Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
UFGD Editora

ILHAS DE CALOR SUPERFICIAIS E ONDAS DE CALOR EM TRÊS LAGOAS, MS: ANÁLISE PELA ÓTICA DO RISCO E DA VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL

Surface heat islands and heat waves in Tres Lagoas, MS: analysis from the perspective of risk and socio-environmental vulnerability

Islas de calor superficiales y ondas de calor en Tres Lagoas, MS: análisis desde la óptica del riesgo y de la vulnerabilidad socioambiental

Gislene Figueiredo Ortiz Porangaba
Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), câmpus de Três Lagoas
gislene.ortiz@ufms.br

Emerson Galvani
Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo (USP)
egalvani@usp.br

Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim
Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente
margarete.amorim@unesp.br

Resumo: Segundo o sexto relatório do Programa Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2022), os eventos extremos estão cada vez mais frequentes e intensos, devido às mudanças climáticas, além da variabilidade natural climática. Dentre os diferentes eventos extremos, as ondas de calor se revelam ameaçadoras para as atividades humanas e para o ambiente natural. Nas áreas urbanas, as ondas de calor são ainda mais impactantes devido ao incremento térmico das ilhas de calor. Esses fenômenos atmosféricos conjugados impactam a sociedade, mas sobretudo os indivíduos mais vulneráveis. Entendendo que durante eventos extremos de calor parcela da população urbana se encontra em vulnerabilidade socioambiental a tais fenômenos, objetivou-se analisar a frequência das ondas de calor (2001 – 2022) e a intensidade das ilhas de calor superficiais na cidade de Três Lagoas–MS, durante o ano de 2019, para identificar os setores urbanos em risco e vulnerabilidade socioambiental a eventos extremos de calor. Os resultados apontaram para um aumento na frequência

das ondas de calor durante os anos de 2001 e 2022, como também áreas da cidade em alta e muito alta vulnerabilidade socioambiental às ilhas de calor superficiais, durante uma onda de calor registrada em novembro de 2019.

Palavras-chave: Eventos extremos de calor. Clima urbano. Temperatura superficial. Uso do Solo.

Abstract: According to the sixth report from the Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2022), extreme events are becoming increasingly frequent and intense due to both climate change and natural climate variability. Among these extreme events, heat waves pose significant threats to human activities and the natural environment. In urban areas, the impact of heat waves is exacerbated by the thermal elevation caused by heat islands. These combined atmospheric phenomena have a profound impact on society, particularly affecting the most vulnerable individuals. Recognizing that during extreme heat events, a segment of the urban population is socio-environmentally vulnerable to such phenomena, this study aimed to analyze the frequency of heat waves from 2001 to 2022 and the intensity of surface heat islands in Três Lagoas, MS, in 2019. The objective was to identify urban sectors at risk and assess socio-environmental vulnerability to extreme heat events. The findings indicated an increase in the frequency of heat waves between 2001 and 2022, along with areas in the city exhibiting high to very high socio-environmental vulnerability to surface heat islands during the November 2019 heat wave.

Keywords: Extreme heat events. Urban climate. Surface temperature. Land use.

Resumen: Según el sexto informe del Programa Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático – IPCC (2022), los eventos extremos están incrementándose en frecuencia e intensidad debido al cambio climático y a la variabilidad climática natural. Entre estos eventos extremos, las olas de calor representan una amenaza significativa para las actividades humanas y el medio ambiente. En las zonas urbanas, las olas de calor tienen un impacto aún más pronunciado debido al incremento térmico generado por las islas de calor. Estos fenómenos atmosféricos combinados afectan a la sociedad en general, pero especialmente a los individuos más vulnerables. Considerando que durante los eventos de calor extremo una parte de la población urbana es socioambientalmente vulnerable a estos fenómenos, este estudio tuvo como objetivo analizar la frecuencia de las olas de calor entre 2001 y 2022 y la intensidad de las islas de calor superficiales en Três Lagoas, MS, durante 2019, para identificar sectores urbanos en riesgo y vulnerabilidad socioambiental ante eventos de calor extremo. Los resultados señalaron un incremento en la frecuencia de las olas de calor entre 2001 y 2022, así como la identificación de áreas urbanas con alta y muy alta vulnerabilidad socioambiental a las islas de calor superficiales durante la ola de calor de noviembre de 2019.

Palabras clave: Eventos de calor extremo. Clima urbano. Temperatura superficial. Uso del suelo.

Submetido em: 27/04/2024
Aceito para publicação em: 11/08/2024
Publicado em: 08/09/2024

1. INTRODUÇÃO

O sexto relatório do Programa *Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC (2022) revela que as mudanças climáticas, incluindo eventos extremos, têm se tornado cada vez mais frequentes e intensos, causando danos irreparáveis à sociedade e à natureza, além da variação natural do clima.

Dentre os eventos extremos, as ondas de calor são um dos fenômenos potencializados pelos efeitos das mudanças climáticas, sendo o principal causador de óbitos relacionados ao clima (Robinson, 2001). Segundo Marx, Haunschild e Bornmann (2021), é provável que as ondas de calor mais frequentes e mais duradouras aumentem significativamente as taxas de mortalidade, especialmente em regiões urbanas com elevada poluição atmosférica.

As ondas de calor são conceituadas como um aumento da temperatura máxima média habitual por um determinado período em uma região. Para McGregor *et al.* (2015), as ondas de calor são definidas como um evento climático extremo derivado de um episódio de calor excessivo com duração de alguns dias, as quais representam um risco iminente à sociedade e aos sistemas naturais terrestres e marinhos.

As áreas urbanas são acometidas pelos efeitos das ilhas de calor, que se dão pelo armazenamento da radiação solar pelo tecido urbano durante o dia e liberado lentamente de volta à atmosfera, diminuindo o resfriamento noturno. Como resultado, as temperaturas urbanas noturnas podem estar vários graus acima das temperaturas regionais durante os eventos de ondas de calor. Isso tem implicações importantes, não apenas para os citadinos, mas também para os sistemas biofísicos urbanos (McGregor *et al.*, 2015).

De acordo com Kong *et al.* (2021), os impactos das ilhas de calor são intensificados durante a ocorrência de ondas de calor. Ainda conforme os autores, pesquisas recentes também demonstram que os efeitos das ilhas de calor podem aumentar a frequência e a duração de eventos extremos de calor, pois pode estender a duração de condições quentes e reduzir a janela de tempo para alívio de altas exposições ao calor.

As ilhas de calor contribuem para o aumento das temperaturas urbanas durante as ondas de calor (Kong *et al.*, 2021). Sendo "[...] um fenômeno que associa os condicionantes derivados das ações antrópicas sobre o meio ambiente urbano, em termos do uso do solo e os condicionantes do meio físico e seus atributos geoecológicos" (Lombardo, 1985, p. 77). As

ilhas de calor são a manifestação mais percebida pela população e comunidade científica relacionada ao clima urbano, este último definido como “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização” (Monteiro, 1976, p.95).

As ilhas calor podem ser divididas em quatro tipos conforme Oke *et al*. (2017): a ilha de calor da atmosfera inferior (*Canopy layer urban heat island)*, que compreende o ar da superfície até o nível médio dos telhados, a ilha de calor da atmosfera acima do nível médio dos telhados (*Boundary layer urban heat island*), a ilha de calor de superfície (*Surface urban heat island*) e a ilha de calor de subsuperfície (*Subsurface urban heat island).* No presente artigo será dado enfoque às ilhas de calor de superfície devido à falta de dados meteorológicos adequados (medidas em pontos urbano e ponto rural), para identificação de ilhas de calor atmosféricas na área de estudo.

Conforme Fialho (2021), as ilhas de calor superficiais podem exibir maior intensidade durante o dia e a noite, sobretudo no verão.

Os fenômenos atmosféricos (ondas de calor e ilhas de calor) podem impactar significativamente a sociedade, mas sobretudo a vida de indivíduos mais vulneráveis. Tais indivíduos são entendidos pela comunidade científica como pessoas com capacidade socioeconômica reduzida, idosos, portadores de doenças cardiovasculares ou respiratórias preexistentes, trabalhadores ao ar livre ou de serviços pesados, como também adultos jovens e crianças (McGregor *et al.*, 2015).

Pelo enfoque do risco e da vulnerabilidade a eventos climáticos extremos, assume-se que tais indivíduos estão sob risco e vulnerabilidade socioambiental (Mendonça, 2010, 2016). Nessa perspectiva, observa-se que parcela da população urbana pode sofrer as consequências das ondas de calor potencializadas pelas ilhas de calor de forma mais intensa do que aquela que tem capacidade de climatizar os ambientes para um melhor conforto térmico. Destaca-se que o risco a esses fenômenos é para toda a população da área atingida, enquanto a vulnerabilidade se relaciona à capacidade de resistir e se recuperar de algum evento extremo, nesse caso as ondas de calor.

Relacionando as ondas de calor aos efeitos das ilhas de calor de superfície a partir da ótica do risco e da vulnerabilidade socioambiental, tem-se por objetivo analisar a frequência das ondas de calor e a intensidade das ilhas de calor superficiais na cidade de Três Lagoas–

MS, durante o ano de 2019 para identificar os setores urbanos em risco e vulnerabilidade socioambiental a eventos extremos de calor.

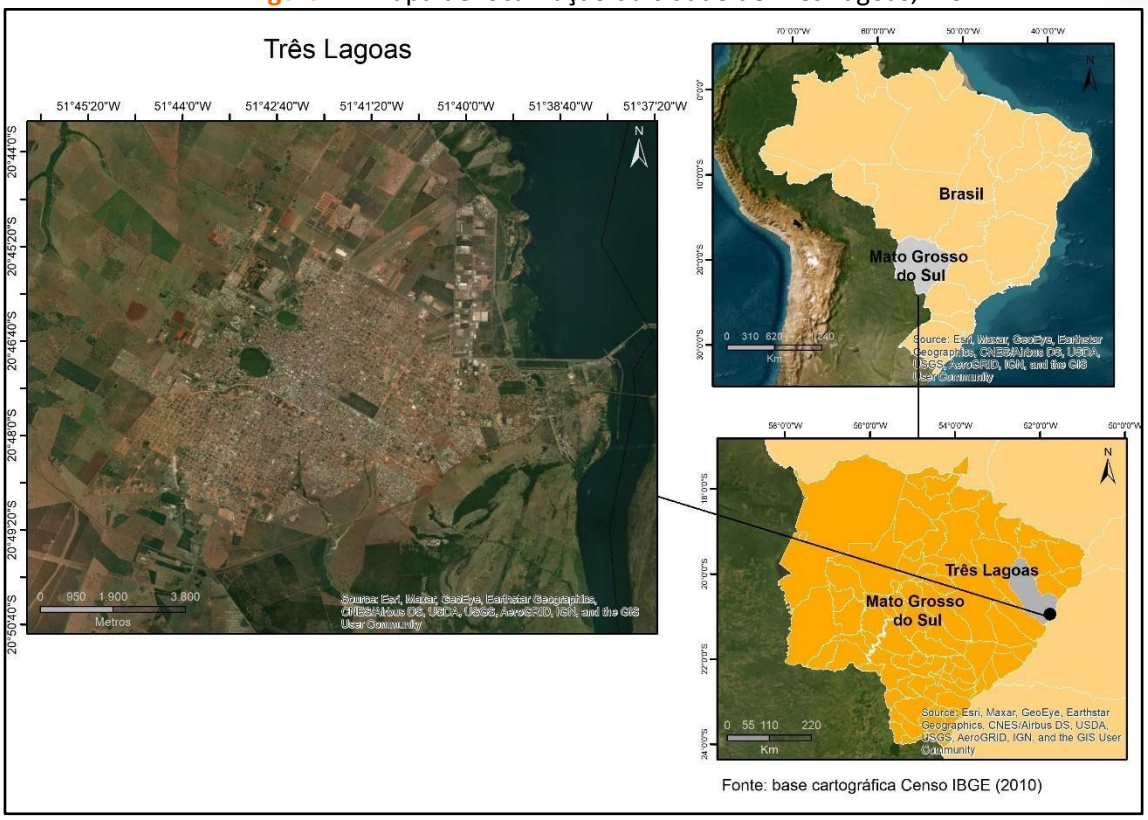
2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1. Área de estudo

A cidade de Três Lagoas tem sua localização em 20° 45’ 04” de latitude sul e 51° 40’ 42” de longitude oeste (Figura 1), com população de 132.152 hab. (IBGE, 2022), densidade demográfica de 12,93 hab./km² e área urbanizada de 48,96 km². O salário médio da população residente é de 2,9 salários mínimos. O quadro natural da cidade é composto pelos biomas de cerrado e mata atlântica, sendo a altitude média de 320m, com classificação climática tropical semisseco (Novais, 2023).

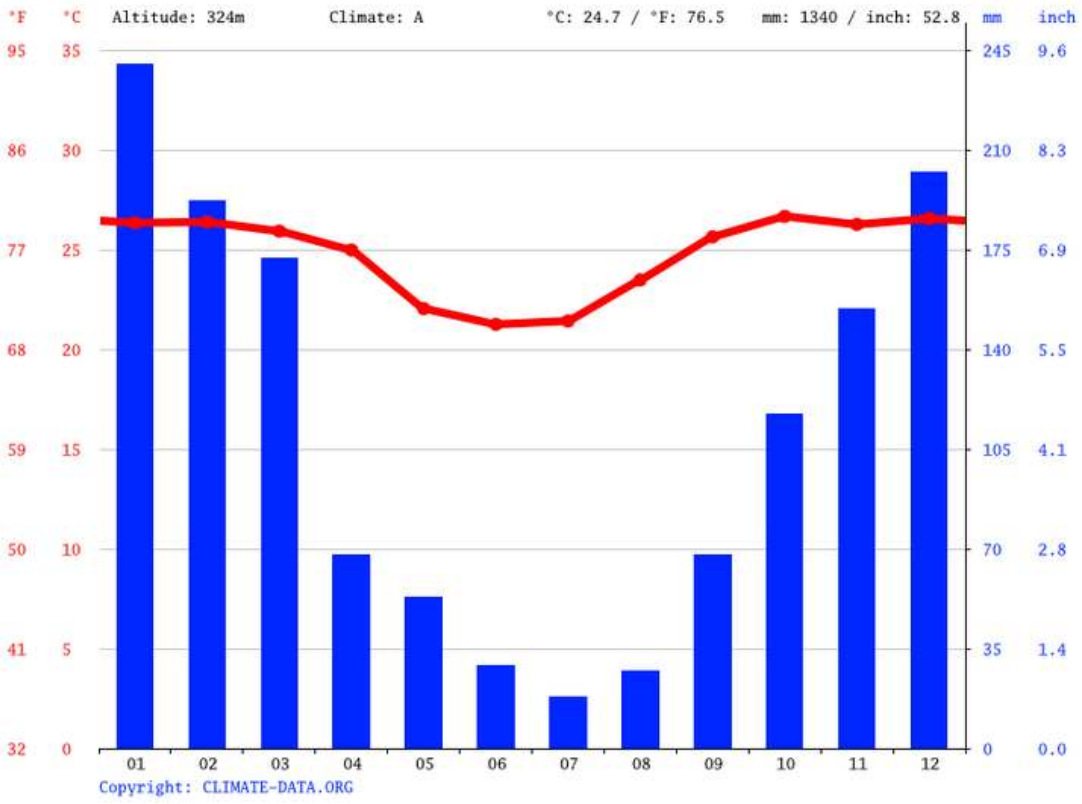
Devido às suas características naturais, a população de Três Lagoas se encontra exposta constantemente às altas temperaturas inerentes ao ambiente tropical continental, com temperatura média anual de 24,7 °C (Figura 2). Estudos realizados na cidade determinaram que existem setores urbanos em vulnerabilidade socioambiental urbana a ilhas de calor superficiais (Ortiz Porangaba; Bacani; Milani, 2020) e que os eventos de ondas de calor têm aumentado nos últimos anos (Belini; Ortiz Porangaba, 2023).

Figura 1 - Mapa de localização da cidade de Três Lagoas, MS.



Fonte: Org. Os autores (2024).

Figura 2 – Climograma de Três Lagoas.



Fonte: https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/mato-grosso-do-sul/tres-lagoas-34651/.

2.2. Obtenção dos dados socioambientais

Os eventos extremos podem ser analisados como fenômenos que se revelam de forma díspar quanto ao seu padrão habitual, podendo ser estatisticamente estudados a partir de valores estabelecidos acima ou abaixo dos desvios (Mendes, Amond e Silva, 2022).

Nesse escopo, os procedimentos metodológicos desta pesquisa se pautaram na obtenção e organização de dados de temperatura do ar da cidade de Três Lagoas, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do período de 2001 a 2022[1].

Os dados de temperatura do ar foram submetidos a filtragem por anos entre o período analisado, em seguida se deu a elaboração de tabelas dinâmicas e a formatação condicional para a demarcação do limiar de temperatura do ar, a fim de identificar as ondas de calor no *software Excel* (Marca registrada *Microsoft Office)*. A determinação do limiar da temperatura do ar para identificar a presença de ondas de calor na área estudada seguiu as orientações do IPCC (2001), que define as ondas de calor a partir de um acréscimo de 5 °C, a média da temperatura máxima diária por um período igual ou superior a cinco dias consecutivos. Nesse caso, para a cidade de Três Lagoas, por meio da análise das normais climatológicas, obteve-se o limiar de 36,3 °C, ou seja, dias com temperaturas do ar máxima absoluta superior a este limiar, em pelo menos um horário do dia e ao menos por 5 dias consecutivos.

De posse dessa informação, identificou-se na série de dados que, no ano de 2019, ocorreram mais episódios de ondas de calor, totalizando oito ondas de calor, sendo essa a justificativa para a análise horária desses eventos extremos. Após isso, somou-se na planilha trabalhada a quantidade de horas com a temperatura acima do limiar definido durante cada uma das ondas de calor.

A partir do tratamento dos dados, geraram-se tabelas e gráficos horários que possibilitaram as análises da presença de tais eventos extremos na cidade de Três Lagoas, referentes ao ano de 2019.

[1] Optou-se por suprimir do estudo os anos com dados faltantes, sendo eles: 2003, 2004, 2008, 2009 e 2020.

2.3. Procedimentos metodológicos para elaboração de cartas de temperatura de superfície e de vulnerabilidade socioambiental

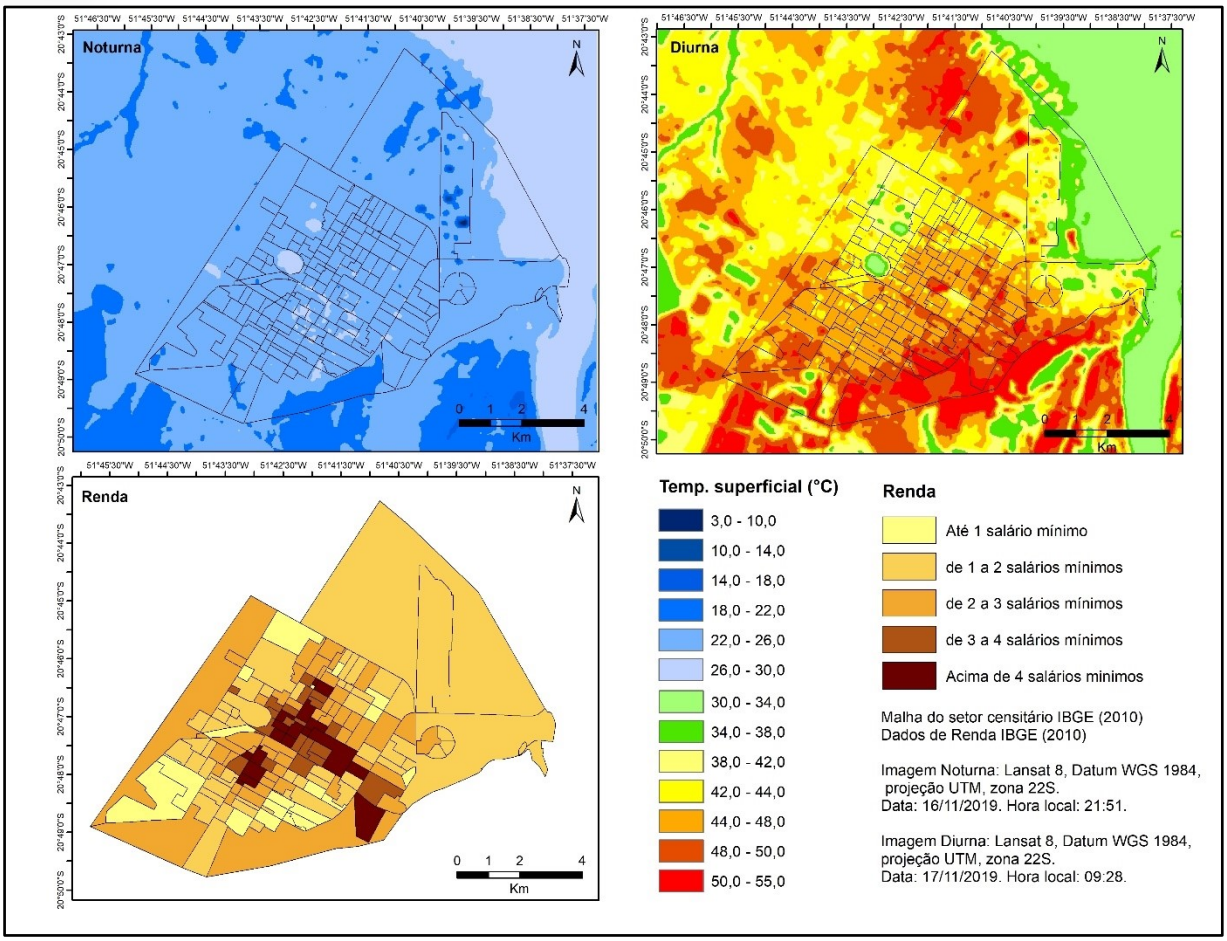
Tendo o levantamento de todos os eventos extremos de calor, buscou-se no banco de imagens do serviço geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey* - USGS), imagens do satélite Landsat 8 sem cobertura de nuvens durante uma onda de calor para mapeamento das ilhas de calor superficiais. Para identificação de ilhas de calor de superfície foram elaboradas cartas de temperatura de superfície a partir do tratamento digital de imagens do satélite Landsat 8 sensor TIRS, banda 10 do espectro Infravermelho termal (faixa espectral 10,6 – 11,19 *µm*), com resolução espacial de 100 metros e reamostradas para 30 metros, imageadas nos dias 16/11/2019[2] às 21h51min (hora local) e 17/11/2019 às 09h28min (hora local), no *software ArcGis 10.8* (marca registrada *Environmental Systems Research Institute* - Esri). As etapas e fórmulas utilizadas para o processamento das imagens estão descritas em Ortiz Porangaba, Bacani e Milani (2020). Os referidos mapas de temperatura superficial diurna e noturna constam na Figura 3.

Para a elaboração do mapa de segmento de rendimento (Figura 3), foram utilizados dados de renda do Censo IBGE (2010) distribuídos na malha digital territorial de Três Lagoas (Censo, IBGE, 2010).

A determinação da vulnerabilidade socioambiental à ilha de calor superficial (noturna e diurna), durante onda de calor (2019), foi feita a partir da definição de pesos do segmento de rendimento e pesos da intensidade da ilha de calor superficial, conforme tabela 1 e 2.

[2] A imagem noturna foi solicitada pelo site https://landsat.usgs.gov/landsat-data-acquisition-request.
Landsat Product Identifier L1 (LC08_L1GT_104170_20191116_20200825_02_T2).
Landsat Scene Identifier (LC81041702019320LGN00).

Figura 3 - Mapas de temperatura de superfície noturna e diurna e renda de Três Lagoas.



Fonte: Org. Os autores (2024).

Tabela 1- Conversão do segmento de rendimento e da temperatura de superfície (noturna) em pesos.

Segmento de rendimento	Peso	Temperatura de superfície	Peso
Até 1 salário mínimo	5	04 – 09°C	1
De 1 a 2 salários mínimos	4	09 – 14°C	2
De 2 a 3 salários mínimos	3	14 – 19°C	3
De 3 a 4 salários mínimos	2	19 – 24°C	4
Acima de 4 salários mínimos	1	24 – 29°C	5

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Tabela 2- Conversão do segmento de rendimento e da temperatura de superfície (diurna) em pesos.

Segmento de rendimento	Peso	Temperatura de superfície	Peso
Até 1 salário mínimo	5	30 – 35°C	1
De 1 a 2 salários mínimos	4	35 – 40°C	2
De 2 a 3 salários mínimos	3	40 – 45°C	3
De 3 a 4 salários mínimos	2	45 – 50°C	4
Acima de 4 salários mínimos	1	50 – 55°C	5

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O procedimento metodológico utilizado foi a sobreposição de mapas, "essa clássica função de análise geoespacial parte da premissa de que a paisagem pode ser modelada por meio de sobreposição (*over*) de camadas (*lays*) geográficas, sendo cada camada uma variável espacial" (Ferreira, 2014, p.308). Posto isso, com os pesos definidos, os mapas foram reclassificados e submetidos à soma dos pesos no *software ArcGis*, a partir da ferramenta *raster calculator*. Depois da soma, foram definidas cinco classes para a vulnerabilidade socioambiental da área de estudo, sendo: muito fraca (<6), fraca (7), moderada (8), forte (9) e muito forte (10).

Em resumo, a partir da obtenção da frequência das ondas de calor entre os anos de 2001 e 2022, e da identificação do ano de maior ocorrência das mesmas (2019), foram elaboradas cartas de temperatura de superfície noturna e diurna durante uma onda de calor e por meio de sobreposição geraram-se mapas de vulnerabilidade socioambiental (noturna e diurna), a fim de identificar os setores urbanos em vulnerabilidade socioambiental a eventos extremos de calor em Três Lagoas.

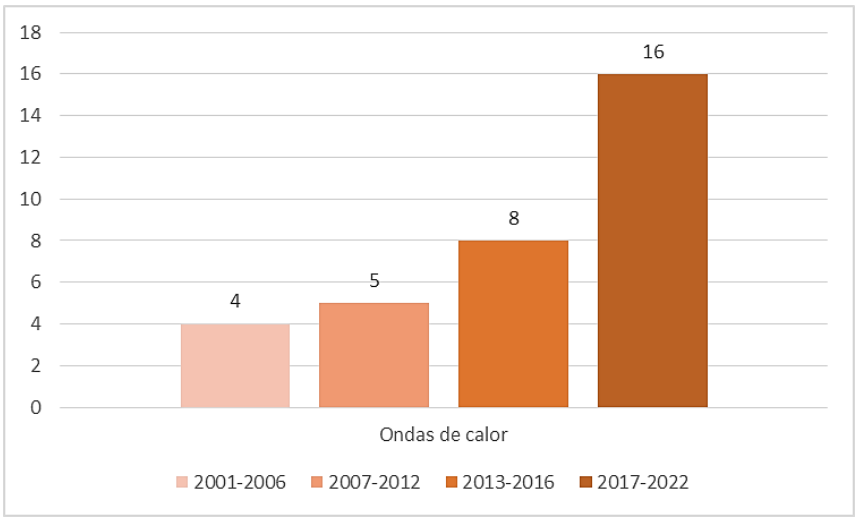
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.3. Eventos extremos de calor em Três Lagoas (2001 – 2022)

Conforme a Figura 4, ocorreu um aumento significativo da frequência das ondas de calor na cidade de Três Lagoas, compreendendo o período estudado. Entre os anos de 2001 e 2006, foram registradas quatro ondas de calor. No período entre 2007 e 2012, identificaram-

se cinco ondas de calor, entre 2013 e 2016, subiu para oito ondas de calor e, entre os anos de 2016 e 2022, identificaram-se dezesseis ondas de calor. Estudo realizado anteriormente na cidade (Belini; Ortiz Porangaba, 2023) diagnosticou também esse aumento da frequência de tais eventos extremos de calor.

Figura 4 – Frequência das ondas de calor em Três Lagoas (2001 – 2022).

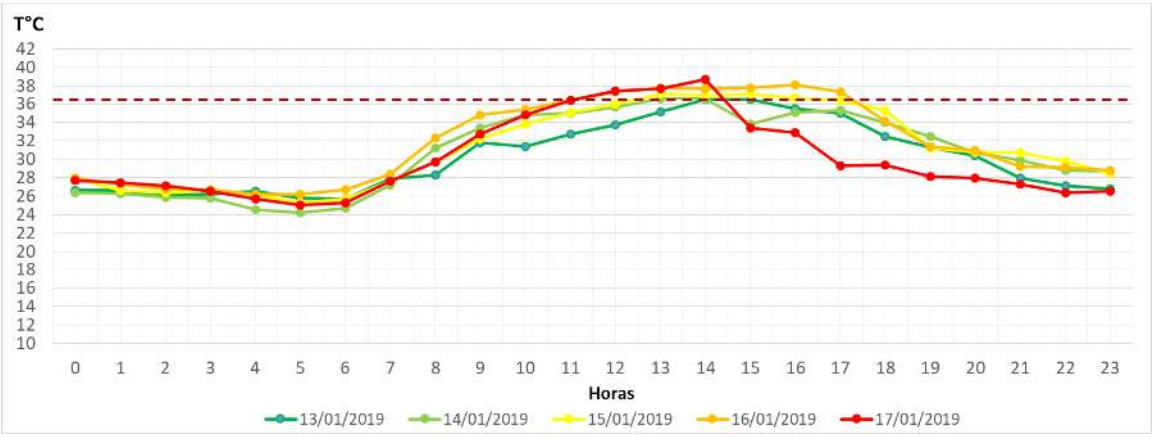


Fonte: Estação meteorológica do INMET (2023). Org. Os autores (2024).

Diante do exposto, durante o ano de 2019, na cidade de Três Lagoas, registrou-se a atuação de 8 ondas de calor.

Na Figura 5, observa-se que a onda de calor ocorrida durante os dias 13 e 17 de janeiro na área de estudo expôs a população local a 20h de calor excessivo, com temperaturas acima de 36,3 °C. No dia 17, a atmosfera da cidade experimentou a maior temperatura, com 38,7 °C, às 14h.

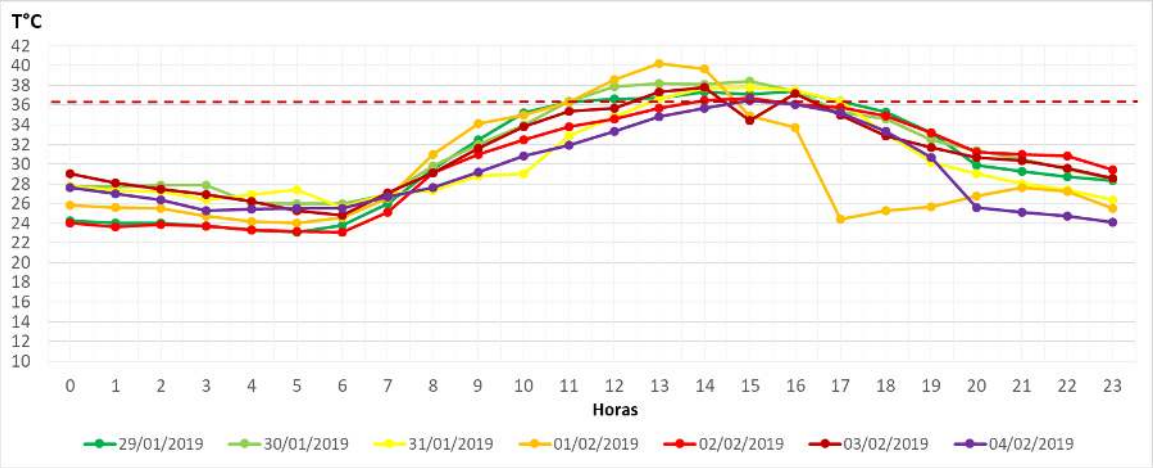
Figura 5 - Onda de calor entre os dias 13 e 17 de janeiro de 2019 em Três Lagoas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Entre os dias 29 de janeiro e 04 de fevereiro de 2019 (Figura 6), observa-se que a onda de calor em Três Lagoas apresentou 28h de altas temperaturas, superior a 36,3 °C. O pico do evento extremo ocorreu às 13h do dia 01, com temperatura máxima de 40,2 °C.

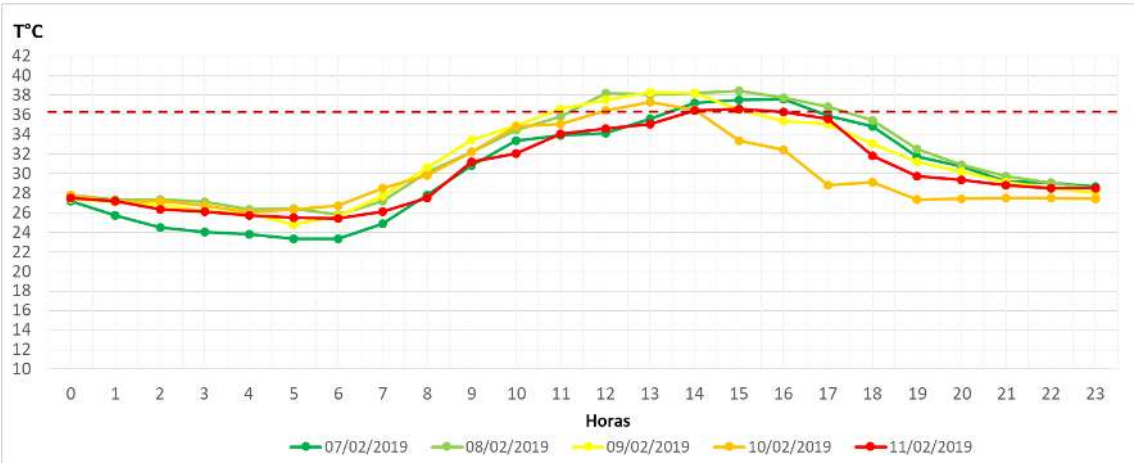
Figura 6 - Onda de calor entre os dias 29 de janeiro e 04 de fevereiro de 2019 em Três Lagoas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Durante os dias 07 e 11 de fevereiro de 2019 (Figura 7), também foi identificada uma onda de calor atuando na cidade estudada. Esse evento superou o limiar de 5 dias consecutivos, totalizando 7 dias. Durante o fenômeno, a população local esteve exposta a 20h de calor excessivo, sendo a temperatura máxima ocorrida no dia 08, às 15h, com 38,4 °C.

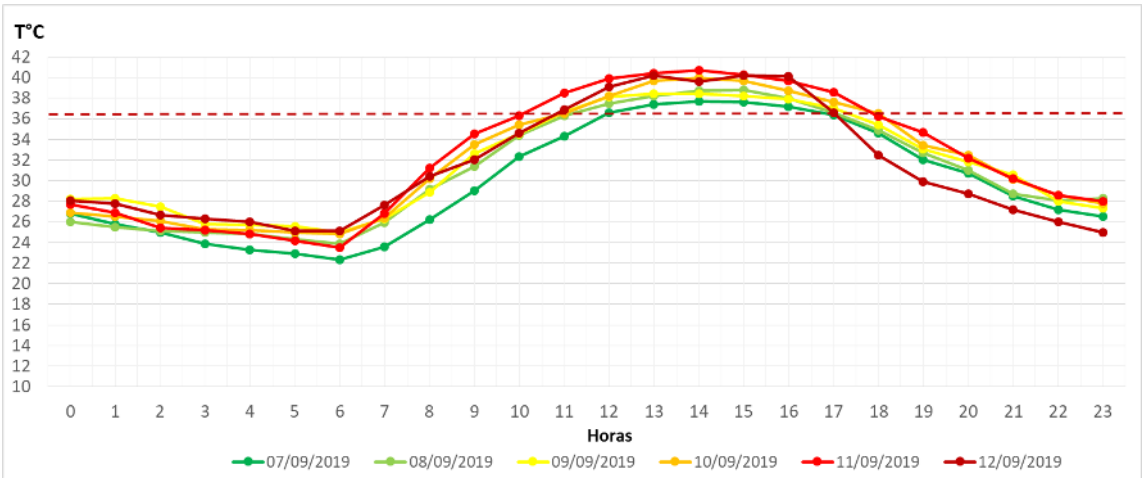
Figura 7 - Onda de calor entre os dias 07 e 11 de fevereiro de 2019 em Três Lagoas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Na Figura 8, observa-se que a frequência da onda de calor referente ao período de 07 a 12 de setembro proporcionou um total de 42h de altas temperaturas durante 6 dias consecutivos. Sendo o pico desse evento extremo no dia 11, às 14h, com 40,7 °C.

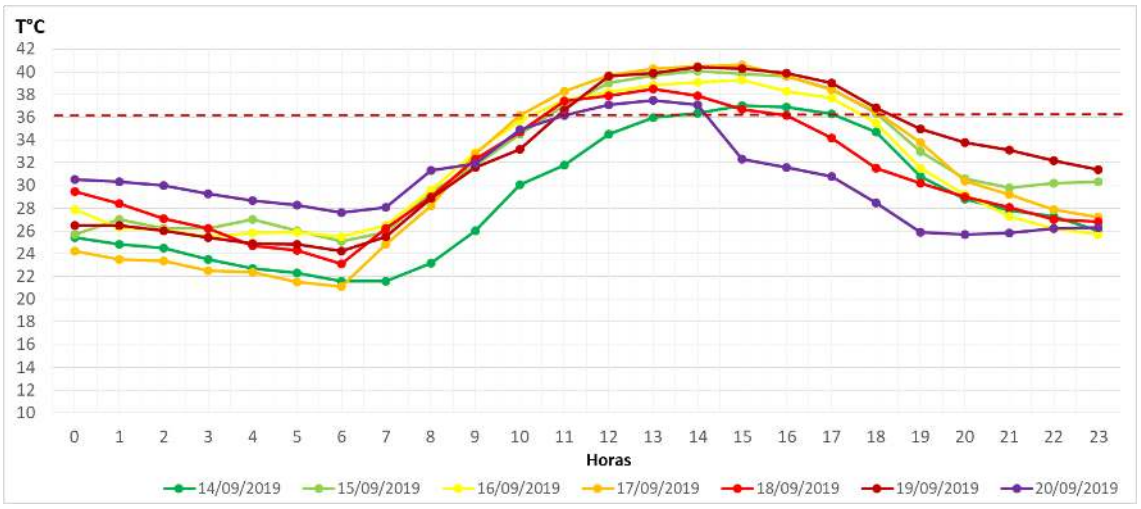
Figura 8 - Onda de calor entre os dias 07 e 12 de setembro de 2019 em Três Lagoas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Conforme a Figura 9, verifica-se que, durante o período compreendido entre os dias 14 e 20 de setembro de 2019, a população de Três Lagoas esteve exposta ao total de 43h de temperatura do ar acima de 36,3 °C, por 7 dias consecutivos. A maior temperatura do ar registrada nesse período foi de 40,6 °C no dia 17, às 15h.

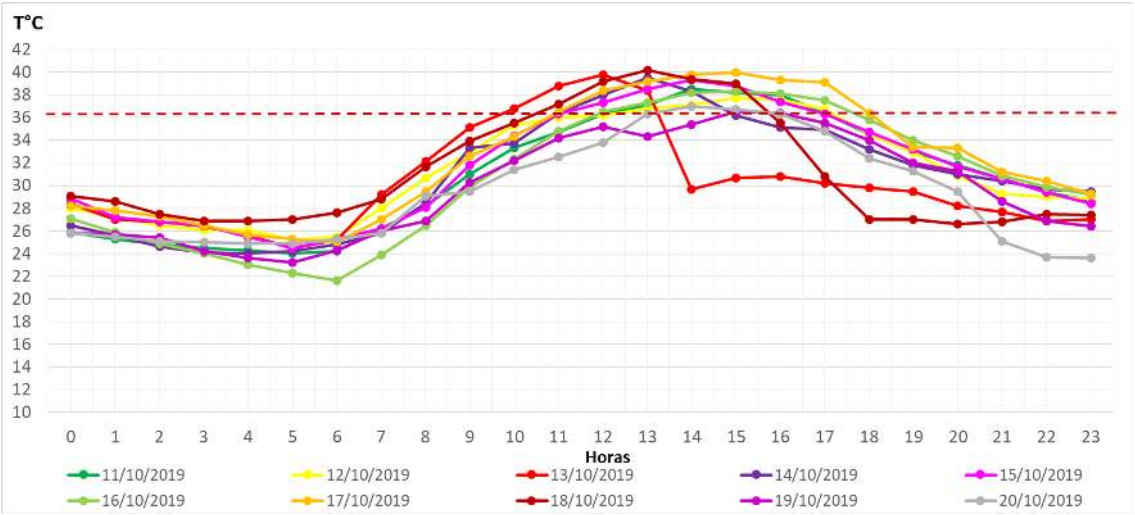
Figura 9 - Onda de calor entre os dias 14 e 20 de setembro de 2019 em Três Lagoas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A Figura 10 representa a onda de calor entre os dias 11 e 20 de outubro de 2019. No decorrer do evento, totalizaram-se 51h com temperatura do ar superior a 36,3 °C, com 10 dias de fenômeno. A maior temperatura do ar registrada foi de 40,2 °C no dia 18, às 13h.

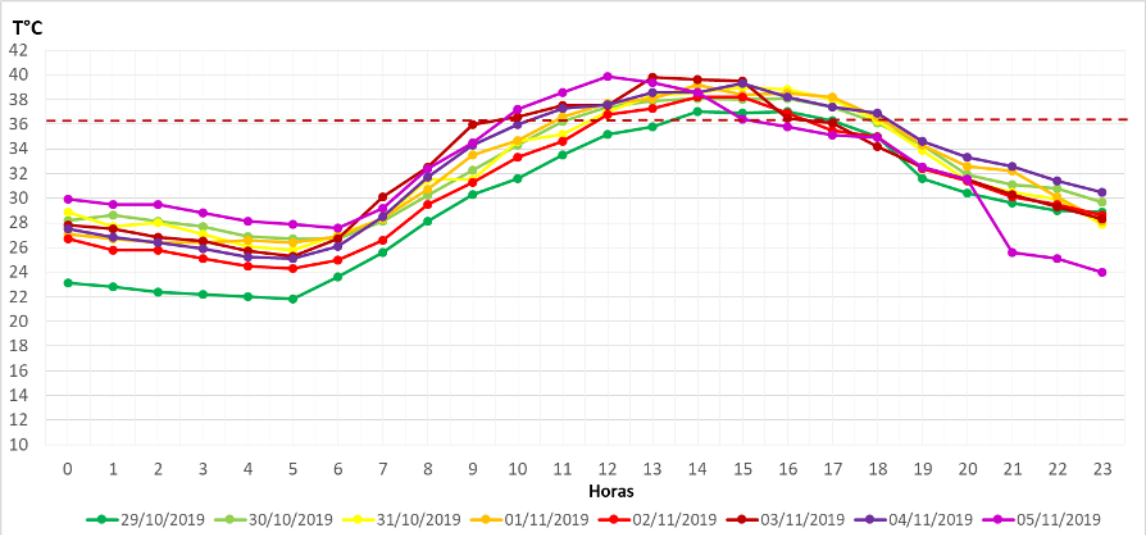
Figura 10 -Onda de calor entre os dias 11 e 20 de outubro de 2019 em Três Lagoas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Assim como o evento extremo da Figura 11, a onda de calor referente ao gráfico 10 teve um total de 51h de atuação, compreendendo o período entre os dias 29 de outubro e 05 de novembro de 2019, com 8 dias consecutivos de onda de calor. O pico da onda de calor se deu no dia 05, às 12h, com 39,9 °C.

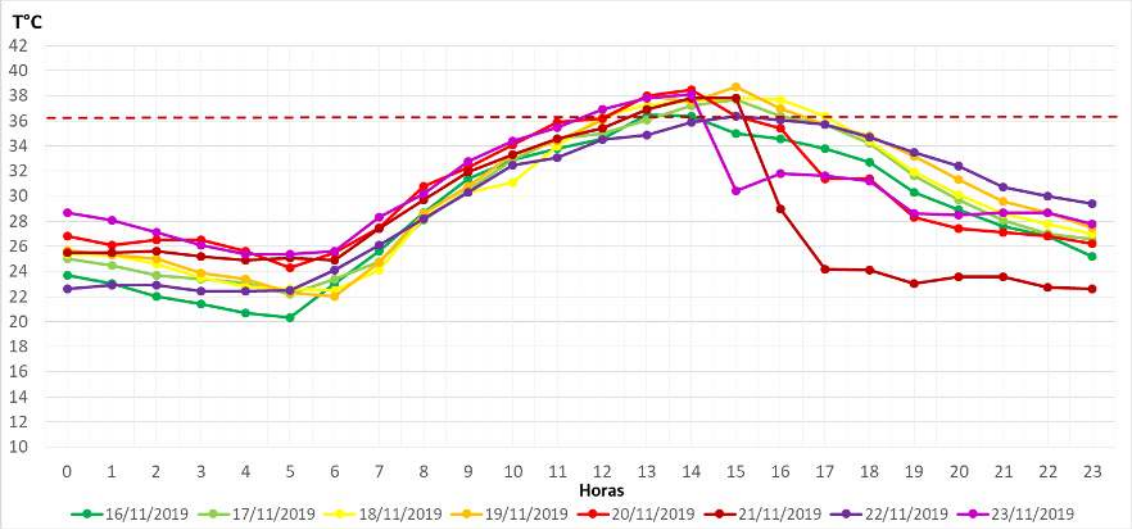
Figura 11 - Onda de calor entre os dias 26 de outubro e 05 de novembro de 2019 em Três Lagoas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Durante os dias 16 e 23 de novembro de 2019 (Figura 12), se desenvolveu a última onda de calor do ano de 2019 em Três Lagoas. Durante esse evento, foram totalizadas 25h de calor excessivo, durante 8 dias consecutivos, sendo a maior temperatura do ar registrada no dia 19, às 15h, com 38,7 °C.

Figura 12 - Onda de calor entre os dias 16 e 23 de novembro de 2019 em Três Lagoas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Em síntese, os eventos de ondas de calor na cidade de Três Lagoas durante o ano de 2019, expuseram a população local a um total de 280h de calor excessivo, com temperatura do ar acima de 36,3 °C. A maior temperatura do ar registrada foi 40,7 °C no dia 17/09/2019, às 15h.

Uma pesquisa similar a esta realizada na cidade de Dourados–MS detectou um aumento de 71,4% na ocorrência de ondas de calor nas décadas de 2000 – 2010, como também um aumento na duração desses eventos extremos no decorrer do período estudado (Santos e Silva, 2021).

Ainda conforme Gueirinhas *et al*. (2017), a cidade de Brasília, localizada na região do centro-oeste brasileiro, registrou um incremento positivo nos eventos de ondas de calor, assim como o registrado neste estudo.

Os resultados aqui apresentados corroboram com a afirmação de Perkins-Kirkpatrick e Lewis (2020) de que existe um consenso de que a intensidade, frequência e duração das ondas de calor aumentaram no registro observacional, regional e globalmente.

3.4. Temperatura de superfície e risco e vulnerabilidade socioambiental em Três Lagoas durante onda de calor em novembro de 2019

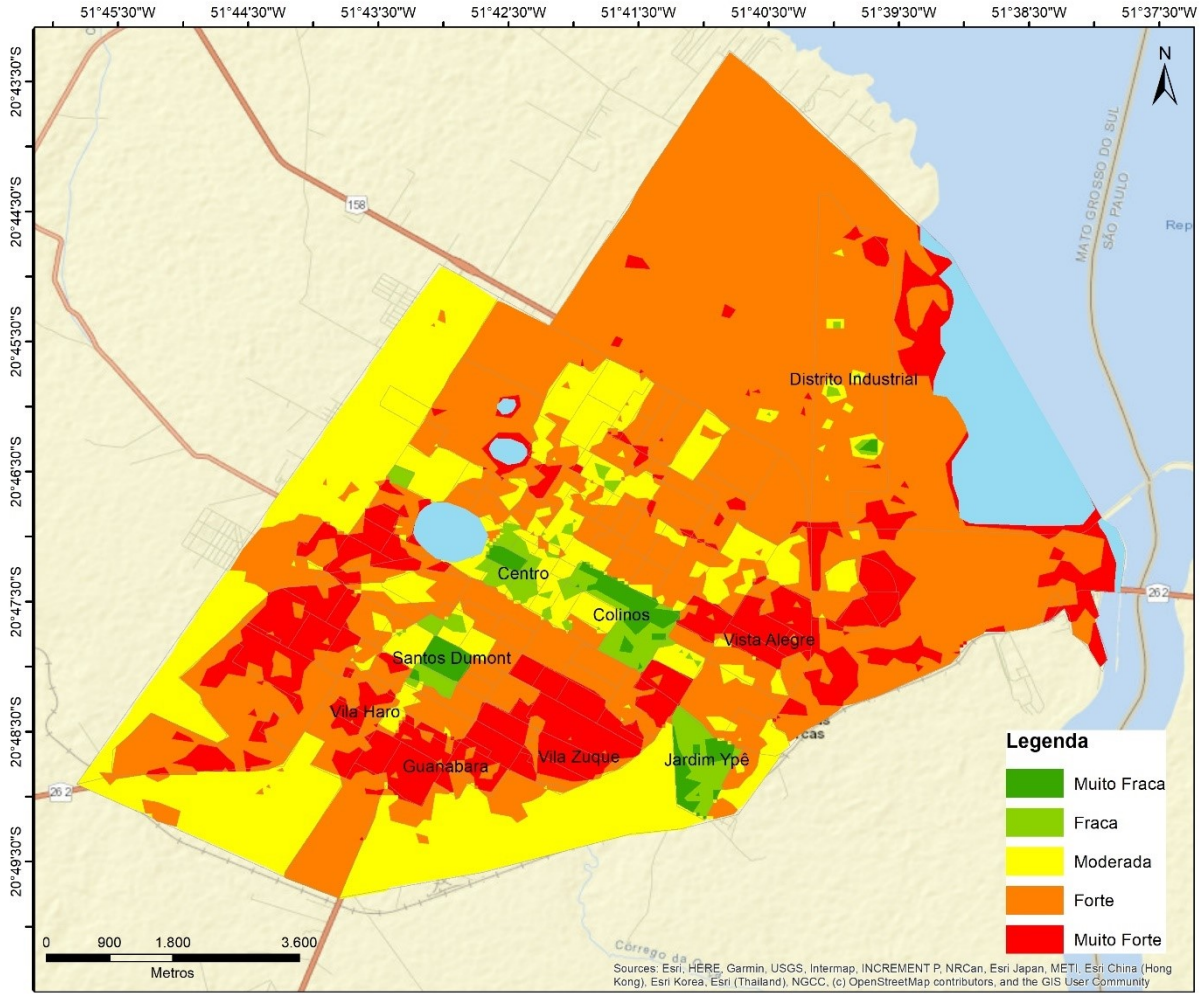
Considerando que a temperatura do ar é influenciada diretamente pela temperatura de superfície a partir da interação dos alvos urbanos e da atmosfera (Amorim, 2020), e que o segmento de rendimento indica a capacidade de se proteger ou não de eventos extremos de calor (Ortiz Porangaba; Bacani; Milani, 2020), sobrepondo essas informações, elaboraram-se mapas (noturno e diurno) de vulnerabilidade socioambiental urbana de Três Lagoas referentes a onda de calor de novembro de 2019.

Cabe lembrar que nesses eventos de ondas de calor, toda a população local está em risco ao calor, mas apenas aqueles que não possuem capacidade socioeconômica de se proteger do calor estão em vulnerabilidade socioambiental urbana a eventos extremos de calor (Mendonça, 2010, 2016).

Conforme a Figura 13, as áreas com muito fraca e fraca vulnerabilidade socioambiental urbana noturna em Três Lagoas foram o Centro e os bairros Colinos, Santos Dumont e Jardim dos Ypês, reconhecidos pela concentração da população com alto segmento de renda. Mesmo que nesses bairros se identifique temperatura superficial elevada (Ortiz Porangaba *et al.*, 2021), a população que habita ali, mas também que realiza as suas atividades cotidianas, pode estar em risco ao calor. Porém, por estarem em um ambiente urbano, seja residencial ou comercial, que pode oferecer melhor infraestrutura (materiais construtivos com melhor eficiência térmica) e climatização, apesar desse risco, a vulnerabilidade socioambiental aos eventos extremos de calor é baixa.

Os bairros classificados com forte e muito forte vulnerabilidade socioambiental noturna foram Vila Haro, Guanabara, Vila Zuque e Vila Alegre, que possuem baixo segmento de renda. Acredita-se que a baixa capacidade socioeconômica dos residentes dessas áreas impossibilita que tenham uma infraestrutura adequada (residências com materiais apropriados para a dissipação do calor) e climatização, sofrendo então com o desconforto térmico durante eventos extremos de calor.

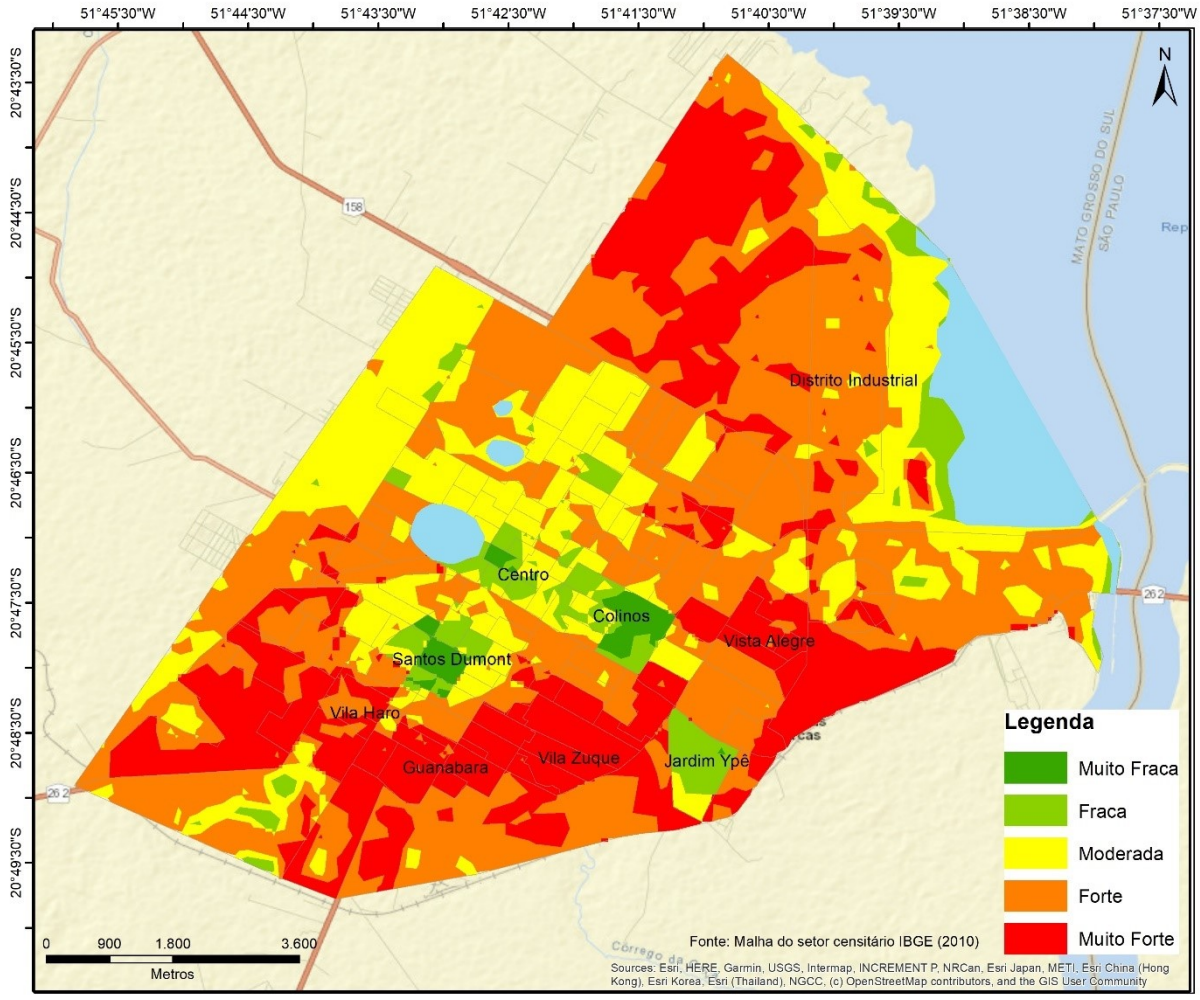
Figura 13 - Mapa noturno de vulnerabilidade socioambiental urbana a eventos extremos de calor em Três Lagoas. Data: 16/11/2019. Hora local: 21:51.



Fonte: Org. Os autores (2024).

No mapa da Figura 14, referente à vulnerabilidade socioambiental urbana diurna na área de estudo, os bairros com classificação muito fraca e fraca coincidiram com os resultados do mapa noturno, sendo o Centro, Colinos, Santos Dumont e Jardim dos Ypês. Enquanto os bairros em forte e muito forte vulnerabilidade socioambiental urbana a eventos extremos de calor também foram Vila Haro, Guanabara, Vila Zuque e Vila Alegre.

Figura 14 - Mapa diurno de vulnerabilidade socioambiental urbana a eventos extremos de calor em Três Lagoas. Data: 17/11/2019. Hora local: 09:28.



Fonte: Org. Os autores (2024).

A partir dos resultados desta pesquisa é possível afirmar que na cidade de Três Lagoas evidenciam-se situações de vulnerabilidade socioambiental a eventos extremos de calor por meio da configuração de ilhas de calor superficiais durante ondas de calor, que acrescentam calor ao ambiente local conforme as análises realizadas. Resultados similares acerca da vulnerabilidade socioambiental a ilhas de calor superficiais na cidade estudada também foram identificados em estudos anteriores (Ortiz Porangaba; Bacani; Milani, 2020).

As situações de vulnerabilidade socioambiental urbana demonstram como o ambiente urbano reproduz a desigualdade social a partir da produção do clima urbano (Sant'Anna Neto, 2011), fazendo com que a população vulnerável sofra com as altas temperaturas, seja em suas residências, no ambiente de trabalho ou no deslocamento intraurbano, sobretudo durante eventos extremos de calor que estão mais recorrentes.

A climatização dos ambientes não é o mais recomendado para amenizar os efeitos do calor nas cidades, ao aumentar a demanda energética e os custos são elevados, porém, dada a emergência climática e enquanto não ocorrerem as adaptações das cidades, como aumento da vegetação arbórea e rasteira e a diminuição dos espaços impermeáveis, seria a solução mais imediata para que as pessoas em vulnerabilidade socioambiental urbana não se expusessem ao desconforto térmico, porém este segmento da sociedade não tem acesso a tais equipamentos por razão econômica.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa demonstraram que as ondas de calor na cidade de Três Lagoas aumentaram a frequência durante os anos de 2001 e 2022. Destaca-se o ano de 2019 que somou 8 eventos extremos de calor que expuseram a população local a um total de 280h de calor excessivo.

Conhecendo-se da interação entre a superfície urbana com a atmosfera local e as consequências das elevadas temperaturas para a vida das pessoas, analisou-se a vulnerabilidade socioambiental urbana a eventos extremos de calor a partir da sobreposição da intensidade das ilhas de calor superficiais (diurna e noturna) e informações de segmento de rendimento de Três Lagoas durante uma onda de calor em novembro de 2019.

Avaliando que toda a população local esteja em risco ao calor, identificou-se que tanto no mapa noturno, como no mapa diurno, os mesmos bairros estão em condições similares de vulnerabilidade socioambiental urbana a eventos extremos de calor. O Centro, Colinos, Santos Dumont e Jardim dos Ypês (alto segmento de rendimento) foram classificados com baixa e fraca vulnerabilidade socioambiental urbana, enquanto os bairros Vila Haro, Guanabara, Vila Zuque e Vila Alegre (baixo segmento de rendimento) foram considerados com forte e muito forte vulnerabilidade socioambiental urbana.

Nesse sentido, afirma-se que na cidade de Três Lagoas foram identificadas situações de forte e muito forte vulnerabilidade socioambiental urbana a eventos extremos de calor e que isso se dá pela reprodução da desigualdade social na produção do clima urbano. As pessoas nessas condições se expõem constantemente a situações de estresse térmico que comprometem as atividades cotidianas e a saúde em geral. Enquanto pessoas em melhores

condições socioeconômicas utilizam-se de arrefecimento artificial e têm residências construídas com materiais que dissipam o calor e melhoram o conforto térmico.

Os sistemas de climatização artificial não são os mais indicados ecologicamente devido ao aumento do aporte enérgico, porém são a solução mais rápida e eficaz para amenizar os efeitos dos eventos extremos de calor, enquanto as cidades não estiverem adaptadas. É necessário um olhar atento para as pessoas em vulnerabilidade socioambiental urbana por parte do poder público para facilitar o acesso a materiais construtivos adequados para a redução do calor e também à climatização das residências.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo n. 422686/2021-2 da chamada CNPq/MCTI/FNDCT Nº 18/2021 – UNIVERSAL.

Este projeto teve apoio financeiro da Fundect, TO número 164/2024, Chamada Especial Fundect/CNPq 15/2024 - Bolsas de Produtividade.

Ao programa CAPES/COFECUB - processo: 88881.191765/2018-01; Sh 941/19 – projeto: CiClAMEn (Cidades, Clima e Vegetação: Modelagem e Políticas Públicas Ambientais) e ao CNPq, processo: 304031/2022-4.

O segundo autor agradece ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 1D.

REFERÊNCIAS

Amorim, M.C.C.T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte:** teoria e prática. 1 ed. – Curitiba: Appris, 2020, 161 p.

Belini, H. M. P.; Ortiz Porangaba, G. F. Análise das ondas de calor em Três Lagoas/MS, no período de 2012 a 2019. In: III XV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica: Climatologia, Crises Socioambientais e Justiça Climática: ações e desafios da sustentabilidade. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**. Guarapuava: UNICENTRO, 2023. v. 1. p. 199-208.

Ferreira, M. C. **Iniciação à análise geoespacial: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento**. 1. Ed. São Paulo: Editora Unesp, 2014.

Fialho, E. S., Fernandes, L. A., Correa, W. de S. C. (2021). Climatologia Urbana: Conceitos, Metodologias e Técnicas. **Revista Brasileira De Climatologia**, 25. Disponível em: https://doi.org/10.5380/abclima.v0i0.65748. Acesso em: 25 fev. 2024.

Geirinhas, J. L., Trigo, R. M., Libonati, R., Coelho, C. A. S., Palmeira, A. C. Climatic and synoptic characterization of heat waves in Brazil. **Internacional J. Climatol**. 2017, *38* , 1760–1776. Disponível em: https://www.cptec.inpe.br/pesquisadores/caio.coelho/Geirinhas_et_al_2017_low.pdf. Acesso em: 15 out. 2023.

Kong, J.; Zhao, Y.; Carmeliet, J.; Lei, C. Urban Heat Island and Its Interaction with Heatwaves: A Review of Studies on Mesoscale. **Sustainability**, 2021, 13, 10923. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ su131910923. Acesso em: 20 ago. 2023.

IPCC – Painel Intergovernamental on Climate Change. Climate change 2001: the scientific basis, in: Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer., Van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C. A. (eds.), Contribution of working group I to the Third Assessment Report of the Intergovernamental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdomand New York, NY, USA, p. 944, 2001.

IPCC (2022). Sexto Relatório de Avaliação do *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/. Acesso em: 12 ago. 2022.

Lombardo, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.

Marx, W., Haunschild, R., Bornmann, L. Heat waves: a hot topic in climate change research. **Theor Appl Climatol** 146, 781–800 (2021). Disponível em: https://doi.org/10.1007/s00704-021-03758-. Acesso em: 25 jun. 2023.

Mcgregor, G. R.; Bessemoulin, R.; Ebi, K.; Menne, B. **Heatwaves and health: Guidance on warning-system development.** Geneva, Switzerland. Wold Meteorological Organization and World Health Organization, 2015.

Mendes, J. V., Armond, N. B., Bizerra da Silva, L. C. (2022). Ilhas de calor urbanas de superfície, ondas de calor e de frio no município do Rio de Janeiro – RJ (2015 - 2019). **Revista Brasileira De Climatologia**, 30 (18), 133–155. Dispoível em: https://doi.org/10.55761/abclima.v30i18.14908. Acesso em: 30 jan. 2023.

Mendonça, F., Cunha, F. C. A., Luiz, G. C. Problemática Socioambiental Urbana. **Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia (ANPEGE)**. p.331-352, V.12, n.18, especial GT Anpege, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.5418/RA2016.1218.0017. Acesso em: 25 mai. 2023.

Mendonça, F. A. Riscos e vulnerabilidades socioambientais urbanos a contingência climática. **Mercator**, v 9, n.1, p.153-163, dez/2010. Disponível em: http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/538. Acesso em: 15 ago. 2023.

Monteiro, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. Série Teses e Monografias, n. 25. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1976.181p.

Novais, G. T., Machado, L. A. (2023). Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de Novais. **Revista Brasileira De Climatologia**, 32 (19), 1–39. Disponível em: https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16163. Acesso em: 02 set. 2023.

Oke, T.R. **Boundary layer climates**. London: Metheuen & Co, 1978.

Oke, T.R., Mills, G., Christen, A., Voogt, J.A., 2017. **Urban Climates**. Cambridge University Press, Cambridge.

Ortiz Porangaba, G.F., Bacani, V. M., Milani, P. H. Risco e vulnerabilidade socioambiental urbana: análise comparativa entre os dados socioeconômicos e a temperatura superficial em Três Lagoas (MS). **Brazilian Geographical Journal**, v. 11, n. 2, p. 100–112, 28 dez. 2020. Disponível em: https://doi.org/10.14393/BGJ-v11n2-a2020-57154. Acesso em: 14 jul. 2023.

Ortiz Porangaba, G. F., Frasca Teixeira, D. C., Amorim, M. C. C. T., Silva, M. H. S., Dubreuil, V. Modeling the urban heat island at a winter event in Três Lagoas, Brazil. **Urban Climate**, v. 37, p. 1-13, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100853. Acesso em: 15 ago. 2023.

PERKINS-KIRKPATRICK, S. E., LEWIS, S. C. Increasing trends in regional heatwaves. **Nature Communications**. 11 (1):3357, July, 2020. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41467-020-16970-7. Acesso em: 20 dez. 2023

Robinson, P.J. On the definition of a heat wave. **Journal of Applied Meteorology**, v. 40, n. 4, p. 762-775, 2001. Disponível em: https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040%3C0762:OTDOAH%3E2.0.CO;2. Acesso em: 13 jun. 2023.

Sant'Anna Neto, J. L. O clima urbano como construção social: da vulnerabilidade polissêmica das cidades enfermas ao sofisma utópico das cidades saudáveis. **Revista Brasileira de Climatologia, v. 8, p. 45-60, 2011.**

Santos, S.; Silva, C. Ondas de Calor em Dourados (MS), análise das ocorrências no período de 1890 a 2019. In: XIV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geografia: Saberes Acadêmicos, Populares e Institucionais em Climatologia: Contextos para uma Agenda Socioambiental. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geografia.** João Pessoa: UFPB, 2021. v. 1. p. 634 - 645.