INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS URBANÍSTICOS NO CONFORTO TÉRMICO EM CÂNIONS VERTICALIZADOS DE CIDADE DE CLIMA TROPICAL LITORÂNEO

Emanuel D. Medeiros (1); Ricardo V. R. Barbosa (2)
(1) Graduando em Arquitetura e Urbanismo, emanuel.medeiros@fau.ufal.br,
(2) Doutor, Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, r.victor@fau.ufal.br,
Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Grupo de Estudos da Atmosfera Climática Urbana, Av. Lourival Melo Mota, S/N - Tabuleiro dos Martins, Maceió/AL, 57072-900.

RESUMO
A crescente centralização populacional modifica a morfologia urbana por meio do adensamento e verticalização das cidades, comprometendo a qualidade do ambiente climático urbano. As tipologias diferenciadas de ocupação do solo urbano podem impactar o ambiente de maneiras distintas e influenciar o desempenho do conforto térmico nos espaços abertos. Dessa forma, este artigo tem como objetivo avaliar o efeito dos parâmetros urbanísticos para edifícios de multipavimentos propostos na minuta do Plano Diretor de Maceió/ALna sensação do conforto térmico em recorte do bairro da Jatiúca, em Maceió/AL. Para tanto, foram realizadas simulação computacional com o *software ENVI-Met* comparando três cenários de ocupação do solo: (1) cenário real (horizontal);(2) cenário verticalizado a partir dos parâmetros do Plano Diretor vigente; e (3) cenário verticalizado a partir dos parâmetros propostos na minuta do novo Plano Diretor. A pesquisa foi constituída em três etapas metodológicas: (1) descrição do objeto de estudo e fração urbana estudada; (2) elaboração dos cenários para simulação; e (3) determinação do índice de conforto PET (ºC) para os cenários simulados. Os resultados mostram que o adensamento urbano possibilitado pela minuta do Plano Diretor tem efeito positivo na diminuição de temperatura do ar e sensação de conforto térmico no cenário simulado. Além disso, também foi possível constatar a importância da arborização em cânions urbanos com orientação Leste/Oeste como forma de sombreamento no contexto analisado.

Palavras-chave: microclimas, conforto térmico urbano, planejamento urbano, simulação computacional, ENVI-met.

ABSTRACT
The increasing population centralization is modifying the urban morphology through the densification and verticalization of cities, compromising the quality of the urban climate environment. Different types of urban land use can impact the environment in distinct ways and influence the performance of thermal comfort in open spaces. Therefore, this article aims to evaluate the effect of urban parameters for multi-story buildings proposed in the draft of the Maceió/AL Master Plan on thermal comfort sensation in a section of the Jatiúca neighborhood in Maceió/AL. For this purpose, computer simulation was carried out using ENVI-Met software comparing three land use scenarios: (1) real scenario (horizontal); (2) verticalized scenario based on the current Master Plan parameters; and (3) verticalized scenario based on the proposed parameters in the new Master Plan draft. The research was composed of three methodological stages: (1) description of the study object and urban fraction studied; (2) elaboration of scenarios for simulation; and (3) determination of PET thermal comfort index (ºC) for simulated scenarios. Results show that urban densification allowed by the Master Plan draft has a positive effect on reducing air temperature and thermal comfort sensation in the simulated scenario. In addition, the importance of tree planting in urban canyons with East/West orientation as a shading strategy in the analyzed context was also verified.

Keywords: microclimates, urban thermal comfort, urban planning, computational simulation, ENVI-met.

1. INTRODUÇÃO

A crescente centralização populacional modifica a morfologia urbana por meio do adensamento desordenado e verticalização das cidades, comprometendo a qualidade do ambiente climático urbano. Segundo Oke (1995), o clima urbano é resultado das condições particulares do meio ambiente urbano, como rugosidade, ocupação do solo, orientação, permeabilidade e propriedades dos materiais constituintes.

As condicionantes térmicas são questionadas e relacionadas de acordo com a morfologia urbana e crescimento das cidades. As tipologias diferenciadas de ocupação do solo urbano podem impactar o ambiente de maneiras distintas e influenciar o desempenho do conforto térmico nos espaços abertos. O estresse térmico, além de proporcionar desconforto, é responsável pela formação de ambientes urbanos insalubres que afetam a saúde humana.

De acordo com Horrison e Amirtham (2016), a cobertura dos solos, orientação e geometria urbana têm grande impacto na sensação térmica da cidade. O sombreamento das vias urbanas gerado pelo traçado dos edifícios influencia no conforto térmico, especialmente em climas quentes e úmidos (MD DIN et al., 2014). Além disso, a proporção entre a altura dos edifícios e largura das vias dos cânions urbanos (Relação H/W) define o Fator de Céu Visível (FCV) e interfere diretamente no comportamento térmico dos microclimas, podendo modificar a relação de sensação térmica a partir da diferença entre densidade urbana (KRÜGER, DRACH; BROEDE, 2017).

Emmanuel e Johansson (2006), apontam o sombreamento em cânions profundos como principal estratégia para amenizar as temperaturas do ar e da radiação. Cânions com alta razão H/W aumentam o sombreamento de edifícios, melhorando o conforto térmico a nível dos pedestres (MUNIZ-GÄAL et al., 2020). Em estudo acerca do conforto térmico urbano a partir da análise das regras de construção urbana em Bangladesh, Kakon, Mishima e Kojima (2009) encontraram que a radiação solar é maior (média diurna de 477 W/m²) no cânion de com FCV mais alto (51,2%) e menor (média diurna de 172 W/m²) com FCV inferior (12,6%).

Esses estudos mostra a importância de avaliar a influência da geometria urbana na qualidade ambiental, a fim de investigar a relação das massas edificadas nos elementos climáticos. Jamei et al. (2020) ainda salientam que a falta de conexão entre planejamento e clima representa um desafio para as cidades, principalmente devido aos efeitos adversos do aumento da temperatura do ar na saúde humana, no consumo de energia e na emissão de CO2.

No caso de Maceió, o Plano Diretor (2005) e o Código de Urbanismo e Edificações do Município (2007) são as leis que regem o planejamento urbano e definem as normas de uso e ocupação do solo na cidade. Embora a revisão periódica do Plano Diretor seja uma obrigação, o processo de revisão do Plano Diretor de Maceió vem enfrentando atrasos significativos. Desde a sua última revisão, que ocorreu em 2005, diversas mudanças ocorreram na cidade, como o aumento da população, a expansão do mercado imobiliário e a necessidade de adaptação às novas diretrizes de desenvolvimento sustentável. No entanto, a revisão do Plano Diretor de Maceió, que deveria ter sido realizada a cada dez anos, ainda não foi concluída. Esses atrasos podem comprometer a eficácia das políticas urbanas e a qualidade de vida da população, além de gerar conflitos e insegurança jurídica. Em 2021, foi divulgada, através de portal oficial da Prefeitura de Maceió, uma minuta da revisão do Plano Diretor de Maceió, mas atualmente as discussões e desenvolvimento desse documento segue de forma desconhecida pela população.

Portanto, levanta-se a necessidade de avaliar os efeitos do microclima urbano e na sensação de conforto térmico a partir da implantação dos novos parâmetros urbanísticos propostos pela minuta de revisão, em face à verticalização da cidade.

É importante pontuar também que, com o intuito de formular medidas mitigatórias para as condições atuais e futuras em relação ao clima urbano, diversos estudos têm utilizado simulações por meio de diferentes modelos de estrutura urbana com o uso do *software* ENVI-met (ACERO et al., 2021; EMMANUEL; FERNANDO, 2007; MANTEGHI; SHUKRI; LAMIT, 2019; MUNIZ-GÄAL et al., 2020; SHARMIN; STEEMERS; MATZARAKIS, 2017). Através desses modelos é possível identificar quais são as respostas térmicas e as medidas mais eficazes para cada ambiente construído, levando em consideração alguns fatores condicionantes, sendo os principais: construção, tipo de superfície do solo, vegetação, altura dos edifícios e o FCV.

2. OBJETIVO

Este artigo objetivou-se analisar o efeito dos parâmetros urbanísticos propostos na minuta do Plano Diretor de Maceió no comportamento da temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura média radiante ao nível do pedestre, além de perceber os efeitos desses aspectos na sensação do conforto térmico.

3. MÉTODO

A pesquisa foi realizada por meio de simulações computacionais utilizando o software *ENVI-met 4.0* para a elaboração de cenários baseados na configuração urbana do bairro de Jatiúca, na cidade de Maceió/AL, a fim de analisar o desempenho do conforto térmico de cenários verticalizados. Dessa forma, a metodologia da pesquisa é baseada em três etapas principais. Inicialmente foi realizada a descrição do objeto de estudo e fração urbana estudada. Em seguida, foram elaborados os cenários para simulação. Por fim, foram determinados o índice de conforto PET para os cenários simulados.

3.1. Descrição do objeto de estudo e fração urbana estudada

Maceió é a capital alagoana com cerca de 1.031.597 habitantes, localizada no Nordeste brasileiro e com latitude, longitude e altitude de -9.66, -35.73 e 4 m, respectivamente (IBGE, 2021). Segundo a caracterização climática de Köppen-Geiger, Maceió possui o clima de tipo As, que corresponde ao clima tropical com chuvas concentradas no inverno e estação seca de verão. De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a cidade apresenta temperatura média anual de aproximadamente 25 ºC, com períodos mais quentes entre novembro e abril (Figura 1). A umidade relativa do ar anual se encontra em cerca de 78%, com meses mais úmidos nas estações de outono e inverno. Maceió apresenta ventos com velocidade média anual de 3 m/s, com maiores valores entre setembro e março, além da direção dos ventos proveniente do Sudeste. Em relação à insolação, a carta solar da região define a fachada noroeste dos edifícios como a mais prejudicada, devido à forte atuação do sol nessa orientação na maior parte do ano (março a setembro).

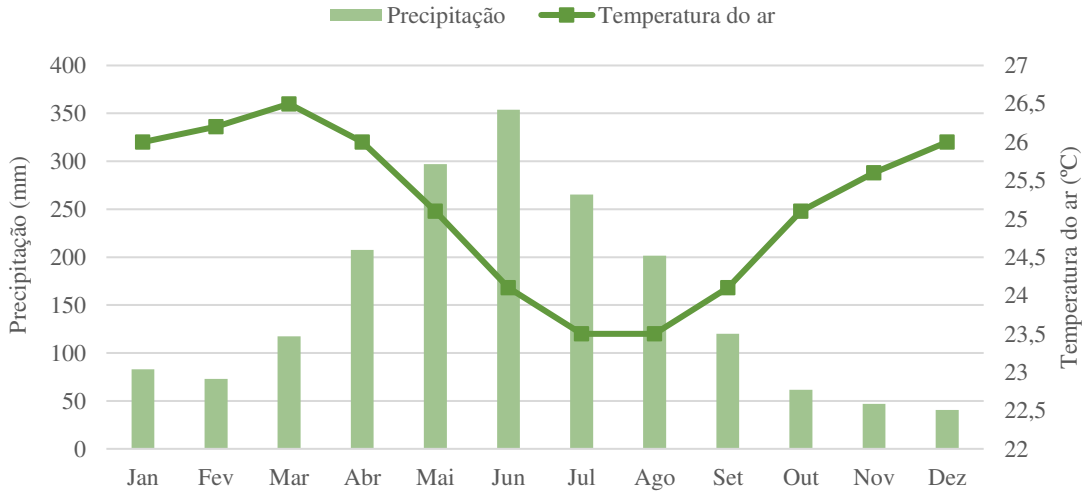


Figura 1 - Climograma de Maceió de acordo com as Normais Climatológicas de 1981-2010.

O bairro de Jatiúca tem sua formação composta por cerca de 24 loteamentos de uso predominantemente residencial, mas com forte concentração de serviços de lazer e turismo – como restaurantes, bares e hotéis. Devido aos seus loteamentos planejados, o bairro destaca-se na malha da cidade com o traçado regular – vias ortogonais e quadras bem definidas.A fração avaliada neste artigo corresponde ao cruzamento da Avenida Dr. Antônio Gomes de Barros com a Rua Profa. Maria Esther da Costa Barros (via arterial e coletora, respectivamente) e seu entorno imediato (Figura 2).



Figura 2 - Bairro de Jatiúca com destaque na fração estudada.

Dessa forma, o recorte apresenta a via arterial e coletora com 20 e 9,80m de largura, respectivamente, e a presença de um canteiro central de vegetação arbórea na via principal. Demais vias variam entre 7 e 6,60m de largura. A dimensão dos passeios também mostra variação. As quadras apresentam dois principais padrões de lotes que podem variar, sendo eles: lote tipo A (10m de frente por 17m de profundidade) e lote tipo B (12m de frente por 20m de profundidade), além de lotes remembrados com a presença de edifícios verticalizados. A figura 3 resume as dimensões dos elementos do recorte.

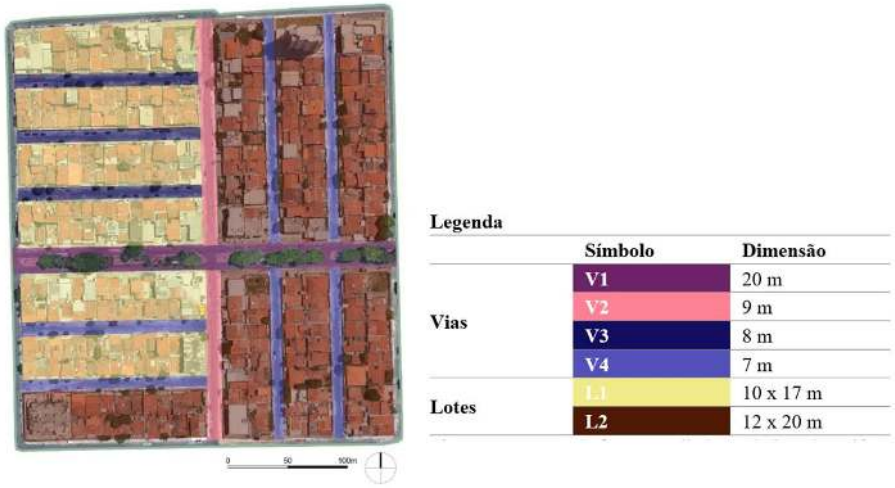


Figura 3 - Recorte da fração avaliada, no bairro de Jatiúca.

3.2. Elaboração dos cenários para simulação

A partir do levantamento das características do recorte do estudo, o cenário referência foi elaborado de forma adaptada para simulação. Esse cenário piloto (C-01) seguiu o padrão de ocupação atual da região, com grande parte das edificações horizontais geminadas e dimensões proporcionais ao real. É importante ressaltar que as adaptações foram necessárias no dimensionamento de lotes e vias a fim de viabilizar a entrada no *ENVI-met*. Dessa forma, C-01 apresenta 6 tipos de lotes: nos lotes tipo 1, 2 e 3 foram inseridas edificações

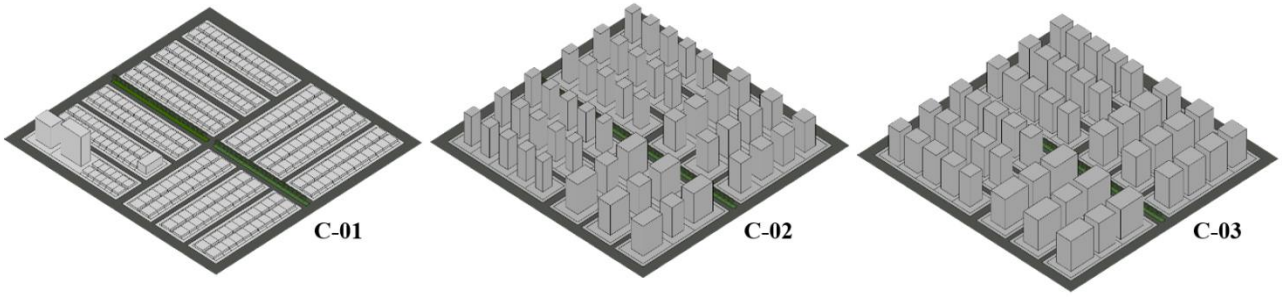
horizontalizadas, com 2 pavimentos, sendo considerado a altura de 3m para cada pavimento. O lote do tipo 4 comporta um edifício de 4 pavimentos, 12 m de altura. O lote do tipo 5 apresenta uma edificação de 11 pavimentos, tendo 33 m de altura. Já o tipo 6 de lote conta com um edifício de 15 pavimentos, com 45 m de altura. Em relação às vias, a via primária (1) apresenta 26 m de largura (12 m de leito carroçável, 6 m de canteiro central arborizado e 4 m de passeio em cada lado). A via secundária (2) contém 18 m de largura (sendo 10 m de leito carroçável e 4 m de passeio em cada lado). A via terciária (3) mostra 16 m de largura (sendo 8 m de leito carroçável e 4 m de passeio em cada lado). Por fim, a vida quaternária (4) apresenta 14 m de largura (6 m de leito carroçável e 4 m de passeio em cada lado).

A partir dessa referência, foi elaborado o segundo cenário (C-02) que representa o mesmo local em situação verticalizada e remembramento dos lotes originais. Dessa forma, C-02 apresenta 3 tipos de lotes: o lote tipo 1 com dimensões de 30 m de frente por 36 m de profundidade; o lote tipo 2 com 36 m de frente e 40 m de profundidade; e o lote tipo 3, com 40 m de frente e 50 m de profundidade.

Seguindo o Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió (2007), com o intuito de aplicar recuos iniciais e progressivos nas edificações dos cenários 1 e 2, foi adotada a fórmula "Ri + (n-2) / 2", onde Ri é o recuo inicial e n é o número de pavimentos da edificação. É importante ressaltar que, preservando a padronização e possibilidade de utilização dos dados, foi necessário a adaptação das dimensões adotadas no *ENVI-met*: 2m x 2m x 3m (x, y e z).

O terceiro cenário (C-03) apresenta lotes e vias na mesma dimensão do cenário 2, no entanto com distinção nos parâmetros urbanísticos, seguindo a minuta do Plano Diretor: Recuo Frontal: 7,0 m; Recuo Lateral: 3,5 m; Taxa de Ocupação: 50%; e Coeficiente de Aproveitamento: 2 a 7. Em suma, o Quadro 1caracteriza os cenários de acordo com os parâmetros urbanísticos utilizados.

Quadro1 - Parâmetros urbanísticos utilizados nos cenários.



	C-01				C-02	C-03
Nº de pavimentos	**2**	**4**	**11**	**15**	**15**	**15**
Recuo frontal (m)	3	4	7,5	9,5	9,5	7
Recuo lateral (m)	1,5	2,5	6	8	8	3,5
Taxa de ocupação (%)	70	50	35	35	35	50
Coeficiente de Aproveitamento	2	4	4	4	4	2 – 7

Os revestimentos adotados na elaboração dos cenários seguiram o padrão construtivo da região. No Quadro 2 é possível observar os valores do albedo e emissividade para cada material utilizado na elaboração dos modelos.

Quadro 2 - Materiais utilizados na elaboração dos cenários urbanos hipotéticos.

Revestimento	Código	Albedo	Emissividade
Asfalta (vias)	ST	0,20	0,90
Concreto (passeios e interior dos lotes)	PP	0,40	0,90
Tijolo queimado (paredes)	B2	0,40	0,90
Telha cerâmica (coberta)	R2	0,50	0,90

3.2.1. Dados de entrada para simulação no ENVI-met

Foram obtidos a partir da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizado na cidade de Maceió/AL. O dia escolhido foi 10 de janeiro de 2022, no qual foi observada maior regularidade no comportamento da temperatura e umidade relativa do ar, indicando que foi um dia típico de verão, com céu

limpo, sem a presença de nuvens. O Quadro 3 apresenta um resumo dos dados de entrada adotados para simulação dos modelos.

Quadro 3 - Dados de entrada para simulação no *ENVI-met*.

Informações	Dados	Informações	Dados
Data do início da simulação	10/01/2022	Rugosidade	0,01
Hora do início da simulação	21:00	Temperatura atmosférica (K)	302,28
Total de horas simuladas	75	Umidade relativa do ar a 2m (%)	77
Velocidade do vento a 10m (m/s)	2,5	Umidade específica do ar a 2500m (g/kg)²	4,5
Direção do vento	152		

Para melhor calibragem do *software*, iniciou-se a simulação às 21h. A partir disso, tomou-se o dia 10 de janeiro de 2022 para início da simulação com o intuito de obter dados climáticos de 3 dias completos e utilizar o dia 12 para análise. Assim, o total de horas simuladas correspondeu a 75 horas. Para a velocidade do vento a 10m e sua direção, considerou-se a menor velocidade registrada pelo INMET no dia 12 de janeiro de 2022 (para que houvesse a menor interferência nas trocas térmicas) e a direção sudeste que é predominante na cidade de Maceió. A rugosidade adotada foi baixa, considerando o local da estação meteorológica do INMET. A umidade específica do ar a 2500m foi obtida através do site do dep. Ciências Atmosféricas da Universidade de *Wyoming* 4, referente a estação de Natal/RN, pois é a estação mais próxima de Maceió/AL. A temperatura atmosférica foi definida automaticamente ao habilitar a ferramenta *simpleforcing*, que define a variação das condições da camada atmosférica diurna de acordo com os dados horários para temperatura do ar e umidade relativa do dia adotado.

3.2.2. Simulação dos cenários hipotéticos no ENVI-met

A partir da modelagem dos cenários, chegou-se as seguintes dimensões dos modelos, em *grids*: 176 x 171 x 30 (x, y, z).Os desenvolvedores orientam que a altura do topo do modelo seja, pelo menos, o dobro da altura do prédio mais alto. Como o cenário mais verticalizado possui 15 pavimentos, que totalizam 45m de altura, o topo do modelo apresentou 90m. O Quadro 4 mostra as adequações utilizadas para inserção do cenário no *software*.

Quadro 4 - Adequações utilizadas nos modelos elaborados.

Eixo	Dimensão total real (m)	Valor do Grid	Dimensão total em Grid
X	352	2	176
Y	342	2	171
Z	45	3	15

Para a obtenção dos dados climáticos foram inseridos três receptores em diferentes pontos do cenário, como ilustrado na Figura 4.



Figura 4 - Localização dos receptores nas vias do cenário.

3.4. Determinação do índice de conforto PET para os cenários simulados

Os dados foram utilizados para determinar o índice PET (*PhysiologicalEquivalentTemperature*) através do *software RayMan Pro* que calcula os fluxos de radiação de ondas curtas e longas que afetam o corpo humano. Para o cálculo dos índices térmicos com base no balanço energético humano são necessários dados meteorológicos (temperatura do ar, velocidade do vento, umidade do ar e fluxos de radiação de ondas curtas e longas) e termofisiológicos (atividade e vestuário) (MATZARAKIS; RUTZ, 2006).

Pela ausência de calibração do índice PET para o estado de Alagoas, foi utilizada neste artigo a calibração para Salvador/BA realizada por Andrade et al (2016). O limite inferior do intervalo conforto e as categorias de frio não puderam ser determinados devido à inexistência de condições de estresse térmico negativo na região. Dessa forma, os valores de PET gerados para os cenários hipotéticos da cidade de Maceió foram classificados em quatro categorias de acordo com a calibração realizada para a cidade de Salvador/BA, apresentada no Quadro 5.

Quadro 5 - Calibração do índice PET (ºC) para a cidade de Salvador/BA (ANDRADE et al., 2016. Adaptado pelos autores, 2023).

Percepção térmica	**PET (ºC)**
Muito calor	≥ 34,1
Calor	34,1 - 29,4
Pouco calor	29,4 - 26,8
Conforto	≤ 26,8

4. RESULTADOS

Inicialmente, os dados coletados a partir das simulações dos cenários propostos foram analisados integralmente a fim de compreender o contexto geral dos resultados. Foram adotados os horários das 09h, 15h e 21h para análise. Após isso, foram selecionados os dados que possuem influência na determinação do índice PET, sendo eles: Temperatura do Ar (Ta), Umidade Relativa (RH), Velocidade do Ar (Ws) e Temperatura Média Radiante (Tmrt). A Tabela 1 mostra os resultados gerais obtidos por meio das simulações computacionais.

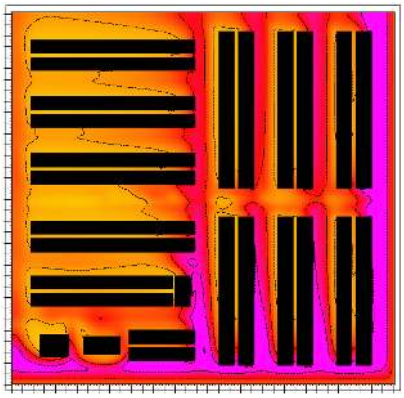
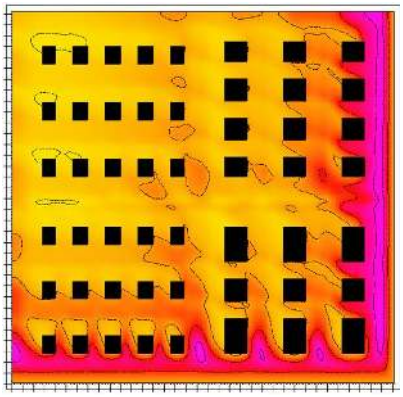
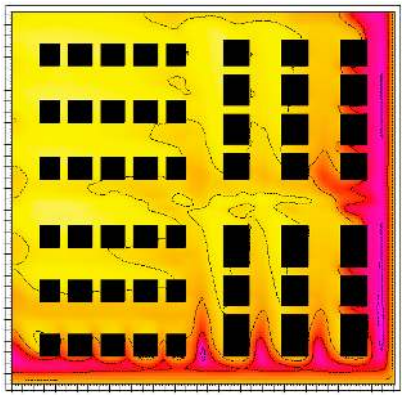
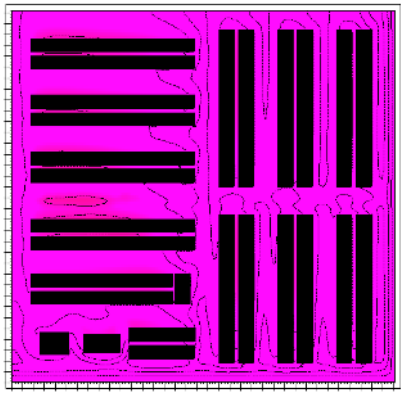
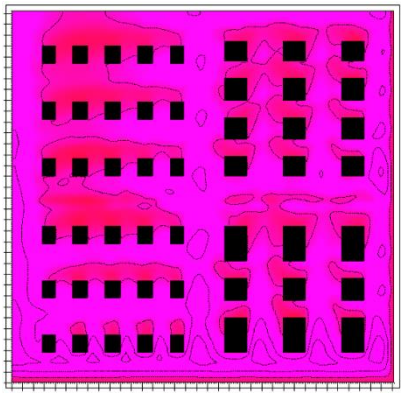
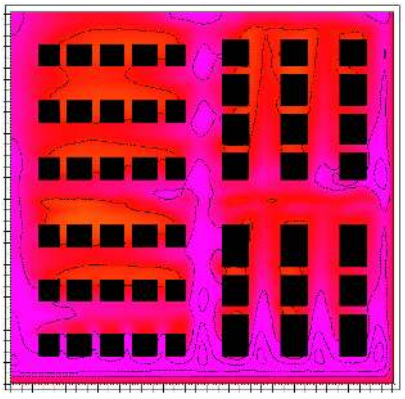
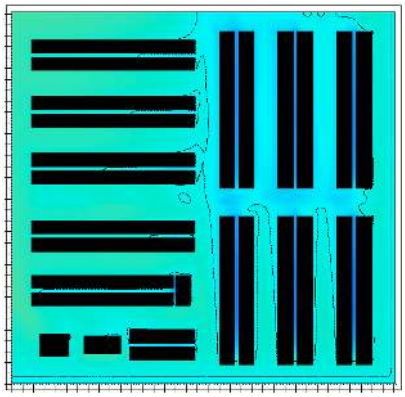
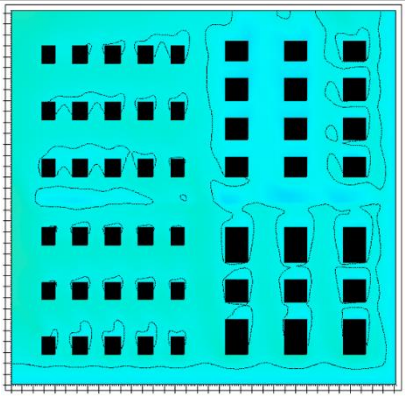
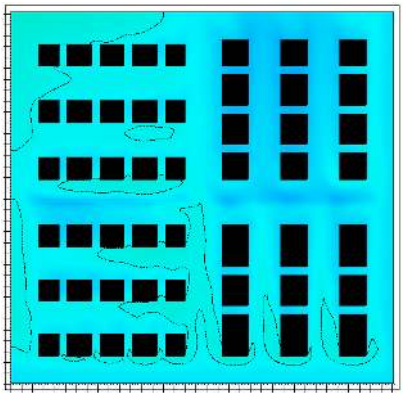
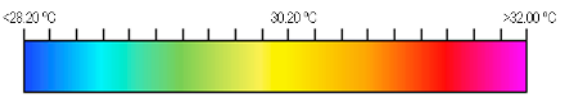
Tabela 1 - Resultados extraídos do software *ENVI-met*.

Horário	**Receptor**	**Cenário atual (C-01)**				**Cenário PD Vigente (C-02)**				**Cenário PD Proposto (C-03)**			
		Ws (m/s)	Ta (ºC)	RH (%)	Tmrt (ºC)	Ws (m/s)	Ta (ºC)	RH (%)	Tmrt (ºC)	Ws (m/s)	Ta (ºC)	RH (%)	Tmrt (ºC)
09h00	R-01	1.83	31.35	55.54	63.90	2.42	30.74	57.81	38.93	2.62	30.27	59.45	36.00
	R-02	1.02	30.89	56.07	63.94	1.07	30.60	57.22	62.70	0.90	30.20	57.67	60.51
	R-03	0.83	30.58	58.14	43.47	1.06	30.37	58.67	40.17	0.88	30.06	59.03	37.55
15h00	R-01	1.84	32.90	51.68	66.12	2.44	31.98	54.79	39.33	2.69	31.42	56.36	36.63
	R-02	1.00	32.15	52.84	66.15	0.96	31.87	54.05	65.13	0.80	31.37	54.24	36.77
	R-03	0.78	31.76	55.15	42.08	0.98	31.57	55.72	38.92	0.84	31.22	55.76	36.62
21h00	R-01	1.86	28.80	64.85	21.16	2.46	28.81	64.30	20.92	2.76	28.69	64.32	20.19
	R-02	1.02	29.00	62.28	21.23	0.95	28.87	62.56	20.99	0.82	28.83	60.12	20.29
	R-03	0.81	29.00	63.16	23.76	1.00	28.77	63.92	23.03	0.88	28.64	62.24	22.69

Os resultados mostram variações nos componentes atmosféricos de acordo com as alterações dos cenários. Em todos os cenários, os dados dos receptores mostram maiores valores de velocidade do ar na via com orientação Norte-Sul, do que na via com orientação Leste-Oeste, sendo esse componente o que sofre maior influência da orientação da via. A comparação entre os cenários C-01, C-02 e C-03 mostra a diminuição de temperatura do ar, respectivamente. No geral, a umidade relativa aumenta de acordo com a verticalização do cenário, com exceção do horário das 21h, onde os cenários com os parâmetros da minuta do Plano Diretor mostram diminuição desse valor. Por fim, percebe-se também a relação da temperatura média radiante com o aumento da altura dos prédios, devido ao sombreamento provocado pela verticalização.

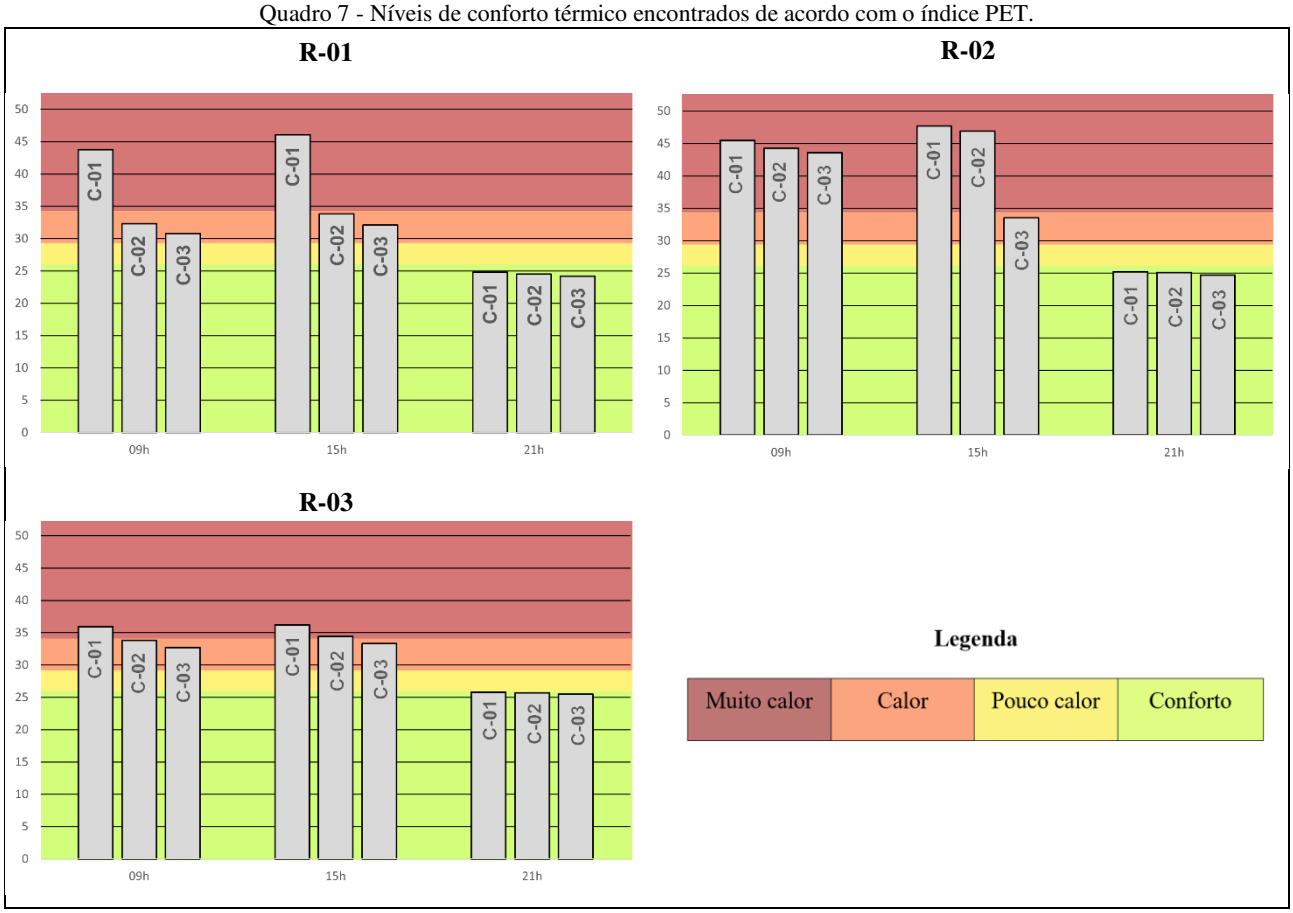
O Quadro 6 mostra que os menores valores de temperatura do ar do recorte estudado, em média, estão no cenário construído a partir da minuta do Plano Diretor (C-03). O maior adensamento dos prédios permite maior área de sombra nos cânions urbanos, ocasionando a diminuição de temperatura nessas áreas. Tomando como exemplo, às 15h, C-03 mostra maiores áreas com diminuição de temperatura do que do que as de C-02, que, apesar de ser verticalizado, tem menor adensamento.

Quadro 6 - Comportamento da temperatura do ar (ºC) nos diversos cenários.

C-01	C-02	C-03
09h00		
		
Min: 30.52 ºC Máx: 32.39 ºC	Min: 30.30 ºC Máx: 32.01 ºC	Min: 29.99 ºC Máx: 31.94 ºC
15h00		
		
Min: 31.76ºC Máx: 33.77ºC	Min: 31.54 ºC Máx: 33.24 ºC	Min: 31.10 ºC Máx: 33.18 ºC
21h00		
		
Min: 28.39 ºC Máx: 29.11 ºC	Min: 28.72 ºC Máx: 29.01 ºC	Min: 28.55 ºC Máx: 28.95 ºC
	Legenda 	

Por fim, os dados coletados permitiram a determinação do índice de conforto PET, como mostrado no Quadro 7. No horário das 21h, os cenários mostram sensação de conforto térmico nos três pontos analisados (R-01, R-02 e R-03). Com essa exceção, todos os pontos do cenário horizontal apresentam temperaturas desconfortáveis de muito calor, apesar de mostrar uma diminuição na via com canteiro central arborizado (R-03).

Quadro 7 - Níveis de conforto térmico encontrados de acordo com o índice PET.



Apesar de ainda ser considerado como sensação de calor, o cenário verticalizado a partir dos parâmetros do Plano Diretor vigente tem como ponto menos desconfortável o R-01, com valores do índice PET, às 09h e 15h, em 32.3 e 33.8 ºC, respectivamente. Por outro lado, esse mesmo cenário mantém altos níveis de desconforto no ponto da via com orientação Leste-Oeste (R-02) nesses horários, com 44,3 e 46,9 ºC.

O cenário verticalizado a partir dos parâmetros da minuta do Plano Diretor pode ser considerado, no contexto geral, como o menos desconfortável em relação à temperatura. Apesar do horário das 09h, no ponto do R-02, a temperatura PET alcançar 43.6 ºC, com sensação de muito calor, todas as outras análises mostram valores entre 33.5 e 30.8 ºC, sendo classificados apenas como estado de calor. A verticalização junto com o adensamento urbano no recorte trouxe como consequência a amenização da sensação de calor nas vias caminháveis.

Os resultados mostram, além da influência da verticalização na sensação de conforto térmico, a importância da vegetação arbórea para a manutenção desses níveis, sobretudo em vias de orientação Leste-Oeste. Em média, o R-03, que é localizado na via principal com canteiro central, mostra os menores valores de PET de todos os cenários.

5. CONCLUSÕES

Esse artigo permitiu avaliar a influência do sombreamento a partir da verticalização na sensação do conforto térmico em recorte do bairro de Jatiúca, na cidade de Maceió/AL. A percepção do comportamento da temperatura do ar, juntamente com os dados de velocidade dos ventos, umidade relativa e temperatura média radiante proporcionou o desenvolvimento de um olhar crítico sob o viés do clima urbano para as relações entre o planejar e o construir.

Os resultados da pesquisa vão de acordo com estudos anteriores que mostram a verticalização como um fator de amenização da sensação térmica em cânions urbanos ao nível do pedestre, e o adensamento proposto

na minuta da revisão do Plano Diretor de Maceió possibilitou ainda mais o controle do aumento da temperatura do ar e a melhoria das condições de conforto.

A partir da produção de sombreamento na malha urbana e diminuição do acesso da radiação solar ao nível do pedestre, cenários verticalizados e adensados em cidades litorâneas de baixa latitude têm resultados positivos na mitigação de temperatura e manutenção do conforto térmico urbano (índice PET).

Durante a estação de verão, a sensação térmica em cânions urbanos de orientação Norte/Sul é fortemente influenciada pelo sombreamento a partir dos edifícios. No entanto, em ruas com orientação Leste/Oeste, a interferências causadas pela verticalização é diminuída. Nesses casos, o uso da vegetação arbórea tem papel fundamental para criar o sombreamento nos cânions.

Portanto, fica claro a importância desdobramentos e definições dos parâmetros para o ordenado planejamento das cidades. É importante ressaltar, no entanto, que apesar da minuta do Plano Diretor mostrar resultados positivos em relação à sensação de conforto no microclima, o debate da sua revisão deve se desenvolver de forma multidisciplinar, gerando novas perspectivas para o planejamento da capital alagoana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACERO, J. A.; KOH, E. J.Y., RUEFENACHT, L. A.; NORFORD, L. K. Modelling the influence of high-rise urban geometry on outdoor thermal comfort in Singapore. **UrbanClimate**, [*s. l.*], v. 36, n. January, p. 100775, 2021.

ANDRADE, T.C.Q.; NERY, J.M.F.G.; SOUZA, S.H.M.; PITOMBO, C.S.; FREIRE, T.M.M.; KATZSCHNER, L. Medição do conforto térmico em áreas públicas urbanas de Salvador-BA e calibração do índice de conforto PET usando a técnica árvore de decisão**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**. v.4. n.2. 2016.

EMMANUEL, R.; FERNANDO, H. J.S. Urban heat islands in humid and arid climates: Role of urban form and thermal properties in Colombo, Sri Lanka and Phoenix, USA. **Climate Research**, [*s. l.*], v. 34, n. 3, p. 241–251, 2007.

EMMANUEL, R.; JOHANSSON, E. Influence of urban morphology and sea breeze on hot humid microclimate: The case of Colombo, Sri Lanka. **Climate Research**, [*s. l.*], v. 30, n. 3, p. 189–200, 2006.

HORRISON, E.; AMIRTHAM, L. R. Role of built environment on factors affecting outdoor thermal comfort - A case of T. Nagar, Chennai, India. **Indian Journal of Science and Technology**, [*s. l.*], v. 9, n. 5, p. 3–6, 2016.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico**, 2010. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br. Acesso em: jul. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil**. Período 1991-2020. Disponível em https://portal.inmet.gov.br/normais. Acesso em abril de 2023.

JAMEI, E.; OSSEN, D. R.; SEYEDMAHMOUDIAN, M.; SANDANAYAKE, M.; STOJCEVSKI, A; HORAN, B. Urban design parameters for heat mitigation in tropics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [*s. l.*], v. 134, n. August 2019, p. 110362, 2020.

KAKON, A. N.; MISHIMA, N.; KOJIMA, S. Simulation of the urban thermal comfort in a high-density tropical city: Analysis of the proposed urban construction rules for Dhaka, Bangladesh. **Building Simulation**, [*s. l.*], v. 2, n. 4, p. 291–305, 2009.

KRÜGER, E.; DRACH, P.; BROEDE, P. Outdoor comfort study in Rio de Janeiro: site-related context effects on reported thermal sensation. **International Journal of Biometeorology**, [*s. l.*], v. 61, n. 3, p. 463–475, 2017.

MACEIÓ. Lei Municipal no 5.593, de 8 de fevereiro de 2007. **Institui o Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió**. Disponível em: http://www.maceio.al.gov.br. Acesso em: abr. 2023.

MACEIÓ. Lei municipal no 5486, de 30 de dezembro de 2005. **Institui o Plano Diretor do município de Maceió. 2005**. Maceió. Disponível em https://www.sedet.maceio.al.gov.br/servicos/pdf/plano_diretor/00_lei_municipal_5486.pdf. Acesso em abr. 2023.

MANTEGHI, G.; SHUKRI, S. M.; LAMIT, H. Street geometry and river width as design factors to improve thermal comfort in Melaka City. **Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences**, [*s. l.*], v. 58, n. 1, p. 15–22, 2019.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F. RayMan: a tool for research and education in applied climatology. In: **8th Conference on Meteorology-Climatology-Atmospheric Physic**, 05, 2006, Athens. Anais [...]. Athen, Greece.

MD DIN, M. F.; LEE, Y. Y.; PONRAJ, M.; OSSEN, D. R.; IWAO, K.; CHELLIAPAN, S. Thermal comfort of various building layouts with a proposed discomfort index range for tropical climate. **Journal of Thermal Biology**, [*s. l.*], v. 41, n. 1, p. 6–15, 2014.

MUNIZ-GÄAL, L. P.; PEZZUTO, C. C.; CARVALHO, M. F. H.; MOTA, L. T. M. Urban geometry and the microclimate of street canyons in tropical climate. **Building and Environment**, [*s. l.*], v. 169, p. 106547, 2020.

MUNIZ-GÄAL, L. P.; PEZZUTO, C. C.; CARVALHO, M. F. H.; MOTA, L. T. M. Urban geometry and the microclimate of street canyons in tropical climate. **Building and Environment**, [*s. l.*], v. 169, p. 106547, 2020.

OKE, T. R. The heat island of the urban boundary layer: Characteristics, causes and effects. In Cermak, J. E. et al.(eds.), Wind Climate in Cities, Kluwier Academic Publishers,81-107, 1995.

SHARMIN, T.; STEEMERS, K.; MATZARAKIS, A. Microclimatic modelling in assessing the impact of urban geometry on urban thermal environment. **Sustainable Cities and Society**, [*s. l.*], v. 34, n. July, p. 293–308, 2017.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de Iniciação Científica no ciclo PIBIC 2022-2023.