



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ANÁLISE DO EFEITO DE ILHA DE CALOR URBANA NA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE - RS

Lara dos Santos de Mattos

Relatório de Bolsa de Iniciação Ci-
entífica, orientado por José Ro-
berto Rozante

URL do documento original:

<<http://urlib.net/xx/yy>>

INPE
Cachoeira Paulista
2022

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6923/6921

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):

Presidente:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas
(CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
(CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação
(SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ANÁLISE DO EFEITO DE ILHA DE CALOR URBANA NA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE - RS

Lara dos Santos de Mattos

Relatório de Bolsa de Iniciação Ci-
entífica, orientado por José Ro-
berto Rozante

URL do documento original:

<<http://urlib.net/xx/yy>>

INPE
Cachoeira Paulista
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

de Mattos, Lara S.

Cutter Análise do efeito de Ilha de Calor Urbana na Região Metropolitana de Porto Alegre - RS / Lara dos Santos de Mattos. – Cachoeira Paulista : INPE, 2022.

?? + 16 p. ; ()

Dissertação ou Tese () – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, AAAA.

Orientador : José da Silva.

1. Palavra chave. 2. Palavra chave 3. Palavra chave. 4. Palavra chave. 5. Palavra chave I. Título.

CDU 000.000



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](#).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](#).

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 Resumo do projeto	1
2 Objetivo	3
3 Atividades desenvolvidas durante o período da bolsa	5
3.1 Revisão Bibliográfica	5
3.2 Dados e Metodologia	6
4 Resultados obtidos em função do Plano de Trabalho proposto .	9
5 Conclusões Gerais	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

1 Resumo do projeto

A maioria da população brasileira atualmente reside em áreas densamente urbanizadas. A Região Metropolitana de Porto Alegre (ou Grande Porto Alegre) reúne 34 municípios do Estado do Rio Grande do Sul em intenso processo de expansão urbana. Este processo acarreta o crescimento de uma mancha urbana contínua. O crescimento demográfico acelerado de grandes cidades, como Porto Alegre e arredores, associado à falta de planejamento urbano e infraestrutura, trazem graves problemas ambientais e de saúde pública. Um dos principais efeitos decorrentes da urbanização é o surgimento de climas e microclimas locais, que caracterizam-se por altas temperaturas do ar próximo à superfície, baixa umidade do ar e poluição atmosférica. O presente trabalho tem por objetivo analisar a formação de Ilhas de Calor Urbanas (ICU) na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA). Foram utilizados dados de temperatura do ar próximo à superfície obtidos da rede de monitoramento do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para janeiro de 2017. Duas estações meteorológicas foram utilizadas, a saber: estação meteorológica de Porto Alegre e de Campo Bom, localizadas nas latitudes 30,05 S e 29,67 N, e longitudes 51,17 W e 51,06 W, representando, respectivamente, a área urbana e suburbana. A partir destas, foi realizado o cálculo da Intensidade da ICU (IICU). Os resultados indicaram que Campo Bom manteve, majoritariamente, a temperatura do ar acima da temperatura registrada em Porto Alegre. Levando em conta o resultado alcançado, a pergunta levantada por esta pesquisa foi inconclusiva, necessitando-se de uma maior investigação. Devido à falta de mais estações meteorológicas de superfície dentro das áreas urbanas e suburbanas, os dados de temperatura chamados de South American Mapping of Temperature (SAMeT), produzidos operacionalmente pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foram investigados. Os resultados indicam que o SAMeT não é adequado para analisar a ICU de Porto Alegre, pois é um dado fortemente dependente das poucas estações meteorológicas de superfície disponíveis na RMPA. Para auxiliar na investigação da ICU de Porto Alegre, foram utilizados os dados de temperatura da superfície do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* do satélite Terra da NASA em alta resolução espacial. Os resultados mostraram que é possível identificar a ocorrência de ICU na RMPoA com o auxílio de dados de sensoriamento remoto e que a baixa cobertura de dados de estações meteorológicas de superfície sobre a RMPA dificulta a identificação de ICU fazendo uso de dados meteorológicos convencionais.

2 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo fazer uma análise da temperatura do ar na Grande Porto Alegre, com vistas para analisar se ocorre a formação de Ilhas de Calor Urbanas na área de estudo. Este estudo poderá gerar informações para a tomada de decisões relativas às alternativas para a minimização dos efeitos nocivos da formação de ICU para a população da Grande Porto Alegre. Desta forma, propõe-se como objetivos específicos:

- Analisar a série temporal da temperatura média do ar em uma área urbana e uma área rural da RMPoA;
- Analisar se ocorre a formação de ICU na Grande Porto Alegre por meio da análise da Intensidade da ICU utilizando dados de temperatura do ar próximo à superfície.

3 Atividades desenvolvidas durante o período da bolsa

Ao longo do período de bolsa, foi realizado um levantamento de dados de temperatura média do ar disponíveis para o estudo da ICU na RMPoA. Além do trabalho de pesquisa a partir da exploração de novos dados, foi dada continuidade ao estudo de referências bibliográficas e aprendizado de softwares e linguagens de programação utilizadas durante o período de bolsa.

O novo conjunto de dados desenvolvido pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE, denominado *South American Mapping of Temperature* (SAMeT), foi utilizado para analisar duas regiões – uma urbana e outra rural – na RMPoA, a fim de verificar a presença de ICU's, e a elaboração de um gráfico comparativo da variação das temperaturas desses dois locais, a partir das informações extraídas, para o período de 2017 a 2019. Como não obteve-se resultados satisfatórios, realizou-se também uma análise preliminar dos dados de temperatura da superfície continental do *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) sobre a RMPoA, e a partir disso foram gerados, com o auxílio do *Grid Analysis and Display System* (GrADS), uma série de mapas de temperatura da superfície para a região. Maiores detalhes são apresentados na Seção 3.2.

A aluna contou com a colaboração da doutoranda Glícia Garcia Araújo para identificar a ocorrência de uma onda de calor sobre o Rio Grande do Sul no período de dezembro de 2019. Este evento colaborou para a intensificação da ICU sobre a RMPoA. A identificação da onda de calor seguiu os critérios estabelecidos em Araújo et al. (2022).

3.1 Revisão Bibliográfica

Os seguintes artigos foram revisados:

- Monteiro et al. (2021)
- Rozante e Ramirez (2021)
- Voogt e Oke (2003)
- Araújo et al. (2022)

O artigo de Monteiro et al. (2021) aborda o estudo observacional da ICU em diversas grandes cidades brasileiras, fazendo uso dos dados do MODIS. O artigo de Rozante e

Ramirez (2021) descreve o desenvolvimento do SaMeT, enquanto o artigo de Voogt e Oke (2003) foi revisado com o objetivo de melhor entender o uso de dados de temperatura da superfície para estudo da ICU. O artigo de Araújo et al. (2022) apresenta a metodologia para identificação de ondas de calor sobre a América do Sul utilizando os dados de reanálise do ERA5 do Centro Europeu de Previsão de Médio Prazo.

3.2 Dados e Metodologia

Anteriormente, a fim de identificar a presença de ICU na RMPoA, foram coletados dados de temperatura do ar para o verão de 2017 a 2019 de duas estações meteorológicas automáticas mantidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Porto Alegre e Campo Bom, cidades localizadas, respectivamente, na parte central e afastada da região metropolitana. A plotagem dos dados em gráficos comparativos não conseguiu provar a hipótese levantada por essa pesquisa, visto que as temperaturas verificadas na porção considerada rural (Campo Bom) mantiveram-se majoritariamente acima das verificadas na porção urbana. Concluiu-se que os dados obtidos eram insuficientes, e que as estações escolhidas não representavam fielmente as áreas urbanas e rurais que se desejava analisar.

Partiu-se, então, à investigação de outros dados que melhor pudessem caracterizar a ICU de Porto Alegre. Num primeiro momento, analisou-se os dados do SAMEt. Ele é caracterizado pela correção da reanálise do ERA-5 – dado meteorológico disponibilizado pelo Centro Europeu de Meteorologia, e considerado o estado da arte, pois possui uma resolução horizontal mais alta do que aquelas reanálises disponibilizadas até hoje por outros centros de meteorologia. A metodologia utilizada para o desenvolvimento do SAMEt combina os dados da reanálise e os dados de estações meteorológicas de redes de monitoramento sul-americanas que não são absorvidas pelo *Global Telecommunication System* (GTS), que é a rede global para a transmissão de dados meteorológicos de estações meteorológicas, satélites e centros de previsão numérica. O GTS fornece as observações meteorológicas para o desenvolvimento da reanálise. Além disso, a metodologia utilizada no desenvolvimento do SaMeT ainda inclui uma correção que leva em consideração a altitude das estações meteorológicas utilizadas na combinação, por meio do *lapse rate* (ROZANTE; RAMIREZ, 2021).

Levando em consideração a metodologia utilizada no desenvolvimento do SAMEt, deve-se considerar que esta nova informação disponibilizada pelo CPTEC/INPE provê melhor qualidade em áreas em que a rede de monitoramento meteorológico é mais densa, ou seja, o SAMEt é fortemente dependente da distribuição espacial

das estações meteorológicas. No caso da RMPoA, verificou-se que as estações meteorológicas disponíveis são aquelas mantidas pelo INMET, e por isso a qualidade do SAMeT não é superior à qualidade da reanálise, o que inviabiliza sua utilização. Mesmo que o SAMeT agregue informação a partir do aumento da resolução horizontal, de 31 km da reanálise para 10 km, ainda sim a informação é muito semelhante àquela provida pela reanálise, pois não há ganho em inserção de novos dados.

Para a análise das informações do SAMeT, delimitou-se quatro pontos geográficos dentro da porção densamente urbanizada da RMPoA e outros quatro fora dela, numa porção rural, criando duas áreas distintas. A partir das coordenadas e utilizando os dados fornecidos, plotou-se gráficos com as temperaturas médias de ambas as áreas. Verificou-se que as temperaturas da área rural permaneciam acima das verificadas na área urbana, da mesma forma como foi identificado com os dados das estações meteorológicas.

Por fim, foram utilizados os dados mensais de temperatura da superfície do sensor MODIS a bordo do satélite Terra, da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Esses dados possuem uma resolução espacial de 1km².

De acordo com os trabalhos de Voogt e Oke (2003), Monteiro et al. (2021), a temperatura da superfície é um parâmetro que pode ser utilizado para estudos de clima urbano, já que ela controla a temperatura do ar nas camadas mais baixas da atmosfera.

Os dados do MODIS foram analisados para a RMPoA a partir da construção de mapas mensais de temperatura da superfície e suas anomalias, que foram calculadas tomando como base a climatologia calculada para o período de 2000 a 2021, para o estado do Rio Grande do Sul – correspondentes aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro dos anos de 2016 a 2020. Essas figuras foram elaboradas por meio do GrADS – ferramenta interativa usada para fácil acesso, manipulação e visualização de dados das ciências da terra, e que usa um ambiente de dados 5-Dimensionais: as quatro dimensões convencionais (longitude, latitude, nível vertical e tempo) e mais uma quinta dimensão opcional. Utilizou-se o *Climate Data Operators* (CDO) para manipular os dados e um *shapefile* obtido da fundação Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada para demarcar nos mapas a RMPoA.

Seguindo Araújo et al. (2022), o critério de identificação da onda de calor utilizado para identificar o evento considerado neste projeto é baseado no valor médio da T_{max} obtida das reanálise ERA5, somado a um ou dois valores de desvio padrão,

com duração mínima de três dias e extensão espacial (ARAÚJO et al., 2022). O critério de caracterização é expresso por:

$$T_{max} \geq \bar{T}_{max} + \sigma, \quad (3.1)$$

sendo, \bar{T}_{max} a Temperatura Máxima Média do Ar diária e desvio padrão (σ). A \bar{T}_{max} e o σ são expressos pelas Equações 3.2 e 3.3, respectivamente:

$$\bar{T}_{max} = \frac{1}{N(k, D)} \sum_i^N T_{max(i)}(k, D), \quad (3.2)$$

e

$$\sigma(k, D) = \sqrt{\frac{\sum_i^N (T_{max(i)}(k, D) - \bar{T}_{max}(k, D))^2}{N(k, D) - 1}}. \quad (3.3)$$

Segundo Araújo et al. (2022), Bitencourt et al. (2016) calculou a \bar{T}_{max} diária e o σ a partir de uma série histórica, sendo k correspondente ao número de estações meteorológicas, D ao número de dias julianos ($D = 1, 2, 3, \dots, 365$) e $N(k, D)$ ao número de anos da série histórica. Para o caso da presente pesquisa, k corresponde à quantidade de pontos de grade disponíveis nos dados de referência, D o número de dias julianos dos meses de JASO ($D = 181, 182, 183, \dots, 304$), e $N(k, D)$ representa o número de anos da série histórica dos dados de reanálise do ERA5 (1979 a 2018), ou seja $i=1979, 1980, \dots, 2018$.

O critério de identificação dado pela Equação 3.1 deveria ser obedecido em no mínimo de 25% dos pontos de grade para que pudesse ser calculado o valor médio entre no mínimo três dias identificados. Araújo et al. (2022) também calculou o Parâmetro de Intensidade (PI) dado pela \bar{T}_{max} entre os dias estabelecidos pelo critério de identificação. As ondas de calor são classificadas quando PI é maior que o limite superior ao terceiro quartil da série, ou seja, acima do percentil de 75%.

Além do PI, Araújo et al. (2022) também calculou o Parâmetro de Intensidade Diário (DIP) de cada episódio para identificação dos dias com maior intensidade. O DIP é dado pela média espacial de cada dia do evento identificado.

4 Resultados obtidos em função do Plano de Trabalho proposto

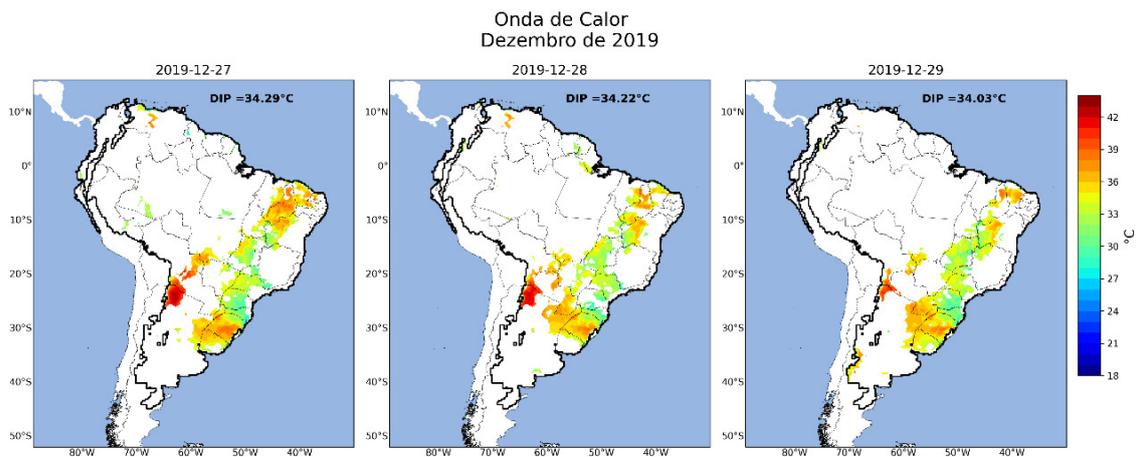
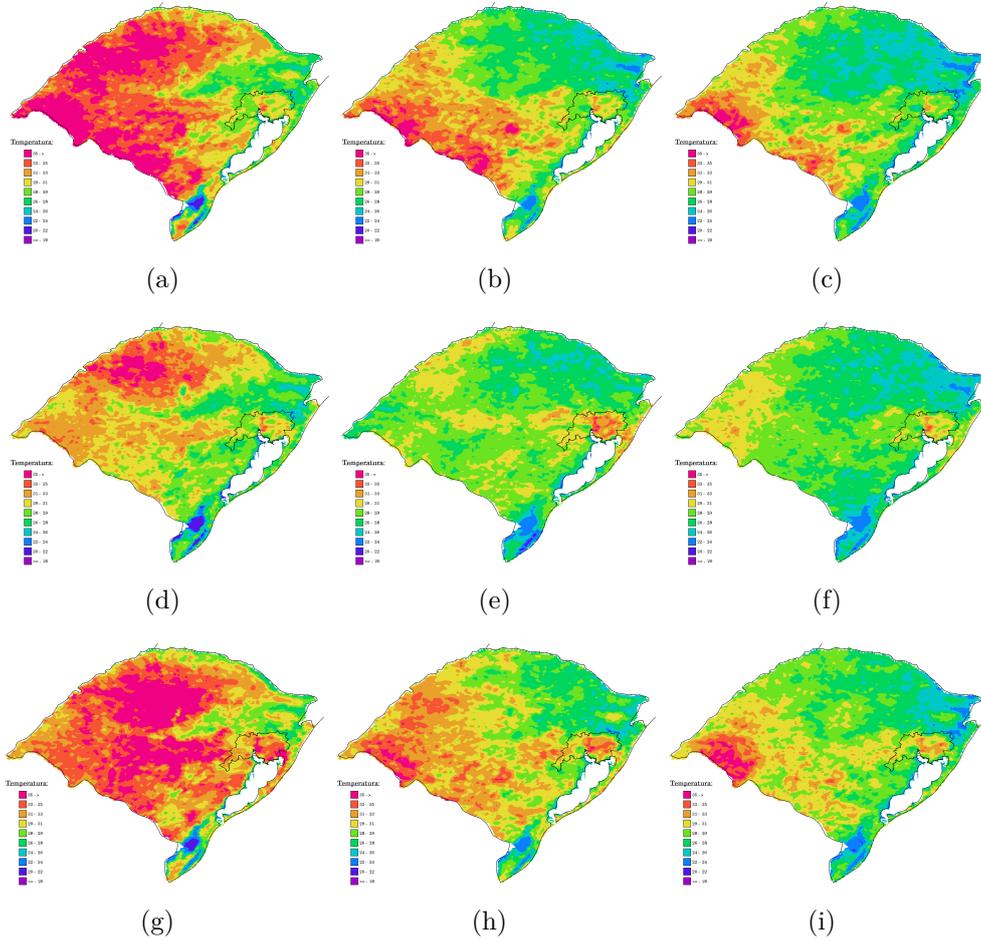
Com os dados obtidos pelo MODIS, foi possível gerar uma série de mapas de temperatura para o estado do Rio Grande do Sul, correspondentes ao período de verão dos anos de 2018, 2019 e 2020. Essas figuras foram elaboradas com o auxílio da ferramenta GrADS.

Verificou-se que de modo geral (Figuras 4.1), as áreas com temperaturas mais elevadas durante o período analisado são a porção oeste e centro-oeste do estado e na porção central da RMPoA – delimitada no mapa –, enquanto que as regiões de menores temperaturas predominam no litoral, na porção sul e no nordeste do estado, esta última correspondendo à Serra Gaúcha.

Em relação à RMPoA, nota-se o predomínio de temperaturas mais elevadas na sua porção central – região esta mais densamente urbanizada e que abriga a capital Porto Alegre –, enquanto que em suas áreas mais afastadas – regiões menos urbanizadas e mais vegetadas – apresentam temperaturas relativamente mais amenas. Esse padrão, verificado ao longo de todos os meses analisado, é característico da formação de uma ICU na região. Estes resultados concordam com aqueles encontrados por [Monteiro et al. \(2021\)](#), em que os autores identificaram a presença de ICU na RMPoA durante o período de 2000 a 2016. Os autores também identificaram que a ICU na região está entre uma das mais intensas do Brasil.

Durante o período analisado, o mês de dezembro se destacou devido à ocorrência de altas temperaturas da superfície. De acordo com registros da imprensa, houve a ocorrência de uma onda de calor em dezembro de 2019. A aplicação do método de identificação de ondas de calor utilizado por [Araújo et al. \(2022\)](#) e descrito na Seção 3 foi aplicado para os períodos de verão dos anos de 2018, 2019 e 2020. Com o critério utilizado (Seção 3), foi possível identificar uma onda de calor entre os dias 27 a 29 de dezembro de 2019 (Figura 4). O primeiro dia do evento apresentou o maior DIP, correspondendo a 34,29°C.

Figura 4.1 - Mapa de temperatura da superfície para os meses de verão: dezembro de 2017 (a), janeiro (b) e fevereiro (c) de 2018; dezembro de 2018 (d), janeiro (e) e fevereiro (f) de 2019; dezembro de 2019 (g), janeiro (h) e fevereiro (i) de 2020.



Nota-se na Figura 4.1 que a maior intensidade das temperaturas da superfície são encontradas nos meses de dezembro de 2017 e de 2019. No mês de dezembro de

2017 (Figura 4.1a, as temperaturas mais elevadas se encontram no oeste, noroeste e sudoeste do estado. Em dezembro de 2018, por outro lado, as temperaturas mais elevadas são observadas no norte e noroeste do estado. Já em dezembro de 2019, foi observado que as temperaturas na região central e centro-norte do estado estiveram mais elevadas do que as demais áreas.

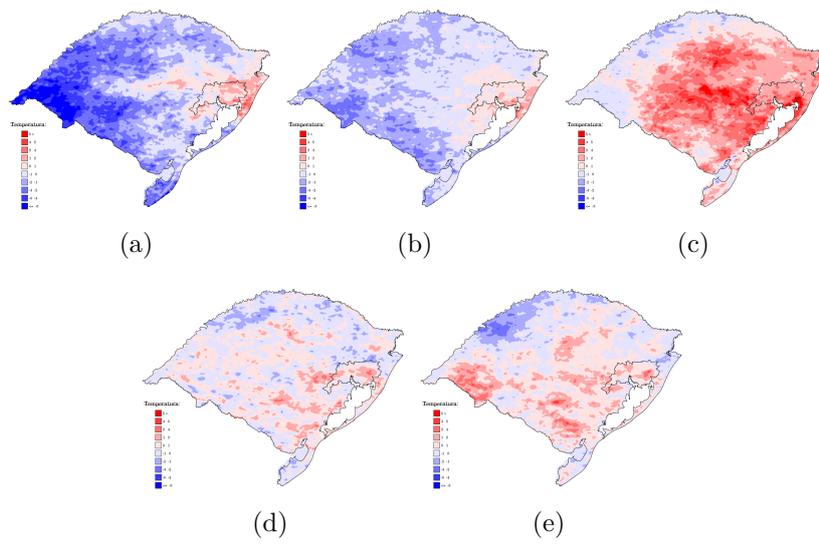
Analisando as temperaturas da superfície sobre a RMPoA nos meses de dezembro, pode-se observar que a área ocupada por temperaturas acima de 35°C (Figura 4.1g) é maior que aquela ocupada nos meses de dezembro de 2017 (Figura 4.1a) e 2018 (Figura 4.1d). Esta característica pode estar associada à ocorrência da onda de calor no final de dezembro de 2019.

Foram calculadas as anomalias de temperatura da superfície (Figura 4.2), que são dadas pela diferença entre a temperatura do período a se considerar e sua climatologia.

Verificou-se que os meses com maior destaque foram os de janeiro (Fig. 4.2a), fevereiro (Fig. 4.2b) e dezembro de 2019 (Fig. 4.2c), janeiro (Fig. 4.2d) e fevereiro (Fig. 4.2e) de 2020.

Os desvios positivos em relação à climatologia ocorrem de modo geral em todos os períodos sobre a RMPoA, especialmente na porção central e leste. Entretanto, anomalias mais intensas foram observadas no mês de dezembro de 2019 em grande parte do estado e com maior intensidade sobre a RMPoA em relação aos demais períodos. Como mencionado anteriormente, estas anomalias estiveram associadas à ocorrência de uma onda de calor.

Figura 4.2 - Mapas de anomalias da temperatura da superfície dos meses de janeiro, fevereiro e dezembro de 2019 (a–c) e janeiro a fevereiro de 2020 (d–e).



5 Conclusões Gerais

É possível confirmar a presença de uma Ilha de Calor Urbana na Região Metropolitana de Porto Alegre durante os verões de 2018 a 2020 a partir do uso de dados não convencionais, como os dados do MODIS de temperatura da superfície. Os resultados corroboram com aqueles apresentados em outros estudos.

Verificou-se que durante o período analisado, a ocorrência de ondas de calor estão associadas à intensificação das temperaturas na superfície, e podem estar associadas à intensificação das temperaturas sobre a RMPoA e conseqüentemente, a intensificação da Ilha de Calor Urbana.

Para trabalhos futuros, é importante verificar como a ilha de calor interage as ondas de calor e calcular a sua intensidade durante estes eventos extremos de temperatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, G. R. G. de; FRASSONI, A.; SAPUCCI, L. F.; BITENCOURT, D.; NETO, F. A. de B. Climatology of heatwaves in south america identified through era5 reanalysis data. **International Journal of Climatology**, n/a, n. n/a, 2022. Disponível em:

<<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.7831>>. 5, 6, 7, 8, 9

BITENCOURT, D. P.; FUENTES, M. V.; MAIA, P. A.; AMORIM, F. T. Frequência, duração, abrangência espacial e intensidade das ondas de calor no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 506–517, 2016. ISSN 19824351. 8

MONTEIRO, F. F.; GONÇALVES, W. A.; ANDRADE, L. de M. B.; VILLAVICENCIO, L. M. M.; dos Santos Silva, C. M. Assessment of urban heat islands in brazil based on modis remote sensing data. **Urban Climate**, v. 35, p. 100726, 2021. ISSN 2212-0955. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095519303554>>. 5, 7, 9

ROZANTE, J.; RAMIREZ, E. A newly developed south american mapping of temperature(samet) with estimated lapse rate corrections. **International Journal of Climatology**, 2021. 5, 6

VOOGT, J.; OKE, T. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, n. 3, p. 370–384, 2003. ISSN 0034-4257. Urban Remote Sensing. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425703000798>>. 5, 6, 7

