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

Estudo sobre a influência dos parâmetros de geometria urbana e cobertura de solo no desempenho de zonas climáticas locais da cidade de Arapiraca-AL

Estudio sobre la Influencia de Parámetros de Geometría Urbana y Cobertura del Suelo en el Desempeño de Zonas Climáticas Locales en la Ciudad de Arapiraca, Brasil

Study on the Influence of Urban Geometry Parameters and Land Cover on the Performance of Local Climate Zones in the City of Arapiraca, Brazil

Clima e Planejamento Urbano / *Clima y Planificación Urbana / Climate and Urban Planning*

Farias, Mateus
Graduando em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, Brasil
matheus.farias@arapiraca.ufal.br

Santos, Débora
Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, Brasil,
debora.mikaelly@arapiraca.ufal.br

Vasconcelos, Dayany Barreto
Mestre, Universidade Federal de Pernambuco, Maceió, Brasil, vasconcelosdb@gmail.com

Lima, Marcos
Arquiteto e Urbanista, Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, Brasil,
tonioma13@gmail.com

Barbosa, Maria Cleisyane
Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, Brasil,
maria.cleisyane@arapiraca.ufal.br maria.cleisyane@arapiraca.ufal.br

Torres, Simone
Universidade Federal de Alagoas. Curso de Arquitetura e Urbanismo, Campus Arapiraca,
Arapiraca, Brasil, simone.torres@arapiraca.ufal.br

Resumo

Este trabalho apresenta como objetivo principal avaliar a influência de parâmetros de geometria urbana e cobertura de solo no desempenho de *zonas climáticas locais* da cidade de Arapiraca-AL, situada na região agreste do nordeste brasileiro. Foi realizada a seleção de *Zonas Climáticas Locais* e quantificação de parâmetros determinantes da geometria urbana e cobertura de solo como densidade construtiva, fator de visão de céu, altura média das construções, taxa de ocupação e taxa de solo natural. O estudo contemplou o monitoramento microclimático das ZCLs para análise de correlação entre os parâmetros urbanísticos quantificados e o seu desempenho climático. O tecido urbano classificado como *ZCL 3 – Maciço de edifícios baixos* apresentou forte tendência de aquecimento tanto do período diurno como também no noturno, sendo constatadas diferenças acima de 2°C em relação às demais zonas climáticas investigadas. Espera-se contribuir para o entendimento das diretrizes de adequação ambiental urbana, fundamentada nos princípios do urbanismo bioclimático.

Palavras-chave: Geometria urbana. Nordeste brasileiro. Zonas Climáticas locais. Monitoramento

Resumen

Este estudio tiene como objetivo evaluar la influencia de los parámetros de geometría urbana y cobertura del suelo en el desempeño de las zonas climáticas locales (ZCL) de Arapiraca-AL, ubicada en la región semiárida del noreste de Brasil. La investigación incluyó la selección de ZCL y la cuantificación de parámetros clave, como la densidad edificatoria, el factor de visión del cielo (FVC), la altura media de las edificaciones, la tasa de ocupación del suelo y la cobertura de suelo natural. El estudio incluyó el monitoreo microclimático de las ZCL para analizar la correlación entre los parámetros urbanos cuantificados y su desempeño climático. El tejido urbano clasificado como ZCL 3 – Macizo de edificios bajos presentó una fuerte tendencia al calentamiento tanto durante el día como durante la noche, observándose diferencias de más de 2°C con relación a las demás zonas climáticas investigadas. Este estudio busca contribuir al entendimiento de directrices para la adaptación ambiental urbana, fundamentadas en los principios del urbanismo bioclimático.

Palabras clave: Geometría urbana. Nordeste de Brasil. Zonas Climáticas Locales. Monitoreo.

Abstract

This study aims to assess the influence of urban geometry and land cover parameters on the performance of local climate zones (LCZs) in Arapiraca-AL, located in the semi-arid region of northeastern Brazil. The research involved the selection of LCZs and the quantification of key urban geometry and land cover parameters, such as building density, sky view factor (SVF), average building height, land occupation rate, and natural soil coverage. The study included microclimate monitoring of the ZCLs to analyze the correlation between the quantified urban parameters and their climate performance. The urban fabric classified as ZCL 3 – Massif of low-rise buildings showed a strong tendency to warm both during the day and at night, with differences of over 2°C being observed in relation to the other climate zones investigated. This study seeks to contribute to the understanding of urban environmental adaptation guidelines, grounded in the principles of bioclimatic urbanism.

Keywords: Urban geometry. Northeastern Brazil. Local Climate Zones. Monitoring.

1 Introdução

De acordo com o 6º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) as interações que ocorrem no processo de mudança da forma urbana podem gerar riscos e perdas induzidas pelas mudanças climáticas nas cidades (IPCC, 2022). Neste sentido, destacam-se oportunidades para promover um desenvolvimento resiliente ao clima por meio do planejamento urbano integrado a fim de propiciar uma maior capacidade adaptativa de assentamentos urbanos e rurais**.**

Os processos aerodinâmicos, térmicos, radiativos e hidrológicos característicos de ambientes naturais são alterados através de modificações da morfologia urbana, introdução de superfícies artificiais, redução na cobertura vegetal e emissão de poluentes urbanos. Como consequência, as cidades experimentam temperaturas elevadas e têm um regime térmico diferente das zonas rurais circundantes, como por exemplo o fenômeno de Ilha de Calor Urbana (ICU) (MiddeL *et al.*, 2014).

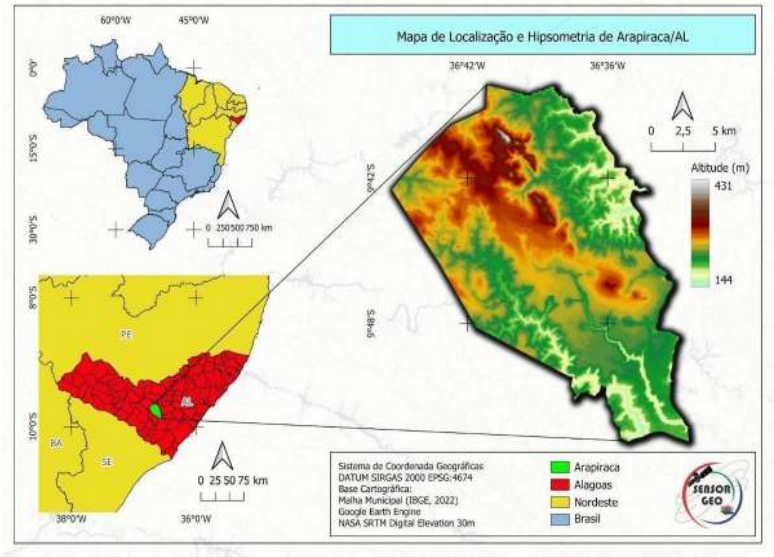
As mudanças climáticas podem colocar em risco a saúde humana, afetando o bem-estar e a produtividade da população urbana, provocando desconforto térmico humano dentro e fora das edificações, induzindo ao aumento do uso de sistemas de climatização artificial para resfriamento e refrigeração nos edifícios, além de interferir nas formas de apropriação dos espaços livres públicos e na vitalidade urbana (Ferreira; Pereira; Labaki, 2021)

Stewart e Oke (2012) adotaram um sistema de classificação de tecidos urbanos com base na análise da geometria urbana e na cobertura do solo fundamentado na identificação de Zonas Climáticas Locais (ZCL) propondo a criação de um padrão para análise de estudos do clima urbano, permitindo a comparação entre o desempenho climático destas zonas. A metodologia tem sido adotada em estudos recentes (Fernandes; Masiero, 2020; Ferreira; Pereira; Labaki, 2021) e tem se mostrado eficiente para explicar as variações térmicas em diferentes configurações urbanas. As investigações a partir da identificação das ZCLs podem propiciar a sistematização de informações sobre o padrão de adequação de conjuntos edificados urbanos a partir da análise comparativa e correlacionada com os parâmetros de geometria e ocupação de solo urbano.

Portanto, é necessária a adoção de medidas integradas em relação à resiliência climática, subsidiando os processos de decisão na gestão urbana para o desenvolvimento de um novo ambiente construído considerando a adaptação do desenho urbano, das infraestruturas e da utilização dos solos existentes

A cidade de Arapiraca-AL (Figura 1), que constitui o estudo de caso da presente pesquisa, tem vivenciado um intenso processo de urbanização. Segundo análises de Vasconcelos *et al.* (2024), nos últimos 35 anos a área não-vegetada na cidade aumentou 313,2% enquanto os espaços destinados à agricultura diminuíram 15,50%, impactando negativamente as condições climáticas locais. Os autores também destacam que apesar do grande crescimento, o município não segue ou adota nenhum tipo de planejamento.

Figura 1: Localização da cidade de Arapiraca, localizada no Agreste Alagoano, mesorregião do Estado de Alagoas, Nordeste Brasileiro. Na imagem, o perímetro urbano não foi separado da sua zona rural.



Fonte: Vasconcelos *et al.* (2024).

Apesar de ter aprovado o Plano Diretor em 2006 (Arapiraca, 2006), o município ainda não realizou a revisão e criação dos instrumentos jurídicos articulados aos objetivos do plano. Devido à ausência de definição dos parâmetros urbanísticos de ocupação do solo, a cidade vivencia hoje uma situação de vulnerabilidade quanto aos impactos climáticos decorrentes dos padrões construtivos urbanos predominantes (Torres, 2017). A partir do estudo de Zonas Climáticas Locais em Arapiraca, espera-se contribuir para o entendimento das diretrizes de adequação ambiental de conjuntos edificados urbanos, fundamentadas nos princípios da bioclimatologia e na mitigação dos efeitos negativos relacionados com as mudanças climáticas.

2 Objetivos

O objetivo da pesquisa foi avaliar a influência de parâmetros de geometria urbana e cobertura de solo no desempenho de *zonas climáticas locais* da cidade de Arapiraca-AL, situada na região agreste do nordeste brasileiro.

3 Metodologia

3.1 Identificação, caracterização e classificação de Zonas Climáticas Locais

O município de Arapiraca localiza-se na mesorregião do Agreste Alagoano, na área central do estado, entre a latitude 9°75'25'' sul e longitude 36°60'11'' oeste. A população é de 234.696 habitantes e densidade demográfica de 678,99 hab/km² (IBGE, 2022). Possui dois períodos climáticos bem definidos: período quente e seco (primavera e verão) e período quente e úmido (outono e inverno). Os meses de abril a setembro são caracterizados pelo registro de temperaturas do ar amenas (valores médios mensais abaixo de 25°C e mínimas absolutas de aproximadamente 17°C), umidade relativa do ar alta (valores médios mensais acima de 85%). De outubro a março os valores médios mensais de temperatura do ar apresentam-se acima de 25°C, podendo alcançar valores máximos absolutos acima de 36°C, associado a baixa umidade relativa do ar (valores médios mensais abaixo de 80% e valores mínimos absolutos abaixo de 40%) (Torres, 2017; Silva 2019).

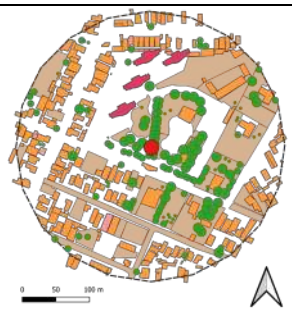
Foram identificadas e selecionadas Zonas Climáticas Locais representativas da cidade de Arapiraca-AL correspondentes a tecidos urbanos determinados por diferentes padrões morfológicos e de densidade construtiva urbana. Estes tecidos selecionados foram analisados a partir da delimitação de uma área correspondente a um raio de 200 m considerando a homogeneidade do padrão de geometria urbana e recobrimento de solo conforme metodologia de Stewart e Oke (2012). Esta metodologia apresenta uma classificação de paisagens urbanas e rurais em 17 classes, das quais 10 estão relacionadas aos tipos morfológicos de tecidos urbanos. Em relação aos parâmetros relacionados com a geometria destacam-se os seguintes: fator de visão do céu, taxa de ocupação do solo, relação entre altura das edificações e largura das vias (H/W - prospecto médio), taxa de solo permeável, taxa de solo impermeável, verticalidade da estrutura urbana e o padrão de rugosidade urbana-variação de altura e espaçamento dos elementos construídos.

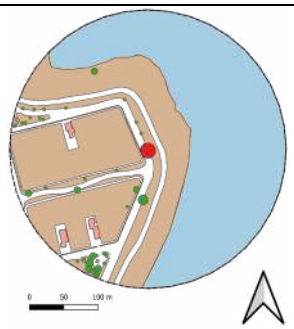
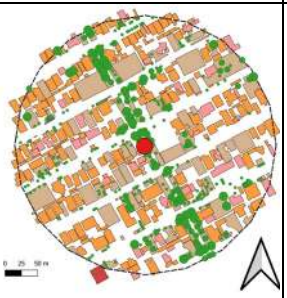
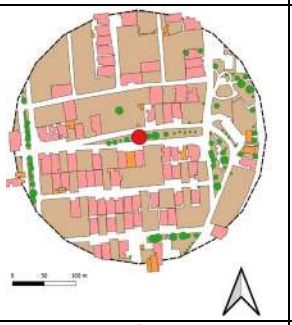
Porém, como o sítio urbano da cidade possui ocupação relativamente recente, apresenta ainda muitos vazios urbanos e áreas cujo padrão morfológico pode variar neste recorte espacial, principalmente nos tecidos caracterizados por elementos arquitetônicos verticalizados (padrão vertical médio e alto, ver Tabela 1).

A quantificação de parâmetros determinantes da geometria urbana e cobertura de solo das ZCLs selecionadas foi efetuada através do software *QGis 3.30,* um sistema de informação geográfica (SIG), adotando-se os conceitos dos parâmetros urbanos descritos por Torres (2017). Dados para quantificação dos parâmetros como taxa de solo natural e índice de densidade arbórea foram coletados a partir de visitas técnicas *in loco* para identificação de materiais de recobrimento de solo. No presente estudo, foi adotado o método de

identificação do Fator de Visão de Céu (FVC) em ponto coincidente ao local de instalação do equipamento de monitoramento microclimático (procedimento descrito na subseção 3.2, a partir das análises de fotos olho de peixe inseridas no programa RayMan . O valor do FVC pode variar de 0 (zero) a 1, sendo o valor 1 correspondente a uma área sem qualquer obstáculo entre o ponto escolhido e o céu (Minella; Rossi; Krüger, 2011). A quantificação do prospecto foi baseada na relação da altura média ponderada pela largura média das vias e o índice de densidade arbórea foi definido considerando o número de árvores existentes em cada 100m².

Tabela 1: Caracterização das ZCLs selecionadas – e resultado da quantificação dos parâmetros de geometria e cobertura do solo urbano

Classificação ZCL	1-Residensial Espace		Fator de Visão do Céu:0,301
 **ZCL 4 – Espaço aberto com edifícios altos**	**Parâmetros de Geometria Urbana** Densidade construtiva: 0,48 Altura média das construções:5,95m Prospecto médio:0,688 **Parâmetros de cobertura de Solo** Taxa de ocupação do solo: 21,11% Taxa de solo natural: 31,21% Índice de densidade arbórea: 0,14 Área de corpos d'água: 0m²		
 **ZCL 5 – Espaço aberto com edifícios médios**	**2 – Residencial Jardim Europa** **Parâmetros de Geometria Urbana** Densidade construtiva:0,29 Altura média das construções:9,72m Prospecto médio:2,47 **Parâmetros de cobertura de Solo** Taxa de ocupação do solo: 9,07% Taxa de solo natural: 69,41% Índice de densidade arbórea: 0,14 Área de corpos d'água: 0m²		Fator de Visão do Céu:0,529 
 **ZCL 3 – Maciço de edifícios baixos**	**3 -Centro – Rua do Sol** **Parâmetros de Geometria Urbana** Densidade construtiva: 1,09 Altura média das construções: 3,00 m Prospecto médio: 0,42 **Parâmetros de cobertura de Solo** Taxa de ocupação do solo: 73,24% Taxa de solo natural: 0,008% Índice de densidade arbórea: 0,031 Área de corpos d'água: 0m²		Fator de Visão do Céu:0.495 
	4- Residencial Reserva do Perucaba **Parâmetros de Geometria Urbana** Densidade construtiva:0,01 Altura média das construções:5,83m Prospecto médio: 0,10 **Parâmetros de cobertura de Solo**		Fator de Visão do Céu:0.857

 **ZCL 9 – Escassamente Construído**	Taxa de ocupação do solo: 0,56% Taxa de solo natural: 40,27% Índice de densidade arbórea: 0,027 Área de corpos d'água: 5.9012,71m²		
 **ZCL 6 – Espaço Aberto com Edifícios Baixos**	**5- Corredor Verde Dom Constantino** **Parâmetros de Geometria Urbana** Densidade construtiva: 0,48 Altura média das construções: 5,95m Prospecto médio: 0,688 **Parâmetros de cobertura de Solo** Taxa de ocupação do solo: 28,9% Taxa de solo natural: 0,23% Índice de densidade arbórea: 0,28 Área de corpos d'água: 0m²		**Fator de Visão do Céu:0.137** 
 **ZCL 6 – Espaço Aberto com Edifícios Baixos**	**6- Residencial Sierra** **Parâmetros de Geometria Urbana** Densidade construtiva: 0,43 Altura média das construções: 1,73m Prospecto médio: 1,33 **Parâmetros de cobertura de Solo** Taxa de ocupação do solo: 22,12% Taxa de solo natural: 49,90 Índice de densidade arbórea: 0,073 Área de corpos d'água: 0m²		**Fator de Visão do Céu:0.702** 
 **ZCL 6 – Espaço Aberto com Edifícios Baixos**	**7- Campus UFAL Arapiraca** **Parâmetros de Geometria Urbana** Densidade construtiva: 0,20 Altura média das construções: 3,62m Prospecto médio: 0,26 **Parâmetros de cobertura de Solo** Taxa de ocupação do solo: 16,82% Taxa de solo natural: 54,84% Índice de densidade arbórea: 0,25 Área de corpos d'água: 0m²		**Fator de Visão do Céu:0.324** 
Legenda:	Unidade arbórea Pequeno porte Médio porte Grande porte	Edificações: 1 pavimento 2 pavimentos 4 pavimentos 17 pavimentos Ponto de medição	Área de corpos d'água Solo natural

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

3.2 Monitoramento microclimático

Foi realizado o monitoramento de temperatura do ar e umidade relativa do ar, em espaços livres presentes nas Zonas Climáticas Locais selecionadas. A coleta de dados horários foi

efetuada através de *data-loggers* da ONSET do tipo HOBO Pro v2 (referência U23-001) que é um coletor de dados para ambientes externos à prova d'água. durante o período *quente e seco*, segundo a caracterização climática de Arapiraca (Torres, 2017, Silva, 2019), entre 09 de fevereiro/2024 a 07 de março/2024 (Figura 2).

Figura 2: Equipamentos de monitoramento microclimático instalados nas diferentes ZCLs selecionadas: a) No Corredor Verde Dom Constantino Luers, b) No Residencial Sierra e c) no Residencial Espace.

a)  b)  c) 

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

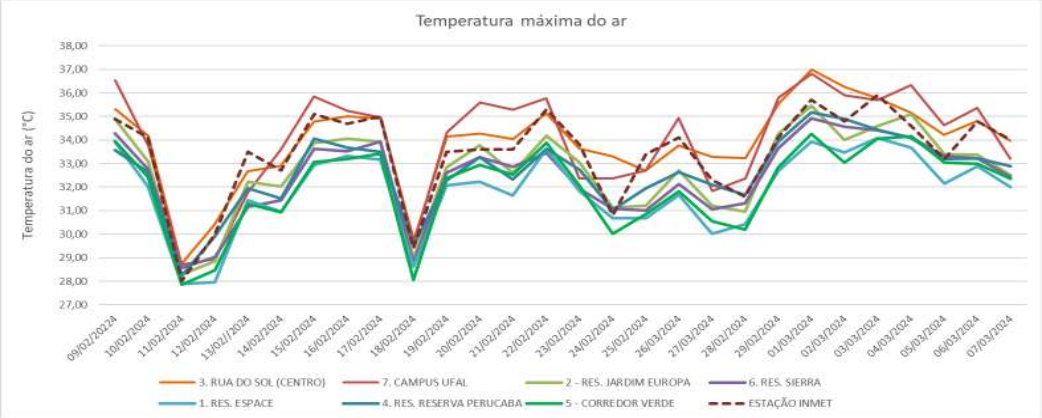
Os equipamentos foram programados para registro horário dos dados climáticos, sendo posicionados no interior de dispositivos de proteção contra radiação solar direta e refletida (referência RS1- ONSET) e fixados à sombra, em postes de iluminação, a 2,30m de altura. Os dias de alta nebulosidade e de ocorrência de precipitação foram descartados na análise conforme dados climáticos registrados na estação automática do INMET (A353). Este monitoramento teve como objetivo confirmar as tendências de diferenciação do desempenho microclimático em diferentes Zonas Climáticas Locais de Arapiraca-AL. Foi realizado ainda um estudo preliminar de correlação linear adotando-se como variáveis dependentes os dados de temperatura máxima do ar. As variáveis independentes corresponderam aos parâmetros quantificados para a caracterização da geometria e cobertura do solo das ZCLs selecionadas.

4 RESULTADOS

4.1 Análise de desempenho climático das Zonas Climáticas Locais

A análise de desempenho climático apontou que Zonas Climáticas Locais determinadas pelo mesmo padrão construtivo, como os tecidos classificados como ZCL6 - *Espaço aberto com edifícios baixos*, apresentaram desempenho climático diferenciados, indicando a influência dos parâmetros de revestimento de solo e presença de corpos d'água (Figura 3).

Figura 3: Gráfico referente ao comportamento da temperatura máxima do ar registrada nas Zonas Climáticas Locais selecionadas durante o período de monitoramento – 09/02/2024 a 07/03/2024.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O tecido 3 classificado como ZCL 3 - *maciço de edifícios baixos* (Centro- Rua do Sol) apresentou maior aquecimento no período diurno, sendo registradas diferenciações acima de 2,0 °C em relação às demais ZCLs investigadas, considerando os dados de temperatura máxima do ar coletados no monitoramento microclimático durante período quente e seco (Tabela 2, Figura 3 e 4). Este desempenho pode ser explicado pela concentração de estrutura edificadas com elevada taxa de ocupação do solo urbano e baixa taxa de solo natural combinada com a escassez ou pouca presença de estratégias de adequação climática, resultando no aquecimento urbano principalmente no período diurno, sendo a diferenciação térmica também identificada no período noturno (Figura 4).

Tabela 2: Dados de temperatura máxima do ar registrados nos dias representativos do monitoramento microclimático e diferenciação térmica em relação ao tecido 1 (Res. Espace – ZCL 4 - Espaço aberto com edifícios altos).

DATA	1 Res. Espace (ZCL 4)	2 Resi J. Europa (ZCL 5)	Diferença entre 1 e 2	3 Rua do Sol Centro (ZCL 3)	Diferença entre 1 e 3	4 Res. R. Perucaba (ZCL 9)	Diferença entre 1 e 4	5 C. Verde (ZCL 6)	Diferença entre 1 e 5	6 Res. Sierra (ZCL 6)	Diferença entre 1 e 6	7 Campus UFAL (ZCL 6)	Diferença entre 1 e 7
09/02/24	33,94	34,89	0,95	35,32	1,38	33,57	-0,37	33,97	0,03	34,28	0,34	36,53	2,59
10/02/24	32,02	33,11	1,08	34,18	2,16	32,64	0,62	32,43	0,41	32,77	0,75	33,76	1,74
17/02/24	33,16	33,94	0,78	34,92	1,76	33,50	0,34	33,42	0,26	33,94	0,78	34,97	1,81
19/02/24	32,07	32,85	0,77	34,15	2,08	32,28	0,20	32,38	0,31	32,61	0,54	34,33	2,26
20/02/24	32,23	33,78	1,56	34,28	2,05	33,26	1,03	32,95	0,72	33,26	1,03	35,58	3,36
22/02/24	33,63	34,18	0,55	35,13	1,50	33,63	0,00	33,89	0,26	33,44	-0,18	35,77	2,14
26/02/24	31,66	32,72	1,05	33,76	2,09	32,64	0,98	31,82	0,15	32,12	0,46	34,94	3,28
04/03/24	33,68	35,10	1,42	35,16	1,48	34,07	0,39	34,15	0,47	34,10	0,42	36,34	2,66
06/03/24	32,90	33,37	0,47	34,81	1,91	33,21	0,31	33,00	0,10	33,21	0,31	35,37	2,47
07/03/24	32,00	32,51	0,51	33,97	1,97	32,90	0,90	32,36	0,36	32,43	0,44	33,21	1,21

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

De acordo com estudos realizados para a cidade de Arapiraca, as principais estratégias bioclimáticas aplicáveis ao desenho urbano são: sombreamento, ventilação natural e resfriamento evaporativo (esta última indicada principalmente para o período quente e seco) (Torres, 2017). Portanto, neste estudo foram observadas as características morfológicas e de revestimento de solo que podem favorecer a aplicação destas estratégias como altura das construções (verticalização como fator positivo para sombreamento), a taxa de ocupação de solo (pode influenciar na maior ou menor permeabilidade aos ventos predominantes) e o índice de densidade arbórea (a vegetação urbana pode favorecer o resfriamento evaporativo).

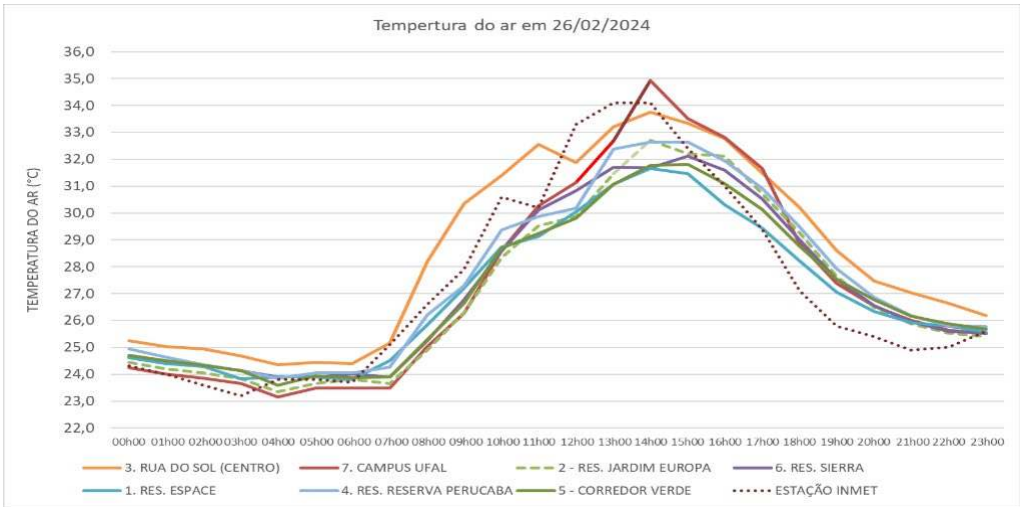
Foram selecionados 10 dias representativos para avaliação quanto às diferenciações no desempenho microclimático dos recintos urbanos monitorados em cada Zona Climática Local investigada. Na Tabela 2, estão apresentados os valores de temperatura do ar máxima registrados nos pontos de monitoramento nos dias representativos, como também, estão especificados os valores de diferenciação térmica em relação ao recinto 1, Residencial Espace (*ZCL 4 – Espaço aberto com edifícios altos*), pois este apresentou os menores valores de temperatura máxima do ar na maioria dos dias de coleta de dados. Este desempenho do tecido 1 (ZCL 4) indica uma tendência de amenização climática no período diurno determinada possivelmente pelo potencial de sombreamento das estruturas edificadas verticalizadas (acima de 15 pavimentos), associado à baixa taxa de ocupação de solo e pela presença de elementos arbóreos. Os tecidos classificados como ZCL 6 -*Espaço aberto com edifícios baixos* como o tecido *5* (Corredor Verde) e tecido 6 (Residencial Sierra) apresentaram desempenho equivalente ao tecido 1 (ZCL 4 – Espaço aberto com edifícios altos) sendo este desempenho atribuído à presença de vegetação impactando no sombreamento (no tecido 5: Fator de Visão do Céu:0.137, Índice de densidade arbórea: 0,28) e no caso do tecido 6 (Residencial Sierra), a taxa de solo natural (49,9%) e o entorno não urbanizado favorecem o aproveitamento dos ventos predominantes locais. Ou seja, aspectos que poderiam ter impactos negativos no desempenho climático diurno associado ao padrão morfológico da classificação ZCL 6 como maior exposição à radiação solar no período diurno (Fator de Visão de Céu alto, como detectado no tecido 6- Residencial Sierra), podem ser amenizados considerando o potencial de amenização climática obtido a partir da permeabilidade aos ventos (baixa taxa de ocupação de solo) e pela presença de arborização para o alcance de sombreamento e resfriamento evaporativo.

Porém, o estudo revelou que estas características de uso de solo e de geometria urbana podem não ser suficientes explicar o desempenho na escala microclimática visto que o tecido 7 (localizado no Campus UFAL Arapiraca), também classificado como ZCL 6, apresentou elevado aquecimento no período diurno, considerando registros de temperatura máxima do ar em valores acima de 2°C em relação ao tecido 1 (ZCL 4 – Residencial Espace). Este tecido 7

(Campus UFAL) apresenta padrão morfológico e de recobrimento de solo similar ao tecido 6 (Residencial Sierra), com taxa de solo natural acima de 50% e índice de densidade arbórea de 0,25 (acima do tecido 6). Estima-se que o calor residual gerado pelo uso constante de aparelhos de climatização artificial nas unidades edificadas do Campus UFAL Arapiraca pode ter contribuído para o aumento da temperatura do ar na escala microclimática devido ao número elevado de condensadores instalados nas paredes externas, próximo ao ponto onde foi instalado o equipamento de monitoramento (Hobo U23-001). O poste onde foi instalado o equipamento está posicionado em área sotavento considerando a incidência dos ventos predominantes locais (leste e sudeste).

Quanto ao tecido 4 (Residencial Reserva Perucaba), classificado como *ZCL 9 – Escassamente Construído*, apesar da excessiva exposição à radiação solar no período diurno devido à ausência de arborização e elementos construídos (FVC: 0,857), apresentou, também, capacidade de amenização climática considerando que as diferenças térmicas entre o tecido 1 (ZCL 4) não ultrapassaram valores acima de 1°C. Portanto, considera-se positiva e relevante a contribuição da massa d'água próxima e a barlavento, o lago Perucaba, para favorecimento microclimático local favorecendo as trocas de calor latente e sensível. O tecido 2 (Residencial Jardim Europa), classificado pelo ZCL 5 - *Espaço aberto com edifícios médios* apresentou também capacidade de amenização sendo neste estudo atribuída ao sombreamento do tecido pela estrutura edificada (altura média das construções igual a 9,72m) associada a baixa taxa de ocupação de solo (9% e Fator de Visão do Céu: 0,529). Observando o gráfico referente à figura 4, é possível verificar que nos horários vespertinos (entre 15h e 17h) apenas o tecido 1 (ZCL 4 – Espaço aberto com edifícios altos) apresenta temperatura do ar inferior à registrada na estação automática do INMET localizada fora do perímetro urbano municipal (-9°48'16.0"S, 36°37'09.0"W). No período noturno todos os tecidos apresentaram temperatura do ar superior à registrada na estação meteorológica de referência. O tecido 3 classificado como ZCL 3 -*maciço de edifícios baixos* (Centro- Rua do Sol) apresentou maior diferença térmica do período noturno, como valores acima de 2°C em relação aos dados registrados na estação automática do INMET.

Figura 4 Comportamento da temperatura do ar (°C) nos recintos monitorados nas zonas climáticas locais selecionadas – dia representativo 26/02/2024



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O estudo de correlação linear realizado a partir dos pares de dados das variáveis morfológicas quantificadas na caracterização das ZCLs (geometria e revestimentos de solo) e das variáveis climáticas analisadas (temperatura do ar máxima e umidade relativa mínima) apesar da amostra pequena (apenas sete ZCLs foram monitoradas) apontou correlação negativa entre a Temp. Máx. e o índice de densidade arbórea (coeficiente de correlação (r): -0,212). Também foi verificada correlação positiva moderada entre a Temp. Máx. do Ar e a taxa de ocupação de solo (coeficiente de correlação (r): 0,488). Este resultado foi referente à análise do dia representativo 04/03/2024 caracterizado pelo registro de temperatura do ar mais elevada da campanha. Neste sentido, vale destacar que o estudo permitiu constatar a influência da arborização urbana e da taxa de ocupação de solo no desempenho microclimático de tecidos urbanos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento microclimático realizado nas diferentes ZCLs classificadas permitiu identificar a influência de diferentes parâmetros de geometria e de revestimentos de solo no desempenho climático de tecidos urbanos. Embora aspectos relativos à geometria urbana tenham significativa relevância no padrão de aquecimento urbano (fator de visão do céu e altura das edificações) o presente estudo contribuiu para o entendimento das condições microclimáticas a partir de uma análise integrada aos parâmetros de ocupação do solo (índice de densidade arbórea, taxa de permeabilidade e taxa de ocupação do solo). Esta avaliação integrada é fundamental para subsidiar um processo de identificação de diretrizes de planejamento urbano fundamentadas nos princípios do urbanismo bioclimático. Os resultados obtidos demonstram o aspecto preocupante em relação ao processo de ocupação

territorial urbana da cidade de Arapiraca, pois o tecido 3, classificado como *ZCL 3 – Maciço de edifícios baixos* apresentou forte tendência de aquecimento tanto do período diurno como também no noturno, sendo constatadas diferenças acima de 2°C em relação às demais zonas climáticas investigadas. Infelizmente o padrão morfológico deste tecido é o predominante localmente. O estudo aponta possibilidades para revisão da legislação urbanística da localidade considerando os aspectos de amenização climática observados nos tecidos classificados como ZCL 6 - *Espaço aberto com edifícios baixos e, também, ZCL 4 – Espaço aberto com edifícios altos.*

Referências

Arapiraca. **Lei n° 2.424. Plano Diretor de Arapiraca**, 23 Jan. 2006.

FERNANDES, M. E.; MASIERO, É. Relação entre conforto térmico urbano e Zonas Climáticas Locais. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 15 maio. 2020. v. 12, p. e20190247. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/urbe/a/C3gvsB6hqxV83wm8FpHy5fw/>. Acesso em: 20 ago. 2022.

FERREIRA, F. L. E S.; PEREIRA, E. B.; LABAKI, L. C. Fatores associados à distribuição da temperatura das superfícies em áreas urbanas: zonas climáticas locais e características espectrais. **Ambiente Construído**, 2021. v. 21, n. 1, p. 237–262.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024. Censo Demográfico de 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al/arapiraca.html (Acessado em 12 de Abril 2024).

IPCC ***Climate Change 2022****: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.* Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2022 pp. 3-33, doi:10.1017/9781009325844.001.

MIDDEL, A. *et al.* Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. **Landscape and Urban Planning**, 2014. v. 122, p. 16–28. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.004>.

MINELLA, F. O; ROSSI, F. A; KRÜGER, E. L. Análise do efeito diurno do fator de visão do céu no microclima e nos níveis de conforto térmico em ruas de pedestres em Curitiba. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 123-143, jan./mar. 2011.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 1 dez. 2012. v. 93, n. 12, p. 1879–1900. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/93/12/bams-d-11-00019.1.xml>. Acesso em: 10 jan. 2020.

SILVA, M. F. **Estratégias Bioclimáticas para seis cidades alagoanas:** contribuições para adequação da arquitetura ao clima local. Dissertação de Mestrado. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2019.

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- Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Urbano. UFPE: Recife. 397f.

VASCONCELOS, D. B; ACCIOLY, J. O. A; BARBOSA, R. V. R., GOMES, H. B. The Use of Remote Sensing in Analyzing Land Cover in the City of Arapira-Alagoas, Brazil. **31st Conference of the International Seminar on Urban Form** São Paulo, BRAZIL | Setembro 16-20, 2024.