

# INFLUÊNCIA DO USO DE COBERTURAS VERDES NO MICROCLIMA DA CIDADE DE JARDIM, MS, POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: UM ESTUDO DE CASO DE COBERTURA TOTAL DAS RESIDÊNCIAS

Juliana Oliveira Cardoso Candia<sup>1</sup>, Diana Carla Rodrigues Lima<sup>1</sup>, Tiago Machado Faria de Souza<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Jardim – Jardim-MS

juliana.cardoso@estudante.ifms.edu, diana.lima@ifms.edu.br, tiago.souza@ifms.edu.br

## Resumo

Coberturas verdes, sistemas vegetais instalados em edifícios, oferecem uma série de benefícios, incluindo redução da temperatura das construções, absorção de água e poluentes, melhoria da qualidade do ar e estímulo à biodiversidade urbana. No entanto, os efeitos dessas coberturas no microclima e conforto térmico internos ainda carecem de estudo detalhado. Este trabalho realiza uma revisão bibliográfica sobre o impacto das coberturas verdes, abrangendo cinco artigos em língua portuguesa que revelam sua influência positiva no ambiente construído. Além disso, este trabalho investiga como simulações computacionais no ENVI-Met exploram o potencial da cobertura verde em um bairro da cidade de Jardim, MS. Os resultados apontam para melhorias significativas no conforto térmico ao longo do dia, com redução notável nas sensações de calor. Esses achados destacam os benefícios da implementação integral de coberturas verdes em áreas urbanas, ressaltando seu papel na promoção do conforto ambiental e sugerindo caminhos para o planejamento urbano sustentável.

**Palavras-chave:** Microclima, Coberturas Verdes, Conforto Térmico, ENVI-Met.

## Introdução

As coberturas verdes, sistemas de vegetação construídos sobre a superfície de edifícios, têm emergido como uma estratégia de design sustentável que promove inúmeros benefícios para o ambiente urbano (WILLES, 2014). Estes sistemas, que podem ser aplicados tanto em novas construções quanto em reformas, oferecem uma gama de vantagens significativas, tais como a redução das temperaturas superficiais das edificações, a absorção de água e poluentes atmosféricos, a melhoria da qualidade do ar e o estímulo à biodiversidade urbana (CÁCERES et al., 2018; SAVI e TAVARES, 2018). Além disso, as coberturas verdes têm a capacidade de contribuir para o embelezamento das edificações e para o bem-estar dos seus ocupantes. A crescente adoção de coberturas verdes tem sido incentivada em diversos países por meio de políticas públicas e programas de incentivo, no entanto, permanece uma lacuna de conhecimento em relação aos impactos desses sistemas no microclima e no conforto térmico do interior das edificações.

Este estudo tem como objetivo principal preencher essa lacuna e contribuir para o avanço do entendimento sobre os efeitos das coberturas verdes em edificações urbanas. Através de uma revisão bibliográfica abrangente, o presente trabalho busca consolidar as descobertas mais recentes sobre o tema, incorporando uma seleção criteriosa de artigos publicados em língua portuguesa e inglesa, que abordam de maneira quantitativa os impactos das coberturas verdes independentemente do tipo de cobertura ou localização geográfica.

Além da revisão bibliográfica, este estudo também investiga os potenciais efeitos da implantação de 100% de cobertura verde em um bairro urbano específico, com foco na melhoria do conforto térmico. Essa investigação foi conduzida por meio de simulações computacionais utilizando o software ENVI-Met. Os resultados apresentados destacam as melhorias nas sensações térmicas, proporcionando conclusões sobre a viabilidade e os benefícios potenciais da adoção de soluções de cobertura verde para a promoção do conforto ambiental.

## Metodologia

A metodologia adotada nesta pesquisa envolveu duas etapas, sendo a primeira, uma revisão bibliográfica com foco na análise dos efeitos das coberturas verdes no microclima e no conforto térmico do ambiente construído. O processo de seleção dos artigos e a análise dos principais pontos abordados na pesquisa foram a partir de um levantamento bibliográfico extensivo com base em plataformas online, como o Google Acadêmico. Foram utilizados termos de pesquisa relevantes, como "coberturas verdes", "microclima urbano", "conforto térmico" e "efeitos das coberturas verdes". O objetivo era identificar estudos, artigos científicos e pesquisas publicados nos últimos anos que abordassem o tema em questão.

Foram estabelecidos critérios de inclusão para selecionar os artigos mais pertinentes. Os critérios de inclusão abrangiam artigos publicados em língua portuguesa ou inglesa, independentemente do tipo de cobertura verde ou da localização geográfica dos estudos. Artigos que não apresentassem resultados quantitativos ou que não estivessem relacionados ao objetivo da pesquisa foram excluídos.

Após a seleção preliminar com base nos critérios estabelecidos, foram incluídos cinco artigos na revisão bibliográfica. Esses artigos foram cuidadosamente analisados para extrair os principais resultados e conclusões relacionados aos efeitos das coberturas verdes no microclima e no conforto térmico das edificações urbanas.

O estudo realizado por Silva (2017) concentrou-se na avaliação do potencial dos telhados verdes nas habitações de Caruaru, uma cidade na região semiárida de Pernambuco, Brasil. O objetivo principal era mitigar as temperaturas extremas no interior das casas e capturar água da chuva para uso potável. Para alcançar esse objetivo, o estudo monitorou a temperatura interna e externa de quartos com telhados verdes e telhados convencionais. Os resultados indicaram que os telhados verdes contribuíram para reduções nas variações de temperatura diurna, diminuindo as temperaturas internas e a amplitude térmica em comparação com os telhados convencionais. Quanto à captação de água da chuva, o estudo revelou que a implantação de telhados verdes em parte dos edifícios diminuiu o potencial de economia de água em comparação com a aplicação em todos os telhados, mas proporcionou melhorias no conforto térmico, sugerindo a viabilidade de usar ambos os tipos de telhados em conjunto.

Silva e Silva (2021) realizaram uma pesquisa com o objetivo de analisar a eficiência dos telhados verdes na redução dos gastos com energia para aquecimento e resfriamento de ambientes em uma empresa de mineração localizada em Vazante, Minas Gerais. O estudo empregou um método de estudo de caso e concluiu que os telhados verdes demonstraram uma eficiência significativa na isolamento térmica, resultando em uma média de 20% de redução nos gastos com energia. Além disso, o conforto térmico nos ambientes de trabalho melhorou, com uma satisfação média 15% superior em comparação com ambientes sem telhados verdes. A pesquisa também destacou vantagens socioeconômicas, como uma redução média de 25% nos custos de manutenção e um aumento médio de 15% na vida útil da estrutura do telhado.

Viegas et al. (2020) conduziram um estudo para avaliar o desempenho térmico e a eficiência energética das salas de aula localizadas no Instituto Federal de Brasília (IFB), que possuem cobertura verde. O estudo utilizou normas específicas para medir o desempenho térmico e revelou que os telhados verdes tiveram um impacto limitado na temperatura interna das salas, mas resultaram em uma redução média de 10% nas temperaturas internas e no consumo de energia elétrica. Além disso, o estudo identificou áreas para melhorias na durabilidade da cobertura verde e nos sistemas associados.

Dos Santos e Maciel (2019) realizaram um estudo experimental em São Paulo, SP, para investigar o impacto dos telhados verdes na mitigação das ilhas de calor em áreas

urbanas. Utilizando o software ENVI-met, o estudo comparou os sistemas de telhados verdes extensivos e intensivos em termos de redução da temperatura do ar. Ambos os sistemas demonstraram uma capacidade de reduzir a temperatura do ar, sendo que o sistema extensivo teve um efeito mais significativo. O estudo concluiu que os telhados verdes podem ser eficazes na mitigação das ilhas de calor em áreas urbanas.

Silva (2019) investigou os efeitos dos telhados verdes no conforto térmico em ambientes construídos no Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin, localizado em Recife, PE. A pesquisa comparou dois períodos, um sem telhado verde e outro com telhado verde, registrando dados meteorológicos e índices de conforto térmico. Os resultados indicaram que os telhados verdes reduziram a diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício, melhorando o conforto térmico dos ambientes. A pesquisa também evidenciou a redução da temperatura superficial das coberturas, sugerindo a eficácia dos telhados verdes na criação de ambientes termicamente confortáveis.

A segunda etapa desse projeto de pesquisa envolveu um estudo de caso que visou caracterizar a área de estudo e realizar simulações computacionais para analisar os efeitos das coberturas verdes no microclima e no conforto térmico do bairro Cohab Aeroporto, localizado na cidade de Jardim, Mato Grosso do Sul.

A cidade de Jardim é o município mais populoso da microrregião de Bodoquena, com cerca de 24 mil habitantes. O bairro Cohab Aeroporto foi selecionado como área de estudo devido à sua predominância residencial, à necessidade de soluções sustentáveis de arquitetura para melhorar o conforto térmico em um ambiente com intensa radiação solar, e à ausência de áreas verdes significativas. Este bairro está no zoneamento ZC2 do Plano Diretor de Jardim/MS (JARDIM, 2013) e ocupa uma área de aproximadamente 98.000 m<sup>2</sup>. É majoritariamente residencial, com algumas áreas comerciais. As principais permissões de uso incluem residencial unifamiliar e multifamiliar, áreas paisagísticas e de esportes, comércio e serviços, institucionais e industriais de pequena escala. As edificações podem variar em relação aos recuos, de acordo com as normas vigentes.

Para as simulações computacionais, foi delimitada uma área de estudo de 150 m x 150 m, centrada nas quadras delimitadas pelas ruas José de Alencar, Raul Pompeia, Clóvis Almeida Vasques e Aloízio de Azevedo. Essa área compreendeu quatro quadras residenciais, incluindo parte da praça central do bairro, permitindo a análise de diferentes tipos de edificações e áreas verdes, como mostrado na Figura 1.

Para a realização das simulações do microclima urbano, foi utilizado o software ENVI-Met versão 5.1.1 Lite, que permite a análise das interações entre as superfícies urbanas, vegetação e atmosfera. O modelo 3D da área de estudo foi construído com base em imagens aéreas e mapas digitais. As

configurações incluíram informações sobre materiais de cobertura, tipos de solo, vegetação e topografia da área, conforme Figura 2.



Figura 1: Área selecionada para o estudo

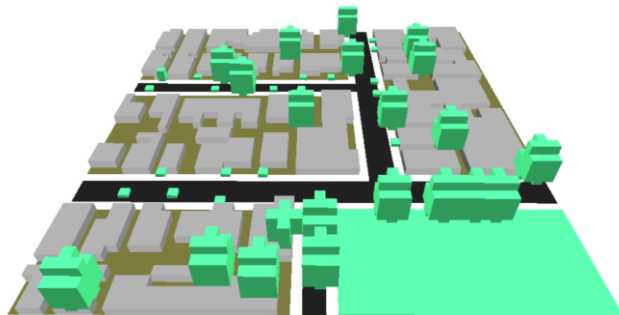


Figura 2: Modelo 3D da área de estudo criado com o ENVI-met

A modelagem da área foi realizada com base no módulo Spaces do ENVI-Met, que permite a representação tridimensional das características físicas do ambiente urbano. O modelo utilizou células de grade de 3 m x 3 m x 3 m para representar as edificações, calçadas, ruas e áreas verdes. As paredes das edificações foram configuradas com blocos de concreto, as coberturas com lajes de concreto e as calçadas com concreto. As áreas permeáveis foram representadas por gramados e árvores foram inseridas em algumas áreas.

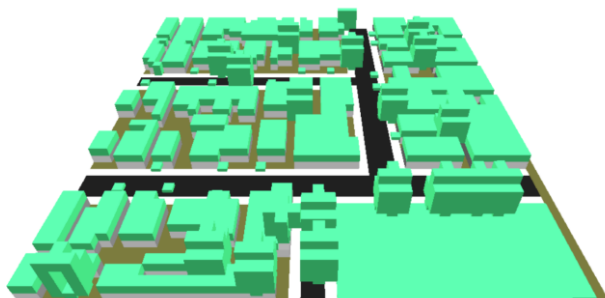


Figura 3: Modelo 3D do cenário proposto criado com o ENVI-met

As simulações foram conduzidas para o dia 21 de dezembro, representando o solstício de verão, com dados climáticos reais fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia, conforme a Tabela 1. Foram criados dois cenários: o Cenário Existente (CE) (Figura 2), que refletia as condições atuais, e o Cenário Proposto (CP) (Figura 3), com 100% de coberturas verdes nas edificações. Elas abrangeram três momentos do dia: 09:00, 12:00 e 15:00 horas. Para cada cenário e horário, foram avaliados os índices de Voto Médio Preditado (PMV) a 1,5 metros e 4,5 metros do solo. Os cálculos de sensação térmica foram baseados em parâmetros padronizados, como idade, estatura, massa corporal, isolamento térmico das vestimentas e taxa metabólica, seguindo as diretrizes do índice PMV, sendo estes os seguintes parâmetros: idade de 35 anos, estatura de 1,75 m, massa corporal de 75 kg, isolamento térmico das vestimentas avaliado em 0,5 clo e uma taxa metabólica de 86,21 W/m<sup>2</sup>.

Tabela 1: Configuração dos dados de entrada no modelo

Dado de Entrada	Valor
Data de início	20/12/22
Início da simulação	07:00
Tempo total de simulação (h)	48
Intervalo de saída de dados (min)	60
Velocidade do ar a 10 m de altura (m/s)	1,16
Direção do vento (graus)	90
Temperatura do ar máxima e mínima (°C)	35; 21
Umidade relativa do ar máxima e mínima (%)	80; 32

## Resultados e Discussão

Os resultados das simulações foram analisados por meio de gráficos que representaram as variações nas condições de conforto térmico ao longo do dia e a influência das coberturas verdes nas sensações térmicas dos pedestres, tanto a 1,5 metros quanto a 4,5 metros do solo, como os mostrados nas Figuras 4 a 15.

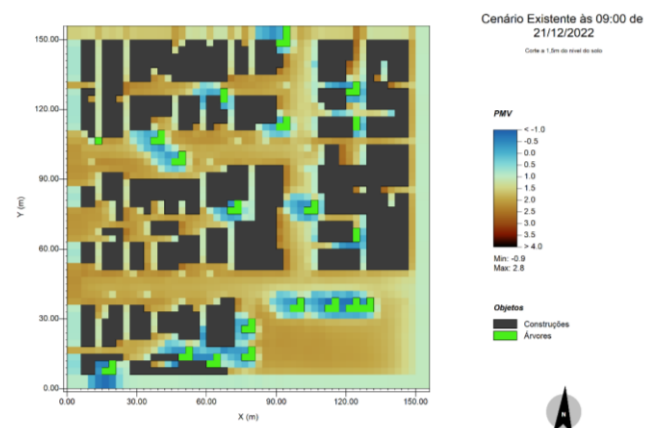


Figura 4: Gráfico com resultado da simulação do cenário existente às 09:00, de 21/12/22, a 1,5 m do solo

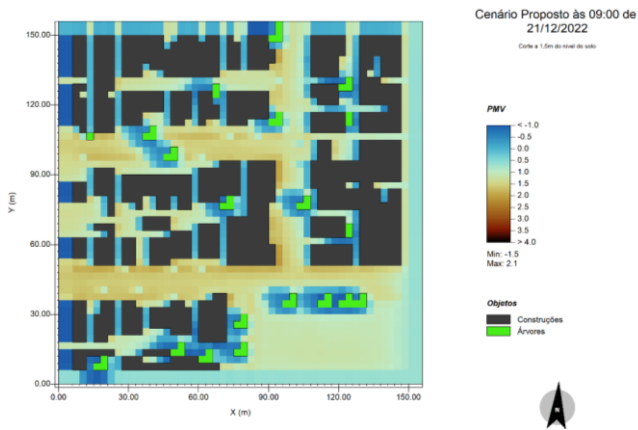


Figura 5: Gráfico com resultado da simulação do cenário proposto às 09:00, de 21/12/22, a 1,5 m do solo

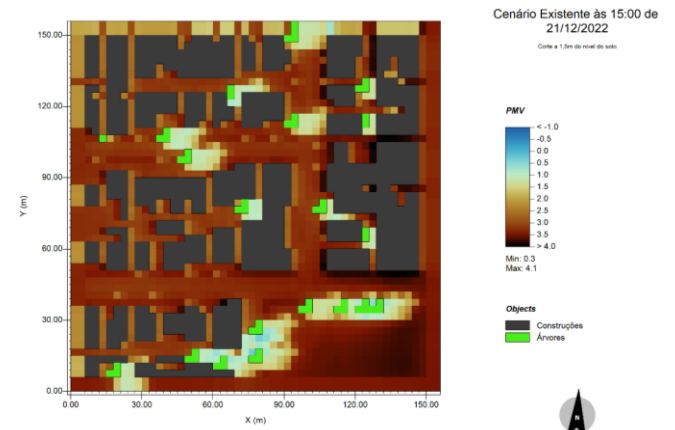


Figura 8: Gráfico com resultado da simulação do cenário existente às 15:00, de 21/12/22, a 1,5 m do solo

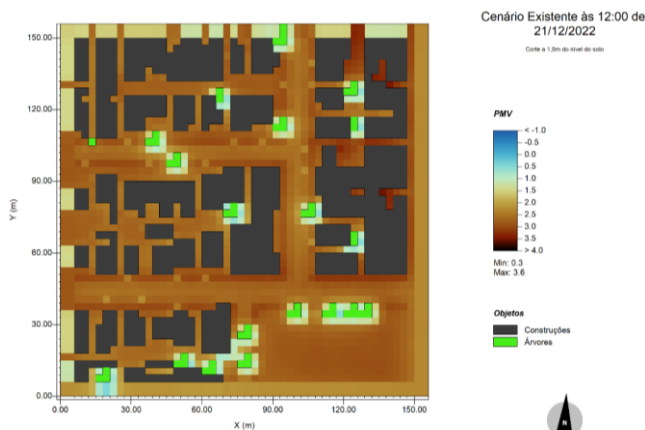


Figura 6: Gráfico com resultado da simulação do cenário existente às 12:00, de 21/12/22, a 1,5 m do solo

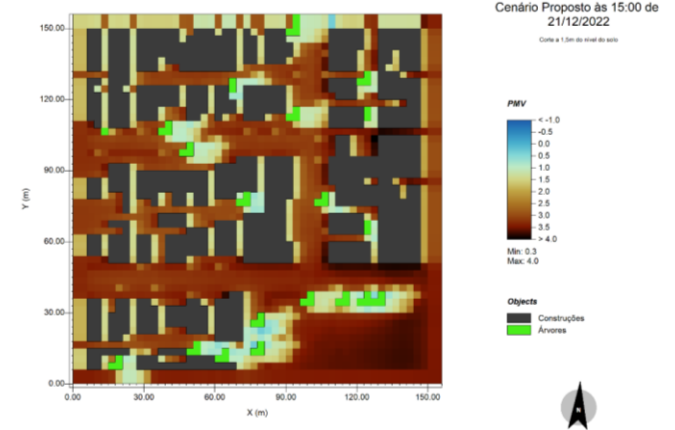


Figura 9: Gráfico com resultado da simulação do cenário proposto às 15:00, de 21/12/22, a 1,5 m do solo

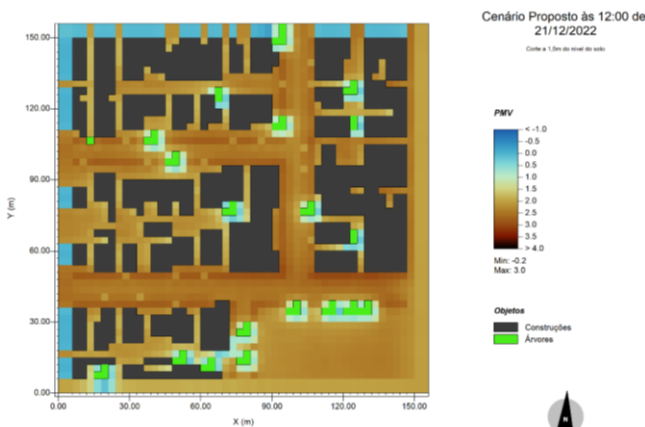


Figura 7: Gráfico com resultado da simulação do cenário proposto às 12:00, de 21/12/22, a 1,5 m do solo

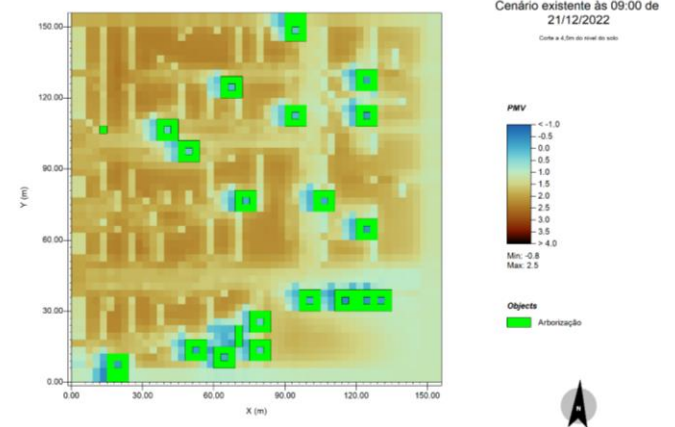
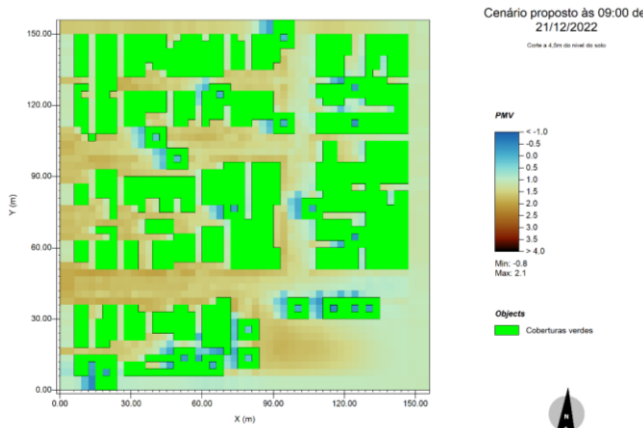
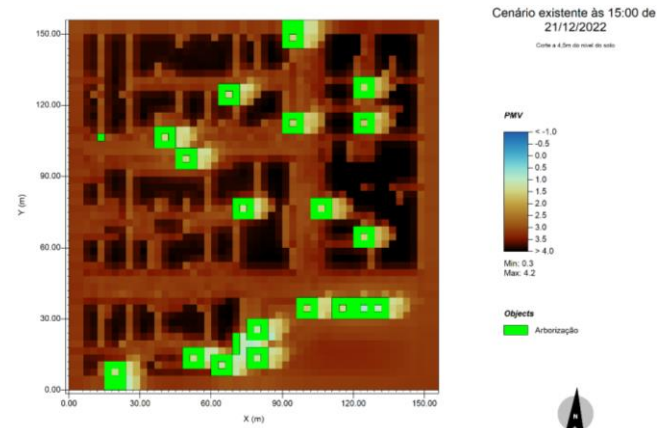


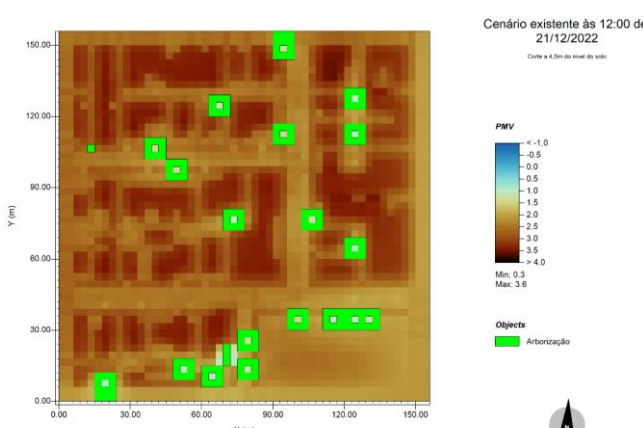
Figura 10: Gráfico com resultado da simulação do cenário existente às 09:00, de 21/12/22, a 4,5 m do solo



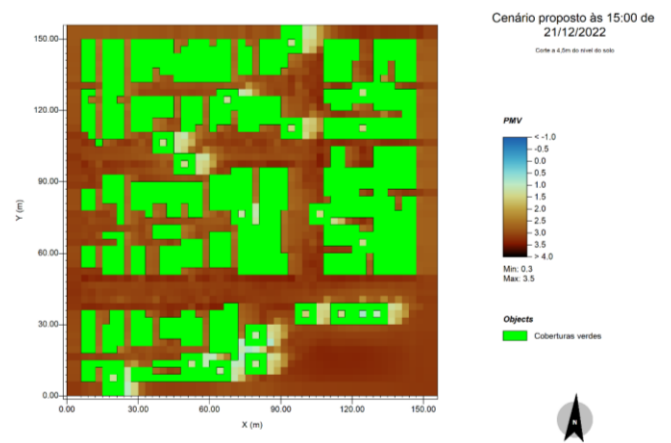
**Figura 11:** Gráfico com resultado da simulação do cenário proposto às 09:00, de 21/12/22, a 4,5 m do solo



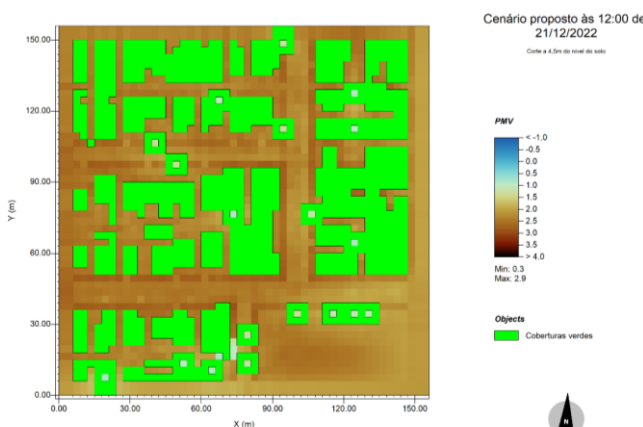
**Figura 14:** Gráfico com resultado da simulação do cenário existente às 15:00, de 21/12/22, a 4,5 m do solo



**Figura 12:** Gráfico com resultado da simulação do cenário existente às 12:00, de 21/12/22, a 4,5 m do solo



**Figura 15:** Gráfico com resultado da simulação do cenário proposto às 15:00, de 21/12/22, a 4,5 m do solo



**Figura 13:** Gráfico com resultado da simulação do cenário proposto às 12:00, de 21/12/22, a 4,5 m do solo

Para a avaliação do conforto térmico, escolheu-se um ponto estratégico no mapa de simulação, evitando a introdução de fatores que pudessem complicar indevidamente os resultados, como sombreamento de árvores, sendo este o de coordenadas (30, 22) do modelo. Este ponto, visível na Figura 16, foi selecionado para representar uma área com exposição solar uniforme e livre de influências externas, concentrando-se nos efeitos diretos das coberturas verdes.



**Figura 16:** Localização do ponto selecionado para análise

Os resultados mostram uma redução consistente nos valores do índice PMV no cenário proposto em comparação com o cenário existente, indicando potencial para melhorar o conforto térmico nos espaços externos do bairro, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2:** Resultados da simulação na coordenada (30, 22)

Corte	Horário	PMV		Decréscimo Aproximado do PMV
		Cenário Existente	Cenário Proposto	
1,5 m	09:00	2,0	1,6	0,4
	12:00	2,9	2,8	0,1
	15:00	3,3	2,9	0,4
4,5 m	09:00	1,8	1,7	0,1
	12:00	2,7	2,6	0,1
	15:00	3,2	2,9	0,3

Os resultados obtidos demonstram um impacto positivo no conforto térmico dos espaços externos. Os dados revelam que o cenário proposto, em grande parte, apresenta valores menores de PMV em relação ao cenário existente, indicando uma redução nas sensações térmicas desconfortáveis. Essa tendência sugere que as coberturas verdes podem mitigar as condições de calor ao longo do dia para os pedestres do bairro, contribuindo para ambientes mais amenos. Em alturas mais elevadas, os resultados indicam um efeito positivo, embora em menor magnitude.

### Considerações Finais

Este estudo destacou a relevância das coberturas verdes como uma intervenção promissora para melhorar o conforto térmico nos espaços urbanos de regiões quentes e secas, como o bairro Cohab Aeroporto em Jardim, Mato Grosso do Sul. Os resultados das simulações demonstraram consistentemente que a introdução de coberturas verdes nas residências pode reduzir as sensações térmicas desconfortáveis ao longo do dia, tanto em alturas próximas ao nível do pedestre quanto em alturas mais elevadas. No entanto, para implementar efetivamente essa estratégia, é essencial considerar fatores multidisciplinares, incluindo aspectos técnicos, custos, benefícios ambientais e a aceitação da comunidade. Este estudo oferece uma base sólida para futuras investigações e iniciativas de planejamento urbano voltadas para a promoção de ambientes urbanos mais sustentáveis e confortáveis.

### Agradecimentos

Agradeço aos membros deste projeto pela sua dedicação e contribuições significativas. Também ao IFMS pela concessão da bolsa de pesquisa com o Edital de Iniciação Científica que desempenhou um papel fundamental na realização deste estudo.

### Referências

\_\_\_\_\_. (2013) **Lei Complementar n° 103/2013 de 09 de Abril de 2013: dispõe sobre o plano diretor do município de Jardim, revoga a lei complementar n° 050, de 09 de outubro de 2006, e dá outras providências.** Jardim: Prefeitura do Município de Jardim.

CÁCERES, N.; IMHOF, L.; SUÁREZ, M.; HICK, E. C.; GALETTO, L. **Assessing native germplasm for extensive green roof systems of semiarid regions.** *Ornamental Horticulture*. v. 24, n. 4, p. 466-476, 2018.

DOS SANTOS, S.; MACIEL, C. **Telhado verde como estratégia de mitigação de ilhas de calor em São Paulo.** *Jornada de Iniciação Científica e Mostra de Iniciação Tecnológica* - ISSN 2526-4699, Brasil, dez. 2019.

SAVI, A. C.; TAVARES, S. F. **Telhados verdes: uma análise da influência das espécies vegetais na retenção de água de chuva** *Revista de Arquitetura IMED*, Passo Fundo, vol. 7, n. 1, p. 50-67, Jan.-Jun, 2018.

SILVA, H. M. da; SILVA, P. R. S. e . **Telhado Verde: sistema construtivo de maior isolamento térmica.** *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 10, n. 14, p. e341101422238, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i14.22238. Acesso em 19 set. 2023.

SILVA, R. S. **Telhado verde e sua influência micrometeorológica.** 2019. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

da SILVA, T. F. **TECNOLOGIA ALTERNATIVA EM DRENAGEM URBANA: telhado verde.** 2017. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2017.

VIEGAS, R.; OLIVEIRA, R.; JUCÁ, T. R. P.; ZANONI, V. A. G.; SILVA, C. F. **Análise integrada do desempenho térmico, eficiência energética e durabilidade de uma cobertura verde.** In: **CONSTRUÇÃO 2020 - Congresso de Construção Civil**, Brasília-DF, 2020.

WILLES, J. A. **Tecnologias em telhados verdes extensivos: meios de cultura, caracterização hidrológica e sustentabilidade do sistema.** 2014. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2014. doi:10.11606/T.11.2014.tde-03122014-171411. Acesso em 19 Set. 2023.

## THE INFLUENCE OF GREEN ROOFS ON THE MICROCLIMATE OF THE CITY OF JARDIM, MATO GROSSO DO SUL, THROUGH COMPUTATIONAL SIMULATION: A CASE STUDY OF FULL RESIDENTIAL ROOF COVERAGE

**Abstract:** *Green roofs, vegetative systems installed on buildings, offer a range of benefits, including reducing building temperatures, absorbing water and pollutants, improving air quality, and enhancing urban biodiversity. However, the effects of these roofs on microclimate and indoor thermal comfort still lack detailed study. This work conducts a literature review on the impact of green roofs, encompassing five articles in Portuguese that reveal their positive influence on the built environment. Additionally, this study investigates how computational simulations in ENVI-Met explore the potential of green roofs in a neighborhood in the city of Jardim, MS. The results point to significant improvements in thermal comfort throughout the day, with a notable reduction in heat sensations. These findings underscore the benefits of fully implementing green roofs in urban areas, highlighting their role in promoting environmental comfort and suggesting pathways for sustainable urban planning.*

**Keywords:** *Microclimate, Green Roofs, Thermal Comfort, ENVI-Met.*