

Morfologia Urbana e Qualidade Ambiental: Avaliação do Potencial de Adequação Climática de Tecidos Urbanos no Semiárido do Nordeste Brasileiro

Urban Morphology and Environmental Quality: Assessment of Potential Climate Adequacy of Urban Fabrics in Semiarid of Brazilian Northeastern

Morfología Urbana y Calidad Ambiental: Evaluación del Potencial de Adecuación Climática de los Tejidos Urbanos en el Semiárido del Noreste de Brasil

Maria Vitoria da Silva Costa

Graduanda Arquitetura e Urbanismo
Univ Fed de Alagoas (UFAL),
Campus Arapiraca.
mariavitoriaah@gmail.com

Ruan Victor Amaral Oliveira

Arquiteto e Urbanista
Univ Fed de Alagoas (UFAL),
Campus Arapiraca.
ruanvictoramaral@hotmail.com

Juliana Carla do Nascimento

Graduanda em Arquitetura e Urbanismo
Univ Fed de Alagoas (UFAL),
Campus Arapiraca
carlajuliana153@gmail.com

Simone Carnáuba Torres

Doutora em Desenv Urbano
Profa. Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus Arapiraca
simone.torres@arapiraca.ufal.br

RESUMO

A adequação do conjunto edificado às condições climáticas de cada região é importante para redução do aquecimento de estruturas urbanas e para o favorecimento das condições de saúde e conforto térmico humano. Este estudo corresponde a uma investigação sobre a influência da morfologia urbana e do adensamento construtivo no comportamento das variáveis climáticas. O objetivo geral da pesquisa foi avaliar o potencial de adequação climática de conjuntos edificados da cidade de Arapiraca-AL, caracterizados por diferentes padrões de densidade construtiva, considerando as estratégias bioclimáticas locais. Foi realizado o monitoramento microclimático nos tecidos selecionados no período dezembro/2019 e janeiro/2020. Foi possível notar uma diferenciação térmica entre os arranjos construtivos investigados de até 2,9°C, nos horários de maior intensidade de radiação solar. Espera-se, assim, contribuir para o entendimento das diretrizes de adequação climática de tecidos urbanos e sistematização de recomendações que possam subsidiar o processo de revisão da legislação urbanística local.

Palavras-chave: Morfologia urbana. Desempenho climático. Urbanismo bioclimático. Adensamento construtivo.

ABSTRACT

The climate adaptation of the built environment is important to reduce the heating of urban structures and to favor health conditions and human thermal comfort. This research presents an investigation on the influence of urban morphology and constructive densification on the behavior of climatic variables. The main objective was to evaluate the potential of climatic suitability of urban fabrics in Arapiraca-AL considering the local bioclimatic strategies. The selected urban fabrics have different morphological patterns and built density. Microclimate monitoring was carried out in the period of December/2019 to January/2020. It was possible to verify a thermal differentiation between the investigated constructive arrangements of up to 2.9°C at times of greater intensity of solar radiation. It is expected to contribute to the understanding of guidelines for climate adaptation of urban fabrics and systematization of recommendations for the process of reviewing local urban legislation.

Keywords: Urban morphology. Climate performance. Bioclimatic urbanism. Constructive densification.

RESUMEN

Adaptar el complejo de edificios a las condiciones climáticas de cada región es importante para reducir el calentamiento de las estructuras urbanas y promover las condiciones de salud y el confort térmico humano. Este estudio corresponde a una investigación sobre la influencia de la morfología urbana y la densificación constructiva en el comportamiento de las variables climáticas. El objetivo general de la investigación fue evaluar el potencial de adecuación climática de las edificaciones construidas en la ciudad de Arapiraca-AL, caracterizadas por diferentes patrones de densidad edificatoria, considerando las estrategias bioclimáticas locales. El monitoreo microclimático se realizó en tejidos seleccionados en el período de diciembre / 2019 y enero / 2020. Se pudo notar una diferenciación térmica entre los arreglos constructivos investigados de hasta 2.9 ° C, en épocas de mayor intensidad de radiación solar. Se espera, por

tanto, contribuir a la comprensión de los lineamientos para la adaptación climática de los tejidos urbanos y la sistematización de recomendaciones que puedan apoyar el proceso de revisión de la legislación urbana local.

Palabras clave: Morfología urbana. Desempeño climático. Urbanismo bioclimático. Densificación constructiva.

1 INTRODUÇÃO

A adequação climática de tecidos urbanos contribui para o atendimento às condições de saúde e conforto ambiental nos espaços construídos, baseando-se no aproveitamento dos recursos naturais de climatização. Porém, a aplicação dos princípios e estratégias bioclimáticas na escala do edifício pode ser comprometida ou anulada caso a estrutura urbana não permita o aproveitamento dos recursos passivos, como a ventilação e iluminação natural. Por isso, destaca-se a necessidade da adequação climática da estrutura urbana, de sua morfologia e configuração do arranjo edificado, pois, quando não obtida, ocasiona a formação de fenômenos de modificação do clima local.

Higueras (2006), portanto, destaca a importância do urbanismo bioclimático como disciplina que deve ser integrada ao planejamento ambiental, pois, adota uma abordagem associada à capacidade de análise da carga dos elementos naturais locais à uma matriz de interações entre os aspectos ambientais (insolação, ventos, vegetação, recursos energéticos e hídricos e geomorfologia) e as variáveis do ambiente urbano - estrutura de circulação, espaços livres e áreas verdes, condições das quadras, lotes e edificações.

Sabendo que existem variados tipos de padrões morfológicos de tecidos urbanos, com diferentes densidades

construtivas e padrões de ocupação distintos, para o alcance da adequação bioclimática dos conjuntos edificados, é preciso estudar o comportamento das variáveis ambientais e analisar as possíveis interferências, identificando, assim, algumas diretrizes importantes no âmbito do planejamento urbano e ambiental (Barbosa, 2018).

Alguns estudos já demonstraram, por exemplo, que em áreas verticalizadas, mas com maior área livre, apresentam melhores condições de conforto térmico do que em áreas horizontais com maior taxa de ocupação do solo urbano (Freitas, 2008; Torres, 2017). Desta forma, as estratégias para o controle da radiação solar em edifícios têm sido apontadas como uma das maneiras mais eficientes para a minimização do acúmulo de calor nas estruturas urbanas e arquitetônicas. Porém, nas áreas densamente construídas as trocas de calor predominantes são as trocas térmicas sensíveis, sendo necessário o uso de estratégias para incrementar as trocas úmidas nos tecidos urbanos a partir do uso de vegetação, solo exposto e corpos d'água para equilibrar o balanço de energia (Duarte, 2000; Duarte, 2015). Porém, espaços urbanos marcados pela elevada verticalização, quando associadas à alta densidade construtiva, podem causar efeitos negativos no microclima local, afetando o desempenho térmico das edificações e a qualidade dos espaços

urbanos (Lima, Bittencourt, 2016).

conjuntos edificados.

Neste sentido, levando em consideração estes estudos, a presente pesquisa avalia o caso do sítio urbano da cidade de Arapiraca-AL, que vem sendo caracterizada por expressivas transformações na sua dinâmica de ocupação, incluindo o recente processo de verticalização. Considerando a ausência de parâmetros urbanísticos na legislação local, a pesquisa investiga os efeitos da verticalização sobre o comportamento das variáveis climáticas, temperatura e umidade relativa do ar, variáveis estas com maior influência sobre as condições de conforto térmico em espaços externos e internos de edificações urbanas. Espera-se que esta pesquisa possa estimular estudos futuros, em outras cidades de pequeno e médio porte, principalmente do semiárido do nordeste brasileiro, que, também, estão vulneráveis às transformações negativas diante dos impactos climáticos decorrentes dos processos de ocupação urbana desassociados das questões de adequação ambiental.

2 OBJETIVO

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar o potencial de adequação climática de tecidos urbanos, caracterizados por diferentes padrões de densidade construtiva, da cidade de Arapiraca, no Estado de Alagoas, Brasil, considerando as estratégias bioclimáticas locais. Para o alcance dos objetivos propostos, a presente pesquisa foi fundamentada na abordagem quali-quantitativa, baseada em análise comparativa de

3. ABORDAGEM METODOLÓGICA

Os principais procedimentos metodológicos adotados na presente pesquisa foram os seguintes:

3.1 Seleção e caracterização de tecidos urbanos morfologicamente diferenciados quanto aos padrões de ocupação de solo urbano

Foram selecionados cinco tecidos¹ de morfologia frequentemente presente no sítio urbano de Arapiraca-AL. Dois tipos morfológicos apresentam padrão de ocupação urbana horizontal: a) Tipo 1- horizontal denso geminado, representado por um conjunto de quadras do bairro Brasília (padrão morfológico predominante na estrutura urbana da cidade); b) Tipo 2 -horizontal disperso, representado por um condomínio residencial fechado. Os demais tecidos apresentam estrutura de ocupação verticalizada: c) Tipo 3 -Vertical baixo denso; d) Tipo 4- vertical baixo disperso e, e) Tipo 5- vertical alto disperso (Quadro 1). Os tecidos selecionados apresentam topografia similar e altitudes próximas para subsidiar a análise comparativa das condições investigadas. Também foram calculados os parâmetros urbanísticos, tradicionais e avançados², definidores da morfologia de cada tecido segundo Torres (2017), conforme quadro 1. Na figura 1, pode-se observar o mapa referente ao padrão de densidade construtiva³ do sítio urbano de Arapiraca e a localização dos tecidos urbanos selecionados para realização do monitoramento microclimático.

1 Um tecido urbano é configurado pelo sistema viário, pelo padrão do parcelamento do solo, pela aglomeração e pelo isolamento das edificações, implantação das construções, pelos espaços livres e entorno (Moudon, 1997).

2 Estes dados foram calculados com base nos recortes dos tecidos, usando ferramentas de satélite pelo Google Earth Pro, e mapa georreferenciado fornecido pela Prefeitura Municipal de Arapiraca -AL.

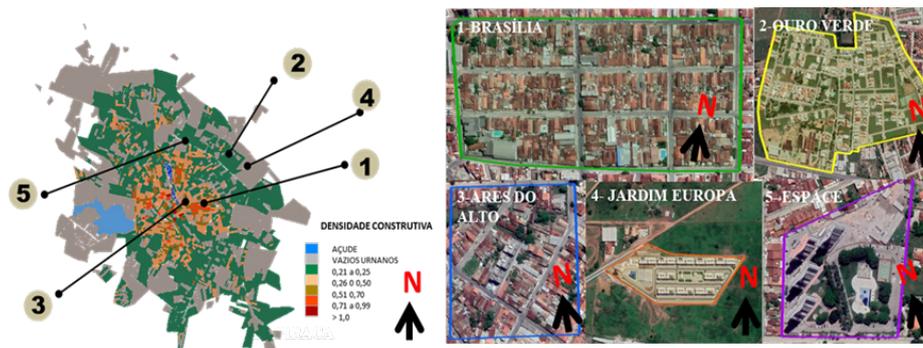
3 A densidade construtiva corresponde à soma das áreas úteis construídas dividida pela área total do tecido urbano.

Quadro 1- Tecidos verticais selecionados e suas principais características morfológicas.

<p>1- Bairro Brasília</p> 	<p>Padrão morfológico: Horizontal denso geminado. Bairro residencial com padrão de ocupação de solo elevado, lotes geminados. Baixa permeabilidade do solo, com pavimentação poliédrica (calçamento). Arborização urbana inexistente.</p> <p>Taxa de ocupação: 76% Densidade Construtiva: 0,769 Altura média das construções: 4,80m Porosidade da malha: 0,24 Índice de densidade arbórea: 0,15 Taxa de solo natural: 4,58%</p>
<p>2- Res. Ouro Verde</p> 	<p>Padrão morfológico: Horizontal disperso. Condomínio residencial privado, residências até dois pavimentos. Apresenta taxa de ocupação média. Solo natural presente, gramado e densidade arbórea. Solo asfaltado nas vias.</p> <p>Taxa de ocupação: 22% Densidade Construtiva: 0,39 Altura média das construções: 8m Porosidade da malha: 0,78 Índice de densidade arbórea: 0,29 Taxa de solo natural: 73,5%</p>
<p>3- Res. Ares do Alto</p> 	<p>Padrão morfológico: Vertical baixo denso. Residencial privado, possuindo padrão de ocupação alto, com prédios separados por um pequeno espaço. Solo natural inexistente, sem gramado ou densidade arbórea. Solo asfaltado. Entorno: ocupação de padrão morfológico horizontal denso geminado.</p> <p>Taxa de ocupação: 68% Densidade Construtiva: 0,576 Altura média das construções: 4,25m Porosidade da malha: 0,32 Índice de densidade arbórea: 0,24 Taxa de solo natural: 14%</p>
<p>4- Jardim Europa</p> 	<p>Padrão morfológico: Vertical baixo disperso. Condomínio residencial privado, com 10 torres residenciais de quatro pavimentos cada. Vegetação é inexistente Entorno de áreas descampadas, com baixa rugosidade e alta porosidade, permitindo a livre passagem dos ventos até o tecido.</p> <p>Taxa de ocupação: 24% Densidade Construtiva: 0,405 Altura média das construções: 10,5m Porosidade da malha: 0,72 Índice de densidade arbórea: 0,02 Taxa de solo natural: 20%</p>
<p>5-Residencial Espace</p> 	<p>Padrão morfológico: Vertical Alto Disperso. Residencial privado, possuindo padrão de ocupação alto. O projeto tem 4 torres construídas, cada uma contando com 16 pavimentos. Solo natural presente, gramado e densidade arbórea. Solo asfaltado nas vias. Entorno: ocupação horizontal geminada e vazios urbanos.</p> <p>Taxa de ocupação atual: 7,5% Densidade Construtiva: 0,963 Altura média das construções: 33 m Porosidade da malha: 0,94 Índice de densidade arbórea: 0,36 Taxa de solo natural: 40%</p>

Fonte: Os autores (2019)

Fig. 1- Localização dos tecidos selecionados no sítio urbano de Arapiraca-AL.



Fonte: adaptado Google Earth (2020).

3.2 MONITORAMENTO MICROCLIMÁTICO NOS TECIDOS URBANOS SELECIONADOS

Todos os tecidos foram submetidos ao monitoramento das variáveis climáticas, temperatura do ar e umidade relativa, utilizando-se o equipamento HOBO Pro v2 data-loggers da ONSET que é um coletor de dados para ambientes externos à prova d'água. Os sensores apresentam precisão correspondente

a $\pm 0,21^{\circ}\text{C}$ (a partir de 0°C a 50°C) e, para umidade relativa do ar, $\pm 2,5\%$ (a partir de 10% a 90% (típica)). Os hobs 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), fixados à sombra, em postes de iluminação, nos pontos de estudo e a 2,30m de altura⁴, conforme a Figura 2.

Fig. 2- a) Equipamento de proteção do HOBO Pro v2 data-logger (U23-001); b) HOBO posicionado no dispositivo de proteção e, c) equipamento instalado no poste.



Fonte: Os autores (2019)

A coleta de dados contemplou 38 dias, no período de 20/12/2019 a 26/01/2020, que corresponde ao período quente e seco conforme o perfil climático da cidade de Arapiraca (Torres, 2017). Após o período de coleta, os dados foram extraídos dos equipamentos para avaliação do desempenho climático e análise comparativa. Para esta análise foram escolhidos 10 dias representativos, dias de céu claro que possuem um padrão uniforme de aquecimento observando os dados de temperatura do ar e radiação solar, com ausência de pluviosidade.

4 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA CIDADE DE ARAPIRACA-AL

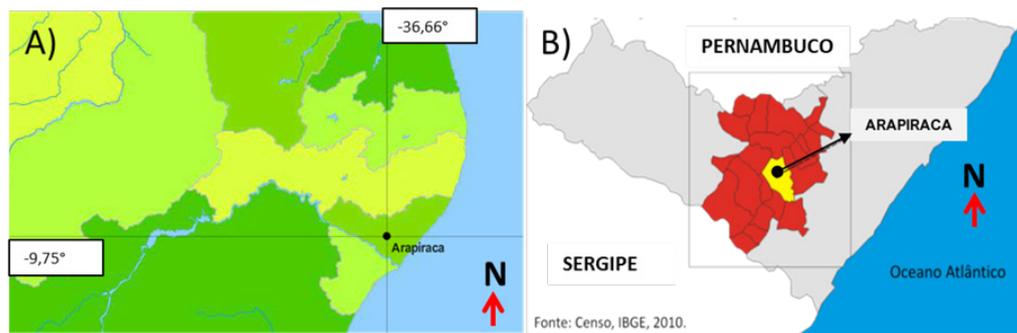
Arapiraca é considerada como a segunda mais importante cidade do estado de Alagoas, Brasil, devido a sua localização central, na mesorregião do agreste alagoano. Pertencente a região de transição entre a costa úmida e o semiárido nordestino (Figura 3), situa-se na latitude $9^{\circ}75'25''$ Sul e longitude $36^{\circ}60'11''$ Oeste, a 132 km de distância da capital Maceió. A cidade possui grande importância no polo comercial e de serviços de todo o estado, atendendo à população local

4 A altura de posicionamento do instrumento de medição microclimática foi definida como 2,30 metros por questão de segurança, evitando o acesso facilitado de curiosos ou vândalos.

e a de municípios circunvizinhos. De acordo com estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), para o ano de 2020, a cidade apresenta cerca de 233.047 habitantes, distribuídos num território de aproximadamente 345,655 km² de área. Atualmente, seu sítio urbano está subdividido em 38 bairros. De acordo o Ministério da Integração Nacional (2005), a cidade possui clima tropical quente

subúmido seco. Porém, devido à indisponibilidade de registros históricos das variáveis climáticas específicas do município, estudos de caracterização do seu perfil climático vêm sendo desenvolvidos desde 2009. Em 2008, foi implantada a estação Arapiraca A353 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a qual tem subsidiado pesquisas para compreensão do clima local.

Fig. 3- Localização do município de Arapiraca no nordeste brasileiro (A), situação geográfica no Estado de Alagoas - região Agreste (B).



De acordo com Silva (2019) e Torres (2017), o clima de Arapiraca pode ser caracterizado basicamente por dois períodos: período quente e seco (outubro a abril) e período quente e úmido (maio a setembro). O período quente e seco é caracterizado pelo registro de temperaturas do ar elevadas (médias acima de 25°C, podendo alcançar valores máximos acima de 33°C), baixa umidade relativa do ar (valores mínimos absolutos abaixo de 40%), alta amplitude térmica (variações diurnas acima de 10°C) e baixa pluviosidade. O período quente e úmido é

caracterizado por temperaturas do ar menos elevadas (valores médios abaixo de 25°C e mínimas absolutas de aproximadamente 17°C), umidade relativa do ar alta (valores médios mensais acima de 85%) e baixa amplitude térmica. Silva (2019) indica a direção predominante dos ventos em Arapiraca por meio de estudos de frequência das observações diárias e constatou que os ventos provenientes da direção leste são mais frequentes nos meses do período quente e seco, já no período quente e úmido a direção predominante dos ventos é a sudeste.

Quadro 2- Estratégias bioclimáticas para a cidade de Arapiraca-AL.

VENTILAÇÃO NATURAL	As tipologias construtivas devem apresentar uma menor taxa de ocupação do solo e maior porosidade da malha urbana, para possibilitar melhor distribuição das massas de ar no conjunto edificado. Assim, os tecidos podem possibilitar o aproveitamento das massas de ar no nível dos edifícios. A variação de alturas nas edificações, também, potencializa adoção desta estratégia. No período quente e seco o aproveitamento da ventilação natural deve ocorrer principalmente no período noturno quando o rigor térmico é favorável ao conforto térmico.
RESFRIAMENTO EVAPORATIVO	Para otimizar o aproveitamento da ventilação natural, durante o período diurno, é necessário incrementar as condições microclimáticas para o aumento da umidade relativa do ar, favorecendo a redução da temperatura do ar. Deve-se priorizar, portanto, a incorporação de massas vegetativas para alcançar o resfriamento evaporativo indireto a partir do processo de evapotranspiração das plantas. A permeabilidade do solo pode permitir a redução do acúmulo de calor na escala microclimática, em comparação com os materiais de construção utilizados para revestimentos e impermeabilização em ambientes urbanos.
SOMBREAMENTO	O sombreamento associado à estratégia do resfriamento evaporativo em decorrência da presença de vegetação urbana, favorece a redução da temperatura do ar, principalmente, no horário de maior aquecimento diurno, promovendo a minimização do acúmulo de energia térmica no nível microclimático.

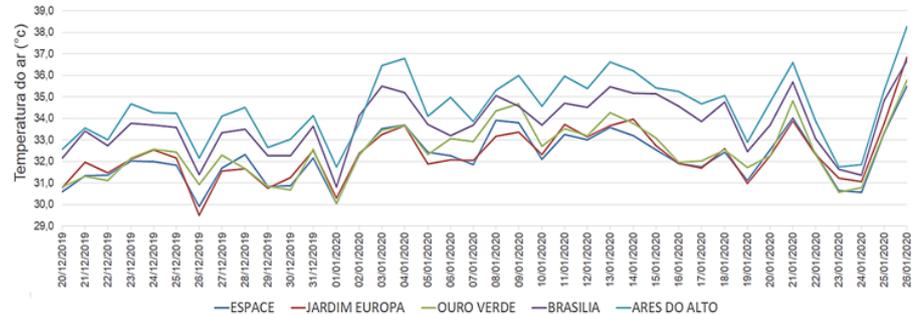
Fonte: Adaptado Torres (2017).

5 RESULTADO DO MONITORAMENTO MICROCLIMÁTICO

A partir da análise comparativa dos dados climáticos coletados nos tecidos monitorados, foi possível verificar evidências entre as diferentes frações urbanas estudadas que demonstram a influência da sua morfologia edificada sobre o comportamento do microclima local em relação

à temperatura do ar e umidade relativa do ar. Ao verificarmos o comportamento da temperatura do ar (Figura 4), durante todos os dias de análise, o tecido que apresentou maior valor de temperatura máxima, foi o tecido 3- Residencial Ares do Alto, correspondendo a uma temperatura máxima de 38,3°C, seguido pelo tecido 1- Brasília com 36,6 °C.

Fig. 4- Gráfico do comportamento da temperatura do ar nos tecidos urbanos monitorados no período de 20/12/2019 a 26/01/2020.



Fonte: Autores, 2019.

De maneira geral, os tecidos que apresentaram desempenho satisfatório, com maior capacidade de resfriamento nos horários de maior intensidade de radiação solar direta, foram o tecido 4-Jardim Europa, o tecido 5- Residencial Espace e o tecido 2- Condomínio Ouro verde. Estes três últimos tecidos apresentam estratégias bioclimáticas como sombreamento,

edificações com recuos, baixa taxa de ocupação, presença de vegetação e maior taxa de solo natural. Também foram selecionados 10 dias representativos para identificação das diferenciações térmicas entre os tecidos avaliados (Tabela 1) durante o período de monitoramento, sendo o dia 26/01/2019 caracterizado pelo registro de valores mais elevados de temperatura do ar.

Tabela 1: Temperatura do ar máxima, e valores médios máximos registrados nos tecidos monitorados durante os dias representativos.

TEMPERATURAS MÁXIMA DO AR NOS DIAS REPRESENTATIVOS					
DATA	ESPACE	JARDIM EUROPA	OURO VERDE	BRASILIA	ARES DO ALTO
23/12/2019	32,0	32,1	32,2	33,8	34,7
25/12/2019	31,8	32,2	32,4	33,6	34,2
10/01/2020	32,1	32,3	32,7	33,7	34,6
11/01/2020	33,3	33,7	33,5	34,7	36,0
14/01/2020	33,2	34,0	33,8	35,2	36,2
23/01/2020	30,6	31,2	30,6	31,6	31,7
25/01/2020	33,3	33,8	33,4	34,8	35,3
26/01/2020	35,5	36,9	35,8	36,7	38,3
MÉDIAS MÁXIMAS	32,7	33,3	33,0	34,3	35,1

Fonte: Autores, 2019.

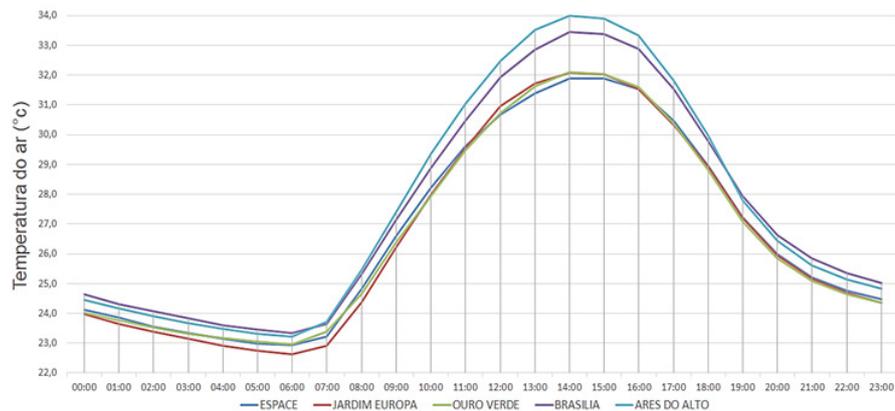
O comportamento microclimático referente ao tecido 4- Residencial Jardim Europa foi caracterizado ao longo do estudo por condições climáticas mais amenas de temperatura do ar, principalmente em relação aos horários de maior intensidade de radiação solar (entre 12h e 15h). Analisando o padrão médio de aquecimento em relação à variação horária, é possível verificar que o tecido 3- Ares do Alto registrou temperaturas médias máximas entre as 14h e 15h, de aproximadamente 34 °C (Figura 5). Em sequência, o tecido 1- Brasília, apresentou temperatura média máxima entre 33,5 °C no mesmo intervalo de hora (14h e 15h). As frações urbanas representadas pelo tecido 4- Jardim

Europa, Tecido 2- Ouro Verde e Tecido 5- Espace apresentaram uma variação térmica média menor, sendo verificado registro de temperatura máxima média de aproximadamente 32 °C, como mostra o gráfico da Figura 5. Analisando o tecido 3- Ares do Alto e o tecido 1- Brasília, nota-se que são os tecidos que apresentam um padrão de aquecimento muito elevado em relação aos demais que possuem algum tipo de estratégia bioclimática indicada para localidade. Isso porque estes tecidos têm um padrão de taxa de ocupação do solo elevada, baixa taxa de solo natural, ausência de elementos de sombreamento e padrões morfológicos que não favorecem o uso das estratégias de aproveitamento de ventilação

natural. O tecido 3- Residencial Ares do Alto apresentou desempenho climático insatisfatório quando comparado aos demais que possuem uma capacidade de resfriamento maior. O mesmo constitui um tecido de padrão morfológico vertical baixo denso, com alta densidade construtiva e caracterizado por um entorno que não contribui para o aproveitamento

de estratégias bioclimáticas (entorno de padrão morfológico horizontal denso geminado). Conforme os dados apresentados no Quadro 1, o Residencial Ares do Alto possui alta taxa de ocupação do solo (68%), não apresenta elementos arbóreos, possui baixa porosidade da malha e alta taxa de impermeabilização do solo.

Fig.5- Comportamento da temperatura do ar considerando valores médios horários obtidos a partir do monitoramento microclimático.



Fonte: Autores, 2019.

Comparando-se o tecido 3-Ares do Alto (vertical baixo denso), com o tecido horizontal denso geminado tecido 1-Brasília, pode-se notar que a elevada densidade construtiva e taxa de ocupação do solo, a baixa porosidade e a ausência de estratégias bioclimáticas prejudicam o desempenho ambiental destes ambientes urbanos, podendo comprometer as condições de conforto térmico nestes espaços e, conseqüentemente, nos espaços internos adjacentes.

O tecido 4-Jardim Europa, tecido 5- Residencial Espace e o tecido 2-Residencial Ouro Verde, apresentam um padrão de resfriamento superior aos demais porque cada um possui ao menos uma

estratégia bioclimática que propicia a diminuição da temperatura no nível microclimático. O Residencial Jardim Europa (tecido 4) possui edificações de 4 pavimentos, que favorece o sombreamento no nível externo, e sua implantação com distanciamento entre as edificações proporciona o aproveitamento da ventilação natural a nível externo. O tecido 5-Espace (16 pavimentos), também, possui estratégias bioclimáticas como alta taxa de solo natural, sombreamento, arborização e alta porosidade da malha para aproveitamento da ventilação natural. Já o tecido 2- Ouro Verde, tem um arranjo construtivo baixo e disperso, com construções de até 2 pavimentos, com taxa de solo natural alta, taxa de ocupação baixa favorecendo o aproveitamento

da ventilação natural, e a presença de vegetação, o que contribui para o aumento da umidade relativa do ar e, conseqüentemente, redução da temperatura. Ou seja, os padrões morfológicos mais favoráveis em relação ao desempenho climático apropriado ao clima de Arapiraca-AL, de acordo com a presente pesquisa foram: vertical baixo disperso (tecido 4- Residencial Jardim Europa), vertical alto disperso (tecido 5-Residencial Espace) e o horizontal baixo disperso (Tecido 2- Residencial Ouro Verde). Os padrões do tecido 3- Residencial Ares do Alto, o vertical baixo denso e do Tecido 1- Brasília, o horizontal baixo denso apresentaram desempenho climático desfavorável às condições de conforto térmico.

Observando dos dados apresentados no Quadro 1, é possível verificar que o desempenho dos tecidos monitorados microclimaticamente relaciona-se com resultados quantitativos dos parâmetros urbanísticos (tradicionais e avançados) calculados para cada tipo morfológico, considerando suas

características da implantação, seus elementos construídos, suas áreas úteis, área da malha e presença ou ausência de vegetação. Os cálculos foram efetivados conforme estudo realizado por Torres (2017). É possível, notar que os tecidos com elevada densidade construtiva não corresponderam ao desempenho climático insatisfatório (exemplo do tecido 5 e tecido 4), pois, o padrão morfológico, contempla parâmetros positivos em relação ao aproveitamento das estratégias bioclimáticas como elevada porosidade da malha e maiores taxas de solo natural. Na tabela 2, estão apresentados os valores referentes à diferenciação térmica entre o tecido 3- Ares do Alto e os demais avaliados considerando os valores médios de temperatura máxima do ar para o período monitorado a partir da seleção de dias representativos. Neste sentido, foram identificadas diferenças acima de 3,0 °C, entre o Tecido 3- Residencial Ares do Alto e o Tecido 5- Residencial Espace (Tabela 2).

Tabela 2- Valores de diferenciação térmica, identificados a partir da temperatura do ar máxima média (°C) entre o tecido 3 – Ares do Alto e os demais tecidos investigados.

ARES DO ALTO	DIA REPRESENTATIVO	ESPACE	JARDIM EUROPA	OURO VERDE	BRASILIA
34,7	23/12/2019	-2,7	-2,6	-2,5	-0,9
34,2	25/12/2019	-2,4	-2,1	-1,8	-0,7
36,8	04/01/2020	-3,1	-3,1	-3,1	-1,6
34,6	10/01/2020	-2,5	-2,2	-1,9	-0,9
36,0	11/01/2020	-2,7	-2,2	-2,4	-1,3
36,6	13/01/2020	-3,1	-3,0	-2,4	-1,2
36,2	14/01/2020	-3,0	-2,2	-2,4	-1,0
31,7	23/01/2020	-1,1	-0,5	-1,2	-0,1
35,3	25/01/2020	-2,0	-1,5	-2,0	-0,5
38,3	26/01/2020	-2,8	-1,4	-2,5	-1,6

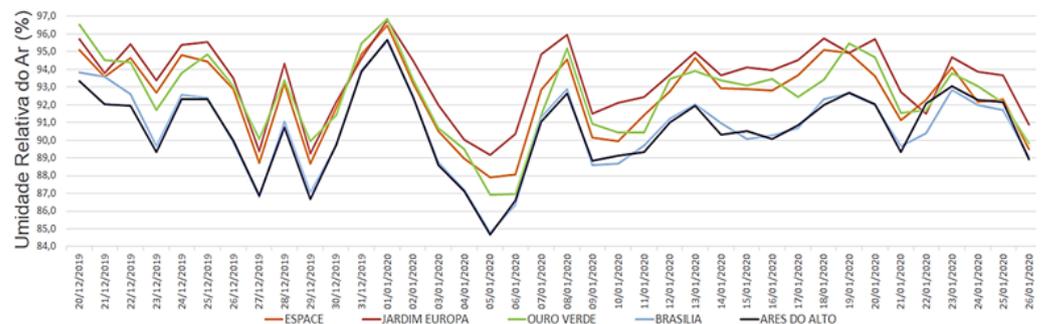
Fonte: Autores, 2019.

Um outro importante resultado obtido pela pesquisa diz respeito a umidade relativa do ar em cada tecido. Levando em consideração o período de coleta de dados caracterizado como quente e seco na cidade de Arapiraca, e as ondas de calor bastante frequentes e intensas durante o período, a avaliação das características que compõem as malhas dos tecidos mostrou que quanto maior a taxa de ocupação, excesso de pavimentação, solo impermeável, falta de aproveitamento da ventilação, falta de vegetação e solo natural, inviabiliza-se a aplicação da estratégia de resfriamento evaporativo. Por isso, os tecidos apresentam um aumento no aquecimento do ambiente urbano, que por consequência, levam a uma diminuição significativa da umidade relativa do ar. Na Figura 6, pode-se notar que o tecido com maiores valores de umidade relativa do ar são o tecido 4-Jardim Europa, seguido pelo tecido 2- Ouro Verde, 5-Espace, pois, todos possuem ao menos um tipo de estratégia bioclimática, como

mencionado anteriormente. Já os tecidos que ao longo de todo o estudo, foram identificados valores reduzidos de umidade relativa do ar estão: Tecido 3- Residencial Ares do Alto e Tecido 1- Quadras do bairro Brasília. Ambos os tecidos, desfavoráveis e sem estratégias bioclimáticas para o incremento da umidade.

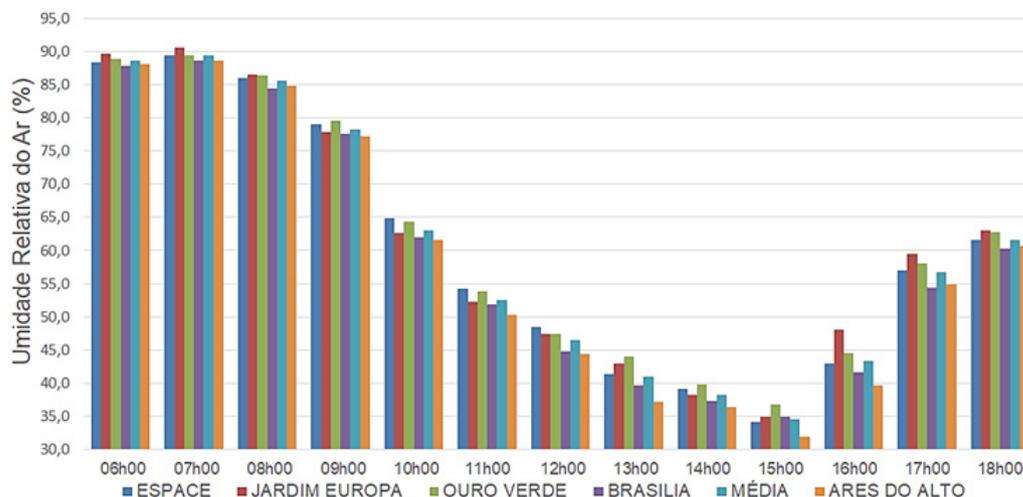
Considerando os dados coletados no dia representativo, 26/01/2020, apresentados na Figura 7, é possível identificar o tecido 4- Jardim Europa, com registro de 91% de umidade do ar por volta das 7 h da manhã, e cerca de 45% por volta das 15:30h. Já os tecidos com menores valores de umidade mostram 3-Ares do Alto (32%), 1- Brasília (34%), 5-Espace (35%), 2- Ouro Verde (38%). Isso, levando em consideração o horário de pico ente 15h e 15:30h da tarde. Estes resultados demonstram, portanto, a influência do entorno no desempenho climático dos tecidos avaliados.

Fig. 6- Gráfico dos dados de umidade máxima do ar (%) registrados no período de monitoramento microclimático.



Fonte: Autores, 2019

Fig. 7- Gráfico dos dados de umidade relativa do ar (%) registrados no período de monitoramento microclimático nos tecidos urbanos referentes ao dia representativo 26/01/2020.



Fonte: Autores, 2019.

Este diagnóstico realizado com base nos parâmetros de ocupação de solo urbano e no comportamento das variáveis climáticas (temperatura do ar e umidade relativa do ar), efetivado durante o período quente e seco (dezembro/2019 e janeiro/2020), foi fundamental para compreender como o período em questão, pode interferir fortemente nas condições de conforto térmico na cidade de Arapiraca. Marcado por altas temperaturas do ar, pela baixa umidade relativa do ar e poucos dias de chuva, o período quente e seco é caracterizado por possuir dias extremamente quentes e de baixa umidade, e noites amenas com significativo aumento da umidade. Com isso, a pesquisa expõe a necessidade de utilização de estratégias para neutralizar as condições adversas do clima local a partir da adequação dos tecidos urbanos. Como exemplo, pode-se citar o uso de massas vegetais, ou fontes d'água que contribuem para o aumento da umidade relativa do ar, gerando resfriamento evaporativo e reduzindo a temperatura do ar no nível

microclimático. Essas estratégias, em conjunto com o tipo de construção e implantação adequados e favoráveis ao aproveitamento da ventilação predominante (leste e sudeste), favorecerão conforto térmico no ambiente urbano.

6 CONCLUSÕES

Diante das diferentes morfologias urbanas que podem ser encontradas em Arapiraca, os tecidos selecionados para o estudo demonstraram como podem ser suscetíveis a sofrer transformações climáticas desfavoráveis, quanto também, a apresentar comportamento satisfatório de acordo com suas características morfológicas. No cenário de Arapiraca difunde-se cada vez mais tecidos horizontais adensados, com alta taxa de ocupação de lote, sem arborização urbana, sem sombreamento e com baixa porosidade da malha, o que dificulta qualquer tipo de aproveitamento das estratégias bioclimáticas para a cidade de Arapiraca. Considerando

o recente processo de verticalização local, para o estudo, a seleção de tecidos verticais (Tecido 5- Residencial Espace, Tecido 4- Jardim Europa e Tecido 3- Ares do Alto), com densidades construtivas semelhantes, propiciou a identificação de aspectos importantes para o entendimento do processo de adequação climática de assentamentos construtivos.

Os tecidos que obtiveram um maior potencial de adequação climática para Arapiraca, são os tecidos de padrão morfológico "vertical baixo e disperso" e "vertical alto e disperso" (Tecidos 4 e 5, respectivamente). O tecido 4- Jardim Europa, apresentou valores de temperatura abaixo dos demais tecidos, comportamento decorrente ao seu tipo de implantação com torres espaçadas e que permitem o sombreamento dos espaços externos imediatos e um entorno que possibilita livre passagem das massas de ar. As condições de seu entorno (caracterizado por grandes vazios urbanos e solo natural) são apontadas como importante condicionante na determinação de seu desempenho climático. Outro tecido vertical, tecido 5- Espace, é o tecido com a maior densidade construtiva (16 pavimentos), possui alta taxa de solo natural, conta com uma quantidade satisfatória de arborização e, também, possui implantação das torres espaçadas, no entanto, seu entorno imediato é adensado e com baixa rugosidade. O tecido 2-Ouro Verde, foi o tecido horizontal que apresentou índices satisfatórios para sua configuração morfológica urbana, pois, possui taxa de ocupação de solo mediana, com satisfatória taxa de solo natural e com vegetação. Já os resultados insatisfatórios, foram detectados nos

padrões vertical baixo denso (tecido 3- Ares do Alto) e horizontal denso geminado (tecido 1- Brasília), ambos apresentam baixa taxa de porosidade da malha, elevada taxa de ocupação do solo e baixa taxa de solo natural.

O monitoramento microclimático realizado nesses tecidos urbanos mostrou diferenças de temperatura de até 2,9°C no período analisado (dezembro/2019 e janeiro/2020) nos horários de maior intensidade de radiação solar. É importante destacar que para a confirmação destas tendências, é necessária a ampliação deste estudo utilizando coleta de dados em períodos diferenciados e monitoramentos prolongados. Resultados importantes para avaliar como Arapiraca está sendo expandida com a configuração dos seus tecidos, majoritariamente com a tendência ainda horizontal, adensada e com altas taxas de ocupação do lote e, conseqüentemente, da quadra. Esse padrão morfológico (horizontal denso geminado) ainda é bastante presente na cidade, por isso, quando demonstrado no estudo a avaliação da densidade construtiva para tecidos com edificações verticais, somadas a outras estratégias bioclimáticas, se faz presente resultados mais qualitativos para o meio urbano. O desempenho climático identificado nestes tecidos aponta tendências que indicam que o aumento do adensamento construtivo (vertical ou horizontal de forma planejada) nem sempre influenciará negativamente nas condições ambientais urbanas. Por isso, verifica-se neste estudo, a necessidade de desenvolvimento de uma reflexão sobre os parâmetros urbanísticos e de revisão dos instrumentos de planejamento urbano local para otimização da qualidade climática urbana.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao 9º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Ariela. *Urbanismo bioclimático: efeitos do desenho urbano na sensação térmica*. 2017. 329 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) –Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

DUARTE, Denise. O clima urbano e o ambiente construído. In: GONÇALVES, J.C.S; BODE, K. (Org.) *Edifício Ambiental*. São Paulo: Oficina de textos, 2015. p..155-179.

DUARTE, Denise. *Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental*. Tese (Doutorado em Arquitetura) –Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo 2000.

FREITAS, R. *Entre Mitos e Limites: as possibilidades de adensamento construtivo face à qualidade de vida no ambiente urbano*. Recife: Ed Universitária da UFPE. 2008. 270p.

HIGUERAS, E. *Urbanismo bioclimático*. Barcelona: Gustavo Gili, 2006. 241p.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo de 2010*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/arapiraca/panorama>. Acesso em: 31/08/2020.

LIMA, R.G de; BITTENCOURT, L.S; A influência de diferentes arranjos construtivos no comportamento da ventilação natural. IN: 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável *Anais PLURIS 2016*. Maceió: 2016.

MOUDON, A. V. Urban morphology as an emerging interdisciplinary field. *Urban Morphology*, v. 1, n. 1, p. 3-10, 1997.

SILVA, M.F. *Estratégias bioclimáticas para seis cidades alagoanas: contribuições para a adequação da arquitetura ao clima local*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Alagoas. Maceió. 2019. 185p.

TORRES, S.C. *Forma e Conforto: estratégias para (re) pensar o adensamento construtivo urbano a partir dos parâmetros urbanísticos integrados à abordagem bioclimática*. 2017.397f. Tese de Doutorado-Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Urbano. UFPE: Recife. 2017.