ESTUDO DAS ALTERAÇÕES DA TEMPERATURA DO AR EM FUNÇÃO DE VARIAÇÕES DE PISO DE VIAS E DA ARBORIZAÇÃO DE TRECHO DO CENTRO DE NITERÓI

Caio de Oliveira Barbosa (1); Louise L.B. Lomardo (2); Luiza Helena Gualberto (3); Camila Lopes Santos (4)

(1) Arquiteto, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal Fluminense-PPGAU/UFF, Ingá-Niterói RJ, cbarbosa@id.uff.br

(2) Doutora em Planejamento Energético, Professora Titular, louiselandlomardo@id.uff.br, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal Fluminense-PPGAU/UFF, Rua Passo da Pátria, 156, Casarão da Arquitetura, CEP 24210-270, Niterói, RJ. (21) 98879-5429

(3) Discente de Arquitetura e Urbanismo, lhgualberto@id.uff.br, Universidade Federal Fluminense, Portinho - Cabo Frio RJ, (21) 98208-7488

(4) Discente de Arquitetura e Urbanismo, camilals@id.uff.br, Universidade Federal Fluminense, Fonseca - Niterói RJ, (21) 99276-8082

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido dentro do projeto “Niterói saudável: sol, energia limpa, clima e chuvas no espaço urbano”, no Laboratório de Conservação de Energia e Conforto Ambiental (LabCECA) da Universidade Federal Fluminense, no âmbito do Programa de Desenvolvimento de Projetos Aplicados (PDPA). Financiado pelo município de Niterói, ele visa dar embasamento a políticas públicas da cidade. Foram realizadas simulações do efeito de alterações no material de revestimento e da arborização das vias públicas de uma área de 64 hectares do centro da cidade, para avaliar os efeitos no microclima local. A simulação foi realizada com o software ENVI-met 5.1 para três casos: Caso Base ou 0, retratando o trecho da cidade com sua forma e propriedades físicas reais; Caso 1, que visou verificar a qualidade dos modelos arbóreos fornecidos pelo software, e Caso 2, em que se verificou o comportamento microclimático da área modelada, de acordo com sua realidade, mas com alteração apenas no material de revestimento das vias, no qual utilizamos material de cor clara. Os resultados atestam que o uso de revestimento de cor mais clara no piso das vias da cidade produz uma redução na temperatura do ar, a 1,25m de altura, em cerca de 2,0oC, às 16 horas de um dia quente de verão.

Palavras-chave: simulação, microclima urbano, ENVI-met.

ABSTRACT

The present work was developed within the project "Healthy Niterói: sun, clean energy, climate and rain in urban space" at the Laboratório de Conservação de Energia e Conforto Ambiental (LabCECA) of the Universidade Federal Fluminense, under the Programa de Desenvolvimento de Projetos Aplicados (PDPA). Funded by the municipality of Niterói, it aims to inform public policies in the city. Simulations of the effect of changes in flooring material and street afforestation in a 64 hectare downtown area were performed to evaluate the effects on the local microclimate. The simulation was performed with ENVI-met 5.1 software for three cases: Base Case or 0, depicting the city stretch with its real shape and physical properties; Case 1, which aimed to verify the quality of the tree models provided by the software; and Case 2, in which the microclimatic behavior of the modeled area was verified according to its reality, but with a change only in the lining material of the roads, in which we used light-colored material. The results attest that the use of lighter colored flooring on the city streets produces a reduction in air temperature at 1.25m in height by about 2.0oC at 4 pm on a hot summer day.

Keywords: simulation, urban microclimate, ENVI-met.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023, apud PNAD, 2015), aproximadamente 85% da população brasileira reside em áreas urbanas, tornando os desafios climáticos enfrentados pelas cidades uma questão cada vez mais relevante. Com o aumento da frequência de eventos climáticos extremos, como chuvas intensas, tornados e altas temperaturas, é crucial abordar essas questões de maneira proativa. Diante desse contexto, o presente trabalho possui como objetivo realizar um estudo de análise de sensibilidade para avaliar os impactos das alternativas de projeto no microclima da cidade de Niterói.

A cidade de Niterói, localizada no estado do Rio de Janeiro, Brasil, é uma cidade litorânea com coordenadas geográficas de latitude 22° 52' 51" Sul e longitude 43° 6' 15" Oeste, com uma altitude média de 13 metros e proximidade com o mar (Figura 1). A cidade possui características climáticas influenciadas por sua maritimidade, como alta umidade do ar e baixa amplitude térmica, tendo a temperatura média anual de 25,2°C (RORIZ, 2013). Atualmente, a cidade constitui-se de uma população de aproximadamente 520.000 habitantes, e seu território abrange cerca de 134 quilômetros quadrados (IBGE, 2022).

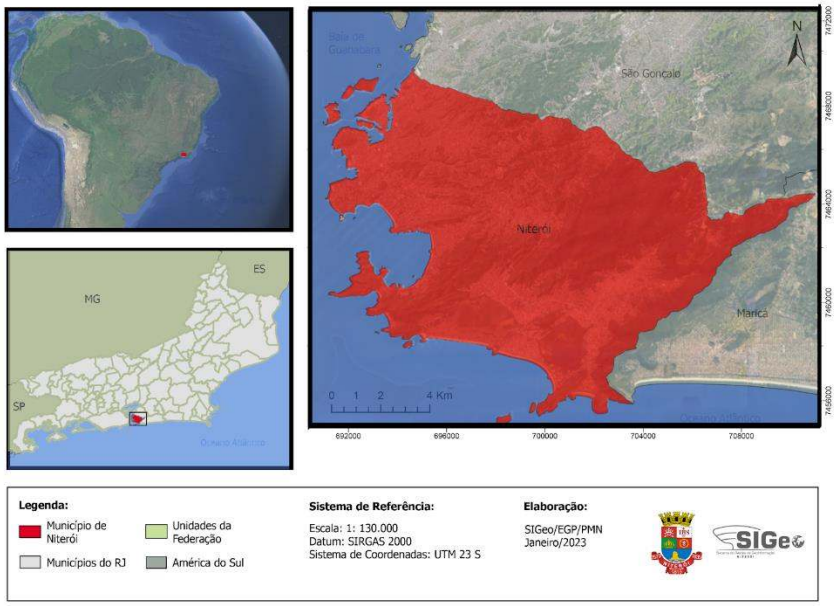

Figura 1: Mapa de localização de Niterói (Fonte: SIGe/Niterói com adaptação feita por autores)

No entanto, a cidade de Niterói vem enfrentando mudanças devido às pressões do mercado imobiliário, que têm levado a um processo de verticalização com foco no lucro, sem considerar os efeitos que esses edifícios podem ter no contexto urbano e, consequentemente, na cidade. Essa verticalização resulta em maior densidade populacional e aumento da altura dos edifícios, o que pode gerar sombras de sol e vento nas residências, nos terrenos próximos à orla e, até mesmo, na areia das praias. Com o constante crescimento das propostas de revitalização urbana e o aumento do número de edifícios e sua altura, a área urbana se expande, enquanto as áreas verdes e a natureza perdem espaço na cidade. Isso resulta em um ambiente urbano propenso a ilhas de calor, como observado por Gartland (2011, p. 13): "as temperaturas potenciais do ar também foram observadas em vários lugares em diversas cidades, e notou-se que a intensidade das ilhas de calor é maior em áreas densamente construídas e com pouca vegetação".

Além disso, o aumento do fluxo de pessoas na cidade também impacta a mobilidade urbana, contribuindo para o aumento das emissões de dióxido de carbono na atmosfera, devido ao maior uso de veículos automotores, como também afirma Gartland (2011, p. 7): "pode-se atribuir esse fator à maior densidade de edificações, à maior verticalização, ao tráfego intenso de carros e pedestres e à ausência de vegetação". Essas transformações geram preocupações com o clima da cidade, uma vez que a sensação térmica tem se elevado ao longo do tempo. Nesse sentido, a presença de árvores desempenha um papel extremamente importante na mitigação do calor ao proporcionar sombra aos usuários do espaço. Ainda conforme Gartland (2011, p. 17), "a vegetação costuma manter a temperatura igual ou inferior à do ar, desde que esteja devidamente hidratada", e "as temperaturas são mais elevadas nas áreas urbanas do que nos parques e áreas suburbanas". Portanto, visando melhorar o clima urbano, propõe-se o aumento da quantidade de árvores na cidade e o uso de revestimentos de cor clara nas vias, com o objetivo de criar um ambiente urbano mais agradável, fresco e limpo para a população.

O equilíbrio energético, expresso pela equação do "balanço de energia", explica como a energia absorvida pela superfície, seja através da radiação solar, seja através do calor gerado pela atividade humana, é

dissipada para o ambiente. Essa energia pode aquecer o ar acima da superfície, ser evaporada pela umidade ou ser armazenada nos materiais como calor. Esses fatores são fundamentais para compreender os efeitos dos materiais utilizados no clima de determinado espaço (GARTLAND, 2011, p. 27). Dessa forma, busca-se proporcionar um ambiente com temperaturas mais amenas, por meio do aumento da presença de árvores e da utilização de revestimentos de cor clara nas vias. A escolha dessas intervenções, juntamente com a preservação das vegetações existentes, auxilia na mitigação das ilhas de calor. Conforme Gartland (2011, p. 11), "os benefícios da mitigação das ilhas de calor são muitos. O uso de coberturas e pavimentos com baixa temperatura, árvores e vegetação impactam diretamente proprietários e usuários dos espaços onde esses recursos são implementados".

Estudos demonstram que a combinação de materiais escuros em edifícios e pavimentos, em uma configuração tipo cânion, absorve e armazena mais energia solar. Enquanto as superfícies escuras e secas podem atingir temperaturas de até 88°C durante o dia, superfícies com vegetação e solo úmido, sob as mesmas condições, alcançam apenas 18°C. O calor antropogênico, as baixas velocidades do vento e a poluição do ar nas áreas urbanas também contribuem para a formação das ilhas de calor (GARTLAND, 2011, p. 10). Assim, por meio do aumento da arborização e do uso de pavimentos claros, busca-se proporcionar temperaturas mais amenas. Nesse sentido, os materiais utilizados no ambiente urbano geram efeitos significativos no clima local. Enquanto a presença de árvores e vegetação contribui para um ambiente mais agradável, materiais escuros e secos na zona bioclimática de Niterói podem ser prejudiciais. (GARTLAND, 2011, p. 11).

Apresentamos a seguir, nas figuras 2 e 3, o mapa das temperaturas superficiais da área de Niterói, produzido por Lucena, Peres e Marino (2023) e o mapa de densidade urbana (PMN, 2014). No município, há uma interessante e clara coincidência quanto às áreas com temperatura superficial mais elevadas com aquelas de maior densidade urbana, como pode ser observado nas Figuras 1 e 2 abaixo.

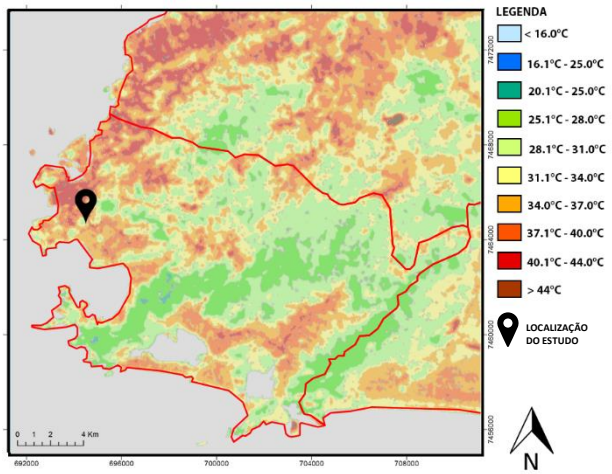

Figura 2 - Mapa das temperaturas superficiais

(LUCENA; PERES; MARINO, 2023 com adaptações feitas pelos autores)

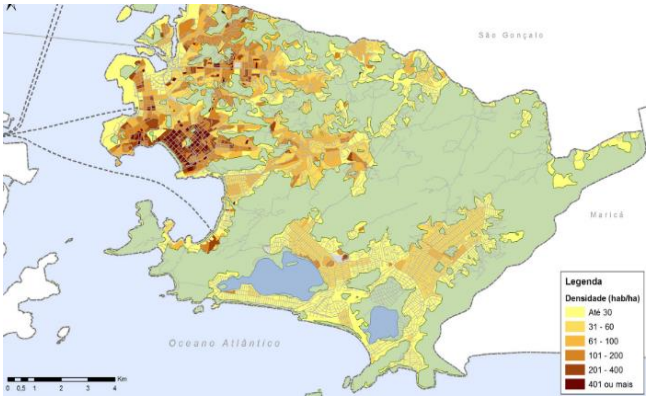

Figura 3 - Mapa da densidade urbana de Niterói (PMN, 2014)

De acordo com Oke (1987, apud ANDRADE e ROMERO, 2018), o microclima é caracterizado pelos fenômenos climáticos presentes em áreas de 0,01 km² a 1 km², influenciados pela topografia, geometria e materialidade urbana, que podem modificar características, como o fluxo de ar, a luz solar, a temperatura e a umidade em pequenas áreas. Dada a influência visível das áreas urbanas sobre as temperaturas mais elevadas, pergunta-se aqui neste trabalho inicial que medidas urbanísticas imediatas podem ser tomadas que arrefeçam o aquecimento já percebido por seus habitantes e quais estratégias bioclimáticas podem ser implementadas na escala urbana.

2. OBJETIVO

O objetivo geral do presente trabalho é avaliar uma área do centro do município de Niterói, no estado do Rio de Janeiro, caracterizada por apresentar temperaturas diurnas mais elevadas que outras áreas da cidade, em relação ao efeito, tanto da alteração do piso das vias quanto da ausência de arborização, sobre a temperatura do ar.

3. MÉTODO

Este trabalho se baseou na utilização da simulação computacional através do *software* ENVI-met 5.01, para estudo dos fenômenos e impactos relacionados ao microclima urbano. Os procedimentos metodológicos foram divididos em três etapas: (1) descrição do objeto de estudo; (2) procedimento para modelagem da simulação; e (3) interpretação dos resultados a partir dos dados de saída.

3.1. Objeto de estudo

Quando a avenida Ernani do Amaral Peixoto, Niterói, Rio de Janeiro, teve o seu projeto de alargamento implementado, em 1942, a obra foi um rebatimento do alargamento da avenida Presidente Vargas, no Rio de Janeiro, com muitas demolições e protestos. O projeto rasgava uma quadra já densamente ocupada, e a proposta previa a ligação da rua Visconde do Rio Branco (no litoral) até a rua Marquês do Paraná (hoje avenida), a partir da praça Martim Afonso (hoje Praça Araribóia, onde se localiza a estação hidroviária), tangenciando a Praça da República (local do centro cívico da cidade). Embora a avenida já viesse sofrendo atualizações devido aos aterros que estavam acontecendo na área central da cidade, foi nessa época que a avenida passou por uma mudança maior (AZEVEDO, 1975). Neste sentido, a avenida Ernani Amaral Peixoto é tida, nos dias atuais, como uma via de grande porte e que comporta um fluxo de veículos considerável.

A construção da avenida Ernani do Amaral Peixoto foi um marco do processo de modernização da cidade de Niterói durante o período do Estado Novo. Para construir a via, que hoje corta o centro comercial da cidade, foi realizado o desmembramento de terrenos e foi modificado o traçado de várias quadras do Centro. Para isso, foram demolidos cerca de 230 prédios comerciais e residenciais, o que resultou em uma avenida com mais de 1 mil metros de extensão por 20 metros de largura, projetada com a função de estabelecer um eixo monumental entre o centro cívico (Praça da República) e a estação hidroviária (Praça Araribóia), que faz o translado entre a cidade de Niterói e o Rio de Janeiro (AZEVEDO, 1975).

A avenida possui um traçado regular, em que foi planejado o levantamento de prédios com 13 pavimentos construídos, rentes às laterais da via, modulados com uma testada frontal de 24 metros e com galerias na altura de dois pés direitos que cobrem a passagem de pedestres pelas calçadas. Esses conjuntos de edifícios dominam a via, formando grandes paredões de concreto, limitando o fluxo de ventos.

A região analisada neste trabalho localiza-se em uma parte do Centro da cidade de Niterói, que possui intenso tráfego de veículos sentido Ponte Rio-Niterói. A área escolhida possui 644.531,25m² e é composta por oito quarteirões. Está localizada junto à avenida Marquês do Paraná — importante via de acesso à cidade — e a avenida Ernani do Amaral Peixoto, principal avenida de acesso ao bairro.

A Figura 4 e 5, ilustram a localização da área estudada e sua relação com as vias mencionadas.



Figura 4 - Localização no Centro de Niterói e área de estudo (Fonte: SIGe/Niterói com adaptação feita por autores)



Figura 5 - Localização da área de estudo, no Centro de Niterói (GOOGLE EARTH, 2023, com adaptação feita pelos autores)

3.2. Modelagem da simulação computacional

ENVI-met é uma ferramenta de modelagem climática urbana em 3D para simular os efeitos microclimáticos de edifícios, vegetação e outros objetos nos campos de design e planejamento urbano e desenvolvimento imobiliário (ENVI-MET, 2023a). A ferramenta foi escolhida por ter as características adequadas para atingirmos o objetivo proposto (SALVATI; KOLOKOTRONI, 2019).

O tamanho real da área simulada corresponde 687,50m x 937,50m, com cerca de 64,5 ha de área. Foi adotado no modelo um grid de 2,5m x 2,5m x 2,5m (dx x dy x dz), em razão de uma melhor representação das medidas reais do contexto urbano local, como a largura das calçadas, que possuem três metros, resultando em um modelo com as dimensões de 275 pixels (eixo x), 375 pixels (eixo y) e 35 pixels (eixo z). Não foi necessário rotacionar o Norte, pois a área estudada está em 0 graus (default).

Para o início da modelagem, foi feito um levantamento das áreas ocupadas por edificações, praças públicas, arborização e características gerais dos materiais das superfícies. Tal observação resultou na adoção dos materiais disponíveis pela biblioteca do ENVI-met, compatíveis com a materialidade local e apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Materiais e coeficientes utilizados.

Materiais	**Materiais ENVI-met**	**Comprimento de Rugosidade**	**Albedo**	**Emissividade**
Edificações	[00000] *Default Wall - moderate insolation*	0.02	0.5	0.9
Calçadas	[0100PP] *Paviment (Concrete), used/dirty*	0.01	0.5	0.9
Pavimentação das ruas original	[0100ST] *Asphalt road*	0.01	0.2	0.9
Pavimentação das ruas modificada com “Asfalto Brando”	[0200ST] - Asfalto Brando	0.01	0.8	0.9
Áreas permeáveis	[010000] *Default Unsealed Soil (Sandy Loam)*	0.015	0.2	0.98
Árvores densas - 10m	[000T1] *Tree 10m very dense, leafness base*	-	0.2	-

Com isso, foi criado e utilizado o material de Asfalto Brando (0200ST), que une as mesmas propriedades do material Asphalt Road (0100ST). No entanto, ambos se diferenciam no valor do albedo, aumentando-o em 0.6 (MARUYAMA, 2020). Essa alteração teve como objetivo clarear o material utilizado como pavimentação das vias, visto que o aumento do albedo é, por sua vez, o aumento da refletância solar (GARTLAND, 2010).

Para a escolha do dia da simulação, selecionou-se o dia mais quente do verão de 2021, a partir dos dados de temperatura e umidade relativa. Os dados foram extraídos de tabela referente à Estação Meteorológica A627 - Niterói (localizada no bairro Barreto), obtida em consulta ao portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022). Assim, o dia mais quente foi 27 de janeiro de 2021, sendo esta, portanto, a data escolhida para a simulação. Os dados presentes na Tabela 2, a seguir, foram inseridos para a configuração do método simple forcing no ENVI-Guide V5.0 (inserido no pacote ENVI-met V5.0). O tempo total de simulação deve considerar que a estabilização do modelo demora cerca de 6 horas e que há a recomendação de que se inicie a simulação à 00h ou ao nascer do sol (SOUSA, 2021 p. 307 apud ENVI-met, 2023b). Desta maneira, a hora de início de cada caso simulado foi configurada para as 05h, sendo o tempo total de 24 horas simuladas. Foi denominado Caso 0 (Caso Base) o estado atual do trecho estudado com as características reais do local. Caso 1, por sua vez, refere-se àquele em que pretendemos verificar o modelo para o caso hipotético de remoção das árvores existentes, enquanto o Caso 2 representa a alteração do material asfalto, que reveste as vias atualmente, para asfalto claro.

A configuração computacional utilizada para modelagem e simulação foi composta por um Desktop Dell XPS 8940 com processador Intel Core i7-10700 — com 8 núcleos e 16 threads — possuindo até 4.80Ghz em Turbo Boost, com 32Gb de memória RAM DDR4, ligado a um nobreak TShara 1200VA e a uma bateria automotiva de 60Ah. Dada a complexidade da área e do software adotados para a pesquisa, cada caso estudado durou aproximadamente 150 horas ininterruptas. Caso haja uma pausa ou desligamento indevido, todo o processo de simulação é perdido, sendo necessário reiniciá-lo. Tal falta de recurso para recuperação e retomada do procedimento do ponto onde houve interrupção tornou o processo de pesquisa ainda mais demorado.

Tabela 2 - Configuração método *simple forcing*

Dados meteorológicos	**Dia simulado 27/01/2021**
Temperaturas	Dados INMET
Umidade relativa	Dados INMET
Hora da máxima temperatura	16:00
Hora da mínima temperatura	5:00
Hora da máxima umidade relativa	16:00
Hora da mínima umidade relativa	4:00
Umidade em 2500m	8.41 (tabela da University of Wyoming)
Direção do vento	180º (vento predominante do dia)
Rugosidade	0.01
Nuvens	0 (dia predominantemente sem nuvens)

3.3. Interpretação dos dados de saída

Através do plug-in Leonardo, pertencente ao software ENVI-met, foram extraídos os resultados e os mapas configurados com altura de corte igual a 1,25m (k=2). Na Figura 6, é possível observar os três pontos fixos (P1, P2 e P3), escolhidos nos eixos das vias da área de estudo, para se fazer uma avaliação horária dos resultados. O P1 (x=131, y=226) refere-se a um ponto localizado na mediana da avenida Marquês do Paraná; o P2 (x=78, y=196), a um ponto na mediana da avenida. Ernani do Amaral Peixoto, e o P3 (x=78, y=79), por sua vez, a um ponto na mediana da rua Marquês de Olinda. O asfalto é o revestimento das vias em todos esses três pontos.



Figura 6 - Localização dos pontos de estudo (GOOGLE EARTH, 2023, com adaptação feita pelos autores)

Para cada caso, comparou-se os valores encontrados para a temperatura potencial do ar. Assim, os valores encontrados no Caso 0 (situação atual da área de estudo) foram comparados com os do Caso 1 (sem arborização) e com os do Caso 2 (com asfalto brando), nos três pontos de fixos no mapa, considerando o

intervalo das 6h do dia 27 de janeiro de 2021 até às 02h do dia 28 de janeiro 2021. A partir disso, os valores encontrados foram organizados em gráficos para facilitar a comparação entre os cenários, permitindo alcançar conclusões a respeito dos impactos da implantação do projeto sobre o microclima local. Os valores das seis primeiras horas, ou seja, das 05h até às 11h, fazem parte do processo de calibração do modelo e, por esse motivo, não devem ser considerados na análise.

4. RESULTADOS

Os dados encontrados foram obtidos e filtrados pelo *software* Leonardo V5.0 (inserido no pacote ENVI-met V5.0). Após a seleção dos pontos de estudo, foram dispostos em gráficos xy, que apresentam o tempo no eixo x e a temperatura do ar no eixo y, o que permite a comparação dos casos estudados ao longo do dia e, consequentemente, a verificação dos efeitos obtidos, sobre o microclima da área estudada, com a remoção das árvores existentes e com a troca de material do asfalto. Deste modo, comparou-se os resultados encontrados no Caso 0 (situação atual da área de estudo) com os valores encontrados no Caso 1 (sem arborização) e Caso 2 (com asfalto brando) em três pontos fixos do mapa, denominados P1, P2 e P3, respectivamente relativos a cada caso, para o intervalo das 6h do dia 27 de janeiro de 2021 até às 02h do dia 28 de janeiro 2021.

Abaixo, a Figura 7 indica as temperaturas potenciais do ar à altura de 1,25m do chão para o ponto P1 (x=131, y=226), localizado na mediana da avenida Marquês do Paraná, no período de 6h do dia 27 de janeiro de 2021 até 2h do dia 28 de janeiro de 2021. O local escolhido fica distante das árvores localizadas em outros trechos da área simulada. Assim, a proximidade das temperaturas do Caso 0 (Caso Base) e Caso 1 (Caso Base sem árvores) ao longo do dia já era esperada. Já o Caso 2 apresenta uma redução das temperaturas em relação ao Caso 0, que aumenta progressivamente ao longo das horas insoladas do dia. Para esse ponto, a diferença máxima de temperatura do ar provocada pela cor mais clara do pavimento das vias é de 0,5ºC e ocorre às 14h do dia 27 de janeiro de 2021.

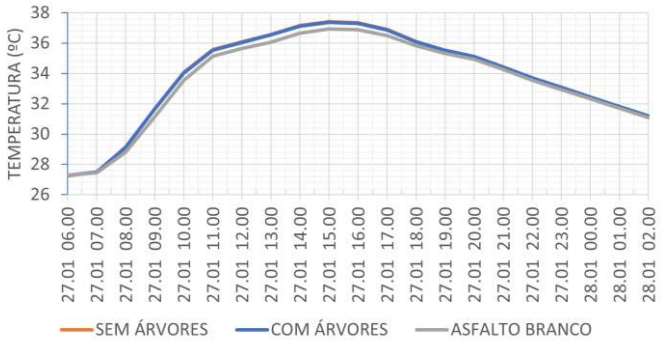

Figura 7 – Ponto P1(X=131, Y=226) - Asfalto Av. Marquês do Paraná

A Figura 8, abaixo, apresenta como resultado as temperaturas potenciais do ar à altura de 1,25m do chão para o ponto P2 (x=78, y=196), localizado na mediana da avenida Amaral Peixoto para o mesmo período. O local escolhido fica próximo a uma praça com muitas árvores. Logo, as temperaturas potenciais do ar resultantes dos modelos Caso 0 (Caso Base com as árvores existentes - linha azul) e Caso 1 (Caso Base sem árvores - linha laranja) são mais importantes, e revelam a coerência do modelo arbóreo fornecido na biblioteca do programa. Já o Caso 2 (Caso Base com árvores e vias claras - linha cinza) apresenta uma redução das temperaturas em relação ao Caso 0, que persiste ao longo das horas insoladas do dia. Para essa localização, a diferença máxima de temperatura do ar provocada pela cor mais clara do pavimento das vias é de cerca de 0,5ºC e ocorre às 14h do dia 27 de janeiro de 2021. Entretanto, tal diferença encontrada permanece boa parte da tarde, sendo reduzida a partir das 19h até praticamente se igualar às 2h do dia 28 de janeiro de 2021.

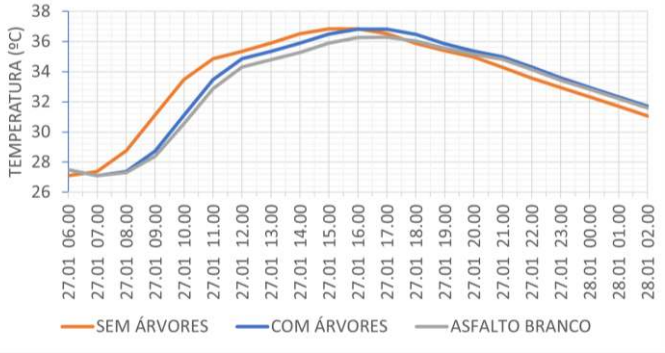

Figura 8 – Ponto P2(X=78, Y=196) - Asfalto Av. Ernani do Amaral Peixoto

A Figura 9, por sua vez, apresenta como resultado as temperaturas potenciais do ar à altura de 1,25m do chão para o ponto P3 (x=78, y=79), localizado na mediana da rua Dr. Celestino. Para essa localização, a diferença de temperatura do ar a 1,25m do chão para o cenário com asfalto mais claro foi de cerca de 1,0ºC e ocorre às 16h do dia 27 de janeiro de 2021. Ao contrário dos demais pontos supracitados, no ponto P3, essa diferença de temperatura permanece praticamente constante até o final da simulação. Dessa maneira, às 2h do dia 28 de janeiro de 2021, o Caso 2 apresenta-se cerca de 0.9ºC mais frio que o Caso Base (Caso 0).

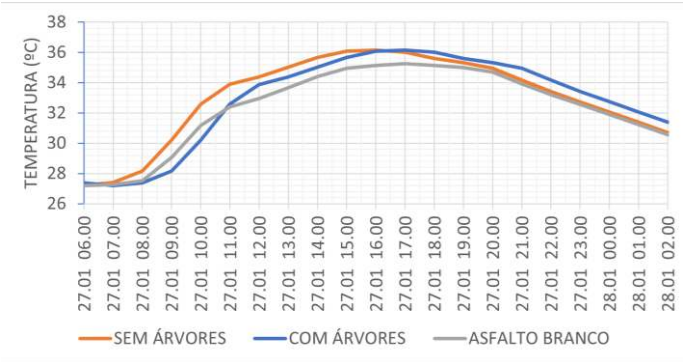

Figura 9 – Ponto P3(X=78, Y=79) - Asfalto R. Marquês de Olinda com R. Eusébio de Queirós

A partir da análise dos gráficos, verificou-se que, nos pontos P1 e P2, ocorreu às 14h uma maior diferença de temperatura potencial do ar. Por esse motivo, optou-se por extrair os resultados detalhados nos mapas a seguir.

Os mapas de temperatura potencial do ar (*Potential Air Temperature*) produzidos permitem a visualização simultânea e conjunta de todas as temperaturas e horários simulados na área de estudo, segundo a legenda de cada quadro. Nas Figuras 10 e 11, dispostas abaixo, observa-se que as temperaturas potenciais do ar estão mais elevadas na avenida Marquês do Paraná do que em seu entorno, em ambos os cenários. Essa avenida corta o trecho na direção Norte-Sul. Já a avenida Amaral Peixoto, também larga e perpendicular à primeira avenida, possui temperaturas mais amenas do que seu entorno, em ambos os cenários. Atribuímos tal fato à existência de uma massa verde localizada na avenida Amaral Peixoto. No entanto, quando comparamos esses dois cenários, que apresentam a cor do asfalto como única alteração entre eles, ressalta-se a diferença de temperatura potencial do ar. Essa temperatura chega a ultrapassar 37,5ºC em alguns trechos da avenida Marquês do Paraná, onde é utilizado o asfalto convencional, e cai para 35,5ºC, onde é utilizado o asfalto mais claro.

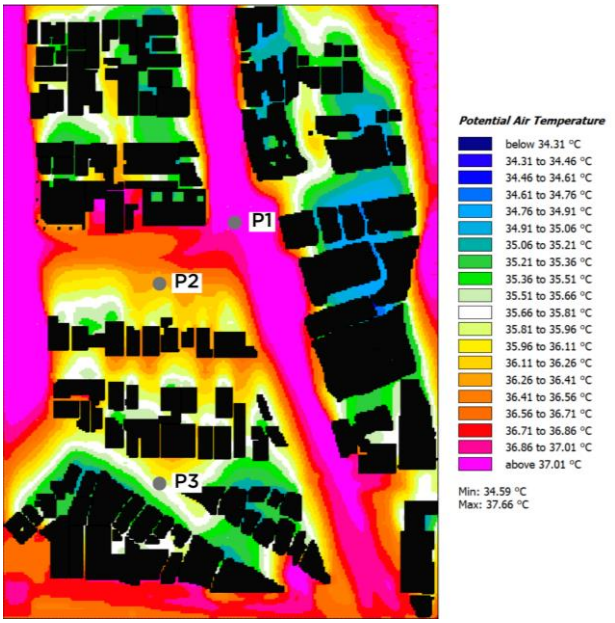

Figura 10 - Simulação no dia 27 de janeiro, às 14h, no Caso 0, para temperatura do ar.

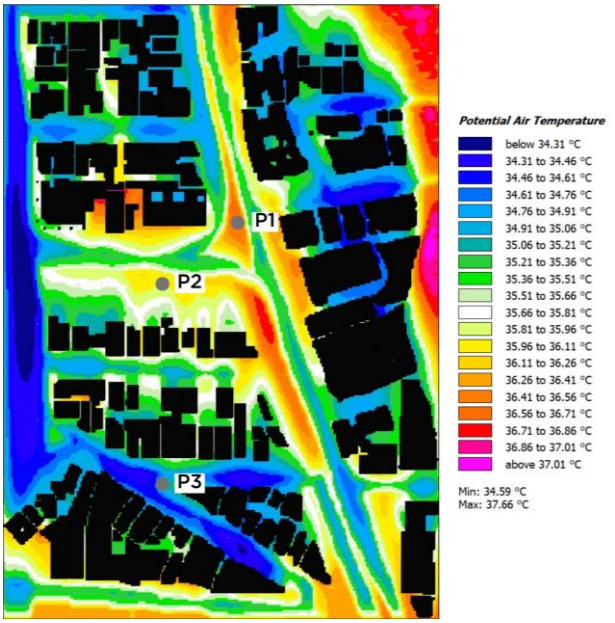

Figura 11 - Simulação no dia 27 de janeiro, às 14h, no Caso 2, para temperatura do ar.

Abaixo, as Figuras 12 e 13 se referem ao Caso Base (Caso 0) e Caso 1, respectivamente, e foram obtidas para o horário de 14h. Ao compararmos o Caso Base (Caso 0) com o mesmo cenário sem árvores (Caso 1), são observadas pouquíssimas diferenças. Vale ressaltar que a arborização atual é pequena. Na continuação deste trabalho, pretende-se propor mais um cenário em que a arborização seja a mais intensa possível, para verificarmos o seu efeito.

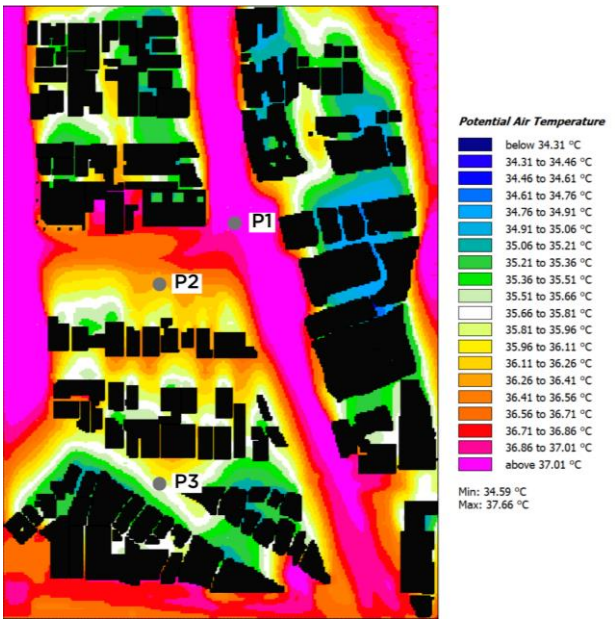

Figura 12 - Simulação no dia 27 de janeiro, às 14h, no Caso 0, para temperatura do ar.

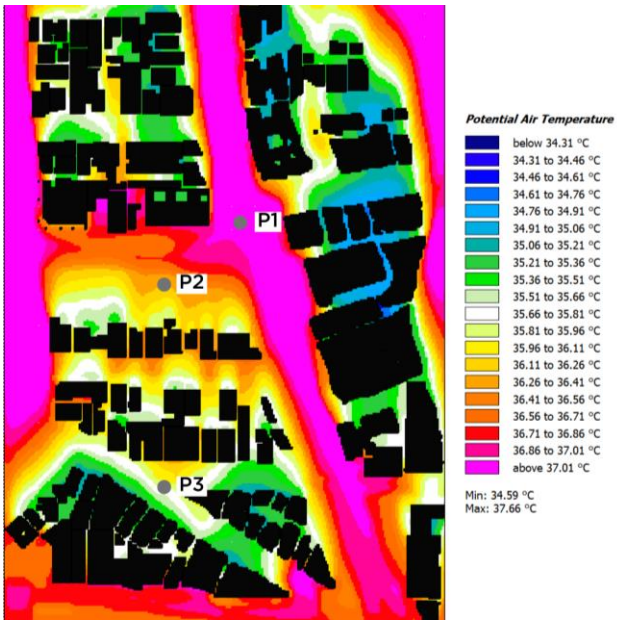

Figura 13 - Simulação no dia 27 de janeiro, às 14h, no Caso 1, para temperatura do ar.

5. CONCLUSÕES

Com base nos dados e gráficos apresentados, conclui-se que as mudanças no microclima da área estudada foram influenciadas pela remoção das árvores existentes e pela substituição do material do asfalto.

No Caso 1, em que não há arborização, as temperaturas potenciais do ar se assemelham ao Caso 0 (situação atual da área de estudo) nos pontos P1 e P2. Isso era esperado para o ponto P1, que está distante das árvores, mas é surpreendente para o ponto P2, que está próximo a uma praça arborizada no Caso 0. Por outro

lado, o Caso 2, com asfalto mais claro, mostra uma redução gradual das temperaturas em relação ao Caso 0 ao longo do dia, tanto no ponto P1 quanto no ponto P2.

No ponto P3, localizado em uma rua distinta, o Caso 2 exibe uma diferença de temperatura do ar constante em relação ao Caso 0, com uma redução de aproximadamente 1,0ºC. Essa diferença permanece ao longo do período de simulação.

A análise dos mapas de temperatura potencial do ar indica que a avenida Marquês do Paraná, com asfalto convencional, apresenta temperaturas mais altas do que seu entorno, enquanto a avenida Amaral Peixoto, com massa verde e asfalto mais claro, dispõe de temperaturas mais amenas. A diferença de temperatura potencial do ar entre esses dois cenários ultrapassa 2,0ºC em alguns trechos.

Em resumo, a remoção das árvores e a substituição para asfalto mais claro (Caso 2) resultaram em uma redução das temperaturas em comparação ao Caso 0. No entanto, é importante considerar que o estudo sugere a possibilidade de uma arborização mais intensa para avaliar seu efeito no microclima da área em análise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, P.C.R.; ROMERO, M.A.B. Análise do desempenho térmico dos materiais superficiais do contexto urbano do SIA/ DF. **Paranoá**, Brasília, n 22, p. 51-71, dez. 2018.

AZEVEDO, M. N. S. de. Niterói - A trajetória de um centro sobrevivente. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE URBANISMO - ANPUH. 8, 1975. **Anais**. São Paulo - SP. Disponível em: https://anpuh.org.br/uploads/anais-simposios/pdf/2019-01/1548177542_d45eaa0bacddbf5c32455bfe8be78793.pdf . Acesso em: 21 abr. 2023.

ENVI-met. **Site do produto**. 2023a. Disponível em: https://www.envi-met.com/. Acesso em: 21 abr. 2023.

ENVI-met. **Technical Model Webpage**. 2023b. Disponível em: https://envi-met.info/doku.php?id=basic_settings&s[]=start&s[]=time&s[]=simulation. Acesso em: 20 jun. 2023.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Oficina de textos, 2011.

GOOGLE EARTH – Mapa de Niterói. Dísponivel em https://earth.google.com/web/search/niter%C3%B3i/@-22.89242355,-43.11566634,22.48123155a,741.60215063d,35y,0h,0t,0r/data=CnEaRxJBCiMweDk5ODBkMTE3MTNhMjQxOjB4NGFiOWNjMDQ2NjE0YTlkNRk02ZoIduE2wCGqLjsf-YxFwCoIbml0ZXLDs2kYASABIiYKJAlifcg7SXczQBFffcg7SXczwBnP9TiWSTVDQCG8R_G0zhBPwA. Acessado em 22 jun. 2023.

IBGE. IBGEEduca. **Conheça o Brasil:** população rural e urbana. Disponível em: https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html. Acesso em: 01 abr. 2023.

IBGE- Panorama IBGE Cidades - Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/niteroi/panorama. Acesso em: 12 dez. 2022.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Tabela Estação: NITEROI A627. Disponível em: https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A627. Acesso em: 23 nov. 20232.

LUCENA, A.; PERES, L.F. MARINO, T.B. **Climatologia RJ**. Dep. Geografia – UFRuralRJ. Rio de Janeiro. 2023. Disponível em: http://www.climatologia.com.br . Acesso em: 21 abr. 2023.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London; New York: Routledge, 1987.

OKE, T. R. et al. **Urban climates.** Cambridge University Press, 2017.

MARUYAMA, C.M. **Pavimentos brandos para a mitigação de ilhas de calor:** o caso do Jardim da Luz e seu entorno em São Paulo/SP. Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2020.

PMN (Prefeitura Municipal de Niterói). Mapa da densidade urbana do município de Niterói. In: Estudo de impacto de vizinhança, condomínio residencial multifamiliar, Rua Mariz e Barros 204, Santa Rosa. Soter, 2014. Disponível em: https://urbanismo.niteroi.rj.gov.br/anexos/Eiv/06.%20Rua%20Mariz%20e%20Barros,%20n%C2%BA%20204%20%E2%80%93%20Santa%20Rosa/EIV_MarizEBarros204_R01.pdf. Acesso em: 20 jan. 2023.

RORIZ, M**. Classificação de climas do Brasil** -Versão 2.1. São Carlos: ANTAC, 2013.

SALVATI, A.; KOLOKOTRONI, M. Microclimate data for building energy modelling: study on ENVI-Met forcing data. In: 16th IBPSA CONFERENCE. **Proceedings**. Rome, Italy, Sept. 2-4, 2019.

SIGEO (Sistema de gestão da informação de Niterói) - Mapa de localização de Niterói. Disponivel em: https://www.sigeo.niteroi.rj.gov.br/pages/mapas, Acesso em 23/04/2023.

SOUSA, J.A.B. de; WERNECK, D. R.; SILVA, C.F. Estudo de impacto de vizinhança (EIV) apoiado por simulações computacionais: o caso da revitalização do complexo esportivo de Brasília. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., **Anais** [...]. Palmas - TO. Disponível em: Even3, 2021. Disponível em: https://www.even3.com.br/anais/encac2021/340451-estudo-de-impacto-de-vizinhanca-(eiv)-apoiado-por-simulacoes-computacionais--o-caso-da-revitalizacao-do-complexo-/. Acesso em: 20 jan. 2023.

AGRADECIMENTOS

Os autores do artigo agradecem o apoio recebido da Prefeitura do Município de Niterói, através do Projetos de Desenvolvimento Aplicados (PDPA), que forneceu bolsa de mestrado e financiou o aluguel do software. Agradecemos também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj) pelas bolsas de iniciação científica.