

# A influência da morfologia urbana em microclimas em cidade de clima tropical de savana

*La influencia de la morfología urbana en microclimas en ciudad de clima tropical de sabana*

**Sessão Temática: ST04. Ambiente construído, tecnologia e sustentabilidade**

BRANDÃO, Luana Karla de Vasconcelos; Mestre; Universidade Federal de Alagoas

luana.brandao@arapiraca.ufal.br

BARBOSA, Ricardo Victor Rodrigues; Doutor; Universidade Federal de Alagoas

rvictor@fau.ufal.br

PEREIRA, Jéssica Daiane Santos; Mestre; Universidade Federal de Alagoas

jessica.pereira@fau.ufal.br

## Resumo

A adequação da forma urbana às condições climáticas locais tem o potencial de compor um meio ambiente urbano sustentável e resiliente, assim, o presente trabalho tomou a cidade de Arapiraca/AL, a fim de analisar a relação entre morfologia urbana e microclima. A partir de uma abordagem analítica com uso do *software* ENVI-Met foi possível compor quatro modelos hipotéticos para o período quente e seco. O modelo-base parte de uma fração da cidade com tendência à verticalização, os demais variam em função das: propriedades termodinâmicas dos materiais, geometria do cânion e vegetação. Os resultados indicaram efeitos térmicos significativos quanto à morfologia urbana, com potencial de favorecer o aproveitamento de variáveis climáticas, como a temperatura do ar e da ventilação natural. Evidencia-se, portanto, a necessidade da inserção do estudo no clima urbano no processo de planejamento urbano das cidades, com o fim de promover qualidade de vida a seus habitantes.

**Palavras-chave:** clima urbano, formas urbanas, ENVI-Met.

## Abstract

The adaptation of the urban form to the local climatic conditions has the potential to compose a sustainable and resilient urban environment, thus, the present work took the city of Arapiraca/AL, in order to analyze the relationship between urban morphology and microclimate. From an analytical approach using the ENVI-Met software, it was possible to compose four hypothetical models for the hot and dry period. The base model starts from a fraction of the city with a tendency to verticalization, the others vary according to:

thermodynamic properties of materials, canyon geometry and vegetation. The results indicated significant thermal effects in terms of urban morphology, with the potential to favor the use of climatic variables, such as air temperature and natural ventilation. It is evident, therefore, the need to insert the study on the urban climate in the urban planning process of cities, in order to promote quality of life for its inhabitants.

**Keywords:** urban climate, urban forms, ENVI-Met.

## 1. Introdução

O processo de urbanização das cidades altera o ambiente físico natural, provocando alterações no balanço energético local, o que conforma um clima tipicamente urbano (HIGUERAS, 1998). A tendência global para a rápida urbanização impõe uma ameaça ao clima urbano, devido a uma série de impactos ambientais, como o aumento da temperatura do ar, fenômeno conhecido como ilha de calor urbano (UHI), que influencia diretamente no conforto térmico ao ar livre; a qualidade do ar degradada, o aumento da demanda de energia, etc. (JOHANSSON, 2017; KRAVCIK *et al.*, 2008; JAUREGUI; ROMALES, 1996; ROSENFELD *et al.*, 1995; OKE, 1988; PALUMBO; MAZZARELLA, 1980).

O planejamento e o design urbano pautados pela adoção de estratégias de adequação ao clima terão o potencial de promover cidades resilientes e sustentáveis (XU *et al.*, 2018; YANG *et al.*, 2016). Tornar as cidades resilientes e sustentáveis corresponde ao 11º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU): Cidades e comunidades sustentáveis, visto que o desenvolvimento sustentável não pode ser alcançado sem transformar significativamente a maneira como construímos e gerenciamos os espaços urbanos. (ONU, 2022).

A morfologia urbana tem efeito no clima urbano, de acordo com os seguintes fatores: as propriedades termodinâmicas dos materiais que constituem sua superfície, por determinar a quantidade de radiação solar a ser absorvida/refletida/emitida (ALCHAPAR *et al.*, 2018; KRÜGER; GONZALEZ, 2016); a orientação das vias em relação à radiação solar e à direção predominante dos ventos, pelo potencial de otimizar o aproveitamento desses recursos naturais locais (RUI *et al.*, 2019; VASILIKOU; NIKOLOPOULOU, 2019; TORR *et al.*, 2017); a geometria do cânion urbano, a partir da relação entre a altura média das edificações e a largura das vias (relação H/W) e do fator de céu visível (MUNIZ-GÄAL *et al.*, 2020; NAKATA-OSAKI *et al.*, 2016); e a presença de vegetação, que proporciona sombreamento e beneficia as condições de temperatura do ar e umidade relativa do ar (DAVTALAB *et al.*, 2020; SHINZATO; DUARTE, 2018).

Os estudos citados utilizaram o *software* ENVI-Met® como ferramenta para simulação computacional na análise de desempenho térmico urbano. O ENVI-Met® corresponde a uma ferramenta computacional fundamentada em um modelo tridimensional de clima urbano que simula as relações entre a estrutura urbana e o ambiente, oferecendo várias possibilidades de aplicação e associações, permitindo a simulação do ambiente térmico urbano (BRUSE, 2022). O ENVI-Met® também apresenta a capacidade de estimar as condições do vento em

qualquer ponto do espaço do modelo ou nas fachadas dos edifícios, levando em conta continuamente os efeitos das condições térmicas, vegetação ou padrões climáticos no campo de fluxo. Isso é feito a partir do cálculo do vento tridimensional e da turbulência em condições complexas. O programa apresenta uma interface denominada Leonardo, que oferece uma ampla gama de opções de visualização, desde simples mapas em 2D até trajetórias de fluxo 3D.

O principal objetivo deste estudo é investigar a relação entre desenho urbano e microclima urbano em quatro áreas construídas com diferentes morfologias na cidade de Arapiraca, Alagoas. Além disso, esta pesquisa propôs analisar como a legislação de uso e ocupação do solo interfere no microclima e nas condições de conforto térmico do pedestre em uma fração urbana com tendência à verticalização, a fim de contribuir para que os fatores relativos à legislação urbanística sejam tratados de forma mais adequada ao clima. O estudo compara quatro cenários hipotéticos diferentes para uma mesma fração urbana, com diferentes padrões de ruas, cobertura da área construída, altura dos prédios e quantidade de vegetação.

## 2. Materiais e métodos

A metodologia do presente estudo está dividida nos seguintes procedimentos: seleção da área de estudo, descrição das condições climáticas locais, descrição dos parâmetros de simulação computacional no programa ENVI-Met® V4, detalhamento dos cenários propostos e dos procedimentos de avaliação do conforto térmico do pedestre e análise das variáveis ambientais.

### 2.1 Objeto de estudo

Arapiraca está localizada no interior do estado de Alagoas, na região nordeste do Brasil, a uma altitude de aproximadamente 280m; na latitude sul 9°75'25" e longitude oeste 36°60'11". Ocupa uma área de 356,179km<sup>2</sup>, com uma população estimada em 214.006 habitantes (IBGE, 2010). O clima predominante da cidade é o tropical de savana (As, segundo classificação de Köppen), com duas estações proeminentes, verão quente/seco e inverno quente/úmido, temperatura média anual de 24,6°C, índice pluviométrico médio de aproximadamente 890,0mm anual, umidade do ar média anual de 73,8% e ventos predominantes de leste, no verão, e sudeste, no inverno (SILVA, 2019).

A cidade possui 4 tipos morfológicos de tecido urbano, determinados por diferentes padrões de ocupação do solo urbano, com altitudes próximas e determinados pela uniformidade dos padrões construtivos. Dentre eles, o tecido Horizontal Disperso apresenta tendência à verticalização e densificação (com ocupação comercial e residencial), e pode ser encontrado nos bairros Nova Esperança, Alto do Cruzeiro, Novo Horizonte, em novos loteamentos do bairro Santa Esmeralda e em condomínios fechados como o Ouro Verde, no bairro Arnon de Melo (TORRES, 2017). Contudo, a legislação municipal que trata da ocupação e uso do solo urbano não foi revisada desde 2001, e nela não há qualquer parâmetro construtivo que regule

o crescimento vertical da cidade, apresentando somente as indicações dos recuos mínimos iniciais (CÓDIGO DE OBRAS E EDIFICAÇÕES, 2001).

A fim de estudar as possibilidades previstas na legislação de uso e ocupação do solo vigentes e seu impacto no microclima local e no conforto térmico do pedestre, foi selecionado uma fração urbana do tecido Horizontal Disperso, entre os bairros Novo Horizonte e Itapuã, região de baixa densidade e com possibilidades de adensamento e verticalização. A fração apresenta as seguintes características: lotes maiores, edificações com recuos maiores, presença de áreas verdes e algumas ruas ainda não são asfaltadas (Figura 1).

**Figura 1:** Fração urbana selecionada (destaque amarelo) do Tecido Horizontal Disperso.



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2022)

A área de estudo contempla um recorte de 340m x 300m (x e y), o que corresponde a 102.000m<sup>2</sup>, com orientação de 320°. A coleta de dados de campo foi feita a partir de visitas in loco e da base cartográfica digital, concedida pela Prefeitura. A fração urbana selecionada apresenta vias com largura média de 8,0m, os passeios possuem 1,5m de largura e os lotes apresentam recuo frontal de 3,0m, segundo o Código de Obras e Edificações de Arapiraca (2001), ver Figura 2. A fração apresenta um perímetro vegetado denominado Área Verde, com árvores de grande e médio porte; as duas vias principais são asfaltadas, enquanto as demais são de solo natural. Aproximadamente 90% dos telhados são cerâmicos, 10% de fibrocimento. Os passeios são de concreto e as superfícies verticais têm pinturas variadas.

**Figura 2:** Fração urbana selecionada (a) e vista da área de estudo (b).



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2022)

Não foi possível coletar dados das variáveis microclimática na área de estudo selecionada. Desse modo, os dados aqui utilizados foram coletados a partir da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) existente na cidade e, com base nas informações de temperatura do ar, níveis de precipitação e de radiação solar, o dia 01 de janeiro de 2017 foi selecionado como representativo de um dia quente e seco de verão.

Ao longo do dia selecionado, a temperatura do ar máxima registrada foi de 32,4°C às 15h, e mínima de 21,4°C às 6h, temperatura do ar média de 26,9°C, umidade relativa do ar média de 72,4%, com mínima de 41,4% às 15h e máxima de 94,6% às 6h. A velocidade do vento a 10m foi de 3m/s. A respeito da umidade específica do ar a 2500m, foi possível coletar os dados coletados da região mais próxima de Arapiraca, em Recife-PE, que correspondeu a 8.53 (g/kg)<sup>2</sup>, a partir do site do Dep. de Ciências Atmosféricas da Universidade de Wyoming, Estados Unidos.

A simulação no programa ENVI-Met® requer dois arquivos principais: um de configuração climática, que contém todos os valores de inicialização relativos às variáveis climáticas e seus respectivos horários; e o outro de configuração urbana, em que é modelada a área de estudo (incluindo localização dos edifícios, vegetação, solo e superfícies). As seções a seguir descrevem o processo.

## 2.2 Simulação Computacional

As simulações computacionais foram realizadas com base no uso do *software* ENVI-Met® V4. O programa ENVI-Met® é uma ferramenta desenvolvida para estudo e previsão do microclima urbano que simula as interações entre as superfícies urbanas, vegetação e atmosfera (BRUSE; FLEER, 1998). Os principais dados climáticos foram adotados do arquivo meteorológico local.

A análise foi feita durante um dia quente de verão para criar uma situação ambiental desafiadora, com a maior temperatura do ar combinada com alta umidade relativa. Os dados de entrada para simulação ENVI-Met® são mostrados no Quadro 1.

**Quadro 1:** Dados de entrada para simulação ENVI-Met®.

Informações	Dados	Informações	Dados
Data do Início da Simulação	01/01/2017	Área do Modelo Principal	x:170, y:150, z:20
Hora do Início da Simulação	21:00h	Nº de <i>nesting grids</i>	5
Total de Horas Simuladas	48h	Perfil do solo para <i>nesting grids</i>	solo A: 00, solo B: 00
Velocidade do vento a 10 m (m/s)	3m/s*	Tamanho do <i>grid</i>	dx: 2m, dy: 2m, dz: 2m
Rugosidade	0,1	método de geração de rede vertical	equidistante
Norte	320°	propriedades padrão de parede/telhado	Parede: C2 (concreto claro), telhado R1(cerâmico)
Latitude/ Longitude	-9.75/ -35.60	Fuso Horário de Referência	CET/ UTC-3
Referência ao Nível do Mar	264	Longitude de Referência	45

\* Dados do INMET para Arapiraca/AL (2022).

Fonte: Autores.

## 2.3 Cenários de estudo

Os materiais utilizados na modelagem da área de estudo e nos cenários propostos foram baseados nos materiais *default* do programa ENVI-Met® V4. Para aproximar a representação da área real, buscou-se no banco de dados padrão do modelo os tipos de vegetação que mais se assemelhavam à vegetação encontrada na fração urbana. As propostas para os cenários de estudo se basearam em aspectos da legislação urbanística que trata da ocupação e uso do solo: Código de Obras e Edificações de Arapiraca (2001), que prevê somente os recuos mínimos iniciais; e o Código de Urbanismo e Edificações da capital Maceió (2007), para extrair a fórmula do recuo progressivo para uma zona residencial (Quadro 2).


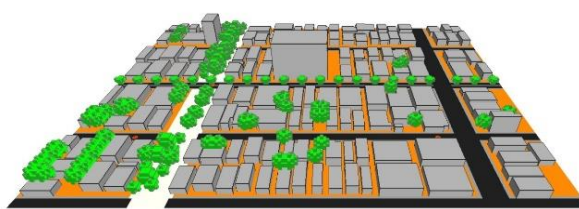
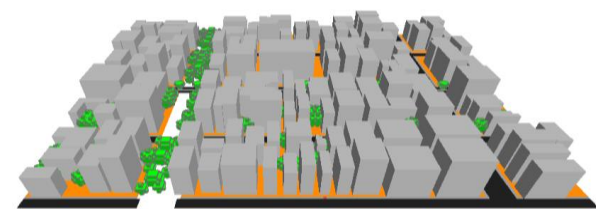
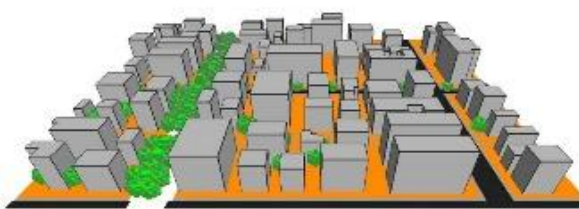
**Quadro 2:** Parâmetros construtivos do Código de Obras e Edificações de Arapiraca (2001) e do Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (2007).

Especificação	Dado	Legenda: Ri: recuo inicial n: n° de pavimentos
Recuo Mínimo Inicial Frontal	3,0m	
Recuo Mínimo Inicial Lateral com Abertura	1,5m	
Recuo Mínimo Inicial Posterior	1,5m	
Recuo Progressivo	$Ri + (n-2)/2$	

Fonte: Autores.

A fim de analisar a influência da morfologia nas variáveis térmicas ao ar livre, foram definidos quatro modelos computacionais, variando os seguintes parâmetros: Cenário I: modelagem do cenário urbano atual; Cenário II: modelagem com ocupação de todos os lotes de edificações térreas com uso do recuo mínimo inicial; Cenário III: modelagem com ocupação de todos os lotes de edificações verticalizadas com uso do recuo mínimo inicial; Cenário IV: modelagem com ocupação de todos os lotes de edificações verticalizadas com uso do recuo progressivo (Quadro 3).

**Quadro 3:** Mapas ENVI-Met® das áreas de estudo.

Cenário I	Cenário II
Modelagem do cenário urbano atual	Modelagem com ocupação de todos os lotes de edificações térreas com uso do recuo mínimo inicial
	
Cenário III	Cenário IV
Modelagem com ocupação de todos os lotes de edificações verticalizadas com uso do recuo mínimo inicial	Modelagem com ocupação de todos os lotes de edificações verticalizadas com uso do recuo progressivo
	

Fonte: Autores.

As edificações verticalizadas foram implantadas considerando o remembramento de até quatro lotes de 10x30m. Com relação as propriedades termodinâmicas dos materiais que constituem a superfície urbana, há cenários com vias de solo natural (I) e com solo asfaltado (II, III e IV). A orientação será igual nos cenários. Quanto à geometria urbana, a relação H/W varia entre 0,17 (cenários I e II); 1,76 (cenário III); e 1,2 (cenário IV). A presença de vegetação se diversifica entre: cenário conforme a realidade *in loco* (I), cenário com implantação de vegetação de médio e grande porte (II, III e IV), e todos os cenários apresentam uma via central com vegetação ao centro, diferentemente das demais.

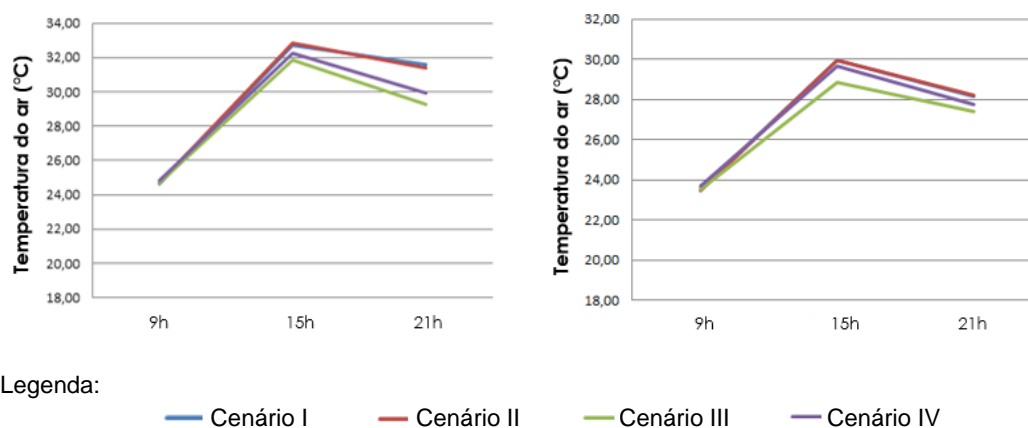
### 3. Análise dos resultados

A compreensão de como a morfologia urbana influencia diferentes parâmetros microclimáticos se deu com base na análise dos resultados do ambiente externo em termos de temperatura do ar e velocidade e direção dos ventos para conforto térmico ao ar livre. Todos os modelos foram simulados com base no dia mais quente do ano de referência, a simulação foi realizada assumindo o pior cenário durante um dia quente de verão com maior temperatura do ar e umidade relativa no começo de janeiro, criando um ambiente estressante desafiador.

#### 3.1 Temperatura do ar

A partir das simulações computacionais, por meio do *software* ENVI-Met®, foi possível extrair os dados de temperatura do ar máxima e mínima dos cenários nos horários de 9h, 15h e 21h, para análise da variação da temperatura do ar (Figura 3).

**Figura 3:** Gráficos de curva térmica - temperatura do ar máxima e mínima dos quatro cenários simulados.



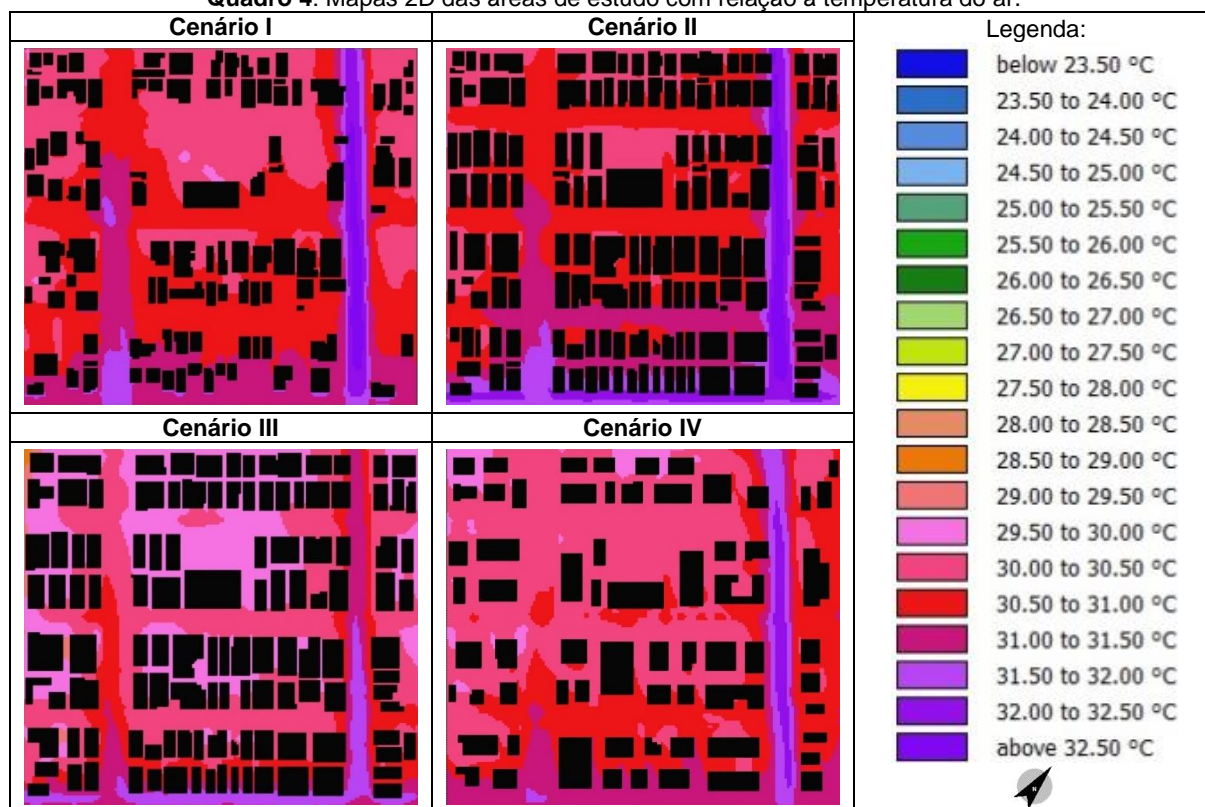
Fonte: Autores.

Pode-se verificar que os Cenários I e II apresentaram valores de temperatura do ar mais elevados no horário de aquecimento (às 15h), como mostra a Figura 1. Os Cenários III e IV apresentaram uma diferença de -1°C dos primeiros cenários, devido ao sombreamento gerado pelas edificações verticalizadas, o que diminui a carga térmica absorvida pela cidade, amenizando seu ganho de calor, contribuindo para o conforto térmico humano (ROCHA,

2009). O Cenário III apresentou os valores de temperatura do ar mais baixos, pois o uso do recuo mínimo inicial permite que a edificação ocupe uma maior área do lote, o que gera maiores áreas de sombra, se comparada ao cenário com uso do recuo progressivo.

Além dos dados acima, a interface Leonardo, vinculado ao *software* ENVI-Met®, também possibilitou identificar os pontos mais e menos aquecidos nos cenários simulados em corte a 1,4m do solo às 15h, subsidiando a compreensão dos fatores determinantes das condições climáticas locais. Os mapas 2D dos cenários apresentam a influência da morfologia urbana com relação à temperatura do ar (Quadro 4).

**Quadro 4:** Mapas 2D das áreas de estudo com relação à temperatura do ar.



Fonte: Autores.

No Cenário I, a variação de temperatura do ar às 15h, foi de 29,96 °C a 32,73°C. A disposição das edificações térreas permite um maior acesso solar, assim as superfícies abertas absorvem muito mais a radiação de ondas curtas e refletem a radiação de ondas mais longas, aumentando a temperatura do ar (DARBANI *et al.*, 2021). Com relação as propriedades termodinâmicas dos materiais, os valores máximos de temperatura se distribuem nas vias de direção noroeste-sudeste e nordeste-sudoeste, com presença de asfalto. A orientação da via, influencia consequentemente na parcela de radiação solar que penetra no espaço externo, provocando o acúmulo de calor. Em contrapartida, no perímetro com presença de vegetação ocorre uma diminuição da temperatura do ar em função do sombreamento gerado pela copa das árvores, além da presença de solo natural.



Às 15h, no Cenário II, a temperatura mínima foi de 29,94 °C e a máxima foi de 32,84°C. O modelo de morfologia urbana aberta ao céu, com edificações térreas contribui para condições térmicas mais estressantes, corroborando com os estudos de Yahia *et al.* (2017) e De e Mukherjee (2018). Os valores máximos de temperatura continuam distribuídos nas vias de direção noroeste-sudeste e nordeste-sudoeste, por conta da presença de asfalto. Vale ressaltar que a via de sentido sudeste-noroeste, à direita, apresenta altas temperaturas do ar, chegando aos 32,5°C, enquanto que a outra via, à esquerda, apresenta temperaturas do ar mais amenas. Isso porque na primeira há somente a presença do asfalto, enquanto na segunda via a cobertura ainda é natural e ainda há espaços com arborização no local (a Área Verde).

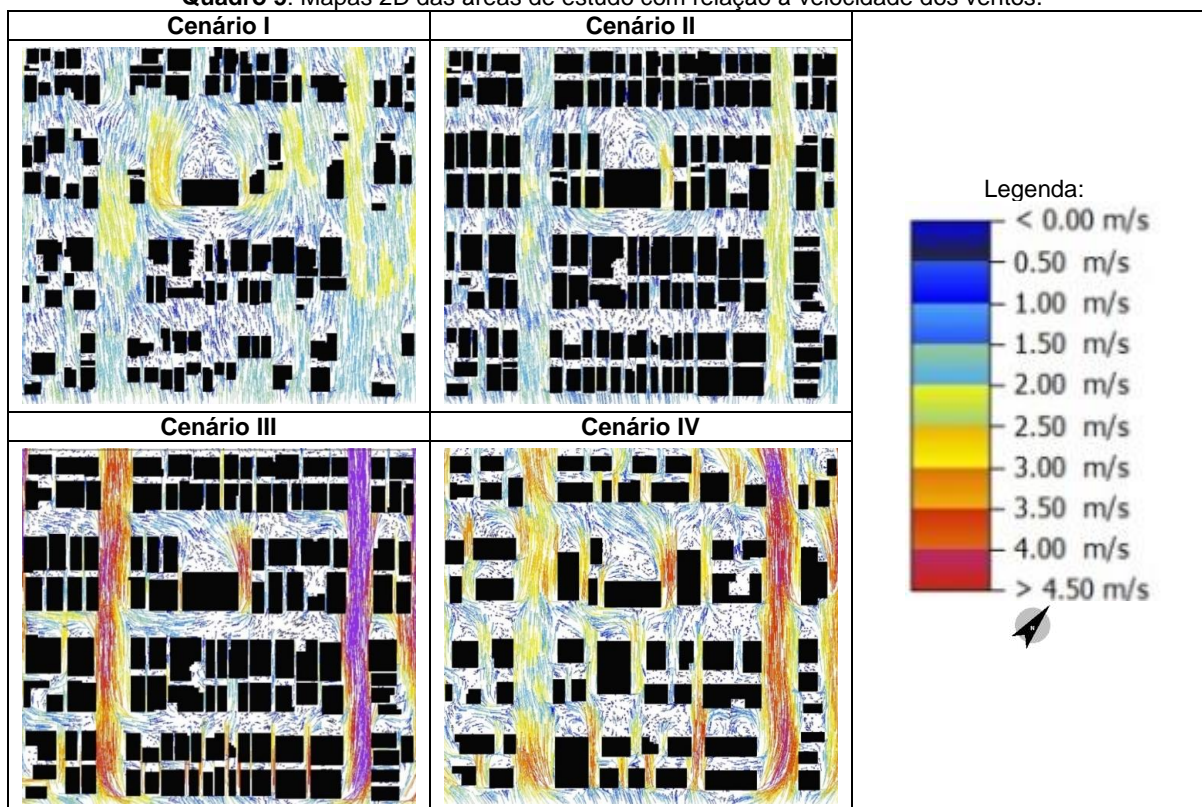
O Cenário III, às 15h, apresentou temperatura mínima de 28,86 °C e máxima de 31,88°C, dados menores que nos cenários anteriores, devido ao sombreamento causado pelas edificações verticalizadas, que ameniza o ganho de calor, diminuindo a temperatura do ar no ambiente e gerando melhores condições de conforto térmico ao ar livre. Esses resultados estão de acordo com Jamei *et al.* (2016) e Yıldıırım (2020) que demonstraram que os cânions mais profundos têm menor temperatura do ar em comparação aos rasos. As vias com revestimento asfáltico permanecem como pontos onde as temperaturas estão mais elevadas, principalmente na via sentido noroeste-sudeste. Foi possível observar que no interior das quadras, as temperaturas chegam a atingir 31,5°C, enquanto as quadras próximas a área verde apresentam temperaturas mais amenas, cerca de 29°C, evidenciando a importância da adoção de espaços verdes.

No Cenário IV, às 15h, a temperatura do ar máxima foi de 29,64 °C e a mínima de 32,23°C, valores menores que os Cenários I e II, mas ainda superior ao Cenário III. Isso se deve ao uso do recuo progressivo, que gerou uma relação H/W de 1,2, o que aumentou o acesso solar e diminuiu a área de sombra gerada pelas edificações. A respeito das propriedades termodinâmicas dos materiais, é possível observar que os maiores valores de temperatura do ar se concentram nos pontos caracterizados pelo revestimento do solo com presença de asfalto e concreto. O perímetro com cobertura de solo natural e presença de vegetação apresenta 30,5°C de temperatura do ar, o que corresponde a -2°C em comparação da via de mesmo sentido com cobertura de asfalto e sem vegetação, apresentando condições mais favoráveis ao conforto térmico. Assim, torna-se importante optar por revestimentos com melhor taxa de albedo e preservar os espaços com vegetação, de forma a garantir conforto térmico na malha urbana.

### 3.2 Velocidade dos ventos

Durante o tratamento dos dados de velocidade dos ventos, não foi possível perceber significativa diferença ao longo do dia, pois o vento se apresenta de maneira constante no programa. Assim, para análise dos mapas 2D dos modelos simulados foi considerado o horário que corresponde às 15h, por ser o período mais quente do dia, em cidade de clima tropical de savana (Quadro 5).

Quadro 5: Mapas 2D das áreas de estudo com relação à velocidade dos ventos.



Fonte: Autores.

No Cenário I, observa-se que nas vias de sentido noroeste-sudeste, paralela à direção predominante da ventilação natural, a velocidade dos ventos atingiu 3m/s, visto que a morfologia urbana da fração simulada apresenta baixa rugosidade por apresentar edificações térreas e diversos lotes vazios (OKE, 1996). À sotavento das edificações é possível visualizar diversas áreas com sombra de vento, e a velocidade dos ventos foi praticamente nula.

O Cenário II apresenta um padrão de comportamento dos ventos semelhantes, com algumas modificações, como: devido a ocupação de todos os lotes urbanos por edificações térreas, na via de sentido noroeste-sudeste, à direita, ocorre a canalização dos ventos, que gera o aumento da velocidade, contudo, ocasionando estagnação do ar no interior das quadras e nas vias orientadas para o eixo nordeste-sudeste. Houve, também uma significativa perda de velocidade nas áreas a sotavento, e a formação de áreas de estagnação de ar, devido ao uso do recuo mínimo inicial.

O Cenário III apresenta o pior desempenho quanto ao aproveitamento e permeabilidade dos ventos na estrutura urbana. A verticalização das edificações com uso do recuo mínimo inicial formou nas vias de sentido noroeste-sudeste verdadeiros canais de ventilação urbana, com velocidade superior a 4,5m/s, provocando estagnação do ar no interior das quadras e redução da velocidade dos ventos nas vias com orientação nordeste-sudoeste. Aqui, fica também evidente o efeito da vegetação na via de sentido noroeste-sudeste à esquerda.

A adoção do recuo progressivo nas edificações verticalizadas interfere diretamente na geometria do cânion urbano, que se conforma a partir da verticalização das edificações às margens das vias (NICHOLSON, 1975). O maior espaçamento entre as edificações gerou condições mais favoráveis para o desempenho da ventilação natural na fração urbana, resultado semelhante ao estudo de Ramyar *et al.* (2019). O efeito da canalização dos ventos nas vias de sentido nordeste-sudoeste diminuiu significativamente, e quanto à permeabilidade dos ventos no interior das quadras, houve menores zonas de sombra de vento. De e Mukherjee (2018) afirmaram que a maior velocidade do vento melhora o conforto térmico exterior, melhora a ventilação passiva dos edifícios e ajuda na dispersão de poluentes pela mistura do ar.

#### 4. Considerações finais

A fim de obter cidades resilientes e sustentáveis é imprescindível a aplicação dos princípios do urbanismo bioclimático no processo de planejamento urbano. Em regiões de clima tropical, a importância de analisar o impacto da morfologia urbana ao microclima se torna mais importante, devido as altas temperaturas e, por consequência, mais complexa.

A análise dos cenários simulados a partir de uma fração urbana da cidade de Arapiraca, que apresenta tendência à verticalização, possibilitou a compreensão de como a morfologia urbana pode interferir no microclima e no conforto térmico ao ar livre. As propriedades termodinâmicas dos materiais influenciaram diretamente na temperatura do ar, pois regulam os ganhos de calor, e com o aquecimento do ar, ocorre também alterações nos fenômenos de trocas térmicas (KRÜGER; GONZALEZ, 2016).

A orientação das vias, interfere na temperatura do ar, pelo acesso solar e a quantidade de horas de exposição à radiação solar direta; e na velocidade dos ventos, com relação a direção predominante dos ventos que determina o grau de permeabilidade da forma urbana e a velocidade dos ventos nas vias do traçado viário local. Nesse estudo, seria interessante a adição de como a orientação da ventilação perpendicular ao traçado viário influenciaria no desempenho do microclima.

A geometria urbana está diretamente ligada a formação das ilhas de calor urbano, pois o impacto da incidência de radiação solar próximo à superfície urbana é proporcional à relação H/W (ROMERO, 2001). A relação H/W também apresentou influência na temperatura do ar, devido ao sombreamento gerado pelas edificações verticalizadas, assim como o grau de permeabilidade dos ventos. Em realidade de clima semiárido, ficou claro que na hierarquia das estratégias bioclimáticas locais, o sombreamento tem maior impacto no microclima e no conforto térmico ao ar livre, o que corrobora com o estudo de Yahia *et al.* (2017). Contudo, torna-se importante o aprofundamento do presente estudo a fim de equilibrar a aplicação das duas estratégias: sombreamento e ventilação natural.

Nesse sentido, a vegetação surge como elemento atenuante das altas temperaturas, por apresentar condições mais favoráveis quanto às propriedades termodinâmicas, como também pode oferecer sombreamento ao nível do pedestre sem interferir significativamente na

permeabilidade dos ventos. Assim, destaca-se a importância do estudo do microclima urbano com relação à morfologia das cidades, a fim de gerar qualidade de vida para seus habitantes.

Com bases nos resultados apresentados indica-se, para trabalhos futuros, a realização de análises complementares de possíveis fenômenos urbanos como as ilhas de calor, uma vez que a morfologia de parte dos cenários tende a promover a formação desse processo de aquecimento noturno em ambientes urbanos.

### Referências:

ALCHAPAR, N. L.; PEZZUTO, C. C.; CORREA, E. N. Parámetros urbanos morfo-materiales y su correlación con las temperaturas de aire en verano. **Ambiente Construído**, v. 18, n 4, pp. 199-213, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000400301>

ARAPIRACA. **Lei Municipal nº 2.220/2001**. Institui Código de Obras e Edificações no Município de Arapiraca e dá outras Providências. Disponível em: <http://www.arapiraca.al.gov.br>

BRUSE, M. **ENVI-Met Website**, 2022. <http://www.ENVI-Met.com>

BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling & Software**, v. 13, pp. 373-384, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(98\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5)

DAVTALAB, J.; DEYHIMI, S.P.; DESSI, V.; HAFEZI, M.R.; ADIB, M. The impact of green space structure on physiological equivalent temperature index in open space. **Urban Climate**, n. 31, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100574>

DARBANI, E. S.; PARAPARI, D. M.; BOLAND, J.; SHARIFI, E. Impacts of urban form and urban heat island on the outdoor thermal comfort: a pilot study on Mashhad. **International Journal of Biometeorology**, n. 65, pp. 1101–1117, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02091-3>

DE, B.; MUKHERJEE, M. Optimisation of canyon orientation and aspect ratio in warm-humid climate: Case of Rajarhat Newtown, India. **Urban Climate**, n. 24, pp. 887–920, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.11.003>

HIGUERAS, E. **Urbanismo Bioclimático**: Criterios medioambientales en la ordenación de asentamientos. **Cuadernos de Investigación Urbanística**, 1998. Instituto Juan de Herrera.

IBGE. (2010). **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Alagoas. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/panorama>

JAMEI, E.; RAJAGOPALAN, P.; SEYEDMAHMOUDIAN, M.; JAMEI, Y. Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. **Energy Rev.**, n. 54, pp. 1002–1017, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115011831>

- JAUREGUI, E.; ROMALES, E. Urban effects on convective precipitation in Mexico City. **Atmos. Environ.**, n. 30, pp. 3383–3389, 1996. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/1352-2310\(96\)00041-6](http://dx.doi.org/10.1016/1352-2310(96)00041-6)
- NICHOLSON, S. E. A pollution model for street level air. **Atmospheric Environment**, v. 9, n. 1, p. 19-31, 1975.
- OKE, T. R. The urban energy balance. **Progress in Physical Geography**, Vol. 2(4), 1988, pp. 471- 508.
- OKE, T. R. **Boundary layer climates**. (2ª ed.), 1996. Routledge.
- ONU. **Organização das Nações Unidas**. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>
- RAMYAR, R.; RAMYAR, A.; KIALASHAKI, Y.; BRYANT, M.; RAMYAR, H. Exploring reconfiguration scenarios of high-density urban neighborhoods on urban temperature-The case of Tehran (Iran). **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 44, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126398>
- ROCHA, J. P. Uso de SIG no estudo das correlações entre atributos da morfologia urbana e o clima local: a formação de ilhas de calor no Bairro de Manaíra. **Relatório Final**, PIBITI/CNPq. IFPB, 2009.
- ROSENFELD, A. H.; AKBARI, H.; BRETZ, S.; FISHMAN, B.L.; KURN, D.M.; SAILOR, D.J.; TAHA, H. Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. **Energ. Build.**, n. 22, pp. 255–265, 1995. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788\(95\)00927-P](http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788(95)00927-P)
- RUI, L.; BUCCOLIERI, R.; GAO, Z.; GATTO, E.; DING, W. Study of the effect of green quantity and structure on thermal comfort and air quality in anurban-like residential district by ENVI-Met modelling. **Build Simul.**, v. 12, n. 2, pp. 183–194, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12273-018-0498-9>
- SHINZATO, P.; DUARTE, D. H. S. Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 2, p. 197215, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000200250>
- SILVA, M. F. da. **Estratégias bioclimáticas para seis cidades alagoanas**: contribuições para a adequação da arquitetura ao clima local. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Alagoas]. Repositório Institucional da UFAL, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/5791>
- TORK, L. D.; TIBIRIÇÁ, A. C. G.; TIBIRIÇÁ, Á. M. B. Análise da ventilação natural conforme planos diretores: resultados de pesquisa em Belém, PA. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 329-351, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100138>

TORRES, S. C. **Forma e Conforto**: estratégias para (re)pensar o adensamento construtivo urbano a partir dos parâmetros urbanísticos integrados à abordagem bioclimática. [Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco]. Repositório Digital da UFPE, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/22459>

VASILIKOU, C.; NIKOLOPOULOU, M. Outdoor thermal comfort for pedestrians in movement: thermal walks in complex urban morphology. **Int J Biometeorol** (Special Issue: Subjective approaches to thermal perception), v.1-15, n. 64, pp. 277–291, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01782-2>

XU, M.; HONG, B.; MI, J.; YAN, S. Outdoor thermal comfort in an urbanpark during winter in cold regions of China. **Sustain Cities Soc.**, v. 43, pp. 208–220, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.034>

YAHIA, M.W.; JOHANSSON, E.; THORSSON, S.; LINDBERG, F.; RASMUSSEN, M.I. Effect of urban design on microclimate and thermal comfort out-doors in warm-humid Dar es Salaam, Tanzania. **Int J Biometeorol**, n. 62, pp. 373–385, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1380-7>

YANG, S.-R.; LIN, T.-P. An integrated outdoor spaces design procedure to relieve heat stress in hot and humid regions. **Building and Environment**, n. 99, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.01.001>

YILDIRIM, M. Shading in the outdoor environments of climate-friendly hot and dry historical streets: the passage ways of Sanliurfa, Turkey. **Environ Impact Assess Rev.**, n. 80, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.106318>