ELABORAÇÃO DE MAPA DE CARGA TÉRMICA: CONTRIBUIÇÃO PARA O MAPA CLIMÁTICO ANALÍTICO DA CIDADE DE ARAPIRACA-AL, BRASIL

Juliana Carla do Nascimento (1); Guilherme Alves Amorim (2); Júlio Cesar dos Santos (3); Simone Carnaúba Torres (4); Thiago Alberto da Silva Pereira (5)

(1) Arquiteta e Urbanista, Pesquisadora Colaboradora Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, carlajuliana153@gmail.com

(2) Graduando em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, guilherme.amorim@arapiraca.ufal.br

(3) Mestre, Arquiteto e Urbanista, Pesquisador Colaborador Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, juliosantos.urb@gmail.com

(4) Doutora, Arquiteta e Urbanista, Professora do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, simone.torres@arapiraca.ufal.br, (82) 99997 3727

(5) Doutor, Engenheiro Civil, Professor do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, thiago.alberto@delmiro.ufal.br, Av. Manoel Severino Barbosa – Bom Sucesso, Arapiraca – AL, 57309-005, (82) 98152-8853

RESUMO

As alterações climáticas decorrentes do processo de urbanização, comumente relacionadas com o aquecimento do ambiente urbano, evidenciam a necessidade de soluções para minimização dos impactos climáticos através do processo de planejamento e desenho urbano. Neste sentido, o mapa analítico climático constitui um instrumento relevante para aplicação de estratégias bioclimáticas para a melhoria da qualidade ambiental urbana. Este estudo teve como objetivo elaborar o mapa de carga térmica do sítio urbano da cidade de Arapiraca-AL, localizada no semiárido brasileiro, como subsídio para a construção do mapa analítico climático local. Foi adotada a abordagem quali-quantitativa, utilizando-se o método de análise multicritério, aplicado à análise espacial utilizando o software QGis. Os principais procedimentos metodológicos adotados incluíram: a) elaboração de mapa de volume construído; b) elaboração de mapa de massa arbórea e, c) monitoramento microclimático para verificação de diferenciações no desempenho de frações urbanas. Foi possível verificar que as áreas com maior tendência ao acúmulo de carga térmica estão localizadas nas regiões mais centrais do sítio urbano devido à presença de maior volume construído e ausência ou baixo índice arborização urbana. Verifica-se a necessidade de estabelecimento de parâmetros de ocupação do solo na legislação urbanística local para preservação das áreas de amenização climática, como também, para adequação das áreas identificadas com padrão de acúmulo de carga térmica.

Palavras-chave: mapa climático, clima urbano, planejamento urbano, Arapiraca-AL.

ABSTRACT

Climate changes arising from the urbanization process are associated with the warming of the urban environment. This aspect reveals the need to identify solutions to minimize climate impacts through the planning and urban design. Therefore, the urban climatic analysis map is a relevant instrument for the application of bioclimatic strategies to improve urban environmental quality. The objective of this work was to elaborate the thermal load map of the Arapiraca-AL, located in the brazilian semi-arid region, as a subsidy for the construction of the local urban climatic analysis map. The multicriteria analysis method was used, applied to spatial analysis using the QGis software. The methodological procedures adopted were: a) elaboration of a built volume map; b) elaboration of tree mass map and c) microclimate monitoring to verify differences in the performance of urban fractions. The results indicate that the areas with the greatest tendency to accumulate thermal load are located in the most central regions of the urban site. This is due to the presence of a larger built volume and low rate of urban afforestation. In conclusion, it is pointed out the need to establish land occupation parameters in the local urban legislation for the preservation of climate mitigation areas, as well as for the adequacy of areas identified with a thermal load accumulation pattern.

Keywords: urban climatic map, urban climatic, planning and urban design, Arapiraca-AL.

1. INTRODUÇÃO

A ampliação do processo de urbanização, associado à elevada predação e intensa e exploração dos recursos naturais, tem ocasionado um profundo desequilíbrio ambiental acompanhado pelos efeitos das mudanças climáticas e o aquecimento do meio urbano. Nesse contexto, a descaracterização do solo natural, em detrimento de sua substituição por materiais impermeabilizantes e de alta capacidade de acúmulo de calor, resultam em impactos significativos no desempenho climático das cidades em comparação ao seu entorno não urbanizado, (IRGER, 2014; WANG; BERARDI; AKBARI, 2016). Neste contexto, evidencia-se a necessidade urgente de elaboração de instrumentos para subsidiar o aproveitamento da informação climática no processo de desenho e planejamento urbano.

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, hídricos e geomorfologia) e as variáveis do ambiente urbano, como a estrutura de circulação, espaços livres e áreas verdes, condições das quadras, lotes e edificações.

Construído de maneira a comportar as informações referentes às variáveis climáticas em formato cartográfico, o mapa climático se configura como uma ferramenta indispensável para o planejamento urbano, pois, auxilia na superação da dificuldade de comunicação entre as áreas da climatologia e os planejadores. Dessa maneira, o mapa climático urbano é fundamentado em dois tipos de mapas distintos: o mapa climático urbano analítico (*urban climatic analysis map* – UCAnMap), que é um mapa sintético de funções climáticas, e o mapa climático de recomendações para o planejamento (*urban climatic planning recommendation map* – UC-ReMap) (FERREIRA; ASSIS; KATZSCHNER, 2017; FREITAS *et al.*, 2021; REN; NG; KATZSCHNER, 2011).

2. OBJETIVO

Este estudo teve como objetivo elaborar o mapa de carga térmica do sítio urbano da cidade de Arapiraca-AL, localizada no semiárido brasileiro, como subsídio para a construção do mapa analítico climático local.

3. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE ARAPIRACA-AL, BRASIL

A cidade de Arapiraca está localizada no centro do estado de Alagoas, na mesorregião do agreste que corresponde à região de transição entre a costa úmida e o interior semiárido do nordeste brasileiro (IBGE, 2017), constituindo-se no município de maior importância econômica e demográfica do interior do estado. Encontra-se a 280 m acima do nível do mar e a maior porção de seu território está situada em um planalto. Quanto à localização, o município está inserido nas coordenadas geográficas 9°45’09”de latitude sul e 36°39’40” de longitude oeste, distante 132 km da capital Maceió (Figura 1).

De acordo com a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE (IBGE, 2018), o município de Arapiraca-AL está situado na região do semiárido brasileiro considerando as condições climáticas dominantes de semiaridez, em especial a precipitação pluviométrica (inferior a 800 mm; índice de Aridez de Thornthwaite inferior a 0,50 e percentual diário de déficit hídrico superior a 60%, considerando todos os dias do ano).



Figura 1 - Localização do município de Arapiraca no nordeste brasileiro e situação geográfica no estado de Alagoas (região do agreste). Fonte: Abreu (2006). Editado pelos autores.

Segundo Silva (2019) e Torres (2017), o clima de Arapiraca-AL contempla dois períodos distintos:

- **Período quente e seco** (outubro a abril): Caracterizado pelo registro de temperaturas do ar elevadas (valores médios mensais acima de 25 °C, podendo alcançar valores máximos absolutos acima de 36°C), baixa umidade relativa do ar (valores médios mensais abaixo de 80% e valores mínimos absolutos abaixo de 40%), amplitude térmica diária acima de 10 °C e baixa pluviosidade (valores mensais médios abaixo dos 100 mm, com mínima de 0 mm e máxima de 226,2 mm);

- **Período quente e úmido** (maio a setembro): Caracterizado por 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%), baixa amplitude térmica diária (abaixo de 10 °C e mínima de 6,6 °C) e alta pluviosidade (valores mensais acima de 100 mm podendo alcançar máxima de 226,2 mm).

Os ventos predominantes na localidade são provenientes da direção leste, mais frequentes nos meses do período quente e seco, já no período quente e úmido, a direção predominante dos ventos é a sudeste (SILVA, 2019). As principais estratégias bioclimáticas indicadas a partir destes estudos para aplicação no desenho urbano com vistas à adequação de assentamentos edificados são as seguintes (Quadro 1):

Quadro 1 - Principais estratégias bioclimáticas indicadas para adequação ambiental de assentamentos urbanos em Arapiraca-AL.

Ventilação Natural	Deve-se promover o aproveitamento da ventilação natural nos tecidos urbanos para possibilitar a inserção das massas de ar no nível dos edifícios. Esta estratégia apresentou alto percentual de aplicabilidade, acima de 70%, para solucionar as horas de desconforto por calor considerando todas as estações do ano.
Resfriamento Evaporativo	Indicada principalmente no período quente e seco (verão), esta estratégia apresentou percentual de aplicabilidade de 28,6% indicando a necessidade de aumento da umidade relativa do ar para solucionar as horas de desconforto por calor. Sugere-se a incorporação de massas vegetativas para alcançar o resfriamento evaporativo indireto a partir do processo de evapotranspiração das plantas ou adoção de corpos d'água para alcance do resfriamento evaporativo direto.
Sombreamento	Esta estratégia indica a necessidade de menor exposição à radiação solar direta no espaço edificado para evitar o acúmulo de energia térmica e o consequente aumento da temperatura do ar, principalmente, no período quente e seco. O percentual de aplicabilidade identificado apresentou valores acima de 90% para resolver as horas de desconforto por calor considerando todas as estações do ano.

Fonte: elaborado pelos autores.

Devido à ausência de definição dos parâmetros urbanísticos de ocupação na legislação urbana local, a cidade vivencia hoje uma situação de vulnerabilidade quanto à sua condição climática. Esta realidade assemelha-se à encontrada na maioria das cidades de pequeno e médio porte no cenário brasileiro, principalmente na região nordeste.

4. MÉTODO

A presente pesquisa foi baseada na abordagem quali-quantitativa, utilizando-se o método de análise multicritério, aplicado à análise espacial. Foi utilizado o software *QGis,* um sistema de informação geográfica (SIG), livre e aberto, para avaliação integrada do uso do solo do sítio urbano de Arapiraca-AL, objetivando a identificação de *climatopos* que correspondem a áreas geográficas com características microclimáticas similares. Para desenvolvimento da análise empírica, considerando o atual padrão de ocupação territorial urbana da cidade, foram utilizados os dados do cadastro multifinalitário da Prefeitura Municipal de Arapiraca-AL e o mapa de base digital geoprocessada referente à malha de lotes de áreas georreferenciadas (incluindo os campos de área construída e gabaritos).

Para elaboração do mapa de análise de carga térmica**,** foram confeccionadas as seguintes camadas, considerando adaptações na metodologia proposta por Ribeiro (2013):

4.1. Elaboração do Mapa de Volume Edificado - camada 1

Este mapa corresponde à análise do impacto do volume das construções no armazenamento de calor no ambiente urbano. Para elaboração deste mapa foram utilizados os dados referentes à projeção das edificações e gabarito a partir da base cartográfica georreferenciada e do cadastro multifinalitário da prefeitura local. Após o cálculo do volume edificado, foram classificados os tecidos urbanos a partir de resolução 100 m x 100 m (foram estabelecidas 5 classes) e atribuídas as classes/pesos para determinação do mapa de carga térmica. O volume construído, portanto, tem valor positivo na determinação/quantificação da carga térmica (RIBEIRO, 2013). Com a informação do volume construído, procedeu-se à identificação de áreas com significativo adensamento urbano. Os procedimentos adotados foram os seguintes:

- Criação do *raster* de declividade através da base SRTM;
- Recorte do *raster* de acordo com retângulo envolvente dos lotes urbanos com resolução 100 m x 100 m;
- *Grid* criado através do algoritmo "*pixel* de *raster* para polígonos";
- Determinação das classes representadas no mapa: o maior valor de volume construído encontrado recebeu o valor proporcional de 100%. Os valores foram proporcionais divididos em cinco classes (0 a 4%, 4% a 10%, 10% a 25 % e 25% a 100%), conforme Ribeiro (2013).

4.2. Elaboração do Mapa de Massa Arbórea - camada 2

A elaboração deste mapa buscou identificar a existência de elementos arbóreos capazes de contribuir com a amenização térmica na escala microclimática. A arborização pode ser significativamente favorável à redução da temperatura do ar devido à capacidade de absorção de radiação, como também, ao processo de evapotranspiração (aumentando a umidade relativa do ar). Por isso, em relação à carga térmica no ambiente urbano, as áreas verdes possuem valor negativo favorecendo o resfriamento de tecidos urbanos no período diurno e reduzindo os riscos de formação de ilhas de calor no período noturno. Para construção deste mapa foi utilizado o software *QGis*, um sistema de informação geográfica (SIG), juntamente com um *pluggin* nativo, que permitiu utilizar imagens de satélite do programa *Google Earth* para georreferenciamento. Por conseguinte, foi realizado o desenho de polígonos sobre os agrupamentos arbóreos e áreas. A partir das áreas favoráveis identificadas, adotou-se a malha de 10 m x 10 m para analisar a influência da vegetação nas vias e no interior dos lotes. Para fins de entendimento, a classificação do *grid* foi baseada em duas categorias em relação à área ocupada por grupamentos arbóreos: 0 a 30% e acima de 30%. Para os pontos inseridos na primeira classificação, foi empregado um peso 0, ou seja, sem potencial de amenização climática. No segundo caso, foi atribuído peso -1, considerando a existência de elementos arbóreos com potencial de amenização climática.

4.3. Mapa de Carga Térmica

Após o mapeamento da densidade arbórea, os dados espaciais foram processados utilizando álgebra de mapas para a composição de uma malha georreferenciada que permitisse o cálculo para sobreposição dos dados gerados a partir do mapa de volume construído. Inicialmente foi criada uma malha sobre cidade com dados oriundos do *raster* de declividade, convertendo o formato para vetores. O resultado foi uma malha de polígonos com células de 92,171 m por 91,454 m.

A partir desta malha, os polígonos das edificações foram recortados de acordo com os limites de cada célula e, posteriormente, foi realizado o respectivo cálculo de sua área e volume construído para cada pavimento, a fim de contemplar os casos em que edificações possuem áreas e volumes distintos entre os pavimentos. Por fim, a soma das áreas construídas e dos volumes edificados foi agregada às células da malha de acordo com a sua localização.

Para a camada de cobertura arbórea a álgebra de mapas foi semelhante. Inicialmente realizou-se o recorte dos polígonos de acordo com os limites das células da malha, posteriormente foi realizado o cálculo da área de cobertura arbórea e, por fim, estes dados são agregados de acordo com cada célula da malha e unidos à camada base.

Esses procedimentos permitiram criar uma malha georreferenciada com as variáveis necessárias para a classificações e composição dos mapas de Volume Construído, Densidade Arbórea e Carga Térmica (Figura 2).

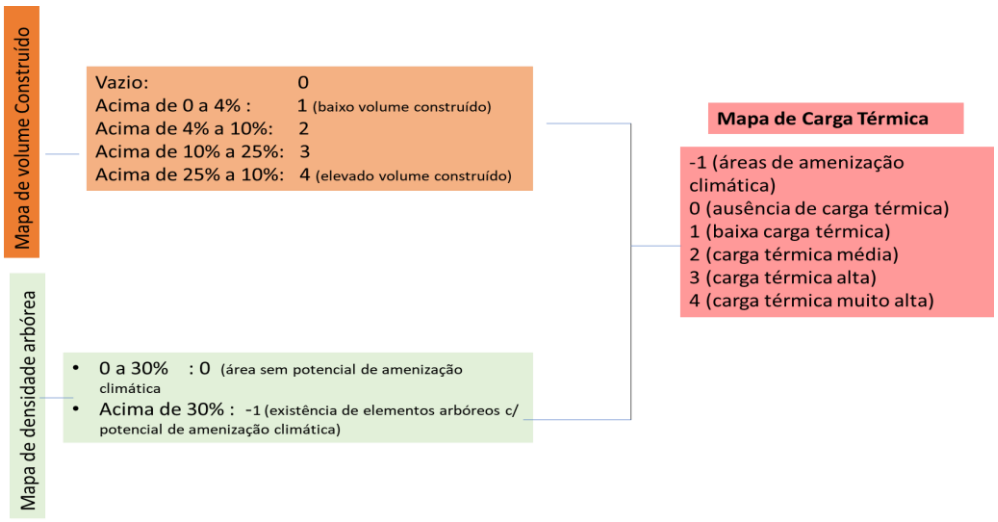

Figura 2 - Esquema referente aos procedimentos adotados para classificação das subcamadas do mapa de carga térmica urbana, baseado e adaptado na metodologia adotada por Ribeiro (2013).

4.4. Realização de monitoramento microclimático

Além da elaboração do Mapa Climático de Carga Térmica do sítio urbano da cidade de Arapiraca-AL, a presente pesquisa contemplou a realização do monitoramento da temperatura ar e umidade relativa do ar, em espaços livres presentes nos tecidos urbanos de morfologias e densidades construtivas diferenciadas. A coleta de dados horários das variáveis climáticas foi realizada através de *data-loggers* da ONSET do tipo HOBO Pro v2[1] de temperatura e umidade relativa do ar (referência U23-001) que é um coletor de dados para ambientes externos à prova d'água. A coleta de dados contemplou 27 dias, no período de 29/01/2022 a 24/02/2022, que corresponde ao o período *quente e seco* conforme o perfil climático da cidade de Arapiraca-AL (SILVA, 2019; TORRES, 2017). 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), fixados à sombra, em postes de iluminação, a 2,30 m de altura (Figura 3).



Figura 3 - Imagem do equipamento utilizado para o monitoramento microclimático em Arapiraca-AL: A) Dispositivo de proteção do sensor; B) Posicionamento do Hobo ProV2 no interior do dispositivo e proteção e C) Equipamento instalado em poste de iluminação pública.

Este monitoramento microclimático objetivou confirmar as tendências de diferenciação térmica e de desempenho microclimáticas identificadas no Mapa de Carga Térmica de Arapiraca-AL. Serão apresentados no presente artigo as diferenciações no desempenho climático dos tecidos selecionados (Quadro 2).

[1] Os sensores apresentam precisão correspondente a ± 0,21 ºC (a partir de 0 ºC a 50 ºC) e, para umidade relativa do ar, ± 2,5% a partir de 10% a 90% (típica).

Quadro 2 - Descrição dos tecidos selecionados para o monitoramento microclimático.

Imagem Aérea	Descrição dos Tecidos monitorados
	**Tecido 1 - Residencial Ares do Alto:** Residencial vertical baixo, localizado no bairro Alto do Cruzeiro (circunvizinho ao centro) representando um tecido de elevada taxa de ocupação do solo (acima de 80%), ou seja, hipoteticamente de baixo potencial para aproveitamento da ventilação natural.
	**Tecido 2 - Residencial Espace:** Padrão morfológico: Vertical Alto Disperso**.** Residencial privado, formado por 4 torres, cada uma contando com 16 pavimentos. A taxa de ocupação é baixa (abaixo de 30%). As áreas externas apresentam solo natural, gramado e diversos elementos arbóreos. Entorno: ocupação horizontal geminada e vazios urbanos. Vegetação formada por grupamentos arbóreos heterogêneos, com árvores de diversos portes, principalmente o alto e com grandes copas, de cobertura foliar homogênea.
	**Tecido 3 - Área Verde:** Espaço livre público (praça) caracterizada pela presença significativa de arborização e sombreamento, solo natural. A pavimentação é composta por piso intertravado. Entorno: é caracterizado pela presença de tecidos de padrão horizontal disperso. Está situado próximo à Av. Ceci Cunha, principal avenida da cidade. Vegetação formada por grupamentos arbóreos homogêneos, com árvores de grande porte, de cobertura foliar heterogênea.
	**Tecido 4 - Residencial Sierra:** Residencial horizontal fechado. Apresenta casas de até 2 pavimentos, porém a ocupação do tecido ainda não está consolidada e apresenta vários lotes ainda não ocupados. Possui arborização e alta taxa de solo natural com grama. Possui baixa taxa de ocupação solo. Entorno: presença de áreas descampadas.
	**Tecido 5 – Centro:** Bairro correspondente ao centro histórico de comércio e serviços, caracterizado pela elevada taxa de ocupação de solo (acima de 50%), com presença de edificações geminadas de até 2 pavimentos. As vias não apresentam arborização.

Fonte: os autores.

5. RESULTADOS

Para realização do *Mapa de Carga Térmica*, foi feita a sobreposição das informações obtidas no mapa de *Volume Edificado* e no mapa de *Massa Arbórea*. O mapa de *Volume Edificado* representa as frações urbanas que interferem no desempenho microclimático desencadeando o acúmulo de calor nas estruturas urbanas (quanto maior o volume construído maior o potencial de acúmulo de calor). O mapa de *Massa Arbórea* representa a espacialidade dos elementos de amenização microclimática que podem favorecer o resfriamento de estruturas urbanas na escala microclimática (núcleos de arborização). Cada mapa teve sua classificação especifica que resultou no Mapa Analítico de Carga Térmica Urbana.

Assim, foi realizado o cálculo do volume edificado urbano a partir da base cartográfica digital da cidade de Arapiraca-AL e realizada a classificação dos tecidos urbanos a partir de resolução 100 m x 100 m através do software *QGis*, para avaliação concomitante das informações de base e altura das edificações.

Para produzir o mapa de volume construído (Figura 4), foram necessárias informações da projeção de cada edificação (delimitação do perímetro) e do gabarito (altura das mesmas). Depois de calculados os volumes estabeleceu-se que o maior valor absoluto encontrado corresponderia ao valor proporcional de 100%. Os valores proporcionais foram divididos em quatro classes: 0,1% a 4%, 4,1% a 10%, 10,1% a 25% e 25,1% a

100%, conforme Ribeiro (2013). Portanto, como o maior valor encontrado foi 27.349 m³ de volume construído, as classes de volume construído foram estabelecidas da seguinte maneira:

- 0 m³ (onde não há nenhuma construção, representando nenhum impacto na carga térmica);
- 0,1 a 4% = até 1.093,96 m³ (baixo impacto na carga térmica);
- 4,1% a 10% = acima de 1.093,96 m³ até 2.734,9 m³ (médio impacto na carga térmica);
- 10,1% a 25% = acima de 2.734,9 m³ até 6.837.25 m³ (alto impacto na carga térmica);
- 25,1% a 100% = acima de 6.837.25 m³ com valor máximo de 27.349 m³ (impacto na carga térmica muito alto).

Ao analisar o mapa de *Volume Construído* (Figura 4) é possível perceber que a ocupação da cidade não é homogênea e os bairros que se encontram mais próximos ao centro da cidade, apresentam maior volume edificado. Esses, que são bairros mais antigos, apresentam em sua maioria uma morfologia horizontal densa e geminada, como os bairros do Centro, Jardim Tropical, Brasília e Alto do Cruzeiro que são os que mais apresentam valores de classe 3 e 4 (médio e alto impacto na carga térmica urbana). Esse padrão de comportamento repete-se no mapa de Carga Térmica (Figura 5), visto que essa tipologia de malha, muito adensada, não costuma ter presença de áreas verdes e apresenta uma tendência ao aquecimento. Já os bairros mais afastados do centro, apresentam um volume construído mais baixo, principalmente por serem bairros mais novos, ainda como predominância de vazios urbanos. Dentre os que apresentam menor volume construído destacam-se os bairros, Massaranduba e Senador Nilo coelho.

Analisando o mapa de *Massa Arbórea*, verifica-se que as áreas com maior capacidade de amenização térmica estão localizadas margeando as bordas do sítio urbano, concentradas em bairros que possuem uma ocupação menos consolidada e distantes das regiões mais centrais, como os bairros Senador Nilo Coelho, Zélia Barbosa Rocha e Padre Antônio Lima Neto. Por outro lado, o montante que corresponde às áreas com 0% a 30% de densidade arbórea, preenchem grande parte da mancha urbana local, ou seja, não apresentam potencial de amenização climática através de arborização.

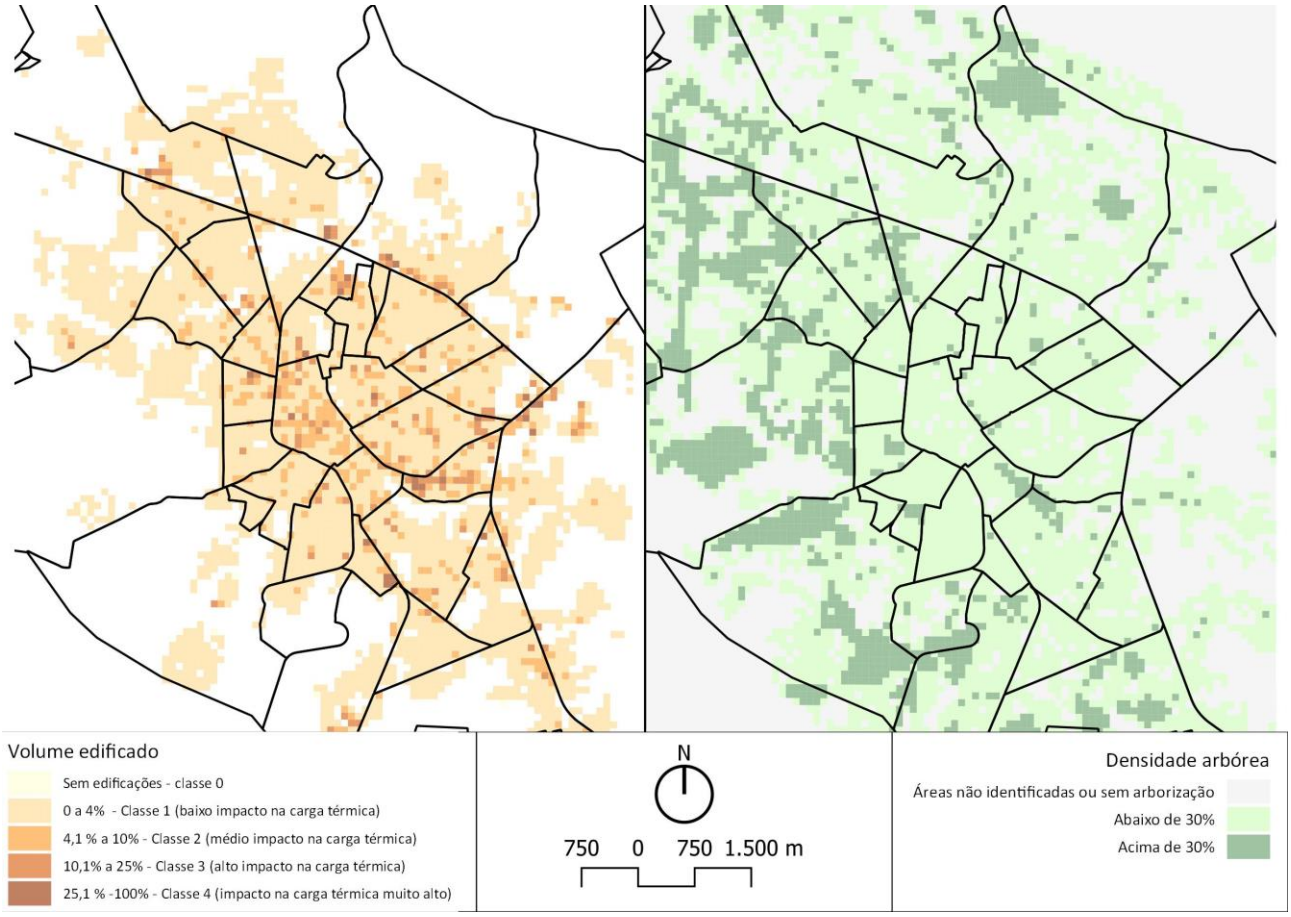

Figura 4 - Mapa de *Volume Construído* (esquerda), mapa de *Massa Arbórea* (direita). Fonte: Elaborado pelos autores.

O mapa de *Carga Térmica* apresentou 6 camadas (Figura 5). Essas camadas refletem a capacidade de redução ou elevação da temperatura do ar nas frações urbanas analisadas que compõem a área urbana do município. As classes -1 e 0 correspondem a áreas da cidade com capacidade de redução das temperaturas por serem as áreas sem influência na carga térmica. Já as demais (de 1 a 4) reúnem áreas que colaboram gradativamente para o aumento da carga térmica. As classes -1 e 0 localizam-se nos bairros mais periféricos da cidade, sendo maioria bairros mais novos, pouco urbanizados e com presença maior de áreas arborizadas.

Ao comparar o mapa de carga térmica com o levantamento microclimático realizado, é possível observar que o tecido que apresentou maior capacidade de amenização climática quanto aos resultados de temperatura do ar foi o tecido 4 (Residencial Sierra) e está localizado no bairro Senador Arnon de Melo, um dos bairros que apresenta menor carga térmica apontada no mapeamento. Porém, vale ressaltar que esse resultado ainda não representa um comportamento climático ideal, correspondendo apenas a uma redução de temperatura do ar em comparação com outros bairros localizados mais próximos ao centro da cidade. Já as classes de 2 a 4 são predominantes no sítio urbano local, porém, nos bairros mais centrais, a capacidade de acúmulo de carga térmica apresenta-se maior. Esses bairros centrais caracterizam-se, em sua maioria, por uma morfologia horizontal densa e geminada, além de uma menor presença de massas arbóreas. Um exemplo estudado no monitoramento microclimático é o Residencial Ares do alto, que apresentou os maiores valores de temperatura máxima do ar em todos os dias representativos monitorados (Figura 5 e Tabela 1).

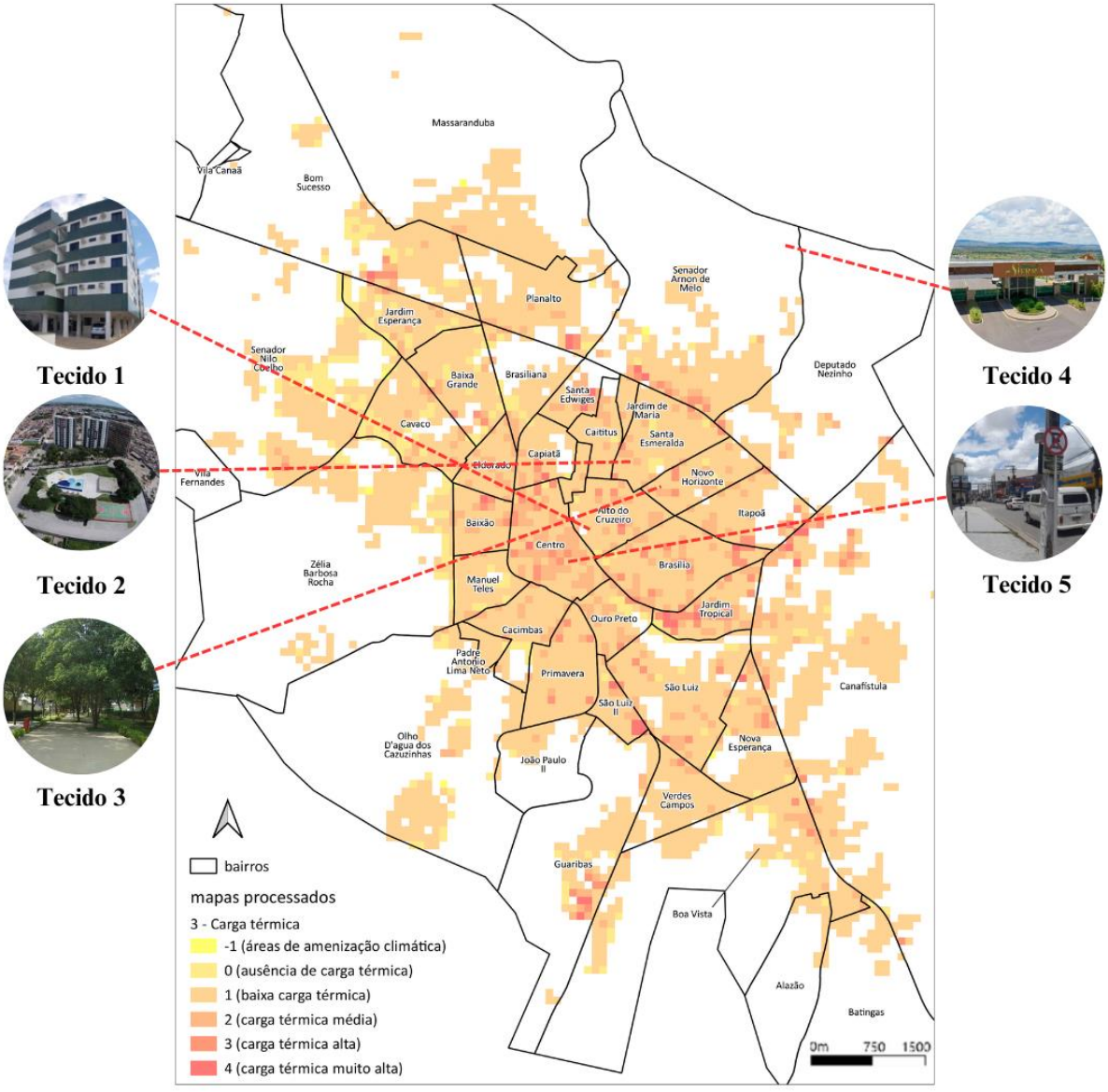

Figura 5 - Mapa de *Carga Térmica Urbana* da cidade de Arapiraca-AL. Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao analisar os dias representativos[2] do monitoramento microclimático, é possível observar que o comportamento referente aos tecidos *4- Residencial Sierra e 2- Residencial Espace* foi caracterizado ao longo do estudo por condições de amenização climática considerando os dados de temperatura do ar, principalmente, considerando os valores de temperatura máxima registrados. Foram identificadas diferenças acima de 5,0 ºC, entre o *Tecido 1- Residencial Ares do Alto* e o *Tecido 2- Residencial Espace* (Tabela 1 e Figura 6). Ou seja, os tecidos que contemplam, no desenho urbano, a aplicação de estratégias bioclimáticas como sombreamento (pela arborização ou conjunto edificado) e menor volume construído associado a menor taxa de ocupação de solo (potencializando o aproveitamento da ventilação natural), apresentaram os menores valores de temperatura máxima e maiores diferenciações térmicas.

Tabela 1 - Valores de temperatura máxima do ar (ºC) e diferenças térmicas (ºC) entre os tecidos urbanos monitorados

DATAS	Tecido 1: ARES DO ALTO	Tecido 2: RES. ESPACE	Diferença Térmica Tecido 1-2	Tecido 3: ÁREA VERDE	Diferença Térmica Tecido 1-3	Tecido 4: RES. SIERRA	Diferença Térmica Tecido 1-4	Tecido 5: CENTRO	Diferença Térmica Tecido 1-5
31/01/2022	**35,0**	**32,3**	2,7	**32,5**	2,5	**32,7**	2,3	33,2	1,9
01/02/2022	**35,9**	**32,9**	3,0	**33,1**	2,9	**33,2**	2,7	33,5	2,4
04/02/2022	**34,8**	**31,6**	3,2	**31,7**	3,1	**31,7**	3,1	32,4	2,4
05/02/2022	**35,9**	**32,4**	3,4	**32,6**	3,3	**32,8**	3,1	33,5	2,4
06/02/2022	**37,8**	**32,6**	5,1	**32,9**	4,9	**33,9**	3,8	35,0	2,8
07/02/2022	**36,6**	**33,5**	3,0	**34,0**	2,5	**34,2**	2,3	34,3	2,3
08/02/2022	**36,5**	**33,1**	3,4	**33,5**	3,0	**33,2**	3,3	33,8	2,7
09/02/2022	**36,6**	**33,4**	3,2	**33,4**	3,2	**33,5**	3,2	34,1	2,5
10/02/2022	**36,0**	**33,5**	2,5	**33,8**	2,2	**33,7**	2,3	34,0	2,0
11/02/2022	**37,3**	**34,3**	3,0	**34,3**	2,9	**34,0**	3,3	35,4	1,8
13/02/2022	**35,9**	**33,5**	2,4	**33,9**	2,0	**33,9**	2,0	34,3	1,6
14/02/2022	**33,9**	**32,3**	1,6	**32,4**	1,5	**32,3**	1,6	32,8	1,1
15/02/2022	**35,1**	**32,6**	2,6	**32,9**	2,2	**32,5**	2,7	33,2	1,9
17/02/2022	**36,3**	**33,3**	3,0	**33,7**	2,7	**32,7**	3,6	34,2	2,1

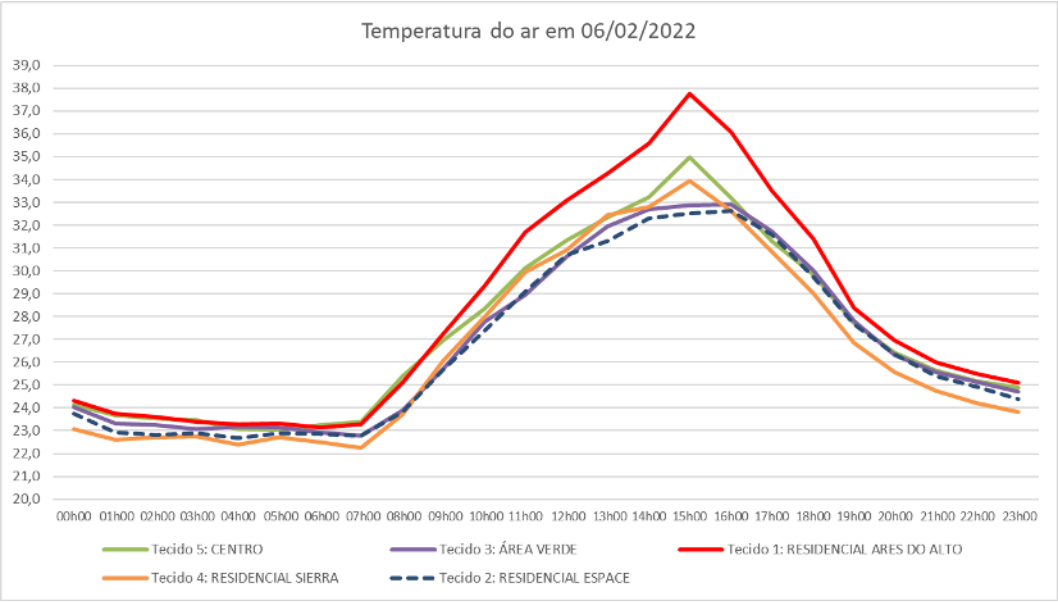

Figura 6 - Gráfico referente ao comportamento da temperatura do ar no dia representativo de monitoramento microclimático: 06/02/2022.

[2] O dia representativo, é aquele que possui um padrão uniforme de aquecimento observando os dados de temperatura do ar e radiação, com ausência de pluviosidade e nebulosidade. Os dias que possuem picos de temperatura, também, foram considerados por representarem as situações mais adversas de acordo com o período/ estação analisado.

6. CONCLUSÕES

É preciso relatar que a adoção de espaços arborizados em meio aos sítios urbanos tem papel de suma importância na adequação climática em Arapiraca-AL, o que coloca um alerta na situação ilustrada pelo mapa de massa arbórea, onde grande parte do município é categorizado como áreas sem potencial de amenização térmica devido à ausência ou baixo índice de agrupamentos arbóreos. Assim, é preciso reforçar a implementação dessa estratégia nas áreas consolidadas da cidade, visto sua grande capacidade de adequação ambiental e, além disso, preservar as áreas vegetadas existentes.

A partir desses resultados, evidencia-se a importância e impacto que a morfologia urbana e as estratégias bioclimáticas exercem na obtenção da adequação climática. Além disso, corrobora para entendermos que o mapa climático é uma importante ferramenta para espacializar os problemas e soluções necessárias, de maneira traduzida em parâmetros urbanísticos e instrumentos de planejamento urbano, considerando, entre outros elementos, medidas pensadas para cada local especifico, procurando produzir uma melhor da qualidade climática dos espaços.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FERREIRA, D. G.; ASSIS, E. S. De; KATZSCHNER, L. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 2017. v. 9, n. suppl 1, p. 255–270.

FREITAS, R. F. M. De *et al.* Mapa climático como instrumento para o planejamento urbano. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, 2021. v. 23, p. 1–31.

HIGUERAS, E. **Urbanismo Bioclimático**. 1ª ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.

IBGE. **Divisão Regional do Brasil**. [S.l.]: [s.n.], 2017. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/divisao-regional/15778-divisoes-regionais-do-brasil.html?=&t=downloads.

_____. **Semiário brasileiro**. 2018. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=downloads.

IRGER, M. **The effect of urban form on urban microclimate**. [S.l.]: [s.n.], 2014.

REN, C.; NG, E. Y. Y.; KATZSCHNER, L. Urban climatic map studies: A review. **International Journal of Climatology**, 2011. v. 31, n. 15, p. 2213–2233.

RIBEIRO, C. A. M. **Atualização e aprofundamento do mapa de análises climáticas do Município de João Pessoa - PB**. João Pessoa:Dissertação (mestrado) Universidade Federal da Paraíba, 2013.

SILVA, M. F. **Estratégias Bioclimáticas para seis cidades alagoanas:** contribuições para adequação da arquitetura ao clima local. 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 bioclimátic**a**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/22459.

WANG, Y.; BERARDI, U.; AKBARI, H. Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. **Energy and Buildings**, 2016. v. 114, p. 2–19. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.046.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pela bolsa de iniciação científica, concedida à Juliana Carla do Nascimento, vinculada ao PIBIC UFAL no período de agosto 2021 a agosto de 2022.