

DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Erika Gonçalves Pires

Doutora em Geografia - UFG

Professora do Instituto Federal do Tocantins - IFTO

E-mail: erikapires@iftto.edu.br

Daniel Mallmann Vallerius

Doutor em Geografia - UFG

Professor da Universidade Federal do Tocantins - UFT

E-mail: daniel.mv@uft.edu.br

RESUMO

A temperatura da superfície terrestre é um importante parâmetro na investigação de processos ambientais, ecológicos e climáticos em diferentes escalas espaciais. Deste modo, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a distribuição espaço-temporal da temperatura de superfície para o estado do Rio Grande do Sul a partir de dados do sensor MODIS no mês de fevereiro dos anos de 2008 a 2019. Os resultados demonstram que os anos de 2008 e 2012 apresentaram temperaturas de superfície mais elevadas em quase todas as regiões intermediárias do estado. Também foram registradas as temperaturas mais elevadas nas áreas urbanas da região de Porto Alegre indicando uma relação direta entre a urbanização e o aumento das temperaturas de superfície. Os anos de 2011 e 2015 apresentaram as menores temperaturas mínimas, enquanto que o ano de 2014 registrou a menor temperatura média. As regiões com temperaturas de superfície mais altas foram as de Uruguaiana e Ijuí, dado que historicamente essas regiões tendem a apresentar temperaturas do ar mais elevadas na estação do verão. Por outro lado, as regiões de Caxias do Sul e Passo Fundo apresentaram temperaturas de superfícies mais baixas do que as demais, provavelmente devido ao fato de parte de suas áreas estarem localizadas no bioma Mata Atlântica e de apresentarem clima tipo Cfb caracterizado com temperaturas mais amenas no verão, além de perfazerem as áreas de maior altitude do estado. Os resultados obtidos evidenciam uma alta correlação entre as temperaturas de superfície (MODIS) e as temperaturas do ar (INMET), com coeficiente de correlação de 0,8833 e de determinação de 0,7802. De modo geral, os anos com menor precipitação apresentaram regiões com temperaturas de superfície maiores do que os anos com maior registro de precipitação, indicando uma relação indireta entre essas variáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Temperatura de superfície; MODIS; Rio Grande do Sul; TRMM, Climatologia.

SPATIO-TEMPORAL DISTRIBUTION OF LAND SURFACE TEMPERATURE IN THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL

ABSTRACT

The Land surface temperature is an important parameter in the investigation of environmental, ecological and climatic processes at different spatial scales. In this way, the objective of this research was to evaluate the spatio-temporal distribution of land surface temperature for the State of Rio Grande do Sul using data from the MODIS sensor in February of the years 2008 to 2019. The results show that the years 2008 and 2012 reached higher surface temperatures in almost all intermediate regions of the State. The highest temperatures were also recorded in urban areas at the Porto Alegre region, indicating a direct relation between urbanization and the increase of surface

temperatures. The years 2011 and 2015 had the lowest minimum temperatures while the year 2014 registered the lowest average temperature. The regions with the highest surface temperatures were Uruguaiana and Ijuí, due to historically these regions tend to present higher air temperatures in the summer season. In the other way, the regions of Caxias do Sul and Passo Fundo had lower surface temperatures than the others, probably due to the fact that part of their areas are located in the Mata Atlântica Biome and also have a Cfb type climate characterized by milder summer temperatures, in addition to occupy the highest altitude areas in the State. The results obtained show a high correlation between the MODIS surface temperatures and the air temperatures INMET, with a correlation coefficient of 0.8833 and a determination of 0.7802. In general, the years with the lowest rainfall presented regions with higher surface temperatures than the years with the highest rainfall record, indicating a indirect relation between these variables.

KEYWORDS: Land surface temperature; MODIS; Rio Grande do Sul; TRMM, Climatology.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os dados oriundos do Sensoriamento Remoto têm assumido um papel importante no mapeamento e monitoramento de inúmeros fenômenos meteorológicos, climáticos e ambientais. Desse modo, tem-se se mostrado uma ferramenta eficaz para a obtenção de informações necessárias ao mapeamento da cobertura e uso da terra, gerenciamento e gestão de recursos naturais, planejamento urbano, estudos meteorológicos e climáticos, dentre outras (GÓMEZ *et al.*, 2011; LEITE *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2015; PORANGABA; AMORIM, 2019).

Além disso, o uso do Sensoriamento Remoto associado as ferramentas de Geoprocessamento podem ampliar a capacidade de consulta, manipulação e análise de dados, reduzindo bastante o tempo e os recursos necessários para conhecer o meio, permitindo uma melhor análise da paisagem (OLIVEIRA; ROSA, 2013).

Uma das vantagens do Sensoriamento Remoto é proporcionar, em um curto espaço de tempo, uma ampla rede de dados, além de possibilitar o estudo multitemporal e o monitoramento de grandes áreas sobre a superfície terrestre. Ademais, pode ser utilizado para compensar a ausência de dados meteorológicos e auxiliar em diversas análises ambientais e climáticas, haja vista que o Brasil apresenta uma baixa densidade de estações meteorológicas, se levarmos em consideração sua vasta extensão territorial. Cabe salientar que tais estações geralmente possuem distribuição irregular no território e fornecem dados pontuais, que frequentemente estão sujeitos a falhas, limitando muitas vezes o uso dessa informação.

Nesse sentido, o Sensoriamento Remoto, aliado a diferentes métodos de análise espacial, vem se tornando um importante instrumento para os diversos estudos sobre a superfície terrestre, inclusive no que tange à determinação da temperatura da superfície terrestre (*LST – Land Surface*

Temperature) que constitui um parâmetro crucial na investigação de processos ambientais, ecológicos e climáticos nas escalas locais, regionais e globais. Para além disso, também é muito utilizada em estudos de balanço de radiação e energia da superfície, padrões térmicos da paisagem, evapotranspiração, condições de umidade do solo e mapeamento de ilhas de calor urbanas (FRIEDL, 2002; WENG *et al.*, 2014; FU; WENG, 2015; PIRES; VELOSO, 2019; FERREIRA *et al.*, 2020).

Assim, a temperatura de superfície corresponde ao fluxo de calor obtido em função da energia que incide e deixa o alvo, sendo de fundamental importância para a compreensão das interações entre a superfície terrestre e a atmosfera (MANNSTEIN, 1987; JENSEN, 2009). A LST também está correlacionada com a fração de energia entre o solo e a vegetação, influenciando diretamente na temperatura do ar junto a superfície (ZENG *et al.*, 2015).

Além disso, o conhecimento desta variável fornece informações sobre as variações espaciais e temporais do estado de equilíbrio da superfície e é de fundamental importância em estudos científicos de diversas áreas do conhecimento (KERR *et al.*, 2000). Nesta perspectiva, a temperatura de superfície pode ser obtida a partir de dados oriundos de sensores a bordo de satélites artificiais que operam na região do infravermelho termal, com diferentes resoluções espaciais, temporais, espectrais e radiométricas, e áreas de imageamento.

Deste modo, inúmeras pesquisas vêm sendo realizadas com o intuito de estimar a temperatura de superfície a partir de imagens termais satelitárias (RASMUSSEN *et al.*, 2011, MATOS *et al.*, 2013; BONAFONI, 2016; PADOVANNI *et al.*, 2018. SANTOS *et al.*, 2020), contudo, são poucos os estudos desta natureza que compreendem a totalidade do estado do Rio Grande do Sul.

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a distribuição espaço-temporal da temperatura de superfície para o estado do Rio Grande do Sul a partir de dados do sensor MODIS, para o mês de fevereiro dos anos 2008 a 2019.

MATERIAIS E MÉTODOS

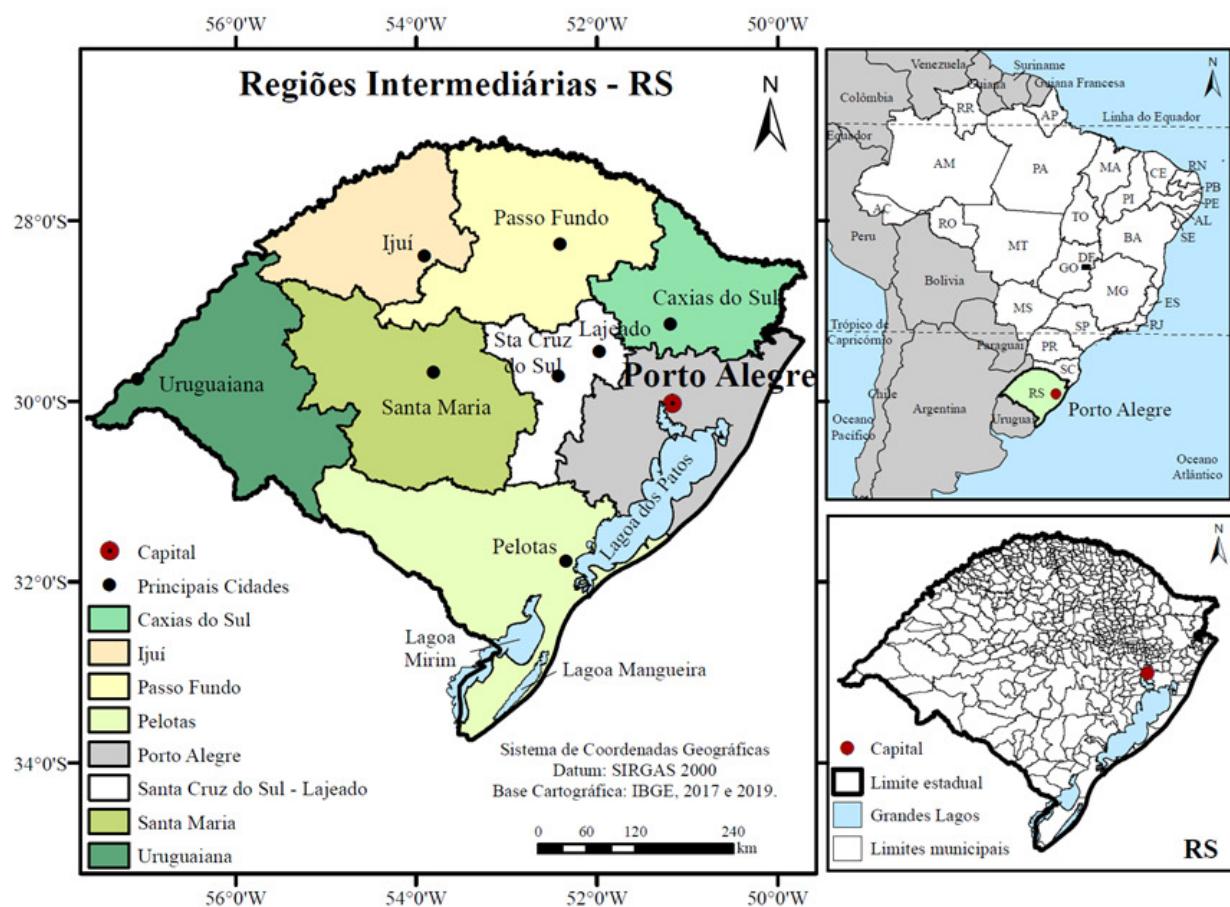
Área de estudo

A área de estudo compreende o estado do Rio Grande do Sul, localizado na região sul do Brasil, e limita-se ao norte com o estado de Santa Catarina, ao sul com a república oriental do Uruguai, a oeste com a república Argentina e a leste com o Oceano Atlântico (Figura 1). É

composto por 497 municípios e possui uma área territorial de 281.707,156 km², além de uma população estimada de 11.422.973 habitantes (IBGE, 2020).

A divisão regional do Rio Grande do Sul é caracterizada por 8 regiões geográficas intermediárias e 43 regiões geográficas imediatas (IBGE, 2017). De acordo com o IBGE (2017) a nova divisão regional do Brasil tem a finalidade de atualizar o conhecimento regional do País e baseou-se na dinâmica dos processos de transformação ocorridos nas últimas três décadas levando em consideração elementos concretos, tais como: rede urbana, classificação hierárquica dos centros urbanos, detecção dos fluxos de gestão, entre outros, capazes de distinguir espaços regionais em escalas adequadas.

Figura 1 – Localização da área de estudo e regiões geográficas intermediárias



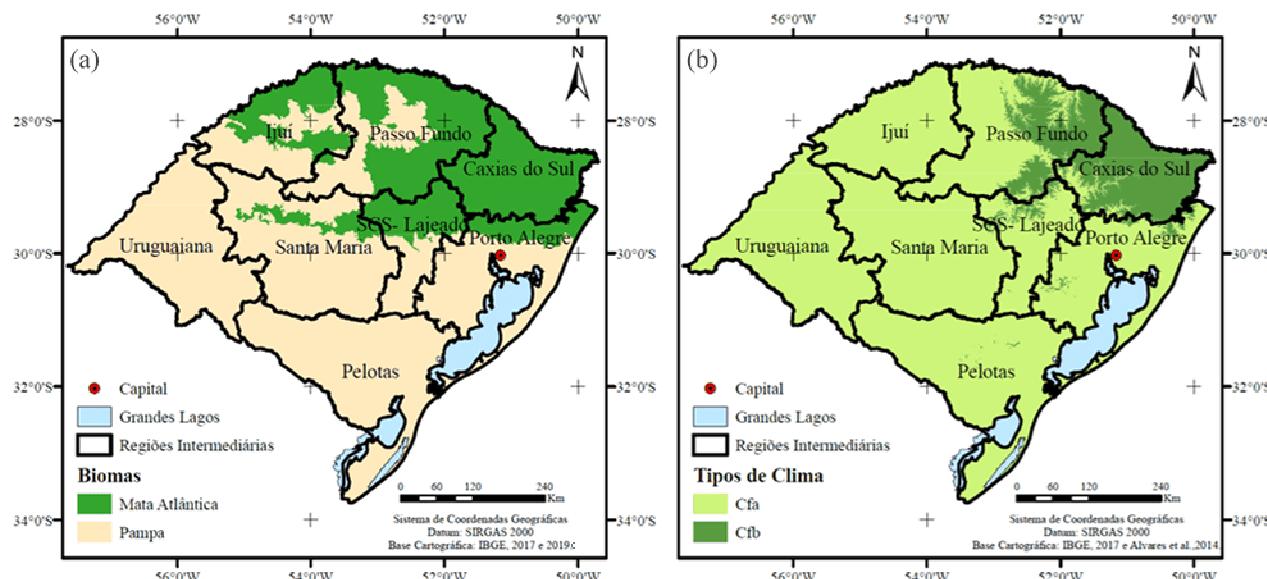
Fonte: Elaborado pelos autores.

O estado é coberto pelos biomas Pampa (68,8%) e Mata Atlântica (31,2%) (IBGE, 2019a), conforme Figura 2a. Além disso, apresenta as seguintes Regiões Fitoecológicas (tipos de

vegetação): Floresta Ombrófila Densa (890 km²), Floresta Ombrófila Mista (24.922 km²), Floresta Estacional Semidecidual (10.789 km²), Floresta Estacional Decidual (30.422 km²), Savana Estépica (1.776 km²), Estepe (130.330 km²) e Formação Pioneira (18.091 km²) (IBGE, 2019b).

Em relação ao contexto climatológico da área em questão, é mister destacar que o estado do Rio Grande do Sul está situado em área que abrange os climas de latitudes médias, estando sob influência dos principais centros de ação, quer das latitudes baixas, quer daqueles originários das latitudes elevadas (NIMER, 1989). Além disso, existe uma intensa interação entre as massas de ar tropical e polar que determinam e delimitam a zona de atuação da frente polar. De tal maneira, a área está sujeita a ação de massas de ar quente (tropicais) e fria (polares), de forma mais específica a Massa Tropical Atlântica - mTa, a Massa Polar Atlântica – mPa e a Massa Tropical Continental - mTc (NIMER, 1990).

Figura 2 – (a) Biomas e (b) Classificação Climática do estado do Rio Grande do Sul por regiões geográficas intermediárias



Fonte: Elaborado pelos autores.

Por sua vez, segundo a classificação climática de *Koppen-Geiger* (Figura 2b), o clima do estado é temperado com chuvas distribuídas ao longo do ano, sendo que aproximadamente 86% do estado possui o clima tipo Cfa com verão quente e 14% apresenta o clima tipo Cfb com verão brando/amenos (Alvares *et al.*, 2014).

Determinação da temperatura de superfície

A temperatura de superfície terrestre (LST) foi obtida a partir das imagens do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). O sensor MODIS, a bordo dos satélites Terra e Aqua, possui resolução temporal de 1 a 2 dias e é composto por 36 bandas espectrais distribuídas em diferentes regiões do espectro eletromagnético, dentre elas a faixa do infravermelho termal, com as bandas 31 [10,78 - 11,28 μm] e 32 [11,77 - 12,27 μm] (WAN, 2013). O sensor MODIS/TERRA passa sobre a linha do Equador em torno de 13:15 h (UTC).

Neste estudo, foram utilizadas as imagens termais do produto MOD11A2 (Coleção 6 - TERRA), que é resultante da composição de imagens de temperatura de superfície de oito dias, advindas dos dados do produto MOD11A1 (diário), com resolução espacial de 1 km. Neste produto a temperatura de superfície é estimada a partir do algoritmo LST (MOD11) e fornece dados georreferenciados e corrigidos para os efeitos da atmosfera (WAN, 2013).

Os dados de temperatura de superfície da área de estudo (*Tiles H13V11 e H13V12*), foram adquiridos no *site* da LP DAAC - *Land Processes Distributed Active Archive Center* (<https://lpdaac.usgs.gov/>), para os anos de 2008 a 2019. O LP DAAC possui um grande acervo de dados e opera em parceria com o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS - *United States Geological Survey*) e a Agência Espacial Americana (NASA - *National Aeronautics and Space Administration*) e é um componente do Sistema de Observação da Terra (EOSDIS - *Earth Observing System Data and Information System*).

As imagens brutas foram reprojetadas para a projeção geográfica e realizado o mosaico destas, obtendo as imagens LST Day e QC Day para a área de estudo. Posteriormente, as imagens foram reescalonadas e convertidas em valores de temperatura de superfície em graus Celsius, por meio da Equação 1.

$$\text{LST} = (\text{DN} * \text{F}) - 273,15 \quad (1)$$

Onde:

LST: Temperatura de superfície diurna ($^{\circ}\text{C}$)

DN: Valor original do pixel

F: Fator de conversão (0,02)

Com o propósito de reduzir as influências atmosféricas e meteorológicas, as imagens de temperaturas foram filtradas utilizando os dados de controle de qualidade (*Quality Control - QC*), onde foram selecionados os *pixels* com ótima e boa qualidade de observação.

As imagens de temperatura média mensal foram obtidas a partir da média das imagens corrigidas do produto MOD11A2. As imagens de temperatura de superfície foram processadas para todo o estado do Rio Grande do Sul para o mês de fevereiro dos anos de 2008 a 2019.

A escolha pelo mês de fevereiro deve-se ao fato de que no estado do Rio Grande do Sul durante o verão, além de apresentar dias mais longos do que os verificados no Brasil equatorial e tropical, a inclinação dos raios solares, nesta época, é muito pequena. Tal cenário implica na ocorrência de forte calor durante o verão, quando se registram temperaturas do ar em torno de 40° C (NIMER, 1989). Assim, o mês de fevereiro tende a possuir temperaturas mais elevadas, em comparação à maioria dos demais meses do ano.

Também foram obtidos os dados de precipitação da missão TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), com o intuito de verificar a correlação entre os dados de precipitação e temperatura de superfície no estado do Rio Grande do Sul. O satélite TRMM foi lançado pela NASA, em novembro de 1997, em parceria com a Agência de Exploração Aeroespacial Japonesa (JAXA - *Japan Aerospace Exploration*), para estudar as chuvas para pesquisas meteorológicas e climáticas. O TRMM possui 3 sensores de chuva (PR, TMI, VIRS) e 2 sensores auxiliares (LIS e CERES) para estimativa da precipitação. Os dados provenientes do TRMM são calibrados por observações de superfície utilizando dados de radares e estações meteorológicas situados em vários pontos na faixa intertropical (NASA, 2020).

Dentre os produtos de precipitação gerados pela missão, destaca-se o *TRMM Multisatellite Precipitation Analysis 3B43* (TMPA 3B43), onde a precipitação é estimada a partir de dados de diferentes sensores, incluindo o próprio TRMM, combinando dados de infravermelho e micro-ondas, além de análises de dados de pluviômetros e estimativas de erro de precipitação do Centro Climatológico de Precipitação Global (*GPCC - Global Precipitation Climatological Centre*). (HUFFMAN; BOLVIN, 2018).

Nesse trabalho foram utilizadas as estimativas mensais do produto 3B43V7, com resolução espacial de 0,25° (~25 x 25 km), referente a aproximadamente 418 *pixels* para o estado do Rio Grande do Sul, disponíveis no site do Centro de Voo Espacial Goddard (*GSFC - Goddard Space Flight Center*) vinculado a NASA(<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>), para análise da

variação espacial e distribuição temporal da precipitação mensal (fevereiro) entre os anos de 2008 a 2019.

Além disso, os dados de temperatura de superfície do sensor MODIS foram comparados com as temperaturas do ar obtidas nas estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com o intuito de validar os resultados obtidos. Foram adquiridos os dados diários de temperatura do ar das estações meteorológicas automáticas localizadas no estado do Rio Grande do Sul para o mês de fevereiro dos anos de 2008 a 2019, disponíveis no *site* do INMET (<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>). Salienta-se que muitas destas apresentaram ausência de dados, apesar disso, ainda foram utilizados dados provenientes de uma estação meteorológica por região compreendida pelo estudo (Passo Fundo - A939, Vacaria - A880, Porto Alegre - A801, Rio Pardo - A813, Bagé - A811, Santa Maria - A803, Alegrete - A826 e Santa Rosa - A810). Os dados mensais das estações que apresentaram falhas ou ausências de dados em algum período foram descartados na análise.

Posteriormente, os dados foram filtrados e obtidas as temperaturas do ar médias mensais (13 UTC) para os dados de cada estação meteorológica para os anos de 2008 a 2019, e realizada a regressão linear dos dados de temperaturas de superfície e do ar.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

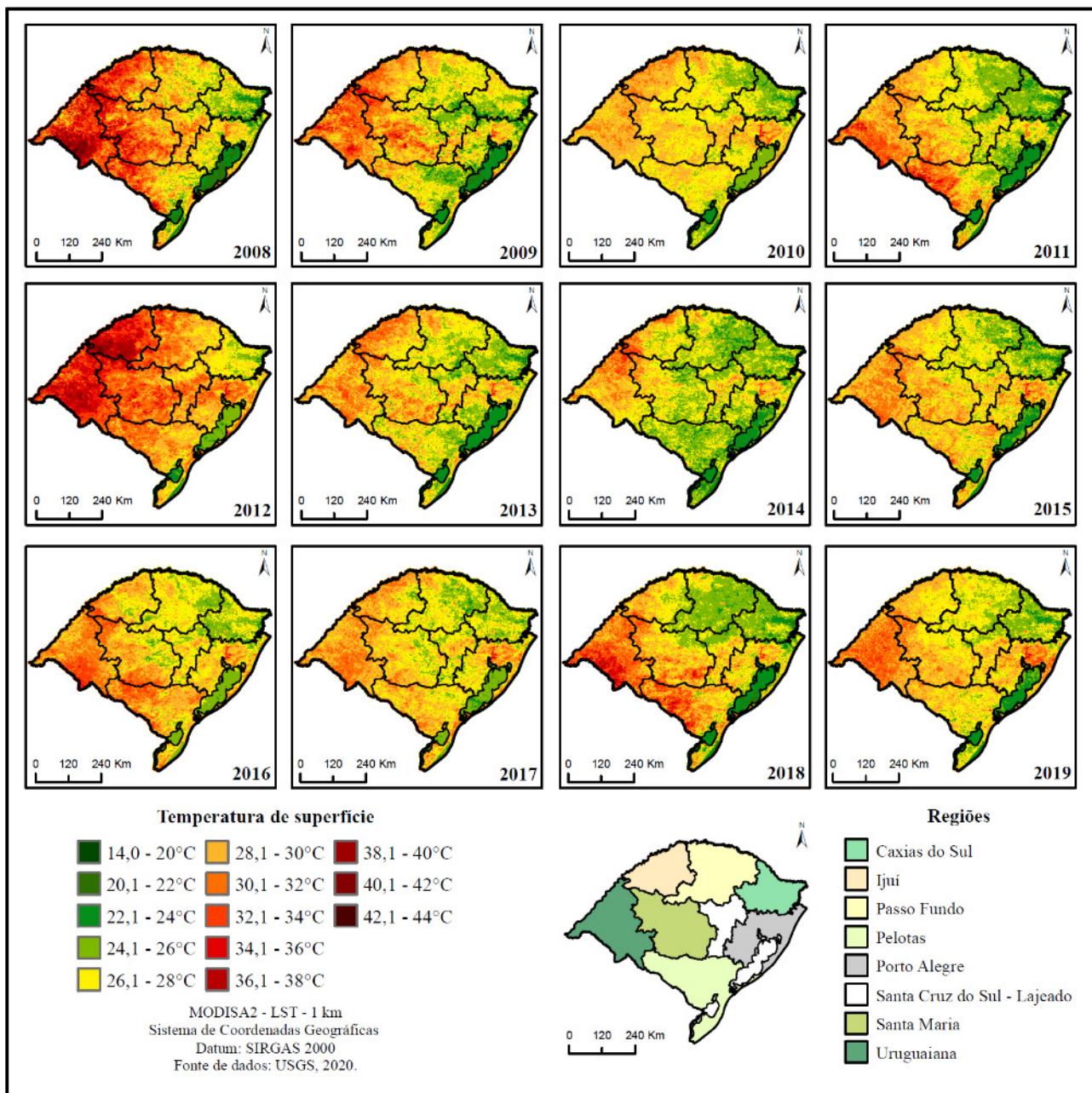
As imagens de temperatura de superfície evidenciam que ocorreram grandes variações destas no estado do Rio Grande do Sul no mês de fevereiro dos anos de 2008 a 2019, com temperaturas variando entre 14 e 44°C, conforme Figura 3. As cores quentes (amarelo, laranja e vermelho) equivalem às áreas com maiores valores de temperaturas, enquanto as cores frias (tons de verde) indicam os locais que apresentam os menores valores destas.

As análises dos dados foram realizadas utilizando como base os limites das regiões geográficas intermediárias para o estado do Rio Grande do Sul, referente à nova divisão regional do IBGE (2017). As imagens de temperaturas foram divididas em 13 intervalos e para cada região foi calculado a porcentagem de áreas compreendidas nestes.

Analizando os dados de temperatura de superfície (Figuras 3 e 4), nota-se que em 2008, as regiões que apresentaram valores mais elevados destas foram as de Uruguaiana, Ijuí e Santa Maria. A região de Uruguaiana apresentou áreas com 75% das temperaturas entre 30 e 38°C e registro de temperaturas de até 44°C (municípios de Quaraí e Sant'Ana do Livramento), enquanto que 68% da região de Ijuí registrou temperaturas entre 30 e 36°C e temperatura máxima de 43,6°C (município

de Santo Antônio das Missões). A região de Santa Maria apresentou 63% das temperaturas variando de 30 a 36°C e temperaturas máximas de até 41,5°C na área urbana da cidade de Santa Maria. A porção oeste da região de Pelotas também apresentou altas temperaturas variando entre 26 e 40°C. Quanto à região de Caxias do Sul observa-se a ocorrências de temperaturas mais amenas em relação a outras regiões, sendo que 90% das áreas apresentaram temperaturas variando de 22 a 28°C. Uma possível explicação pode residir na confluência de três variáveis importantes: o fato desta possuir mais de 90% de suas áreas sob a classificação climática Cfb; de estar localizada em uma área compreendida pelo bioma da Mata Atlântica e por apresentar maiores altitudes quando comparada às demais regiões do estado.

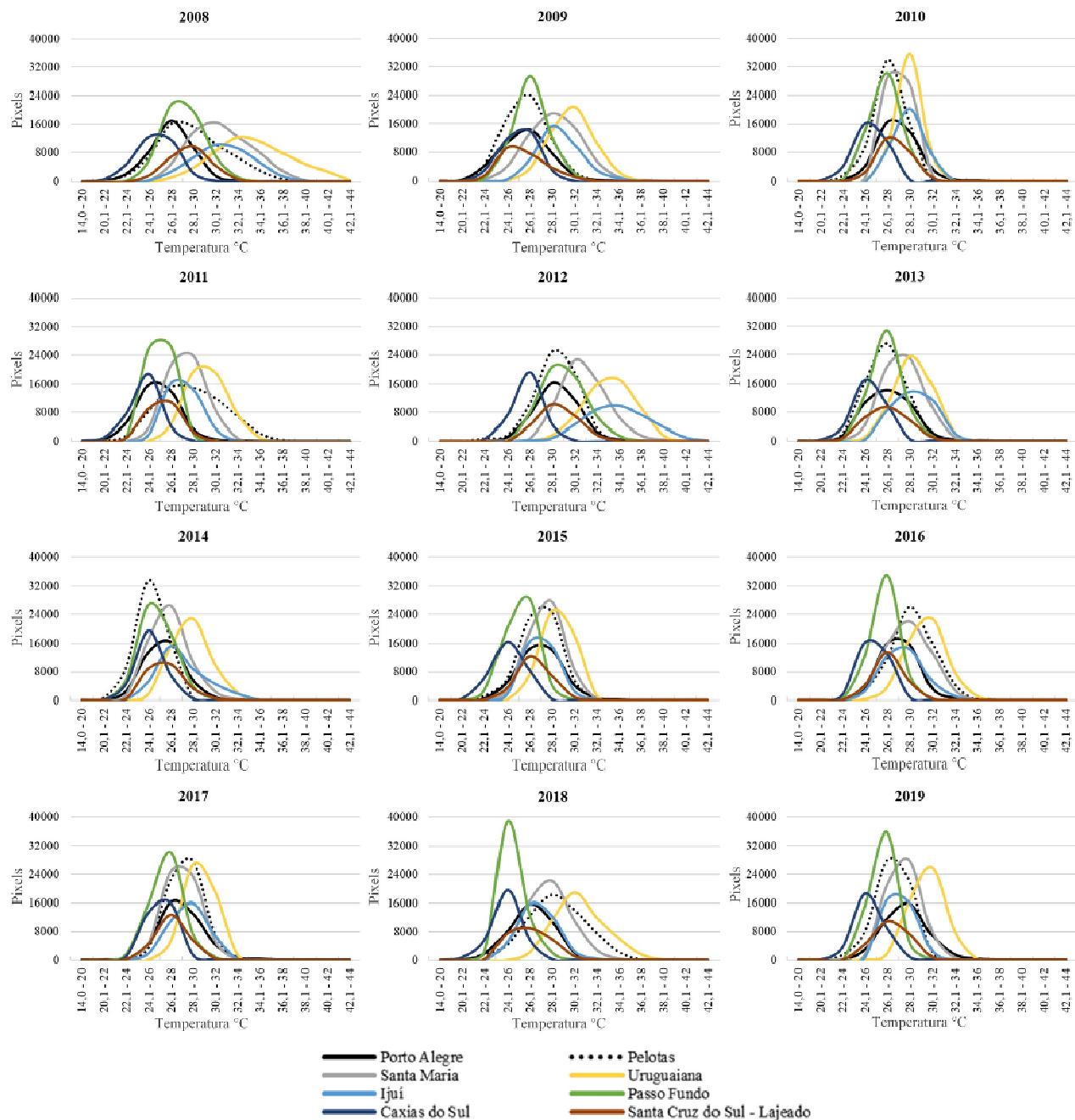
Figura 3 – Distribuição das temperaturas de superfície nas regiões intermediárias do estado do Rio Grande do Sul no mês de fevereiro (2008-2019)



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 4 apresenta a distribuição de frequência das temperaturas de superfície no mês de fevereiro para o estado do Rio Grande do Sul em função das regiões intermediárias nos anos de 2008 a 2019 – onde o eixo x representa os intervalos de temperatura de superfície e o eixo y a quantidade de *pixels* nestes.

Figura 4 – Distribuição de frequência das temperaturas de superfície nas regiões intermediárias do estado do Rio Grande do Sul no mês de fevereiro (2008-2019)



Fonte: Elaborado pelos autores.

Em 2009, as regiões que apresentaram temperaturas mais elevadas foram a de Uruguaiana (87% - LST de 28 a 34°C), Ijuí (87% - LST de 26 a 32°C) e Santa Maria (80% - LST de 26 a 32°C). As regiões de Caxias do Sul, Santa Cruz do Sul-Lajeado, a parte sul de Passo Fundo, a porção

nordeste de Porto Alegre, e a parte norte da região de Pelotas apresentaram temperaturas mais baixas, ficando estas nas faixas de 14 a 26°C (tonalidade verde).

No ano de 2010, as maiores temperaturas de superfície foram registradas na região de Porto Alegre (38,8°C) compreendendo as áreas urbanas de Porto Alegre, Canoas, Gravataí, Sapucaia do Sul, São Leopoldo e Novo Hamburgo. Nesse ano, 88% das áreas dessa região apresentaram temperaturas nas faixas de 24 a 30°C. Além do mais, as menores temperaturas foram registradas nas regiões de Passo Fundo, Caxias do Sul e na parte Sul da região Pelotas, variando de 22 a 26°C (tonalidade de verde).

Em 2011, as regiões de Uruguaiana e Pelotas apresentaram temperaturas mais elevadas, variando de 28 a 34°C (88%) e 26 a 34°C (79%), respectivamente. A região de Caxias do Sul (96%) e parte da região de Porto Alegre (88%) apresentaram temperaturas mais amenas, nas faixas de 22 a 28°C.

O ano de 2012 apresentou temperaturas elevadas (tonalidade vermelha) em quase todas as regiões, destacando as regiões de Uruguaiana (80%) e Ijuí (71%), que registraram temperaturas nas faixas de 32 a 38°C. Além disso, algumas áreas dessas regiões atingiram temperaturas de 40,7°C (município de Alegrete) e 43,6°C (município de Santo Antônio das Missões). Neste mesmo ano, apenas a porção nordeste da região de Caxias do Sul (26%) apresentou temperaturas mais amenas nas faixas de 22 a 26°C (tonalidade em verde). Cabe destacar também que, em 2012, 60% das áreas dessa região apresentaram temperaturas entre 26,1 a 28°C (tonalidade amarela) e 14% apresentaram temperaturas entre 28,1 a 30°C (tonalidade laranja). Portanto, este foi o ano com mais áreas com temperaturas mais elevadas nessa região, com especial destaque para as áreas urbanas de Caxias do Sul e Vacaria que apresentaram temperaturas de superfície de até 32°C.

Em 2013, as regiões de Uruguaiana (96%), Ijuí (93%), Santa Maria (91%), Santa Cruz do Sul – Lajeado (69%) e Porto Alegre (68%) apresentaram áreas com temperaturas de superfície nas faixas de 26 a 32°C. A região de Caxias do Sul apresentou temperaturas mais amenas, nas faixas de 22 a 26°C, em 66% da área total da região.

Em relação ao ano de 2014, grande parte das regiões registraram temperaturas de superfícies mais amenas, nas faixas de 20 a 26°C (tonalidade verde), com exceção das regiões de Uruguaiana e Ijuí, além de algumas áreas na porção noroeste de Santa Maria e nas porções centrais das regiões de Santa Cruz do Sul-Lajeado e Porto Alegre, que apresentaram temperaturas nas faixas de 30 a 38°C (tonalidade vermelha).

As regiões de Porto Alegre, Pelotas, Santa Maria, Ijuí e Santa Cruz do Sul-Lajeado apresentaram temperaturas de superfície na faixa de 26 a 32°C em mais 80% de suas áreas, nos anos de 2015 e 2019. A região de Caxias do Sul também registrou temperaturas similares nos anos de 2015 e 2019, com mais de 77 % das áreas com temperaturas de superfície entre 24 e 28°C.

Nos anos de 2016 e 2017, as regiões intermediárias apresentaram temperaturas de superfície com comportamentos semelhantes, sendo que a região de Uruguaiana e as áreas urbanas da região de Porto Alegre apresentaram temperaturas mais elevadas, nas faixas de 30 a 42°C.

Em 2018, as regiões de Uruguaiana (92%) e Pelotas (69%) apresentaram temperaturas elevadas, nas faixas de 28 a 36°C. Em contrapartida, as regiões de Passo Fundo (74%) e Caxias do Sul (82%) apresentaram as menores temperaturas de superfície, variando de 20 a 26°C.

As estatísticas das temperaturas de superfície do estado do Rio Grande do Sul para o mês de fevereiro (2008 a 2019) foram obtidas a partir das imagens LST, conforme Tabela 1. Observa-se que os anos de 2011 e 2015 apresentaram as menores temperaturas mínimas, 14,9°C e 15,5°C, respectivamente. O ano de 2014 apresentou a menor temperatura de superfície média (26,6°C) no período analisado. Por sua vez, os anos de 2008 e 2012 apresentaram as maiores temperaturas médias (28,1 e 30,9°C) e máximas (44 e 43,6°C), além de um desvio padrão dos dados maior que 3, em ambos os casos. Portanto, os resultados mostram que os anos de 2008 e 2012 foram aqueles com temperaturas de superfície mais elevadas no estado do Rio Grande do Sul.

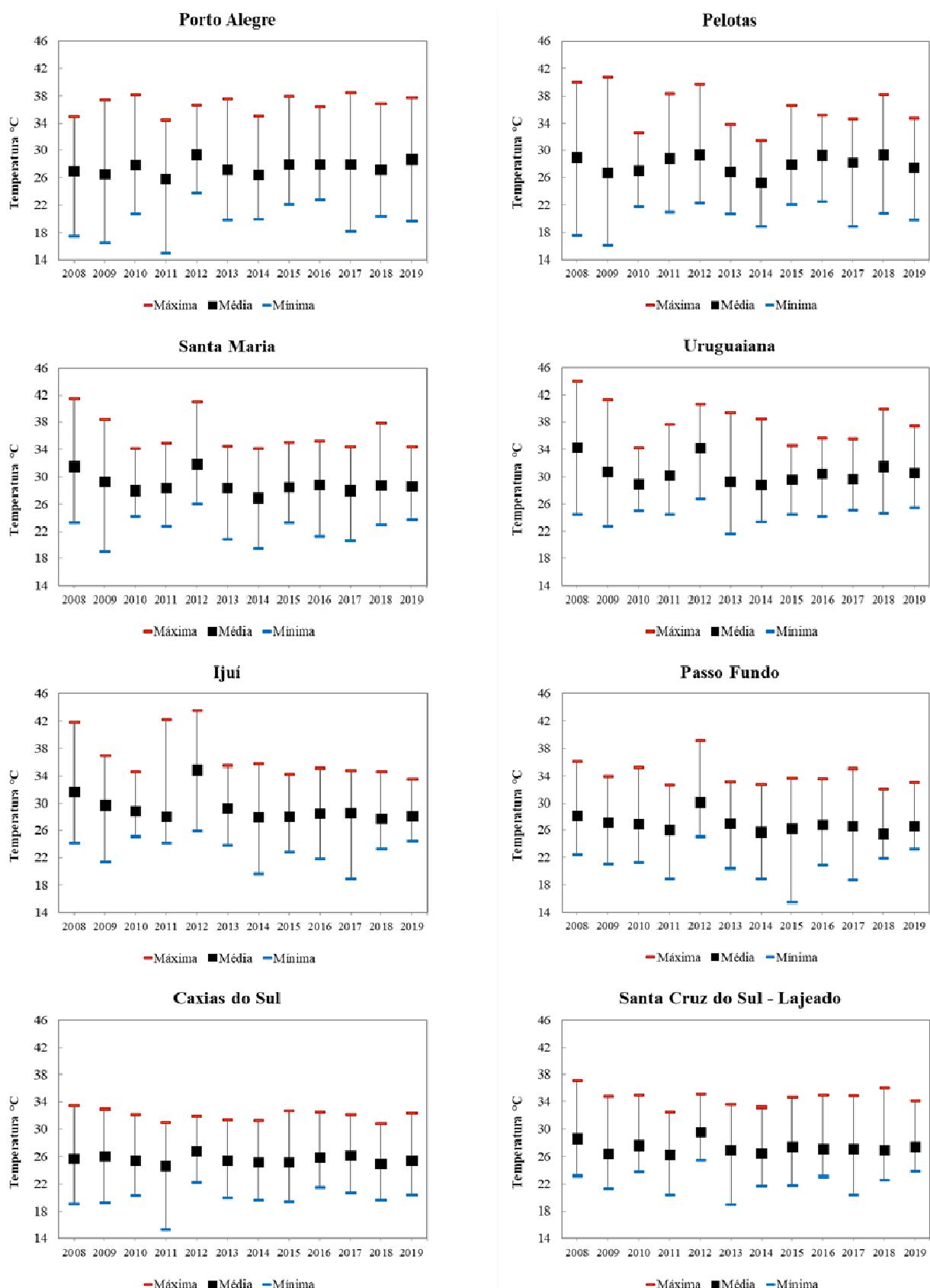
Tabela 1 - Estatística das temperaturas de superfície no estado do Rio Grande do Sul para o mês de fevereiro (2008-2019)

Estatística	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Mínima	17,5	16,1	20,3	14,9	22,3	18,9	18,9	15,5	20,9	18,2	19,6	19,7
Máxima	44,0	41,3	38,2	42,2	43,6	39,4	38,5	37,9	36,4	38,5	39,9	37,8
Média	28,1	28,0	27,6	27,6	30,9	27,4	26,6	27,7	28,3	27,9	28,0	27,9
Desvio Padrão	3,62	2,56	1,63	2,51	3,08	2,02	2,03	1,95	2,12	1,81	2,83	1,98

Fonte: Elaborado pelos autores a partir das imagens LST.

Em relação às temperaturas de superfície mínimas, médias e máximas nas regiões intermediárias do estado do Rio Grande do Sul para o mês de fevereiro, observa-se que estas sofreram grandes variações no período de 2008 a 2019, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Temperaturas de superfície mínimas, médias e máximas no mês de fevereiro (2008-2019)



Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir dos dados apresentados na Figura 5, constata-se que a região de Porto Alegre registrou a menor temperatura mínima no ano de 2011 (14,9°C) e o maior valor de temperatura mínima no ano de 2012 (23,8°C), com uma variação de 8,9°C entre esses dois anos. As maiores temperaturas máximas foram registradas nos anos de 2010 (38,2°C), 2015 (38,0°C) e 2017 (38,5°C) nas áreas urbanas de Canoas, Sapucaia do Sul e Alvorada. Nessa região as temperaturas médias variaram de 25,8°C (2011) a 29,4°C (2012). Também se observa que no ano de 2011 foram registradas as menores temperaturas mínimas (14,9°C), médias (25,8°C) e máximas (34,5°C) se comparado aos outros anos compreendidos nesta pesquisa.

Em relação à região de Pelotas, as menores (16,1°C) e maiores (40,8°C) temperaturas de superfície foram registradas no ano de 2009. Por sua vez, nos anos de 2012 e 2018 foram registradas as maiores temperaturas de superfície médias (29,3°C).

Na região de Santa Maria, as menores temperaturas foram de 19,1°C e 19,5°C, nos anos de 2009 e 2014, respectivamente. Os anos de 2008 e 2012 também apresentaram temperaturas de superfície mais elevadas nessa região, com temperaturas médias em torno de 31,5°C e temperaturas máximas de até 41,5°C, em relação aos outros anos analisados.

A região de Uruguaiana foi a que apresentou as temperaturas de superfície mais elevadas durante o período analisado, com 34,3°C de temperatura média e 44,0°C de temperatura máxima no ano de 2008. A menor temperatura foi registrada em 2013 (21,8°C) e as menores temperaturas médias (28,9°C) foram observadas nos anos de 2010 e 2014.

Em 2012, a região de Ijuí apresentou as maiores temperaturas de superfície médias (34,8°C) e máximas (43,6°C). As menores temperaturas foram registradas nos anos de 2014 (19,7°C) e 2017 (19,1°C). Nesses mesmos anos, as temperaturas do ar registradas na estação meteorológica de Santa Rosa (A810-INMET) pertencente à região intermediária de Ijuí, também apresentaram comportamentos semelhantes com as temperaturas de superfície. Também foi observado que houve uma redução de até 10°C nas temperaturas de superfície máximas e de até 6,9°C nas temperaturas de superfície médias durante os anos de 2013 a 2019, se comparado ao ano de 2012.

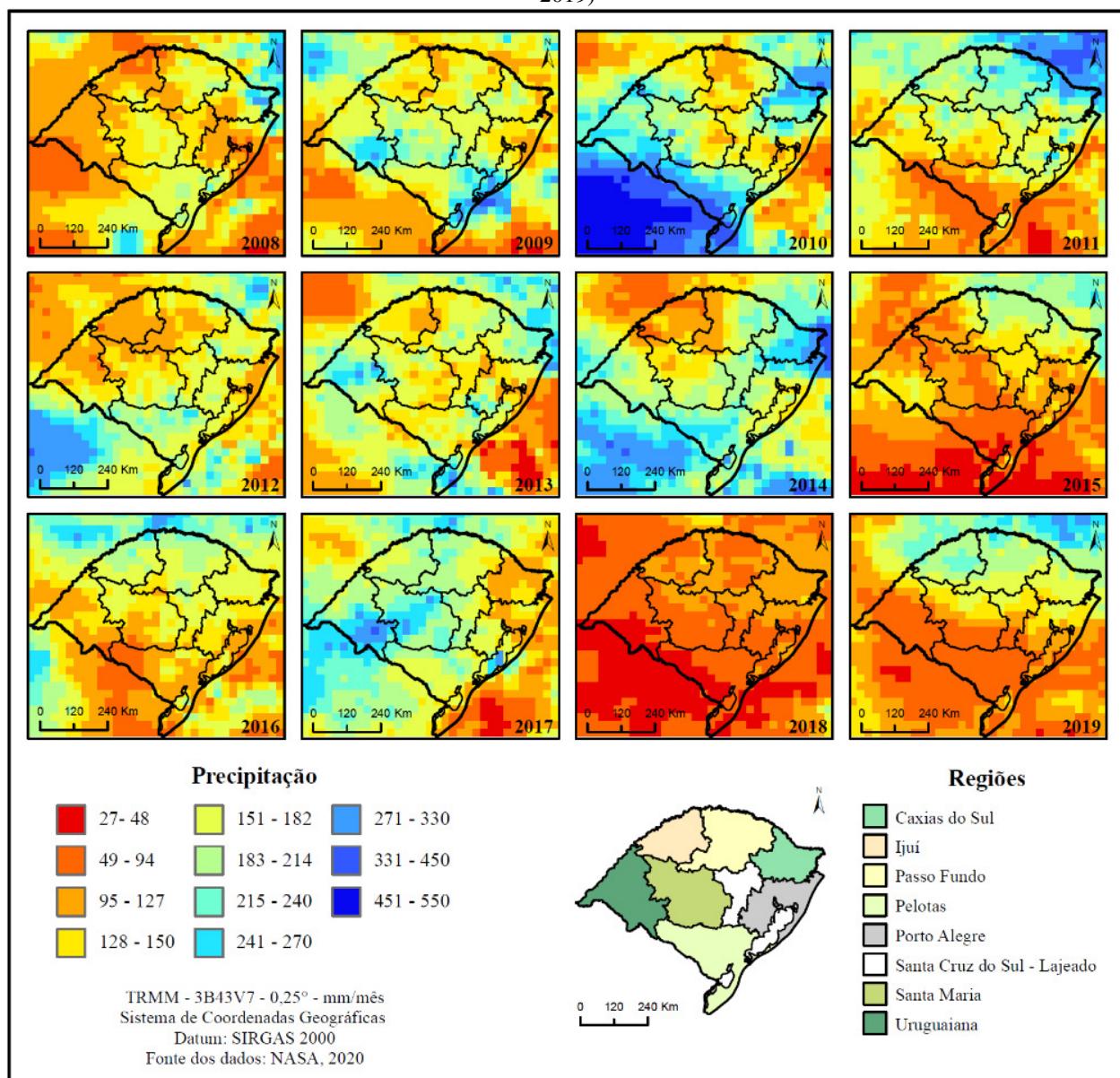
De acordo com os dados do INMET (2020), essas regiões tendem a apresentar temperaturas mais elevadas do que as outras regiões, principalmente no mês de fevereiro, com temperaturas máximas do ar na faixa de 31 a 33°C.

Na região de Passo Fundo, no ano de 2015, foi registrado o menor valor de temperatura de superfície (15,5°C). Em contrapartida, o ano de 2012 foi o que apresentou os maiores valores de temperaturas médias (30,1°C) e máximas (39,3°C) nessa região.

Por sua vez, a região de Caxias do Sul foi a que apresentou temperaturas de superfície mais amenas durante os anos analisados. As temperaturas mínimas variaram de 15,4 a 22,3°C, enquanto que as temperaturas médias variaram de 24,6 a 26,8°C. A maior temperatura de superfície registrada foi no ano de 2008 com 33,5°C.

No ano de 2017, foi registrada a menor temperatura de superfície mínima (20,4°C) na região de Santa Cruz do Sul – Lajeado. Nessa região, os anos de 2008 e 2012 também apresentaram temperaturas médias e máximas mais elevadas, com 29,5°C e 37,2°C, respectivamente.

Figura 6 – Precipitações nas regiões intermediárias do estado do Rio Grande do Sul para o mês de fevereiro (2008-2019)



Fonte: Elaborado pelos autores.

No que tange à precipitação, é importante pontuar que em todas as regiões intermediárias do estado do Rio Grande do Sul estas foram registradas em alguma intensidade no mês de fevereiro dos anos de 2008 a 2019.

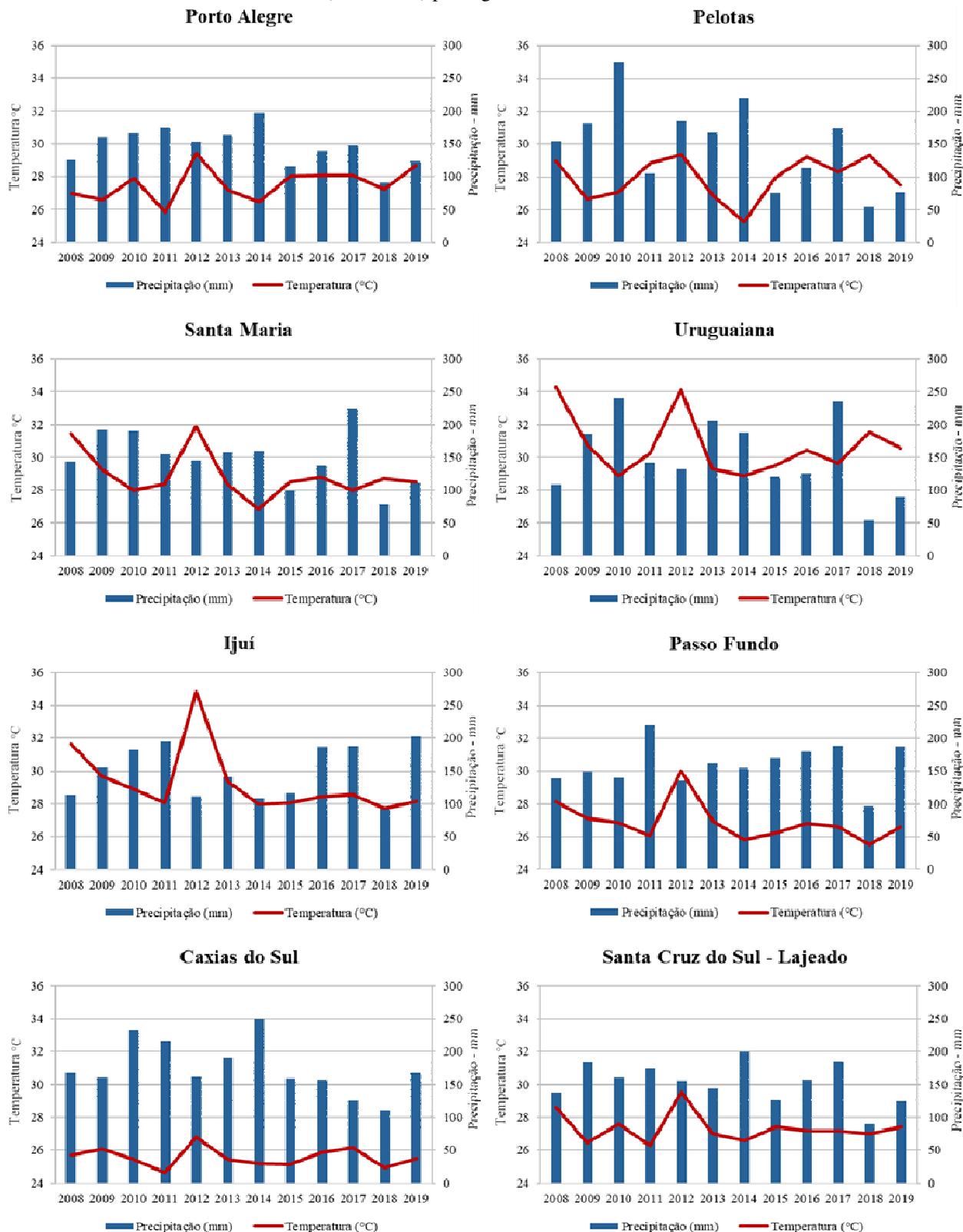
A Figura 6 ilustra os valores de precipitação do satélite TRMM no mês de fevereiro no estado do Rio Grande do Sul por regiões intermediárias, enquanto que a Figura 7 mostra a relação entre as temperaturas de superfície médias do sensor MODIS/TERRA e as precipitações médias do satélite TRMM. De modo geral, a precipitação apresentou uma relação inversa com os valores de temperatura de superfície para o estado do Rio Grande do Sul durante os anos analisados. Na região de Porto Alegre, nos anos de 2011 e 2014, foram registrados os maiores valores de precipitação (175,05 e 197,5 mm) e, ao mesmo tempo, os menores valores de temperatura de superfície médias (25,1 e 26,5°C). Nos anos de 2015 a 2019, observa-se uma redução nos valores de precipitação e um aumento nos valores das temperaturas de superfície em relação a 2014.

Na região de Pelotas, a maior precipitação foi registrada no ano de 2010 (275,13 mm). No ano de 2014, observa-se uma redução da temperatura média (25,2°C) associada provavelmente ao aumento da precipitação (219,74 mm) neste período. Também em 2018 foram aferidos os menores valores de precipitação (54,39 mm) e, consequentemente, a temperatura de superfície média mais elevadas (29,3°C).

Em 2017, foram registrados os maiores valores de precipitação (224,4 mm) na região de Santa Maria. Em contrapartida, o ano de 2018 apresentou os menores valores de precipitação (78,2 mm) e um aumento de 0,7°C na temperatura de superfície média em relação ao ano anterior. Além disso, nos anos de 2009 e 2010, as temperaturas médias tendem a diminuir à medida que aumentam os valores de precipitação. No ano de 2012, também se nota um aumento na temperatura média de até 3,6°C ao mesmo tempo em que se percebe uma redução gradativa da precipitação nos anos anteriores.

Na região de Uruguaiana, em 2018, foram registrados os menores valores de precipitação (54,1 mm) e nos anos de 2010 e 2017 a precipitação média ficou em torno de 240 mm. Podemos observar que à medida que a precipitação aumenta (2009 e 2010), a temperatura tende a diminuir (2010). Nota-se ainda que a temperatura (2012) eleva à medida que a precipitação diminui (2011 e 2012).

Figura 7 – Temperaturas de superfície e precipitações médias para o mês de fevereiro no estado do Rio Grande do Sul (2008-2019) por regiões intermediárias



Fonte: Elaborado pelos autores.

Por sua vez, nos anos de 2010, 2011, 2016, 2017 e 2019, foram registrados valores de precipitação variando de 182 a 202 mm na região de Ijuí. No período de 2008 a 2011, nota-se um aumento gradual nos valores de precipitação, passando de 114,07 mm para 194,66 mm, e, consequentemente, uma redução de 3,6°C nas temperaturas de superfície. No ano de 2012, ocorreu uma diminuição de 84,4 mm na precipitação e um aumento de 6,7°C na temperatura de superfície média em relação ao ano anterior.

Na região de Passo Fundo, a precipitação foi bem distribuída durante os anos analisados, exceto nos anos de 2011 (220,3 mm) e 2018 (25,5 mm). No ano de 2011, foram registrados os maiores valores de precipitação (220,3 mm) e um dos menores valores de temperatura de superfície média (26°C), observando também uma relação inversa entre as duas variáveis.

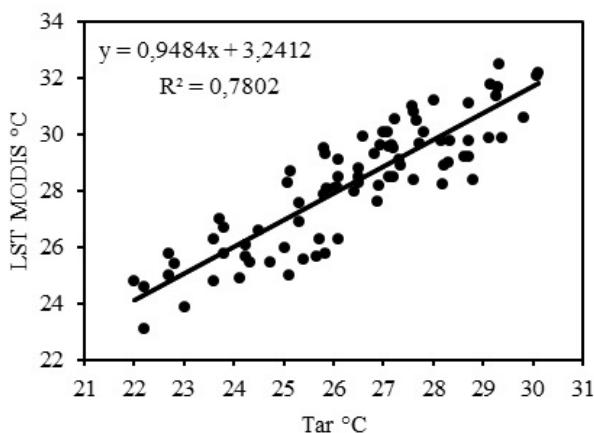
Na região de Caxias do Sul, os anos de 2010, 2011 e 2014 apresentaram precipitação variando entre 216 e 250 mm. No ano de 2012, houve um aumento de 2,2°C na temperatura de superfície média causado possivelmente pelo declínio na precipitação registrada neste ano.

Também no ano de 2012, foram registrados os maiores valores de temperatura de superfície média (29,5°C) e alto valor de precipitação (156,43 mm) na região de Santa Cruz do Sul – Lajeado. O ano de 2014 foi o que apresentou precipitação elevada (198,8 mm) e temperatura de superfície média de 26,6°C.

A Figura 8 apresenta o diagrama de dispersão e a equação de regressão linear entre os dados de temperatura de superfície média do sensor MODIS e os dados de temperatura do ar média das estações meteorológicas do INMET (13 UTC) do Rio Grande do Sul utilizadas neste estudo para o mês de fevereiro dos anos de 2008 a 2019. O diagrama de dispersão geralmente é utilizado para verificar se existe relação de causa e efeito entre duas variáveis de natureza quantitativa e determina qual a intensidade da relação entre elas. Ademais, quanto mais próximo os pontos estiverem da reta maior a correlação entre os dados. Deste modo, observa-se na figura 8 que há uma correlação positiva entre a temperatura de superfície (MODIS) e a temperatura do ar (INMET), onde o valor de uma variável eleva-se mediante o aumento do valor de uma segunda variável.

Além disso, os resultados obtidos evidenciam uma alta correlação e um bom ajuste entre as temperaturas de superfície (LST MODIS) e as temperaturas do ar (Tar – INMET), com coeficiente de correlação (R múltiplo) de 0,8833 e coeficiente de determinação (R^2) de 0,7802, pois quanto mais próximo de 1 estiver esses coeficientes, maior será a correlação entre as variáveis (Figura 8 e Tabela 2).

Figura 8 - Diagrama de dispersão entre os dados de temperatura de superfície (LST MODIS) e temperatura do ar (Tar - INMET – 13 UTC) para o mês de fevereiro dos anos de 2008 a 2019



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 2 - Estatística de regressão das temperaturas no mês de fevereiro (2008 - 2019)

Período	R múltiplo	R-Quadrado	R-Quadrado Ajustado	Erro Padrão
Fevereiro	0,8833	0,7802	0,7775	1,0318

Fonte: Elaborado pelos autores.

124

Nesse sentido, Gamarra *et al.* (2014) ao estimarem as temperaturas de superfície (LST) em Londrina-PR a partir de dados do sensor MODIS encontraram coeficiente de correlação variando de 0,68 a 0,82, ao compararem os resultados destas com as temperaturas do ar. Em um estudo similar, Trentin *et al.* (2011) também observaram alta correlação entre os dados de temperatura de superfície (MODIS) e temperatura do ar (INMET) no estado do Paraná, com R^2 variando de 0,7888 a 0,9016. Lemos e Rizzi (2019) também utilizaram dados de temperatura de superfície do sensor MODIS para estimar a temperatura do ar no estado do Rio Grande do Sul nos anos de 2016 e 2017 e obtiveram um valor de R^2 de 0,86.

Cabe salientar que apesar de haver alta correlação entre os dados, as temperaturas de superfície (MODIS) tendem a ser mais elevadas do que as temperaturas do ar (INMET). Isso possivelmente está associado ao fato de que os dados do sensor MODIS correspondem à temperatura da superfície obtida em nível orbital, enquanto que a temperatura das estações meteorológicas equivale à temperatura do ar, medida a 2 metros da superfície (INMET, 2011).

Segundo El Kenawy *et al.* (2019), apesar destas duas variáveis apresentarem diferenças entre si, a comparação entre os dados MODIS e as medições de temperatura do ar em campo ainda

constitui um importante parâmetro para verificar o nível de correlação entre elas, dado que as temperaturas do ar aferidas pelas estações meteorológicas se constituem, muitas vezes, como a única fonte de dados de campo em determinados locais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As imagens de temperatura de superfície obtidas a partir do sensor MODIS permitiram visualizar a distribuição espacial e temporal da temperatura no estado do Rio Grande do Sul, no mês de fevereiro dos anos de 2008 a 2019. Para além disso, mostraram-se adequadas ao monitoramento da temperatura de superfície em âmbito regional e estadual, demonstrando a possibilidade da utilização de sensores orbitais como instrumentos auxiliares na obtenção de dados termais.

Os resultados demonstram que os anos de 2008 e 2012 apresentaram temperaturas de superfície mais elevadas em quase todas as regiões intermediárias do estado. Também foram registradas temperaturas elevadas nas áreas urbanas da região de Porto Alegre, indicando uma relação direta entre a urbanização e o aumento das temperaturas de superfície. Também foram observados que os anos de 2011 e 2015 apresentaram as menores temperaturas mínimas, enquanto que o ano de 2014 registrou a menor temperatura de superfície média.

As regiões com temperaturas de superfície mais altas foram as de Uruguaiana e Ijuí, dado que historicamente estas tendem a apresentar temperaturas do ar mais elevadas do que as outras regiões do estado na estação do verão. Por outro lado, as regiões de Caxias do Sul e Passo Fundo apresentaram temperaturas de superfícies mais baixas do que as outras regiões intermediárias, provavelmente devido ao fato de parte de suas áreas estarem localizadas no bioma Mata Atlântica e também de possuir o clima tipo Cfb caracterizado com temperaturas mais amenas na estação do verão, além de perfazerem as áreas de maior altitude do estado do Rio Grande do Sul.

Os resultados obtidos demonstram uma forte correlação linear entre as temperaturas de superfície do sensor MODIS e as temperaturas do ar das estações meteorológicas do INMET, evidenciando a potencialidade do uso dos dados termais MODIS em diversos estudos ambientais e climáticos.

De modo geral, os anos com menor precipitação apresentaram regiões com temperaturas de superfície mais elevadas do que os anos com maior registro de precipitação. Nesse sentido, podemos afirmar que existe uma relação inversa entre os dados de precipitação e temperatura de superfície.

Salienta-se ainda que o ano de 2018 apresentou baixos índices de precipitação no mês de fevereiro em todas as regiões intermediárias do estado do Rio Grande do Sul, além de registrar as temperaturas de superfície mais elevadas do período analisado em quase todas as regiões.

Por fim, recomenda-se a realização de trabalhos futuros com séries de dados mais longas ou que englobem outros fatores, tais como: topografia, latitude, continentalidade, advecção e sistemas de mesoescala, com intuito de ampliar e aprofundar os estudos sobre o tema.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONCALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

BONAFONI, S. Downscaling of Landsat and MODIS Land Surface Temperature Over the Heterogeneous Urban Area of Milan. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 9, n. 5, p. 2019-2027, 2016.

EL KENAWY, A. M.; HEREHER, M. E.; ROBAA, S. M. An Assessment of the Accuracy of MODIS Land Surface Temperature over Egypt Using Ground-Based Measurements. **Remote Sensing**, v. 11, p. 1-29, 2019.

FERREIRA, T. R.; SILVA, B. B.; MOURA, M. S. B.; VERHOEF, A.; NÓBREGA, R. L. B. The use of remote sensing for reliable estimation of net radiation and its components: a case study for contrasting land covers in an agricultural hotspot of the Brazilian semiarid region. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 291, p. 108052-108070, 2020.

FRIEDL, M. A. Forward and inverse modeling of land surface energy balance using surface temperature measurements, **Remote Sensing of Environment**, v. 79, n. 2/3, p. 344-354, 2002.

FU, P.; WENG, Q. Temporal Dynamics of Land Surface Temperature From Landsat TIR Time Series Images. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 12, n. 10, p. 2175-2179, 2015.

GAMARRA, N. L. R.; CORRÊA, M. P.; TARGINO, A. C. L. Utilização de Sensoriamento Remoto em análises de albedo e temperatura de superfície em Londrina – PR: Contribuições para estudos de ilha de calor urbana. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 4, p. 537-550, 2014.

GÓMEZ, C.; WHITE, J. C.; WULDER, M. A. Characterizing the state and processes of change in a dynamic forest environment using hierarchical spatio-temporal segmentation. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 7, p. 1665-1679, 2011.

HUFFMAN, G.J.; BOLVIN, D.T. **TRMM and Other Data Precipitation Data Set Documentation (2018)**. Disponível em: https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/public/project/GPM/3B42_3B43_doc_V7.pdf. Acesso em: 03 dez. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão Regional do Brasil - 2017**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/divisao-regional.html>. Acesso em: 28 jul. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000 / IBGE**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 168 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos e regiões fitoecológicas / IBGE**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 179 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área territorial - Brasil, Grandes Regiões, Unidades da Federação e Municípios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama do estado do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panorama>. Acesso em: 08 set. 2020.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Nota técnica n° 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET**. Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET, p. 1-11, 2011.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas (1981-2010)**. Temperatura máxima – mês de fevereiro. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/NormalisClimatologicas>. Acesso em: 18 dez. 2020.

127

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. 2.ed. São Paulo: Parêntese, 2009. 672 p.

KERR, Y. H.; LAGOUARDE, J. P.; NERRY, F.; OTTLÉ, C. **Land surface temperature retrieval techniques and applications**. D.A. Quattrochi, J.C. Luval (Eds.), Thermal remote sensing in land surface processes, CRC Press, Boca Raton, Fla., p. 33-109, 2000.

LEITE, M. E.; ALMEIDA, M. I. S.; VELOSO, G. A.; FERREIRA, M. F. F. Sensoriamento Remoto aplicado ao mapeamento da dinâmica do uso do solo na bacia do Rio Pacuí, no norte de Minas Gerais, nos anos de 1989, 1999 e 2009. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 23, p. 217-231. 2012.

LEMOS, G. S.; RIZZI. R. Estimativa da temperatura média do ar a partir de dados LST/MODIS. In: XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos-SP. **Anais** [...]. INPE, 2019, p. 279-282.

MANNSTEIN, H. **Surface energy budget, surface temperature and Thermal inertia**. In: Remote Sensing Applications in Meteorology and Climatology, editado por R. A. Vaughan, p. 391-410, D. Reidel, Dordrecht, Holanda, 1987.

MATOS, R. C. M; CANDEIAS, A. L. B.; JUNIOR, J. R. T. Mapeamento da vegetação, temperatura e albedo da Bacia Hidrográfica do Pajeú com imagens MODIS. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 1, p. 139-160, 2013.

NASA -National Aeronautics and Space Administration. **Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)**. Disponível em: <https://trmm.gsfc.nasa.gov/>. Acesso em: 03 ago. 2020.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE - Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2. ed. 1989. 422p.

NIMER, E. Clima. In: FURLANETTO, D.A. *et. al.* **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 2, p. 151-187, 1990. 420p.

OLIVEIRA, D. A.; ROSA, R. Temperatura de superfície obtida com técnicas de geoprocessamento. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu-PR. **Anais** [...]. INPE, 2013, p. 4153-4160.

PADOVANNI, N. G.; LOPES, E. R.; SOUZA, J. C.; MORAIS, M. C. M.; LOURENÇO, R. W. Análise espacial da temperatura e albedo de superfície na Bacia Hidrográfica do Rio Una – Ibiúna/São Paulo, a partir de imagens MODIS (Spatial Analysis of Temperature Surface and Albedo in the Una River Basin-Ibiúna/São Paulo, from MODIS images). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 5, p. 1832-1845, 2018.

PIRES, E. G.; VELOSO, G. A. Variação da temperatura de superfície diurna e noturna no município de Palmas - TO. In: XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos-SP. **Anais** [...]. INPE, 2019, v. 19. p. 1449-1452.

PORANGABA, G. F. O.; AMORIM, M. C. C. T. Geotecnologias Aplicadas à Análise de Ilhas de Calor de Superfície em Cidades do Interior do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n. 6, p. 2041-2050, 2019.

RASMUSSEN, M. O.; GOTTSCHE, F.; OLESEN F.; SANDHOLT, I. Directional Effects on Land Surface Temperature Estimation From Meteosat Second Generation for Savanna Landscapes. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 49, n. 11, p. 4458-4468, 2011.

SANTOS, C. V. B.; CARVALHO, H. F. S.; SILVA, M. J.; MOURA, M. S. B.; GALVÍNCIO, J. D. Uso de sensoriamento remoto na análise da temperatura da superfície em áreas de floresta tropical sazonalmente seca. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n. 3, p. 941-953, 2020.

SILVA, B. B.; WILCOX, B. P.; SILVA, V. P. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; OLIVEIRA, L. M. M. Changes to the energy budget and evapotranspiration following conversion of tropical savannas to agricultural lands in São Paulo State, **Brazil. Ecohydrology**, v. 8, p. 1272-1283, 2015.

TRENTIN, R; DEPPE, F; LOHMANN, M; GRASSI, J. Análise comparativa da temperatura de superfície MODIS e temperatura do ar em diferentes situações no estado do Paraná. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011. Curitiba-PR. **Anais** [...]. INPE, v.15, 2011, p.7745-7752.

USGS - United States Geological Survey. **Land Processes Distributed Active Archive Center**. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/>. Acesso em: 03 abr. 2020.

WAN, Z. **Collection-6 MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide**. ERI, Santa Bárbara: University of California, 2013.

WENG, Q.; FU, P.; GAO, F. Generating daily land surface temperature at Landsat resolution by fusing Landsat and MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 145, p. 55-67, 2014.

ZENG, L.; WARDLOW, B.; TADESSE, T.; SHAN, J.; HAYES, M.; LI, D.; XIANG. Estimation of Daily Air Temperature Based on MODIS Land Surface Temperature Products over the Corn Belt in the US. **Remote Sensing**, v.7, p. 951-970, 2015.