CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE UM SISTEMA DE TELHADO VERDE

Beatriz dos Reis Pereira (1); Érico Masiero (2)
(1) Engenheira Ambiental, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da UFSCar, beatrizrp@estudante.ufscar.br
(2) Arquiteto e Urbanista, Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da UFSCar

RESUMO
O aumento da temperatura do ar é um dos fenômenos que podem ser notados tanto em dados científicos como através da sensação térmica, e isto vem ocorrendo devido à alta degradação ambiental, causada principalmente pela intensa urbanização. O uso dos telhados verdes pode contribuir, tanto para combater os efeitos do calor excessivo no interior e no exterior das edificações, como para o aumento da umidade do ar e redução das Ilhas de Calor Urbano, tornando as cidades mais seguras, confortáveis e sustentáveis. Desta forma, esta pesquisa teve como objetivo analisar a contribuição de telhados verdes para a diminuição de temperatura do ar e da superfície de cobertura. O experimento foi realizado na cidade de São Carlos-SP, por meio de medições de temperatura de superfície e do ar em duas plataformas experimentais de telhados verdes, sendo uma com solo exposto; e outra com grama amendoim. Após esta etapa, foram coletados dados de temperatura do ar, da área subsuperficial e área de base de ambas as plataformas. Os resultados obtidos para a plataforma com grama amendoim, mostraram redução entre 5°C e 6°C na área subsuperficial e entre 1°C e 2°C na área de base, em comparação com a plataforma com solo exposto. Pôde-se verificar que no período da noite entre 18h e 8h, a plataforma com vegetação apresentou menor queda de temperatura, mantendo o calor; já no período do dia entre 8h e 18h, esta plataforma apresentou redução significativa de temperatura. Desta forma, é possível afirmar que a implantação de telhados verdes tem resultados positivos a fim de reduzir temperatura em estações e climas quentes, como em mantê-la em casos de estações e climas mais frios.

Palavras-chave: Telhados verdes; Plataforma Experimental, Grama Amendoim.

ABSTRACT
The increase in air temperature is one of the phenomena that can be noticed both in scientific data and through the thermal sensation. This has been occurring due to high environmental degradation, mainly caused by intense urbanization. The use of green roofs can contribute to combat the effects of air temperature inside and outside buildings, as well as to increase air humidity and reduce Urban Heat Islands, turning cities safer, more comfortable and sustainable. Thus, this research aimed to analyze the contribution of green roofs to the decrease in air and cover surface temperature. The experiment was realized at the city of São Carlos – SP, Brazil, through the measurement of the air in surface temperature in two platforms, one with exposed soil and another with peanut grass After this step, air temperature data were collected from the subsurface area and base area under both platforms. The results obtained for the platform with peanut grass showed a reduction of 5°C to 6°C in the subsurface area, and 1°C to 2°C in the base area, in comparison with the platform with exposed soil. For the period at night between 6 pm and 8 am, the platform with vegetation had a lower decrease of temperature, maintaining the heat. The period of the day between 8 am and 6 pm, this platform revealed a significant temperature reduction. In this way, it is possible to claim that the implementation of green roofs has positive results to reduce temperature in hot seasons and climates, as well as to maintain it in cases of colder seasons and climates.]

Keywords:Green Roofs; Experimental Platforms; Peanut Grass.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos é notável o aumento de temperatura do ar nas cidades, não só em dados científicos, mas percebidos ao longo do dia através da sensação térmica humana. Além deste fato, verifica-se também os casos de alagamento e inundações nas cidades ao longo do ano, causados por chuvas severas, juntamente com a urbanização inadequada próxima de corpos d'água. Ambos os acontecimentos estão relacionados ao aquecimento global, o qual interfere em todo o clima, causado principalmente pela intensa urbanização e degradação ambiental.

Desta forma, o que se pode fazer para que a situação atual se torne mais segura e agradável tanto para os seres humanos, quanto para o meio ambiente, é tentar mitigar suas causas, através da diminuição da temperatura do ar nas cidades e edificações, sobretudo em regiões de clima tropical.

O uso dos telhados verdes pode contribuir, tanto para combater os efeitos da temperatura do ar no interior, quanto no entorno das edificações, possibilitando a melhoria da drenagem superficial nas cidades. Assim, os telhados verdes podem afetar diretamente a ocorrência de casos de alagamento e inundação, o aumento da umidade do ar e, possivelmente, reduzir a intensidade das Ilhas de Calor Urbana, tornando as cidades mais seguras, confortáveis e sustentáveis. (WAHBA *et al.,* 2018), (Perussi, 2016), (Gnecco, I.; Palla, A.; Lanza, L. G. & Barbera, P. L., 2013).

Os telhados verdes são estruturas aplicadas em construções existentes e novas, sendo compostas por um sistema de camadas de materiais, principalmente vegetação e substrato sobre uma superfície de suporte, que têm como objetivo trazer benefícios ao ambiente construído e às pessoas viventes no mesmo. Desta forma, é válido ressaltar as diferentes formas de telhados verdes e como os mesmos funcionam, levando em consideração o contexto e as características do ambiente ao qual será aplicado, como inclinação, espaço e clima (PERUSSI, 2016).

A característica a ser considerada antes de se planejar a implementação de um telhado verde é se o mesmo será intensivo ou extensivo, e isto dependerá das necessidades para aplicação deste tipo de técnica. Estes tipos de coberturas verdes têm como principal diferença a espessura de substrato utilizado, o que consequentemente influenciará na espécie vegetal a ser plantada. Dependerá, sobretudo, do tamanho e estrutura da construção a qual será implementado, o que interferirá nos valores de aplicação e na manutenção da estrutura final. A vegetação a ser aplicada dependerá do clima predominante na região, da disponibilidade de nutrientes e da umidade do substrato e da frequência de sua manutenção (Cardoso & Vecchia, 2014).

No caso dos telhados verdes intensivos, de acordo com Hossain *et. al.* (2019), são caracterizados por possuírem plantas grandes, árvores e arbustos, são acessíveis e podem ser utilizados para visitação, têm alto custo e alta necessidade de irrigação, fertilização e manutenção. Já os telhados verdes extensivos podem ser caracterizados como não acessíveis para visitação, constituídos por plantas de baixo crescimento como gramas, suculentas e ervas, o que exige menor camada de substrato, implicando em menor custo de implantação; por isto, este tipo de telhado verde possui baixa diversidade de plantas, pouca necessidade de irrigação, nutrientes e manutenção no geral. Karachaliou, Santamouris e Pangalou (2015), ressaltam que ambos os tipos são utilizados para mitigar o aquecimento urbano, proteção dos raios solares, e resfriamento do ambiente construído através do processo de evapotranspiração realizado pelas plantas.

Os telhados verdes se mostraram ótimos aliados do conforto térmico para residências, como estudado por Perussi (2016); e coberturas com reservatório de água, estudadas por Krüger, Lange, Fernandes e Rossi (2016). Além disto, os telhados verdes também contribuem no aumento de vegetação presente nas cidades.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar e caracterizar o comportamento térmico de um sistema de duas plataformas experimentais de telhados verdes, sendo uma com vegetação representando a aplicação da técnica, e outra com solo exposto simbolizando um telhado convencional.

3. MÉTODO

Os procedimentos metodológicos se baseiam na construção de duas plataformas experimentais de telhados verdes, a fim de realizar as medições das variações temperaturas das camadas subsuperficiais e do ar logo acima da camada vegetal.

Serão realizadas medições de temperatura do ar e das superfícies em dois cenários distintos: um com solo exposto (Plataforma Convencional – PC) simbolizando telhado convencional, e outro com vegetação (Plataforma com Vegetação – PV) retratando telhado com a técnica de telhados verdes; dispostos em 2 plataformas de teste construídas no campo experimental da Universidade Federal de São Carlos, Campus de

São Carlos. O clima da cidade de São Carlos é caracterizado como Tropical de altitude com inverno seco classificação Aw de acordo com Köppen Geiger.

Assim, a metodologia deste projeto foi dividida em 3 etapas principais. Sendo elas: Montagem de duas Plataformas; Adição de substrato e cultivo da vegetação em uma delas; monitoramento, coleta e análise de dados de temperaturas superficiais e do ar.

3.1 Montagem das Plataformas

Nesta etapa ocorreu o dimensionamento e montagem das plataformas de teste. O dimensionamento foi realizado com base na melhor forma de manutenção e coleta dos dados, e considerando valores dos materiais para construção das mesmas; desta forma, o sistema foi composto por duas plataformas com dimensões de 1 x1 m, tendo 15 cm de profundidade e 0,7 m de altura em relação ao nível do solo até seu fundo.

Apesar de as plataformas possuírem dimensões iguais, cada uma foi destinada a um tipo de medição, sendo uma delas a Plataforma Convencional (PC), sem a implementação de vegetação; já a segunda, Plataforma com Cobertura Verde (PCV), representando a implementação de um sistema de telhado verde contendo substrato e vegetação. Ambas as plataformas foram montadas com as dimensões descritas, feitas de madeira e protegidas com manta impermeabilizante na base do sistema. Além disto, foram realizadas perfurações bem espaçadas não laterais e fundo para que as águas pluviais e de manutenção pudessem escoar sem gerar acúmulos que poderiam matar as raízes da grama.

Ambas as plataformas foram montadas e estruturadas em madeira cedrilho em suas laterais, o fundo foi feito com madeirite plastificado, e os pés foram feitos com peroba. A Figura 1 a seguir mostra a estrutura das plataformas, e suas camadas componentes.



Figura 1 - Estrutura das plataformas. Fonte: Autoral, 2023.

3.2 Adição de Substrato e Vegetação

Após a montagem de ambas as plataformas, deu-se início à etapa de medição de temperatura das camadas subsuperficiais, embaixo da plataforma e a do ar acima da vegetação; sempre mantendo suas características e manutenção em dia. No caso da Plataforma Convencional, foi adicionado substrato com altura de 15 cm de solo, já a Plataforma com Cobertura Verde, houve adição de substrato com altura de 10 cm, e foram plantadas mudas da espécie de grama amendoim, além disto, foi realizada manutenção e irrigação de acordo com a necessidade da espécie e da plataforma em geral. Ambas as plataformas foram irrigadas com as mesmas quantidades de água, mesmo que em uma delas não houvesse vegetação. Desta forma foi possível averiguar o efeito da evaporação em ambas.

A Figura 2 mostra os materiais que irão compor o protótipo de telhado verde.

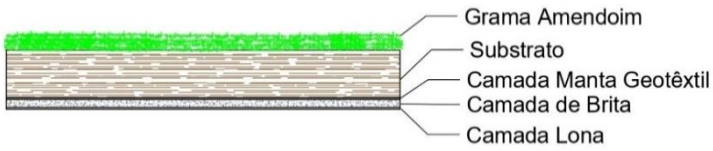


Figura 2 - Camadas do protótipo e seus materiais. Fonte: Autoral, 2023.

3.3 Coleta de Dados

Posteriormente a montagem de ambas PC e PCV, foram posicionados sensores para medição de temperatura do ar, das subsuperfícies, e embaixo da plataforma. A Tabela 1 mostra as siglas e seus correspondentes significados.

Tabela 1 - Siglas e significados referentes às plataformas.

Siglas	**Significado**
PC	Plataforma Convencional
PCV	Plataforma com Vegetação
SUB S/G	Subsuperficial sem grama
SUB G	Subsuperficial com grama
BASE S/G	Base sem grama
BASE G	Base com grama

Fonte: Autoral, 2023.

A coleta dos dados de temperatura e umidade do ar foi realizada através do programa HOBOware, sendo que o sensor foi programado para registrar os dados a cada hora e durante 30 dias. Os dados foram avaliados a partir dos dias com céu claro, temperaturas elevadas, ventos fracos e baixa umidade relativa do ar. A Figura 3 a seguir mostra o sensor utilizado e suas informações.



Marca / Modelo	HOBO/ Pro V2 U23-001
Faixa de operação	-40 °C a 70 °C
Precisão	0,2 °C acima de 0 °C até 50 °C
Resolução	0,02 °C a 25 °C
Tempo de resposta	40 min no ar em movimento de 1 m/s

Figura 3 - Sensor de temperatura e umidade dor ar e suas informações técnicas. Fonte: Hobo, 2023.

Após definidos os materiais das camadas, foram instalados os sensores utilizados para monitoramento da temperatura do ar (Ta); da temperatura subsuperficial (Tss) localizada a aproximadamente 3 cm abaixo da superfície do solo; e a temperatura de fundo ou de base (Tb) localizada na parte de baixo da plataforma. Nesta última, o sensor será acoplado em uma chapa de alumínio, que estará em contato direto com a camada impermeabilizante. Ou seja, o madeirite não influenciará na temperatura registrada. A Figura 4 mostra o sensor termopar utilizado e suas informações técnicas.



Marca / Modelo	Dallas / DS18B20
Descrição	1-Wire® Digital Thermometer
Tipo	Sonda
Amplitude de temperaturas	-55°C à +125°C.
Precisão	±0,5°C (à 25°C)
Microcontrolador	Esp32 (WROOM)

Figura 4 - Sensor termopar utilizado e suas informações técnicas. Fonte: KOWALSKI, 2019.

O sensor de temperatura do ar com proteção foi instalado ao lado das plataformas. A Figura 5 mostra a vista lateral dos sensores implantados.

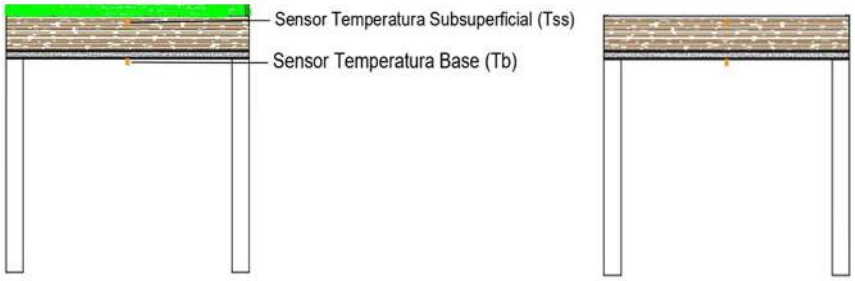


Figura 5 - Vista lateral da implantação dos sensores. Fonte: Autoral, 2023.

Além destas posições dos sensores, serão colocados 3 na camada subsuperficial, e 3 na camada de fundo ou de base. A Figura 6 mostra a posição que os sensores serão dispostos.

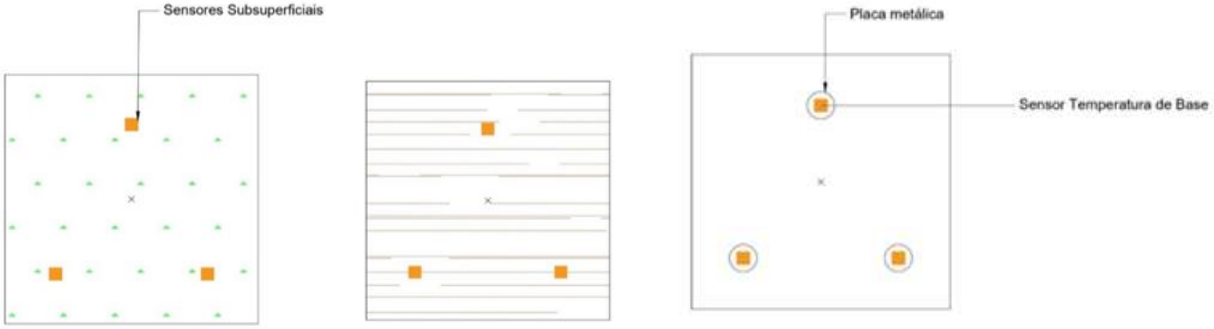


Figura 6 - Vista superior da disposição dos sensores nas camadas subsuperficial e de base. Fonte: Autoral, 2023.

A Figura 7 mostra a disposição dos sensores nas plataformas posicionadas no *campus* da UFSCar de São Carlos.



Figura 7 - Sensores instalados nas plataformas dentro do *campus* UFSCar São Carlos. Fonte: Autoral, 2023.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados apresentados a seguir foram obtidos a partir da coleta de dados dos dias 23/03/2023 às 8h ao dia 29/03/2023 às10h. A Figura 8 apresenta os valores de temperatura registradas pelos sensores termopares nas plataformas com e sem grama, nas áreas subsuperficiais e de base; e os valores de temperatura do ar e umidade relativa.

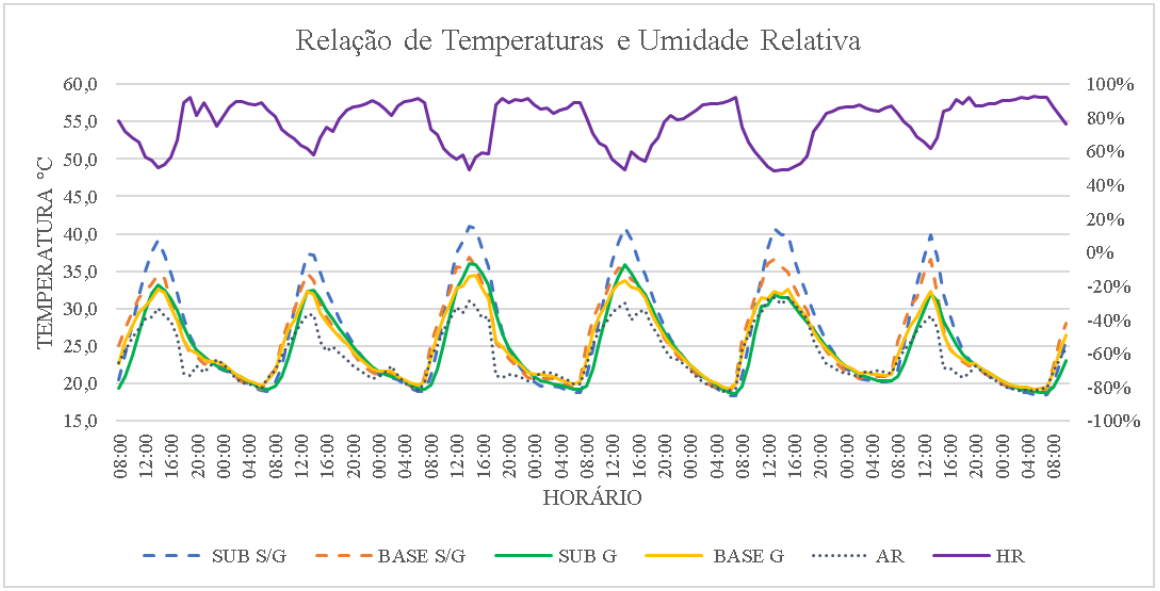


Figura 8 - Dados de temperaturas das plataformas com e sem grama nas áreas subsuperficiais (SUB S/G e SUB G), e nas áreas de base (BASE S/G e BASE G); temperatura do ar e umidade relativa do mesmo. Fonte: Autoral, 2023.

A fim de facilitar a leitura e interpretação do gráfico, foi feito um recorte de dois dias (25/03 e 26/03), representado pela Figura 9, para evidenciar os efeitos de redução do calor nas plataformas.

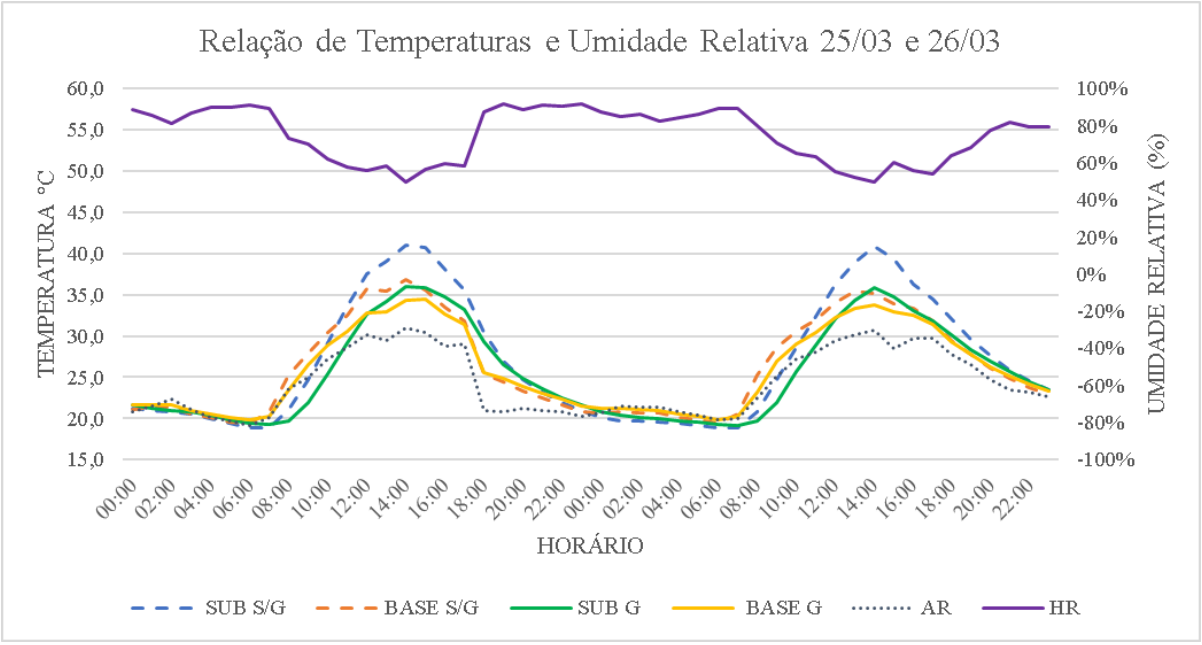


Figura 9 - Relação de temperaturas nas áreas subsuperficiais com e sem grama (SUB S/G e SUB G) e de base (BASE S/G e BASE G), temperatura e umidade relativa nos dias 25/03 e 26/03. Fonte: Autoral, 2023.

A partir da análise da Figura 9, pode-se comparar os valores de temperatura referentes às áreas subsuperficiais, onde a plataforma que não possui grama apresenta valores maiores ao longo do dia entre 8h e 18h em comparação com os valores referentes à plataforma com grama. O que permite afirmar que a presença de vegetação absorveu calor e radiação, garantindo diminuição de temperaturas registradas. É possível observar que no período da noite, entre 18h e 8h, os valores de temperatura subsuperficial na plataforma sem grama diminui, enquanto que a plataforma com grama consegue manter o calor, e sua temperatura se apresenta pouco mais elevada. Além disto, pegando-se o horário de 14h para analisar a variação de temperatura entre as plataformas, nota-se para a área subsuperficial, uma diferença de 5°C a 6°C a menos devido à presença de vegetação; já para a área de base, há uma diferença de 1°C a 2°C a menos devido à presença de vegetação.

Desta forma, a aplicação de telhados verdes contribui tanto para diminuir a temperatura interior, melhorando o conforto térmico; como para manter o calor interno em estações e climas mais frios, ambas as vantagens podem diminuir gastos de energia relacionados a ar-condicionado e aquecedores.

Já a Figura 10 apresenta o gráfico de temperaturas obtidas na plataforma sem grama, o que permite comparar a ação da camada de substrato.

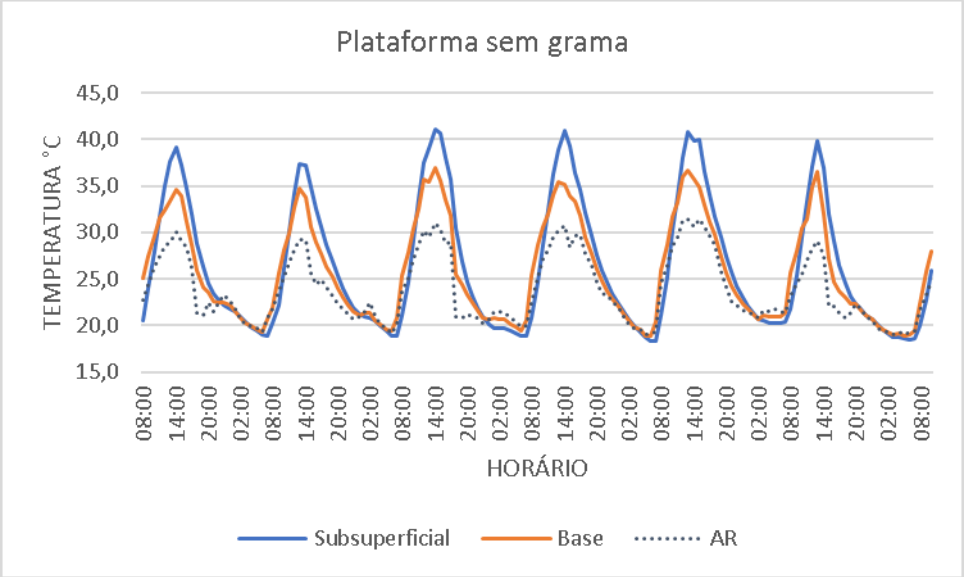


Figura 10 - Temperaturas de áreas subsuperficial, de base e do ar referentes à plataforma sem grama. Fonte: Autoral, 2023.

A partir deste gráfico é possível afirmar que a temperatura subsuperficial tem valores maiores que a de base devido à camada de substrato que absorve calor e radiação. Entretanto ambas são mais elevadas em até 5°C aproximadamente em relação à temperatura do ar, pois o solo esquenta com rapidez devido a sua condutividade térmica e calor específico.

A Figura 11 apresenta os valores de temperaturas das áreas subsuperficial e de base juntamente com a do ar, relacionadas à plataforma com grama, o que permite verificar o efeito da grama e da camada de substrato.

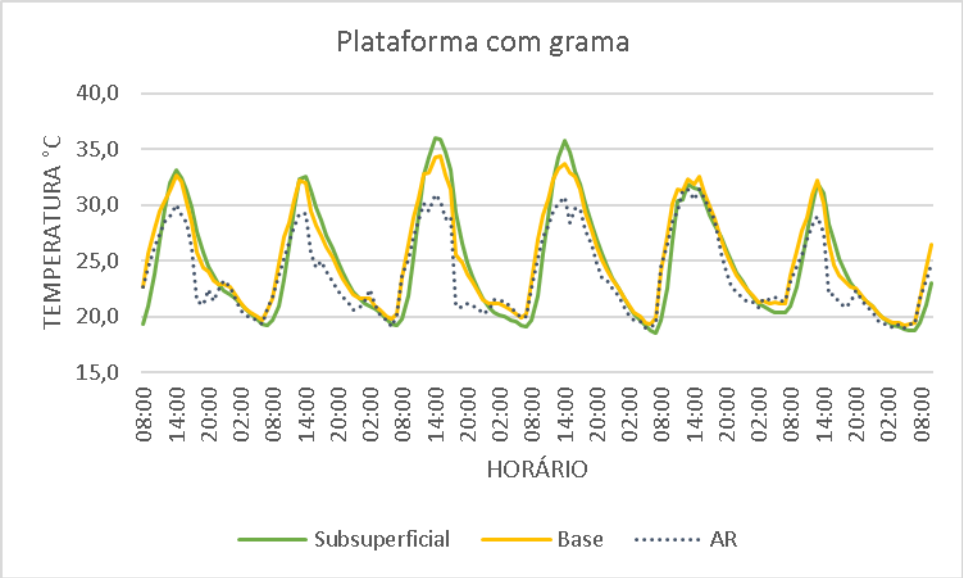


Figura 11 - Temperaturas de áreas subsuperficial, de base e do ar referentes à plataforma com grama. Fonte: Autoral, 2023.

A partir da Figura 11 pode-se verificar que a diferença de temperatura entre as áreas subsuperficial e de base não é expressiva, porém, ainda assim a temperatura da base é menor que a subsuperficial, o que demonstra a interferência do conjunto substrato e grama na redução de temperatura através da maior absorção de calor e radiação.

As Figuras 12 e 13 apresentam os gráficos de temperaturas referentes à comparação entre plataforma com e sem grama, sendo um para as áreas subsuperficiais, e outro para área de base.

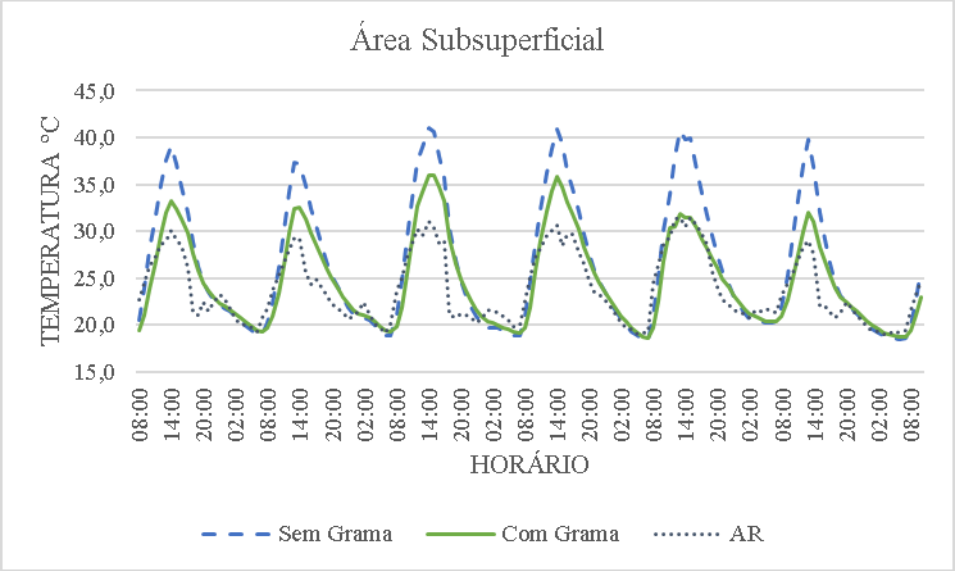


Figura 12 - Relação de temperaturas das áreas subsuperficiais em ambas as plataformas. Fonte: Autoral, 2023.

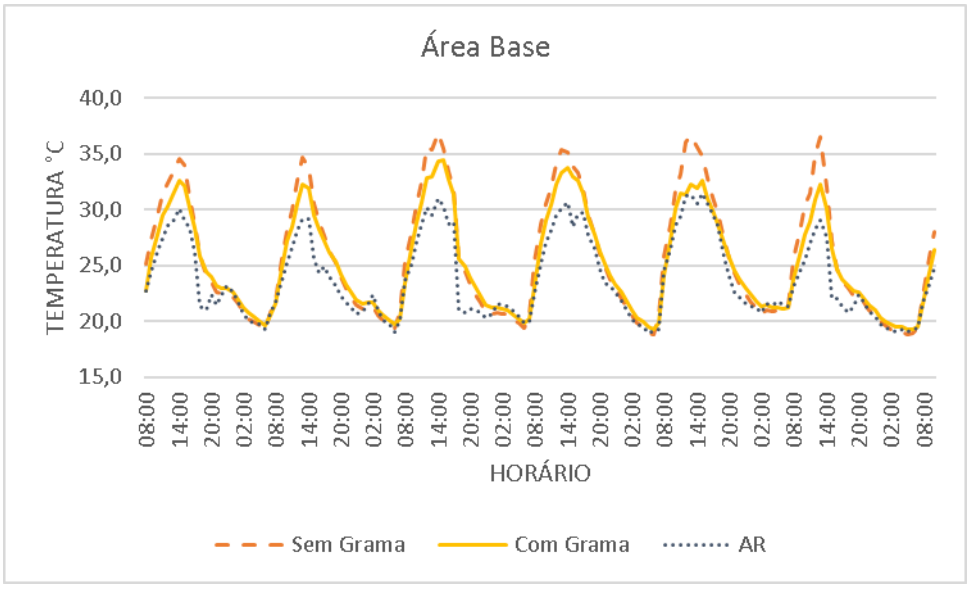


Figura 13 - Relação de temperaturas das áreas de base de ambas as plataformas. Fonte: Autoral, 2023.

De modo geral, analisando-se os gráficos e os dados obtidos, verifica-se a redução de temperatura em ambas as áreas (base e subsuperficial) na plataforma com vegetação, devido à absorção de calor e radiação efetuada pela grama e pelo processo de evapotranspiração realizado que contribui no aumento da umidade relativa do ar e consequentemente na temperatura percebida.

Levando-se em consideração os trabalhos utilizados como base, na parte de conforto térmico, WAHBA et. al., 2018, onde obteve resultados da aplicação de coberturas e paredes verdes em edificações, que contribuíram na diminuição em 5°C na temperatura do ar e sensação térmica e em 25% no consumo de energia elétrica anual. Já no trabalho realizado por Mutani e Todeschi (2020), foi verificado que conforme há aumento de superfícies verdes no meio urbano, há diminuição da temperatura das superfícies terrestres e do ar, mostrando como a presença de vegetação está diretamente ligada à temperatura do ar observada. Perussi (2016) em seus experimentos, constatou diminuição de 4,1°C na temperatura do ar, quando se há cobertura verde.

Desta forma, comparando-se os resultados obtidos ao longo do experimento com trabalhos já realizados, pode-se verificar que há diferenças de resultados, devido aos métodos utilizados e climas das localizações onde foram realizados. Devido ao fato dos telhados verdes aumentarem a inércia térmica das coberturas da edificações, a variação da temperatura do ar dos ambientes internos se torna mais estável. Neste caso, se tornam ótimas alternativas para evitar também a perda de calor durante o inverno.

5. CONCLUSÕES

Após realizado o experimento e obtidos os resultados, é possível verificar a diferença de temperatura comparando a plataforma com solo exposto e a plataforma com grama amendoim. A redução de temperatura entre 5°C e 6°C na área subsuperficial, e entre 1°C e 2°C na área de base quando há a presença de grama. Observou-se ainda, que a presença de vegetação contribuiu para manter o calor no período da noite entre 18h e 8h, quando a temperatura diminui; já no período do dia entre 8h e 18h a temperatura foi reduzida. Desta forma, o uso de telhados verdes pode contribuir tanto para climas e estações quentes, quanto para climas e estações frias. A análise deste método aplicada para escalas maiores, como bairros e cidades, pode ser um caminho a se seguir a fim de constatar a contribuição de telhados verdes para fenômenos climáticos, como as Ilhas de Calor Urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARDOSO, G. T.; & VECCHIA, F. Comparison of termal performance between test cells qith diferente coverage systems for experimental typical day of heat in Brazilian Southeastern. **Frontiers of Architectural Research.** 2014.

GNECCO I., PALLA A., LANZA L. G., LA BARBERA P. A green roof experimental site in the Mediterranean climate: the storm water quality issue. Water Sci Technol. 2013.

HOSSAIN, M.A. *et. al.* Perception and barriers to implementation of intensive and extensive green roofs in Dhaka, Bangladesh. **Buildings.** vol.9, n.79, april, 2019.

KARACHALIOU, P.; SANTAMOURIS, M.; & PANGALOU, H. Experimental and numerical analysis of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on a office Building in Athens. **Energy and Buildings.** 2015.

KRÜGER, E. L.; LANGE, S. C.; FERNANDES, L.; ROSSI, F. Avaliação do potencial de resfriamento de um sistema teto-reservatório para condições subtropicais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 107-125, jul./set. 2016. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

KOWALSKI, Luiz Fernando. Influência do albedo de pavimentos no campo térmico de cânions urbanos: estudo de modelo em escala reduzida. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

PERUSSI, R. **Comportamento Térmico de um Sistema de Cobertura Verde: Um Experimento Utilizando Plataformas de Teste.** Dissertação de Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2016.

WAHBA, S. M. *et al.* Effectiveness of Green Roofs and Freen Walls on Energy Consumption and Indoor Comfort in Arid Climates. **Civil Engineering Journal**. vol. 4, n. 10, october 2018.