

GEOTECNOLOGIAS NA GESTÃO URBANA: COMPORTAMENTO TÉRMICO SUPERFICIAL DAS PRAÇAS FARROUPILHA E DA ALFÂNDEGA, PORTO ALEGRE/RS

Alfredo Reinaldo Preigschadt Filho – alfredo.preigschadt@acad.ufsm.br - Universidade Federal de Santa Maria

Renatha Rehbein da Silva – renata.rehbein@acad.ufsm.br – Universidade Federal de Santa Maria

Vinicius Kuchinski – vinicius.kuchinski@ufsm.br – Universidade Federal de Santa Maria

Douglas Stefanello Facco – douglas.s.facco@gmail.com – Universidade Federal de Santa Maria

Pedro Daniel da Cunha Kemerich – pedro.kemerich@ufsm.br – Universidade Federal de Santa Maria

Resumo: O processo de urbanização altera o balanço energético das cidades, intensificando as Ilhas de Calor Urbanas (ICU). Nesse cenário, o monitoramento microclimático torna-se fundamental para subsidiar o planejamento municipal. Este trabalho aplicou as geotecnologias como instrumentos de gestão e análise ambiental para avaliar a qualidade térmica de duas centralidades com tipologias opostas em Porto Alegre/RS: a Praça Farroupilha (infraestrutura verde densa) e a Praça da Alfândega (infraestrutura cinza predominante). Utilizou-se a plataforma Google Earth Engine (GEE) para processar um composto mediano de imagens Landsat 8 do período de verão, extraíndo o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e a Temperatura da Superfície Terrestre (LST). Os rasters foram integrados no software QGIS para o refinamento cartográfico. Os resultados apontaram que a Praça Farroupilha apresentou maior vigor vegetal (NDVI de 0,301) e menor temperatura média (35,99 °C) em relação à Praça da Alfândega (NDVI de 0,165 e LST de 36,72 °C). A modelagem estatística por amostragem de pixel revelou uma correlação linear negativa expressa pela equação $LST = -11.045 \times NDVI + 39.278$, com coeficiente de determinação ($R^2 = 0.191$). Isso prova que a densidade arbórea explica diretamente 19.1% da variação térmica local, atuando como uma área de resfriamento. Conclui-se que o sensoriamento remoto em nuvem constitui um instrumento metodológico ágil e de alta reprodutibilidade, essencial para orientar intervenções de mitigação paisagística e promover a resiliência das cidades frente às crises climáticas vigentes.

Palavras-chave: Infraestrutura verde; Ilhas de calor; Conforto Ambiental; Google Earth Engine.

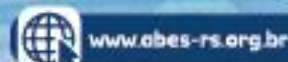
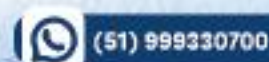
Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



GEOTECHNOLOGIES IN URBAN MANAGEMENT: SURFACE THERMAL BEHAVIOUR OF FARROUPILHA AND ALFÂNDEGA SQUARES, PORTO ALEGRE/RS

Alfredo Reinaldo Preigschadt Filho – alfredo.preigschadt@acad.ufsm.br -Universidade Federal de Santa Maria

Renatha Rehbein da Silva – renata.rehbein@acad.ufsm.br – Universidade Federal de Santa Maria

Vinicius Kuchinski – vinicius.kuchinski@ufsm.br – Universidade Federal de Santa Maria

Douglas Stefanello Facco – douglas.s.facco@gmail.com – Universidade Federal de Santa Maria

Pedro Daniel da Cunha Kemerich – pedro.kemerich@ufsm.br – Universidade Federal de Santa Maria

Abstract: *The urbanization process alters the energy balance of cities, intensifying Urban Heat Islands (UHI). In this scenario, microclimate monitoring becomes essential to support municipal planning. This study applied geotechnologies as environmental management and analysis tools to evaluate the thermal quality of two central areas with contrasting typologies in Porto Alegre/RS: Farroupilha Square (dense green infrastructure) and Alfândega Square (predominantly gray infrastructure). The Google Earth Engine (GEE) platform was used to process a median composite of Landsat 8 images from the summer period, extracting the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Land Surface Temperature (LST). The rasters were integrated into QGIS software for cartographic refinement. The results indicated that Farroupilha Square presented higher vegetative vigor (NDVI of 0.301) and lower average temperature (35.99 °C) compared to Alfândega Square (NDVI of 0.165 and LST of 36.72 °C). Statistical modeling via pixel sampling revealed a negative linear correlation expressed by the equation $LST = -11.045 \times NDVI + 39.278$, with a coefficient of determination ($R^2 = 0.191$). This proves that tree density directly explains 19.1% of the local thermal variation, acting as a cooling area. It is concluded that cloud-based remote sensing constitutes an agile and highly reproducible methodological instrument, essential for guiding landscape mitigation interventions and promoting city resilience against current climate crises.*

Keywords: *Green infrastructure; Heat islands; Environmental comfort; Google Earth Engine.*

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização acelerado e frequentemente desordenado que caracterizou as cidades latino-americanas nas últimas décadas promoveu uma alteração radical

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

na dinâmica de troca de energia entre a superfície e a atmosfera. A substituição massiva de coberturas naturais e pavimentos permeáveis por geometrias construídas de concreto, asfalto e superfícies edificadas altera o albedo urbano, a capacidade de armazenamento térmico e os índices de evapotranspiração local. Esse fenômeno culmina na gênese das Ilhas de Calor Urbanas (ICU), caracterizadas pelo aumento significativo da temperatura em áreas densamente construídas quando comparadas ao seu entorno periférico ou rural (OKE et al., 2017; GARTLAND, 2024).

Em anos recentes, a intensificação das mudanças climáticas globais tem amplificado a frequência, a magnitude e a duração de eventos climáticos extremos, como as ondas de calor que atingiram severamente a região sul do Brasil (IPCC, 2023). No contexto de Porto Alegre/RS, o estresse térmico em microclimas urbanos centralizados e compactos impõe riscos crescentes à saúde pública, ao consumo energético e ao conforto ambiental dos cidadãos. Torna-se imperativo, portanto, que o planejamento das cidades incorpore a análise térmica como um critério norteador de projeto urbano (AMORIM, 2021).

Dentro do ecossistema urbano, as praças e os parques públicos desempenham um papel vital como provedores de serviços ecossistêmicos de regulação climática. A vegetação arbórea atua diretamente na atenuação das temperaturas de superfície por meio de dois mecanismos físicos principais: o sombreamento biótico de superfícies pavimentadas e o resfriamento evaporativo decorrente da evapotranspiração (FEDERER et al., 2022). Enquanto a copa das árvores intercepta a radiação solar direta, impedindo o aquecimento excessivo do solo impermeável, o processo de transpiração converte o calor sensível em calor latente, reduzindo de forma mensurável a temperatura do ar adjacente (SANTAMOURIS, 2020). No entanto, a eficiência desse "oásis térmico" é intrinsecamente dependente do desenho paisagístico, da densidade da biomassa vegetal e da proporção de solo exposto ou pavimentado na totalidade da malha da praça (OCHOA et al., 2023).

Para que o manejo dessas infraestruturas verdes seja integrado efetivamente às políticas públicas, os gestores demandam ferramentas robustas de diagnóstico espacial. Tradicionalmente, o monitoramento microclimático dependia de estações meteorológicas fixas limitadas ou de transectos móveis onerosos, métodos que dificultavam uma análise contínua e integrada do território (ALEXANDRI; JONES, 2021). É nesse panorama que o sensoriamento remoto orbital e o geoprocessamento consolidam-se como instrumentos indispensáveis de gestão e análise ambiental.

A consolidação de plataformas de computação em nuvem, com proeminência para o Google Earth Engine (GEE), revolucionou o acesso e o processamento de grandes séries temporais de dados geoespaciais, permitindo a extração automatizada da Temperatura da Superfície Terrestre (LST) e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) sem a necessidade de infraestrutura de hardware de alto desempenho local (GORELICK et al., 2017; TAMIM et al., 2025). O uso do GEE acoplado a sistemas de informações geográficas (SIG),

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

como o software QGIS, democratiza o mapeamento de precisão, transformando dados espectrais complexos em indicadores visuais e estatísticos acionáveis para a tomada de decisão no desenho urbano (ESTEVEZ et al., 2024).

Frente ao exposto, este artigo propõe a aplicação do sensoriamento remoto em nuvem como um instrumento analítico para avaliar a qualidade ambiental térmica de Porto Alegre/RS. Para tanto, realiza-se um estudo comparativo centrado em duas centralidades públicas tradicionais com tipologias de cobertura contrastantes: a Praça Farroupilha (Redenção), caracterizada por sua expressiva massa arbórea, e a Praça da Alfândega, marcada por forte adensamento construído e pavimentação impermeável. Pretende-se, por meio desta abordagem quantitativa por pixel, subsidiar discussões científicas e fornecer evidências metodológicas que demonstrem como escolhas de planejamento paisagístico impactam diretamente o microclima urbano.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O delineamento experimental deste estudo foi desenvolvido no município de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A cidade localiza-se geograficamente em uma zona de transição geomorfológica entre o Planalto Meridional e a Planície Costeira, apresentando uma altitude média inferior a 20 metros em seu núcleo urbano central. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima predominante na região é o Subtropical Úmido (*Cfa*), caracterizado por precipitações regularmente distribuídas ao longo do ano, invernos amenos e verões expressivamente quentes, com registros de temperaturas máximas que frequentemente superam os 35 °C sob a influência marcante de massas de ar tropical continente-atlânticas (ALVARES et al., 2013). Nos últimos anos, a intensificação de anomalias térmicas estivais associada às mudanças climáticas globais tem exacerbado o estresse calórico na malha urbana densa da capital gaúcha, tornando-a um laboratório crítico para a investigação de microclimas e dinâmicas de Ilhas de Calor Urbanas (ICU) (HASENACK et al., 2021; IPCC, 2023).

Para avaliar o impacto da configuração espacial urbana e da cobertura do solo no comportamento térmico da superfície, foram selecionados como unidades espaciais de análise dois tradicionais espaços públicos centralizados de Porto Alegre, que exibem morfologias urbanas e coberturas vegetais opostas. A primeira amostragem compreende a Praça Farroupilha (popularmente conhecida como Parque da Redenção), uma imensa mancha verde urbana de uso múltiplo dotada de uma cobertura vegetal arbórea densa, contínua e com copas florestais bem desenvolvidas que promovem o sombreamento biótico de grande parte dos seus caminhos internos e solos semipermeáveis. Em contraposição, a segunda amostragem foca na Praça da Alfândega, situada no núcleo orgânico do Centro Histórico da cidade. Esta configura-se como um espaço público intensamente adensado, compacto e circundado por edifícios de elevada altimetria que geram o efeito urbano, apresentando uma superfície constituída predominantemente por solo impermeabilizado; como pedras portuguesas e concreto e contando apenas com espécimes arbóreos isolados em sua extensão. A delimitação cartográfica dessas geometrias foi realizada por meio de vetores poligonais contínuos que englobam a totalidade física de cada praça, integrando tanto as coberturas florestais quanto as infraestruturas cinzas. Essa estratégia

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



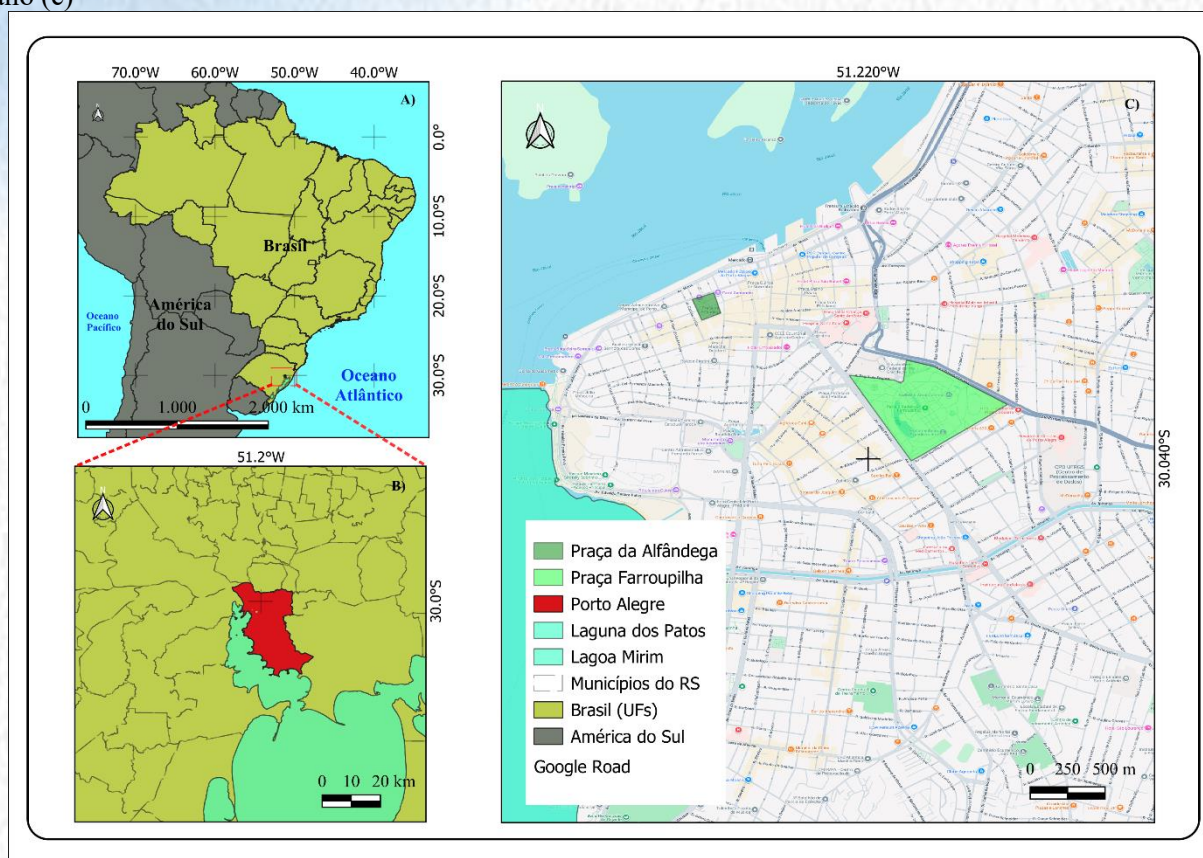
abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

metodológica é respaldada por Oke et al. (2017), os quais defendem que a análise microclimática sistêmica do ecossistema urbano deve considerar o balanço energético integrado de todas as superfícies constituintes do espaço público real, em detrimento do isolamento de alvos puros, visto que esta abordagem mimetiza com maior fidelidade a real experiência do cidadão no ambiente construído.

Figura 1 – Mapa de localização do Município de Porto Alegre (a,b) e as praças no contexto urbano (c)



Fonte: Do autor (2026)

A extração e o processamento das variáveis ambientais fundamentaram-se no sensoriamento remoto orbital mediado pela plataforma de computação em nuvem *Google Earth Engine* (GEE). Esta ferramenta consolidou-se na literatura recente como um instrumento essencial de gestão e análise ambiental, uma vez que elimina as barreiras tradicionais de hardware local ao permitir o processamento automatizado de grandes volumes de dados geoespaciais em servidores remotos (GORELICK et al., 2017; TAMIM et al., 2025). Para o desenvolvimento da pesquisa, utilizou-se a coleção de imagens do satélite Landsat 8, especificamente o produto *USGS Landsat 8 Collection 2 Level 2 Science Products*. Esta coleção disponibiliza dados espectrais com calibração radiométrica avançada

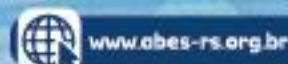
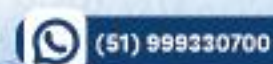
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



e correções prontas para os efeitos de atenuação atmosférica, fornecendo dados de reflectância de superfície para o sensor OLI e de temperatura de superfície para o sensor térmico TIRS (CRISTÓBAL et al., 2018). O recorte temporal selecionado compreendeu os meses do verão austral recente (dezembro a março), período no qual os índices de radiação solar incidente e as temperaturas atingem seus ápices sazonais, maximizando os contrastes térmicos provocados pelo uso do solo. Como critério de consistência radiométrica, aplicou-se um filtro de metadados para selecionar apenas cenas com cobertura de nuvens inferior a 10% sobre o recorte territorial. A partir desse banco de dados filtrado, o algoritmo do GEE executou um operador estatístico de redução por mediana (.median()), gerando uma imagem composta sintética e limpa para Porto Alegre, livre de artefatos de nuvens residuais ou distorções causadas por sombras orográficas utilizando também (QA-PIXEL). (ESTEVEZ et al., 2024).

A partir desse composto mediano calibrado, computou-se inicialmente o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para quantificar o vigor fotossintético e a densidade da biomassa vegetal. O cálculo do NDVI baseia-se no contraste de reflectância da vegetação entre as bandas do Infravermelho Próximo (IVP - Banda 5 do Landsat 8) e do Vermelho Visível (V - Banda 4 do Landsat 8), conforme consolidado por Rouse et al. (1974) e expresso na Equação 1:

$$NDVI = \frac{SRb5 - SRb4}{SRb5 + SRb4} \quad 1)$$

Os valores deste índice variam de -1 a 1, onde valores próximos a zero ou negativos denotam superfícies inorgânicas e construídas, e valores positivos elevados indicam vegetação densa e saudável.

Simultaneamente, realizou-se a extração da Temperatura da Superfície Terrestre (LST) a partir da banda térmica 10 (TIRS 1). Cabe ressaltar que a LST difere substancialmente da temperatura do ar; enquanto a temperatura do ar é influenciada pela mistura turbulenta da atmosfera e pela circulação do vento, a LST mensura a energia radiativa infravermelha emitida diretamente pelas respostas dos alvos superficiais como concreto, vegetação e solo exposto (OKE et al., 2017; GARTLAND, 2024). Essa distinção é crucial na gestão urbana, pois a LST reflete de forma imediata o comportamento térmico dos materiais e o balanço de energia local captado pelo sensor. Para isso, os níveis digitais brutos da banda térmica (ST_B10) foram convertidos para valores físicos reais de temperatura aplicando-se os fatores multiplicativos (0.00341802) e aditivos (149.0) de calibração radiométrica fornecidos pela USGS (FENG et al., 2019). Para fins de interpretação climática urbana, a temperatura obtida originalmente na escala Kelvin foi convertida para a escala Celsius pela subtração da constante 273.15, conforme equacionado na Equação 2:

$$LST = (STb10 \times 0.00341802 + 149.0) - 273,15 \quad 2)$$

Com as matrizes de NDVI e LST devidamente estruturadas, o algoritmo processou a redução espacial por região (.reduceRegion()) por meio do redutor de média espacial (ee.Reducer.mean()) ajustado à resolução espacial nativa de 30 metros do satélite Landsat 8, uma abordagem de agregação de dados amplamente validada para análises geoespaciais em ecologia urbana (GORELICK et al., 2017; FENG et al., 2019). Posteriormente, como instrumento de análise estatística de alta precisão para contornar as limitações de avaliações puramente visuais, executou-se uma amostragem pixel a pixel no ambiente do GEE através da função sampleRegions. Essa operação

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

converteu a estrutura matricial das praças em um banco de dados de pontos tabulares (TAMIM et al., 2025), sobre o qual aplicou-se um modelo de regressão linear simples por mínimos quadrados ordinários, método estatístico e recorrente para isolar a resposta térmica superficial frente a coberturas vegetadas (OKE et al., 2017; CRISTÓBAL et al., 2018).

Adotou-se o NDVI como variável independente (X) e a LST como variável dependente (Y), o que permitiu obter empiricamente a equação da reta e o coeficiente de determinação (R^2), evidenciando a taxa quantitativa de resfriamento superficial associada à presença de vegetação (OCHOA et al., 2023; ESTEVEZ et al., 2024). Por fim, os rasters brutos resultantes foram exportados em formato GeoTIFF diretamente para o software QGIS, funcionando como o instrumento analítico final para a confecção da cartografia temática, aplicação de paletas de falsa-cor e refinamento do layout visual que compõe os resultados deste estudo, em conformidade com as diretrizes metodológicas de integração de sistemas de informações geográficas de código aberto no planejamento urbano (AMORIM, 2021; GARTLAND, 2024).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos dados geoespaciais revelou padrões microclimáticos distintos entre as duas áreas de estudo em Porto Alegre/RS, confirmando a premissa de que a configuração e a tipologia da cobertura do solo ditam de forma direta a qualidade ambiental térmica no cenário urbano (AMORIM, 2021; OCHOA et al., 2023). O rigor metodológico desta caracterização fundamenta-se na consistência dos metadados extraídos do Landsat 8 (Coleção 2, Nível 2), cujo composto mediano estival foi estruturado a partir de 2 imagens orbitais correspondentes às passagens de 05 de dezembro de 2025 e 06 de janeiro de 2026. Esse empilhamento temporal captura com precisão o auge do verão sob condições estáveis de céu claro (menos de 10% de nuvens), minimizando ruídos atmosféricos residuais (GORELICK et al., 2017; FENG et al., 2019). Os mapas temáticos gerados e refinados no software QGIS, que compreendem o mapa de localização regional (Figura 1) e o mapeamento comparativo de sobreposição do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e da Temperatura da Superfície Terrestre (LST) (Figura 2), ilustram espacialmente a formação de contrastes térmicos severos no tecido central da cidade.

Figura 2 – Mapa NDVI das praças (a) e do comportamento térmico LST (b)

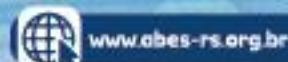
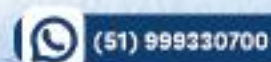
Realização

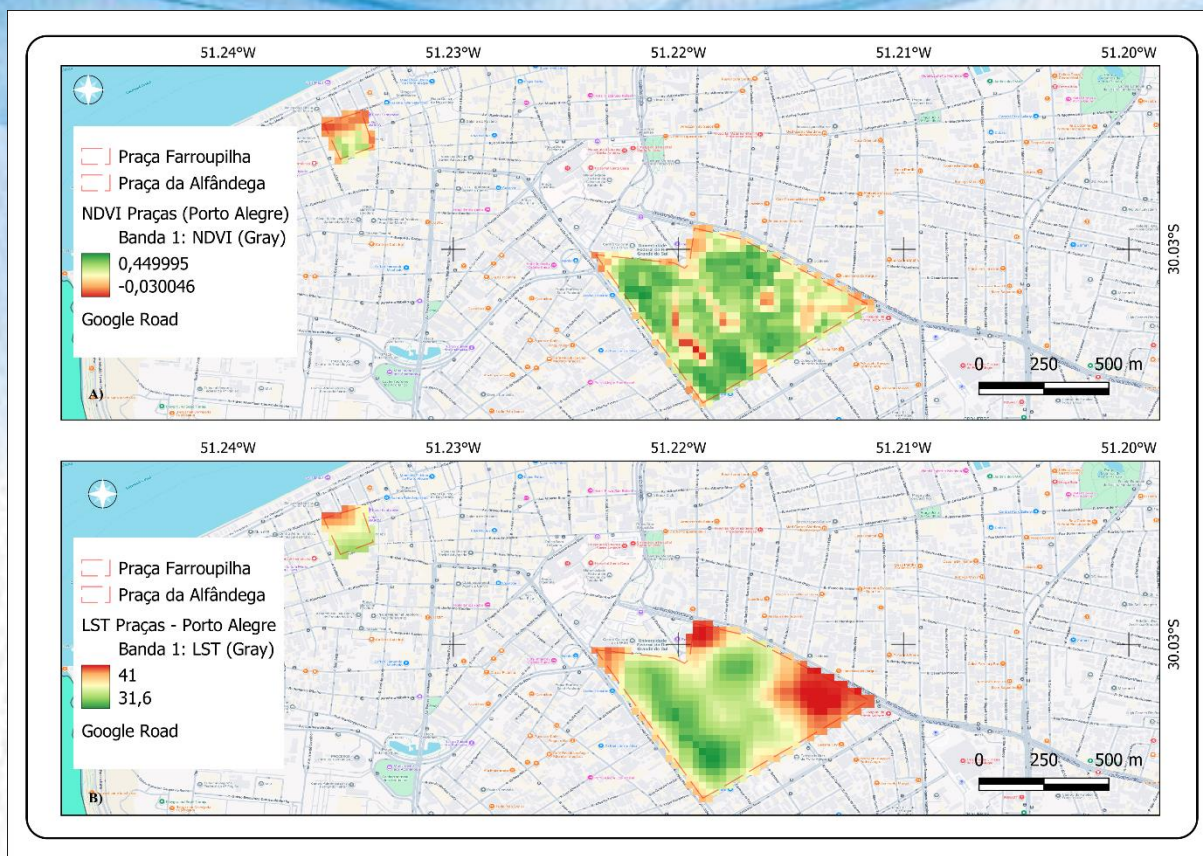


Correalizadores



Apoio Institucional





Fonte: Do autor (2026)

Ao extrair as estatísticas integradas para a totalidade dos polígonos correspondentes aos limites físicos das áreas, os contrastes numéricos tornam-se evidentes. Conforme apresentado na Tabela 1, o algoritmo computou uma amostragem robusta de 568 pixels válidos na resolução nativa de 30 metros para a Praça Farroupilha, resultando em um NDVI médio de 0,301 e uma LST média de 35,9 °C. Em contrapartida, a Praça da Alfândega totalizou 67 pixels amostrados, apresentando um NDVI médio inferior de 0,165 e uma LST média superior, fixada em 36,7 °C.

Tabela 1 – Síntese estatística das médias espaciais de NDVI e LST (°C) para as áreas de estudo em Porto Alegre – RS.

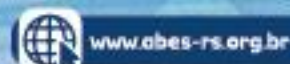
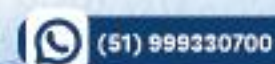
Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



Área de estudo	Métrica	Valor mínimo	Valor máximo	Média Espacial	Desvio Padrão
Praça Farroupilha (Redenção)	NDVI	-0,030	0,450	0,301	0,092
	LST	31,6°C	41,8 °C	35,9 °C	2,57 °C
Praça da Alfândega	NDVI	0,051	0,268	0,165	0,053
	LST	33,2 °C	40,1 °C	36,7 °C	1,82 °C

Embora a amplitude térmica absoluta entre as médias espaciais das duas praças situe-se em aproximadamente 0,72 °C, esse valor carrega uma expressiva relevância microclimática quando interpretado sob as premissas da resolução de 30 metros do satélite Landsat 8 e da natureza mista dos alvos integrados dentro de cada polígono. Conforme destacado por Oke et al. (2017) e Gartland (2024), sensores orbitais registram o balanço de energia radiante integrado dentro de cada célula da grade matricial (30 x 30 m). Na Praça Farroupilha (Figura 2), a presença de valores máximos de NDVI de até 0,450 reflete uma presença de copas florestais que agem como barreiras físicas à radiação solar direta, promovendo o resfriamento por evapotranspiração que converte a energia solar em calor latente (SANTAMOURIS, 2020). Paralelamente o desvio padrão elevado indica uma marcante heterogeneidade interna, onde extremos térmicos coexistem na imagem devido à alternância entre a densidade das copas e áreas de solo impermeabilizado ou concreto exposto. Esse processo mitiga o aquecimento inclusive das estruturas cinzas e caminhos pavimentados internos ao parque, registrando temperaturas superficiais mínimas de até 31,6°C e gerando um efeito de resfriamento sinérgico que se estende, a despeito de picos isolados de 41,8 °C que elevam o desvio padrão da área para 2,57 °C (FEDERER et al., 2022).

Por outro lado, o NDVI médio de 0,165 verificado na Praça da Alfândega, associado a um valor máximo que não ultrapassa 0,268, aponta para uma maior escassez de biomassa vegetal fotossinteticamente ativa e para o claro predomínio de superfícies minerais de alto armazenamento térmico (FENG et al., 2019). A presença massiva de pedras portuguesas e a proximidade com o asfalto circundante convertem a radiação incidente em calor sensível, elevando a temperatura da superfície (mínima estável em 33,20 °C e máxima de 40,11 °C) e retraindo-a no ambiente devido ao aprisionamento radiativo gerado pelos edifícios altos do Centro Histórico, padrão homogêneo atestado pelo baixo desvio padrão térmico (1,82 °C) e também observado em outras metrópoles densas (ALEXANDRI; JONES, 2021; ESTEVEZ et al., 2024).

O cerne da validação estatística deste instrumento de análise foi demonstrado por meio do gráfico de dispersão por pixel gerado no ambiente do GEE (Figura 3), o qual correlacionou o vigor vegetal (NDVI) à resposta térmica (LST) de cada porção do território amostrado. Com 533 graus de liberdade (df) decorrentes da amostragem espacial integrada, a modelagem por regressão linear resultou na equação empírica:

Figura 3 – Gráfico de correlação e equação da reta

Realização



Apoio Institucional



REBOB
Rede Brasileira de Observação de Biodiversidade

Correalizadores



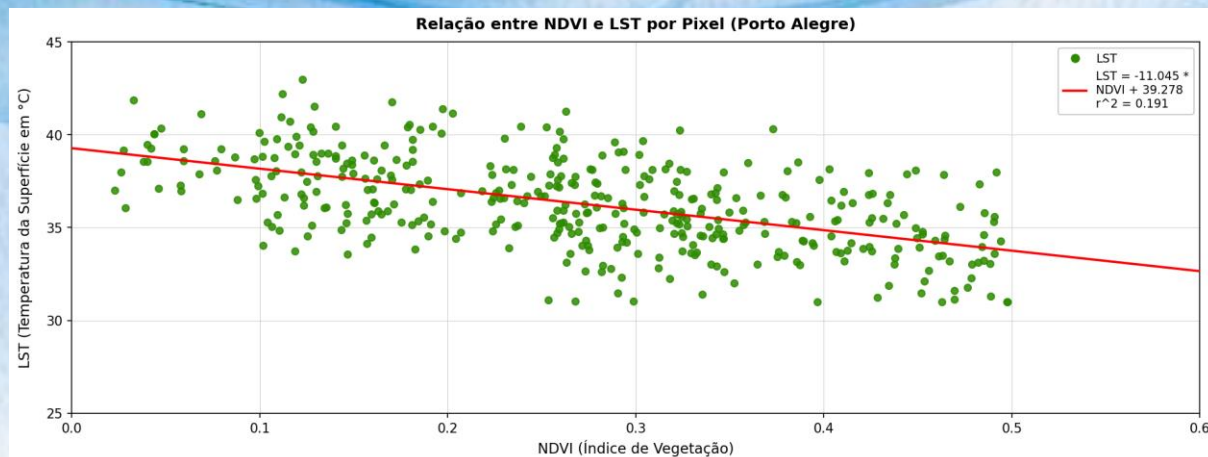
(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br



A modelagem por regressão linear resultou na equação empírica:

$$LST = -11.045 \times NDVI + 39.278$$

3)

Estabelecendo uma relação linear estritamente negativa entre as variáveis. O coeficiente angular de -11.045 quantifica o potencial de resfriamento da vegetação no ambiente urbano de Porto Alegre, indicando matematicamente que, para cada incremento de 0.1 unidade na escala de NDVI, manifesta-se uma redução correspondente de aproximadamente 1.1 °C na temperatura da superfície terrestre. A estabilidade do modelo é corroborada pelo resíduo consolidado de 2,253, o qual sustenta as descobertas de Cristóbal et al. (2018) e Tamim et al. (2025), que apontam tendências semelhantes de inclinação negativa em modelos de regressão espacial, consolidando o uso de índices espectrais como preditores confiáveis do comportamento microclimático térmico urbano.

O coeficiente de determinação obtido ($R^2 = 0.191$) indica que 19.1% da variabilidade espacial da LST dentro das praças é explicada exclusivamente pela presença, densidade e saúde da cobertura vegetal. Em estudos de climatologia urbana baseados em dados de satélite bruto por pixel, um valor de R^2 próximo a 20% é considerado altamente representativo, uma vez que o balanço térmico de superfícies complexas é governado por uma matriz multifatorial de variáveis (FENG et al., 2019; OCHOA et al., 2023). Os 80.9% restantes da variação térmica não captados pelo NDVI decorrem de propriedades físicas intrínsecas aos materiais urbanos não vegetados e à própria morfologia do entorno, fatores que influenciam o comportamento dos pontos dispersos no gráfico (Figura 3). Na porção inferior esquerda do gráfico de dispersão, observam-se pixels com baixo NDVI que sustentam temperaturas surpreendentemente amenas; espacialmente, isso se justifica pelo efeito de sombreamento projetado pela arquitetura vertical circundante à Praça da Alfândega, que bloqueia temporariamente a radiação solar direta sobre o concreto em determinados horários do dia, atuando como um redutor artificial de LST (ALEXANDRI; JONES, 2021). Inversamente, a dispersão de pontos na região central do gráfico reflete pixels mistos da Praça Farroupilha onde a coexistência de solo impermeabilizado exposto e vegetação esparsa eleva localmente a assinatura térmica do pixel, demonstrando a capacidade dos algoritmos de

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

computação em nuvem em registrar as heterogeneidades internas dos espaços públicos (TAMIM et al., 2025).

A convergência entre os dados tabulares e a cartografia final confeccionada no QGIS reforça a utilidade dessas geotecnologias como instrumentos de gestão urbana essenciais para o planejamento de cidades resilientes frente aos cenários de crise climática (IPCC, 2023). O mapa de localização (Figura 1) permite situar geograficamente as diferentes pressões urbanas às quais as praças estão submetidas, enquanto o mapa bivariado (Figura 2) evidencia visualmente a Praça Farroupilha como uma autêntica "ilha de frescor" inserida na malha compacta, contrastando com as colorações térmicas quentes que envolvem a Praça da Alfândega e o seu entorno pavimentado. Diante disso, esses mapas e índices deixam de ter caráter meramente descritivo e passam a servir como diagnósticos de suporte à decisão para a administração pública de Porto Alegre (AMORIM, 2021). Os resultados sugerem que intervenções paisagísticas integradas no Centro Histórico — tais como o adensamento de calçadas verdes, a arborização direcionada de eixos de pedestres e o incentivo à implantação de telhados verdes em recuos prediais; são urgentes para mimetizar o comportamento térmico amenizado da Redenção, atenuando o desconforto térmico da população e promovendo a justiça ambiental térmica no ambiente construído (OCHOA et al., 2023; GARTLAND, 2024).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou cumprir com êxito o objetivo de aplicar ferramentas de geoprocessamento em nuvem como instrumentos analíticos e de gestão urbana, demonstrando a viabilidade e a precisão do uso conjunto do *Google Earth Engine* (GEE) e do QGIS no diagnóstico microclimático de Porto Alegre -RS. A metodologia integrada permitiu processar de forma ágil e robusta dados espectrais brutos do satélite Landsat 8, gerando indicadores ambientais consistentes que validam empiricamente o papel da cobertura do solo na regulação térmica de espaços públicos centrais.

Os resultados obtidos evidenciam o contraste ambiental entre as duas áreas analisadas. A Praça Farroupilha, dotada de infraestrutura verde robusta e contínua, consolida-se como um importante ilha de frescor urbana, sustentando temperaturas médias sensivelmente inferiores às da Praça da Alfândega. A modelagem estatística por pixel refinou esse diagnóstico ao comprovar a correlação linear negativa entre o NDVI e a LST, determinando a taxa empírica com que o vigor vegetal mitiga o estresse térmico superficial no veraneio da capital gaúcha. O coeficiente de determinação obtido confirma que a densidade arbórea é um fator preponderante no balanço energético local, ao mesmo tempo em que a dispersão dos dados salienta a influência de fatores morfológicos urbanos complexos, como o sombreamento projetado pela arquitetura vertical do Centro Histórico.

Do ponto de vista da gestão e do planejamento municipal, este trabalho reforça que o desenho integral dos espaços públicos e a escolha de seus materiais constituintes devem ser pautados por critérios de resiliência climática. Os mapas e parâmetros gerados transcendem a análise acadêmica, servindo como diagnósticos acionáveis que indicam a urgência de intervenções de ordenamento e mitigação em áreas densamente pavimentadas e carentes de biomassa. A expansão de calçadas verdes, o adensamento de eixos arborizados e o fomento a infraestruturas verdes em recuos prediais surgem como estratégias essenciais para promover a adaptação urbana frente ao avanço de eventos climáticos extremos.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Como limitações da abordagem, aponta-se a resolução espacial de 30 metros dos sensores Landsat, que pode suavizar variações térmicas muito localizadas de microescala dentro das praças. Para investigações futuras, recomenda-se o emprego de sensores a bordo de veículos aéreos não tripulados (drones) ou imagens orbitais de altíssima resolução, permitindo o mapeamento isolado de diferentes materiais de pavimentação e espécies arbóreas específicas. Em suma, o sensoriamento remoto em nuvem consolida-se como um instrumento de gestão indispensável, acessível e de alta reprodutibilidade, apto a fundamentar tomadas de decisão que priorizem a justiça térmica e a sustentabilidade no futuro das cidades.

5. REFERÊNCIAS

ALEXANDRI, E.; JONES, P. Temperature modifications from urban canyons in central business districts. **Urban Climate**, v. 38, p. 100-114, 2021.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMORIM, M. C. C. T. **Climatologia Urbana e Planejamento das Cidades**. São Paulo: Editora UNESP, 2021.

CRISTÓBAL, J. et al. Landsat 8 Surface Temperature Product Validation: Joint assessment over agricultural and urban areas. **Remote Sensing of Environment**, v. 216, p. 110-122, 2018.

FENG, Y. et al. Assessment of Landsat 8 Collection 2 Level 2 Surface Temperature Product in urban microclimate environments. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 83, p. 101-115, 2019.

GARTLAND, L. **Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas**. 2. ed. London: Routledge, 2024.

GORELICK, N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017.

HASENACK, H. et al. **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2021.

IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2023.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

JIANG, Y.; LIN, W. A comparative analysis of retrieval algorithms of land surface temperature from Landsat-8 data: a case study of Shanghai, China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 11, p. 5659, 2021.

LEAL, L. et al. Aplicação de sensoriamento remoto para a identificação das ilhas de calor urbanas e avaliação do conforto térmico humano nas capitais dos estados do Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, p. 979-993, 2021.

OKE, T. R. The urban energy balance. **Progress in Physical Geography**, v. 12, n. 4, p. 471-508, 1988.

OKE, T. R. et al. **Urban Climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

ROUSE, J. W. et al. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Greenbelt: NASA/GSFC, 1974. (Type III Final Report).

SANTAMOURIS, M. Cooling the cities — a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. **Solar Energy**, v. 203, p. 254-272, 2020.

WANG, L.; LU, Y.; YAO, Y. Comparison of three algorithms for the retrieval of land surface temperature from Landsat 8 images. **Sensors**, v. 19, n. 22, p. 5049, 2019.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br