XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Influência da vegetação no conforto térmico: simulação computacional do microclima urbano de Piracicaba, SP

Influencia de la vegetación en el confort térmico: simulación computacional del microclima urbano de Piracicaba, SP

Influence of vegetation on thermal comfort: computer simulation of the urban microclimate of Piracicaba, SP

Clima e planejamento urbano

Pedro, Gabriela Capuano
Especialista, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, gabriela.capuanop@gmail.com

Silva, Caio Frederico e
Doutor, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, caiosilva@unb.br

Resumo

O aumento de construções, a impermeabilização do solo e a remoção da vegetação contribuem para a elevação da temperatura e promovem maior desconforto térmico em áreas urbanas. Diante disso, a fim de discutir a contribuição da arborização inserida nas cidades, esta pesquisa explora a influência da vegetação no conforto térmico da Praça Antônio de Pádua Dutra, em Piracicaba (SP). Mediante simulações computacionais no software ENVI-met, comparou-se o desempenho ambiental antes e depois da intervenção realizada para implantação de um estacionamento no local. A análise, que abrange o levantamento, modelagem, simulação e extração de dados, resultou em mapas que indicam variação de parâmetros climáticos e níveis de conforto térmico entre os cenários, como aumento da temperatura do ar (°C), redução da umidade relativa (%) e maior estresse térmico (índice PMV - Predicted Mean Vote) após a remoção da vegetação e impermeabilização do solo, comprovando que as intervenções alteraram o seu microclima.
Palavras-chave: Simulação computacional. Conforto térmico. Microclima. Vegetação. Espaços urbanos

Resumen

El aumento de construcciones, la impermeabilización del suelo y la remoción de vegetación contribuyen al aumento de la temperatura y generan mayor incomodidad térmica en las áreas urbanas. En este contexto, con el fin de discutir la contribución de la arborización en las ciudades, esta investigación explora la influencia de la vegetación en el confort térmico de la Plaza Antônio de Pádua Dutra, en Piracicaba (SP). Mediante simulaciones computacionales en el software ENVI-met, se comparó el rendimiento ambiental antes y después de la intervención realizada para la implementación de un estacionamiento en el lugar. El análisis, que incluye el levantamiento, modelado, simulación y extracción de datos, resultó en mapas que indican variación de parámetros climáticos y niveles de confort térmico entre los escenarios, como el aumento de la temperatura del aire (°C), la reducción de la humedad relativa (%) y el mayor estrés térmico (índice PMV - Predicted Mean Vote) después de la remoción de vegetación y la impermeabilización del suelo, demostrando que las intervenciones alteraron el microclima del área.
Palabras clave: Simulación computacional. Confort térmico. Microclima. Vegetación. Espacios urbanos

Abstract

The increase in construction, soil sealing, and suppression of vegetation contribute to higher temperatures and create greater thermal discomfort in urban areas. In light of this, to discuss the contribution of urban forestry, this research explores the influence of vegetation on thermal comfort in Praça Antônio de Pádua Dutra, in Piracicaba (SP). Through computational simulations using the ENVI-met software, the environmental performance was compared before and after the intervention carried out to implement a parking lot at the site. The analysis, which includes surveying, modeling, simulation, and data extraction, resulted in maps indicating variations in climatic parameters and thermal comfort levels between the scenarios, such as increased air temperature (°C), decreased relative humidity (%), and higher thermal stress (PMV - Predicted Mean Vote index) after vegetation removal and soil sealing, confirming that the interventions altered the microclimate.
Keywords: Computer simulation. Thermal comfort. Microclimate. Vegetation. Urban spaces

1. Introdução

Relatórios do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) e da WMO (Organização Meteorológica Mundial) indicam o aumento da temperatura média do planeta (IPCC, 2022; WMO, 2021). Segundo Oke (1987) e Lombardo (1985), a urbanização, caracterizada pelo crescimento desordenado, impermeabilização do solo e uso de materiais que emitem maior energia, altera as trocas térmicas que afetam o microclima urbano e, por consequência, o conforto e a qualidade de vida da população. Assim, adaptar as cidades para mitigar os efeitos das mudanças climáticas tem se tornado um grande desafio para o planejamento urbano, pois, embora existam legislações municipais que regulam e limitam a ocupação do solo, o clima ainda é frequentemente negligenciado nos projetos urbanísticos (DUARTE, 2015).

Nesse sentido, estudos ressaltam a importância da vegetação para o conforto térmico urbano, pois, além de seu valor estético, ela influencia fatores climáticos como umidade, temperatura, padrões de vento e sombreamento, estabilizando os efeitos do clima e reduzindo extremos ambientais (DUARTE, 2015; ABREU, 2012; SHINZATO, 2009; MASCARÓ e MASCARÓ, 2002). Contudo, em muitas cidades brasileiras, essa vegetação está restrita a parques e praças ou como fragmentos esparsos no tecido urbano e sua remoção tem se tornado recorrente (ASSIS, 2005), geralmente justificada por questões de segurança, incompatibilidade com a infraestrutura urbana ou para ceder espaço a novas construções.

Essas intervenções, que eliminam áreas verdes sem estudos preditivos, empobrecem a estética proporcionada pela vegetação, comprometem a qualidade dos espaços públicos e reduzem o conforto térmico e a satisfação dos usuários (ROMERO, 2015). Um exemplo disso ocorreu em Piracicaba (SP), onde a Praça Antônio de Pádua Dutra foi transformada em um estacionamento, resultando na remoção da vegetação e impermeabilização do solo, além de contrariar até mesmo estudos sobre mobilidade urbana sustentável, que defendem a criação de espaços para pedestres e ciclistas e a priorização do transporte coletivo em áreas centrais (OLIVEIRA e SILVA, 2015).

Diante desse contexto, estudos sobre a vegetação urbana têm grande potencial de servirem como norteadores de futuras intervenções nos espaços públicos e melhoramento climático. É com esse enfoque que esta pesquisa avalia o desempenho ambiental da Praça Antônio de Pádua Dutra, simulando seu estado antes e depois da intervenção, por meio de recursos computacionais, a fim de evidenciar a contribuição bioclimática da arborização e promover um desenho urbano que ofereça maior conforto térmico e satisfação aos usuários.

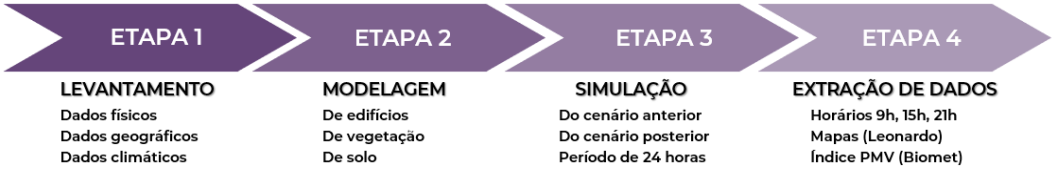
2. Objetivo

Analisar a influência da vegetação no conforto térmico do microclima da Praça Antônio de Pádua Dutra, em Piracicaba (SP) mediante simulações no software ENVI-met V5.6.1, comparando o desempenho ambiental em um cenário anterior e outro posterior à intervenção realizada pela prefeitura do município em 2023.

3. Método

O trabalho está organizado em quatro etapas e segue a metodologia desenvolvida por Silva e Santos (2018) para simulação computacional com o software ENVI-met, versão 5.6.1, e adaptado às variáveis climáticas da cidade de Piracicaba (SP), conforme mostra a Figura 1.

Figura 1: Etapas da metodologia aplicada à pesquisa



Fonte: Autora (2024).

3.1 Levantamento de dados

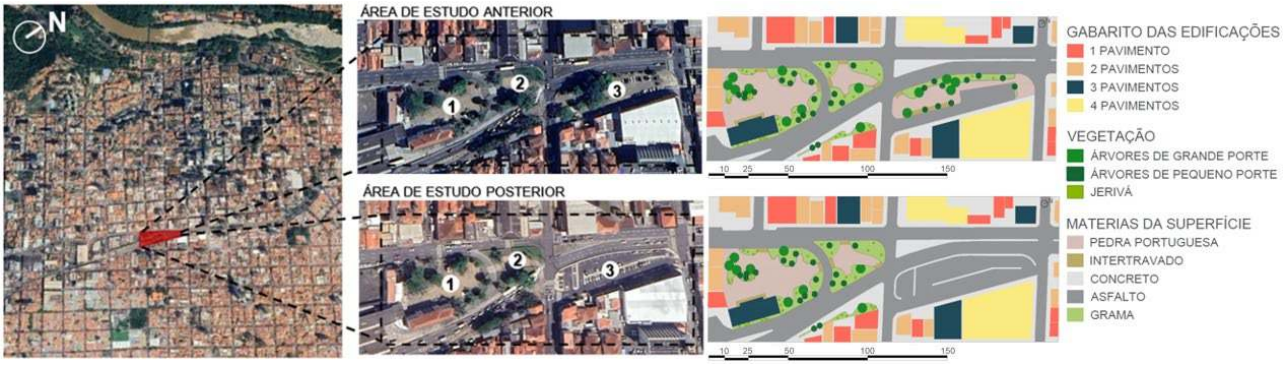
A área de estudo, localiza-se em Piracicaba, cidade do interior paulista, a cerca de 160 km da capital, com uma extensão de 1.378 km² e aproximadamente 423.323 habitantes (IBGE, 2022). Situado na Depressão Periférica Paulista, o município está a uma altitude média de 574 metros, entre a latitude 22°42'30" Sul e longitude 47°38'00" Oeste (IPPLAP, 2004).

O antigo largo, hoje formado pelas praças Ennes da Silveira Mello, da Fraternidade Universal e Antônio de Pádua Dutra (identificadas por 1, 2 e 3, respectivamente na Figura 2), foi o local de instalação da primeira estação Sorocabana na cidade, inaugurada em 1885 e em funcionamento até 1977. Na década de 1990, com a construção do Terminal Central de Integração (TCI) nas proximidades, além da relevância histórica, essas praças se tornaram referencial urbano como ponto de conexão e alto fluxo de pessoas, oferecendo acesso a comércios e serviços (Figura 2).

Devido às limitações da versão gratuita do software, o levantamento de dados abrangeu um perímetro de 200m x 100m. Além das visitas *in loco* para medições e observações, foram

utilizados recursos do Google Earth e arquivos em DWG fornecidos pela Prefeitura que permitiram a elaboração de plantas baixas da área, antes e depois da obra. Conforme indicado na Figura 2, as plantas contêm informações como a demarcação das edificações, a disposição nos lotes, o número de pavimentos (considerando uma altura de 3 metros por pavimento), delimitação das vias e calçadas, identificação dos materiais das superfícies e árvores, incluindo suas espécies e alturas aproximadas.

Figura 2: Localização da área de estudo no centro de Piracicaba-SP (esquerda), e das praças antes (2022) e depois (2024) da obra realizada pela prefeitura em 2023 (direita)



Fonte: Google Maps (2024), adaptado pela autora.

A Praça Antônio de Pádua Dutra, essencial para o microclima urbano e conforto térmico, abrigava uma rica biodiversidade, com espécies nativas removidas durante a intervenção, incluindo exemplares relevantes da mata pluvial atlântica (AGUIRRE JÚNIOR e LIMA, 2007). Além das espécies nativas, a praça contava com árvores frutíferas e ornamentais, comuns na arborização urbana. Todas as espécies, inclusive as removidas pela intervenção, foram identificadas com auxílio do Inventário da Arborização Viária dos Bairros de Piracicaba (SILVA FILHO et al., 2004) e compatibilizados com os modelos do banco de dados do ENVI-met.

As condições geográficas de Piracicaba resultam em um clima seco no inverno e úmido no verão, classificado como Cwa, segundo Köppen-Geiger. Com base nisso, foram coletados dados de temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (m/s), direção dos ventos em graus e a umidade específica a 2500 metros (g/kg), obtidos na plataforma do LEB-ESALQ-USP (Departamento de Engenharia de Biossistemas da USP - Campus Luiz de Queiroz, em Piracicaba - SP), através do Posto Meteorológico Professor Jesus Marden dos Santos. Esses dados foram utilizados para elaborar o arquivo climático com parâmetros para o modelo em três horários do dia 22 de setembro de 2023 e estão sistematizados na Tabela 1.

Tabela 1: Dados de entrada do modelo

Parâmetros de entrada	Horário de simulação		
Data de início	22/09/2023 (9 h)	22/09/2023 (15h)	22/09/2023 (21h)
Temperatura do ar (°C)	21,50	29,35	28,30
Velocidade do vento (m/s)	0,90	1,0	1,4
Umidade do ar (%)	75,00	49,50	42,00
Direção dos ventos (°)	122		
Coeficiente de rugosidade	0,01		
Umidade específica a 2500 metros (g/kg)	9,63		
Dados geográficos			
Latitude	22°42’30” S		
Longitude	47°38’00” W		
Rotação do norte	- 62		

Fonte: LEB-ESALQ-USP (2024).

3.2 Modelagem

Após o levantamento das características físicas, geográficas e climáticas da área de estudo, essas informações foram compatibilizadas com o banco de dados do software ENVI-met na sua versão 5.6.1. Assim, considerando as configurações e restrições do software, os dois cenários que representam o contexto anterior e posterior à intervenção foram modelados em um recorte de 20.000m², cujo Norte foi rotacionado -62º Leste, conforme exibido na Tabela 2.

Tabela 2: Compatibilização dos materiais superficiais e da vegetação com o banco de dados do ENVI-met V5.6.1.

Levantamento de superfícies	Banco de dados ENVI-met V5.6.1.		
Nome	Nome		Albedo
Pedra portuguesa	Concrete pavement gray	PG	0,50
Intertravado	Brick road (red stone)	KK	0,30
Asfalto	Asphalt road	ST	0,20
Grama	Grass 25cm aver, dense	GG	X
Levantamento de vegetação	Banco de dados do ENVI-met V5.6.1.		
Nome	Nome		
Árvores de grande porte	Tree 10m, very dense, leafless base		T1
Árvores de médio/pequeno porte	Tree 10m, medium dense, leagless base		T0
Jerivá	Tree 15m, medium dense, distinct crown		S1

Fonte: ENVI-met, adaptado pela autora (2024).

3.3 Simulação

Para as simulações foi necessário configurar os arquivos de entrada dos dois modelos com os dados climáticos de um mesmo período. Para evitar extremos típicos de verão e inverno, optou-se por utilizar dados do mês de setembro. A Tabela 1 apresenta os parâmetros climáticos do dia 22 de setembro de 2023, obtidos pela plataforma do LEB-ESALQ-USP. Baseado no método desenvolvido por Silva, Silva e Santos (2018), cada simulação durou 26 horas, sendo as primeiras e as últimas duas horas descartadas. Para a análise e extração dos dados, foram considerados os horários de maior relevância, às 9 h, 15 h e 21 h, conforme indicado pela Organização Mundial Meteorológica (OMM).

4. Resultado

Após as simulações, os arquivos foram incorporados ao plug-in Leonardo, recurso disponibilizado pelo mesmo fabricante do ENVI-met, que gera os mapas de acordo com os dados simulados e serve como meio de visualização das diferenças no microclima dos modelos.

4.1 Caracterização do microclima

Para caracterizar as diferenças no microclima dos cenários foram utilizados os parâmetros de temperatura do ar (C°), umidade relativa do ar (%) e velocidade dos ventos (m/s). A comparação e análise do comportamento dessas variáveis é demonstrada por meio dos mapas gerados pelo software, que estão indicados nas Figuras 3, 4 e 5 e na Tabela 3 subsequente. Nos mapas, a oscilação entre os valores é evidenciada pela variação das cores, sendo que os menores números são representados pelo azul, os valores intermediários pelo verde e amarelo, e os tons de rosa e vermelho simbolizam os maiores resultados.

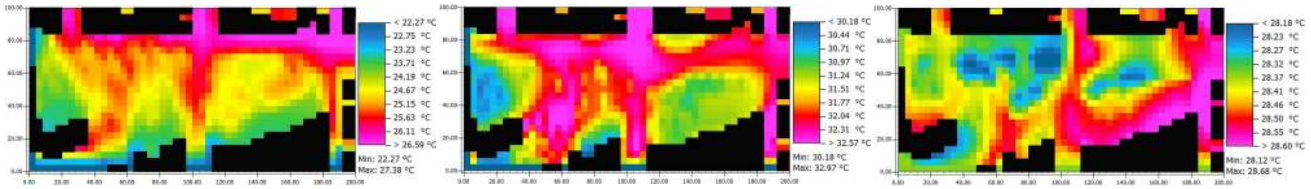
A Figura 3 indica que, em relação à temperatura do ar (°C), o período vespertino, devido à alta radiação solar, registrou os maiores valores, superando 30°C. Pela manhã, os modelos apresentaram as menores temperaturas, enquanto à noite se mantiveram mais uniformes. O cenário posterior registrou uma sutil elevação na temperatura em todos os horários e um aumento da área com valores elevados na região modificada pela prefeitura, onde anteriormente, em virtude da vegetação e dos materiais superficiais, as temperaturas eram mais amenas. Logo, a impermeabilização do solo e a remoção da vegetação resultaram na modificação do microclima do local e elevação da temperatura.

Figura 3: Mapas de temperatura do ar, comparando os dois cenários

Temperatura do ar (°C)

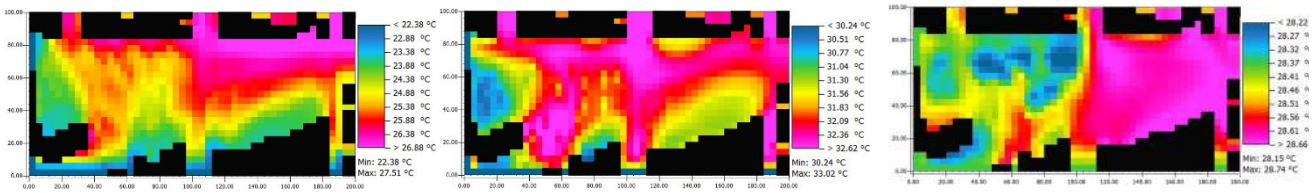
Cenário anterior à intervenção

9 horas | 15 horas | 21 horas



Cenário posterior à intervenção

9 horas | 15 horas | 21 horas



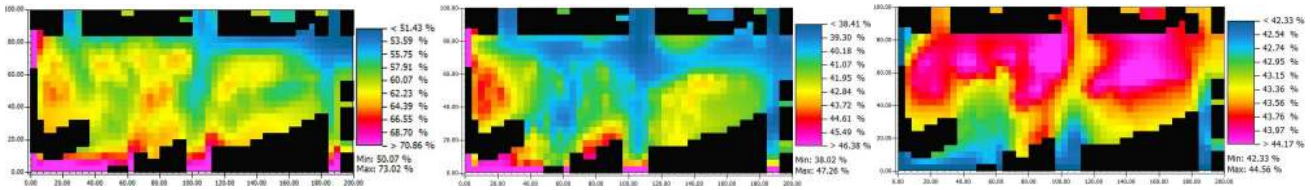
Fonte: ENVI-met, plug-in Leonardo. Adaptado pela autora (2024)

Figura 4: Mapas de umidade do ar, comparando os dois cenários

Umidade relativa do ar (%)

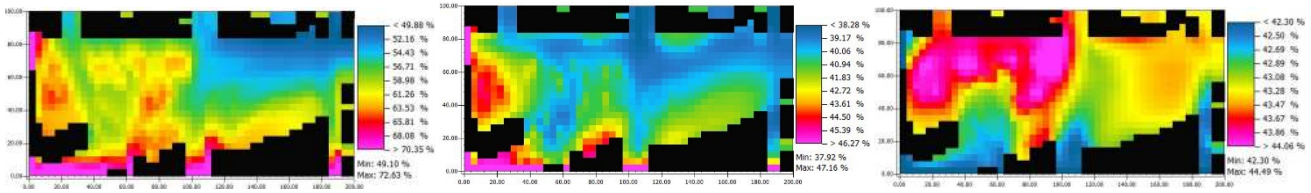
Cenário anterior à intervenção

9 horas | 15 horas | 21 horas



Cenário posterior à intervenção

9 horas | 15 horas | 21 horas



Fonte: ENVI-met, plug-in Leonardo. Adaptado pela autora (2024)

De acordo com a Figura 4, a umidade relativa do ar (%) variou entre os cenários, mas ao contrário da temperatura, que aumentou com a remoção da vegetação e alteração dos materiais

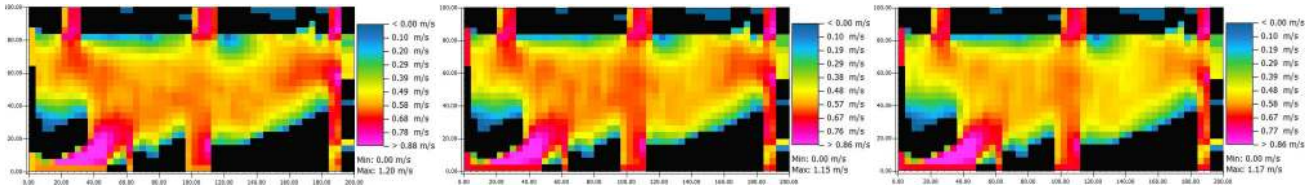
superficiais a umidade decaiu no cenário posterior. Os mapas também indicam diferenças nos índices de umidade nos locais de maior e menor arborização, com maiores valores nas áreas mais vegetadas e com superfícies permeáveis. Já a velocidade dos ventos (Figura 5) foi praticamente constante nos modelos, mas no cenário posterior, devido à ausência de barreira das árvores, o vento circulou mais livremente, alcançando maior velocidade.

Figura 5: Mapas de velocidade do vento, comparando os dois cenários

Velocidade do vento (m/s)

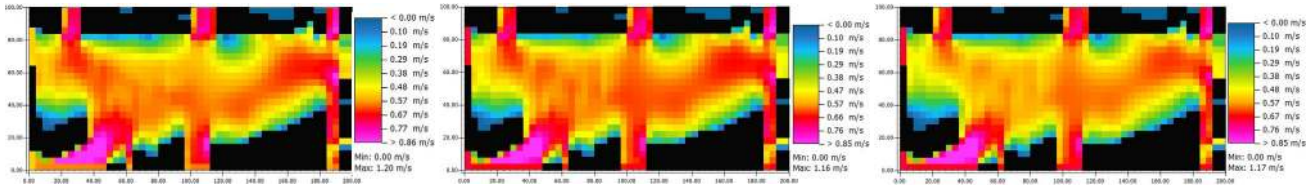
Cenário anterior à intervenção

9 horas | 15 horas | 21 horas



Cenário posterior à intervenção

9 horas | 15 horas | 21 horas



Fonte: ENVI-met, plug-in Leonardo. Adaptado pela autora (2024)

Tabela 3: Dados extraídos do ENVI-met V5.6.1. para os dois cenários

Cenário anterior (22/09/2023)									
	Temperatura do ar (°c)			Umidade relativa do ar (%)			Velocidade do vento (m/s)		
Horário	MIN.	MÁX.	MÉD.	MIN.	MÁX.	MÉD.	MIN.	MÁX.	MÉD.
9:00	22,27	27,38	24,82	50,07	73,02	61,54	0,00	1,20	1,20
15:00	30,18	32,97	31,57	38,02	47,26	42,64	0,00	1,15	1,15
21:00	28,12	28,68	28,40	42,33	44,56	43,44	0,00	1,17	1,17
Cenário posterior (22/09/2023)									
	Temperatura do ar (°c)			Umidade relativa do ar (%)			Velocidade do vento (m/s)		
Horário	MIN.	MÁX.	MÉD.	MIN.	MÁX.	MÉD.	MIN.	MÁX.	MÉD.
9:00	22,38	27,51	24,94	49,10	72,63	60,08	0,00	1,20	1,20
15:00	30,24	33,02	31,63	37,92	47,16	42,54	0,00	1,16	1,16
21:00	28,15	28,74	28,44	42,30	44,49	43,24	0,00	1,17	1,17

Fonte: ENVI-met, adaptado pela autora (2024)

4.2 Comparação do índice de conforto térmico – PMV

Os cenários também foram analisados quanto ao conforto térmico dos usuários. Tendo em vista as limitações impostas pela versão gratuita do software, o cálculo foi baseado no índice PMV. Desenvolvido por Ole Fanger, o índice de conforto térmico PMV (*Predicted Mean Vote*) é obtido por meio de uma equação que relaciona o balaço térmico do corpo humano quando influenciado por variáveis ambientais, como temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento e por variáveis pessoais, como atividade física, vestimentas e taxa metabólica (FANGER, 1972). Assim, cada valor de PMV se enquadra em uma escala de sensação térmica, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Escala PMV de Fanger

Muito frio	Frio	Leve frio	Confortável	Leve calor	Calor	Muito calor
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3

Fonte: Fanger (1972)

Apesar de inicialmente desenvolvido para análises em ambientes internos, estudiosos indicam que o PMV pode ser empregado a situações externas (HONJO, 2009). O próprio desenvolvedor do software afirma que o índice em sua versão externa é capaz de resumir os efeitos da temperatura do ar, radiação, umidade e vento no balanço energético do usuário (ENVI-MET, 2020). Para cálculo do PMV, foi considerada como referência uma pessoa do sexo masculino, com altura de 1,75m, peso de 75kg e 35 anos de idade.

No período matutino, representado pelo mapa das 9 horas (Figura 6), o índice de PMV variou de "confortável" a "muito calor", com valores entre +0,56 e +3,11 (cenário anterior) e +0,62 a +3 ,22 (cenário posterior). Em ambos os modelos, os locais sombreados pelas edificações e pela vegetação apresentaram menores índices de PMV. Contudo, o cenário anterior mostrou um equilíbrio maior entre áreas confortáveis e quentes, enquanto no cenário posterior há predominância das áreas quentes e muito quentes.

Devido à alta absorção e radiação dos materiais aquecidos, o mapa das 15 horas (Figura 6) apresentou os maiores valores de PMV, variando de “calor” a “muito calor”. Embora a escala tenha permanecido a mesma, os números aumentaram no cenário posterior, de +2,27 a +4,70 para +2,50 a +4,93. Apesar de não atingir níveis satisfatórios de conforto nesse horário mais crítico, as áreas mais amenas estavam próximas às zonas arborizadas, especialmente quando comparada a praça antes e depois das modificações da prefeitura.

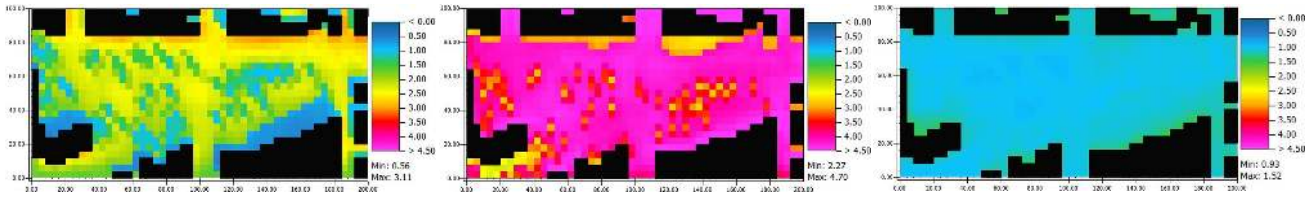
O período noturno foi mais uniforme, com valores de PMV que se alteraram de +0,93 a +1,52 (cenário anterior) e +0,94 a +1,53 (cenário posterior), mantendo-se nas faixas “confortáveis” e “leve calor”. Apesar dos valores de PMV mais baixos, o horário das 21 horas permaneceu insatisfatório para o conforto térmico em ambos os cenários. Nesse período, devido à menor incidência da radiação solar como principal fonte de calor e a maior carga térmica dos materiais, a proposta de arborização não gerou diferenças expressivas.

Figura 6: Mapas de PMV, comparando os dois cenários

Índice de PMV

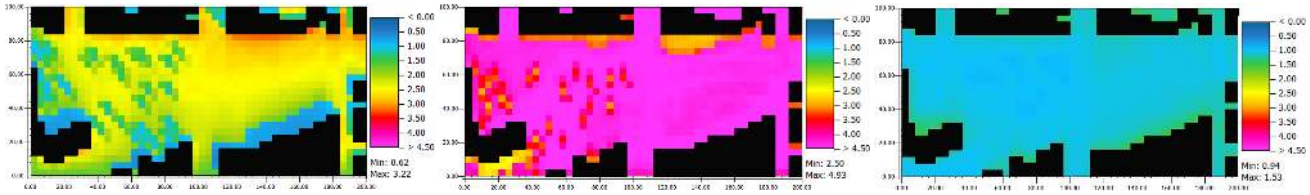
Cenário antes

9 horas | 15 horas | 21 horas



Cenário depois

9 horas | 15 horas | 21 horas



Fonte: ENVI-met, plug-in Leonardo. Adaptado pela autora (2024)

De modo geral, os mapas demonstram que toda a área modificada pela prefeitura sofreu alteração no seu microclima. A supressão da vegetação e a impermeabilização do solo, realizadas durante a obra para a implantação do estacionamento, resultaram em áreas com maior temperatura, menor umidade e alto índice de desconforto. Assim, ainda que o local anteriormente não apresentasse sensação de conforto térmico em todos os horários, a cobertura vegetal e o solo permeável auxiliavam na amenização da sensação de desconforto dos usuários.

Os resultados obtidos confirmam os estudos que defendem a influência positiva da cobertura vegetal no microclima urbano e sua relevância na atenuação das altas temperaturas e na melhoria do conforto térmico, o que contribui para a qualidade de vida nas cidades (DUARTE, 2015; ABREU, 2012)

6. Conclusão

Embora as condições anteriores da praça não oferecessem conforto ideal, tendo em vista o objetivo da pesquisa, os resultados comprovam que as intervenções na Praça Antônio de Pádua Dutra alteraram seu microclima. Se antes a presença de vegetação e solo permeável proporcionavam áreas com temperaturas mais amenas, maior umidade e níveis de PMV mais próximo ao confortável, a impermeabilização do solo e a remoção da vegetação para a construção do estacionamento provocaram mudanças significativas nas condições climáticas, resultando em aumento da temperatura, diminuição da umidade e redução do conforto térmico.

A remodelação da praça, ao gerar efeitos adversos como o aumento do estresse térmico, reforça a importância da vegetação como solução frente à elevação das temperaturas, sendo um tema promissor para futuras pesquisas. Por ser um assunto que permite diferentes formas de abordagens, pesquisas futuras poderiam explorar a influência de diferentes espécies arbóreas nas simulações, identificando as mais adequadas para cada contexto climático, ou até analisar a proporção entre áreas vegetadas e sua capacidade de redução do desconforto de um dado microclima.

Mesmo que os modelos gerados pelo software ENVI-met tenham se restringido a um pequeno recorte urbano, as simulações dos modelos permitiram analisar dados que afetam o conforto térmico e o microclima. Nesse contexto de mudanças climáticas, a simulação computacional se apresentou como uma ferramenta capaz de auxiliar no planejamento urbano e no desenvolvimento de projetos que adotem estratégias bioclimáticas, visando o conforto térmico e a melhora na qualidade de vida dos seus habitantes.

Assim, a pesquisa desponta como um incentivo para que as cidades e planejadores não sigam repetindo erros na produção do espaço urbano e incluam os condicionantes climáticos e estratégias bioclimáticas como itens a serem considerados na produção de espaços públicos mais confortáveis, sobretudo para o enfrentamento dos impactos das mudanças climáticas.

Referências

ABREU, L. V. de. Contribuições das árvores para o bioclima térmico no desenho urbano em cidades tropicais: o caso de Campinas, SP, 2012, 135

AGUIRRE JUNIOR, J. H.; LIMA, A. M. L. P. Uso de árvores e arbustos em cidades brasileiras. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, Piracicaba, v. 2, n. 4, p. 50-66, 2007.

ASSIS, E. S. de. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. 2005. VIII Encontro Nacional Sobre Conforto No Ambiente Construído, 92–101.

DUARTE, D. H. S. O impacto da vegetação no microclima em cidades adensadas e seu papel na adaptação aos fenômenos de aquecimento urbano. Contribuições a uma abordagem interdisciplinar. 2015

FANGER, P. O. Thermal comfort: analysis and applications in environmental enginneering. New York, McGraw-Hill. 244 p, 1972.

HONJO, T. Thermal confortin outdoor environment. Chiba, Japan, Chiba University 2009.

IBGE. População estimada: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência de 2022.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2022

IPPLAP. Instituto de Pesquisas e Planejamento de Piracicaba. Caderno Diagnóstico das áreas públicas destinadas ao Sistema de Lazer e Institucionais em Piracicaba. Prefeitura do Município de Piracicaba, 2004

LOMBARDO, M. A. Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec,1985.

MASCARÓ, L. E. A. R. de; MASCARÓ, J. L. Vegetação urbana. Ed. Masquatro. Porto Alegre, 2002.

OKE, T. R. Boundary Layer climates. Londres, Routledge, 1987.

ROMERO, M. A. B. A arquitetura bioclimática do espaço público. Brasília: Editora Universidade de Brasília. 2015.

SILVA, B.; SILVA, C.F; SANTOS, T. Id 716: protocolo de simulação computacional do microclima urbano para a cidade de Lisboa, Portugal 97 1, p. 1113–1120, 2018.

SILVA FILHO, D. F. et al. Inventário da arborização viária nos bairros de Piracicaba/SP. 2004, Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, 2004.

SHINZATO, P. O impacto da vegetação nos microclimas urbanos. São Paulo: FAUUSP, 2009. 173 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

WMO. World Meteorological Organization. State of the Global Climate 2020. Geneva: WMO, 2021