ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Avaliação da flutuação da temperatura de globo em função da proximidade de copas de árvores. Estudo de caso: Chapéu de sol (*terminalia catappa*)

Assessment of global temperature fluctuations depending on the proximity of tree tops. Case study: Sunhat (*terminalia catappa*)

Thiago dos Santos Garcia
UNICAMP | Campinas | Brasil | t226711@dac.unicamp.br
Lucila Chebel Labaki
Unicamp | Campinas | Brasil | llabaki@gmail.com

Resumo

Uma das contribuições para melhorias na qualidade de vida nas cidades e redução de impactos ambientais é o planejamento da arborização urbana. A arborização nas calçadas públicas deve ocorrer considerando-se espécies adequadas, que não obstruam a passagem dos transeuntes e explorem o espaço aéreo sem interferência ambiental, buscando promover áreas de sombra que proporcionem conforto aos usuários locais. Plantar árvores sem planejamento, além de possivelmente causar impactos ergonômicos e espaciais negativos, pode promover efeitos ambientais adversos. Supõe-se, por exemplo, que o aumento da temperatura superficial da alvenaria pode ocorrer pela radiação refletida das copas das árvores, quando muito próximas às mesmas. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar a hipótese do aumento das temperaturas superficiais de superfícies verticais causadas pelas radiações refletidas das folhas das copas das árvores de um grupo de espécies a determinadas distâncias, buscando identificar os impactos em superfícies próximas. A metodologia aplicada a esta pesquisa inclui o estabelecimento de critérios para seleção das espécies arbóreas avaliadas, análise das composições e arranjos espaciais dos indivíduos arbóreos, bem como medições *in loco* das temperaturas radiantes, utilizando termômetros de globo, para calcular a temperatura do ambiente interno simulado.

Palavras-chave: Conforto térmico urbano; Arborização urbana; Temperatura radiante; Balanço termo energético da vegetação; Radiação solar.

Como citar:
GARCIA, T.S; LABAKI, L.C. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Abstract

One of the contributions to improving the quality of life in cities and reducing environmental impacts is the planning of urban afforestation. Tree planting on public sidewalks must take place considering appropriate species, which do not obstruct the passage of passers-by and explore the air space without environmental interference, seeking to promote shade areas that provide comfort to local users. Planting trees without planning, in addition to possibly causing negative ergonomic and spatial impacts, can promote adverse environmental effects. It is assumed, for example, that the increase in the surface temperature of the masonry can occur due to the radiation reflected from the tree tops, when very close to them. In this sense, the objective of this work is to evaluate the hypothesis of an increase in surface temperatures on vertical surfaces caused by radiation reflected from the leaves of the tree crowns of a group of species at certain distances, seeking to identify the impacts on nearby surfaces. The methodology applied to this research includes the establishment of criteria for selecting the tree species evaluated, analysis of the compositions and spatial arrangements of tree individuals, as well as in situ measurements of radiant temperatures, using globe thermometers, to calculate the temperature of the simulated internal environment.

Keywords: Urban thermal comfort; Urban afforestation; Radiant temperature; Thermoenergetic balance of vegetation; Solar radiation

INTRODUÇÃO

O planejamento adequado da arborização urbana traz benefícios ambientais e, por conseguinte, contribui para melhorias da qualidade de vida nas cidades. A escolha do local e da espécie de árvore adequados para o plantio pode proporcionar melhores condições para o desenvolvimento da árvore, minimizando riscos de acidentes, reduções de necessidades de poda, evitando prejuízos à acessibilidade, por exemplo.

Baseando-se nos conceitos e teorias existentes sobre o plantio de árvores, emergem indagações como: Quais são os parâmetros corretos de plantio? Quais os efeitos negativos que o plantio de árvores, de forma indevida, pode causar aos espaços abertos das cidades?

A vegetação tem sido sistematicamente utilizada como estratégia de condicionamento ambiental passivo, integrando um conjunto de estratégias bioclimáticas utilizadas por profissionais da construção civil. Por outro lado, a grande demanda pelo uso do solo urbano induz ao surgimento de novas pesquisas que buscam diferentes formas de trazer a vegetação para as cidades (GIVONI, 1991; NOWAK, 2006; PERINI; MAGLIOCCO, 2012 apud MATHEUS et al. 2016) [1].

As características do entorno imediato interferem diretamente no conforto térmico; sendo assim, o comportamento de indivíduos arbóreos no microclima varia conforme o tipo, porte, idade, período do ano e formas de disposição nos recintos urbanos (ABBUD, 2007; LABAKI; SANTOS, 1996; PEIXOTO; LABAKI; SANTOS, 1995 apud ABREU; LABAKI, 2010) [2].

A transmissão de calor pelas folhas depende da sua estrutura e espessura. De acordo com a espessura (variando para cada folha) as folhas tendem a ter as mesmas propriedades ópticas e térmicas (HOLM, 1989 apud SHINZATO, 2009) [3].

Ometo (1981) apud Shinzato (2009) [3] descreve que o balanço de radiação de uma folha é decorrente da posição que ela ocupa na copa, sendo, portanto, um parâmetro extremamente variável. Deve-se considerar que, além da posição, a idade, a estrutura e a coloração influenciam nos processos de absorção, reflexão e transmissão.

Rahman et al. (2016) descrevem que as árvores urbanas regulam seu ambiente térmico, principalmente através dos dosséis. Observou-se, em um dos estudos, conforme mostra a figura 3, que ocorrem diferenças de temperaturas no dossel de acordo com os horários, em função da quantidade de radiação recebida ao longo do dia. O estudo ainda informa que, no período da noite, a temperatura superficial da folha sofre um acréscimo de 0,5ºC, sendo que, no interior da copa, ocorre uma redução média de 0,85ºC em relação à temperatura superficial ao longo de todo o dia. Visto que as árvores se comportam de maneiras distintas no microclima urbano, a quantificação dos benefícios para o bioclima térmico das diferentes espécies arbóreas comumente encontradas e suas disposições no ambiente construído constituem uma importante informação para o planejamento urbano que visa requalificar o microclima urbano. Esta proposta é capaz de introduzir uma transformação pequena e mudar a imagem da cidade com poucos gastos e grandes benefícios (ABREU, 2015) [5].

O comportamento térmico urbano se altera à medida que a morfologia dos espaços é alterada. Menores densidades construídas, baixa verticalização e maior porção de céu visível possibilitam maior tempo de acesso solar, fazendo com que os ambientes mais abertos recebam maior quantidade de radiação direta incidente durante o dia (SOUZA et al., 2009) [7].

A vegetação tem sido sistematicamente utilizada como estratégia de condicionamento ambiental passivo, integrando um conjunto de estratégias bioclimáticas utilizadas por profissionais da construção civil. Por outro lado, a grande demanda pelo uso do solo urbano induz ao surgimento de novas pesquisas que buscam diferentes formas de trazer a vegetação para as cidades (GIVONI, 1991; NOWAK, 2006; PERINI; MAGLIOCCO, 2012 apud MATHEUS et al. 2016) [1].

As características do entorno imediato interferem diretamente no conforto térmico; sendo assim, o comportamento de indivíduos arbóreos no microclima varia conforme o tipo, porte, idade, período do ano e formas de disposição nos recintos urbanos (ABBUD, 2007; LABAKI; SANTOS, 1996; PEIXOTO; LABAKI; SANTOS, 1995 apud ABREU; LABAKI, 2010) [2].

Ometo (1981) apud Shinzato (2009) [3] descreve que o balanço de radiação de uma folha é decorrente da posição que ela ocupa na copa, sendo, portanto, um parâmetro extremamente variável. Deve-se considerar que, além da posição, a idade, a estrutura e a coloração influenciam nos processos de absorção, reflexão e transmissão.

Rahman et al. (2016) descrevem que as árvores urbanas regulam seu ambiente térmico, principalmente através dos dosséis. Observou-se, em um dos estudos, conforme mostra a figura 3, que ocorrem diferenças de temperaturas no dossel de acordo com os horários, em função da quantidade de radiação recebida ao longo do dia. O estudo ainda informa que, no período da noite, a temperatura superficial da folha sofre um acréscimo de 0,5ºC, sendo que, no interior da copa, ocorre uma redução média de 0,85ºC em relação à temperatura superficial ao longo de todo o dia. Visto que as árvores se comportam de maneiras distintas no microclima urbano, a quantificação dos benefícios para o bioclima térmico das diferentes espécies arbóreas comumente encontradas e suas disposições no ambiente construído constituem uma importante informação para o planejamento urbano que visa requalificar o microclima urbano. Esta proposta é capaz de introduzir uma transformação pequena e mudar a imagem da cidade com poucos gastos e grandes benefícios (ABREU, 2015) [5].

Menores densidades construídas, baixa verticalização e maior porção de céu visível possibilitam maior tempo de acesso solar, fazendo com que os ambientes mais abertos recebam maior quantidade de radiação direta incidente durante o dia (SOUZA et al., 2009) [7].

Os materiais empregados na construção civil possuem alta capacidade de absorver calor, o que acaba determinando uma temperatura mais elevada no centro, pelos

mecanismos de absorção e trocas de calor entre as massas construídas (ANDRADE, 2022) [6].
A diferença de temperatura do ar entre a área central e seus arredores auxilia na formação de uma circulação convectiva, o que contribui para a concentração de poluentes nos centros urbanos (OKE, 1987) [8]. A associação desses fatores (aumento da temperatura urbana e poluição atmosférica) pode influir negativamente na saúde e na qualidade de vida da população. Estratégias podem ser utilizadas visando à qualidade térmica dos espaços citadinos, como, por exemplo, a utilização do albedo e da arborização urbana. Oke (1987) [8] enfatiza a importância da vegetação na caracterização atmosférica local, na medida em que trocas sensíveis (radiação, convecção e condução) são substituídas por trocas úmidas (evapotranspiração), permitindo reduções na temperatura do ar (MINELLA et al. 2012) [9].
Nos últimos anos, muitos estudos de modelagem que investigam o efeito da instalação de paredes e telhados verdes na mitigação de ilhas de calor foram publicados. No entanto, a maioria dos estudos publicados concentra-se em aspectos relacionados à interação das tecnologias construídas com vegetação integradas e o clima local).
Alguns estudos recentes sugerem comparações em cenários distintos de coberturas e fachadas nos resultados no que se referem as ilhas de calor, porém em escalas macro, que não representam um objeto específico, o que fornece um suporte limitado para tomadas de decisões urbanas.

OBJETIVOS

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a flutuação da temperatura de globo em função da proximidade de copas de árvores.

MÉTODO

Esta seção detalha os métodos, a espécie arbórea e a instrumentação para o desenvolvimento do trabalho de campo.
A figura 1 mostra a relação do espaço escolhido com a cidade. A indústria fica localiza a 8 Km do trecho urbano de Mogi Mirim, em uma área, que apesar de industrial, possui uma envoltória predominantemente verde.
Os equipamentos utilizados para esta pesquisa foram um registrador de temperatura de globo, modelo Texto 175-T2, conectado a um sensor de temperatura, colocado no interior do globo negro.
Os dados da velocidade do vento foram coletados de alguns pontos fixos ao redor da árvore com o anemômetro Testo, modelo 405-V1. Também nesta etapa da pesquisa, foi utilizado uma câmera térmica da marca FLIR, modelo C2, para identificar as temperaturas superficiais da copa e do corpo interno da árvore.

Figura 1: Local das medições térmicas. Fonte: google Earth. 2024.



Antes das medições, uma validação prévia dos equipamentos foi realizada para garantir a confiabilidade dos resultados desta etapa da pesquisa. Os equipamentos validados foram os de numeração 02, 03 e 04, pois seriam os equipamentos que estariam medindo as faces de orientações geográfica (lados norte, sul, leste e oeste) da árvore em análise.

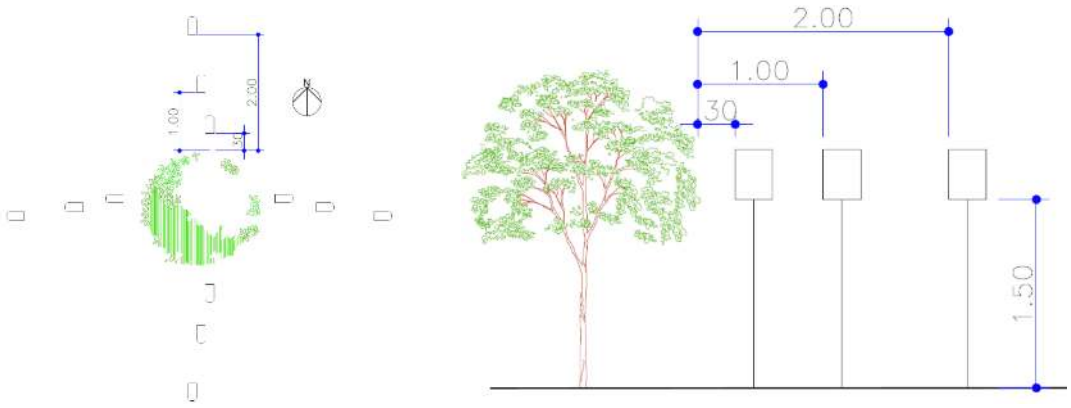
Conforme demostrado na figura 2, a primeira ação realizada na fase dois, foi as calibrações de três termômetros de globo que estavam enclausurados dentro de uma caixa de isopor de 13 litros com fechamento facial de vidro de 4mm.

Figura 2: Modelo Testo 175-T2, conectado a um sensor de temperatura, colocado no interior do globo negro



Para as medições, os termômetros foram inseridos, ao longo de quatro dias do mês de setembro de 2023, ao redor da árvore, sendo feitas três medições diurnas, entre 10:00 horas e 13:00 horas e entre 13:00 horas e 16:00 horas, nas quatro faces da copa da árvore, norte, sul, leste e oeste. Foram utilizados 4 termômetros simultaneamente, onde o termômetro 01 ficou debaixo da árvore, e os termômetros 02, 03 e 04 ficaram a 30cm, 1m e 2m respectivamente, conforme demonstrado na figura 5.

Figura 3: Desenho esquemático de distribuição dos termômetros ao redor da árvore: Planta e Vista.



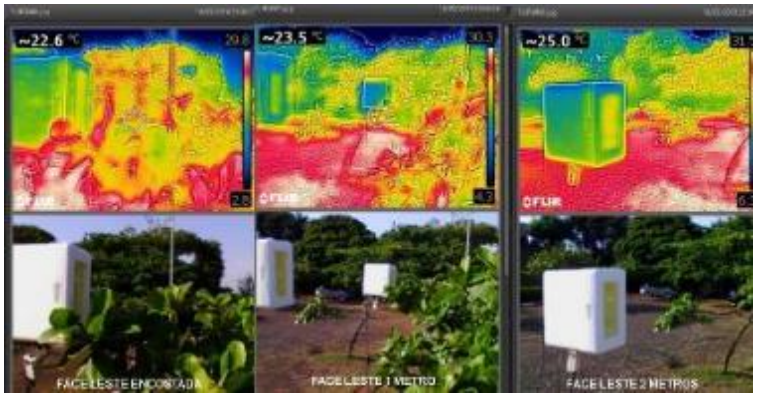
A figura 3 mostra um conjunto de equipamentos que foram instalados ao redor e na parte interna da copa da árvore. O objetivo destas instalações são de avaliar o aumento da temperatura de globo no interior das caixas de isopor, provavelmente emitida pelas superfícies das folhas das árvores em cada orientação: norte, sul, leste e oeste. Simultaneamente, quatro valores eram avaliados por face.

Figura 4: Posicionamento dos termômetros em relação as faces da copa da árvore



Durante as medições, todos os termômetros de globo ficaram instalados em áreas sombreadas, não houve exposição direto ao sol em algum momento das medições.

Figura 5: Posicionamento dos termômetros em relação as faces da copa da árvore



A figura 5 representa as medições realizadas na face leste da copa da árvore. As medições ocorreram no dia 20 de setembro de 2023, entre 8:00 e 11:30 horas.
A velocidade média do ar durante as medições foi de 0,2 m/s, com registros entre 0,03 e 0.75 m/s. Essas medições se repetiram nas fachadas norte, sul e oeste

Durante as medições, os equipamentos foram denominados com a seguinte sequência:

- Equipamento 01: termômetro inserido no interior da copa;
- Equipamento 02: termômetro a 30 cm (encostado) de distância da árvore;
- Equipamento 03: termômetro a 1 metro de distância da árvore;
- Equipamento 04: termômetro a 2 metros de distância da árvore.

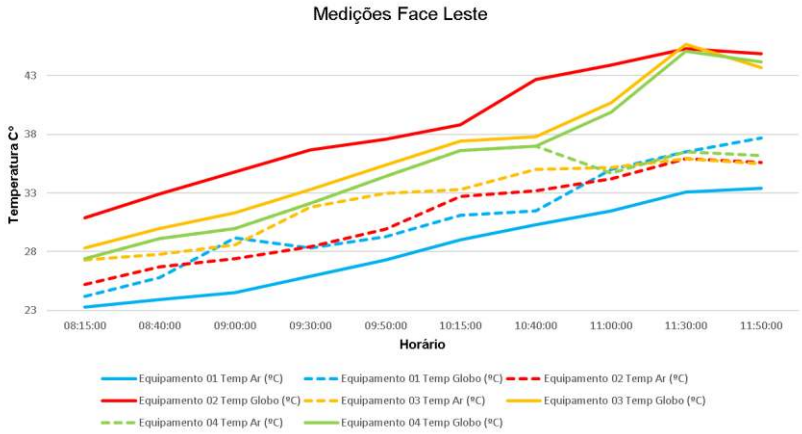
Todos os termômetros, tiveram como dados de saída, as temperaturas do ar e a temperatura de globo negro, medidas nas quatro faces da árvore.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 11 mostra os resultados das medições na face leste da árvore. Os resultados demonstram um desempenho com as curvas semelhantes, alterando sempre o acréscimo das temperaturas. As medições ocorreram entre 08:15 hs e 11:30 hs. Os resultados apresentados mostram que uma similaridade entre as curvas, havendo diferenças nas amplitudes.

Comparando-se as temperaturas do ar e de globo no equipamento 01, embaixo da árvore, observou-se que a temperatura do ar é inferior a temperatura de globo, em média aproximada de 2,4ºC. Os resultados do equipamento 02 mostram uma amplitude maior entre as temperaturas do ar e de globo, havendo uma média de aproximadamente 7,7 ºC, onde a temperatura de globo é maior que a temperatura de ar. Estes mesmos desempenhos ocorrem nos equipamentos 03 e 04, com amplitudes médias entre 3.5ºC e 1.5 ºC respectivamente.

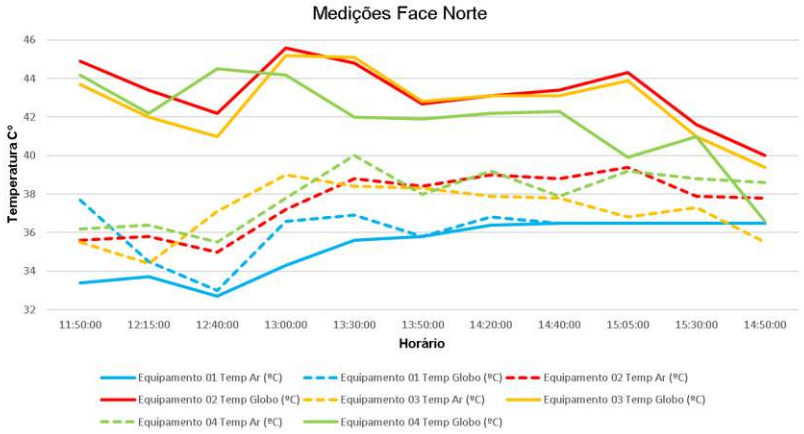
Figura 6: Resultados das temperaturas na face leste



A figura 6 mostra os resultados das medições da face norte da árvore. Os resultados demonstram um comportamento com as curvas semelhantes, alterando sempre o acréscimo das temperaturas. As medições ocorreram entre 11:50 hs e 14:50 hs. Os resultados apresentados, mostram também uma similaridade, um pouco mais tênue quando comparada com a medição da face leste.

Comparando as Temperaturas do Ar e de Globo no equipamento 01, observou-se que a temperatura do ar é inferior a temperatura de globo, em média aproximada de 0,7ºC. Os resultados do equipamento 02 mostram uma amplitude maior entre as temperaturas do ar e de globo, havendo uma média de aproximadamente 5,2 ºC, onde a temperatura de globo é maior que a temperatura de ar. Estes mesmos desempenhos ocorrem nos equipamentos 03 e 04, com amplitudes médias entre 5.2ºC e 3,6 ºC respectivamente.

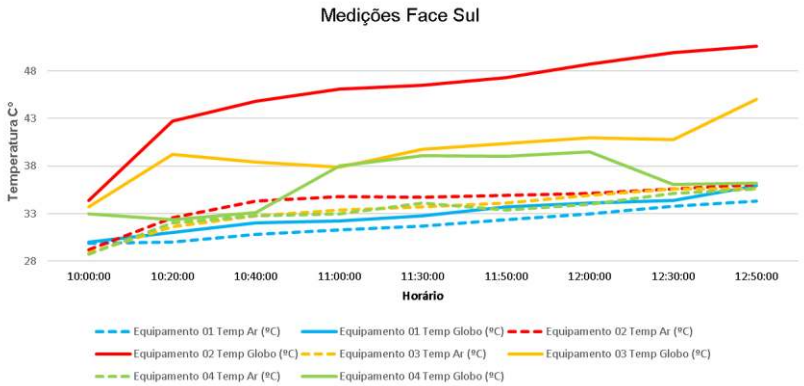
Figura 7: Resultados das temperaturas da face norte.



A figura 7 mostra os resultados das medições da face sul da árvore. Os resultados demonstram um desempenho com as curvas semelhantes, alterando sempre o acréscimo das temperaturas. As medições ocorreram entre 11:50 hs e 14:50 hs. Os

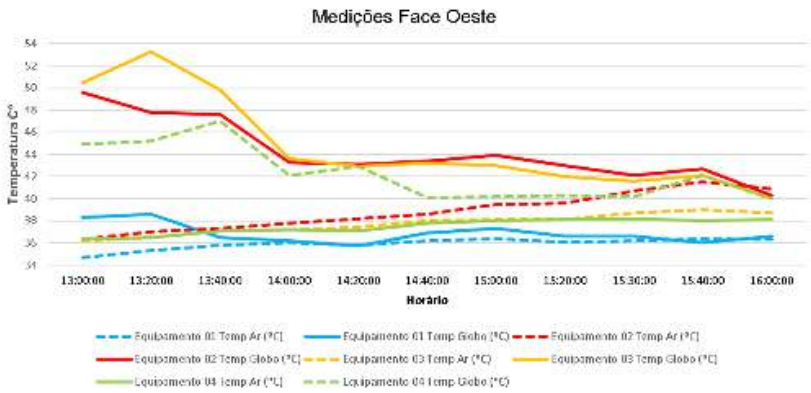
resultados apresentados, mostram também uma similaridade, um pouco mais tênue quando comparada com a medição da face leste.
Comparando as Temperaturas do Ar e de Globo no equipamento 01, observou-se que a temperatura do ar é inferior a temperatura de globo, em média aproximada de 0,7ºC. Os resultados do equipamento 02 mostram uma amplitude maior entre as temperaturas do ar e de globo, havendo uma média de aproximadamente 5,2 ºC, onde a temperatura de globo é maior que a temperatura de ar. Estes mesmos desempenhos ocorrem nos equipamentos 03 e 04, com amplitudes médias entre 5.2ºC e 3,6 ºC respectivamente.

Figura 8: Resultados das temperaturas da face sul



A figura 8 mostra os resultados das medições da face oeste da árvore. Os resultados demonstram um desempenho com as curvas semelhantes, alterando sempre o acréscimo das temperaturas. As medições ocorreram entre 10:00 hs e 12:50 hs.
Comparando as Temperaturas do Ar e de Globo no equipamento 01, embaixo da árvore, observou-se que a temperatura do ar é inferior a temperatura de globo, em média aproximada de 1,0ºC.
Os resultados do equipamento 02 mostram uma amplitude maior entre as temperaturas do ar e de globo, havendo uma média de aproximadamente 11,5 ºC, onde a temperatura de globo é maior que a temperatura de ar. Estes mesmos desempenhos ocorrem nos equipamentos 03 e 04, com amplitudes médias entre 6.2ºC e 3,1 ºC respectivamente.

Figura 9: Resultados das temperaturas da face oeste



A figura 9 mostra os resultados das medições da face norte da árvore. Os resultados demonstram um desempenho com as curvas semelhantes, alterando sempre o acréscimo das temperaturas. As medições ocorreram entre 13:40 hs e 16:00 hs.
Comparando as Temperaturas do Ar e de Globo no equipamento 01, observou-se que a temperatura do ar é inferior a temperatura de globo, em média aproximada de 1,0ºC. Os resultados do equipamento 02 mostram uma amplitude maior entre as temperaturas do ar e de globo, havendo uma média de aproximadamente 5,3 ºC, onde a temperatura de globo é maior que a temperatura de ar. Estes mesmos desempenhos ocorrem nos equipamentos 03 e 04, com amplitudes médias entre 6.7ºC e 3,0 ºC respectivamente.

CONCLUSÃO

Para estas primeiras medições de Temperaturas realizadas com estas três espécies, duas na fase pré-teste, e a terceira já na fase com o objeto de estudo escolhido, observou-se que, em ambas as medições, a primeira com uma medição simplificada, avaliando apenas a Temperatura do Ar e a segunda já avaliando a Temperatura de Globo, os resultados demonstraram-se semelhantes, confirmando a hipótese inicial desta pesquisa, de que quanto maior a proximidade dos termômetros próximos as copas avaliadas, maiores as temperaturas de globo registradas.
Em ambos os resultados, existe um acréscimo de temperatura dos compartimentos de isopor avaliados, quanto maior a proximidade das copas vegetais, maior a temperatura.
Os aumentos das temperaturas podem estar variando de acordo com a capacidade de emissividade das folhas. Foi também observado que, quanto maior a espessura e densidade das folhas avaliadas, maior o acréscimo de temperatura.
Durante as primeiras avaliações, na fase pré-teste, a média de temperatura do ar avaliada obteve amplitudes menores na fase caduca, apesar da mudança do tom das cores das folhas, que também estiveram com as espessuras mais delgadas.
Na segunda fase das medições, já avaliando o objeto de estudo, observou-se que, independentemente dos horários e das faces avaliadas, o comportamento das variações das temperaturas de globo, no interior dos protótipos, foi semelhante, porém com amplitudes distintas.
Para esta fase da pesquisa, podemos considerar que existam algumas térmicas em fachadas próximas de algumas espécies arbóreas, que possam interferir de forma direta e indireta no desempenho térmico de alguns ambientes, quando estes estiverem próximos destas copas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo financiamento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] MATHEUS, Carla. CAETANO, Fernando Durso Neves. MORELLI, Denise Damas de Oliveira. LABAKI, Lucila Chebel. **Desempenho térmico de envoltórias vegetada em edificações no sudeste brasileiro**. Ambiente Construído, Vol. 16. n. 1. , pág.: 71-81, Porto Alegre, 2016.

[2] ABREU, Loyde Vieira; LABAKI, Lucila Chebel. **Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto**. Ambiente Construído, Vol. 10, n. 4, pág.: 103-117. Porto Alegre, 2010.

[3] SHINZATO, P. **O Impacto da vegetação nos microclimas urbanos**. Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, . Tese de Doutorado, FAUUSP. 2009.

[4] RAHMAN, Mohammad. MOSER, Astrid. RÖTZER, Thomas. PAULEIT, Stephan. **Within canopy temperature differences and cooling ability of Tilia cordata trees grown in urban conditions**. ELSEVIER. Building and Environment 114. Págs.: 118-128. Freising, Alemanha. 2016.

[5] ABREU, Loyde Vieira, LABAKI, Lucila Chebel; MATZARAKIS, Andreas. **Effect of tree planting design and tree species on human thermal Comfort in the tropics**. ELSEVIER. Landscape and Urban Planning. Volume 138. Campinas-SP, 2015.

[6] ANDRADE, Renata Godinho Cordeiro de. **A contribuição da vegetação para melhoria do microclima urbano: estudo de caso em Superquadras de Brasília**. Dissertação de mestrado. UNB-Universidade de Brasília. Brasília-DF. 2022.

[7] SOUZA, L. C. L. et al. **Fator de Visão do Céu e Intensidade de Ilhas de Calor na Escala do Pedestre em Uma Fração Urbana de Bauru**, SP. In: ENCONTRO NACIONAL E VI ENCONTRO DA AMÉRICA LATINA DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., Natal, 2009. Anais. Natal: Antac, 2009. p. 182-189.

[8] OKE, T.R. **Boundary layers climates**. 2 ed. Routledge. Nova York, 1987.

[9] MINELLA, F. C. O. HONJO, S. KRÜGER, E. L. **Estratégias de melhoria do ambiente térmico diurno em situação de verão de uma fração urbana da cidade de São Paulo**. Revista Ambiente Construído. 2012.