Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

CARACTERIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO URBANO DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ (SC) A PARTIR DE MUDANÇAS NA RESPOSTA ESPECTRAL ENTRE 1994 A 2024

Characterization of urban development in Balneário Camboriú (SC) based on changes in spectral response from 1994 to 2024

Caracterizacíon del desarollo urbano de Balneário Camboriú (SC) a partir de los câmbios en la respuesta espectral entre 1994 y 2024

Otávio de Freitas Baumhardt
Setor de Ciências da Terra
Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Curitiba, Paraná, Brasil
otavio.baumhardt@ufpr.br

Cássio Arthur Wollmann
Centro de Ciências Humanas e Biológicas
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
Sorocaba, São Paulo, Brasil
cassio.wollmann@ufscar.br

William Gaida
Setor de Ciências da Terra
Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Curitiba, Paraná, Brasil
ufsm.william@gmail.com

Jenifer Buss dos Santos
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil
jeniferbuss@hotmail.com

Resumo: Este estudo objetiva analisar a variação da reflectância espectral da superfície urbana de Balneário Camboriú entre 1994 e 2024. Foram utilizados dados espectrais dos sistemas sensores *Thematic Mapper* e *Operational Land Imager* e termais do sensor *Thermal Infrared Sensor*, adquiridos considerando-se como critério a ausência de nebulosidade e melhor qualidade radiométrica. Esses dados foram utilizados para estimativas do albedo e temperatura de superfície, e os índices espectrais *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI). O processamento inicial das imagens foi realizado na plataforma Google Earth Engine, e a extração das variáveis no sistema de informações geográficas QGIS. A correlação de Pearson entre os bairros indicou associação significativa da TST com o NDBI (r médio = 0,90) e com o NDVI (r médio = −0,84) em 13 das 14 datas analisadas. Os resultados indicam modificações significativas no comportamento espectral da superfície. Observou-se aumento nas médias de NDVI e NDBI, sugerindo, respectivamente, estratégias de conservação florestal e crescimento acelerado da malha urbana. Não obstante, houve variação do contraste entre as variáveis ao longo dos bairros. Entre 1994 e 2009/2010 houve aumento de 12,69% do contraste entre o bairro com maior NDVI e o bairro com menor NDVI, afetando também os valores de NDBI, TST e albedo. Foram identificadas, ainda, alterações nos padrões do albedo e temperatura de superfície, associadas à densidade de edificações e ao consequente sombreamento produzido, reduzindo a exposição direta à irradiação e influenciando a distribuição da temperatura e da refletância. O bairro Centro As variações espectrais detectadas revelam impactos ambientais relevantes decorrentes da intensificação do uso e ocupação do solo. Tais alterações não se limitam à modificação do microclima urbano, mas também demonstram mudanças expressivas nos padrões espectrais da superfície, reforçando a importância do monitoramento remoto no apoio à análise ambiental e ao planejamento territorial em contextos urbanos densamente ocupados.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Climatologia Urbana. Reflectância Espectral. Temperatura do Ar

Abstract: This study aims to analyze the variation in the spectral reflectance of the urban surface of Balneário Camboriú between 1994 and 2024. Spectral data from the Thematic Mapper and Operational Land Imager sensor systems and thermal data from the Thermal Infrared Sensor were used, acquired based on the criteria of absence of cloud cover and best radiometric quality. These data were used to estimate albedo and surface temperature, and the spectral indices Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Built-up Index (NDBI). The initial processing of the images was carried out on the Google Earth Engine platform, and the extraction of the variables was done in the QGIS geographic information system. Pearson correlation among neighborhoods indicated a significant association of LST with NDBI (mean r = 0.90) and NDVI (mean r = −0.84) in 13 of the 14 dates analyzed. The results indicate significant changes in the spectral behavior of the surface. An increase in the average NDVI and NDBI was observed, suggesting, respectively, forest conservation strategies and accelerated growth of the urban fabric. Nevertheless, there was a variation in the contrast between the variables across the neighborhoods. Between 1994 and 2009/2010, there was a 12.69% increase in the contrast between the neighborhood with the highest NDVI and the one with the lowest NDVI, also affecting the NDBI, LST, and albedo values. Furthermore, changes were identified in the patterns of albedo and surface temperature, associated with the density of buildings and the consequent shading produced, which reduces direct exposure to irradiation and influences the distribution of temperature and reflectance. The detected spectral variations reveal relevant environmental impacts resulting from the intensification of land use and occupation. Such changes are not limited to the modification of the urban microclimate but also demonstrate significant changes in the surface's spectral patterns, reinforcing the importance of remote monitoring in supporting environmental analysis and territorial planning in densely occupied urban contexts.

Keywords: Remote Sensing. Urban Climatology. Spectral Reflectance. Air Temperature

Resumen: Este estudio tiene como objetivo analizar la variación de la reflectancia espectral de la superficie urbana de Balneário Camboriú entre 1994 y 2024. Se utilizaron datos espectrales de los sistemas de sensores Thematic Mapper y Operational Land Imager y datos térmicos del sensor Thermal Infrared Sensor, adquiridos considerando como criterio la ausencia de nubosidad y la mejor calidad radiométrica. Estos datos se utilizaron para estimaciones del albedo y la temperatura de la superficie, y los índices espectrales Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) e Índice de Construcción de Diferencia Normalizada (NDBI). El procesamiento inicial de las imágenes se realizó en la plataforma Google Earth Engine, y la extracción de las variables en el sistema de información geográfica QGIS. La correlación de Pearson entre los barrios indicó una asociación significativa de la TST con el NDBI (r medio = 0,90) y con el NDVI (r medio = −0,84) en 13 de las 14 fechas analizadas. Los resultados indican modificaciones significativas en el comportamiento espectral de la superficie. Se observó un aumento en los promedios de NDVI y NDBI, sugiriendo, respectivamente, estrategias de conservación forestal y un crecimiento acelerado de la malla urbana. No obstante, hubo una variación del contraste entre las variables a lo largo de los barrios. Entre 1994 y 2009/2010 hubo un aumento del 12,69% en el contraste entre el barrio con mayor NDVI y el barrio con menor NDVI, afectando también los valores de NDBI, TST (Temperatura de Superficie Terrestre) y albedo. Se identificaron, además, alteraciones en los patrones del albedo y de la temperatura de la superficie, asociadas a la densidad de las edificaciones y al consecuente sombreado producido, lo que reduce la exposición directa a la irradiación e influye en la distribución de la temperatura y la reflectancia. Las variaciones espectrales detectadas revelan impactos ambientales relevantes derivados de la intensificación del uso y la ocupación del suelo. Tales alteraciones no se limitan a la modificación del microclima urbano, sino que también demuestran cambios expresivos en los patrones espectrales de la superficie, reforzando la importancia del monitoreo remoto en el apoyo al análisis ambiental y la planificación territorial en contextos urbanos densamente ocupados.

Palabras-clave: Detección Remota. Climatología Urbana. Reflectancia Espectral. Temperatura del Aire.

Submetido em: 30/06/2025
Aceito para publicação em: 05/11/2026
Publicado em: 15/11/2026

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas e ambientes urbanos possuem grande complexidade e heterogeneidade, dada as diferentes morfologias das edificações (Oke e Voogt, 2017). Nesse complexo cenário, há alterações nos parâmetros atmosféricos se comparados a ambientes em seu estado natural (De Lucena, 2013). Logo, em centros urbanos há alterações na circulação do ar, albedo, balanço de energia e evapotranspiração (Taha, 1997; Arnfield, 2003; Kanda, 2006 apud De Lucena, 2013). Um exemplo é a mudança da interação entre a superfície terrestre e a atmosfera a partir da urbanização, favorecendo o estresse térmico nas cidades (Writzl, 2022).

Além disso, é válido ressaltar que os estudos no campo da climatologia urbana, especificamente sobre o calor extremo, são importantes, pois representam uma ameaça tanto para saúde humana quanto para a manutenção dos ecossistemas (Larsen, 2015). Nesse sentido, áreas urbanas com maior densidade e morfologia urbana, apresentam ilhas de calor mais intensas e menos ventilação do ar urbano (Xu *et al*., 2017).

A intensificação da urbanização nas últimas décadas impulsionou os estudos sobre as dinâmicas climáticas nesses ambientes. Nesse contexto, a climatologia urbana se consolida como subárea estratégica, dado que a maioria da população mundial vive em centros urbanos (Santamouris, 2023; Ritchie *et al*., 2024). A expansão desordenada das cidades e as transformações no uso e cobertura da terra afetam diretamente variáveis meteorológicas e microclimáticas, agravando fenômenos como ilhas de calor, alteração do albedo e do balanço energético da superfície (Gartland, 2008).

No Brasil, Balneário Camboriú (SC) apresenta uma configuração territorial singular, caracterizada pela ausência de áreas rurais, intensa verticalização e alta densidade populacional (IBGE, 2022). Esses aspectos, aliados à morfologia urbana complexa, tornam o município um espaço estratégico para estudos aplicados à climatologia geográfica. Analisar as variáveis microclimáticas nesse contexto é fundamental para compreender as dinâmicas locais e orientar um planejamento urbano mais sustentável e resiliente.

Esse padrão de adensamento populacional é intensificado pela verticalização da malha urbana, refletindo um modelo de ocupação caracterizado pela concentração de edificações de grande porte em áreas limitadas – o que tem ficado mais latente, conforme evidencia a figura 1. Tal configuração urbana é ainda mais pressionada pela elevada sazonalidade da

atividade turística, que resulta na afluência de mais de três milhões de visitantes ao ano, conforme estimativas do Plano Municipal de Turismo (2015 – 2025). Durante os períodos de alta temporada, essa dinâmica provoca um acréscimo significativo na demanda por infraestrutura, serviços e recursos urbanos, ampliando os desafios associados à gestão territorial e à sustentabilidade ambiental da cidade.

Figura 1 – Desenvolvimento urbano de Balneário Camboriú/SC entre os anos de 1980 e 2024



Fonte: Acervo histórico de Balneário Camboriú (2025); Skyline Evolution (2024).

Pesquisas recentes abordam desde ilhas de calor e zonas climáticas locais (Silva *et al*., 2024) até variações termo-higrométricas (Wollmann *et al*., 2021), conforto térmico (Writzl, 2022), efeitos de ondas de frio (Ribeiro, 2023) e mudanças térmicas após intervenções costeiras (Baumhardt *et al*., 2024). Estes estudos, realizados em Balneário Camboriú, demonstram a relevância científica do município para a climatologia urbana e o sensoriamento remoto aplicado. A presente pesquisa avança em relação a eles ao buscar justamente uma compreensão da dinâmica urbana e microclimática trazendo ferramentas de Sensoriamento Remoto.

O Sensoriamento Remoto permite observar transformações espaciais e identificar padrões ambientais relacionados à urbanização (Amorim, 2015; Voogt; Oke, 2003). Levantamentos espectrais geram índices ambientais que refletem o uso e cobertura da terra e seu

efeito térmico-radiativo. O NDVI (Rouse *et al*., 1974), ao indicar densidade e vigor da vegetação, é útil na avaliação da regulação térmica promovida pela cobertura vegetal (Eskandari Damaneh *et al*., 2021; Yue *et al*., 2007; Fontana *et al*., 2019). Complementarmente, o NDBI (Zha *et al*., 2003) identifica áreas construídas, facilitando o monitoramento da expansão urbana e seus impactos climáticos (Guha *et al*., 2021).

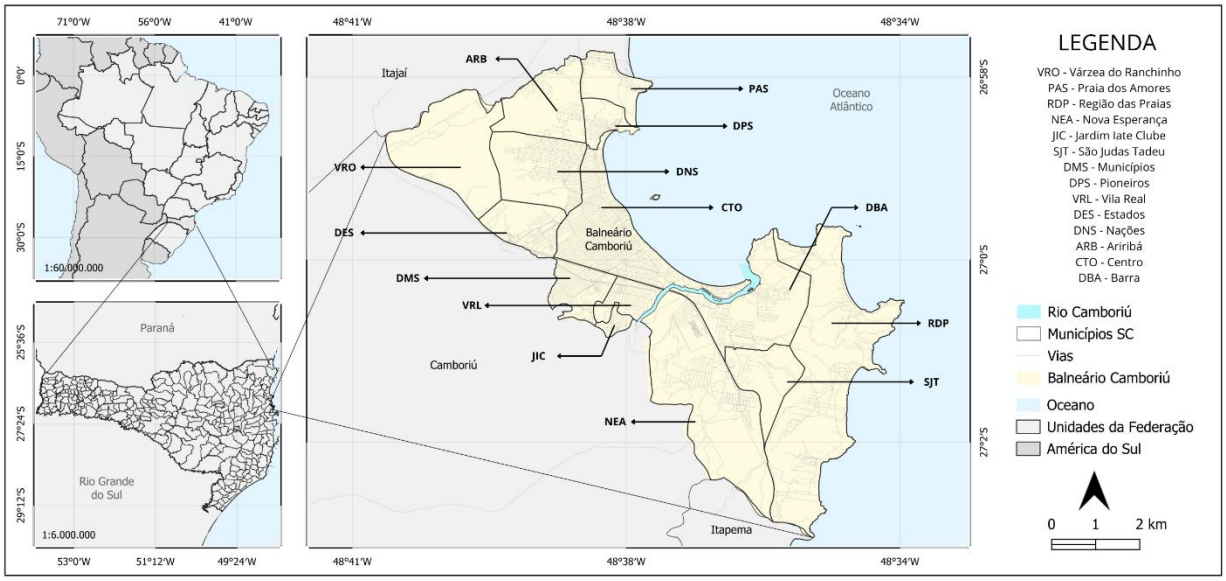
Outro parâmetro-chave é o albedo, a fração de radiação solar refletida pela superfície, diretamente relacionado ao balanço energético (Stephens, 2015). A substituição de superfícies naturais por materiais impermeáveis altera significativamente esse valor, intensificando o aquecimento local (Oke; Voogt, 2017; Nascimento *et al*., 2014). Já a Temperatura de Superfície Terrestre (TST), indicador amplamente utilizado, tende a ser mais elevada em áreas densamente edificadas, refletindo a maior retenção de calor (Souza, 2016), e mostra forte correlação com a temperatura do ar próxima à superfície (Barry; Chorley, 2009; Steinke, 2010).

Diante desse panorama, o presente artigo analisa a variação espacial e temporal de quatro variáveis espectrais associadas à climatologia urbana em Balneário Camboriú: NDVI, NDBI, TST e Albedo. A análise, baseada em dados de sensoriamento remoto de 1994 a 2024, abrange todos os bairros do município e visa aprofundar a compreensão das interações entre estrutura urbana e clima local, contribuindo para o planejamento urbano adaptativo.

1.1 Área de estudo

O município de Balneário Camboriú está localizado na região litorânea do estado de Santa Catarina, no Sul do Brasil, conforme apresentado no mapa da Figura 2. Insere-se na Mesorregião do Vale do Itajaí, conforme a divisão regional do IBGE (2024), e situa-se aproximadamente à latitude 26°59’42” Sul e longitude 48°37’46” Oeste. Com uma área de 45,214 km², o município limita-se ao norte com Itajaí, ao sul com Itapema e a oeste com Camboriú. Sua posição geográfica estratégica no litoral catarinense contribui para sua importância como polo turístico e urbano da região.

Figura 2– Mapa de localização de Balneário Camboriú.



Fonte: Autores (2025).

De acordo com o Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o município de Balneário Camboriú contabiliza uma população residente de 139.155 habitantes. Apesar de esse contingente ser inferior ao das capitais estaduais, o município destaca-se por apresentar elevada densidade demográfica, estimada em 3.077,70 habitantes por quilômetro quadrado, configurando-se como a maior do estado de Santa Catarina e uma das mais elevadas do território nacional (IBGE, 2024).

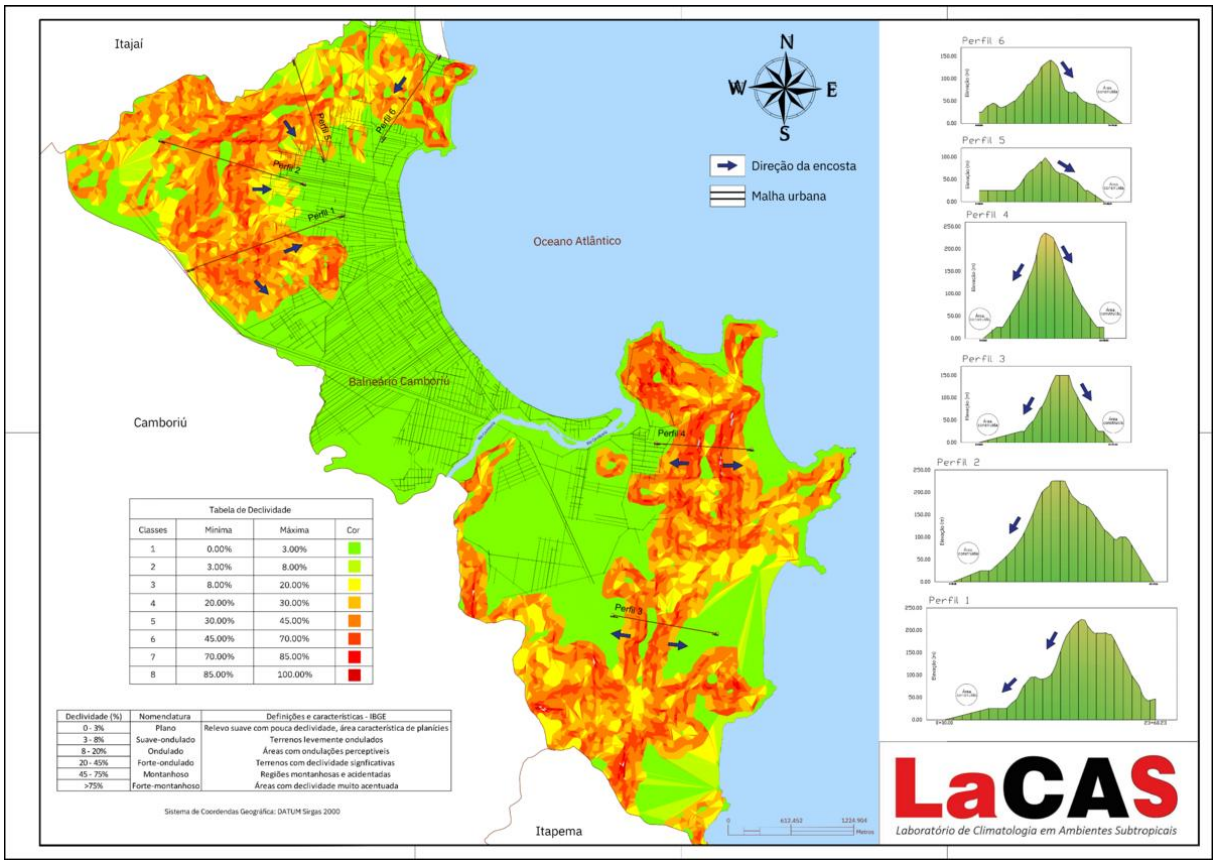
Apesar da elevada densidade populacional, observa-se um contínuo processo de expansão urbana, com crescimento acelerado em direção aos limites municipais (Ribeiro, 2023). O município apresenta ocupação exclusivamente urbana, não possuindo áreas rurais em sua extensão territorial (Wollmann *et al*., 2021). A malha urbana está subdividida em 14 bairros (figura 1). Destaca-se que os nomes dos bairros foram caracterizados por siglas, para melhor concepção das figuras. A área central, representada pelo bairro Centro, exibe menor concentração populacional por setor censitário em comparação às áreas periféricas. Essa configuração deve-se à elevada verticalização da região central e à presença marcante de população flutuante, cuja densidade aumenta significativamente durante os períodos de maior atividade turística.

O clima do município, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, revisada por Beck *et al*. (2023), é subtropical úmido (Cfa). Em todo o território catarinense, predominam climas subtropicais, oscilando entre o subtropical úmido com verões quentes

(Cfa) e o com verões brandos (Cfb). No Litoral Norte, observa-se um regime pluviométrico bem distribuído ao longo do ano, com maior concentração de precipitação nos meses de verão (De Oliveira e De Quadro, 2024). A título de caracterização, as normais climatológicas (1991-2020) da estação meteorológica mais próxima (Florianópolis - SC, OMM: 83897) indicam uma temperatura média compensada anual de 21,1 °C, variando entre 16,5 °C (em julho) e 25,3 °C (em fevereiro). A precipitação acumulada anual é de 1.766,0 mm, com maiores volumes registrados nos meses de janeiro (241,3 mm) e fevereiro (198,3 mm).

Do ponto de vista geológico, Balneário Camboriú está inserido predominantemente na Província Mantiqueira, unidade geotectônica que se estende paralelamente à costa atlântica das regiões Sudeste e Sul do Brasil, com mais de 3.000 km de extensão (Heibron *et al.*, 2004). Essa configuração estrutural está associada a um relevo com elevadas altitudes e acentuadas declividades, sobretudo nas áreas de encosta, refletindo diretamente na morfologia do território municipal (Figura 3).

Figura 3 – Mapa de declividade de Balneário Camboriú.



Fonte: Autores (2025).

O relevo do município de Balneário Camboriú apresenta significativa variação hipsométrica, com destaque para a ocorrência de declividades acentuadas nas porções setentrional e meridional do território. As cotas altimétricas mais elevadas encontram-se associadas à Província Geológica da Mantiqueira, que influencia diretamente a morfologia regional por meio de estruturas cristalinas resistentes ao intemperismo. Essa compartimentação geomorfológica confere ao município uma topografia diversificada, marcada por setores de relevo elevado, alternando-se com áreas mais planas.

As áreas de menor declividade localizam-se predominantemente na faixa litorânea, onde se desenvolvem terrenos planos ou suavemente inclinados, resultado da ação de processos deposicionais marinhos e fluviais. Esses setores compreendem superfícies de acumulação recentes, frequentemente utilizadas para ocupação urbana intensiva devido à sua morfologia favorável (Vieira, 2008 apud Cavalheiro, 2023). No entanto, a configuração topográfica da planície costeira não é homogênea.

A heterogeneidade da planície marinha em Balneário Camboriú é atribuída à presença de afloramentos de rochas cristalinas, que interferem nos processos deposicionais e na dinâmica sedimentar local. Além disso, a intensa edificação sobre esses terrenos tem modificado a paisagem natural, promovendo alterações no padrão morfodinâmico costeiro (Horn Filho *et al*., 2014). Assim, a interação entre os elementos naturais e antrópicos resulta em um espaço geográfico marcado por contrastes morfoestruturais e funcionais.

2. METODOLOGIA

Para atender ao objetivo geral da pesquisa, foram empregadas técnicas de sensoriamento remoto, com ênfase na análise multitemporal de imagens orbitais. Inicialmente, procedeu-se à seleção dos sensores orbitais e à definição dos recortes temporais de interesse. A seguir, foram calculadas as variáveis espectrais e radiométricas por meio de diferentes softwares especializados em geoprocessamento e análise de dados geoespaciais, complementadas pela comparação com dados de temperatura do ar obtidos a partir da reanálise climática ERA5. A comparação com o modelo ERA5 não teve o objetivo de validar a TST, uma vez que os produtos Landsat já são radiometricamente calibrados e validados, mas sim de inserir dados climáticos de referência na área, visto que não há estação meteorológica que perdurou em todo o período analisado.

Considerando a proposta de mensurar a variação temporal dos parâmetros entre os anos de 1994 e 2024, tornou-se necessária a utilização de três sensores distintos, de modo a garantir a cobertura contínua da série histórica e a compatibilidade dos dados (Tabela 1). Para o período de 1994 a 2010, foram utilizados dados do sistema sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5. No intervalo de 2013 a 2023, foram empregadas imagens do sensor Operational Land Imager (OLI) a bordo do Landsat 8. Por fim, a imagem referente ao ano de 2024 foi obtida a partir do sensor OLI-2, a bordo do satélite Landsat 9.

A escolha dos sensores considerou a continuidade dos dados, a resolução espacial compatível com a escala da análise e a disponibilidade de bandas espectrais adequadas à extração das variáveis ambientais requeridas. Essa estratégia metodológica assegura a consistência das comparações ao longo do período estudado, além de possibilitar a análise da tendência temporal dos fenômenos observados com base em parâmetros homogêneos. A justificativa para utilizar a resolução de 30 metros, mesmo em um estudo intraurbano, pauta-se no fato de que, embora não seja a melhor resolução existente, é um sensor que permite avaliar a dinâmica urbana em uma série histórica longa. Trata-se de uma escala amplamente utilizada em diversas pesquisas sobre ilhas de calor e zonas climáticas locais, como documentado por Wei e Sobrino (2024) e Yoo *et al*. (2019).

Tabela 1 – Dados empregados na análise – datas de aquisição e respectivo sistema sensor.

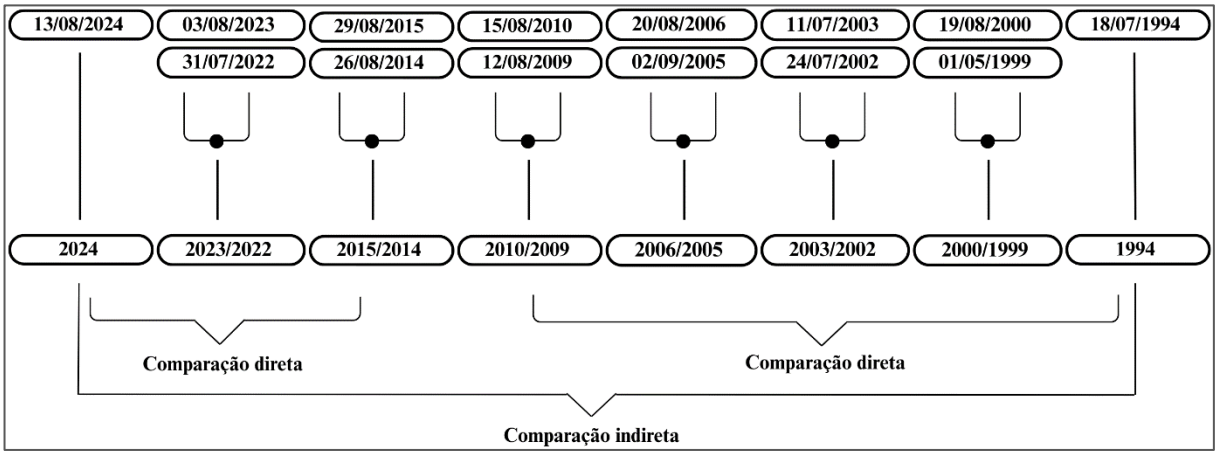
Data	Sistema sensor
13/08/2024	OLI/Landsat-9
03/08/2023	OLI/Landsat-8
31/07/2022	OLI/Landsat-8
29/08/2015	OLI/Landsat-8
26/08/2014	OLI/Landsat-8
15/08/2010	TM/Landsat-5
12/08/2009	TM/Landsat-5
20/08/2006	TM/Landsat-5
02/09/2005	TM/Landsat-5
11/07/2003	TM/Landsat-5
24/07/2002	TM/Landsat-5
19/08/2000	TM/Landsat-5
01/08/1999	TM/Landsat-5
18/07/1994	TM/Landsat-5

Fonte: USGS (2025).

As datas selecionadas para a análise correspondem ao período do inverno, estação caracterizada por menor volume pluviométrico no litoral catarinense (Monteiro, 2001). A escolha justifica-se pela menor atividade convectiva típica da estação, o que resulta em uma maior disponibilidade de imagens com baixa cobertura de nuvens – condição essencial para análises da superfície terrestre por meio de sensoriamento remoto. Adicionalmente, a seleção de imagens referentes ao mesmo período sazonal contribui para a homogeneização das condições térmicas e pluviométricas entre os anos analisados, favorecendo a comparabilidade temporal dos dados. Optou-se por selecionar imagens sempre do mesmo período do ano. No entanto, o hiato temporal de cinco anos entre as imagens de 1994 e 1999 ocorreu porque, nesse intervalo, não havia imagens disponíveis com qualidade radiométrica adequada dada a presença constante de nebulosidade.

Com o objetivo de viabilizar a representação gráfica dos resultados e reduzir a complexidade do conjunto de dados, foi adotado um procedimento de média entre pares de anos consecutivos. Essa abordagem permitiu a redução do número total de imagens de 15 para 8, sem comprometer a representatividade da série temporal. A estruturação deste agrupamento encontra-se esquematizada na Figura 4, que sintetiza o processo de simplificação adotado. Essa metodologia buscou justamente facilitar a compreensão da dinâmica urbana em um longo período. Como a tese é de que o crescimento urbano influi na variação de reflectância, o agrupamento de anos subsequentes diminui o ruído de pequenas interferências entre uma imagem e outra, mas não obstrui a detecção do crescimento urbano contínuo. Assim, optou-se por utilizar essa metodologia, que permite o aproveitamento de um volume maior de imagens disponíveis.

Figura 4 – Organização das datas utilizadas da série temporal de dados Landsat.



Fonte: Autores (2025).

Ainda na Figura 4, a "comparação direta" refere-se à análise feita entre as imagens de um mesmo sensor, enquanto a comparação "indireta" ocorre entre sensores diferentes. Embora os sensores sejam da mesma família Landsat, a calibração radiométrica do Landsat 8 (OLI) é diferente da do Landsat 5 (TM), o que inviabiliza uma comparação direta isolada. Ademais, mesmo utilizando os dados Collection 2 Level 2 (já calibrados radiometricamente para refletância de superfície), não é aconselhável realizar a comparação direta entre os dados TM e OLI devido a variações intrínsecas em suas resoluções radiométricas e nas faixas de amplitude das respostas espectrais (largura das bandas), as quais introduzem diferentes sensibilidades aos alvos captados.

A seleção das imagens foi realizada com base na ausência de nebulosidade sobre a área de estudo, garantindo a qualidade radiométrica e espectral dos dados utilizados. As imagens pertencem à Landsat Collection 2 (C2), a qual já apresenta correções atmosféricas e geométricas aplicadas de forma padronizada, conforme procedimentos descritos por Teixeira Pinto *et al*. (2020) e Xu e Guo (2014). Após a seleção, foram desenvolvidos scripts na plataforma Google Earth Engine (GEE) para o processamento das variáveis de interesse, otimizando a extração de informações geográficas de forma automatizada e replicável.

Para a estimativa do albedo de superfície no município de Balneário Camboriú, foi aplicada a equação específica para esse parâmetro (Equação 1), amplamente empregada em estudos de sensoriamento remoto. A metodologia adotada fundamenta-se em parâmetros de conversão previamente validados na literatura, assegurando a consistência dos resultados obtidos (Shuai *et al*., 2014; Wang *et al*., 2016). Ressalta-se que o uso dessa equação permite a quantificação da fração de radiação solar refletida pela superfície terrestre, sendo um indicador relevante para análises ambientais e urbanas.

$$\propto_{SR} = \mathcal{B}_{blue} \text{ x } \mathcal{P}_{blue} + \mathcal{B}_{green} \text{ x } \mathcal{P}_{green} + \mathcal{B}_{red} \text{ x } \mathcal{P}_{red} + \mathcal{B}_{nir} \text{ x } \mathcal{P}_{nir} + \mathcal{B}_{swir\,1} \text{ x } \mathcal{P}_{swir\,1} + \mathcal{B}_{swir\,2} \text{ x } \mathcal{P}_{swir\,2} + \mathcal{B}_0 \qquad (1)$$

A Equação 1 representa a multiplicação das reflectâncias das bandas espectrais (ρ) pelos respectivos coeficientes de ponderação (Ɓ), os quais diferem conforme o sensor utilizado. Esses coeficientes são aplicados com o objetivo de estimar o albedo de superfície, a partir da combinação ponderada das bandas do espectro solar refletido, conforme as especificidades radiométricas dos sensores TM/Landsat-5 e OLI/Landsat-8.

Com base na metodologia proposta por Oliveira *et al*. (2020), foram adotados coeficientes de correção específicos para cada sensor, conforme apresentado na Tabela 2. Tais

coeficientes foram obtidos a partir de estudos de calibração empírica e são fundamentais para garantir a comparabilidade dos dados provenientes de diferentes gerações de sensores.

A aplicação dessa equação possibilita a obtenção do albedo de superfície com maior acurácia, considerando as características espectrais e radiométricas de cada plataforma orbital. Esse procedimento é essencial para análises ambientais que dependem da estimativa precisa do balanço de energia na superfície terrestre.

Tabela 2 – Coeficientes utilizados no cálculo do albedo de superfície.

Sistema sensor	B_{blue}	B_{green}	B_{red}	B_{NIR}	B_{SWIR1}	B_{SWIR2}	B_0
OLI	0,2453	0,0508	0,1804	0,3081	0,1332	0,0521	0,0011
TM	0,3206	0,0000	0,1572	0,3666	0,1162	0,0457	0,0063

Fonte: adaptado de OLIVEIRA *et al*., (2020).

A estimativa do albedo de superfície foi realizada na plataforma Google Earth Engine (GEE), com base na Equação 1 e nos coeficientes espectrais apresentados na Tabela 2. As imagens processadas foram recortadas conforme os limites territoriais do município de Balneário Camboriú (SC). Para fins de interpretação visual, foram aplicadas modificações cromáticas que facilitaram a identificação de variações espaciais do albedo no ambiente urbano.

A análise dos valores de albedo foi conduzida em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), tomando como referência os parâmetros descritos por Oke e Voogt (2017). Considerando que o albedo varia entre 0,0 (absorção total) e 1,0 (reflexão total), valores mais elevados foram interpretados como indicativos de maior refletância da radiação solar, enquanto valores mais baixos sugerem maior absorção de energia pela superfície urbana. Essa relação permite inferir padrões espaciais de retenção e dissipação de energia no meio urbano.

A Temperatura de Superfície Terrestre (TST), expressa em graus Celsius, foi obtida a partir das bandas térmicas dos sensores TIRS dos satélites Landsat 8 e 9 (banda 10) e TM do Landsat 5 (banda 6). O procedimento seguiu as diretrizes metodológicas descritas por Corrêa e Coelho (2013), Pires e Ferreira (2015) e Hendges *et al*. (2020), que indicam a utilização de fatores fixos de conversão extraídos dos metadados dos arquivos MTL. No ambiente do GEE, o cálculo foi automatizado, aplicando-se o fator de escala (0,00341802) e o deslocamento (149), seguido da conversão das temperaturas de Kelvin para Celsius. As imagens resultantes foram exportadas

e analisadas no software QGIS, sendo este empregado para a elaboração dos mapas finais, bem como para o cálculo das estatísticas (média, desvio padrão, valores máximos e mínimos).

Os índices espectrais NDVI e NDBI foram calculados com base nas medidas de reflectância de superfície obtidas a partir da série temporal de imagens Landsat 5, 8 e 9. O NDVI foi estimado para todas as datas por meio da Equação 2, enquanto o NDBI foi derivado utilizando a Equação 3. Ambos os índices foram processados no Google Earth Engine.

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \quad (2)$$

$$\mathrm{NDBI} = \frac{\rho_{SWIR} - \rho_{NIR}}{\rho_{SWIR} + \rho_{NIR}} \quad (3)$$

Onde: ρ_{NIR} corresponde à banda dos comprimentos de onda do infravermelho próximo (banda 5 dos sensores OLI/Landsat-8/9 e banda 4 do sensor TM/Landsat-5), ρ_{red} à banda correspondente aos comprimentos de onda do vermelho do espectro eletromagnético (banda 4 dos sensores OLI/Landsat-8/9 e banda 3 do sensor TM/Landsat-5) e ρ_{SWIR} à banda da faixa do infravermelho de ondas curtas (banda 6 dos sensores OLI/Landsat-8/9 e banda 5 do sensor TM/Landsat-5, conforme catálogo base de bandas).

Após a geração dos índices NDVI e NDBI em ambiente SIG, foi realizado o recorte espacial correspondente ao município de Balneário Camboriú. Esses dados foram posteriormente compilados, possibilitando a elaboração de mapas temáticos que suportam análises estatísticas e o cálculo de percentis para avaliar a variação temporal dos índices ao longo dos anos. Ressalta-se que a extração dos valores (estatísticas descritivas) por bairro e o cálculo das médias entre as datas não utilizaram reducers no GEE, mas foram integralmente desenvolvidos no QGIS a partir dos arquivos vetoriais correspondentes aos polígonos dos bairros (considerando as médias entre todos os pixels).

Para garantir a precisão na análise temporal, os dados provenientes do sensor TM e dos sensores OLI não foram comparados diretamente, uma vez que apresentam diferenças no balanço radiométrico. Assim, as comparações percentis foram realizadas exclusivamente entre as datas correspondentes a cada sensor, conforme ilustrado na Figura 4. Essa abordagem permite a avaliação da tendência de variação e do contraste térmico da reflectância entre os diferentes bairros de Balneário Camboriú.

Após a análise dos índices, os resultados foram confrontados com a média diária da

temperatura do ar derivada do modelo de reanálise climática ERA5. Conforme destacado por Hersbach *et al*. (2020), citado por Cavalleri *et al*. (2024), os dados do ERA5 representam uma base de última geração para estudos climáticos. Além disso, a temperatura média do ar obtida por meio do ERA5 apresenta alta correlação com os dados observados em estações meteorológicas convencionais, conforme demonstrado por De Araújo *et al*. (2025).

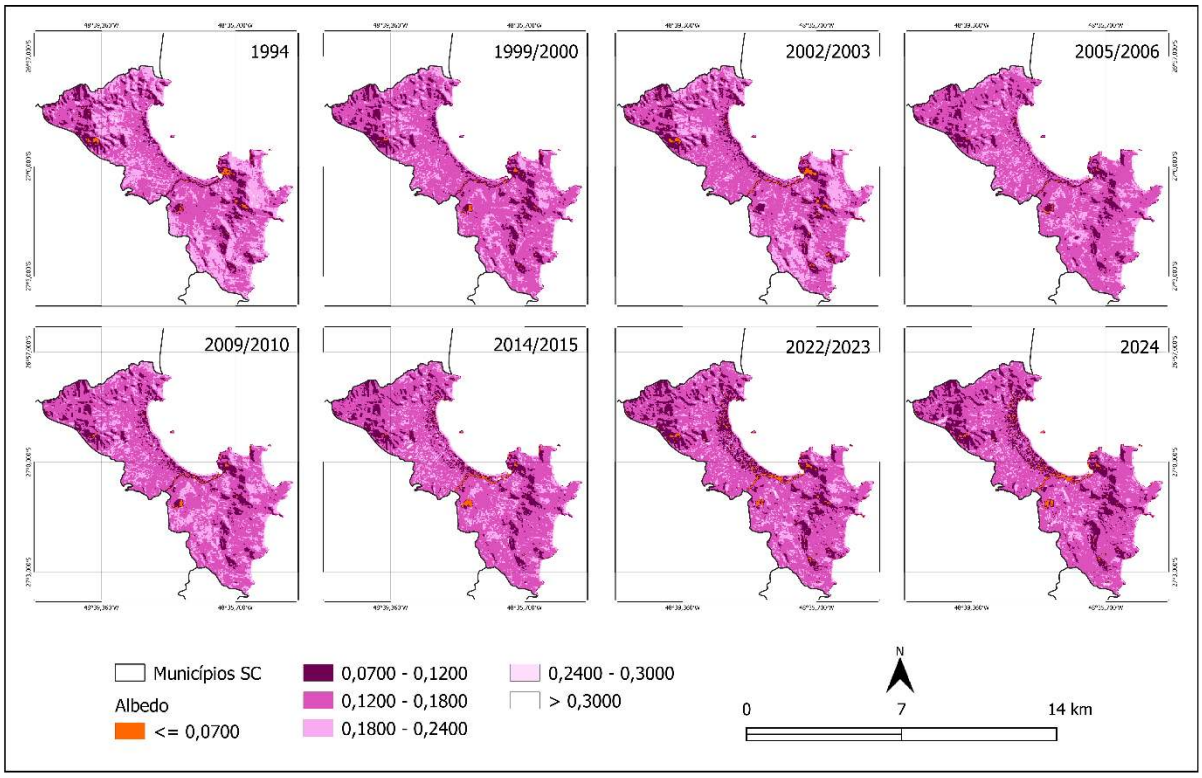
A relação entre as variáveis foi avaliada por meio do coeficiente de correlação linear de Pearson (r), com significância verificada pelo teste t bilateral ($\alpha = 0,05$). Para cada data, a correlação foi calculada entre os valores médios dos 14 bairros ($n = 14$), de modo a evitar a comparação direta de valores absolutos entre datas e sensores distintos, e o coeficiente médio do período foi obtido pela transformação z de Fisher. Adicionalmente, a TST média municipal de cada data, obtida a partir dos valores médios dos bairros, foi correlacionada com a temperatura média diária do ar do ERA5 na data de aquisição da imagem ($n = 14$), com o objetivo de avaliar a influência das condições meteorológicas do dia sobre os valores de TST. As análises estatísticas foram realizadas em linguagem Python, com as bibliotecas pandas e SciPy.

3. RESULTADOS

3.1 Análise do albedo de superfície

A figura 5 ilustra essa variação por meio das mudanças cromáticas que representam os valores de albedo de superfície ao longo do período estudado, evidenciando a dinâmica espacial da refletância superficial nos bairros analisados. Cabe destacar que os valores mais baixos, constatados isoladamente em determinados cenários (como em 2023), foram previamente avaliados a partir de rigorosos filtros de nuvem aplicados à área de estudo e regiões limítrofes, assegurando que não se tratam de sombras de nuvens projetadas.

Figura 5 – Variação do Albedo de Superfície entre 1994 a 2024.



Fonte: Autores (2025).

Na análise realizada para o ano de 1994, com dados obtidos pelo sensor TM, os bairros que apresentaram os maiores valores médios de albedo foram Praia dos Amores (0,1761), Nações (0,1758) e Municípios (0,1746). Por outro lado, os menores valores médios de albedo foram registrados nos bairros de Várzea do Ranchinho (0,1360) e de Pioneiros (0,1381). Observa-se, portanto, que o albedo médio em Praia dos Amores foi 22,77% superior ao registrado em Várzea do Ranchinho, indicando diferenças significativas na refletância superficial entre essas áreas. A diferença entre as faixas de albedo (por exemplo, a oscilação entre 0,14 e 0,18) não é interpretada como ruído, mas sim como uma variação representativa e real da superfície. Como os bairros comparados possuem diferentes níveis de urbanização (Várzea do Ranchinho é predominantemente arborizado/vegetado, o que pode ser aferido no NDVI), infere-se tratar de superfícies com características espectrais distintas

Para o período de 2009/2010, o bairro Municípios apresentou o maior valor médio de albedo (0,1697), seguido por Nova Esperança (0,1668) e Praia dos Amores (0,1604). Comparativamente, o bairro Praia dos Amores, que detinha o maior valor em 1994, apresentou uma redução percentual de 8,9% em seu albedo médio. Em relação aos bairros com os menores valores de albedo nesse intervalo temporal, destacam-se o Pioneiros (0,1336) e o Várzea do

Ranchinho (0,1361). Essas variações indicam que, nessas áreas, o balanço do albedo manteve-se relativamente estável ao longo do período analisado.

O bairro Centro, destacado na análise devido à sua variação altimétrica, apresentou uma leve redução no valor médio de albedo, passando de 0,1594 em 1994 para 0,1526 em 2009/2010, o que corresponde a uma queda de 4,26

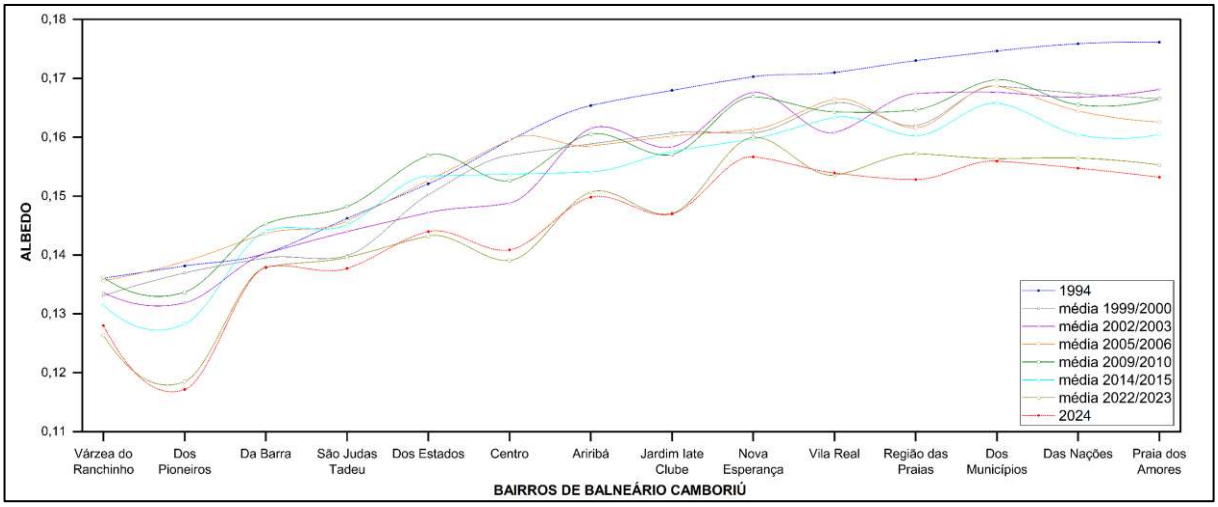
Na análise realizada para o período de 2014/2015, os bairros que apresentaram as maiores médias de albedo foram Municípios (0,1657), Vila Real (0,1634) e Praia dos Amores (0,1604). Por outro lado, os bairros com as menores médias de albedo nesse intervalo foram o Pioneiros (0,1282) e o Várzea do Ranchinho (0,1314). Observa-se que a média de albedo no bairro Municípios foi 22,63% superior à registrada no bairro Pioneiros, evidenciando uma variação espacial significativa entre áreas urbanas de características distintas. Ao comparar a diferença percentual entre as maiores e menores médias de albedo para os anos de 1994 e 2014/2015, verifica-se uma variação marginal, da ordem de 0,14%, indicando estabilidade relativa na distribuição espacial do albedo nesse intervalo temporal.

Para o ano de 2024, o bairro que apresentou o maior valor médio de albedo foi Nova Esperança (0,1566), seguido por Municípios (0,1559) e Nações (0,1547). Destaca-se que o bairro Municípios, que apresentou o maior albedo em 2014/2015, registrou uma redução percentual de 5,91% até 2024. Os bairros com menores médias de albedo no mesmo ano foram o Pioneiros (0,1171) e o Várzea do Ranchinho (0,1280), os quais apresentaram quedas percentuais de 8,65% e 2,58%, respectivamente. Apesar dessas reduções, ambos mantiveram as menores médias de albedo entre os bairros do município, evidenciando persistência das características superficiais que influenciam o albedo local.

O bairro Centro apresentou uma variação mais expressiva no período analisado. A média de albedo de superfície em 2014/2015 foi de 0,1536, enquanto em 2024 essa média caiu para 0,1408, correspondendo a uma redução de 8,33%. Essa diminuição, embora aparentemente contraditória diante do aumento da área construída no bairro, pode ser explicada pelo incremento das áreas sombreadas resultantes da verticalização emergente da região em conjunto com a projeção constante de nuvens. Como a área sombreada possui albedo naturalmente menor que superfícies expostas à radiação direta, tal fenômeno contribuiu para a redução observada no albedo médio. Identifica-se, nesse contexto, um padrão espacial de albedo inferior a 0,12, que nas áreas intensamente urbanizadas é justificado pela densa projeção de sombra proporcionada pelas

edificações. Nas áreas limítrofes acidentadas (como demonstrado na carta hipsométrica), esse limiar de albedo também reflete o natural sombreamento gerado pelos morros. Conforme ilustrado na Figura 6, a tendência geral nos bairros de Balneário Camboriú é a redução progressiva da média de albedo, culminando em 2024 com o menor valor registrado em toda a série temporal analisada.

Figura 6 – Gráfico de variação do Albedo de Superfície entre 1994 a 2024.



Fonte: Autores (2025).

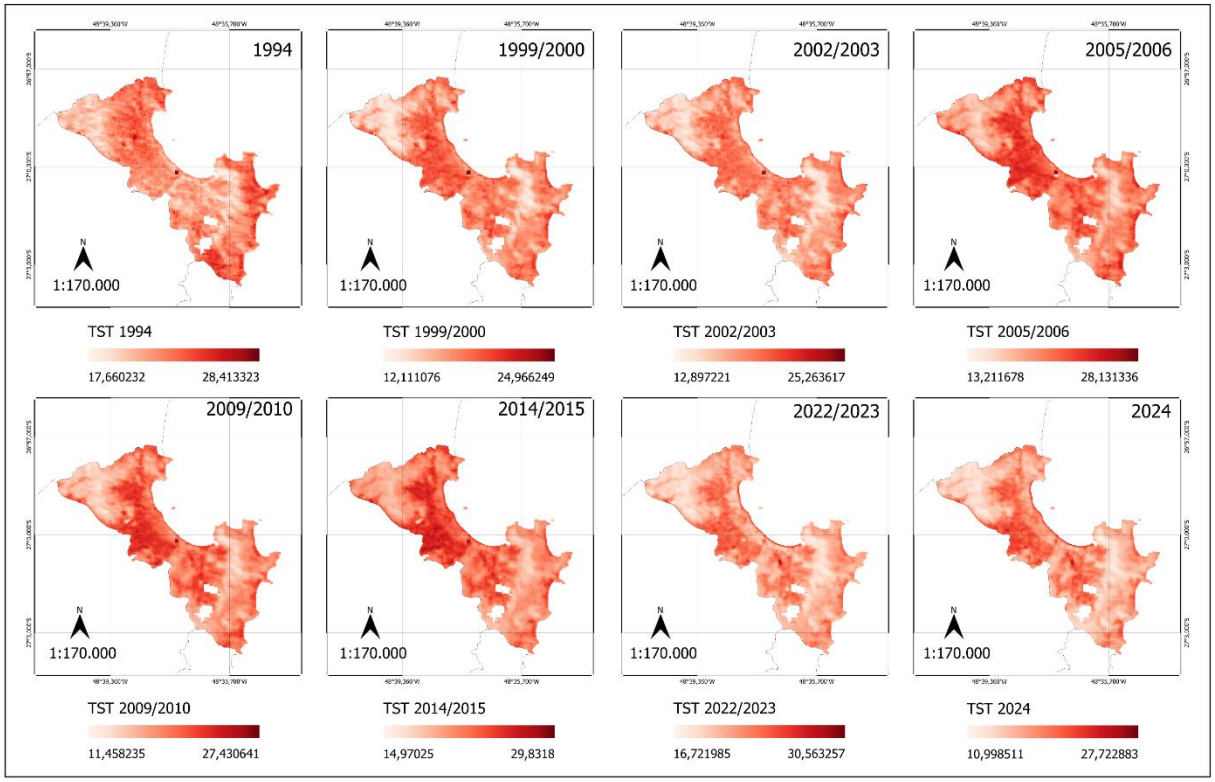
3.2 Temperatura de superfície

A Figura 7 destaca um aspecto mais relevante que a mera quantificação da variação da TST: a modificação do contraste térmico entre os bairros para cada ano avaliado em Balneário Camboriú, evidenciando alterações espaciais na distribuição da temperatura superficial urbana ao longo do tempo.

Em 1994, os bairros com as maiores médias de temperatura da superfície terrestre (TST) em Balneário Camboriú foram Praia dos Amores (23,04 °C), Nações (22,79 °C) e Ariribá (22,63 °C). Por outro lado, os menores valores médios de TST foram observados nos bairros Várzea do Ranchinho (20,10 °C), Barra (20,40 °C) e São Judas Tadeu (20,74 °C). A amplitude térmica entre o bairro mais quente, Praia dos Amores, e o mais frio, Várzea do Ranchinho, foi de 2,94 °C, correspondendo a uma diferença relativa de 12,76% na TST média. Neste ano em particular (1994), nota-se que a TST detinha um padrão mais uniforme pelo município. A principal hipótese para a variação heterogênea desse padrão nas décadas seguintes concentra-se, novamente, no avanço da verticalização, que introduziu padrões irregulares de

sombras, modificando assim as refletâncias e gerando oscilações espaciais mais severas da TST.

Figura 7 – Variação da Temperatura de Superfície entre 1994 a 2024.



Fonte: Autores (2025).

Na análise referente ao período de 2009/2010, o bairro Jardim Iate Clube apresentou a maior média de TST (21,28 °C), seguido por Vila Real (21,24 °C) e Municípios (21,21 °C). Em contraste, os menores valores médios foram registrados em Várzea do Ranchinho (15,35 °C) e São Judas Tadeu (17,10 °C). A amplitude térmica entre o bairro com maior e menor temperatura atingiu 5,93 °C, o que corresponde a uma redução relativa de 27,86% na TST média do bairro mais frio. Esse aumento na amplitude térmica, quando comparado ao ano de 1994, representa um acréscimo de aproximadamente 15,1% no contraste térmico entre os extremos da cidade.

O bairro Centro, por sua vez, apresentou uma TST média de 22,22 °C em 1994, posicionando-se como o quinto bairro com maiores temperaturas médias no município. No período de 2009/2010, a média de TST do Centro foi de 20,52 °C, ocupando a quarta posição entre os bairros mais quentes de Balneário Camboriú.

As temperaturas superficiais apresentaram variações significativas entre os períodos analisados, inviabilizando a aplicação de intervalos de classe homogêneos para comparação

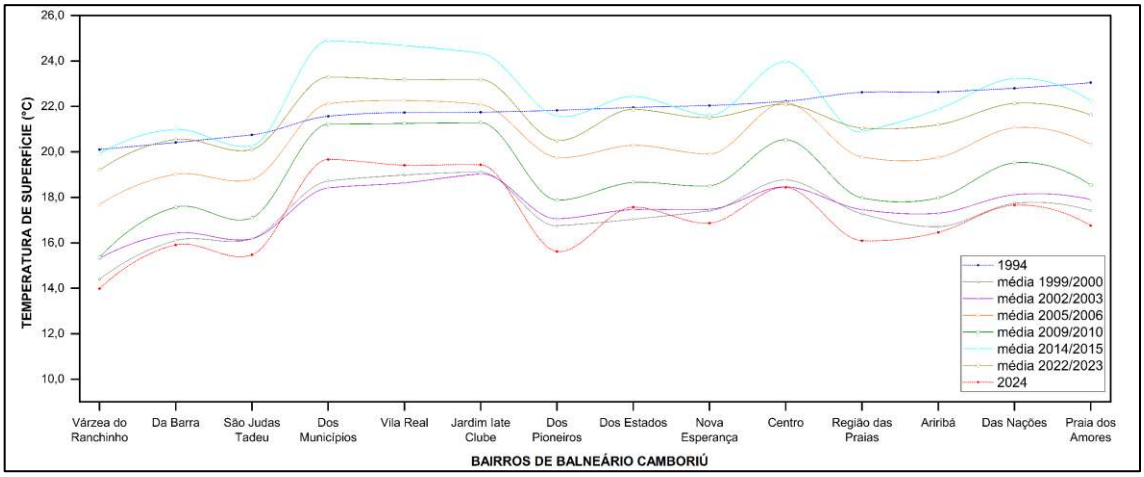
direta.

Nas datas analisadas por meio dos sensores OLI, os bairros com as maiores médias de temperatura da superfície terrestre (TST) em 2014/2015 foram Municípios (24,88°C), Vila Real (24,67°C) e Jardim Iate Clube (24,33 °C). Em contraste, os bairros com as menores médias de TST foram Várzea do Ranchinho (19,91°C) e São Judas Tadeu (20,10°C). Observa-se, portanto, uma amplitude térmica de 4,97 °C entre o bairro com a maior e o com a menor temperatura média neste período.

Na análise referente a 2024, os maiores valores médios de TST foram registrados nos bairros Municípios (19,66°C), Jardim Iate Clube (19,42°C) e Vila Real (19,41°C), enquanto os menores valores concentraram-se em Várzea do Ranchinho (13,98°C) e São Judas Tadeu (15,47°C). A amplitude térmica entre os bairros Municípios e Várzea do Ranchinho aumentou para 5,68°C. Essa variação indica uma intensificação do contraste térmico entre os bairros ao longo da série histórica de 30 anos.

Adicionalmente, observa-se que, em 2024, o bairro com a maior média de TST apresentou temperatura 28,89% superior àquela do bairro com a menor média, enquanto em 1994 essa diferença correspondia a 12,76%. Isso evidencia um aumento de 16,13% no contraste térmico entre os extremos da cidade no período analisado. No bairro Centro, a média de TST em 2014/2015 foi de 23,96°C, valor 3,69% inferior ao registrado nos bairros com as maiores temperaturas médias. Em 2024, essa média diminuiu para 18,43 °C, representando um contraste térmico de 6,25% em relação aos bairros mais quentes. Esse incremento no contraste térmico do bairro Centro está associado à verticalização urbana, que promove sombreamento e, consequentemente, reduz a TST local. Conforme ilustrado na figura 8, verifica-se um aumento progressivo no contraste térmico ao longo da série temporal analisada.

Figura 8 – Gráfico de variação da Temperatura de Superfície entre 1994 a 2024.

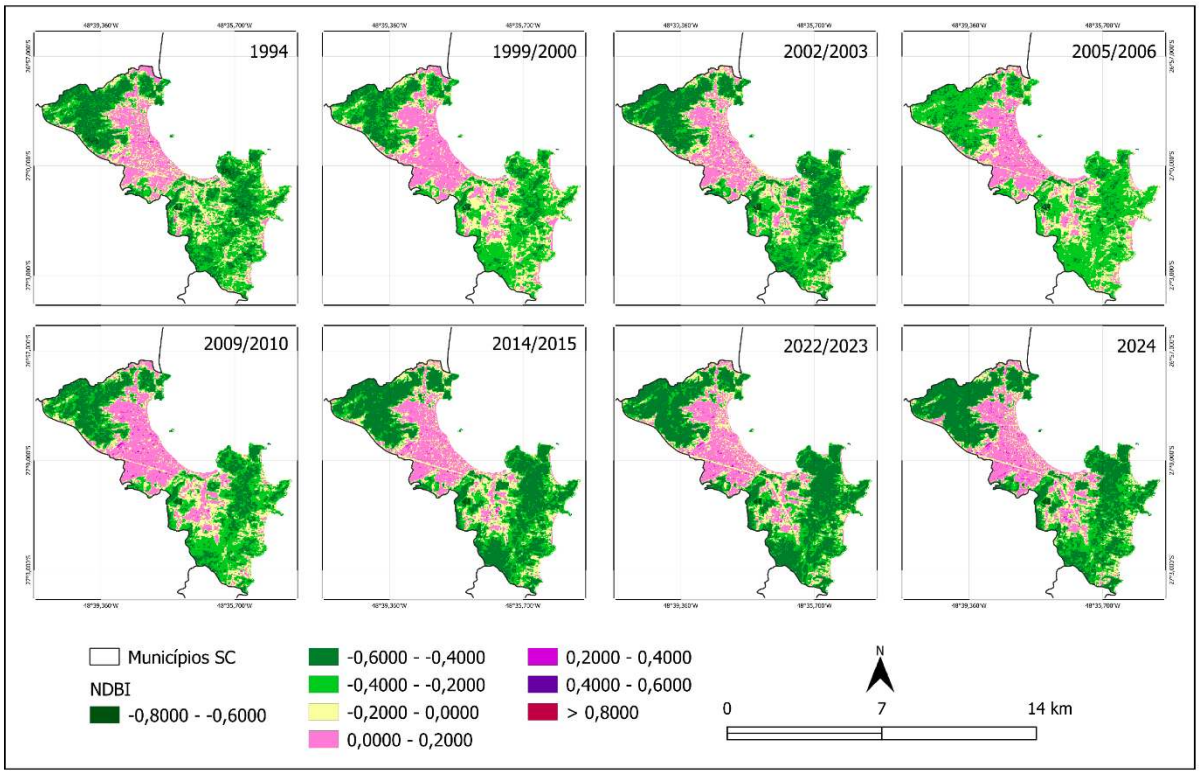


Fonte: Autores (2025).

3.3 Avaliação da urbanização

Os dados provenientes do sensor TM, conforme ilustrado na figura 9, evidenciam um aumento médio significativo do NDBI nos bairros já urbanizados em 1994 e diminuição do NDBI nas áreas com menor densidade populacional. A priori, o NDBI tem o propósito de mensurar áreas urbanas. Assim, as oscilações encontradas refletem, de maneira generalizada, o processo de expansão da urbanização, ainda que fatores atípicos (como supressão vegetal pontual e exposição de solo nu por outros motivos) possam exercer influências residuais isoladas no índice.

Figura 9 – Variação do NDBI entre 1994 a 2024.



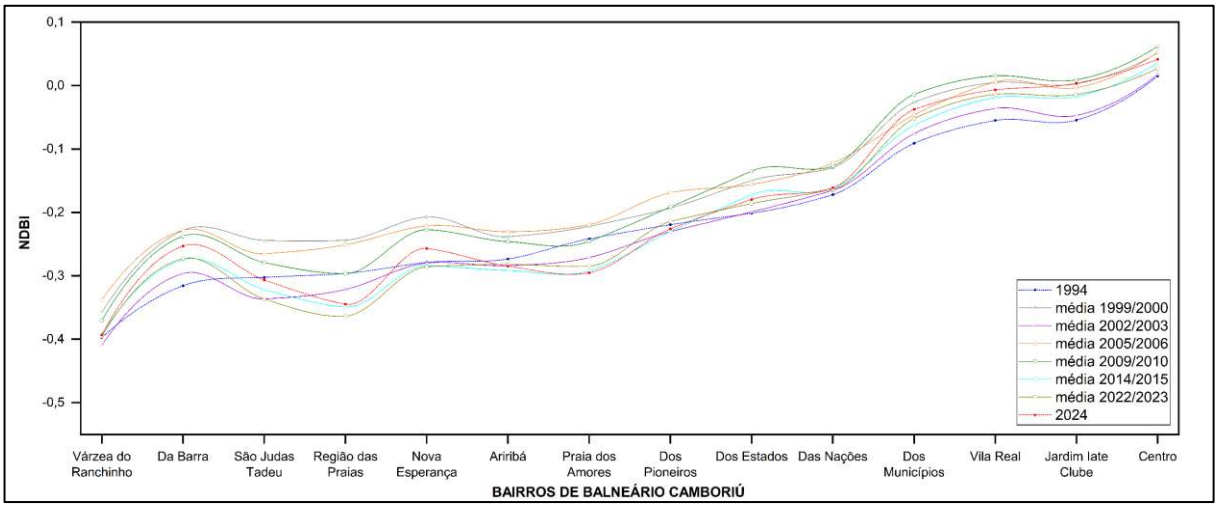
Fonte: Autores (2025).

Em 1994, os bairros Centro (0,0150), Jardim Iate Clube (-0,0545) e Vila Real (-0,0550) apresentaram as maiores médias de NDBI, enquanto Várzea do Ranchinho (-0,3973) e Barra (-0,3157) registraram os menores valores. Para o período de 2009/2010, observou-se que Centro (0,0619), Vila Real (0,0152) e Jardim Iate Clube (0,0089) mantiveram as maiores médias, ao passo que Várzea do Ranchinho (-0,3704) e Região das Praias (-0,2966) continuaram com os menores índices. Essa evolução indica expansão da área construída nos bairros destacados.

Na análise dos dados do sensor OLI, observou-se que, no período de 2014/2015, os bairros com maiores médias do índice normalizado de construção foram Centro (0,0358), Jardim Iate Clube (-0,1749) e Vila Real (-0,0119). Em contrapartida, os menores valores médios de NDBI foram registrados nos bairros Várzea do Ranchinho (-0,3973) e Região das Praias (-0,3490). Para o ano de 2024, o Centro manteve a maior média (0,0415), seguido por Jardim Iate Clube (0,0035) e Vila Real (-0,0067), enquanto Várzea do Ranchinho (-0,3952) e Região das Praias (-0,3447) apresentaram as menores médias.

A comparação entre os períodos evidencia um aumento do NDBI no bairro Centro, indicando crescimento da urbanização nessa área. Essa tendência é claramente ilustrada na Figura 10, que destaca o incremento do índice na região central ao longo da série temporal analisada. Assim, os resultados confirmam a intensificação da ocupação urbana no Centro entre 2014 e 2024.

Figura 10 – Gráfico de variação do NDBI entre 1994 e 2024.

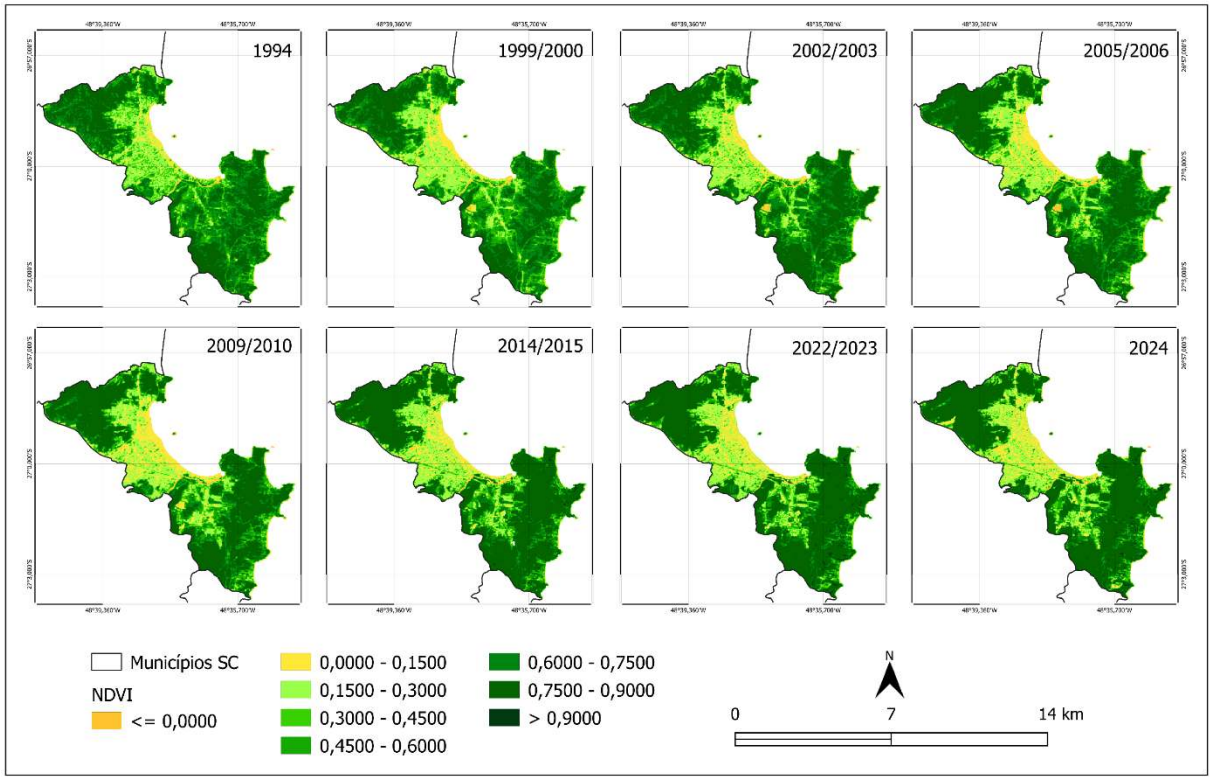


Fonte: Autores (2025).

3.4 Análise da cobertura vegetal

Conforme ilustra a Figura 11, é possível perceber uma expansão da área fotossinteticamente ativa (NDVI) em diferentes áreas do município.

Figura 11 – Variação do NDVI entre 1994 e 2024.



Fonte: Autores (2025).

Na análise referente ao ano de 1994, os bairros que apresentaram as maiores médias de NDVI foram Várzea do Ranchinho (0,7354), Região das Praias (0,6930) e São Judas Tadeu (0,6760). Por outro lado, os menores valores médios de NDVI foram observados nos bairros Centro (0,2480) e Jardim Iate Clube (0,3571). Destaca-se que a média do NDVI em Várzea do Ranchinho foi 66,27% superior à registrada no bairro Centro, evidenciando maior cobertura vegetativa na primeira área.

No período de 2009/2010, os bairros com maiores médias de NDVI mantiveram-se os mesmos, com Várzea do Ranchinho (0,7597), Região das Praias (0,6964) e São Judas Tadeu (0,6685) novamente em destaque. Comparativamente a 1994, observa-se um aumento no contraste dos valores médios de NDVI entre os bairros analisados. Enquanto em 1994 a diferença percentual entre Várzea do Ranchinho e o bairro Centro era de 66,27%, em 2009/2010 essa diferença elevou-se para 78,97%, correspondendo a um aumento de 12,69% no contraste entre os extremos.

Quanto aos bairros com menor NDVI médio em 2009/2010, permanecem Centro (0,1597) e Jardim Iate Clube (0,2920). Essa redução indica uma perda significativa de área fotossinteticamente ativa, especialmente no bairro Centro e, de forma mais acentuada, no

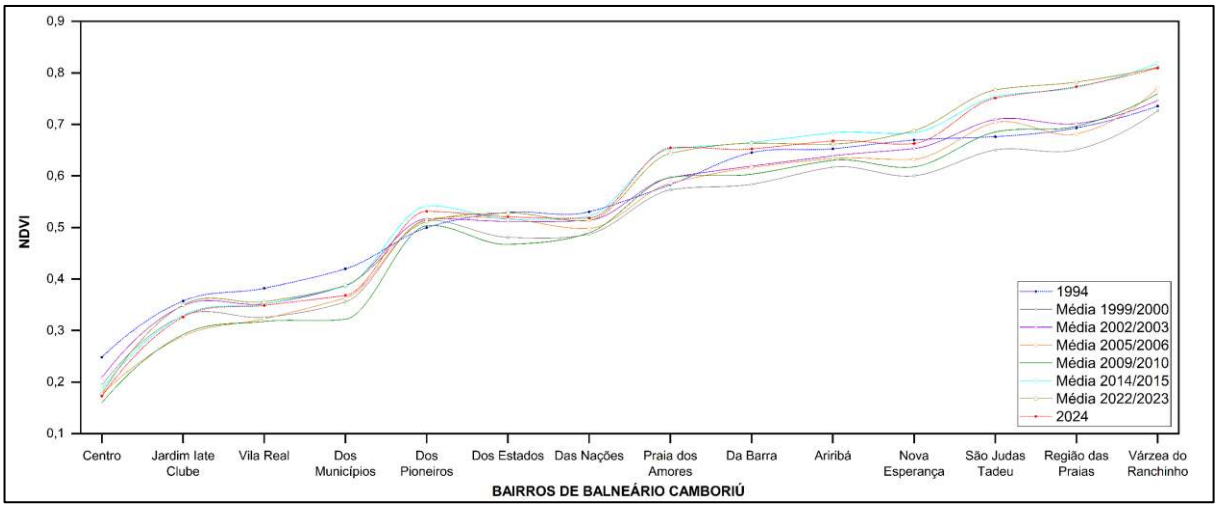
bairro São Judas Tadeu. Em contrapartida, os bairros com maiores médias de NDVI em 1994 apresentaram incremento nos valores até 2009/2010,

Na análise referente ao período 2014/2015, os bairros que apresentaram os maiores valores médios de NDVI foram Várzea do Ranchinho (0,8180), Região das Praias (0,7715) e São Judas Tadeu (0,7532). Por outro lado, os menores valores médios foram registrados no Centro (0,1860) e Jardim Iate Clube (0,3294). Nesse contexto, o NDVI médio de Várzea do Ranchinho foi 77,25% superior ao registrado no Centro, evidenciando um gradiente significativo na cobertura vegetal entre os bairros analisados.

Em 2024, a distribuição dos valores médios de NDVI manteve a mesma ordem, com Várzea do Ranchinho (0,8094), Região das Praias (0,7732) e São Judas Tadeu (0,7510) apresentando os maiores índices. Entretanto, observou-se um aumento no contraste entre os bairros, uma vez que o NDVI médio de Várzea do Ranchinho passou a ser 78,66% superior ao do Centro, representando um incremento percentual de 1,41% em relação ao período anterior. Essa variação indica uma intensificação na diferenciação da cobertura vegetal entre as áreas avaliadas ao longo do tempo.

Os bairros com os menores NDVI médios em 2024 continuam sendo o Centro (0,1727) e Jardim Iate Clube (0,3260), refletindo uma tendência de redução da área com atividade fotossintética. Essa diminuição é visualmente representada na Figura 12, que ilustra a evolução temporal da vegetação nos diferentes bairros.

Figura 12 – Variação do NDVI entre 1994 e 2024.

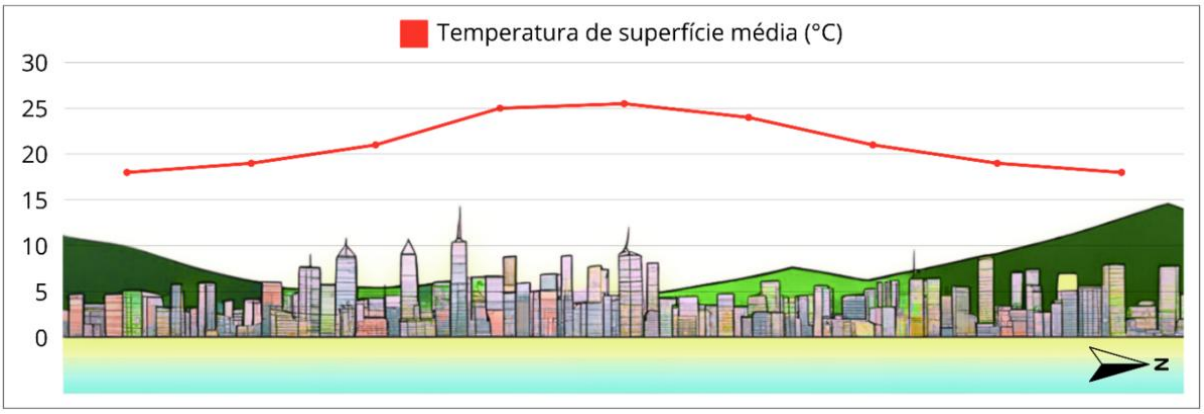


Fonte: Autores (2025).

3.5 Análise integrada e discussão

De modo geral, a figura 13 evidencia que a temperatura da superfície tende a aumentar com o grau de urbanização da área (Guilherme, 2022). Observa-se uma correlação significativa entre os índices NDBI, NDVI e a TST, indicando que regiões com maior NDVI apresentam temperaturas superficiais mais baixas em comparação a áreas urbanizadas, caracterizadas por baixos valores de NDVI. Assim, a dinâmica entre cobertura vegetal e ocupação urbana reflete diretamente na variação espacial da temperatura superficial. Salienta-se que a Figura 13 se trata de uma projeção estritamente imagética, não pretendendo representar de forma exata a arquitetura da cidade de Balneário Camboriú, mas atuando como recurso de elucidação.

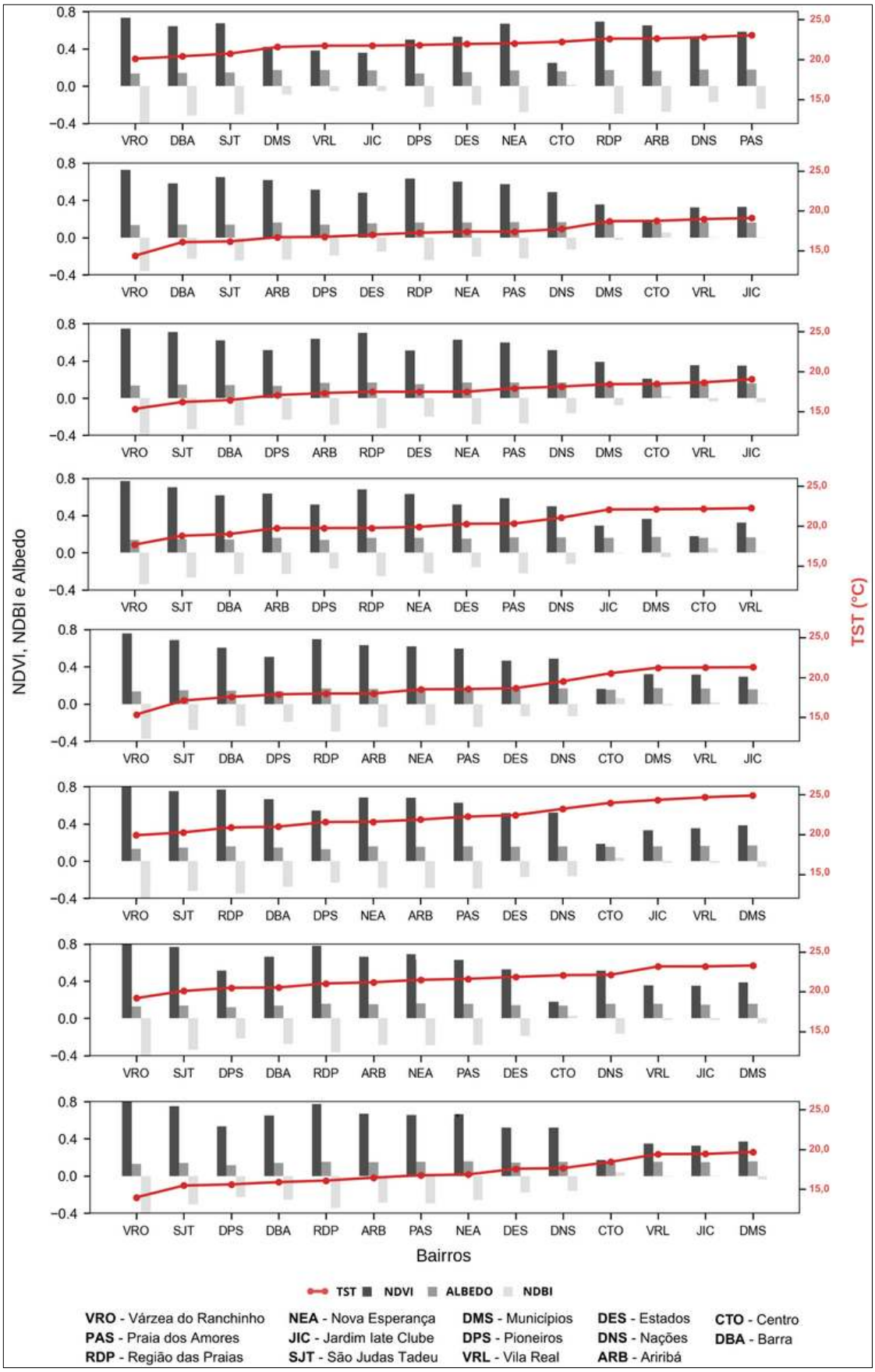
Figura 13 – Ilustração da variação da TST ao longo da área urbana.



Fonte: Autores (2025).

Considerando o contexto apresentado, a Figura 14 ilustra a série histórica analisada, evidenciando a existência de uma relação direta entre o NDBI, o NDVI e a TST. Essa associação reflete a interação entre a cobertura do solo urbano, a vegetação e a variabilidade térmica observada na área estudada. Dessa forma, os índices espectrais empregados demonstram correlação significativa com as variações da temperatura superficial ao longo do período avaliado.

Figura 14 – Variáveis e suas respectivas séries históricas.



Fonte: Autores (2025).

Como é possível visualizar na figura 14, a TST, representada em graus Celsius, tende a ser mais alta onde há NDBI médio próximo de 0. Nesse sentido, o coeficiente de correlação de Pearson médio entre o NDBI e a TST foi de 0,90 (Tabela 3) – o que também foi alcançado em outros trabalhos, conforme apresenta Guha, Govil e Gill, (2018). No entanto, no bairro Centro há uma importante ressalva. Apesar do aumento da área construída, reverberando em aumento do NDBI, a TST do local diminuiu, possivelmente em função do intenso sombreamento. Ressalta-se, contudo, que essa interpretação constitui uma hipótese, pois a TST absoluta varia fortemente entre as datas em função das condições meteorológicas do dia de aquisição (Figura 16), e o efeito do sombreamento não foi testado estatisticamente neste trabalho.

A análise de correlação de Pearson realizada entre os bairros em cada data (Tabela 3 e Figura 15) indica que a TST apresentou correlação significativa ($p < 0,05$) com o NDBI (r médio = 0,90), com o NDVI (r médio = −0,84) e com o albedo (r médio = 0,68) em 13 das 14 datas analisadas. Esse resultado demonstra que, independentemente das condições meteorológicas de cada data, os bairros com maior área construída e menor cobertura vegetal apresentam, sistematicamente, temperaturas superficiais mais elevadas. Ressalta-se que o NDVI e o NDBI apresentaram correlação quase perfeita entre si (r médio = −0,99), de modo que, na escala dos bairros, ambos expressam essencialmente o mesmo gradiente de cobertura do solo, e suas correlações com a TST não devem ser interpretadas como evidências independentes. Da mesma forma, a correlação positiva entre albedo e TST, contrária à relação física esperada (maior refletância associada a menor aquecimento da superfície), reflete sobretudo o contraste entre as encostas vegetadas, de menor albedo e menor TST, e as áreas urbanizadas, indicando que, nessa escala, o albedo atua principalmente como indicador da cobertura do solo.

As exceções foram a imagem de 1994, na qual as correlações da TST com o NDVI (r = −0,24) e com o NDBI (r = 0,34) não foram significativas, e a imagem de 2010, na qual a correlação entre albedo e TST (r = 0,52) também não foi significativa. O resultado de 1994 é coerente com a distribuição espacial mais homogênea da TST observada nessa data: a partir de 1999, as correlações tornaram-se fortes e significativas em todas as datas, indicando que a ocupação do solo passou a diferenciar termicamente os bairros. Contudo, a mudança abrupta em um intervalo de cinco anos sugere que condições específicas da cena de 1994

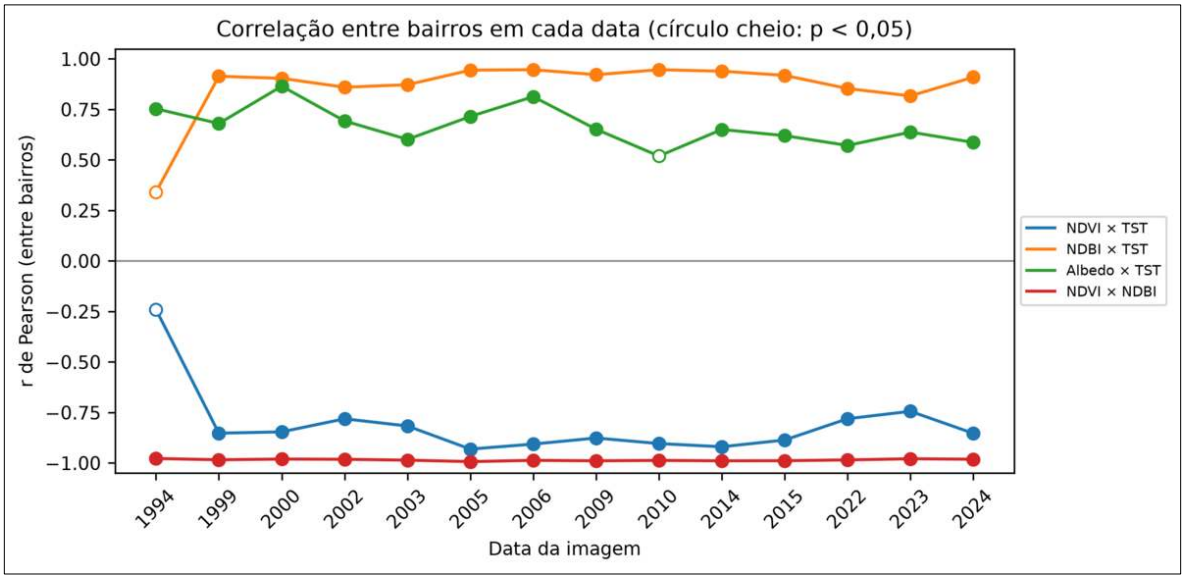
também possam ter contribuído para esse resultado.

Tabela 3 – Correlação de Pearson entre os bairros em cada data: síntese do período (1994–2024).

Par de variáveis	r médio	r mínimo	r máximo	Datas com p < 0,05
NDVI × TST	−0,84	−0,93	−0,24	13/14
NDBI × TST	0,90	0,34	0,95	13/14
Albedo × TST	0,68	0,52	0,86	13/14
NDVI × NDBI	−0,99	−0,99	−0,98	14/14

Fonte: Autores (2025). Nota: r médio calculado pela transformação z de Fisher; n = 14 bairros em cada data.

Figura 15 – Correlação de Pearson entre os bairros em cada data (círculo cheio: p < 0,05).



Fonte: Autores (2025).

O NDBI, por sua vez, teve uma variação completamente coerente com a realidade. De fato, de acordo com o IBGE(2022), houve um estridente aumento populacional em Balneário Camboriú. Não obstante, o próprio marketing do município, que o vende como a "Dubai brasileira", agrega na especulação imobiliária, que aumenta exponencialmente a área construída do município – reverberando no aumento do NDBI, conforme afirma Alademomi (2022).

Em relação ao albedo de superfície, observou-se uma lógica semelhante à TST no bairro Centro. Com o aumento vertical, houve queda do albedo da superfície. Logo, dada a definição de Júnior e Dantas (2018), que o define como a fração da radiação que incide sobre uma superfície e é refletida - determinada pelo coeficiente de reflexão, que varia conforme o tipo de material superficial – tornou-se possível inferir que houve alteração da incidência

direta de radiação, afetando o albedo da superfície e, por extensão, o equilíbrio de radiação do bairro Centro. Mudanças de albedo de superfície associadas à alteração da cobertura do solo já foram apuradas em outros trabalhos, como o Cardozo *et al*., (2009) citado por Pavão *et al*., (2015).

Vale destacar que, a queda do albedo no bairro Centro, conforme foi observado, não está associada ao material construtivo construtivo (uma vez que o padrão estrutural tende a ser o mesmo em construções civis desse porte), mas sim ao vertiginoso crescimento vertical que afeta a incidência direta, mas sim, a não incidência direta de radiação solar – não resultando em aumento de TST, favorecendo o aumento da temperatura do ar. O que é amplamente discutido na comunidade é que a queda do albedo aumenta a TST. Contudo, nesses resultados, o baixo albedo está associado ao material construtivo e suas características, como cor e rugosidade, que, ao incidir radiação direta, de fato, aumentará significativamente a TST – que em em escala global, contribui com o aquecimento global, conforme foi apurado por Akbari (2012). Ressalta-se, entretanto, que essa interpretação constitui uma hipótese a ser verificada, uma vez que a correlação entre albedo e TST analisada neste trabalho (Tabela 3) é dominada pelo contraste entre áreas vegetadas e urbanizadas, não permitindo isolar o efeito do sombreamento produzido pela verticalização.

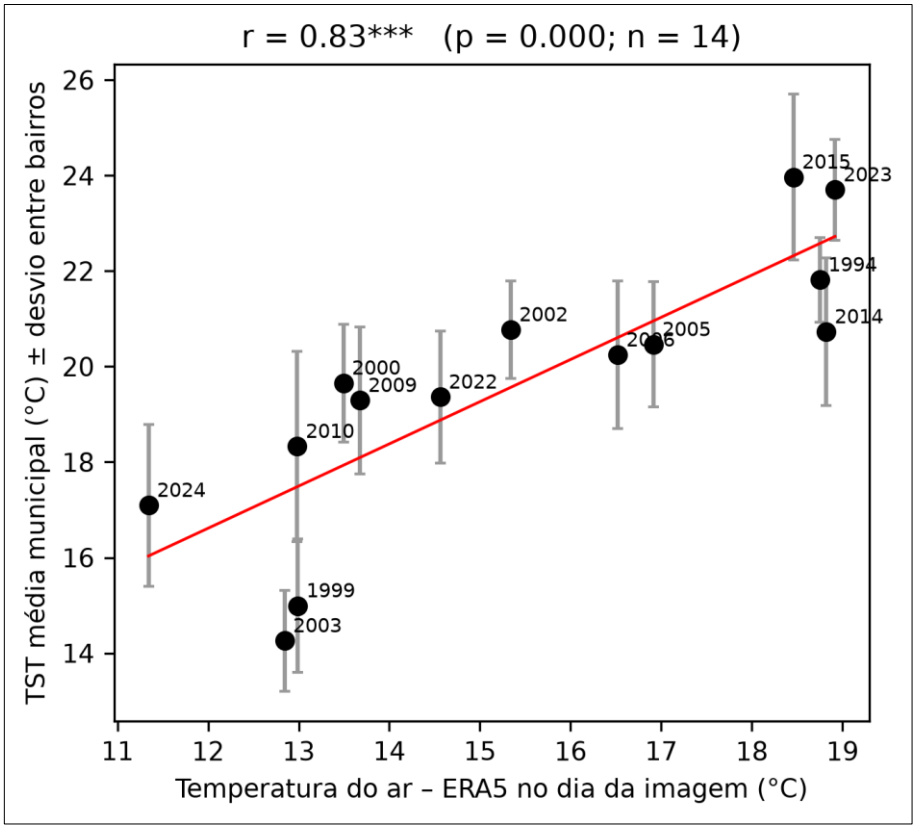
No que tange a variação do NDVI, nota-se um aumento médio entre os bairros mais arborizados do município. Esse resultado é fruto de novas estratégias de preservação adotadas pelo município, como a concepção da Unidade de Conservação de uso sustentável APA da Costa Brava, ao Sul de Balneário Camboriú, em 12 de julho de 2000 (Balneário Camboriú, 2020).

Não obstante, esse aumento é consonante com a literatura que utiliza o NDVI para para identificar a densidade de fitomassa foliar fotossinteticamente ativa por unidade de área e indicar o crescimento e cobertura da vegetação (Melo, Sales e Oliveira, 2011; Gandhi *et al*., 2015; De Boratto e Gomide, 2013; Breunig e Galvão, 2011; LI *et al*., 2021).

Por fim, a TST média municipal de cada data apresentou forte correlação com a temperatura do ar do ERA5 no dia de aquisição da imagem ($r = 0,83$; $p < 0,001$; $n = 14$), conforme a Figura 16. Esse resultado indica que cerca de 69% ($r^2 = 0,69$) da variação da TST média entre as datas está associada às condições meteorológicas do dia da passagem do

satélite. Dessa forma, o ERA5 não foi empregado como validação da TST, mas como referência para interpretar suas variações entre as datas: diferenças de TST absoluta entre os anos, como os menores valores observados em 2024 – data com a menor temperatura do ar da série –, refletem principalmente a variabilidade meteorológica, e não a alteração da cobertura do solo. Por esse motivo, a comparação entre os anos deve privilegiar o contraste térmico entre os bairros, e não os valores absolutos de TST.

Figura 16 – Temperatura do ar (ERA5) no dia da imagem × TST média municipal



Fonte: Autores (2025).

Nesse contexto, a data de 1994 possui a maior temperatura do ar registrada pelo método de reanálise climática e a data de 2024 possui a menor temperatura do ar. Contudo, como o objetivo da pesquisa foi mensurar a variação do contraste, esses dados mostram que, independentemente da temperatura do ar ser maior em 1994, ainda sim a TST média se distribui de maneira mais homogênea ao longo do município. Esse cenário pode ser elucidado em comparação com a data de 2014/2015, que possui praticamente a mesma temperatura do ar que em 1994do ar que 1994, mas um contraste de TST muito maior. Logo, como há relação direta entre TST e temperatura do ar, dada as mudanças do uso e cobertura do solo,

torna-se possível inferir que Balneário Camboriú teve mudanças significativas no comportamento da reflectância espectral – podendo afetar significativamente a temperatura do ar em determinadas regiões.

A partir dos resultados alcançados no presente trabalho, observou-se uma latente alteração da reflectância espectral de Balneário Camboriú observada entre 1994 e 2024. Essa alteração se deu tanto em intensidade quanto em espacialização dentre os bairros. Essas alterações se dão majoritariamente pelo crescimento urbano e dá área fotossinteticamente ativa. Esses resultados ampliam ainda mais as discussões sobre os impactos do crescimento urbano desenfreado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A climatologia urbana assume papel fundamental diante da crescente urbanização global, uma vez que a maior parte da população mundial reside em ambientes urbanos. Nesse contexto, os estudos sobre variabilidade climática e desconforto térmico em áreas urbanizadas tornam-se essenciais para compreender os impactos ambientais locais. Balneário Camboriú representa um cenário propício para essas análises, pois além de ser um município exclusivamente urbano, apresenta o maior índice de verticalização da América do Sul, configurando-se como campo relevante para investigação de variáveis ambientais associadas ao uso do solo.

A aplicação metodológica permitiu mensurar variações no comportamento espectral da superfície ao longo do período estudado, bem como identificar associação estatisticamente significativa entre a cobertura do solo e a TST em 13 das 14 datas analisadas. Foi observado incremento da área fotossinteticamente ativa nas encostas entre 1994 e 2024, concomitante ao aumento do Índice de Construção Normalizado (NDBI) nas áreas centrais do município. Entre 2014/2015 e 2024, a verticalização acentuada no bairro Centro coincidiu com a redução da Temperatura de Superfície e do Albedo, em comparação com outros bairros. Essa diminuição pode estar associada ao sombreamento provocado pela concentração vertical das edificações, que limita a incidência direta da radiação solar, influenciando o microclima local. Essa relação, contudo, constitui uma hipótese a ser verificada em estudos futuros.

Esses resultados indicam que os impactos ambientais da verticalização extrapolam as alterações tradicionais da circulação e temperatura do ar, amplamente abordadas na literatura, afetando também a reflectância espectral da superfície urbana. Portanto, essa variável deve ser considerada nos processos de planejamento e concepção de áreas urbanas verticais, visando mitigar efeitos ambientais adversos.

Por fim, cabe destacar as limitações do estudo, que utilizou exclusivamente técnicas de Sensoriamento Remoto sem validação com dados primários em campo. Apesar da robustez metodológica, a incorporação de dados de estações meteorológicas automáticas contribuiria para maior precisão, especialmente considerando a diversidade ambiental de Balneário Camboriú. Ademais, os dados de temperatura do ar foram obtidos por meio de reanálise climática, devido à ausência de estações próximas com registros históricos suficientes. Destaca-se, ainda, que todas as imagens correspondem ao período de inverno (julho a setembro), quando o contraste térmico urbano tende a ser menor que no verão, e que a análise de correlação, por ser realizada entre bairros, não permite estabelecer relações de causa e efeito, como a influência do sombreamento produzido pela verticalização sobre a TST e o albedo.

REFERÊNCIAS

AKBARI, Hashem; MATTHEWS, H. Damon; SETO, Donny. The long-term effect of increasing the albedo of urban areas. **Environmental Research Letters**, v. 7, n. 2, p. 024004, 2012. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/7/2/024004/meta.

ALADEMOMI, Alfred S. et al. The interrelationship between LST, NDVI, NDBI, and land cover change in a section of Lagos metropolis, Nigeria. **Applied Geomatics**, v. 14, n. 2, p. 299-314, 2022. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s12518-022-00434-2.

AMORIM, MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE. Clima urbano: concepções teóricas, metodologias, aplicações e perspectivas. **PROFª. DRª. CLÁUDIA MARIA SABÓIA DE AQUINO**, 2015. Disponível em: http://revistas.ufpi.br/index.php/%20equador/article/viewFile/3643/2119#page=49.

ARNFIELD, A. John. **Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island.** International Journal of Climatology: a Journal of the Royal Meteorological Society, v. 23, n. 1, p. 1-26, 2003. Disponível em:

https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=35aebc7b640a5dada15.18647929d675b72a3bf56

BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J. **Atmosfera, tempo e clima..** 9th ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. E-book. p.17. ISBN 9788565837392. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788565837392/. Acesso em: 15 nov. 2024.

BAUMHARDT, Otávio et al**. alteração de albedo e temperatura de superfície após engordamento artificial da praia central em balneário camboriú/sc, brasil.** e&s engineering and science, v. 13, n. 4, p. 1-16, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/387110155_Alteracao_de_albedo_e_temperatura_de_superficie_apos_engordamento_artificial_da_Praia_Central_em_Balneario_CamboriuSC_Brasil.

BECK, H. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; LUTSKO, N. J.; DUFOUR, A.; ZENG, Z.; JIANG, X.; VAN DIJK, A. I. J. M.; MIRALLES, D. G. High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901–2099 based on constrained CMIP6 projections. **Scientific Data**, v. 10, 724, 2023. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41597-023-02549-6.

BREUNIG, Fábio Marcelo; GALVÃO, Lênio Soares; FORMAGGIO, Antonio Roberto. **Caracterização espectral e temporal da vegetação nativa do Parque Estadual do Turvo e da Terra Indígena do Guarita–RS, com produtos MODIS**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 15, p. 1765-1772, 2011. Disponível em: https://www.academia.edu/download/33661540/p0272.pdf.

CAVALHEIRO, Brenda Andrade. UNIDADES CLIMÁTICAS DO MUNICÍPIO DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ/SC. Trabalho de Conclusão de Curso, 2023.

CAVALLERI, Francesco et al. Inter-comparison and validation of high-resolution surface air temperature reanalysis fields over Italy. **International Journal of Climatology**, v. 44, n. 8, p. 2681-2700, 2024. Disponível em: https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.8475.

COELHO, André Luiz Nascentes; CORREA, Wesley de Souza Campos. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. Revista Geográfica Acadêmica, v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013.

DE ARAÚJO, Caio Sérgio Pereira; SILVA, José Raliuson Inácio; DE ALMEIDA, Ceres Duarte Guedes Cabral. **Total precipitation and air temperature data obtained from ERA5-Land reanalysis: validation and accuracy.** Revista Caatinga, v. 38, p. e12578-e12578, 2025. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rcaat/a/PxSQ9mCSRtyjbZxTpH9CHvd/

DE BORATTO, I. M.; GOMIDE, Reinaldo Lúcio. **Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais**. 2013. Disponível em: http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.22.05.23/doc/p0075.pdf.

DE LUCENA, Andrews José. **Notas conceituais e metodológicas em clima urbano e ilhas de calor**. 2013. Disponível em: http://revistacontinentes.com.br/index.php/continentes/article/view/17.

DE OLIVEIRA, Caio Guerra; DE QUADRO, Mario Francisco Leal. **Regionalização da precipitação e temperatura em Santa Catarina com dados de alta resolução temporal e espacial**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 35, p. 251-274, 2024. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/17652.

ESKANDARI DAMENEH, Hadi et al. **Desertification of Iran in the early twenty-first century: assessment using climate and vegetation indices**. Scientific Reports, v. 11,n. 1, p. 20548, 2021. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41598-021-99636-8.

FONTANA, Denise Cybis et al. **NDVI e alguns fatores de variabilidade**. 2019. Disponível em: http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2019/10.25.12.33/doc/97851.pdf.

GANDHI, G. Meera et al. **Ndvi: Vegetation change detection using remote sensing and gis–A case study of Vellore District**. Procedia computer science, v. 57, p. 1199-1210, 2015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915019444.

GARTLAND, L. **Heat islands:** understanding and mitigating heat in urban areas. London, Earthscan, 2008. 200 p. Disponível em: https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781849771559/heat-islands-lisa-mummery-gartland.

GUHA, S., Govil, H., Dey, A. and Gill, N., 2018. **Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy.** *European Journal of Remote Sensing*, *51*(1), pp.667-678. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/22797254.2018.1474494.

GUHA, Subhanil et al. **A long-term seasonal analysis on the relationship between LST and NDBI using Landsat data.** Quaternary International, v. 575, p. 249-258, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040618220303530.

GUILHERME, Adriano Pereira et al. **Relação entre tipo de cobertura do solo e temperatura de superfície**. Sociedade & Natureza, v. 32, p. 515-525, 2022. Disponível em:

https://www.scielo.br/j/sn/a/XrSYLdsT98ghGVPFGyYR8Lt/?lang=pt.

HEILBRON, Monica et al. Província mantiqueira. **Geologia do continente sul- americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, p. 203- 235, 2004. Disponível em: https://repositorio.usp.br/item/001773288.

HERSBACH, Hans et al. The ERA5 global reanalysis. Quarterly journal of the royal meteorological society, v. 146, n. 730, p. 1999-2049, 2020. Doi: https://doi.org/10.1002/qj.3803.

HENDGES, Elvis Rabuske; FOLLADOR, Franciele Aní Caovilla; ANDRES, Juliano. **Correlation study between land use and covering with surface temperature registered by Landsat 8 satellite.** Sociedade & Natureza, v. 32, p. 338-347, 2020. Disponível em: https://www.scielo.br/j/sn/a/8D54QBm6sZcSszFXbJL6WdS/?lang=en.

HORN FILHO, N. O. et al. **Estudo geológico dos depósitos clásticos quaternários superficiais da planície costeira de Santa Catarina, Brasil.** Gravel, v. 12, n. 1, p. 41- 107, 2014. Disponível em: https://www.ufrgs.br/gravel/12/1/Gravel_12_V1_03.pdf.

IBGE. https://www.ibge.gov.br/. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc/balneario-camboriu.html.

JÚNIOR, José Jeová Ferreira; DANTAS, Maria Jorgiana Ferreira. **Análise do albedo da superfície e índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do rio Pacoti/CE.** Revista Tecnologia, v. 39, n. 2, p. 1-18, 2018. Disponível em: https://ojs.unifor.br/tec/article/view/8132.

Köppen, Wladimir. "**Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt."** Geographische Zeitschrift 6, no. 11. H (1900): 593-611. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/27803924.

LARSEN, Larissa. Urban climate and adaptation strategies. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 13, n. 9, p. 486-492, 2015. Doi: https://doi.org/10.1890/.

LI, Peng et al. **Spatio-temporal variation characteristics of NDVI and its response to climate on the Loess Plateau from 1985 to 2015**. Catena, v. 203, p. 105331, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816221001909.

MELO, Ewerton Torres; SALES, Marta Celina Linhares; OLIVEIRA, JGB de. **Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús- CE**. Raega-O Espaço Geográfico em Análise, v. 23, n. 1, p. 520-533, 2011. Disponível em: https://www.academia.edu/download/104527667/328067788.pdf.

MONTEIRO, M. A. **Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano**. Geosul, n. 16, p. 2597, 2001. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/download/14052/12896.

NASCIMENTO, F. C. A. et al. **Análise das mudanças ambientais provocadas pela expansão urbana na cidade de Mossoró-RN, através do uso de técnicas de Sensoriamento Remoto.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 7, n. 4, p. 636- 642, 2014. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/233201.

OKE, T. R; MILLS, G; CHRISTEN, A; VOOGT, J. A. **Urban Climates**. Cambridge University Press, 2017. ISBN: 0521849500, 9780521849500.

OLIVEIRA, M. L. de, RUFINO, I. A. A., CUNHA, J. E. de B. L., VASCONCELOS, R. S., & BRITO, H. C. de. (2020). Urban growth dynamics based on surface Albedo changes in Petrolina, Brazil. Acta Scientiarum. Technology, 42(1), e46270. https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v42i1.46270

PAVÃO, Vagner Marques et al. **Temperatura e albedo da superfície por imagens TM Landsat 5 em diferentes usos do solo no sudoeste da Amazônia brasileira.** Revista Brasileira de Climatologia, v. 16, 2015. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/13812.

PIRES, E. G.; FERREIRA JR, Laerte Guimarães. **Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8.** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, XVII, p. 7421-7428, 2015. Disponível em: http://marte2.sid.inpe.br/attachment.cgi/sid.inpe.br/marte2/2015/06.15.16.56.20/doc/p1671.pdf.

RIBEIRO, Gabriele Kobs. **Sazonalidade, ondas de frio e doenças respiratórias em Balneário Camboriú/SC; 2023;** Trabalho de Conclusão de Curso; (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

RITCHIE, H.; SAMBORSKA, V.; ROSER, M. **Urbanization: the world population is moving to cities. Our World in Data**, University of Oxford, 2024. Disponível em: <https://ourworldindata.org/urbanizati on>. Acesso em: 13 jun 2025.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the Great plains with ERTS**. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3, Washington-DC, 1973. **Proceedings...** Washington: National Aeronautics and Space Administration, v. 1, 1974. p. 309-317. Disponível em: https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614.

SANTAMOURIS, M. Urban climate change: reasons, magnitude, impact, and mitigation. In: PAOLINI, R.; SANTAMOURIS, M. (Eds.). **Urban climate change and heat islands: characterization,**

impacts, and mitigation. Amsterdam: Elsevier, 2023. cap. 1, p. 1-28. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128189771000028.

SHUAI, Y. J; MASEK, G; GAO, F; SCHAAF, C. B; HE, T. **An approach for the long- term 30-m land surface snow-free albedo retrieval from historic Landsat surface reflectance and MODIS-based a priori anisotropy knowledge**. Remote Sensing of Environment, 152, 467-479, 2014. doi: 10.1016/j.rse.2014.07.009. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425714002545.

SILVA, Aline Nunes da et al. **Assessing the Relationship between Urban Heat Islands and Local Climate Zones during a Winter Period in the Coastal City of Balneário Camboriú/SC, Brazil.** Atmosphere, v. 15, n. 10, p. 1171, 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4433/15/10/1171.

SOUZA, Jussara Freire de; SILVA, Richarde Marques; SILVA, Alexandro Medeiros. **Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa-PB.** Ambiente Construído, v. 16, p. 21-37, 2016. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ac/a/JSwZbZhvWYMpp9syC3HWp9S/?format=html&lang=pt.

STEINKE, Valdir Adilson; STEINKE, Ercília Torres; SAITO, Carlos Hiroo. **Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimento em Planaltina-DF**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 6, 2010. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/13547

STEPHENS, G. L, et al. **The albedo of Earth**. Reviews of geophysics, v. 53, n. 1, p. 141-163, 2015. Disponível em: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2014rg000449.

TAHA, Haider. **Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat.** Energy and buildings, v. 25, n. 2, p. 99-103, 1997. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778896009991.

TEIXEIRA PINTO, Cibele; JING, Xin; LEIGH, Larry. **Evaluation analysis of Landsat level-1 and level-2 data products using in situ measurements.** Remote sensing, v. 12, v. 16, n. 31, p. 69-78, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2072-4292/12/16/2597.

VOOGT, James A.; OKE, Tim R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote sensing of environment**, v. 86, n. 3, p. 370-384, 2003. Doi: 10.1016/S0034-4257(03)00079-8.

WANG, Y; BERARDI, U; AKBARI, H. **Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada**. Energy and Buildings, 114, 2-19, 2016. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.06.046. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881530075X.

WEI, Letian; SOBRINO, José A. Surface urban heat island analysis based on local climate zones using ECOSTRESS and Landsat data: A case study of Valencia city (Spain). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 130, p. 103875, 2024. Doi: 10.1016/j.jag.2024.103875.

WOLLMANN, Cássio Arthur et al. **Thermo-hygrometric variability on waterfronts in negative radiation balance: A case study of balneário Camboriú/SC, Brazil. Atmosphere**, v. 12, n. 11, p. 1453, 2021. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4433/12/11/1453.

WRITZL, Luana et al. Outdoor human thermal comfort along bike paths in Balneário Camboriú/SC, Brazil. **Atmosphere**, v. 13, n. 12, p. 2092, 2022. Doi: https://doi.org/10.3390/atmos13122092.

XU, Dandan; GUO, Xulin. **Compare NDVI extracted from Landsat 8 imagery with that from Landsat 7 imagery**. American Journal of Remote Sensing, v. 2, n. 2, p. 10-14, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Dandan-Xu-2/publication/270820608_Compare_NDVI_Extracted_from_Landsat_8_Imagery_with_that_from_Landsat_7_Imagery/links/55143eb90cf23203199d1f12/Compare-NDVI-Extracted-from-Landsat-8-Imagery-with-that-from-Landsat-7-Imagery.pdf.

XU, Yong et al. **Urban morphology detection and computation for urban climate research.** Landscape and urban planning, v. 167, p. 212-224, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204617301561.

YOO, Cheolhee et al. Comparison between convolutional neural networks and random forest for local climate zone classification in mega urban areas using Landsat images. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 157, p. 155-170, 2019. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2019.09.009.

YUE, W. et al. **The relationship between land surface temperature and NDVI with remote sensing: application to Shanghai Landsat & ETM+ data.** International Journal of Remote Sensing, v. 28, n. 15, 3205-3226, 2007. Doi: 10.1080/01431160500306906

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 3, p. 583-594, 2003. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431160304987.