

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SISTEMAS DE PAREDES VERDES COM E SEM O TRANSPORTE DE UMIDADE

Emerson Teixeira Gomes, emersongomes1@aluno.uema.br¹

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

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

¹Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, Av. Lourenço Vieira da Silva Nº 1000, CEP: 65.055-310, Jardim São Cristóvão – São Luís/MA.

Resumo: O desprovidimento de áreas verdes em regiões urbanas com poucos espaços destinados à existência de vegetação tem como resultado alterações no ambiente, como elevação da temperatura, tal fenômeno é conhecido como ilha de calor. A utilização de paredes verdes pode causar a diminuição do efeito da ilha de calor, principalmente devido ao efeito do sombreamento, com benefícios maiores durante o verão. Além disso, uma grande quantidade de calor latente é liberada pelas plantas devido ao fenômeno de evapotranspiração. De acordo com a literatura, estudos experimentais mostram que em dias quentes, uma parede verde em comparação com uma parede nua pode ser capaz de diminuir as temperaturas das superfícies externa, interna e do ar interno de um edifício entre 3 e 12 °C. A análise de elementos finitos levando em consideração a transferência de calor em sistemas de paredes verdes. As equações e parâmetros que caracterizam a distribuição de temperatura no sistema térmico foram avaliadas, apresentando a contribuição tanto nos elementos arquitetônicos quanto no desempenho de resfriamento e economia de energia em projetos. O fenômeno de transferência de calor foi resolvido numericamente a partir do método dos elementos finitos utilizando o software comercial COMSOL e análise numérica no MATLAB. Os resultados obtidos neste trabalho estão relacionados com a capacidade de diminuição do ganho de calor por meio do aumento da resistência térmica do sistema de paredes verdes direta, e a determinação dos parâmetros que mais influenciam o desempenho térmico, como a absorvância; o sistema de parede e as condições climáticas locais. Assim, com a aplicação do sistema de esverdeamento há uma redução de temperatura comparada com a parede de concreto e sua efetividade aumenta considerando a combinação de transferência de calor.

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

1. INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado das áreas urbanas, pois o principal objetivo está relacionado à obtenção máxima de lucro, foi responsável por gerar espaços urbanos com adensamentos desproporcionais e infraestruturas ineficazes. Com isso, as grandes cidades brasileiras, enfrentam problemas ocasionados pelos impactos negativos ao ambiente da urbanização e da vivência em alta densidade, como o aquecimento atmosférico, a impermeabilização do solo, a carência de áreas verdes, o aumento da formação das ilhas de calor (Caetano, 2014; Morelli, 2016).

A falta de planejamento das infraestruturas dos ambientes urbanos, fizeram que desenvolvimento de estudos que ressaltam a necessidade de se criar espaços agradáveis, que garantam bem-estar, qualidade de vida e conforto ambiental para a população. Paralelamente, a busca de outras formas sustentáveis e ambientalmente amigáveis são cada vez mais valorizadas frente aos indícios de esgotamento dos recursos naturais. Dessa maneira, utilizando componentes naturais, como a vegetação, estudos analisando as desvantagens ao ambiente local (Sattler, 2004; Valesan, 2009; Abreu, 2012).

Para avaliação do desempenho térmico, a simulação é realizada em consonância com a norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013), que as fontes internas de calor, como perfil de ocupação dos usuários, equipamentos e iluminação devem ser desconsiderados, pois apenas a resposta térmica da envoltória está sendo considerada.

Um prédio com parede verde, a vegetação atua como dispositivo de sombreamento, além de amenizar o calor através da transpiração e respiração. Em períodos de temperaturas mais baixas, a estrutura age como isolamento térmico, atenuando as perdas de calor indesejáveis, e sendo caracterizado como isolante térmico. (Johnston and Newton, 2004).

A radiação solar é uma das principais causa do desconforto térmico, pois as superfícies dos ambientes construídos absorvem a energia solar, convertendo-se em energia térmica, o que aumenta a agitação das moléculas de ar e com isso aumentando proporcionalmente a temperatura do ar e faz com que as superfícies emitam e reflitam mais energia infravermelha para outros materiais de construção (Corbella and Yannas, 2003).

Este trabalho tem como objetivo analisar numericamente o conforto térmico proporcionado pelo sistema de parede verde, considerando a transferência de calor utilizando o software comercial COMSOL e MATLAB. O estudo comparativo da influência na redução da temperatura do sistema com parede verde e de concreto será avaliado.

2. METODOLOGIA

2.1. Modelo Numérico

A transferência de calor é analisada numericamente a partir de um modelo bidimensional da parede com e sem vegetação. Dessa forma, as paredes são caracterizadas com propriedades e dimensões reais, como apresentado na Fig.1. Nesse contexto, o estudo é analisado realizado em uma parede de concreto e em uma parede verde que é a vegetação trepadeira instalada na região externa da parede de concreto. As condições de contornos inseridas são a temperatura externa considerada igual temperatura do ambiente disponibilizada pelo software, e as superfícies externa e interna da parede foram submetidas a convecção natural, respectivamente, por $h = 30 \text{ W/m}^2$ e $h = 10 \text{ W/m}^2$, com temperatura interna de $T = 20 \text{ °C}$. A absorvância solar utilizada para o concreto e vegetação foram 0,6 e 0,2, respectivamente. Características, especificações e propriedade de cada item utilizado na simulação estão dispostas na Tab.2.

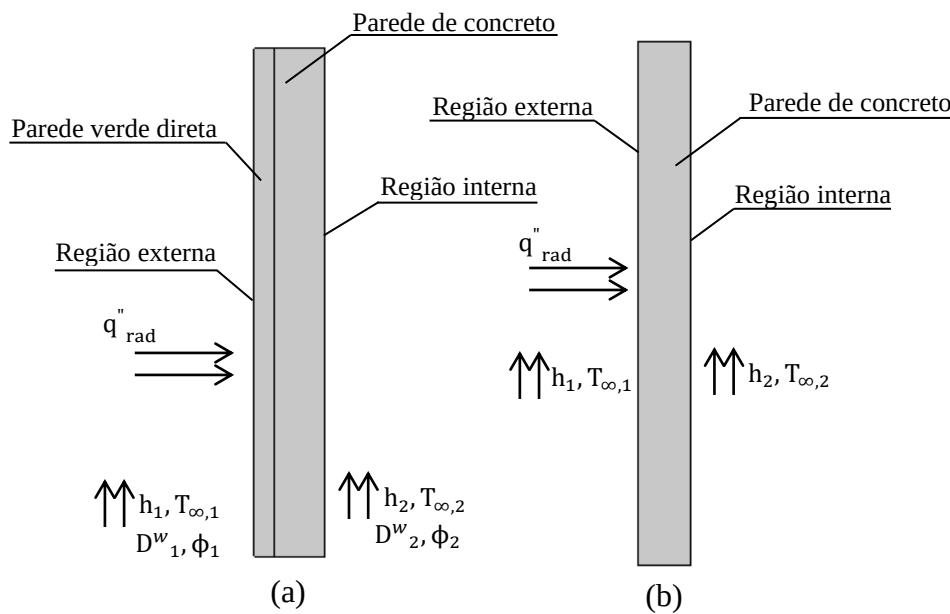


Figura 1. Representação bidimensional da (a) parede verde e (b) parede de concreto.

2.2. Modelo Matemático

Com o desenvolvimento dessa análise, utilizando software comercial COMSOL Multiphysics juntamente com a software MATLAB. Na simulação de elementos finitos deve ser levado em consideração os fatores que influenciam diretamente a análise no conforto térmico com a aplicação da parede verde, por exemplo, a resistência da camada limite para a transferência de calor por convecção e radiação, resistência da camada limite ao vapor de água e parâmetros biológicos. Dessa maneira, o transporte de calor pode ser caracterizado pela equação clássica de difusão de calor em regime transiente como sendo

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{\rho C_p}{k} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

onde: (ρC_p) é a capacidade calorífica volumétrica efetiva a pressão constante, $[\text{J/m}^3 \cdot \text{K}]$; k condutividade térmica do material; T é a temperatura em $[\text{°C}]$; ∂t é a variação do tempo em segundos. A equação (2) é para cálculo do equilíbrio de umidade descreve armazenamento de umidade, transporte de umidade líquida e transporte de vapor

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \xi \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (2)$$

onde: ξ é a capacidade de armazenamento de umidade em $[\text{kg}/\text{m}^3]$; T é a temperatura em $[\text{°C}]$; ∂t é a variação do tempo em segundos; ϕ é a umidade relativa adimensional; ∂t é a variação de tempo dada em segundos.

Ademais, na simulação foi levado em consideração a incidência da radiação solar nas paredes que são objetos deste estudo. Dessa forma, a absorptância e a transmitância são grandezas que caracterizam um material em relação ao seu comportamento radiativo. Os termos da Eq (3) equivalem à radiação solar na superfície da parede. Em que G_{ent} é a irradiação solar total que entra na superfície da parede; α é a absorptância; τ é a transmitância e G é a irradiação incidente na superfície. Como Tab.1 apresenta os dados de radiação solar incidente (I_g) sobre as paredes em São Luís – MA (W/m^2). Latitude 4° sul. Na análise é considerada a orientação norte, pois é a orientação que está localizada a cidade estudada.

$$G_{\text{ent}} = (\alpha + \tau) * G \quad (3)$$

Tabela 1. **Dados de radiação solar incidente (I_g) sobre as paredes verdes em São Luís (W/m^2). Latitude: 4° Sul. (Frota, 2001)**

Orientação	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18
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

Nesse estudo foram analisadas as influências de duas paredes, onde tem uma parede de concreto com uma camada de vegetação com espessura de 0,01 m e outra apenas com uma parede de concreto, como estão apresentadas na Fig. 1. Analisando o efeito do conforto térmico causado pela parede verde considerando seus aspectos como condutividade térmica, transferência de calor convectiva, absorptância e transferência de calor evaporativo.

Tabela 2. **Características termofísicas dos materiais utilizados (Souza,2020).**

Material	Espessura (m)	Condutividade Térmica ($\text{W}/\text{m.K}$)	Densidade (kg/m^3)	Calor específico ($\text{J}/\text{kg.K}$)	Transmitância	Absortância solar
Parede verde	0,01	0,25	0,4	2.800	0,1	0,2
Concreto	0,1	1,75	2.200	1.000	-	0,6

Os dados meteorológicos utilizados foram os disponibilizados pelo software comercial COMSOL Multiphysics (Ashrae, 2013). Com isso, essas informações foram utilizadas para análise da temperatura ambiente no mês de janeiro, na cidade de São Luís – MA, onde as coordenadas geográficas são latitude $2,6^\circ$ S e longitude $44,23^\circ$ W.

3. RESULTADOS

O estudo ocorre no intervalo das 6h às 18h do mês de janeiro, na cidade de São Luís – MA. No entanto, o horário que com maior incidência solar é as 13h, conforme destacado em pesquisas e simulações, com isso esse é o horário utilizado na Fig.2. Ademais, a convergência de malha numérica obtida nas simulações tem um total de 753 elementos triangulares. A Figura 2 apresenta a distribuição de temperatura que ocorre ao longo do tempo e espessura das paredes verde e concreto. Observa-se na Fig. 2 que a parede verde possui temperaturas bem definidas por um período de tempo e apresenta temperaturas menores em relação a parede de concreto favorecendo o conforto térmico do ambiente.

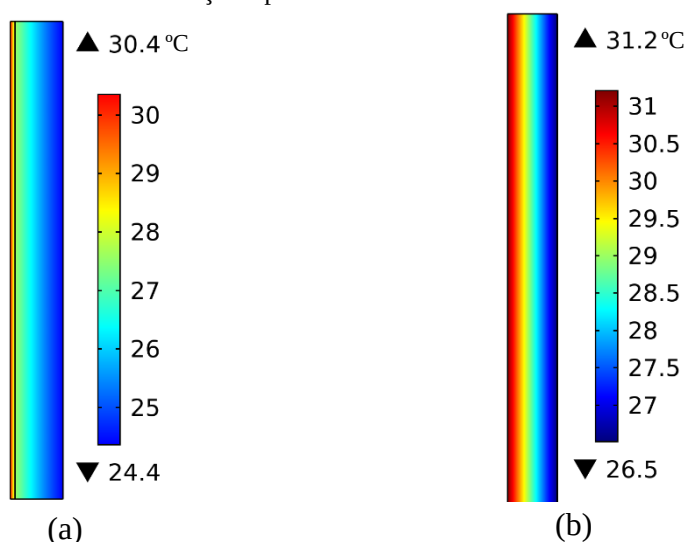


Figura 2. **Simulação das paredes demonstrando a distribuição da temperatura da (a) parede verde e da (b) parede de concreto.**

A Figura 3 apresenta a variação da temperatura das paredes verde e de concreto, o estudo consiste nas regiões externas das superfícies das paredes. Com isso, a parede verde no intervalo aproximadamente das 6h às 11h tem temperaturas mais elevadas devido a dois principais fatores que são a condutividade térmica e capacidade térmica, pois a vegetação possui características isolante, ou seja, absorve mais energia do que transfere. Além disso, das 12h às 14h ocorre a maior incidência de calor na superfície externa das paredes e com isso o aumento da temperatura, nesse intervalo nota-se um isolamento térmico e a efetividade da camada verde para o conforto térmico em relação a parede sem vegetação, mostrando uma diferença de temperatura de aproximadamente 1 °C entre as paredes.

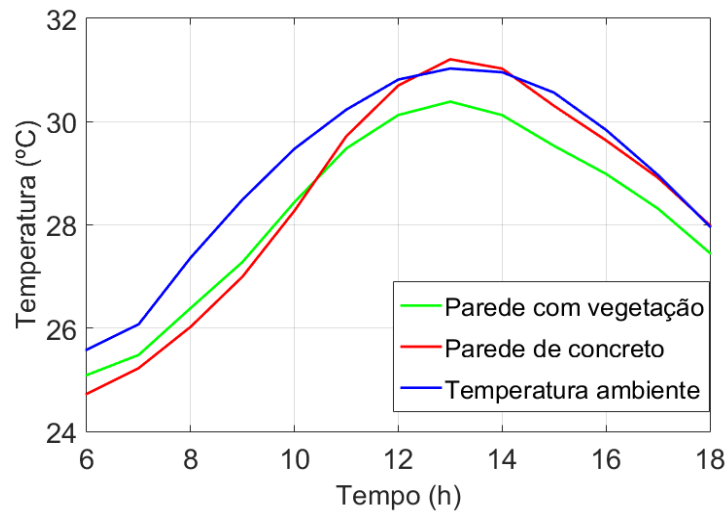


Figura 3. Comparação da temperatura da superfície externa entre a parede verde com umidade e de concreto sem umidade.

A análise do gradiente de temperatura na superfície interna em função do tempo nas paredes é apresentada na Fig. 4. É exposto que na superfície interna da parede verde com umidade continua realizando um isolamento térmico e sendo mais efetiva para o conforto térmico em relação a parede de concreto. Nessas condições, no período das 13h às 15h onde estão os maiores índices de temperaturas nas paredes, a diferença de temperatura é de aproximadamente 3 °C entre as paredes. Sendo assim, a temperatura da parede verde é menor em todos os pontos, isto é, demonstra que a vegetação tem uma baixa difusividade térmica. Dessa forma, influenciando diretamente na redução na temperatura na superfície interna da parede.

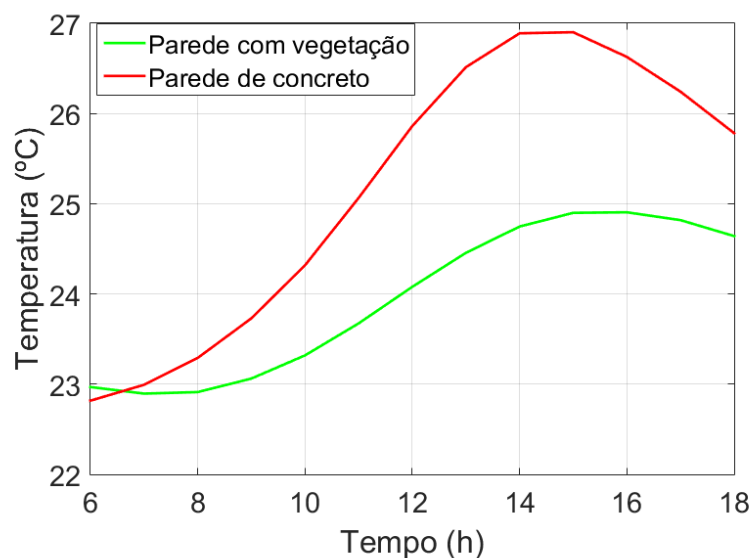


Figura 4. Comparação da temperatura da superfície interna entre a parede verde com umidade e de concreto sem umidade.

A comparação da diferença de temperatura entre as paredes verde e de concreto variando ao longo da espessura, como são apresentadas pelas Fig. 5. Os resultados observados nas simulações e pesquisas destacam que o horário do dia que a temperatura é mais elevada são às 13h, o qual foi o horário analisado. Nestes resultados, observa-se que as características da parede verde são fundamentais para resistência de transferência de calor, pois a parede apresenta isolamento térmico devido a presença da vegetação que possui baixa condutividade térmica em comparação ao concreto. Nesse contexto, de acordo com a Fig. 5 avaliamos as paredes nas posições de 0 m e a aproximadamente 0.01 m da espessura das paredes, observa-se que a variação de temperatura na parede verde é maior em relação a parede de concreto, pois há uma redução de temperatura de aproximadamente 2 °C.

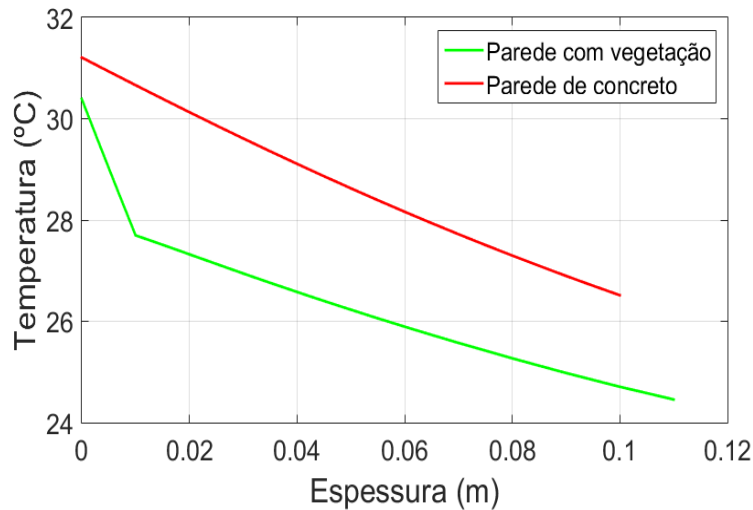


Figura 5. Comparação da parede verde e parede de concreto, analisando a temperatura às 13h variando em relação a espessura.

A Figura 6 apresenta os valores da umidade relativa no sistema de parede verde em relação a espessura. O transporte de umidade influencia diretamente na transferência de calor, pois isso ocorre devido a influência da combinação de gradientes térmicos e de conteúdo de umidade. Esse fenômeno está diretamente ligado com a quantidade de água presente no sistema que são responsáveis pelo transporte de líquido e vapor. Dessa forma, observa-se que a umidade vai diminuindo ao longo da espessura da parede verde, com isso reduzindo a energia transferida para região interna da parede, isto é, obtendo uma resistência na transferência de calor.

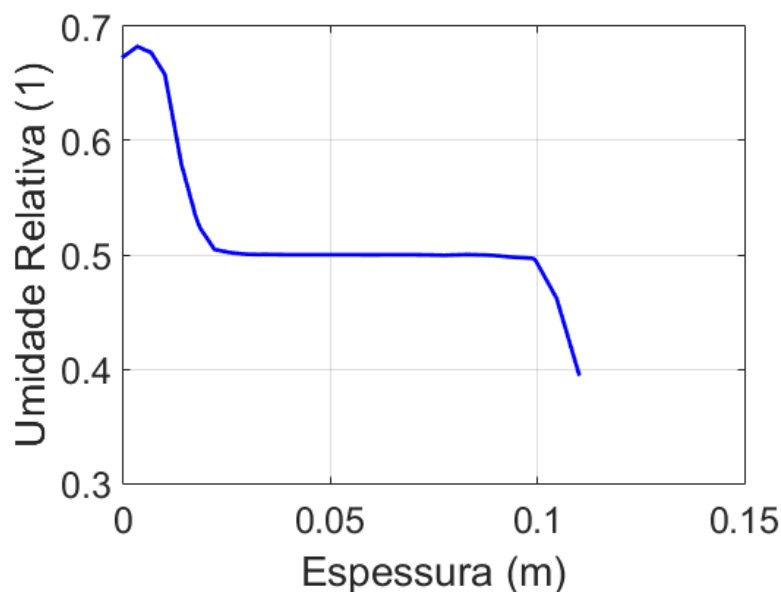


Figura 6. Umidade relativa presente no sistema de parede verde em relação a espessura.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesse estudo apresentam que a parede verde aumenta as horas de conforto térmico comparado a parede de concreto. Dessa forma, a simulação térmica mostrou que as paredes verdes diminuem as temperaturas superficiais das paredes. As principais análises foram realizadas nas regiões externa e interna, com o intuito de mostrar a influência da parede verde na distribuição de temperatura no sistema térmico. Observou-se uma maior temperatura nas superfícies das paredes.

A parede verde como observado nas análises realiza os seguintes processos: absorve a radiação solar (absortância), troca de calor sensível, armazenamento de energia nos tecidos e condução através da folha. Além disso, as características levadas em consideração dos materiais utilizados na análise numérica são as seguintes: condutividade térmica, transmitância, capacidade de térmica, transferência de calor convectiva e transferência de calor evaporativa. Assim, essa característica influencia diretamente na redução da temperatura interna, pois há uma resistência na transferência de calor pela sua baixa condutividade térmica.

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

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2. Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.
- ABREU, L. V. Contribuições das árvores para o bioclima térmico no desenho urbano em cidades tropicais: O caso de Campinas, SP. 2012. 148 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas, 2012.
- ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers. ASHRAE 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers. Atlanta, 2004.
- CAETANO, F. D. N. Influência dos muros vivos sobre o desempenho térmico de edifícios. 2014. 117 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas, 2014
- CHEN, Qiuyu; LI, Baofeng; LIU, Xiaohu. An experimental evaluation of the living wall system in hot and humid climate. *Energy and buildings*, v.61, p. 298-307, 2013.
- CORBELLA, O.; YANNAS, S. Em Busca de uma Arquitetura sustentável para os Trópicos – Conforto ambiental. 1a Edição. Rio de Janeiro: Editora Revan, 288 p, 2003.
- COSTA, E. C. Física aplicada à construção: conforto térmico. 2ª Edição. São Paulo: Blücher, 259 p, 1974.
- De Dear, R., & Brager, G. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. UC Berkeley: Center for the Built Environment. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/4qq2p9c6>. 1998.
- ECHER, Rodrigo Echer. Análise térmica de parede trombe e paredes verdes em edifício habitacional na cidade de porto alegre. 2021. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021.
- FROTA, Anésia Barros. Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo / Anésia Barros Frota, Sueli Ramos Schiffer. — 5. ed. — São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- INCROPERA, Frank P. Incropera, Fundamentos de transferência de calor e de massa; tradução e revisão técnica Eduardo Mach Queiroz, Fernando Luiz Pllegrini Pessoa. Rio de Janeiro LTC, 2008.
- JOHNSTON; J.; NEWTON, J. Building Green: a guide to using plants on roofs, walls and pavements. London: The London Ecology Unit, 1992 apud VALESAN, M. Percepção ambiental de moradores de edificações com pele-verde em Porto Alegre. 2009. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, RS, 2009
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.
- SATTLER, M. A. Edificações Sustentáveis: interface com natureza do lugar.: In: MENEGAT, R.: ALMEIDA, G. (Org.) Desenvolvimento Sustentável e Gestão Ambiental nas Cidades: estratégias a partir de Porto Alegre. Porto Alegre. Editora, UFRGS, p. 259-288, 2004.
- SOUSA, Luana Resende de. Análise do desempenho térmico de habitações multifamiliares de interesse social com paredes verdes. 2020. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2020.
- VALESAN, M. Percepção ambiental de moradores de edificações com pele-verde em Porto Alegre. 2009. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, RS, 2009.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE THERMAL PERFORMANCE OF GREEN WALL SYSTEMS WITH AND WITHOUT MOISTURE TRANSPORT

Emerson Teixeira Gomes, emersongomes1@aluno.uema.br¹

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

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

¹Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Abstract. The lack of green areas in urban regions with several results to the existence of an island has as changes in the environment, such as temperature, such a phenomenon is known as the phenomenon. The use of green walls can cause an increase in the heat island effect, mainly due to the shading effect, with greater benefits during the summer. In addition, a large amount of latent heat is released by plants due to the phenomenon of evapotranspiration. According to the literature, studies can show that on hot days, an experiment that is green compared to a bare one can be decreased as surface temperatures, internal and internal of a wall between 3 and 12 °C. A finite element analysis considering heat transfer in green wall systems. The temperature characteristics in the power supply system in both items that characterize the temperature in the power supply system in both projects and the improvement performance and savings in projects. The heat transfer phenomenon was numerically solved using the finite element method using the commercial software COMSOL and numerical analysis in MATLAB. The results obtained in this work are related to the reduction of the thermal resistance gain through the increase of the thermal resistance that more capacity, and the determination of the most efficiently thermal results, such as absorption; the wall system and local weather conditions. So, with a concrete application and with a temperature reduction with an improvement wall and its improvement, with a view to heat transfer.

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