

ANÁLISE NUMÉRICA DO DESEMPENHO TÉRMICO NO SISTEMA DE PAREDES VERDES CONSIDERANDO A TRANSFERÊNCIA DE CALOR E UMIDADE

Thiago João Souza da Silva, thiagosilva8@aluno.uema.br¹

Emerson Teixeira Gomes, emersongomes1@aluno.uema.br¹

Alisson Augusto Azevedo Figueiredo, alissonfigueiredo@professor.uema.br¹

¹Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, Avenida Sarney Filho - Vila Embratel, São Luís - MA, 65081-400

Resumo: Com o avanço das áreas urbanas nas cidades surgem diversos problemas ecológicos como o aumento do efeito da ilha de calor urbana, da poluição do ar, redução da biodiversidade, entre outros. Consequentemente, existe uma necessidade de realizar práticas sustentáveis que podem ser implementadas no ambiente urbano para a atenuação desses problemas. Uma das principais alternativas ecológicas é a utilização de jardins verticais nas paredes das casas e edifícios, este possui diversos benefícios que contribuem para a biodiversidade urbana, qualidade do ar, redução de ruído, redução de temperatura e mitigação da ilha de calor urbana, além de induzir um efeito de bem-estar psicológico através da presença de vegetação. Os sistemas de paredes verdes externos são capazes de fornecer reduções de temperatura em razão do seu isolamento térmico, e sombreamento característicos, assim como a capacidade de absorção da radiação solar para fotossíntese e evapotranspiração. O presente trabalho investiga de forma numérica através do software comercial COMSOL, a influência da utilização de esverdeamento vertical no desempenho térmico de uma parede verde, considerando a transferência de calor e umidade. Para realizar a simulação numérica será desenvolvido um modelo bidimensional que representa o sistema da parede sem e com vegetação. Os sistemas de jardins verticais podem ser classificados em fachada verde (direta ou indireta) ou parede viva, em que a depender da complexidade, o sistema requisitará elementos de suporte, meios de cultivo, irrigação e drenagem. As análises serão feitas considerando um sistema de referência, sendo uma parede sem vegetação, no qual, será comparada com um sistema de parede verde. Os resultados apresentam uma diferença entre temperatura externa e interna em relação aos tipos de modelos de parede verde, fachada verde direta e parede viva. A redução de temperatura do sistema foi maior para a parede viva, seguido da fachada verde direta. Isso ocorre devido as características de isolamento térmico da camada de vegetação e substrato, no caso da parede viva. As análises realizadas demonstram a importância do uso de parede verde nas construções, devido a capacidade de reduzir a temperatura interna.

Palavras-chave: parede verde, transferência de calor, transporte de umidade, simulação numérica, desempenho térmico.

1. INTRODUÇÃO

A diminuição de áreas verdes urbanas gera diversos problemas ambientais, tais como: a redução da velocidade da ventilação natural, o aumento da capacidade térmica, a queda da evapotranspiração, o aparecimento das ilhas de calor, entre outros. Consequentemente, existe uma necessidade de realizar práticas sustentáveis que podem ser implementadas no ambiente urbano para a atenuação desses problemas. Uma das principais alternativas ecológicas é a utilização de jardins verticais nas paredes das casas e edifícios, este possui diversos benefícios que contribuem para a biodiversidade urbana, qualidade do ar, redução de ruído, redução de temperatura e mitigação da ilha de calor, além de induzir um efeito de bem-estar psicológico através da presença de vegetação. Os sistemas de paredes verdes externos são capazes de fornecer reduções de temperatura em razão do seu isolamento térmico e sombreamento característicos, assim como a capacidade de absorção da radiação solar para fotossíntese e evapotranspiração.

Manso e Gomes (2014) realizaram uma revisão bibliográfica sobre as características dos sistemas de parede verde, analisando desde a história até os desempenhos e cargas ambientais. O conhecimento de métodos tradicionais vem desde os jardins secretos da babilônia, império romano e grego, e por volta do ano 1980, surgiu uma nova ideia de fachadas verdes como contribuintes para valorização ecológica das cidades. Os principais tipos de sistema de jardins verticais foram classificados em dois grandes grupos, fachada verde e parede viva, destacando características e distinções em suas respectivas subdivisões, em que a depender da complexidade o sistema requisitará elementos de suporte, meios de cultivo, irrigação e drenagem. As fachadas verdes são mais sustentáveis, já as paredes vivas possuem requisitos que podem ter um impacto significativo na carga ambiental total. Concluindo que a inovação está centrada na melhoria do design para alcançar melhor desempenho e tornar soluções mais sustentáveis.

Cuce (2017) avaliou o desempenho da regulação térmica de forma experimental e numérica para o sistema de parede verde no Campus Jubilee da Universidade de Nottingham. Analisou uma fachada verde direta, no qual o crescimento da planta ocorre de forma espontânea, em diferentes condições ambientais e com medições relevantes de temperatura, umidade e velocidade do vento, em seis pontos da parede parcialmente coberta por *Hedera Helix*, localizados em áreas verdes e sem presença de vegetação. Um modelo numérico foi simulado no software comercial Ecotect, para a obtenção da distribuição da radiação solar na parede parcialmente coberta pela vegetação, justificando a característica de sombreamento e isolamento térmico das paredes verdes. Os testes experimentais foram realizados em dias nublados e ensolarados, e ao longo das semanas de testes foi obtida uma redução média de 4°C nas temperaturas, com reduções máximas de até 6°C em dias ensolarados.

Li *et al.* (2019) analisaram o desempenho de refrigeração e economia de energia de diferentes sistemas de parede verde realizando um estudo de simulação utilizando o software comercial Envi-met. Com o avanço da urbanização, muitas áreas naturais se tornaram florestas de aço trazendo uma série de problemas como a poluição urbana e a ilha urbana de calor, o esverdeamento da fachada dos edifícios é uma medida alternativa em potencial para a mitigação deste efeito. Foram analisados quatro cenários de parede verde modelados com o layout da rua Yuhou, província de Hunan na China. Os quatro cenários são parede nua, fachada verde, parede viva com base em caixas e baseada em super solo, que é um novo meio de cultivo desenvolvido pelo Dr. Zhiyong Qi. O Envi-Met é usado para simular a interação entre solo, vegetação, edifício e atmosfera. Concluíram que a melhor economia de energia interna para refrigeração foi de 19,92% do cenário baseado em super solo em relação ao de parede nua, de acordo com o modelo apresentado, o que equivale a potência de refrigeração equivalente a 3,5 ar condicionados padrão.

Sousa (2020) estudou a tecnologia das paredes verdes dentro do contexto climático brasileiro por meio da utilização do software Energy Plus, onde avaliou o desempenho térmico das edificações e realizou simulação numérica incluindo o componente Combined Heat and Moisture Tranfes Model (HAMT). Descreveu a classificação, o funcionamento, vantagens e desvantagens dos sistemas de paredes verdes. Inicialmente simulou um modelo base, correspondente a um projeto padrão de habitação do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), sem a camada de vegetação, após, comparou com o funcionamento das fachadas do tipo direto e indireto com a camada de vegetação inserida na parede externa dos quartos. Concluíram que existe um potencial na melhoria do desempenho térmico de ambas envoltórias e, consequentemente da temperatura interna das edificações, mas nota-se um melhor desempenho térmico na parede verde indireta, quando se utiliza o modelo HAMT, pela ação conjunta da umidade e da camada ventilada existente entre a vegetação e a parede.

Poupart *et al.* (2020) realizaram uma análise numérica baseada no método das diferenças finitas sobre o desempenho de paredes verdes na cidade de Oslo e de Roma. Foi revisitado o modelo proposto em (Susorova *et al.*, 2013), onde combinaram os efeitos dos coeficientes de transferência de calor modificados apresentado no trabalho de (Convertino *et al.*, 2019). O balanço de energia do modelo revela que o termo de radiação de ondas curtas e o termo de transferência de calor por convecção são predominantes em comparação com outros termos envolvidos na equação do balanço de energia para o horário de verão. O desempenho da parede verde mostrou capacidade de diminuir a demanda de resfriamento no horário de verão de forma bastante significativa tanto para Roma quanto para Oslo chegando a uma queda de temperatura de cerca de 6 a 7 °C para ambas cidades. Além disso, analisaram vários métodos diferentes para a estimativa do coeficiente de transferência de calor por convecção, pois o termo convectivo na equação do balanço de energia desempenha um papel importante em oposição ao grande ganho de radiação.

Shrestha e Shimizu (2021) avaliaram os efeitos da radiação solar sobre a parede verde de um edifício no vale de Kathmandu de forma experimental. Onde, com o aumento da população nas áreas urbanas, ocorre como consequência o efeito da ilha urbana de calor, causado principalmente pelo uso excessivo de materiais de construção impermeável, que possuem alta massa térmica e albedo relativamente baixo. Considerando a classificação, benefícios ambientais e a carga ambiental para o sistema de parede verde, definiram que a fachada verde direta é o mais adequado para cidades como Kathmandu. Com isso, foram realizadas medições de campo em dois edifícios, com e sem vegetação, durante o mês de verão, comparando-os, foi possível observar uma redução de temperatura externa e interna máxima igual a 3,3°C e 4,8°C, respectivamente, concluindo que a parede com vegetação pode melhorar a resistência térmica de seu material com uma redução da absorção solar.

O presente trabalho investiga de forma numérica através do software comercial COMSOL Multiphysics a influência da utilização de esverdeamento vertical no desempenho térmico de paredes verdes, considerando a transferência de calor e umidade. Com isso, tendo como objetivo analisar a redução de temperatura comparando a fachada verde e a parede viva, em duas cidades diferentes, variando orientação da superfície.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho são realizadas simulações computacionais do comportamento térmico de parede com uma cobertura verde, utilizando o software comercial COMSOL Multiphysics. Neste caso, verifica-se a utilização da vegetação como elemento de fachada na tipologia de fachada verde direta e parede viva.

2.1. Modelo Numérico

Para a escolha do modelo geométrico utilizado na análise numérica, foi simplificado a composição de uma parede com várias camadas de materiais diferentes, a uma parede de concreto. Com isso, as configurações das paredes verdes foram simplificadas a duas camadas, sendo uma de vegetação e outra de concreto para a fachada verde direta e três camadas para a parede viva, considerando uma camada de substrato. Podemos observar o layout da fachada verde direta na Fig. 1.



Figura 1. **Configuração da fachada verde direta.**
Fonte: Adaptado de Dunnet e Kingsbury (2004).

O modelo analítico da parede verde é bidimensional, sendo a Fig.1 o exemplo da fachada verde direta, porém será simulado um modelo sem a vegetação e outro com a camada de vegetação e substrato (parede viva). Os materiais são similares aos utilizados no trabalho de Souza (2020), assim como as propriedades térmicas e higrotérmicas para a vegetação e concreto. As dimensões e as propriedades térmicas das matérias podem ser observadas na Tab. 1.

Tabela 1. **Propriedades dos materiais.**

MATERIAL	Espessura (m)	Condutividade Térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)	Coeficiente de difusão (m ² /s)	Água contida (kg/m ³)
Concreto	0,15	1,75	2.200	1.000	10 ⁻¹⁷	70
Vegetação	0,01	0,25	0,4	2.800	10 ⁻⁸	15
Substrato	0,02	0,6	1.800	1.465	10 ⁻⁷	15

Fonte: Adaptado de Souza (2020); Frota (2006).

Para realizar a análise da influência da camada de vegetação sobre a distribuição de temperatura da parede foi construído três modelos de parede para fins de comparação, sendo um modelo sem vegetação, com a vegetação e outro modelo representando a parede viva, considerando uma camada de substrato. Para analisar o desempenho térmico do tipo de configuração da parede verde, foi realizado análises variando os parâmetros de acordo com a localidade e a orientação da superfície disposta a radiação incidente.

A simulação através do software comercial COMSOL foi realizada utilizando um banco de dados meteorológicos (ASHRAE, 2013) disponibilizado pelo próprio programa, no qual contém vários parâmetros, como a temperatura do ambiente e umidade relativa do ar ao longo do dia, entre outros. As localidades escolhidas para submeter o modelo numérico foram as cidades de São Luís (Maranhão) e Porto Alegre (Rio Grande do Sul), de acordo com a Tab. 2.

Tabela 2. **Localização geográfica das cidades simuladas.**

Localização	Latitude	Longitude
São Luís – MA	2,6 °S	44,23 °W
Porto Alegre – RS	30,0 °S	51,18 °W

Fonte: ASHRAE (2013).

2.2. Equações para o modelo

Para simular a distribuição de temperatura no sistema de parede verde é necessário considerar a transferência de calor e umidade, devido as características que a plantas possuem, como por exemplo, a evapotranspiração. Com isso, as equações que baseiam a transferência de calor e umidade foram extraídas de (Künzel, 1995). As equações (1) e (2) abaixo são as equações que modelam os fenômenos ocorridos.

$$\frac{\partial H}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k^w \frac{\partial T}{\partial x} \right) + h_v \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\delta}{\mu} \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (1)$$

Os três termos na equação (1) descrevem o armazenamento, transporte e geração de calor, respectivamente, onde:

- $\partial H / \partial T$ = capacidade de armazenamento de calor, dependente da umidade (J/m³ .C);
- T = temperatura (°C);
- Δt = tempo de simulação entre cálculos (s);
- k^w = condutividade térmica, dependente da umidade (W/m.C);
- h^v = entalpia de evaporação da água (=2.489.000 J/kg);
- δ = coeficiente de difusão de vapor no ar (kg/m.s.Pa);
- μ = fator de resistência à difusão de vapor, dependente da umidade (adimensional).

$$\frac{\partial w}{\partial \phi} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D^w \frac{\partial w}{\partial \phi} \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\delta}{\mu} \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (2)$$

Os três termos na equação (2) descrevem o armazenamento de umidade, transporte de umidade líquida e transporte de vapor, respectivamente, onde:

- $\partial w / \partial \phi$ = capacidade de armazenamento de umidade, dependente da umidade (kg/m³);
- Δt = tempo de simulação entre cálculos (s);
- D^w = coeficiente de transporte de líquido (m²/s);
- δ = coeficiente de difusão de vapor no ar (kg/m.s.Pa);
- μ = fator de resistência à difusão de vapor, dependente da umidade (adimensional);
- T = temperatura (°C).

As propriedades higrótérmicas dos materiais utilizados foram similares as utilizadas por Souza (2020). Tais propriedades foram utilizadas no software COMSOL, sendo aplicadas através da função de interpolação do programa, assim obtendo mais pontos no intervalo.

Ao realizar a variação da localidade para a simulação, foram necessários dados da radiação incidente sobre a superfície da parede, sendo o mesmo variando de acordo com a orientação. As tabelas 3 e 4 apresentam os dados da radiação solar incidente para as cidades de São Luís e Porto Alegre, respectivamente.

Tabela 3. **Dados de radiação solar incidente (I_g) sobre as paredes verdes em São Luís (W/m²). Latitude: 4° Sul.**

	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
Sul	26	222	321	365	386	402	400	402	386	365	321	222	26
Leste	57	476	647	626	495	311	68	65	60	55	48	33	5
Norte	5	33	48	55	60	65	68	65	60	55	48	33	5
Oeste	5	33	48	55	60	65	68	311	495	626	647	476	57

Fonte: **Frota (2006).**

Tabela 4. **Dados de Radiação Solar Incidente (I_g) sobre as paredes verdes em Porto Alegre (W/m²). Latitude: 30° Sul.**

	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
Sul	142	188	143	78	63	68	65	68	63	78	143	188	142
Leste	340	633	715	667	517	309	65	68	63	58	50	43	25
Norte	25	43	50	58	117	170	179	170	117	58	50	43	25
Oeste	25	43	50	58	63	68	65	309	517	667	715	633	340

Fonte: **Frota (2006).**

Para caracterizar o problema foi inserido as condições de contorno do modelo, sendo elas constantes para todos os testes realizados. As superfícies externa e interna da parede foram submetidas a convecção natural de $h = 30$ W/m²K e $h = 10$ W/m²K, respetivamente. A temperatura externa definida sendo do ambiente disponibilizada pelo banco de dados e temperatura interna de $T = 20$ °C, para ambas cidades. A umidade relativa externa foi dada a partir dos parâmetros do ambiente e a umidade relativa interna foi definida igual a $\phi = 0,5$. A Absortância solar utilizada para o concreto e vegetação foram 0,6 e 0,2, respectivamente. A convergência de malha numérica obtida nas simulações no modelo de parede nua, fachada verde e parede viva contém um total de 154, 751 e 792 elementos triangulares, respectivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O comportamento térmico da parede sem a cobertura de vegetação, da fachada verde direta e parede viva foram avaliados ao longo do tempo e da espessura. A análise em função do tempo ocorreu durante 24 h, com início em 0h. Na Figura 2 observa-se o comportamento da temperatura e umidade relativa do ambiente para as cidades de São Luís e Porto Alegre. Com isso, é possível perceber a diferença do contexto climático entre as mesmas. São Luís apresenta a temperatura ambiente máxima igual a 31 °C e umidade relativa mínima igual a 0,65 às 13h. Já a cidade de Porto Alegre apresenta a temperatura ambiente máxima igual a 28,7 °C e umidade relativa mínima igual a 0,56 às 15h. Apontando uma diferença de temperatura máxima igual a 2,3 °C entre as cidades. O local em que estas cidades estão posicionadas, influencia diretamente na temperatura ambiente das mesmas, sendo São Luís – MA na região nordeste e Porto Alegre – RS no sul do Brasil.

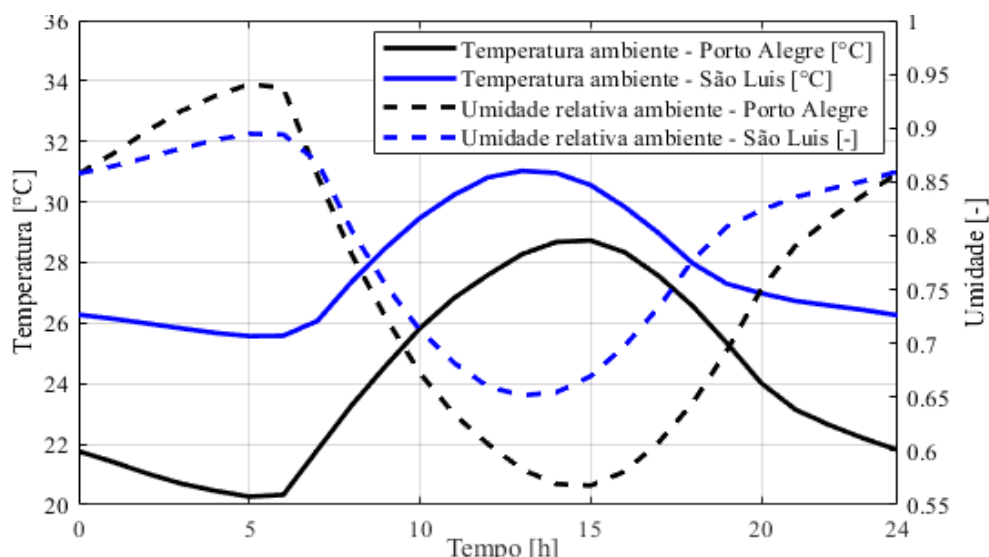


Figura 2. Parâmetros do ambiente para São Luís e Porto Alegre.
Fonte: Autor (2022).

A Figura 3 apresenta a variação de temperatura em função do tempo para diferentes tipos de paredes verdes na região de São Luís. Demonstrando a diferença entre a temperatura externa e interna das paredes verdes e comparando com a parede sem vegetação. Sendo a orientação da superfície externa definida para o norte. A temperatura externa máxima de 28°C foi encontrada no horário de 13h para a parede viva, onde a diferença entre a temperatura externa e interna para parede nua, fachada verde direta e parede viva foram de 5,22, 6,22 e 7,26°C, respectivamente. A redução de temperatura é maior para a parede viva e para a fachada verde direta devido as características de isolamento térmico que as plantas e o substrato exercem, além de outras características da vegetação.

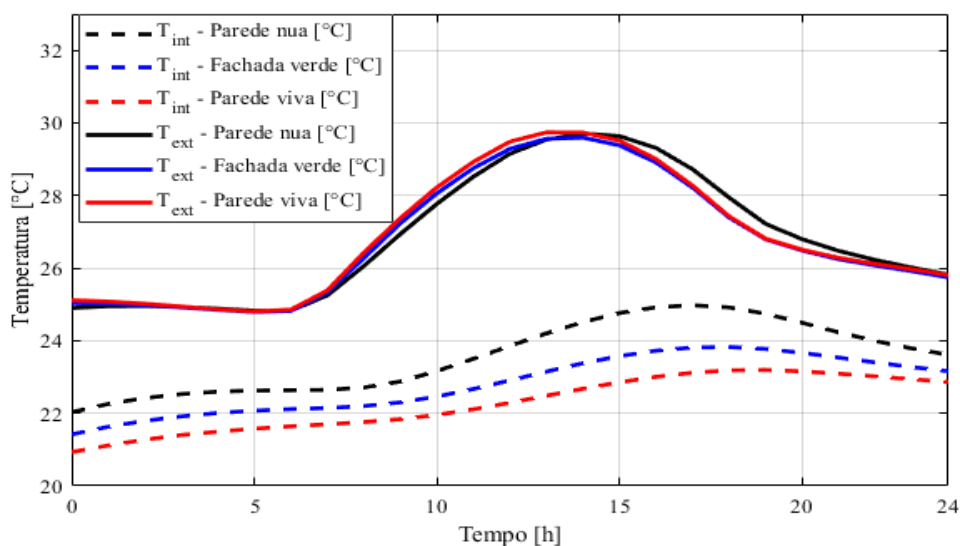


Figura 3. Temperaturas das superfícies interna e externa para São Luís.
Fonte: Autor (2022).

Na Figura 4, a diferença entre temperatura externa e interna é menor no horário de 5h em comparação aos resultados da Fig. 3, onde essa diferença chega a 0°C nos casos das paredes com vegetação devido a capacidade de armazenamento de calor no ambiente interno, efeito que a resistência térmica da vegetação provoca em condições mais frias. A temperatura externa máxima de 28,4°C foi encontrada no horário de 14h para a parede nua, onde a diferença entre a temperatura externa e interna para parede nua, fachada verde direta e parede viva foram de 5,11, 5,77 e 6,54°C, respectivamente. Assim, ocorre uma redução na diferença de temperatura dos tipos de paredes em relação a cidade de São Luís, pois a temperatura ambiente externa de Porto Alegre é menor, influenciando na temperatura da superfície interna da parede.

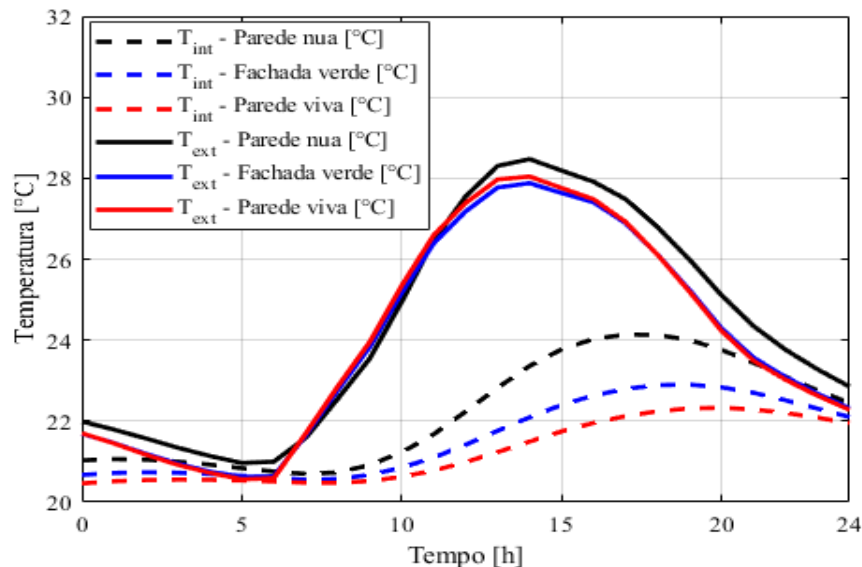


Figura 4. Temperaturas das superfícies interna e externa para Porto Alegre.
Fonte: Autor (2022).

A Figura 5 apresenta a distribuição de temperatura em relação a espessura, variando o tipo de parede verde e a localidade. O horário de 12h foi analisado, no qual ocorre o maior fluxo de calor devido a radiação solar incidente, para ambas cidades. A parede verde que alcança a menor temperatura interna de 20,9°C é a parede viva localizada em Porto Alegre. A parede nua localizada em São Luís é a parede que apresenta a maior temperatura interna de 23,8°C. As curvas de maior inclinação foram demonstradas pelas paredes vivas de São Luís e de Porto Alegre, onde a diferença entre a temperatura interna e externa de ambas é igual a 7,2°C e 6,4°C, respectivamente. Com isso, a parede viva em São Luís apresentou uma redução de temperatura mais significativa em comparação com Porto Alegre ao longo da espessura. Observa-se as inclinações das curvas de acordo com o tipo de material da parede. Com isso, a parede viva apresenta três inclinações diferentes devido a camada de vegetação, substrato e concreto, pois a inclinação está diretamente relacionada com a propriedade de condutividade térmica.

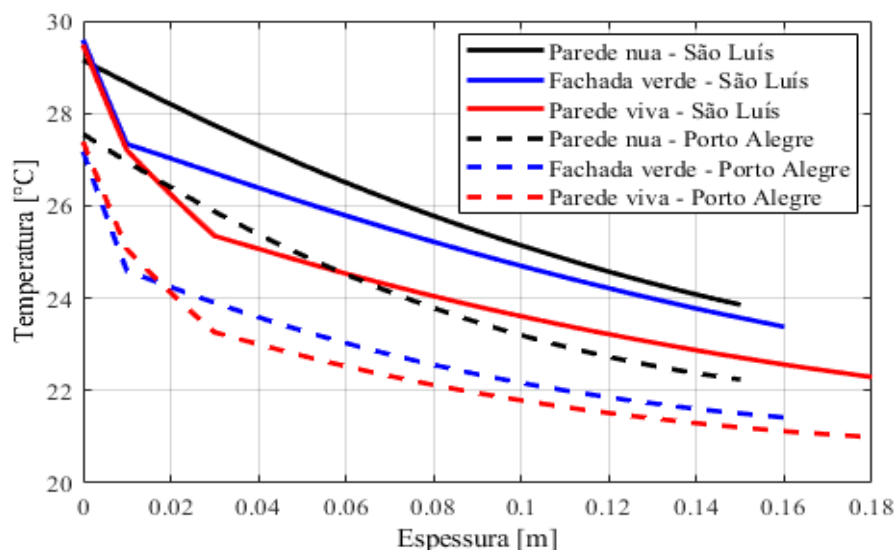


Figura 5. Distribuição de temperatura em relação a espessura para São Luís e Porto Alegre.
Fonte: Autor (2022).

A Figura 6 apresenta a temperatura das superfícies internas e externas em cada orientação para a cidade de São Luís, analisando a parede viva, no qual, a temperatura da superfície externa orientada para o oeste chega ao pico de 33,7°C no horário igual a 15h, com uma diferença em relação a temperatura interna igual a 10,7°C. A orientação do norte apresentou o menor pico de temperatura, igual a 29,7°C ao longo do dia, representando uma diferença de 7,3°C em relação a temperatura interna. Portanto, maiores valores de temperatura, impacta numa redução mais significativa de temperatura com o uso da parede viva. As curvas de temperatura apresentam comportamentos distintos devido aos diferentes fluxos de calor da radiação solar incidente, de acordo com a orientação. Sendo os maiores valores de fluxos de calor no horário das 7h às 17h para a orientação do leste e das 13h às 17h para o oeste.

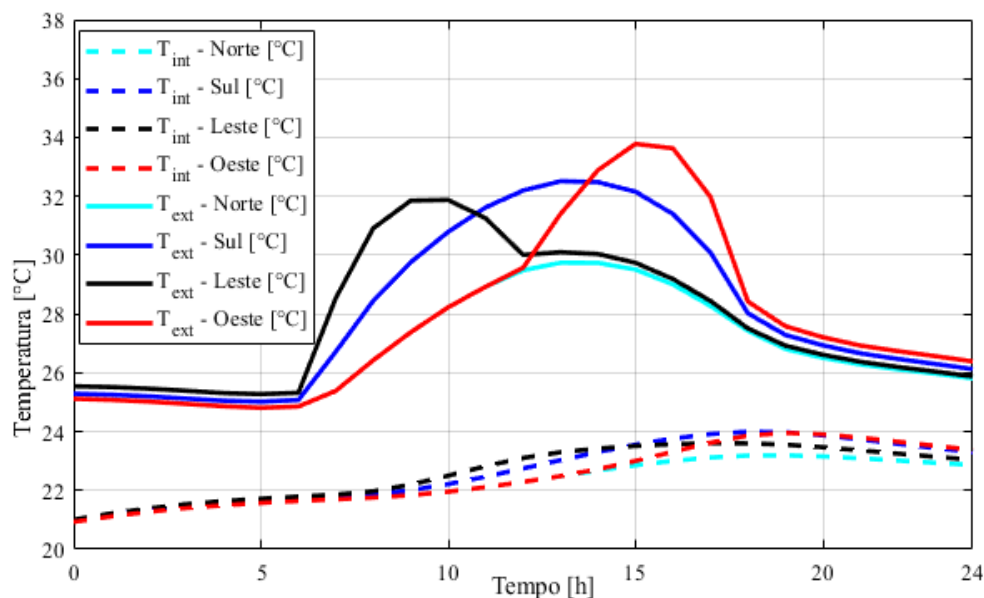


Figura 6. Temperaturas das superfícies interna e externa em cada orientação para São Luís.
Fonte: Autor (2022).

A Figura 7 apresenta as temperaturas das superfícies externa e interna em cada orientação para Porto Alegre, onde a parede viva orientada para o oeste apresenta a maior temperatura ao longo do dia igual a 32,5°C às 16h, com uma diferença em relação a temperatura interna igual a 10,4°C. A orientação do norte apresentou o menor pico de temperatura, igual a 28,0°C ao longo do dia, representando uma diferença de 6,5°C em relação a temperatura interna. A temperatura externa e interna da parede viva orientada para o oeste tem uma diferença de aproximadamente 0°C no horário das 5h, pois a temperatura ambiente está baixa devido as condições ambientes para o horário. A cidade de São Luís apresentou uma diferença entre temperatura externa e interna maior para as orientações em relação aos resultados de Porto Alegre.

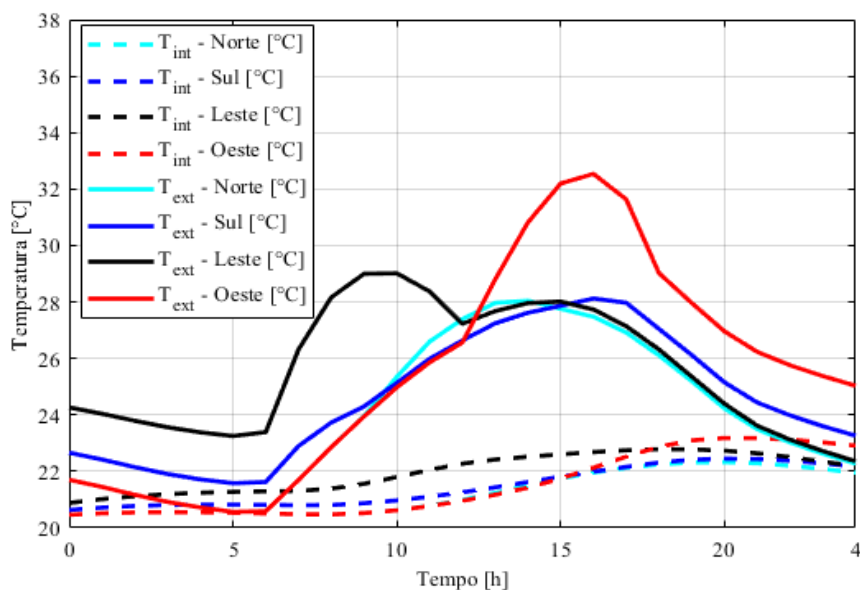


Figura 7. Temperaturas das superfícies interna e externa em cada orientação para Porto Alegre.
Fonte: Autor (2022).

4. CONCLUSÃO

O estudo sobre paredes verdes vem sendo bastante explorado devidos seus benefícios, como por exemplo, a contribuição para a biodiversidade urbana, qualidade do ar, redução de ruído, redução de temperatura e mitigação da ilha de calor, além de induzir um efeito de bem-estar psicológico através da presença de vegetação. Os sistemas de paredes verdes externos são capazes de fornecer reduções de temperatura em razão do seu isolamento térmico, sombreamento característicos, assim como a capacidade de absorção da radiação solar para fotossíntese e evapotranspiração.

Os resultados apresentados demonstram uma diferença entre as temperaturas externa e interna em relação aos tipos de modelos de parede verde apresentados, fachada verde direta e parede viva. Esses modelos estudados apresentaram algumas características da vegetação, como o efeito de isolamento térmico, capacidade de absorção da energia solar, e considerou-se além do transporte de calor, o transporte de umidade.

Os modelos de fachada verde direta e parede viva foram muito eficazes na redução de temperatura em ambas cidades apresentadas, em comparação com a parede sem vegetação. Contudo, a parede viva se sobressaiu em relação a fachada verde direta devido a camada de substrato que influencia diretamente no isolamento térmico da parede, aumentando a diferença entre temperatura externa e interna. Ao variar a localização do modelo, observa-se uma maior eficácia na redução de temperatura na região mais quente (São Luís - MA), porém as temperaturas internas menores foram encontradas em Porto Alegre, devido as características climáticas do ambiente que promovem esse comportamento.

Semelhante ao que ocorre com a variação das cidades, ao analisar as orientações da radiação incidente percebe-se que houve uma maior redução de temperatura para a orientação oeste, em ambas cidades analisadas. Sendo a orientação que apresentou um maior fluxo de calor da radiação incidente, seguido da orientação leste. As análises realizadas comprovam a importância do uso de parede verde nas construções devido a capacidade de reduzir a temperatura interna. Com isso, a utilização de paredes verdes em massa numa cidade urbana, promovem diversas consequências positivas como a mitigação da ilha de calor urbana, redução de ruído, além de induzir um efeito de bem-estar psicológico através da presença de vegetação.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA e as agências de fomento CNPq, CAPES e FAPEMA.

6. REFERÊNCIAS

- ASHRAE, 2013. *Weather Data Viewer 5.0*. Disponível em: <www.ashrae.org>. acesso em: 18 de abril de 2022
- Cuce, E., 2017. *Thermal regulation impact of green walls: An experimental and numerical investigation*. Applied Energy, v. 194, p. 247-254.
- Dunnet, N., 2004. Kingsbury, N. *Planting green roofs and living walls*. Portland (Oregon): Timber Press.
- Frota, A. B., 2006. *Manual de conforto térmico*. Studio Nobel.
- KÜNZEL, H., 1995. *Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components*. Cálculo uni e bidimensional usando parâmetros simples. Verlag IRB.
- Li, J., Zheng, B., Shen, W., Xiang, Y., Chen, X., & Qi, Z., 2019. *Cooling and energy-saving performance of different green wall design: A simulation study of a block*. Energies, v. 12, n. 15, p. 2912.
- Manso, M.; Castro-Gomes, J., 2015. *Green wall systems: A review of their characteristics*. Renewable and sustainable energy reviews, v. 41, p. 863-871.
- Morelli, M.; Castro-Gomes., 2016. *Thermal analysis of a new modular system for green walls*. 1 recurso online (161 p.). Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e urbanismo, Campinas, SP.
- Poupart, F., Martine, O., Christiansen, S. M., Melhus, O., & Chaudhuri, A., 2021. *Numerical analysis of the performance of green façades*.
- Shrestha, A; Shimizu, T., 2021. *Evaluation of the suppressive effects on solar radiation for a building façade covered with green layers in the Kathmandu valley*. Environmental Challenges, v. 5, p. 100246.
- Sousa, L., 2020. *Análise do desempenho térmico de habitações multifamiliares de interesse social com paredes verdes*. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

AFTER FULL PAPER IN PORTUGUESE OR SPANISH, IT'S NECESSARY THE ABSTRACT IN ENGLISH

Thiago João Souza da Silva, thiagosilva8@aluno.uema.br¹

Emerson Teixeira Gomes, emersongomes1@aluno.uema.br¹

Alisson Augusto Azevedo Figueiredo, alissonfigueiredo@professor.uema.br¹

¹Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, Avenida Sarney Filho - Vila Embratel, São Luís - MA, 65081-400

Abstract. *With the advancement of urban areas in cities, several ecological problems arise, such as the increase in the urban heat island effect, air pollution, reduction of biodiversity, among others. Consequently, there is a need to carry out sustainable practices that can be implemented in the urban environment to mitigate these problems. One of the main ecological alternatives is the use of vertical gardens on the walls of houses and buildings, this has several benefits that contribute to urban biodiversity, air quality, noise reduction, temperature reduction and mitigation of the urban heat island, in addition to induce a psychological well-being effect through the presence of vegetation. External green wall systems are able to provide temperature reductions due to their thermal insulation and shading characteristics, as well as the ability to absorb solar radiation for photosynthesis and evapotranspiration. The present work investigates numerically through the commercial software COMSOL, the influence of the use of vertical greening on the thermal performance of a green wall, considering the transfer of heat and humidity. To perform the numerical simulation, a two-dimensional model will be developed that represents the wall system with and without vegetation. Vertical garden systems can be classified into green facade (direct or indirect) or living wall, in which, depending on the complexity, the system will require support elements, cultivation, irrigation and drainage. The analyzes will be done considering a reference system, being a wall without vegetation, in which it will be compared with a green wall system. The results show a difference between external and internal temperature in relation to the types of models of green wall, direct green facade and living wall. Concluding that the temperature reduction of the system was greater for the living wall, followed by the direct green facade. This is due to the thermal insulation characteristics of the vegetation layer and substrate, in the case of the living wall. The analyzes carried out demonstrate the importance of using green wall in constructions, due to the ability to reduce the internal temperature.*

Keywords: *green wall, heat transfer, moisture transport, numerical simulation, thermal performance.*