

AVALIAÇÃO DE PERFIS TÉRMICOS DE VERÃO NA ÁREA URBANA DE ERECHIM (RS)




EVALUATION OF SUMMER THERMAL PROFILES IN THE URBAN AREA OF ERECHIM (RS)

EVALUACIÓN DE PERFILES TÉRMICOS DE VERANO EN LA ZONA URBANA DE ERECHIM (RS)

RESUMO

Introdução: Os processos de urbanização, a partir da Revolução Industrial se intensificaram, e com isso ocorrem as modificações no meio natural propiciando diferenças térmicas intra-urbanas afetando a qualidade de vida da população. **Objetivo:** Investigar o fenômeno de ilhas de calor na área urbana de Erechim, no estado do Rio Grande do Sul, durante a estação de verão, com a aplicação detalhada da análise de perfis térmicos a partir das características da forma urbana. **Métodos:** Coleta, análise e tratamento de imagens de satélite, bem como a elaboração de mapas, cálculos e índices. Foram produzidos perfis térmicos que possibilitaram uma melhor verificação local e em microescala, no qual se identificaram diferenças térmicas no espaço urbano. **Resultados:** A vegetação tem um papel fundamental na regulação da temperatura da superfície e que as áreas impermeabilizadas ou com solo exposto sugerindo que há propensão à formação de ilhas de calor. **Conclusão:** A utilização do perfil térmico se diferencia do transecto e abre possibilidade de discussão teórico-metodológica de sua aplicação, uma vez que pesquisas desta natureza contribuem no subsídio ao planejamento urbano.

Palavras-chave: Clima urbano. Produção do espaço urbano. Ilhas de calor. Sensoriamento remoto. Vegetação.

 Eduarda Regina Agnolin ^a
 Pedro Germano Murara ^b
 Bruno Zucuni Prina ^c

^{a,b,c} Universidade Federal da Fronteira Sul,
Chapecó, Santa Catarina, Brasil

DOI: 10.12957/geouerj.2022.54647

Correspondência:
pedro.murara@uffs.edu.br

Recebido em: 22 set. 2020

Revisado em: 12 abr. 2022

Aceito em: 19 jul. 2022



ABSTRACT

The urbanization processes from the Industrial Revolution on have intensified and with these changes occur in the natural environment, providing intra-urban thermal differences, affecting the population's quality of life. This article aimed to investigate the phenomenon of heat islands in the urban area of Erechim, in the state of Rio Grande do Sul, during the summer season, with the detailed application of thermal profile analysis based on the characteristics of the urban form. The methodology involved the collection, analysis, and processing of satellite images, as well as the elaboration of maps, calculations, and indices. Thermal profiles were produced that allowed a better local and microscale verification, in which thermal differences were identified in the urban space. The results show that vegetation plays a fundamental role in regulating surface temperature and that impermeable areas or areas with exposed soil suggest that there is a propensity for the formation of heat islands. Finally, the use of thermal profile differs from the transect and opens the possibility of theoretical-methodological discussion of its application, since research of this nature contributes to subsidize urban planning.

Keywords: Urban climate. Urban space production. Heat islands. Remote sensing. Vegetation

RESUMEN

Los procesos de urbanización a partir de la Revolución Industrial se han intensificado y con estos cambios se producen en el medio natural, generando diferencias térmicas intraurbanas, afectando la calidad de vida de la población. Este artículo tenía como objetivo investigar el fenómeno de las islas de calor en el área urbana de Erechim, en el estado de Rio Grande do Sul, durante la temporada de verano, con la aplicación detallada del análisis de perfil térmico basado en las características de la forma urbana. La metodología involucró la recolección, análisis y procesamiento de imágenes de satélite, así como la elaboración de mapas, cálculos e índices. Se produjeron perfiles térmicos que permitieron una mejor verificación local y a microescala, en los que se identificaron diferencias térmicas en el espacio



urbano. Los resultados muestran que la vegetación juega un papel fundamental en la regulación de la temperatura superficial y que las áreas impermeables o con suelo expuesto sugieren que existe una propensión a la formación de islas de calor. Finalmente, el uso del perfil térmico se diferencia del transecto y abre la posibilidad de discusión teórico-metodológica de su aplicación, ya que investigaciones de esta naturaleza contribuyen a subsidiar la planificación urbana.

Palabras-clave: Clima urbano. Producción de espacio urbano. Islas de calor. Sensores remotos. Vegetación.



INTRODUÇÃO

Vive-se, pela primeira vez na história humana, uma era urbana (BURDETT; SUDJIC, 2007). Isso significa que não apenas mais de 50% da população mundial passou a viver em cidades neste começo de século e milênio, mas o modo de vida urbano se espalhou pelo planeta, ultrapassando os limites das cidades, oficialmente assim definidas, para atingir, virtualmente, a integralidade do espaço social (LEFEBVRE, 1999; MONTE-MÓR, 2007).

O passo mais importante à superação da predominância das relações rurais foi, sem dúvida, a industrialização e o consequente impulso no crescimento e no número de cidades pelo mundo, processo qualificado por Lefebvre (1999) como implosão/explosão. Esse processo está na base da artificialização dos ambientes em patamares antes não registrados na história humana, pois essa mundialização do urbano (SOJA; KANAI, 2007) se sustenta em amplo desenvolvimento tecnológico, no domínio da natureza para fins de extração máxima de seus elementos e na produção de um meio técnico-científico-informacional (SANTOS, 2006).

Não obstante, muitos desafios persistem em termos de infraestrutura, equipamentos, serviços e moradias nas cidades, especialmente dos países do Sul global. Davis (2006), por exemplo, chama a atenção para o fato de que, em âmbito mundial, os assentamentos precários (*slums*, favelas, *villas*, *taudis*) são, hoje, muito mais a regra do que a exceção em termos de produção de cidades. Muitos deles ocupam encostas ou áreas alagadiças e pantanosas, desmatando a vegetação existente e pondo em risco a população que acaba vivendo em residências improvisadas.

Populações abastadas, contudo, também costumam ocupar grandes áreas ambientalmente frágeis. Contudo, isso é sempre invisibilizado pelo alto poder econômico que é capaz de produzir ambientes seguros, por um lado, graças às ações da engenharia, e bonitos, por outro, em função da ação de paisagistas renomados. Seja como for, as cidades são a forma de ocupação mais artificializada existente e, ainda que sejam um sucesso histórico para a sobrevivência e o progresso da espécie humana (SOJA, 2008), colocam muitos



desafios ao tempo presente.

Uma das consequências do processo de urbanização é a alteração no balanço de radiação da superfície terrestre, a qual é causada pela substituição da cobertura natural por materiais construtivos enquanto elementos resultantes da produção do espaço urbano (SETO e SHEPHERD, 2009; AMORIM, 2000; AMORIM, *et al.*, 2009; AMORIM e MONTEIRO, 2011; VOELKEL e SHANDAS, 2017), a exemplo, a impermeabilização do solo e o aumento da temperatura resultante das diversas atividades humanas (VOOGT e OKE, 2003; AMORIM, 2017; ANDRADE, *et al.*, 2007; COLTRI, *et al.*, 2008; UGEDA, 2013; MAKIDO, *et al.*, 2019).

O balanço energético das áreas urbanas é, portanto, modificado pela complexa geometria das superfícies construídas, pelas propriedades térmicas dos materiais que constituem as edificações e, ainda, pela orientação/posicionamento das construções. Desse modo, os estudos de clima urbano passaram a identificar diferenças simultâneas de temperaturas nas áreas urbanas (valores mais elevados de temperatura) quando comparados com o entorno não urbano (valores menores de temperatura).

É diante desse contexto que o presente artigo objetivou investigar o fenômeno de ilhas de calor na área urbana de Erechim (RS), durante a estação de verão do ano de 2018, com a aplicação detalhada da análise de perfis térmicos e análise das características das formas urbana, realizados a partir de imagens de satélite (LandSat-8), processadas por meio das ferramentas de geoprocessamento do *software* ArcMap (do ArcGIS).

2. ARCABOUÇO TEÓRICO E CONCEITUAL

Clima urbano

Os primeiros estudos de clima urbano indicaram a cidade de Londres, ainda no final do século XIX, como pioneira nas investigações das características climáticas no espaço urbano. Os escritos de John Evelyn (1661) apontavam observações sobre o clima londrino. Anos depois, Luke Howard (1833), considerado o pai da meteorologia moderna, além de ter tecido



importantes contribuições para a classificação das nuvens, publicou o clássico *The climate of London* (1818-20), em que descreveu observações diárias dos elementos climáticos.

No século XX, os trabalhos de H. E. Landsberg (1956) contribuíram, especialmente, para o campo de partículas atmosféricas (física da atmosfera) e sua influência na poluição do ar e na saúde humana. O meteorologista Tony Chandler avançou na ótica dos estudos do clima no espaço urbano, foi ele pioneiro em pesquisas altamente inovadoras sobre o clima e a “ilha de calor” de Londres, dando origem ao seu livro principal, *The Climate of London* (1965).

No caso do Brasil, embora seja possível encontrar algumas descrições sobre as condições climáticas do país na Carta de Pero Vaz de Caminha, concorda-se com Sant’Anna Neto (2004) quando afirma ser apropriado supor que a criação do Observatório Astronômico Imperial do Rio de Janeiro (1827) tenha sido o marco do início dos procedimentos científicos que, algumas décadas mais tarde, propiciariam o nascimento da climatologia no Brasil (SANT’ANNA NETO, 2004).

Ao longo dos séculos XIX e XX, as investigações sobre o clima do Brasil avançaram a partir de diferentes classificações climáticas e do conhecimento das dinâmicas atmosféricas. Na segunda metade do século XX, por meio das investigações do clima nas cidades e do acúmulo de pesquisas efetuadas, destacou-se o brilhantismo dos trabalhos desenvolvidos por Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro. A sua obra referência, *Teoria e Clima Urbano*, publicada em 1976, sobre o Sistema Clima Urbano, à qual diversos estudiosos recorreram para as investigações dos estudos do clima das cidades brasileiras.

Ilhas de Calor

Apenas para citar alguns exemplos, o estudo de Brandão (1987) apresentou tendências e oscilações climáticas na região metropolitana do Rio de Janeiro. Lombardo (1985), por sua vez, identificou ilhas de calor na metrópole de São Paulo, e Collishon (1998) destacou investigações do campo térmico na região Metropolitana de Porto Alegre. Para além das investigações



do clima urbano em grandes aglomerados urbanos, pesquisadores também tornaram as cidades médias foco e objeto de investigação, a exemplo de Sartori (1979) e o estudo do clima urbano de Santa Maria, de Mendonça (1995) com sua investigação em Londrina e de Amorim (2000) com seu estudo do clima urbano de Presidente Prudente. A partir da década de 1980, com base na teoria do clima urbano, estudos em cidades de grande, médio e pequeno porte passam a utilizar novas abordagens metodológicas por meio do emprego de diferentes técnicas de investigação (MONTEIRO e MENDONÇA, 2003).

Os estudos do clima urbano apresentam algumas abordagens de análise, seja por meio das investigações do impacto das precipitações pluviais no ambiente urbano ou da falta de água nas cidades, seja pelo monitoramento da poluição atmosférica ou do excesso de calor em pontos específicos do sítio urbano. Nesse sentido, as ilhas de calor urbano têm protagonizado as pesquisas pelo fato de grande parte do território nacional estar localizado na zona tropical, na qual as variações de temperatura (para mais) se configuram enquanto problemáticas que repercutem no bem-estar dos cidadãos.

As ilhas de calor urbano são um fenômeno que foi estudado e documentado desde o início do século 19 (VOELKEL e SHANDAS, 2017). Conceitualmente, são caracterizadas como excessos de temperaturas identificadas sobre áreas construídas, de modo que seu entorno apresente temperaturas inferiores. Tratam-se, portanto, da combinação de meteorologia e de características urbanas propícias para o seu surgimento, e são identificadas pela diferença de temperatura, no mesmo instante, entre o ambiente construído e o não construído (OKE, 1978; ARNFIELD, 2003; AMORIM, 2017).

As ilhas de calor estão relacionadas com a produção do espaço (SETO e SHEPHERD, 2009; VOELKEL e SHANDAS, 2017). Nas cidades, sua formação está relacionada à utilização dos materiais de construção que absorvem e retém calor (concreto e cimento, por exemplo), bem como à concentração e à disposição das edificações, que alteram a dinâmica de circulação local e resultam no aumento de temperatura (VOOGT e OKE, 2003; MAKIDO, *et al.*, 2019).



Ilhas de calor de superfície

Entende-se que há três tipos de ilhas de calor (OKE, 1978; 2017; AMORIM, 2019), a superficial pautada nas ferramentas de sensores remotos e do geoprocessamento e voltada para as temperaturas dos alvos, o segundo tipo de ilha de calor é medido a partir de transectos móveis, estações e abrigos meteorológicos, tem intuito de tratar da temperatura do nível médio do solo em relação aos telhados e pôr fim a ilha de calor da atmosfera superior que é medida acima do topo dos telhados.

Considera-se a escala local, ou seja, a camada da superfície (Surface Layer) focado no espaço intraurbano ou clima do aglomerado urbano. É preciso lembrar que esta insere-se dentro da Camada Limite Urbana (CLU), ou seja, na mesoescala que está inclusa na Camada Limite Atmosférico (CLA), conforme os conceitos de Oke (1978).

As ilhas de calor apresentaram, inicialmente, uma tendência de estudos a partir da atmosfera urbana inferior (Quadro 1). Nesse caso, as medições eram efetuadas, principalmente, por meio de estações meteorológicas automáticas, que eram instaladas em locais que configurariam diferentes usos do solo, viabilizando a realização destas investigações (LOMBARDO, 1985; BRANDÃO, 1987; MENDONÇA, 2002). Em um segundo momento, o uso da técnica de transectos móvel foi sendo gradativamente incorporada na identificação de ilhas de calor da atmosfera urbana inferior (MENDONÇA, 1995; DANNI-OLIVEIRA, 2000; AMORIM, 2000).

O Quadro 1 foi desenvolvido com base nos estudos de Oke (1978) e Amorim (2019) sobre os dois diferentes tipos de ilhas de calor urbano, que a princípio tratavam das ilhas de calor do ar (inferior) e do topo de prédios(superior) Oke *et al.* (2017), propõe e discorre no livro *Urban Climates*, as técnicas para análise da ilha de calor de superfície (superficial), que com o passar do tempo, os avanços tecnológicos, possibilitaram maior nível de precisão e mensuração das técnicas e aparelhos para esse tipo de análise.



Quadro 1 – Classificação dos três tipos de ilhas de calor urbanas.

Identificação	<i>Atmosfera urbana</i>		
	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Superficial</i>
Localização	Entre o nível do solo e o nível médio dos telhados	Acima das construções, onde acaba a cidade em altitude para cima	Superfícies terrestre ou materiais (telhados, dossel de árvores etc.)
Medição	Técnica de transectos móveis; estações meteorológicas	Possibilidade do uso de drones com sensores	Sensoriamento remoto
Pontos positivos	Exatidão na coleta	Maior cobertura na coleta	Maior cobertura na coleta
Pontos negativos	Restrição da espacialidade; generalizações; desconsidera algumas feições da superfície.	Estabelecimento de um limite desta camada superior	Não coleta informações do ar, e sim da superfície

Fonte: Os autores (2020).

As investigações por meio da atmosfera urbana superior (Quadro 1) apresentam significativo desenvolvimento de investigação devido ao fato de que a coleta de dados e informações nesse limiar é caracterizada por considerar a área acima das construções, desconsiderando, portanto, suas superfícies com limite para onde acaba a cidade em altitude para cima (OKE, 2017). O uso da (geo)tecnologia tem contribuído para a identificação deste tipo de formação de ilhas de calor (AMORIM, 2019).

Com relação às ilhas de calor superficiais, a aplicabilidade da técnica está pautada na utilização de imagens de satélite que, nos últimos anos, vêm apresentando melhoras na sua resolução – quando se compara com as primeiras investigações realizadas por Lombardo (1985), Mendonça (1995), Collischonn (1998) e os avanços observados por Voogt e Oke (2003) e Fialho, Fernandes e Correa (2019).

Essa técnica tem possibilitado, com baixo custo, uma maior cobertura da



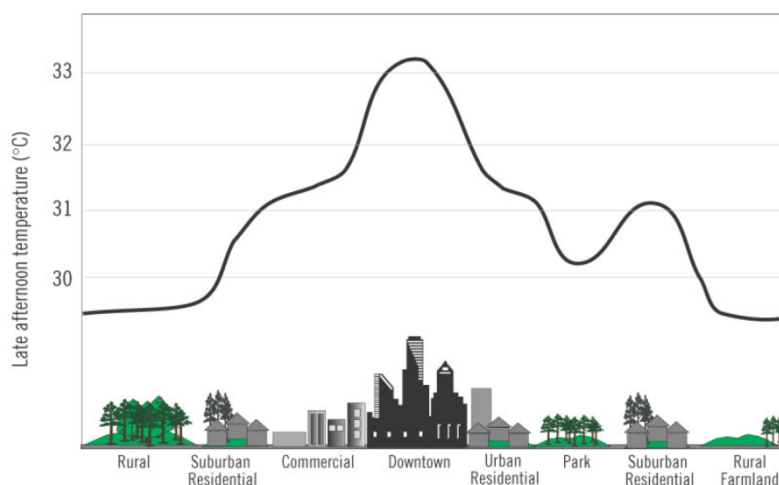
coleta de informações, e vem, ao longo dos últimos anos, se constituindo pelo uso de novas tecnologias, com foco nas ferramentas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto para os estudos que envolvem a análise do espaço geográfico e da temperatura da superfície.

Amorim (2019) destaca que as análises e metodologias utilizadas para a identificação de ilhas de calor tem evoluído possibilitando avanços do conhecimento na climatologia urbana, por meio das manifestações e representações de estudos na abordagem das gêneses e formação das ilhas de calor.

Perfis Térmicos

Associados à identificação de ilhas de calor de superfície, os perfis térmicos servem para melhor caracterizar a temperatura em determinadas áreas da cidade, além de levar em consideração as densidades de construções, a ocupação do solo e a permeabilidade, conforme esquema de um perfil térmico clássico (Figura 1).

Figura 1 – Perfil clássico de formação de ilha de calor



Fonte: POLIZEL (2009) apud Oke (1974).

O perfil térmico se caracteriza pela delimitação longitudinal, estabelecida a partir de diferentes tipos de uso da terra. Essa técnica possibilita caracterizar, com mais precisão, as variações de temperatura de superfície a partir de um



fragmento pré-selecionado, no qual de uma extremidade a outra possa ser observado alterações no diferenças no padrão do perfil que se pretende traçar. Neste sentido, o objetivo desta técnica é de destacar, a partir de recortes espaciais específicos, que os diferentes tipos e usos do solo resultam em variações na temperatura de superfície.

ÁREA DE ESTUDO

O município de Erechim está situado no setor noroeste do estado do Rio Grande do Sul, localizado na região Sul do país (Figura 2). Com uma população aproximada de pouco mais de 105 mil habitantes, distribuída em seus 429 km², caracteriza-se por uma densidade populacional de 223 hab/km² (IBGE, 2020).

A cidade tem um *design* modernista, pois, inicialmente, sua malha urbana foi desenhada e inspirada nos traçados de Paris, o que propiciou a plantação de árvores e uma boa circulação de automóveis (PME, 2017). No entanto, nas últimas cinco décadas, a partir de 1970, o crescimento urbano não acompanhou o plano pioneiro de implantação da cidade, embora ele tenha se mantido na porção central da área urbana. Atualmente, segundo dados do IBGE (2020), a cidade consta com mais de 78% de arborização de vias públicas e com aproximadamente 40% de urbanização das vias.

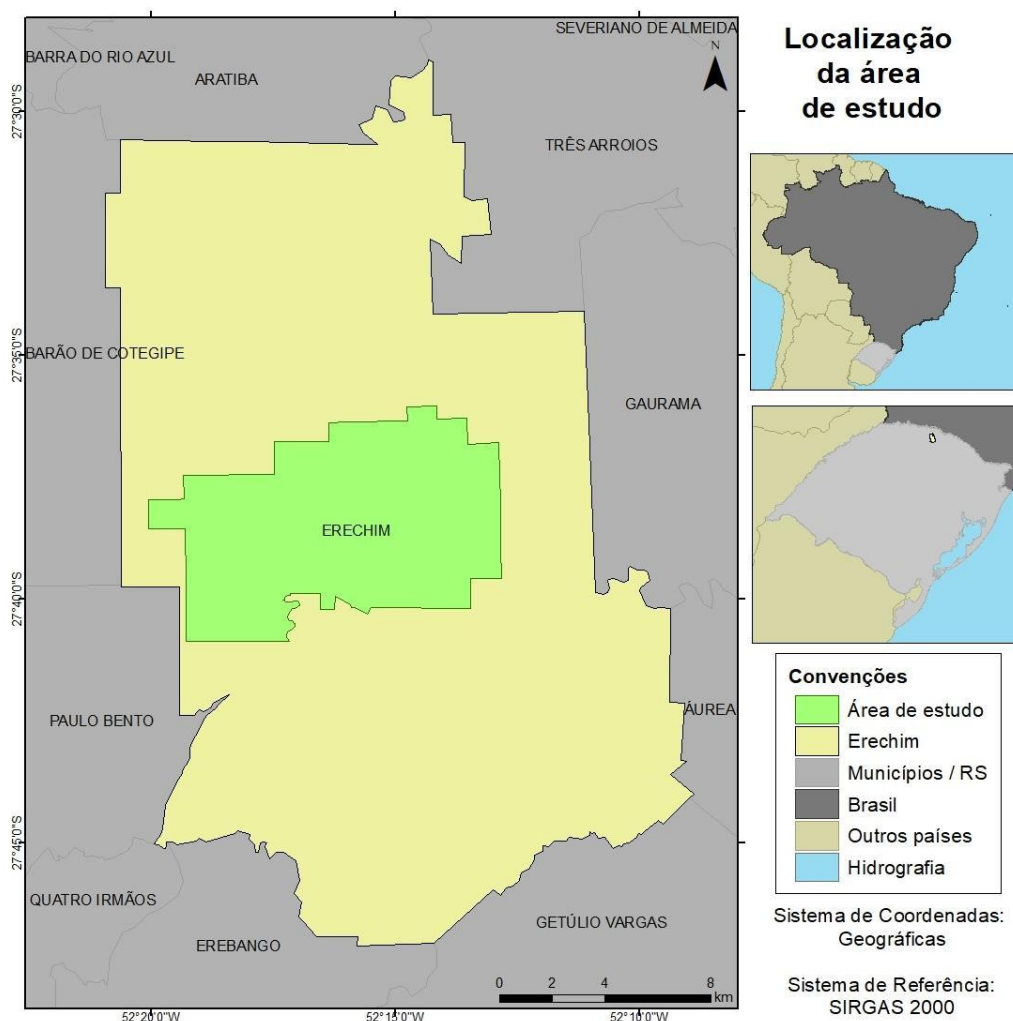
Ruas e avenidas, assim como ocupações, a criação de bairros e a abertura de loteamentos ao longo das últimas duas décadas (PME, 2016), resultaram em uma cidade que se expandiu principalmente para os setores leste e oeste do município para as áreas caracterizadas de expansão urbana e ocupação extensiva (PME, 2016). O relevo dificulta o avanço para o norte da cidade, área na qual se localiza o Vale Dourado, que impõe obstáculos ao acesso de vias, à circulação e à ocupação das vertentes devido as vertentes íngremes com valor de próximos e superiores à 45° de inclinação (PME, 2016).

Com relação à dinâmica climática da área de estudo, conforme a classificação climática de Rossato (2011), Erechim se situa em uma área de clima subtropical IV, muito úmido, com inverno fresco e verão quente.



Localizado em uma porção do estado com menor influência dos sistemas polares, em Erechim foi observada maior atuação dos sistemas tropicais marítimos e continentais na primavera e no verão, em associação com o efeito do relevo (Planalto Basáltico do Vale do Uruguai) e da continentalidade. A classificação climática foi identificada segundo Köppen, em uma tipologia climática do tipo Cfa, caracterizado por umidade e chuvas durante todos os meses, bem como verões quentes (ALVARES *et al.*, 2013; TOCHETTO e MURARA 2021).

Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Os autores



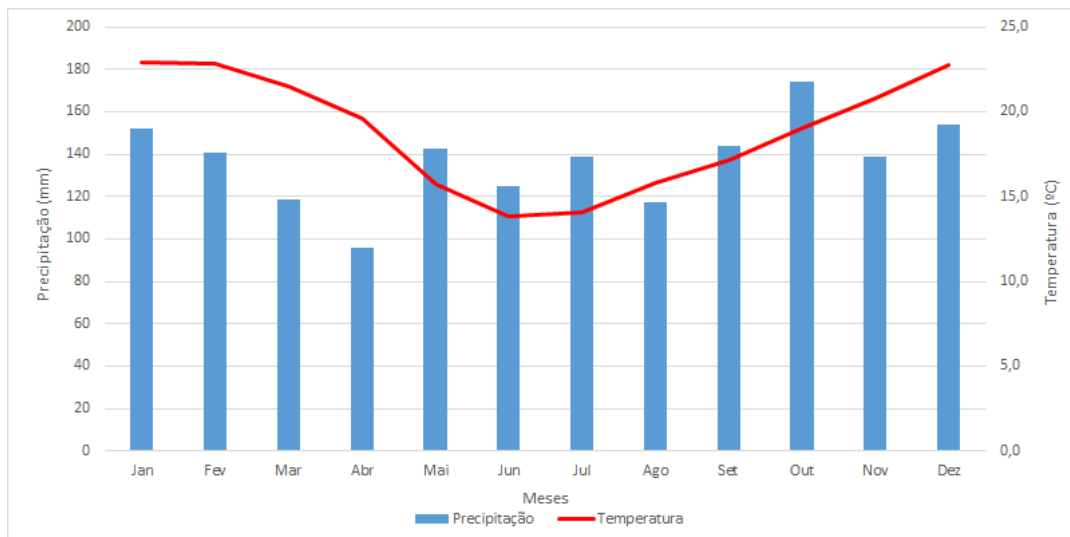
O outono foi a época do ano que se caracterizou pela pequena redução nos registros de precipitação, com destaque para o mês de abril (figura 3). As primeiras ondas de frio atuavam com quedas de temperaturas e possibilidade de ocorrência de geadas. O inverno teve a atuação das massas polares e a interferência das massas de ar tropical continental. Dessa forma, os sistemas frontais ficam responsáveis pelo aporte de umidade e ocorrência de precipitações (ROSSATO, 2011).

Conforme Rossato (2011), a primavera, enquanto estação de transição, se inicia com os registros mais elevados de temperatura (figura 3). A atuação da massa polar foi reduzida, e o aquecimento do continente sul-americano reflete maior atuação dos sistemas tropicais, influenciando nos tipos de tempo em Erechim.

Os verões tiveram tendência a ser quentes e com elevada umidade proveniente, principalmente, da região amazônica. Embora os sistemas frontais contribuam para o aporte de umidade e ocorrência de precipitações na região, são os Jatos de Baixos Níveis (JBN), oriundos da bacia Amazônica, que, ao tangenciarem a Cordilheira dos Andes, transportam umidade para o sul do Brasil (MARENGO; AMBRIZZI; SOARES, 2009).



Figura 3 – Distribuição das precipitações pluviiais (média) e da temperatura (média), período de 2007 a 2020, Erechim - RS.



Fonte: INMET, 2021.

Cabe destacar ainda que a estação meteorológica oficial do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, localizada em Erechim, iniciou suas atividades no fim de 2006 (código da estação A828) e por esse motivo a cidade não possui uma análise climática de longo prazo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Posteriormente, passou-se à etapa de obtenção de imagens de satélite e seu pré-processamento. Esses procedimentos foram realizados no Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Erechim.

Para a etapa de aquisição das imagens de satélite (LandSat-8), utilizou-se o sítio do Serviço Geológico Americano, o *United States Geological Survey* (USGS), obtendo uma imagem do dia 24/02/2018 (referente ao verão), correspondente a órbita-ponto 222-079 (USGS, 2018). Vale ressaltar que a formação da imagem LandSat, na área de estudo, ocorre às 10:00h da manhã (fuso horário de Brasília), sendo assim, a temperatura da superfície está referenciada a esse momento. Ainda com relação às imagens do satélite,



utilizou-se a banda 10 (infravermelho termal), referente ao sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), para aplicar as rotinas pertinentes à obtenção da temperatura da superfície, em graus Celsius.

De posse da imagem, foi utilizado o *software* ArcMap (do ArcGIS) para as demais etapas metodológicas, as quais envolveram a conversão do sistema de referência dos dados para SIRGAS 2000 (coordenadas UTM - Fuso 22 S) e a transformação dos dados da banda 10, convertendo os níveis digitais da imagem para dados de reflectância, conforme exposto na Equação 1:

$$E\lambda = K\rho * Zc\alpha + H\rho \quad (1)$$

Na Equação 1, os dados de reflectância espectral são do sensor de abertura, $K\rho$ foi o fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 (0,00033420) e $Zc\alpha$ se refere aos valores de nível digital da banda, ou seja, foi a entrada da própria banda no cálculo. Por fim, $H\rho$ opera como o fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 (0,100000).

Com os dados de reflectância obtidos, a próxima etapa tratou da realização da conversão desses dados para a temperatura da superfície em Kelvin, conforme apresentado na Equação 2:

$$T = \frac{E_2}{\ln \left(\frac{E_1}{B} + 1 \right)} \quad (2)$$

Na Equação 2, verificou-se T como sendo a temperatura da superfície em Kelvin (K), E_2 como a constante de calibração do sensor (1321,08), E_1 como outra constante de calibração (774,89) e B como a radiância espectral dos dados.

Na Equação 3, por sua vez, está disposta a forma como se procedeu a conversão da temperatura da superfície de Kelvin para graus Celsius.



$$T (^{\circ}\text{C}) = T (\text{K}) - 273,15 \quad (3)$$

Nessa equação, $T(^{\circ}\text{C})$ se refere à temperatura da superfície em graus Celsius, $T(\text{K})$ à temperatura da superfície em graus Kelvin e 273,15 é a constante utilizada para a realização da conversão dos dados.

Após a realização do mapa de temperatura da superfície, realizou-se a construção dos perfis de temperatura de superfícies por meio do ArcMap. Assim, foram definidos 7 perfis (A-B, C-D, E-F, G-H, I-J, K-L, M-N), os quais foram selecionados a partir de informações que interligassem diferentes tipos de ocupação dos usos da terra, bem como da homogeneidade nos valores representados, para que fosse possível identificar as características do sítio urbano. Em seguida, as informações foram plotadas em gráficos de planilha eletrônica que representou o perfil longitudinal pretendido.

Para extrapolar as análises em relação aos dados da temperatura da superfície, criou-se, a partir das bandas 4 e 5 do LandSat-8, a base cartográfica de um Índice de Vegetação, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). A partir desses dados foi feito o cálculo de correlação entre os dados de NDVI e a temperatura da superfície nas áreas utilizadas para geração dos perfis.

Assim, criou-se um *buffer* da linha dos perfis com o intuito de analisar uma área aproximada em relação ao perfil. Para tanto, fez-se uso de uma distância de 127,28 metros, que corresponde ao valor da diagonal de três *pixels*. Com essa análise, foi possível avaliar, estatisticamente, a influência dessas duas variáveis. Vale ressaltar que, para realizar a correlação dos dados, fez-se uso do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson.

Outra base cartográfica organizada nesse trabalho se refere à altimetria. Essa foi construída a partir de uma imagem do ALOS PALSAR, com resolução espacial de 12,5 metros, obtida junto ao sítio da *ASF Data Search Vertex*¹. Após a realização do pré-processamento da imagem – conversão do sistema de referência e recorte da imagem em relação a área de estudo –, essa foi relacionada aos dados de temperatura da superfície.

¹ Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu>. Acesso em: 21 set. 2020.

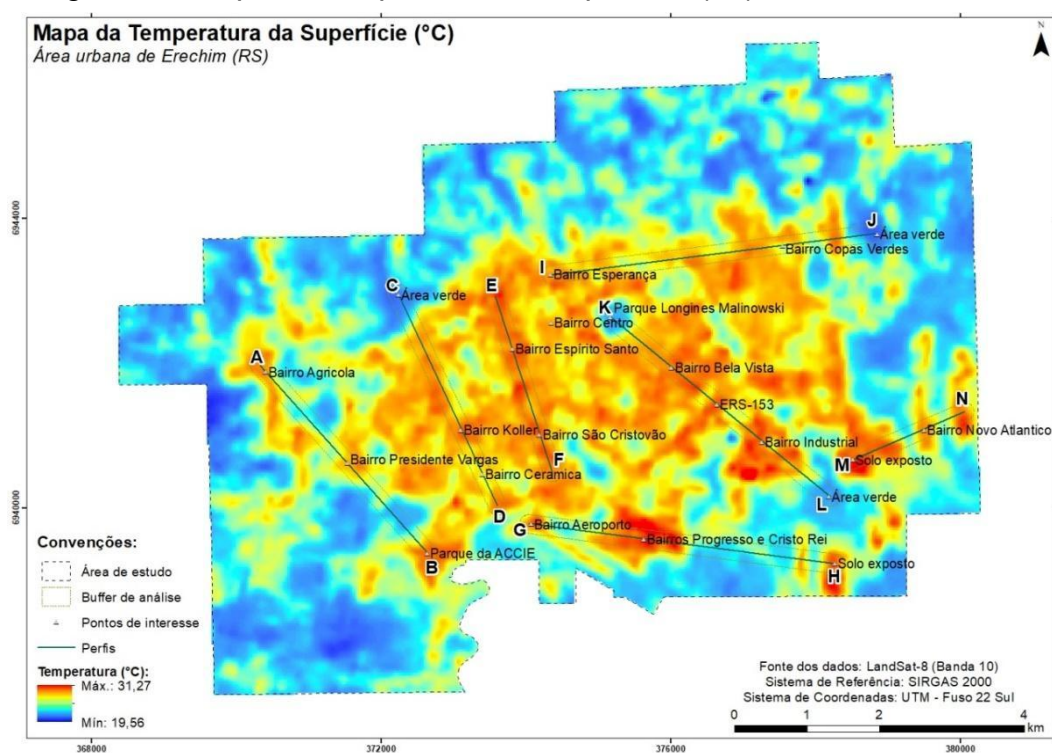


A relação entre essas variáveis foi realizada de forma visual, uma vez que não havia a hipótese de correlacionar os dados porque as bases cartográficas (*ALOS PALSAR* x *LandSat*) apresentavam resoluções espaciais distintas (12,5 m x 30 m).

RESULTADOS

A Figura 4 apresenta o mapa de temperatura da superfície da área urbana de Erechim, com seus respectivos perfis traçados. Cujas a figura contempla a adição de uma imagem de satélite com o objetivo de ressaltar a área de estudo (Figura 5).

Figura 4 – Mapa de temperatura da superfície (°C), do dia 24/02/2018.



Fonte: Os autores (2020).

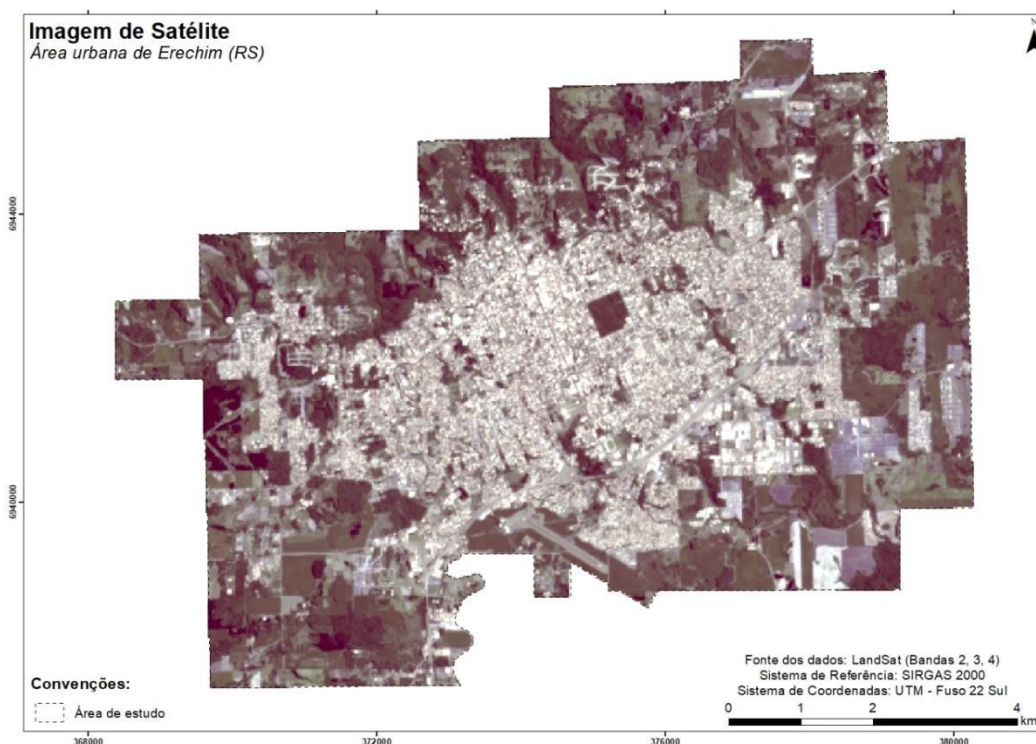
Com base nestas Figuras (4 e 5), foi possível identificar que, no perímetro urbano, a porção representada pelo maior adensamento de construções e vias de circulação (Figura 5) configura elevados valores de temperatura de superfície (Figura 4). Essa constatação foi reforçada em Erechim, pois a zona que delimita o perímetro urbano do município se encontra



em processo de expansão, demarcando a relação estabelecida entre a implantação de estruturas urbanas e seu respectivo aumento de temperatura de superfície.

Com relação aos perfis traçados, em todos é nítida a influência das áreas urbanizadas no aumento da temperatura da superfície (Figuras 4 e 5). A maior variação encontrada foi de 8° nos perfis C-D e G-H, enquanto a maioria apresentou variações de 6°C a 7°C. O perfil E-F apresentou a menor variação de temperatura dentro das amostras, registrando 2°C.

Figura 5 – Imagem de satélite da área de estudo – Bandas 2, 3, 4 do LandSat-8, do dia 24/02/2018.



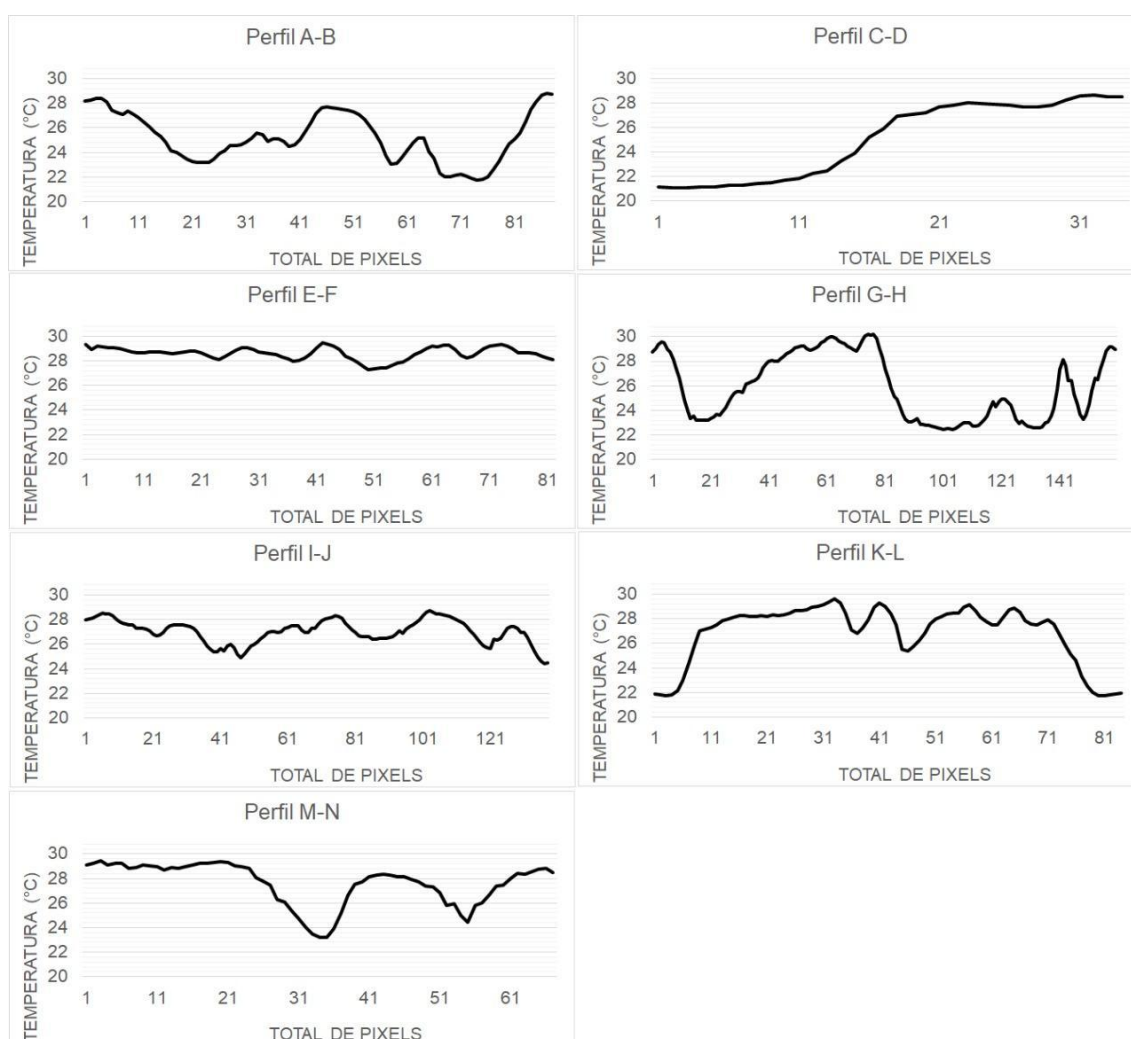
Fonte: Os autores (2020).

Nos perfis C-D, I-J e K-L foi possível identificar a minimização da temperatura de superfície quando da presença de áreas verdes (Figuras 4 e 5). Estudos realizados por Coltri *et al.* (2008) e Amorim e Monteiro (2011) constataam que a presença de vegetação atua como um elemento na diminuição ou na variação da temperatura do entorno.



O solo exposto (sem cobertura vegetal) se constituiu como um elemento presente nos perfis G-H e M-N, nos quais há aumento da temperatura (Figura 6). Amorim *et al.* (2009) e Ugeda Junior (2013) destacam que localidades com solo exposto contribuem para o acúmulo de calor de energia e, dessa forma, emitem maior radiação, contribuindo para o aumento de temperatura.

Figura 6 – Perfis térmicos aplicados na área urbana, expressos em temperatura °C e em pixels.



Fonte: Os autores (2020).

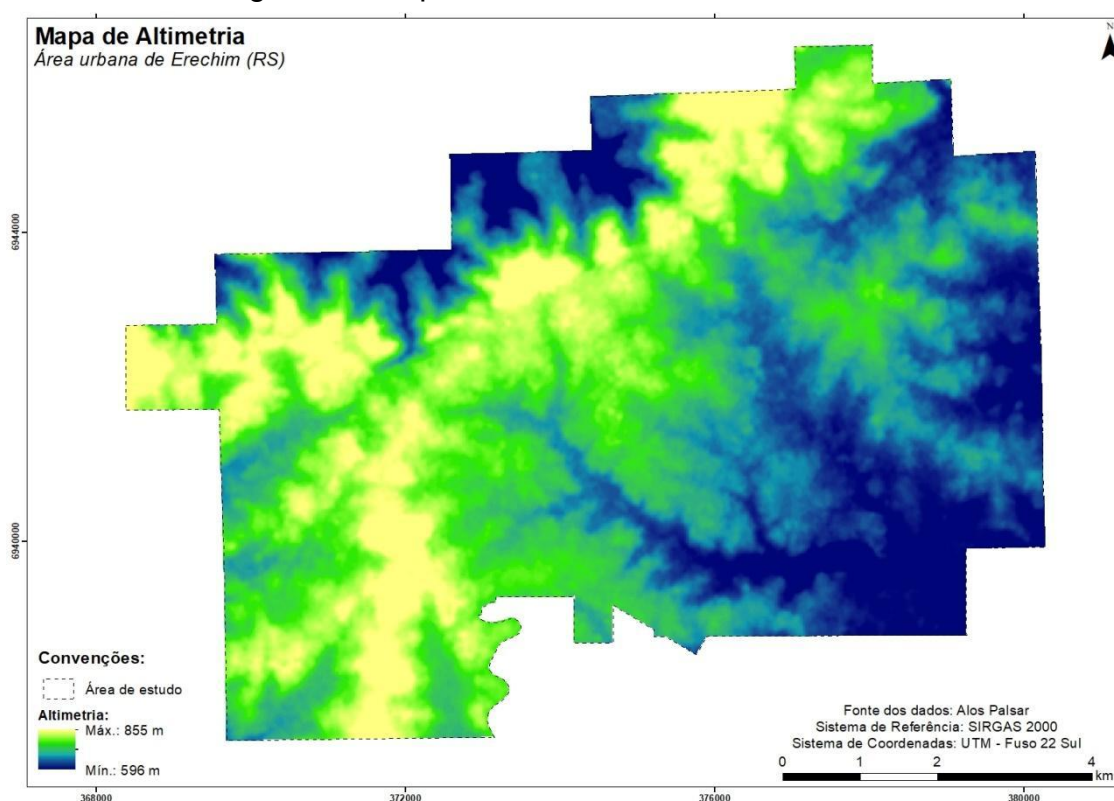
O perfil E-F, embora apresente variações de temperatura, caracterizou-se como o perfil com menor amplitude, com cerca de 2°C (Figura



6). Trata-se de uma avenida, cuja extensão em análise é predominantemente de solo impermeabilizado, com asfaltamento e intensa circulação de veículos, ligando os setores norte e sul da área urbana.

Cabe destacar que há uma variação da altimetria entre os dois pontos (Figura 7), na ordem de 250m, aproximadamente. Rossato (2011) e Wollmann e Galvani (2012) destacaram que, embora os sistemas polares se caracterizem como os grandes dinamizadores do clima no Rio Grande do Sul, fatores geográficos locais também interferem na dinâmica climática, sendo o relevo o principal.

Figura 7 – Mapa de Altimetria da área de estudo.



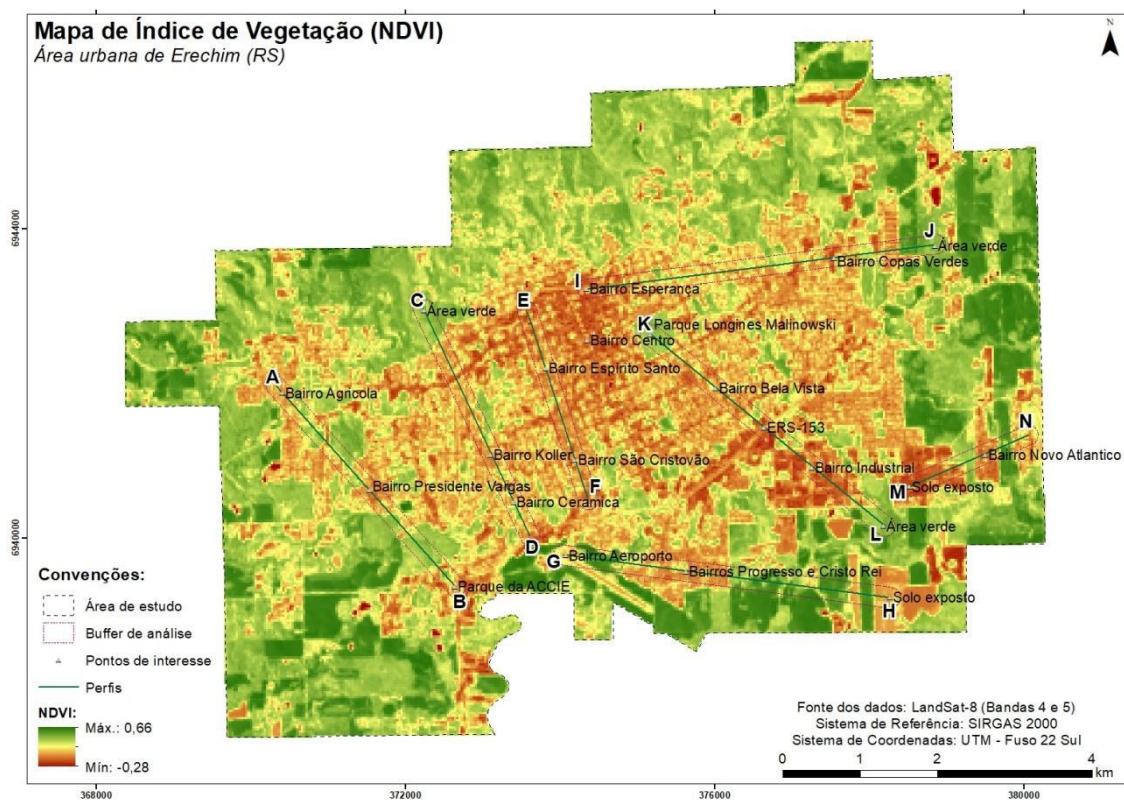
Fonte: Os autores (2020).

A Figura 8 apresentou o mapa de NDVI, um índice que apresentou uma variação entre -1 e +1, sendo que os valores entre -11 e (próximo a) zero representam as áreas sem cobertura de vegetação. Os valores acima de zero, por sua vez, sintetizam áreas com alta possibilidade de existência de distintos



tipos de vegetação (ZHANG *et al.*, 2018).

Figura 8 – Mapa de Índice de Vegetação (NDVI), do dia 24/02/2018.



Fonte: Os autores (2020).

Com os dados de NDVI e Temperatura, dentro dos *buffers* (obtidos em relação a área dos perfis), realizou-se o processo estatístico. A Tabela 1 sintetiza essas informações.



Tabela 1 – Síntese das informações correlacionadas entre Temperatura da Superfície e NDVI

Perfis	Pearson (R)	Temp. (°C) - Média	NDVI - Média
A-B	-0,758	25,39	0,305
C-D	-0,792	26,61	0,259
E-F	-0,255	28,54	0,170
G-H	-0,876	25,91	0,365
I-J	-0,742	26,54	0,258
K-L	-0,796	26,69	0,233
M-N	-0,832	27,47	0,216

Fonte: Os autores (2020).

Com a análise dos dados da Tabela 1, pode-se constatar uma alta correlação negativa entre os dados, com Coeficiente de Correlação Linear de Pearson entre -0,742 e -0,876. Apenas um dos perfis apresentou uma correlação fraca (perfil E-F).

A correlação dos dados foi negativa uma vez que as áreas com vegetação (no NDVI) apresentaram os maiores valores do índice, mas no cálculo da temperatura da superfície apresentaram os menores valores, o que caracteriza a formação das ilhas de calor. Assim, foi estatisticamente comprovada a influência de áreas com vegetação na minimização da temperatura da superfície.

Em relação ao perfil E-F, esse não apresentou correlação porque, pode-se sintetizar, não apresenta uma área sem formação de ilhas de frescor, além de ser um perfil que representa a área central de Erechim, com mínima incidência de áreas com vegetação – esse fato fica comprovado porque o perfil tem o índice de vegetação com a menor média de valores, isto é, um valor de 0,170 (Tabela 1). Além disso, em consonância com os dados da Tabela 1, foi notória que a temperatura média desse perfil foi superior às demais, com o valor de 28,54 °C.

A Figura 9 apresentou a área urbana de Erechim segmentada em duas partes: área urbana mais elevada, com máximas de 800m, e áreas mais

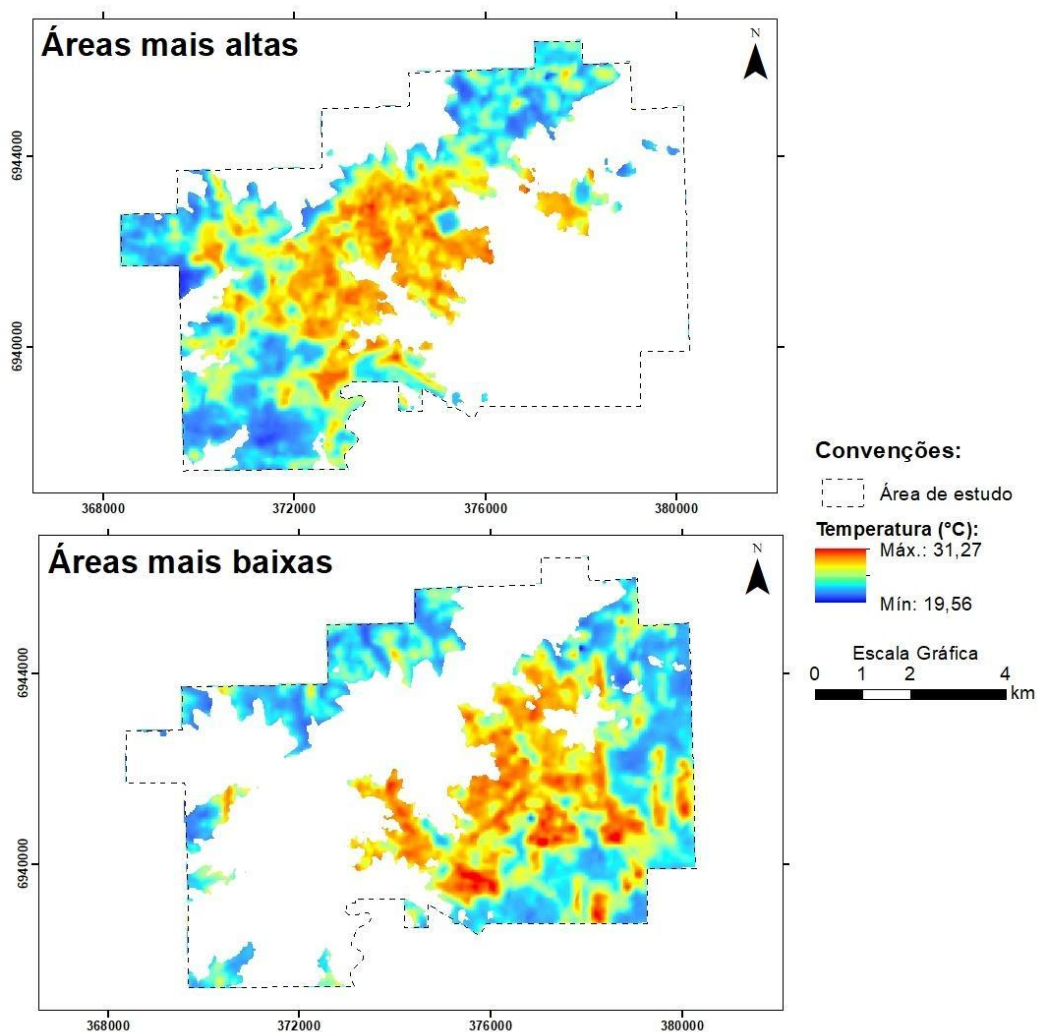


baixas, com cerca de 590m, ambas constituídas pelos valores de temperatura de superfície. Essa separação em duas áreas distantes objetivou análise fragmentada em uma primeira análise, porém, com possibilidade efetiva de identificar a relação da altitude com as temperaturas de superfície.

Os resultados revelam que diante de uma amplitude altimétrica de aproximadamente 210m, não foi possível identificar a influência da altimetria na temperatura da superfície na área urbana de Erechim. Muito embora pesquisas apontem para uma proporção de 1°C/100m (DURY, 1972), um estudo aplicado para o estado do Rio Grande do Sul, identificou um gradiente de aproximadamente 0,75° C (FRITZSONS *et al.*, 2015).

É preciso considerar que no caso específico de Erechim, essa análise foi efetuada para dias e períodos específicos (episódio de verão) e, desta forma, ficou evidente que tanto as áreas baixas quanto as áreas altas apresentaram variações nos registros de temperatura de superfície de maneira igualitária. Desta forma, nossos resultados apontam para o fato de não ser possível concluir que há uma diferenciação por influência da altimetria. Os valores de temperatura identificados neste caso (amplitude de 11,7°C), estão relacionados com o fator uso do solo (Figura 9).

Figura 9 – Mapa de Altimetria com divisão entre as áreas mais altas e mais baixas e temperaturas em superfície referentes ao dia 24/02/2018.



Fonte: Os autores (2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo revelou que os principais fatores de influência das temperaturas de superfície, na estação de verão, foram os diferentes usos da terra que associados a produção do espaço urbano, concomitante a urbanização, resulta em diferentes amplitudes nos registros de temperatura de superfície. Por outro lado, as áreas identificadas com cobertura vegetal, se destacaram pelos menores registros de temperatura.



O solo impermeabilizado das ruas, as casas, os prédios (e suas verticalizações), áreas com solo exposto, caracteriza como fatores que também contribuíram para o aumento nos registros de temperatura de superfície e desempenham um papel importante na explicação das dinâmicas climáticas locais.

Destacamos a Unidade de Conservação, localizada na área urbana de Erechim, o Parque Natural Municipal Longines Malinowski, como área vegetal consolidada na malha urbana que confirma a importância das áreas verdes para a amenização das temperaturas e, como consequência, maior conforto nos cidadãos, principalmente na estação de verão.

Embora se tenha constatado que a temperatura da superfície tem uma forte relação com os usos da terra (em específico com a vegetação), esse resultado abre possibilidade de estudos futuros que visem comparar a relação das temperaturas de superfície, com a altimetria, juntamente com a aplicação de perfis térmicos, com foco nas diferenças de altimétricas na área urbana e nas diferentes estações do ano. Principalmente no período de inverno que é caracterizado pelas baixas temperaturas na zona subtropical.

A utilização do perfil térmico utilizado no estudo se diferencia do transecto e abre possibilidade de discussão teórico-metodológica de sua aplicação. Muito embora tenha se restringido a um episódio de verão e com registro diurno, visualizou-se a partir desta aplicabilidade a possibilidade de foco em microclima a partir de fatores específicos na identificação de variações nos registros de temperatura de superfície.

Por fim, ressalta-se a importância de estudos em cidades de pequeno e médio porte, que utilizem de ferramentas de geoprocessamento e que considerem as interações, relações entre seres humano-natureza, clima-cidade, e as modificações do espaço para comportar o crescimento populacional do aglomerado urbano, uma vez que esses estudos têm a possibilidade de subsidiar os planejamentos urbanos antes do crescimento.



REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONCALVES, J.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, vol. 22, p. 711–728, 2013.

AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP.**



Tese (Doutorado em Geografia Física). Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; QUENOL, H.; SANT'ANNA NETO, J. L. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França) **Confins**, 7, 1-16, 2009.

AMORIM, M. C. C. T.; MONTEIRO, A. As temperaturas intraurbanas: exemplos do Brasil e de Portugal. **Confins**, 13, 1-18, 2011.

AMORIM, M. C. C. T. Detecção remota de ilhas de calor superficiais: exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical, Brasil. **Finieterra**, LII, 105, 2017.

AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.

ANDRADE, L. L.; SOUZA, L. H.; SAKURAGI, J.; CASTRO, R. M. Estudo de ilhas de calor na cidade de São Jose dos Campos utilizando o canal infravermelho termal do Landsat-5 e o aerotransportado HSS. *In*: **Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Santa Catarina, Florianópolis: INPE. 2007.

ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, London, v. 23, n. 1, p. 1-26, 2003.

BRANDÃO, A. M. P. M. **Tendências e oscilações climáticas na área urbana metropolitana do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1987.

COLTRI, P.; FREITAS, S.; DEMETRIO, V.; FERREIRA, N. Changes in land cover and use affect the local and regional climate in Piracicaba, Brazil. **Journal of Urban and Environmental Engineering (UFPB)**, v. 2, p. 68-74, 2008.

DANNI-OLIVERA, I. M. **A cidade de Curitiba e a poluição do ar**: implicações de seus atributos urbanos e geoecológicos na dispersão de poluentes em períodos de inverno. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2000.

DAVIS, M. **Planet of Slums**. London: Verso, 2006.



DURY, G. H. High temperature extremes in Australia. Anais. **Annals of the Association of American Geographers**. 62 (3), 388–400. 1972.

FIALHO, E. S.; FERNANDES, L. A.; CORREA, W. S. C. Climatologia urbana: conceitos, metodologias e técnicas. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 15, Edição Especial – XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, jun., 2019.

FRITZSON, E.; WREGE, M.S.; MANTOVANI, L.E. Altitude e temperatura: estudo do gradiente térmico no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 11, Vol. 16, jan./jul. 2015.

LEFEBVRE, H. **A revolução urbana**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1999.

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

MAKIDO, Y.; HELLMAN, D.; SHANDAS, V. Nature-Based Designs to Mitigate Urban Heat: The Efficacy of Green Infrastructure Treatments in Portland, Oregon. **Atmosphere**, 10, 282, 2019.

MARENGO, J. A.; AMABRIZZI, T.; SOARES, W. R. Jatos de baixos níveis ao longo dos Andes. *In*: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A. J. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MENDONÇA, F. **O clima e o planejamento urbano de cidade de porte médio e pequeno**: proposição metodológica para estudo e aplicação à cidade de Londrina, PR. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1995.

MENDONÇA, M. **A dinâmica têmporo-espacial do clima subtropical na região conurbada de Florianópolis**. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2002.

MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MONTE-MÓR, R. Urbanização extensiva e a produção do espaço social contemporâneo. *In*: REIS, N.; TANAKA, M. (org.). **Brasil**: estudos sobre dispersão urbana. São Paulo: Via das Artes/FAUUSP, p. 241-251, 2007.



IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 12 jan. 2020.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Mapa das estações. Banco de dados meteorológicos, 2021.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuen & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York. 1978.

OKE, T. R. Technical note nº134. **Review of urban climatology**, World Meteorological Organization, Geneva, WMO, 1974.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. **Urban Heat Island**. In Urban Climates (pp.). Cambridge: Cambridge University Press, p.197-237, 2017.

OKE, Timothy R. et al. **Urban climates**. Cambridge University Press, 2017.

PME. Prefeitura Municipal de Erechim. **Histórico da cidade de Erechim**. 2016. Disponível em: <https://www.pmerechim.rs.gov.br/>. Acesso em: 12 jan. 2020.

PME. Prefeitura Municipal de Erechim. Lei N.º 6.256 - Dispõe sobre o desenvolvimento urbano, sobre o zoneamento de uso do solo urbano. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental Sustentável de Erechim**. 2016.

POLIZEL, J. L. **Geotecnologias e Clima Urbano**: aplicações dos recursos de sensoriamento remoto e sistemas de informação Geográficas na Cidade de Piracicaba, SP. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2009.

ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul**: variabilidade tendências e tipologia. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

SANT'ANNA NETO, J. L. História da climatologia no Brasil. **Cadernos Geográficos** (UFSC), Florianópolis, v. 7, p. 1-124, 2004.

SANTOS, M. **A natureza do espaço**: técnica e tempo, razão e emoção. 4. ed. São Paulo: EDUSP, 2006.



SETO, K.C.; SHEPHERD, J.M. Global urban land-use trends and climate impacts. **Current Opinion in Environmental Sustainability**. Vol. 1, p. 89–95, 2009.

SOJA, E.; KANAI, M. The urbanization of the world. *In*: BURDETT, R.; SUDJIC, D. (ed.). **The endless city: the Urban Age Project** by the London School of Economics and Deutsche Bank's Alfred Herrhausen Society. London/New York: Phaidon Press, p. 54-69, 2007.

SOJA, E. **Postmetrópolis**: estudios críticos sobre las ciudades y las regiones. Madrid: Traficantes de Sueños, 2008.

TOCHETTO, G.; MURARA, P. Caracterização climática da estiagem no verão de 2009 em Erechim - RS. **Revista Geonorte**, Vol. 12, p. 64-82, 2021.

UGEDA JUNIOR, J. C. Correlação entre a temperatura da superfície e temperatura do ar na cidade de Jales-SP. *In*: AMORIM, M. C. T.; SANT'ANNA NETO, J. L.; MONTEIRO, A. (org.). **Climatologia Urbana e Regional**: questões teóricas e estudos de caso. São Paulo: Outras Expressões, p. 291-316, 2013.

USGS. United States Geological Survey. **Satellite images of South America, Brazil**. 2018. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 12 jan. 2020.

VOELKEL, J.; SHANDAS, V. Towards systematic prediction of urban heat islands: Grounding measurements, assessing modeling techniques. **Climate**. Vol. 5, 41, 2017.

VOOGT, J.A.; OKE, T.R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing Environmental**. Vol. 86, p. 370–384, 2003.

WOLLMANN, C. A; GALVANI, E. Caracterização climática do Rio Grande do Sul: dos estudos estáticos ao entendimento da gênese. **Revista Brasileira de Climatologia**, Vol. 11, p. 87-103, 2012.

ZHANG, X.; BA, M.; KANG, J.; MENG, Q. Effect of soundscape dimensions on acoustic comfort in urban open public spaces. **Applied Acoustics**, vol. 133, p. 73-81, abr/2018.