ficaram a 0,53 m da extremidade e a 0,30 m do piso. Os sensores do centro ficaram a uma distância de 1,05 m da extremidade e a 0,30 m do piso. A disposição dos sensores foi escolhida de forma a representar a variação de temperatura ao longo da superfície da parede (Figura 15).

Figura 15: Esquema de alocação dos pontos nos modelos



Fonte: Adaptado de Silva (2019)

#### 4.5 Caracterização climática de Londrina-PR

A cidade de Londrina-PR fica localizada ao Sul do país e conta com um longo verão, quente, abafado e de céu quase encoberto, já o inverno é curto, com um céu de poucas nuvens. Ao longo dos anos a temperatura varia no geral de 13°C a 30°C e muito esporadicamente temos temperaturas inferiores a 9°C. O inverno Londrinense costuma ter temperaturas máximas diárias abaixo de 26°C (Weather Spark 2021).

Segundo a classificação de Köppen, o clima do município de Londrina é do tipo Cfa, ou seja, clima subtropical úmido, com chuvas em todas as estações, podendo ocorrer secas no período de inverno. Localizado em uma área de transição climática, entre sistemas atmosféricos intertropicais e equatoriais que lhe proporciona temperaturas agradáveis na maior parte do ano.

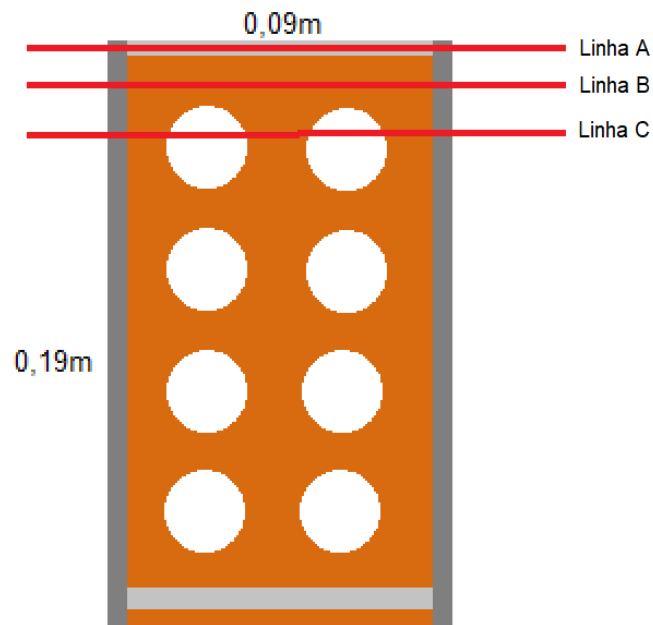
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização dos modelos

A fim de averiguar os modelos construídos, foram realizados diversos cálculos para saber se os valores encontrados estavam dentro do estabelecido pela ABNT 15575 (tabela 2, 4 e 5) e se os mesmos se enquadravam com o valor estipulado na ABNT 15220 (tabela 1). Os blocos de cerâmica (tijolos) utilizados tinham as seguintes dimensões 9x19x19 cm e uma camada de reboco de 2,5cm.

Primeiramente, foi realizado o cálculo de resistência térmica ( $R_t$ ) para cada camada da parede onde utilizou-se a Equação 5, como cita ABNT 15220. Para realizar os cálculos foi considerada a existência de 3 linhas como mostra a figura 16 onde conta-se com a combinação de alguns materiais para formar cada linha tais como: argamassa, reboco, camada de ar (furo do tijolo) e bloco cerâmico (tijolo).

**Figura 16: Representação horizontal da parede e suas linhas**



Fonte: Autoria própria (2021)

Ao longo da linha A da esquerda para a direita é composta por uma camada de reboco, uma de argamassa e mais uma de reboco. A linha (B) é composta por uma camada de reboco, uma de bloco de cerâmica e outra de reboco. Já a linha (C) é composta por uma camada de reboco, uma de bloco de cerâmica, uma de ar (furo

do tijolo), uma de bloco de cerâmica, uma de ar, uma de bloco de cerâmica e outra de reboco.

Assim, após a divisão das linhas, foi realizado o cálculo onde foi substituído na Equação 5 a espessura de cada material e a respectiva condutividade térmica.

Os valores de condutividade térmica utilizados são tabelados e se encontram na ABNT 15220, assim como a resistência térmica do ar (RAR) que tem o valor de 0,16 [m<sup>2</sup>.K/W]. A Tabela 6 mostra as propriedades térmicas dos materiais utilizados.

**Tabela 6: Propriedades térmicas dos materiais utilizados**

<b>Materiais</b>	<b>Condutividade térmica [<math>\lambda</math>] (W/m.K)</b>	<b>Calor específico [c] (kJ/kg.K)</b>	<b>Densidade [<math>\rho</math>] (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Bloco cerâmico furado	0,90	0,92	1600
Reboco	1,15	1,00	2000
Argamassa	1,15	1,00	2000

Fonte: Adaptado ABNT 15220 (2005)

Linha A:

$$Ra = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,090}{1,15} + \frac{0,025}{1,15} = 0,122 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

Linha B:

$$Rb = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{bloco\ ceramica}}{\lambda_{bloco\ ceramica}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,090}{0,90} + \frac{0,025}{1,15} = 0,143 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

Linha C:

$$Rc = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{bloco\ ceramica}}{\lambda_{bloco\ ceramica}} + RAR + \frac{e_{bloco\ ceramica}}{\lambda_{bloco\ ceramica}} + RAR + \frac{e_{bloco\ ceramica}}{\lambda_{bloco\ ceramica}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}}$$

$$Rc = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,010}{0,90} + 0,16 + \frac{0,010}{0,90} + 0,16 + \frac{0,010}{0,90} + \frac{0,025}{1,15} = 0,397 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

Para a determinação do valor da resistência térmica da parede foi necessário calcular a área de cada linha, resultando nos seguintes valores: 0,004m<sup>2</sup> (linha A), 0,002m<sup>2</sup> (linha B) e 0,006m<sup>2</sup> (linha C). Na sequência, os valores foram substituídos

na Equação 6 sem esquecer o numero de vezes que a mesma seção se repete no bloco de cerâmica.

$$R_t = \frac{Aa + 5Ab + 4Ac}{\frac{Aa}{Ra} + \frac{5Ab}{Rb} + \frac{4Ac}{Rc}} = \frac{0,004 + (5)0,002 + (4)0,006}{\frac{0,004}{0,122} + \frac{(5)0,002}{0,143} + \frac{(4)0,006}{0,397}} = 0,2328 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

Após o cálculo da resistência térmica da parede, foi possível calcular a resistência térmica total com a Equação 7, que leva em consideração os valores da resistência térmica da superfície interna ( $R_{si}$ ) e da resistência térmica externa ( $R_{se}$ ), as quais encontram-se na ABNT 15220-2 com seguintes valores: 0,13 e 0,04 [ $m^2K/W$ ], respectivamente.

$$RT = R_{se} + R_{si} + R_t = 0,04 + 0,13 + 0,2328 = 0,4028 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

Além dos cálculos de resistência térmica também foram realizados os cálculos comparativos de transmitância térmica e capacidade térmica através das Equações 10 e 12. O valor encontrado está próximo a 2,49, que é o valor contido na ABNT 15220-3, 2005.

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{0,4028} = 2,482 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

Para o cálculo da capacidade térmica, também foram utilizadas as linhas A, B e C, bem como as respectivas áreas de cada seção para encontrar a capacidade térmica total da parede (CT):

Linha A:

$$CTa = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e. c. \rho)_{\text{reboco}} + (e. c. \rho)_{\text{argamassa}} + (e. c. \rho)_{\text{reboco}}$$

$$CTa = (0,025 \cdot 1.2000) + (0,090 \cdot 1.2000) + (0,025 \cdot 1.2000) = 280 \left[ \frac{kJ}{m^2 K} \right]$$

Linha B:

$$CTb = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e. c. \rho)_{\text{reboco}} + (e. c. \rho)_{\text{bloco cerâmica}} + (e. c. \rho)_{\text{reboco}}$$

$$CTb = (0,025 \cdot 1.2000) + (0,090 \cdot 0,92 \cdot 1600) + (0,025 \cdot 1.2000) = 232 \left[ \frac{kJ}{m^2 K} \right]$$

Linha C:

$$CTc = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = 2(e. c. \rho)_{\text{reboco}} + 3(e. c. \rho)_{\text{bloco cerâmica}}$$

$$CTc = 2 \cdot (0,025 \cdot 1.2000) + 3 \cdot (0,010 \cdot 0,92 \cdot 1600) = 144 \left[ \frac{kJ}{m^2 K} \right]$$

Capacidade térmica total da parede:

$$CT = \frac{Aa + Ab + Ac}{\frac{Aa}{CTa} + \frac{Ab}{CTb} + \frac{Ac}{CTc}} = \frac{0,004 + 0,002(5) + 0,006(4)}{\frac{0,004}{280} + \frac{0,002(5)}{232} + \frac{0,006(4)}{144}} = 169,6 \left[ \frac{kJ}{m^2K} \right]$$

A capacidade térmica total da norma ABNT 15220-3, 2005 indica o valor de 158, um pouco inferior ao calculado.

Além dos cálculos apresentados foi construída uma tabela com os dias mais frios registrados em cada semana ao longo do período de coleta, que são os dias típicos de inverno, a fim de averiguar os níveis de desempenho no interior dos modelos (tabela 2). Portanto, foi avaliada a menor temperatura ambiente dos dias escolhidos com o propósito de aferir o desempenho de ambos os modelos (tabela 7). Percebe-se ao final da avaliação que a maioria dos dias avaliados tiveram pelo menos desempenho mínimo (M) e um horário com desempenho intermediário (I).

**Tabela 7: Avaliação dos níveis de desempenho no interior dos modelos**

Data/hora	Temperatura ambiente [°C]	Temperatura bloco sem parede [°C]	Desempenho	Temperatura bloco com parede [°C]	Desempenho
16/07 6h20	11	14,5	M	15	M
21/07 3h14	14	17	M	17,5	M
30/07 6h25	11	14	M	15	M
01/08 6h09	10,5	14,5	M	15,5	I

Fonte: Autoria própria (2021)

M: Desempenho mínimo; I: Desempenho intermediário.

## 5.2 Análise da temperatura interna e externa

Para analisar as temperaturas interna e externa dos modelos com e sem parede verde, foi coletado dados durante 4 semanas no período de 10 de julho de 2020 a 7 de agosto de 2020 de modo a ter uma melhor representatividade dos dados. Após a coleta e tratamento dos dados, foi possível perceber dias quentes mesmo no período de inverno com temperatura ambiente máxima aferida na coleta

de 30°C no dia 13/07 que se repetiu nos dias 14/07, 22/07 e 28/07 e a temperatura mínima registrada foi de 10,5°C no dia 01/08. A Tabela 8 mostra as temperaturas internas e externas registradas no período do monitoramento.

**Tabela 8: Valores máximos e mínimos das temperaturas do ar do ambiente e das temperaturas internas dos blocos sem parede verde e com parede verde ao longo das semanas de monitoramento**

<i>Parâmetro/semana</i>	<i>Data/hora</i>		<i>Temperatura [°C]</i>		
			<i>INSP</i>	<i> Ambiente </i>	<i>INCP</i>
Temperatura máxima Semana 1	13/7	14:48	<b>28</b>	30	27
	14/7	14:27	26,5	<b>30</b>	25
	13/7	16:03	28	29	<b>27,5</b>
Temperatura máxima Semana 2	22/7	13:50	<b>27</b>	28,5	25,5
	22/7	13:00	26	<b>30</b>	25
	23/7	16:28	27,5	29	<b>26</b>
Temperatura máxima Semana 3	28/7	15:22	<b>28,5</b>	30	27,5
	28/7	15:22	28,5	<b>30</b>	27,5
	28/7	15:22	28,5	30	<b>27,5</b>
Temperatura máxima Semana 4	6/8	14:00	<b>26</b>	28	24
	6/8	14:00	26	<b>28</b>	24
	6/8	14:00	26	28	<b>24</b>
Temperatura mínima Semana 1	16/7	06:25	<b>14</b>	11	15
	16/7	06:20	14,5	<b>11</b>	15
	16/7	06:30	14	11	<b>14,5</b>
Temperatura mínima Semana 2	21/7	05:49	<b>16</b>	14,5	16,5
	21/7	03:14	17	<b>14</b>	17,5
	21/7	05:49	16	14,5	<b>16,5</b>
Temperatura mínima Semana 3	30/7	06:25	<b>14</b>	11	15
	30/7	06:25	14	<b>11</b>	15
	30/7	06:10	14	11	<b>14,5</b>
Temperatura mínima Semana 4	01/8	06:09	<b>14</b>	10,5	15,5
	01/8	06:09	14	<b>10,5</b>	15,5
	01/8	07:04	14,5	14,5	<b>15</b>

Fonte: Autoria própria (2021)

Legenda: INSP- Interna sem parede verde; INCP- Interna com parede verde. Os valores em negrito (coloração vermelho e azul) representam as temperaturas mais extremas para cada ambiente.

Por meio da Tabela 8 percebe-se os dias com menores e maiores temperaturas, o que facilita o entendimento do desempenho térmico de cada modelo. A Tabela 9 foi construída para verificar a semana mais quente e mais fria. A semana mais fria foi a 4 e a mais quente foi a 2. O monitoramento dessas semanas estão ilustradas nos gráficos 1 e 2.

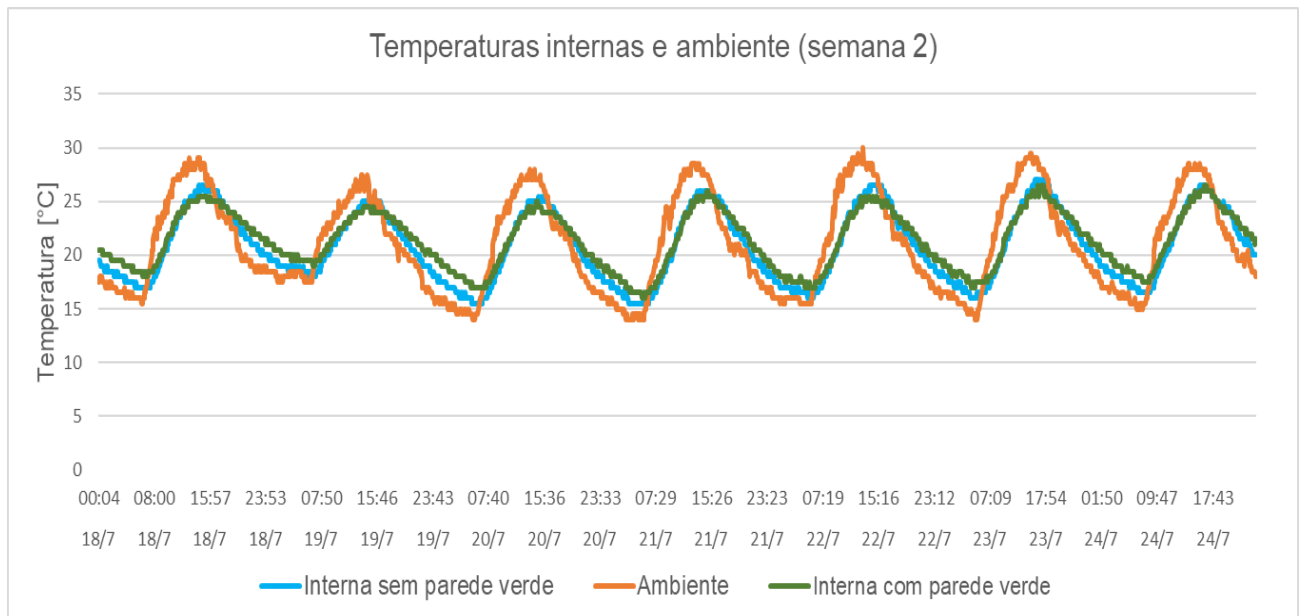


Tabela 9: Média das temperaturas semanais

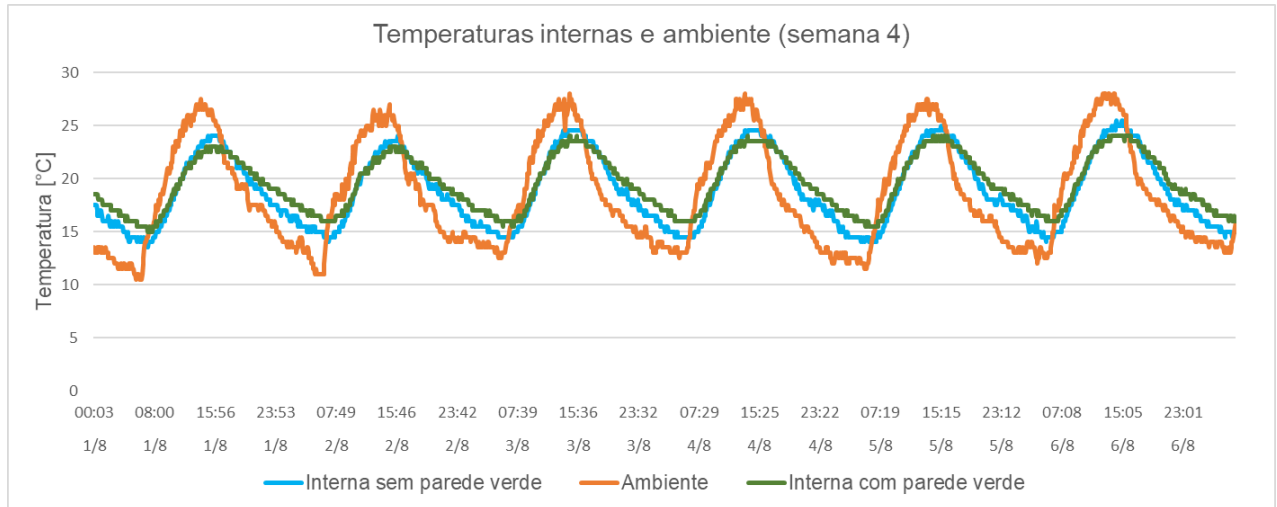
<i>Semana</i>	<i>Temperatura [°C]</i>
1 (10/7-17/7)	20,3
2 (18/7-24/7)	21,6
3 (25/7-31/7)	18,9
4 (01/8-07/8)	18,3

Fonte: Autoria própria (2021)

Gráfico 1: Temperaturas internas e a ambiente da segunda semana do monitoramento

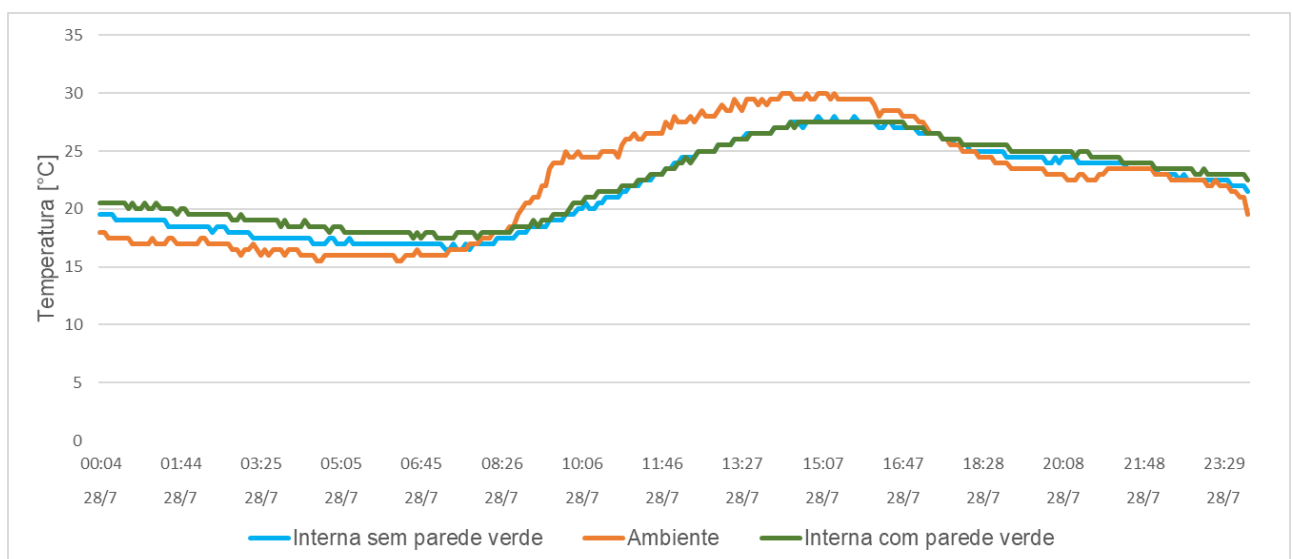


Fonte: Autoria própria (2021)

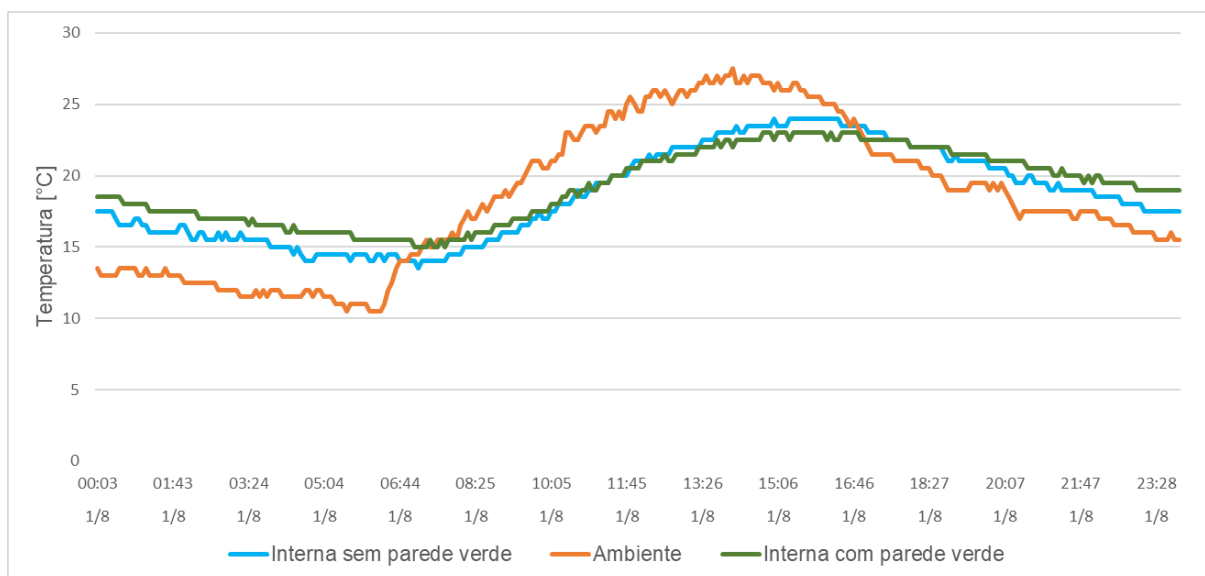
**Gráfico 2: Temperaturas internas e a ambiente da quarta semana do monitoramento**

Fonte: Autoria própria (2021)

Como pode ser observado nos gráficos 1 e 2, a temperatura INSP se manteve levemente superior nos momentos de pico em relação a INCP. No intervalo de 19:00h as 7:00h a temperatura interna do bloco com parede verde (INCP) se manteve superior à temperatura ambiente e um pouco superior a temperatura interna do bloco sem parede verde (INSP). Este comportamento já tinha sido observado no estudo de Silva (2019) e fica mais nítido quando observamos os gráficos 3 e 4 que representa o monitoramento do dia mais quente (28/07) e do dia mais frio (01/08).

**Gráfico 3: Temperaturas internas e ambiente do dia mais quente do monitoramento (28/07)**

Fonte: Autoria própria (2021)

**Gráfico 4: Temperaturas internas e ambiente do dia mais frio do monitoramento (01/08)**

**Fonte: A autoria própria (2021)**

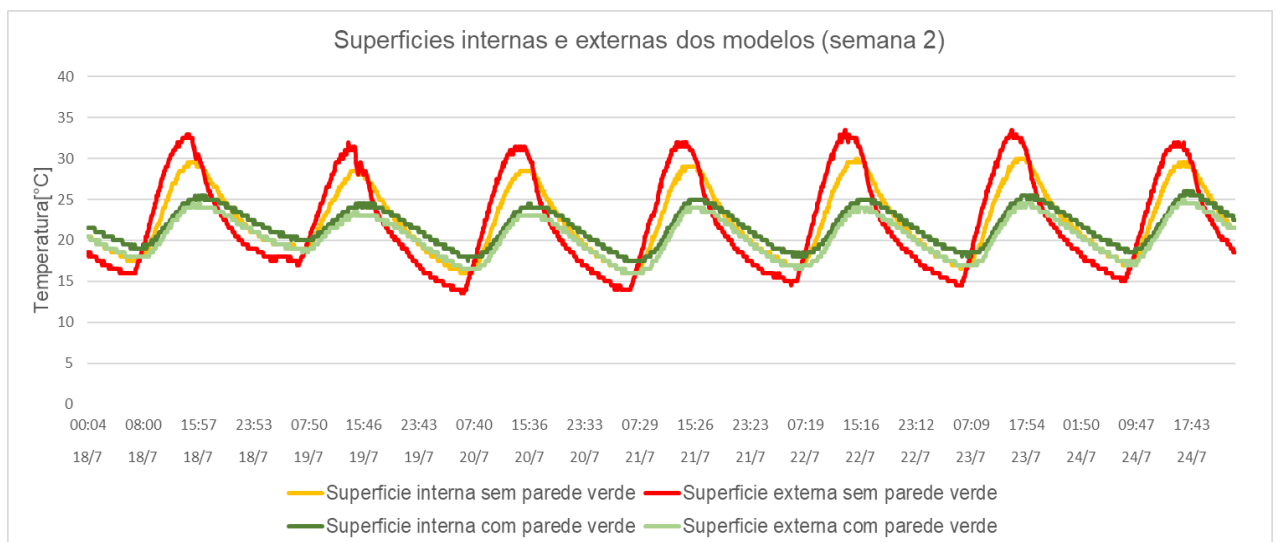
Outra constatação é que no período das 7h00 as 19h00 a temperatura interna do bloco sem parede verde (INSP) se mostrou levemente superior à temperatura interna do bloco com parede verde (INCP). Sabendo que o amortecimento térmico é a diferença entre a temperatura ambiente máxima e a interna máxima, percebe-se que o bloco com parede verde proporcionou um amortecimento de  $4,5^{\circ}\text{C}$  para os dias mais quentes e  $5^{\circ}\text{C}$  para os dias mais frios, enquanto o bloco sem parede verde trouxe um amortecimento de  $3^{\circ}\text{C}$  para os dias mais quentes e um amortecimento de  $3,5^{\circ}\text{C}$  para os dias mais frios, ilustrando assim a influência da vegetação na atenuação da temperatura. Assim como no estudo de Assis (2020), o amortecimento térmico mínimo com parede verde se mostrou acima do sem parede verde. Em relação à amplitude térmica é possível observar que o uso da parede verde se mostrou mais eficaz para os dias mais quentes onde tivemos uma amplitude de  $8,5^{\circ}\text{C}$  enquanto sem parede verde este valor subiu para  $11^{\circ}\text{C}$ . Nos dias frios os valores foram:  $8^{\circ}\text{C}$  com parede verde e  $10^{\circ}\text{C}$  sem parede verde. Segundo Caetano (2014), a vegetação reduz os fluxos de calor amenizando as amplitudes térmicas, em razão da evapotranspiração das plantas, assim como o sombreamento e o isolamento térmico proporcionado pelas mesmas.

### 5.3 Análise das temperaturas superficiais interna e externa

Como explicado anteriormente a coleta de dados ocorreu em 4 semanas e medição foi feita em 3 pontos designados A, B e C ao longo do comprimento da parede. Nos modelos, o ponto A representa os aspargos, o B os clorofitos e o C os singônios (Figura 15).

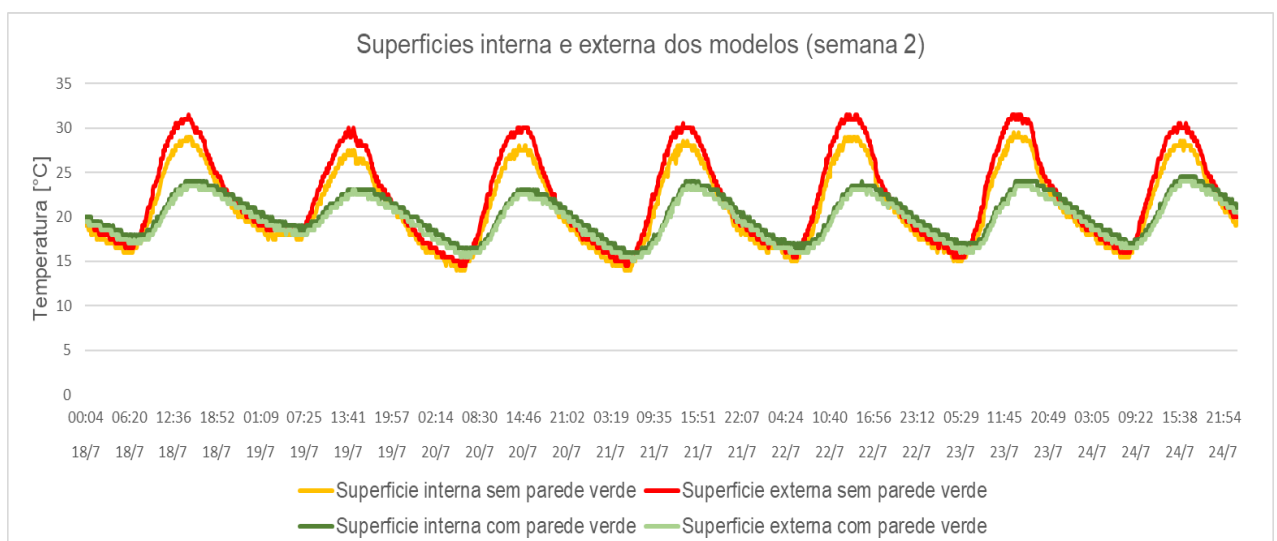
Para analisar os gráficos de desempenho térmico dos modelos, foram construídos os gráficos de 5 a 10 que mostram o desempenho dos modelos ao longo das duas semanas escolhidas para os pontos A, B e C.

**Gráfico 5: Desempenho dos modelos para o ponto A na segunda semana do monitoramento**

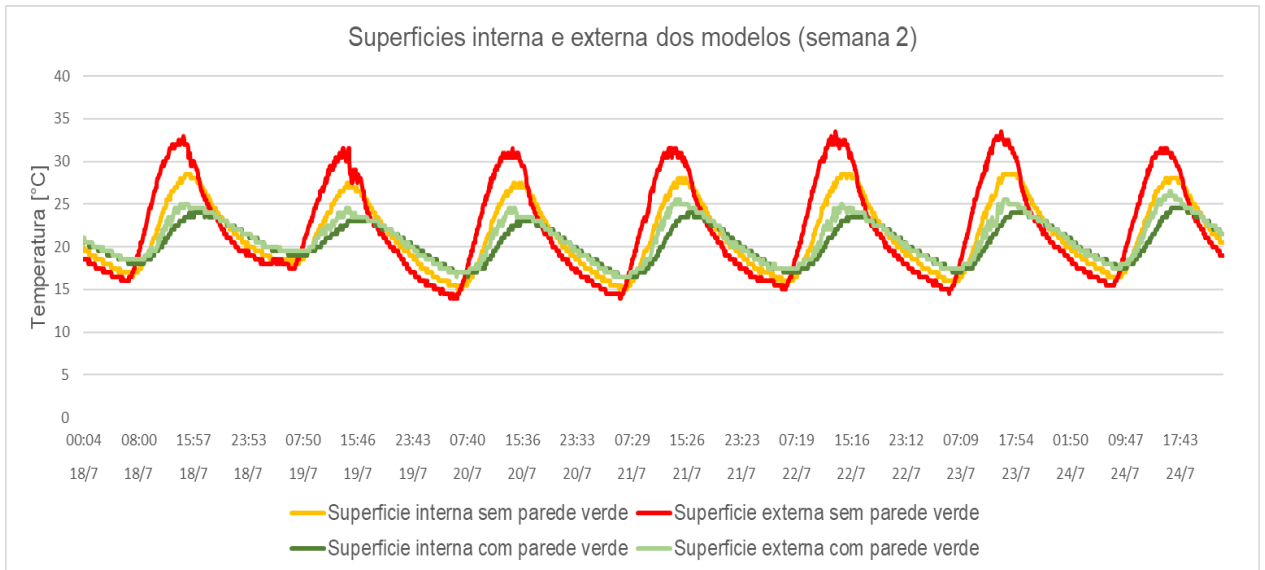


Fonte: Autoria própria (2021)

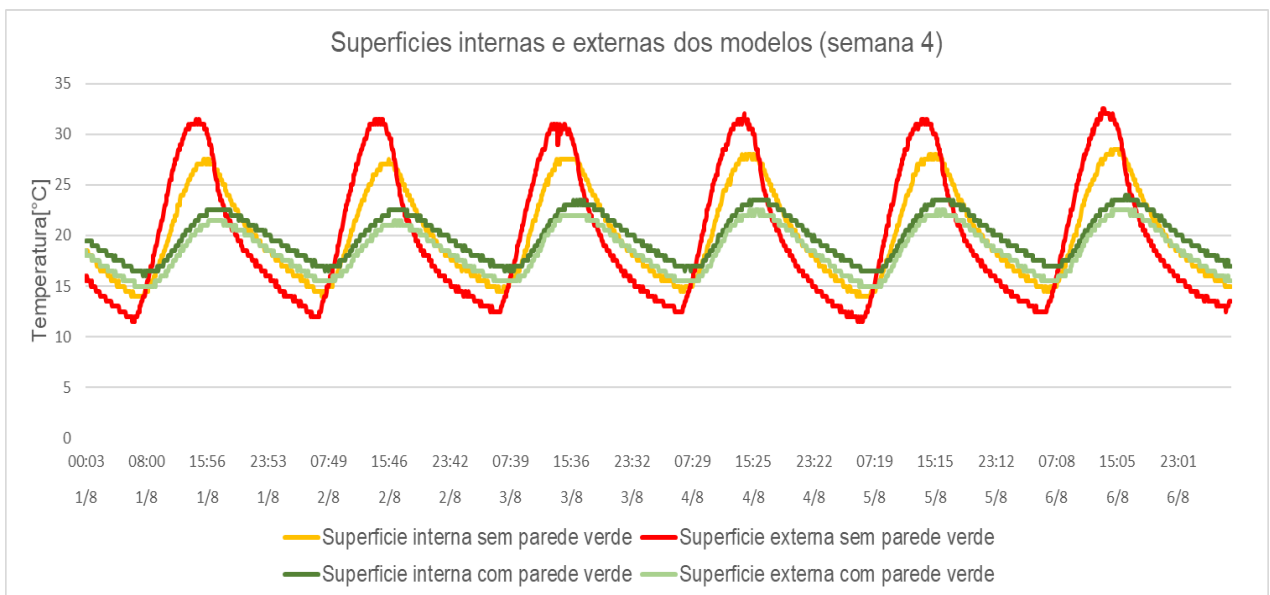
**Gráfico 6: Desempenho dos modelos para o ponto B na segunda semana do monitoramento**



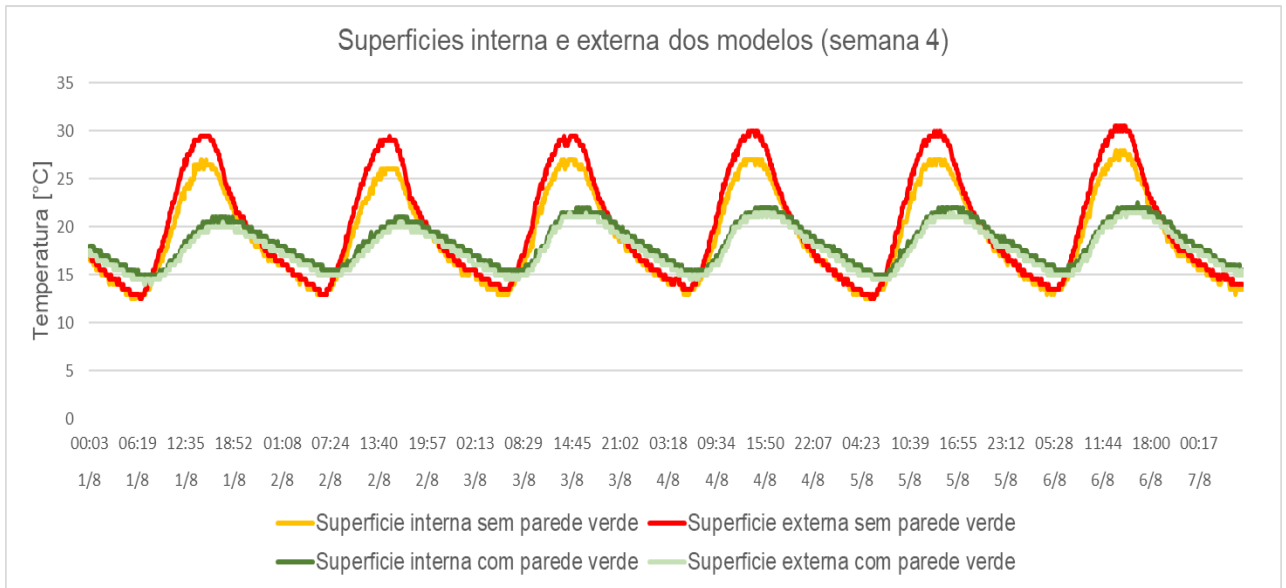
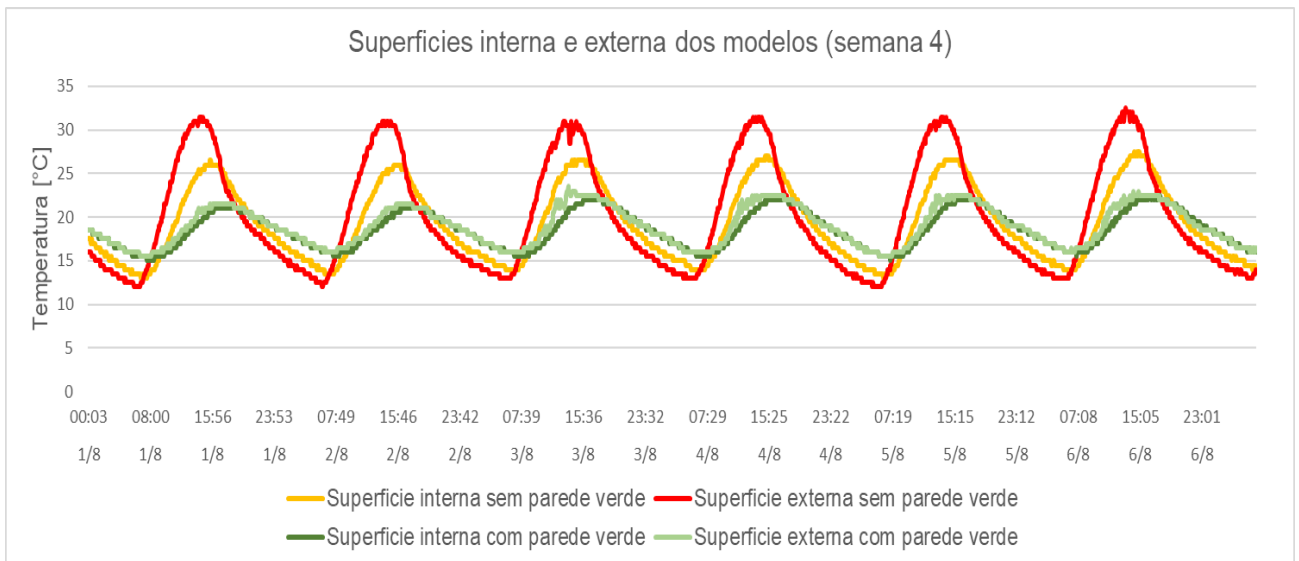
Fonte: Autoria própria (2021)

**Gráfico 7: Desempenho dos modelos para o ponto C na segunda semana do monitoramento**

Fonte: Autoria própria (2021)

**Gráfico 8: Desempenho dos modelos para o ponto A na quarta semana do monitoramento**

Fonte: Autoria própria (2021)

**Gráfico 9: Desempenho dos modelos para o ponto B na quarta semana do monitoramento****Fonte: Autoria própria (2021)****Gráfico 10: Desempenho dos modelos para o ponto C na quarta semana do monitoramento****Fonte: Autoria própria (2021)**

Em relação às temperaturas de superfície do modelo sem parede verde foi possível observar que as mesmas mostraram o mesmo comportamento ao longo da coleta de dados para os três pontos, onde tivemos uma superioridade da superfície externa (SESP) em relação à superfície interna (SISP) no período diurno (7h às 19h) com diferença de temperatura chegando a 5,5°C no dia 02/08 às 14h36 para o ponto C enquanto que para os pontos A e B essa diferença já foi um pouco mais amena, ou seja, de 3°C para o ponto B no dia 02/08 às 15h40 e de 4°C para o ponto A no

dia 02/08 às 14h41. Já no período noturno (19h as 7h) essa situação se inverte, onde pode-se observar que a temperatura da SISP se mostrando superior a temperatura da SESP para os pontos A e C e bem menor no ponto B. As diferenças registradas foi de até 3,5°C para os pontos A e C, enquanto que para o ponto B chegou a 0,5 °C ou foi nula.

Já para o modelo com parede verde, pode-se notar que as temperaturas das superfícies interna e externa (SICP e SECP) demonstraram um comportamento diferente para cada ponto de coleta, onde para o ponto A observou-se uma leve tendência de superioridade da SICP em relação a SECP em torno de 1,5°C ao longo da coleta e para o ponto B houve uma proximidade entre a SICP e a SECP com pequenos acréscimos de 0,5°C para a SICP. O comportamento do ponto C foi semelhante ao ponto B, onde as temperaturas se aproximavam em muitos pontos no período noturno e no período diurno a SECP se mostrou levemente superior chegando a atenuações máximas de 2°C. Esses resultados de proximidade nas superfícies internas e externas foram observados no estudo de Morelli (2016) com o uso de trepadeiras no entorno da edificação.

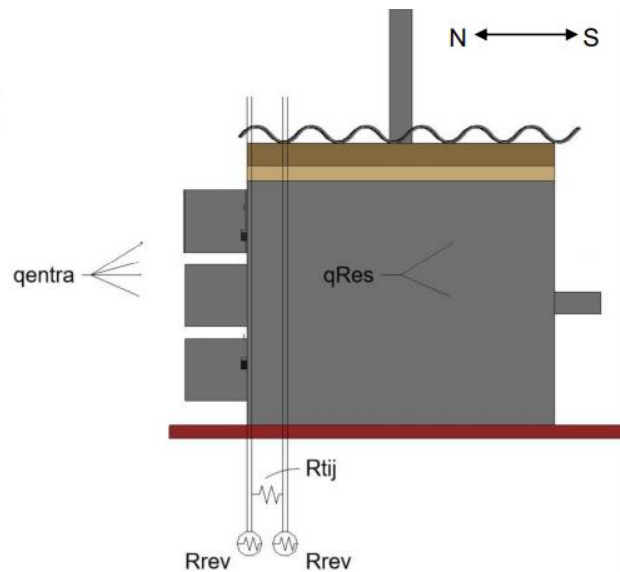
Entre os dois blocos, podemos perceber que existiu uma grande diferença no comportamento das temperaturas externas e internas de superfície, onde o modelo com parede verde se mostrou em sua totalidade superior ao modelo sem parede verde em relação ao desempenho térmico. Foi possível perceber diferenças de temperatura de até 7°C da SESP e SECP para o ponto A, 9°C para o ponto B e 9,5°C para o ponto C. Enquanto que a diferença entre a SISP e SICP foi de 4,5°C para o ponto A, e 5,5°C para os pontos B e C. Essas diferenças elevadas de temperatura superficial externa nos modelos foram observadas também no estudo de Caetano (2014) onde após a inserção de vegetação na fachada norte observou-se reduções abruptas da superfície externa do edifício.

Ao analisar a coleta de dados como um todo, podemos notar que as três espécies selecionadas para compor a parede verde se mostraram eficazes termicamente, proporcionando uma diminuição da temperatura interna no período diurno e uma temperatura interna mais elevada no período noturno como já visto nos trabalhos de Morelli (2016), Caetano (2014), Silva (2019) e Assis (2020).

#### 5.4 Redução da energia térmica

O cálculo de estimativa para a redução de energia térmica dos modelos, foi realizado a partir do cálculo de condução térmica das paredes na fachada norte utilizando o princípio da figura 17, onde não existe geração de energia dentro dos modelos e a cobertura e a base foram isoladas.

Figura 17: Esquema do fluxo de calor na fachada norte



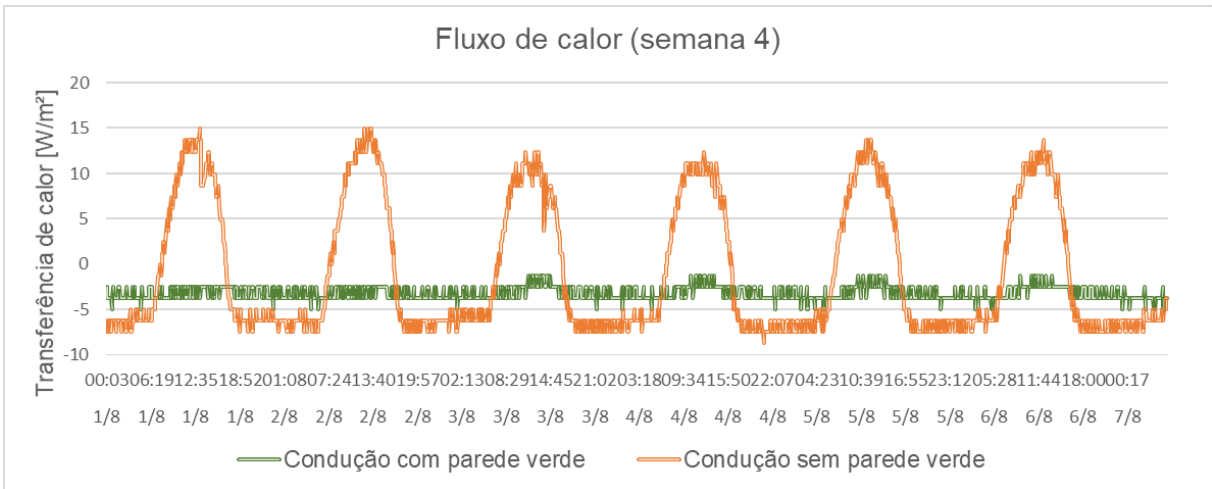
Fonte: Silva (2019)

$q_{entra}$ : energia que entra no sistema na forma de calor por condução;  $R_{rev}$ : resistência térmica do revestimento;  $R_{tij}$ : resistência térmica do tijolo cerâmico do modelo;  $q_{Res}$ : energia que chega até o interior do modelo.

Para calcular o fluxo de calor por condução, utilizamos a Equação 8, onde o delta da temperatura foi calculado pela diferença da temperatura de superfície externa com a temperatura de superfície interna. Com os cálculos realizados foi possível obter os gráficos de fluxo de calor por condução para a semana mais fria (Gráficos 11, 12 e 13), pois a intenção foi averiguar o desempenho térmico dos modelos no inverno para os 3 pontos monitorados ao longo do comprimento da parede. Além dos gráficos, foi construída a Tabela 10 com os valores de diferença de fluxo para cada semana.

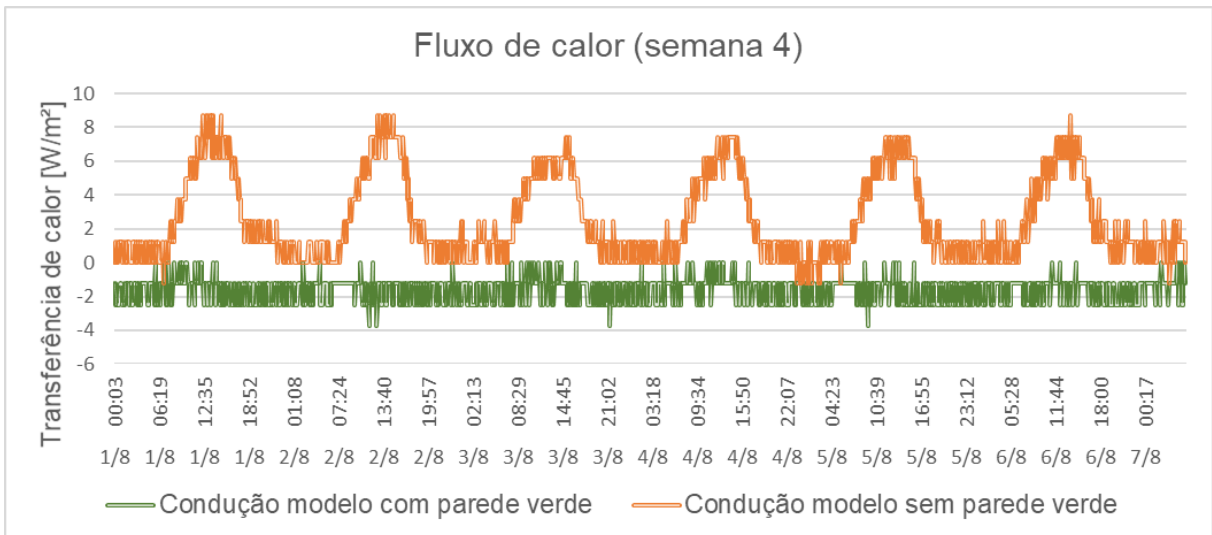


**Gráfico 11: Fluxo de calor dos modelos para o ponto A na quarta semana do monitoramento**



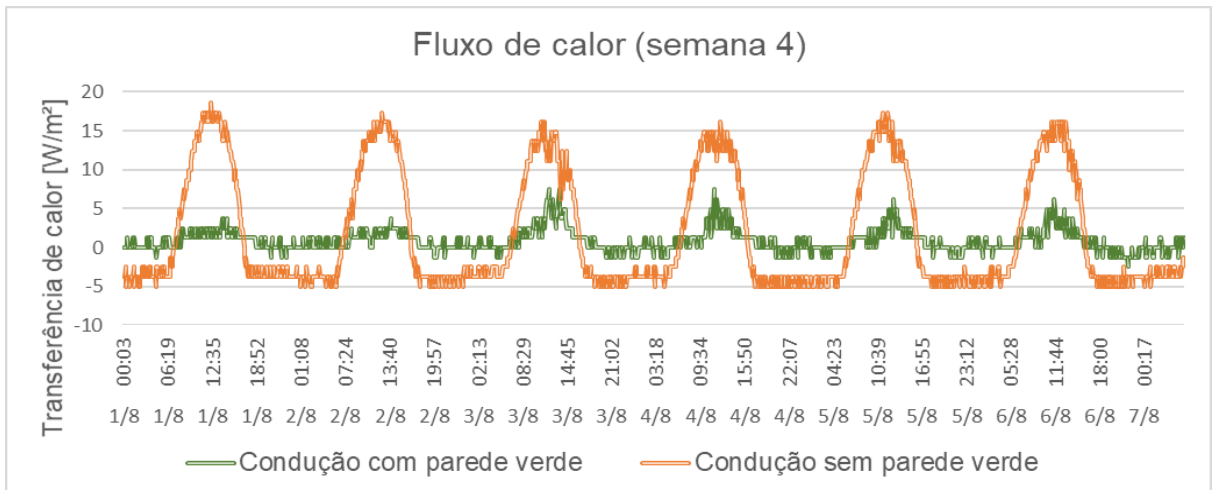
Fonte: Autoria própria (2021)

**Gráfico 12: Fluxo de calor dos modelos para o ponto B na quarta semana do monitoramento**



Fonte: Autoria própria (2021)

**Gráfico 13: Fluxo de calor dos modelos para o ponto C na quarta semana do monitoramento**



Fonte: Autoria própria (2021)

Após a análise dos gráficos notou-se que a presença da vegetação faz com que se tenha uma tendência de diminuição no fluxo de calor, o que já foi relatado por Caetano (2014). Ao longo da semana 4 em todos os pontos observou-se que o valor do fluxo de calor para o modelo com parede verde se manteve com valores baixos, chegando a valores máximos de 5 W/m<sup>2</sup> no ponto A, 6 W/m<sup>2</sup> no ponto C e 4 W/m<sup>2</sup> no ponto B. Os valores foram considerados em módulo, pois os valores negativos indicam que a direção do fluxo está sendo da superfície interna para a externa. Em relação ao modelo sem parede verde, podemos notar que o mesmo tem uma taxa de fluxo de calor bem mais expressiva que o modelo com parede verde, onde os valores máximos chegaram próximos de 18 W/m<sup>2</sup> no ponto C, 15 W/m<sup>2</sup> no ponto A e 9 W/m<sup>2</sup> no ponto B.

A fim de calcular a porcentagem de redução de energia térmica entre os modelos, analisaram-se as maiores diferenças de fluxo de calor entre os dois modelos ao longo de cada semana para cada ponto coletado. As diferenças encontradas podem ser observadas na Tabela 10.

**Tabela 10: Diferenças máximas do fluxo de calor promovido pela parede verde**

<i>Ponto/Semana</i>	<i>Diferença do fluxo entre os modelos [W/m<sup>2</sup>]</i>
Ponto A (semana1)	11,2
Ponto A (semana 2)	11,2
Ponto A (semana 3)	11,2
Ponto A (semana 4)	12,4
Ponto B (semana1)	8,7
Ponto B (semana 2)	7,4
Ponto B (semana 3)	7,4
Ponto B (semana 4)	8,6
Ponto C (semana1)	16,1
Ponto C (semana 2)	14,9
Ponto C (semana 3)	14,9
Ponto C (semana 4)	16,1

**Fonte: Autoria própria (2021)**

Por meio da tabela é possível observar que o ponto C com a espécie singônio, foi o ponto com a maior diferença de fluxo de calor entre o modelo com e sem parede verde, chegando a 16,1 W/m<sup>2</sup>. Sabendo-se que a fachada norte objeto deste estudo tem uma área de 1,8 m<sup>2</sup> determinou-se a diferença em W utilizando a equação 9.

$$Q = 16,1 \frac{W}{m^2} \times 1,8 m^2 = 28,98 W$$

Assim como para o ponto C foram calculados os valores máximos de diferenças para as espécies localizadas nos pontos A e B, cujos resultados foram inferiores ao ponto C.

Ponto A

$$Q = 12,4 \frac{W}{m^2} \times 1,8 m^2 = 22,32 W$$

Ponto B

$$Q = 8,7 \frac{W}{m^2} \times 1,8 m^2 = 15,66 W$$

Para saber a redução real foi preciso comparar o fluxo de calor promovidos nos dois casos em W/m<sup>2</sup> para cada ponto. O dia escolhido foi o mais frio do monitoramento (01/08) às 13h31. Como já relatado anteriormente os valores negativos indicam o sentido inverso da transferência de calor; portanto os valores de fluxo de calor foram utilizados em módulo para calcular a porcentagem de redução entre os dois modelos. Assim, para calcular a porcentagem foi atribuído que o valor de fluxo no modelo sem parede representa 100% e a diferença obtida entre os modelos seria a porcentagem de redução (Tabela 11).

Tabela 11: Porcentagem de redução da energia térmica

<b>Ponto</b>	<b>Fluxo de calor (modelo com parede verde) [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Fluxo de calor (modelo sem parede) [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Porcentagem de redução (%)</b>
<b>Ponto A</b> (Aspargo)	2,48	13,6	82
<b>Ponto B</b> (Clorofito)	1,2	7,4	83
<b>Ponto C</b> (Singonio)	1,2	17,3	93

Fonte: Autoria própria (2021)

Os resultados da Tabela 11 mostraram que o singônio foi à espécie que mais trouxe redução em percentual para a energia térmica, chegando a uma redução de até 93% nos momentos de altas temperaturas. Os dados de redução de fluxo de calor mínimos não foram apresentados, pois em muitos momentos no período noturno a redução de fluxo de calor se mostrou nula.

## 6 CONCLUSÃO

Diante dos resultados apresentados, pode se afirmar que os modelos de blocos cerâmicos, objeto desse estudo, com escala reduzida de 1:12 simulando o bloco S da UTFPR-Londrina, se encontram dentro dos padrões de desempenho estabelecidos pela norma, onde todos os cálculos comparativos se encontram dentro do valor permitido pela NBR 15220 e NBR 15575.

Em relação ao desempenho térmico no inverno, pode se concluir que o modelo com parede verde se mostrou eficaz mesmo em condições mais amenas onde foi possível observar que nos momentos de pico (temperaturas máximas) a temperatura interna do bloco com parede verde mostrou um maior amortecimento térmico em relação à interna sem parede verde no período diurno e no período noturno a interna com parede verde se mostra levemente superior trazendo um maior conforto térmico.

Para as temperaturas de superfície externa e interna, a inserção da parede verde promoveu uma superioridade ao longo do período de monitoramento, trazendo reduções de temperatura de até 9,5°C da SECP em relação à SESP nos momentos de pico. Assim como uma redução de até 5,5°C da SICP em relação à SISP.

Em relação às taxas de fluxo de calor do modelo com parede verde, pode-se observar uma redução abrupta da taxa, ou seja, redução de até 16,1 W/m<sup>2</sup> em relação ao modelo sem parede verde. Todas as espécies escolhidas mostraram uma redução satisfatória da taxa de condução sendo: 22,32 W para o Aspargo, 15,66 W para o Clorofito e 28,98 W para o Singônio. Em termos percentuais estas taxas correspondem a: 82%, 83% e 93% de redução, o que mostra um excelente desempenho térmico com destaque para a espécie Singônio.

Por fim, percebeu-se que mesmo no período de inverno onde as temperaturas não são tão elevadas, a inserção de paredes verdes na face norte do modelo foi eficiente, proporcionando um maior conforto térmico no interior e um potencial de redução no uso de ares condicionados promovendo assim uma redução nos gastos com energia elétrica.

## 7 REFERÊNCIAS

ABREU, L. V. 2008. **Avaliação da escala de influência da vegetação no microclima por diferentes espécies arbóreas**. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

DE ASSIS, Lutiano Prato. **Avaliação do desempenho térmico de paredes verdes na atenuação de temperatura em ambientes internos, no outono**. 2020. 74 p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: **Desempenho Térmico de Edificações: Parte 1, 2, 3 e 4**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 – 1: **Edificações habitacionais – Desempenho: Parte 1 e 4**. Rio de Janeiro, 2013

BERNARDES, Bruna. **ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO NAS PAREDES DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL DE DOURADOS (MS)**, MS.2017. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de produção, Universidade Federal da grande Dourados, Dourados, 2017.

CAETANO, F. D. N. **Influência de muros vivos sobre o desempenho térmico de edifícios**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. Disponível em: [http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258059/1/Caetano\\_FernandoDursoNaves\\_M.pdf](http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258059/1/Caetano_FernandoDursoNaves_M.pdf). Acesso em: 15 abril. 2021.

BELLO, Luiza Guerra. **Análise do desempenho de conforto térmico de projetos de habitações unifamiliares em Pato Branco**, PR. 2013. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

CAMARGO, Maristela Gomes de; FURLAN, Maria Montserrat Diaz Pedrosa. Resposta fisiológica do corpo às temperaturas elevadas: exercício, extremos de temperatura e doenças térmicas. **Saúde e Pesquisa**, [s. L.], v. 4, n. 2, p.278-288, ago. 2011. Disponível em: <http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/saudpesq/article/viewFile/1723/1286> >. Acesso em: 20 jun. 2020.

CATUZZO, H. **Telhado Verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O Caso da Cidade de São Paulo**. 2013. 207 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) –Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2013. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-18122013-123812/en.php>

DJEDJIG, R.; GANAOU, M. El; BELARBI, R.; BENNACER, R.. Thermal effects of an innovative green wall on building energy performance. **Mechanics & Industry**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 104-106, 7 out. 2016. EDP Sciences. <http://dx.doi.org/10.1051/meca/2016015>.

GETTER, K. L.; ROWE, D. B. The role of Extensive Green roofs in Sustainable developments. **HortScience**: American Society for Horticultural Science. Michigan: AshsPublications, 2006, p. 1276-1285.

GIGLIO, T. G. F., **Avaliação do desempenho térmico de painéis de vedações em madeira para o clima de Londrina – PR**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, 2005.

GREEN ROOFS. **About Green Walls**. Canadá, 2018. Disponível em: <https://greenroofs.org/about-green-walls> . Acesso em: 10 jun. 2020.

INCROPERA, F. et al., **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. LTC, 6a Edição, São Paulo, 2011.

INCROPERA, F. et al., **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. LTC, 8a Edição, São Paulo, 2019.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Eficiência Energética na Arquitetura. São Paulo: Pw Editora, 1997. Disponível em: <[www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Livro - Eficiência Energética na Arquitetura.pdf](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Livro_-_Efici%C3%AAncia_Energ%C3%A9tica_na_Arquitetura.pdf)>. Acesso em: 23 jun. 2020.

LAMBERTS, Roberto. **Desempenho Térmico de Edificações**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

MANSO, M.; CASTRO-GOMES, J. Green wall systems: A review of their characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Covilhã, v. 41, p. 863-871, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>

MORELLI, D. D. O. **Desempenho de paredes verdes como estratégia bioclimática**, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

NUCCI, J.C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano: um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP)**. 2ª ed. Curitiba: O Autor, 2008. 150p. Disponível em: <[http://www.labs.ufpr.br/site/arquivos/qldade\\_amb\\_aden\\_urbano.pdf](http://www.labs.ufpr.br/site/arquivos/qldade_amb_aden_urbano.pdf)> Acesso em 12 de agosto de 2020.

PAN, Lan; CHU, L.M.. Energy saving potential and life cycle environmental impacts of a vertical greenery system in Hong Kong: a case study. **Building And Environment**, [S.L.], v. 96, p. 293-300, fev. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.033>.

REVISTA MAIS CONSTRUÇÃO. **Jardim Vertical, Inspire-se**. Disponível em: <https://revistamaisconstrucao.com.br/component/content/article/2-slideshow/246-decoracao-dos-signos-os-elementos-e-a-casa> . Acesso em: 22 jun. 2020.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima. Acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre: DC Luzzatto, 1986.

RODRIGUES, Edmundo. **Processos de Transmissão de Calor**. Disponível em: [http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/c/c6/Transmissao\\_de\\_Calor\\_em\\_Edificacoes.pdf](http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/c/c6/Transmissao_de_Calor_em_Edificacoes.pdf). Acesso em: 04 out. 2020.

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2007.

RORIZ, Maurício. **Conforto e desempenho térmico de edificações**. 2008. 63 f. Curso de Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

SILVA, Rodrigo Oliveira. **DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDES VERDES NA FACHADA NORTE EM MODELO REDUZIDO: UM ESTUDO PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA DE LONDRINA**. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.

SOUZA, Léa Cristina Lucas de. **Módulo 6: Conforto Térmico III**. 2010. Curso de Arquitetura Bioclimática, Universidade Cruzeiro do Sul, 2010

WESTWING. **Plantas Para Jardim Vertical**. Disponível em: <https://www.westwing.com.br/guiar/plantas-para-jardim-vertical/#:~:text=Plantas%20para%20jardim%20vertical%20com,e%20babosa%2De%2Dpau> . Acesso em: 15 jun. 2020.

Condições meteorológicas médias de Londrina. **Weather Spark**, 2020. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/29737/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Londrina-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 12 de out. 2020