

## Alteração de albedo e temperatura de superfície após engordamento artificial da Praia Central em Balneário Camboriú/SC, Brasil

### Change in albedo and land surface temperature after artificial beach fattening of Praia Central in Balneário Camboriú/SC, Brazil

<sup>1</sup>Otávio de Freitas Baumhardt, <sup>2</sup>Jenifer Buss dos Santos, <sup>3</sup>Iago Turba Costa, <sup>4</sup>Cassio Arthur Wollmann, <sup>5</sup>João Paulo Assis Gobo, <sup>6</sup>Tarcísio Oliveira da Costa

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria (otavio.baumhardt@acad.ufsm.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Maria (jeniferbuss@hotmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Santa Maria (iago.costa@acad.ufsm.br)

<sup>4</sup>Professor Associado – Universidade Federal de Santa Maria (cassio@ufsm.br)

<sup>5</sup>Professor Adjunto – Universidade Federal de Rondônia (joao.gobo@unir.br)

<sup>6</sup>Universidade Federal de Santa Maria (tarcisiooliveirageo@gmail.com)

**RESUMO:** O presente trabalho tem como objetivo principal mensurar a variação do albedo de superfície e Temperatura Superficial Terrestre (LST) da Praia Central de Balneário Camboriú/SC, Brasil, pós engordamento artificial ocorrido no ano de 2021. Para isso, utilizou-se o sensor Landsat 8 OLI para criar mapas de albedo e o sensor TIRS para a LST. A partir da seleção das datas de análise disponíveis para esse sensor, tendo como critério a ausência de nuvens, foi realizado o download no site da United Service Geological Survey (USGS). Após isso, elas foram processadas no software QGIS, podendo assim, gerar o albedo de superfície e LST para a área de estudo. A partir desses resultados, percebeu-se um aumento de 150% da média do albedo de superfície e 15% da média da LST da área estendida da praia da Orla Central de Balneário Camboriú. Essa variação positiva mostra uma alteração espectral da superfície, o que pode gerar variações térmicas, podendo impactar negativamente o conforto térmico na área da Orla Central da cidade. Nessa perspectiva, fica evidente a importância de estudos microclimáticos associados ao engordamento artificial em regiões urbanas.

**Palavras Chave:** Variação Espectral. Albedo. Temperatura superficial. Engordamento artificial de praia. Praia Central.

**ABSTRACT:** This research concerns in to measure the alteration of surface albedo and Land Surface Temperature (LST) of Praia Central of Balneário Camboriú/SC, Brazil, after artificial beach fattening occurred in 2021. Landsat 8 OLI sensor was used to create albedo maps and the TIRS sensor for the LST. Adopting the absence of clouds as a criterion for the analysis, the images were downloaded from the United Service Geological Survey (USGS) website. These images were processed in the QGIS software, generating the surface albedo and LST data. An increase of 150% in the average surface albedo and 15% in the average LST in the extended area of the Praia Central was sensitively observed. This positive variation shows a spectral change in the surface of the shore, whose thermal variations can negatively impact thermal comfort along the waterfront area of Balneário Camboriú. For future perspectives, the importance of microclimatic studies associated with artificial beach fattening in urban regions becomes evident.

**Keywords:** Spectral Variation. Albedo. Land Surface Temperature. Artificial beach fattening. Praia Central.

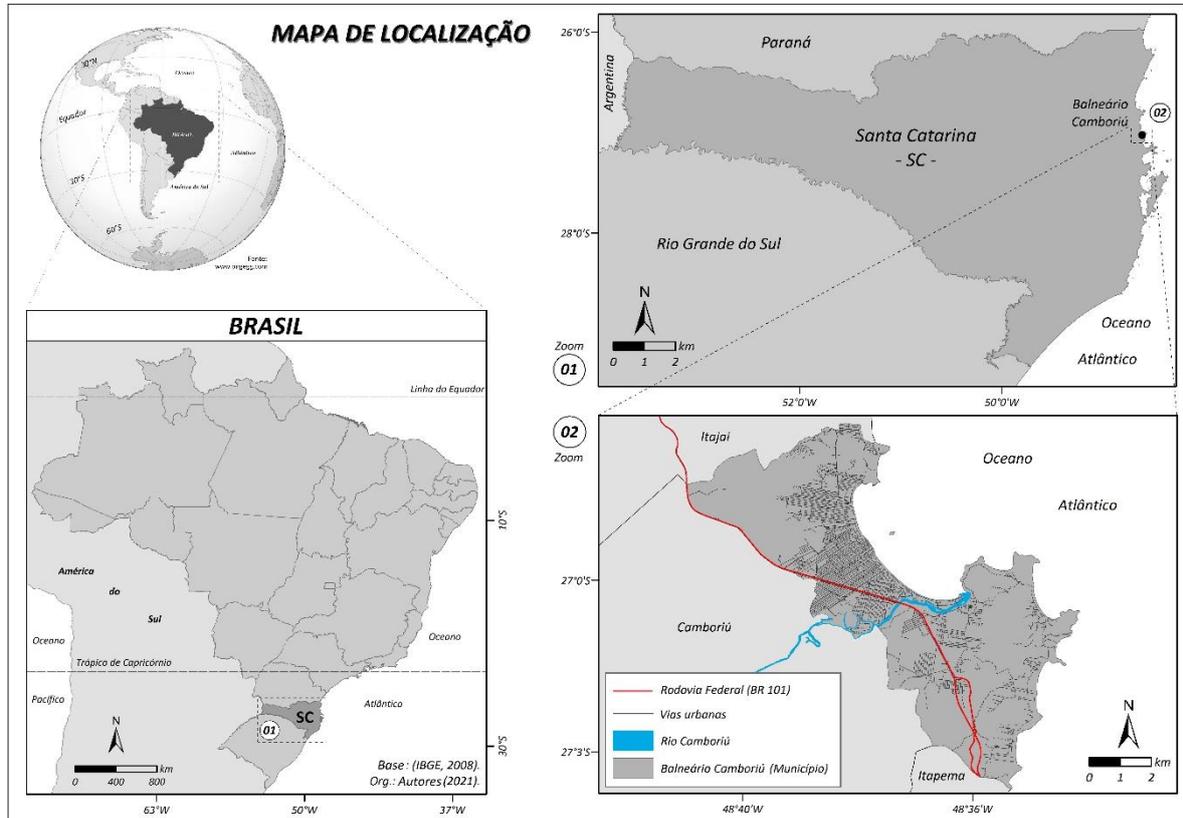
## 1. INTRODUÇÃO

À medida que as cidades se desenvolvem, a antropização do espaço aumenta. A cobertura vegetal natural é substituída por materiais construtivos com maior inércia térmica. O volume das edificações altera o fluxo de radiação incidente nas superfícies, e a geração de calor antropogênico é intensificada. No caso do engordamento da faixa de areia em praias, podem haver consequências significativas para o ambiente. Essas intervenções, embora possam temporariamente proteger contra a erosão litorânea, não resolvem o problema total e podem resultar em efeitos indesejados (LEITE, 2022). Nesse sentido, é essencial considerar todos os aspectos ambientais e abordar o engordamento no contexto da variabilidade climática.

De acordo com o último censo do Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (IBGE), realizado em 2022, o município de Balneário Camboriú (Figura 1) tem uma população de

aproximadamente 139 mil habitantes. Porém, como a extensão da municipalidade é pequena e exclusivamente urbana, torna esse um dos municípios com maior densidade demográfica do Brasil (WOLLMANN et al., 2021; WRITZL et al., 2022). Logo, é importante compreender todas as nuances microclimáticas dessa importante cidade, que, por ser turística, atrai milhões de pessoas as quais ficam expostas anualmente.

Figura 1 – Mapa de localização de Balneário Camboriú/SC.



Fonte: Wollmann, et. al., (2021).

O projeto do alargamento da Praia de Balneário começou oficialmente em março de 2021 e foi concluído em novembro do mesmo ano. Essa intervenção fazia parte de um plano maior de revitalização urbana e ambiental da cidade. O planejamento e a execução do projeto seguiram uma série de etapas que incluíram estudos de impacto ambiental, licitações públicas e monitoramento contínuo das obras. De acordo com a Prefeitura de Balneário Camboriú (PREFEITURA...2021), o objetivo do projeto era resolver os problemas de erosão que comprometiam a infraestrutura da orla e melhorar a experiência turística na cidade.

A erosão costeira é um processo que envolve a remoção contínua de sedimentos da praia, causando o recuo da linha de costa. Em áreas urbanizadas como Balneário Camboriú, a presença de construções próximas à orla limita a reposição natural de sedimentos pela ação do mar, agravando o problema. Segundo estudos de Silva e Abessa (2021), a erosão costeira no litoral brasileiro é exacerbada pela intervenção humana, como a construção de edificações muito próximas à praia, o que impede o fluxo natural de sedimentos e acelera a perda de material arenoso. No caso de Balneário Camboriú, essa realidade se intensificou ao longo das últimas décadas, à medida que a cidade se expandiu verticalmente, criando uma barreira física e visual que impede o transporte natural de sedimentos pela ação do vento.

Aproximadamente 2,1 milhões de metros cúbicos de areia foram dragados do fundo do mar e transportados para a costa. O projeto de alargamento ampliou essa faixa de 25 a 35 metros de largura para cerca de 70 a 100 metros ao longo de 5,8 km de extensão da praia. A areia foi

retirada de uma área submersa localizada cerca de 15 km da orla, um ponto escolhido após estudos detalhados para garantir que o sedimento extraído tivesse características semelhantes às da areia original da praia.

De acordo com Silva et al. (2021), o uso desse volume expressivo de areia teve como objetivo não apenas ampliar a faixa de praia, mas também criar uma barreira natural para mitigar os efeitos das ressacas e proteger a infraestrutura urbana costeira. Um fator determinante para o volume agregado, de acordo com Aumond (2023), foi considerar a elevação máxima do nível do mar nos últimos 100 anos, com a intenção de proteger a infraestrutura urbana ao longo da orla.

É importante compreender que existem evidências que o Engordamento Artificial em faixa de areia litorânea impacta o ecossistema marinho (SANTOS E MOURA, 2021). A mudança da granulometria e a composição dos sedimentos do fundo marinho, alterados pela dragagem, podem prejudicar a recolonização dos organismos nativos (ibid). Além disso, Silva e Abessa (2021) sugerem que o aumento da turbidez pode impactar negativamente os recifes de corais e ervas marinhas que precisam de luz solar para realizar a fotossíntese.

Contudo, é imprescindível concernir que os impactos ambientais causados por uma obra dessa magnitude podem transcender o ecossistema aquático, estendendo-se para alterações espectrais da superfície. Isso pode contribuir para o aumento significativo do Albedo de Superfície e Temperatura de Superfície Terrestre (LST) que, por sua vez, impactam diretamente o balanço radiativo da região (NASCIMENTO et al., 2014).

O albedo é a relação entre a quantidade de radiação solar refletida por uma superfície e a quantidade total de radiação incidente sobre ela (LUTGENS et al., 2015). Em porcentagem, esse valor global é de aproximadamente 0.29 unidades fracionárias ou 29% (STEPHENS, 2015). Esse valor é uma média global, que varia entre albedos altos como a neve e albedos baixos como a água (VOOGT & OKE, 2003). Além disso, é válido destacar que as propriedades dos materiais, como umidade, textura e coloração impactam diretamente no valor do albedo. Nesse sentido, objetos mais claros possuem um albedo maior e objetos mais escuros um albedo menor (OKE, 2017, p. 129). A LST, por sua vez, determina a radiação de onda longa emitida pela superfície, assim como o fluxo de calor turbulento na atmosfera, logo, ela está diretamente relacionada ao balanço energético e a radiação de superfície (DASH, 2010 apud MISHRA, 2024).

De maneira sintética, existem diversas metodologias diferentes para mensurar as variáveis microclimáticas que compreendem as especificidades espectrais dos alvos em superfície. Uma exemplificação é a utilização do sensoriamento remoto como ferramenta para estudos climatológicos nessa escala (AMORIM, 2015). É válido mencionar que a implementação desses instrumentos transcende a mera observação, e dá a possibilidade de entender as causas e características das variações espectrais na superfície (VOOGT E OKE, 2003 apud AMORIM, 2015). Isso engrandece significativamente a compreensão das características microclimáticas (ibid).

Através de imagens de satélite, é possível utilizar expressões matemáticas nas diferentes bandas, sendo possível auferir a temperatura de superfície de determinada região, assim como determinar o albedo de superfície, e diversos índices, como o Índice de vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Construção por Diferença Normalizada (NDBI), entre outros (ESKANDARI DAMENEH, 2021). A partir desta breve introdução, o presente trabalho tem como objetivo mensurar a variação do albedo de superfície e da temperatura de superfície da Praia Central de Balneário Camboriú após engordamento artificial que ocorreu no ano 2021.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

Para análise do albedo de superfície e temperatura de superfície, foram utilizadas ferramentas de Sensoriamento Remoto (SR). Os dados analisados foram extraídos do *United*

*Service Geological Survey* (USGS). O sensor utilizado foi o Landsat 8 *Operational Land Imager* (OLI). É importante destacar que o Landsat 8 possui um sensor térmico (*Thermal Infrared Sensor* - TIRS). Este sensor foi escolhido por alguns fatores determinantes, como o tempo de revisita do satélite (16 dias) e resolução espacial de 30 metros (OLI) e 100 metros (TIRS), o que o torna muito eficiente em áreas urbanas (COELHO e CORREA, 2013).

A partir da escolha do sensor (Landsat 8) foram selecionadas as datas de análise. Para comparar o albedo e a temperatura de superfície (LST) antes e depois do alargamento artificial da faixa de areia da Praia da Orla Central, é imprescindível que uma das imagens tenha sido antes de 2021 e outra depois. A partir dessa premissa, foram selecionadas duas datas de análise: uma anterior ao engordamento (10/08/2020), e outra após (03/08/2023).

As imagens são da estação inverno. Isso se deve pelo fato de ser uma estação menos chuvosa no litoral catarinense. Logo, pela menor atividade convectiva em relação às outras estações, há mais imagens com ausência de nuvens – o que é vital para análise de superfície. Como ambas as imagens correspondem ao mesmo período do ano, há padrões térmicos e pluviométricos semelhantes (MONTEIRO, 2001).

Para validar os dados termais da área da faixa de areia pós engordamento artificial, foi empregada há análise dados de temperatura do ar da estação meteorológica automática do INMET, no município de Itajaí (vizinho à área de estudo). Além disso, os dados da LST da área foram comparados com o bairro Várzea do Ranchinho (Figura 2), que é um dos bairros de Balneário Camboriú com menor LST e maior área com vegetação fotossinteticamente ativa. Serão analisadas imagens do satélite geoestacionário GOES-16, que estão disponíveis no site do INPE/CPTEC na data e hora de passagem do satélite Landsat 8. A análise objetiva comparar os tipos de tempo predominante na área de estudo entre os anos pesquisados.

Após a seleção das datas e uma análise prévia das condições meteorológicas, foi realizado o *download* das bandas 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 10 (Figura 2), assim como o arquivo MTL, que carregam informações vitais para a análise, como a inclinação solar e demais fatores de correção. Além disso, as imagens pertencem a coleção 1, logo já são geometricamente corrigidas (PINTO, JING E LEIGH, 2020).

Após o *download* das respectivas bandas, elas foram exportadas para o software Qgis juntamente com o arquivo MTL. Em ambiente GIS, foi realizada a conversão dessas imagens de número digital (ND) para refletância, levando em consideração a inclinação solar. Essa etapa foi realizada de maneira automática utilizando o *Semi-Automatic Classification Plugin*. Após essa conversão, foi utilizada a equação de albedo de superfície (Equação 1). É importante destacar que já existiram diversos estudos utilizando esses parâmetros de conversão (SHUAI *et al.*, 2014; WANG *et al.*, 2016).

$$\alpha_{SR} = B_{blue} \times P_{blue} + B_{green} \times P_{green} + B_{red} \times P_{red} + B_{nir} \times P_{nir} + B_{swir\ 1} \times P_{swir\ 1} + B_{swir\ 2} \times P_{swir\ 2} + B_0 \quad (1)$$

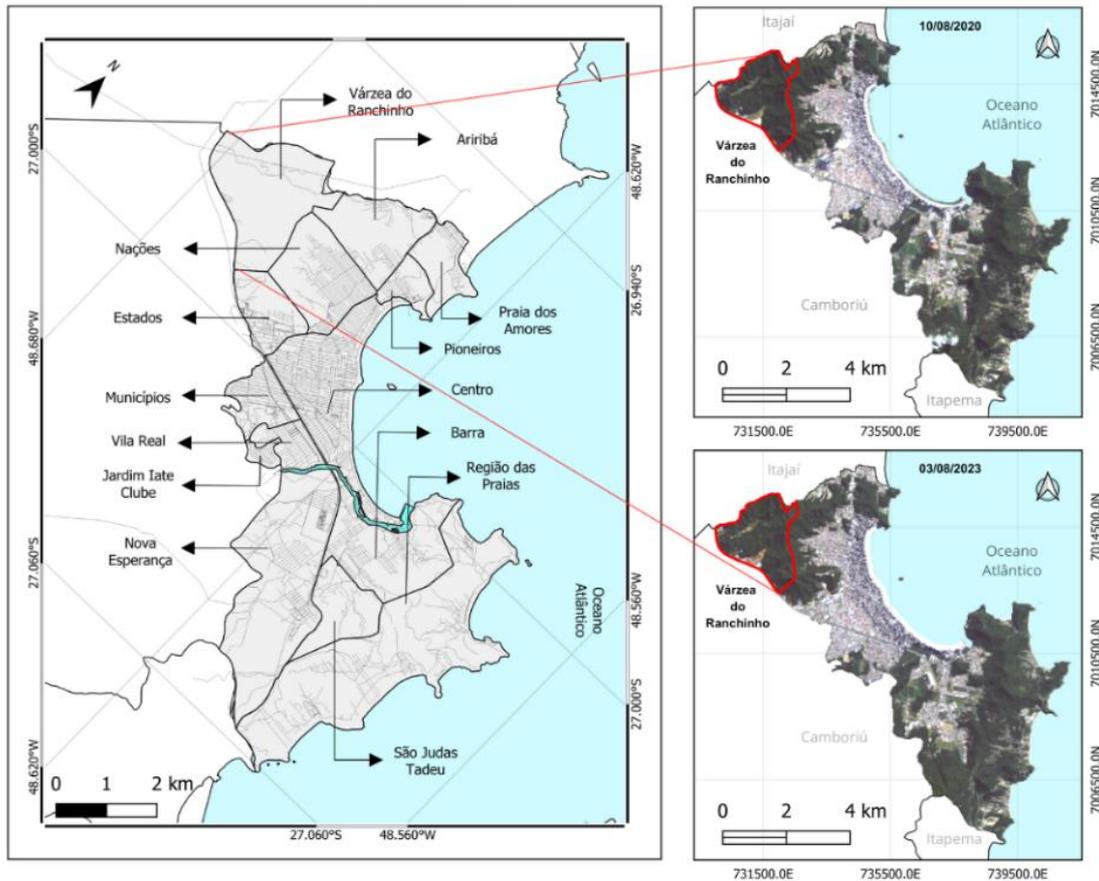
A equação 1 expressa a multiplicação das bandas ( $\mathcal{P}$ ) utilizadas (2, 3, 4, 5, 6 e 7) pelos seus respectivos coeficientes de correção ( $\mathcal{B}$ ). A partir de Oliveira et al. (2020), os coeficientes necessários para expressar o albedo de superfície utilizando o Landsat 8 são os indicados na Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficientes para calcular o albedo de superfície.

Sensor	$B_{blue}$	$B_{green}$	$B_{red}$	$B_{nir}$	$B_{swir\ 1}$	$B_{swir\ 2}$	$B_0$
OLI	0.2453	0.0508	0.1804	0.3081	0.1332	0.0521	0.0011

Fonte: Adaptado de Oliveira, et al. (2020).

Figura 2 – Localização do Bairro Várzea do Ranchinho em Balneário Camboriú/SC, e imagens apontando a manutenção da vegetação na área ao longo dos anos.



A partir da equação e dos coeficientes acima apresentados, foi concebido o albedo de superfície utilizando a calculadora *raster* em ambiente GIS. Por fim, com a imagem *raster* do albedo, houve um recorte para a delimitação territorial da área de estudo e uma edição das cores, para que fosse possível visualizar as diferenças do albedo de superfície. Após isso, os resultados foram analisados utilizando valores de referência (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores de referência de albedo de superfície.

<b>Solo coberto</b>	<b>Materiais de superfície urbana</b>
Solo (cor escura, úmido): 0,05 – 0,10	Asfalto (fresco à intemperizado): 0,05 – 0,27
Solo (cor escura, seco): 0,10 – 0,13	Concreto: 0,10 – 0,35
Solo (cor clara, úmido): 0,12 – 0,18	<b>Paredes</b>
Solo (cor clara, seco): 0,18 – 0,30	Concreto: 0,10 – 0,35
Areia: 0,20 – 0,45	Tijolo (vermelha à branco): 0,20 – 0,60
<b>Vegetação baixa</b>	Pedra cinza e vermelha: 0,20 – 0,45
Gramma (longa e curta): 0,16 – 0,26	Calcário: 0,40 – 0,64
Culturas: 0,18 – 0,25	Madeira: 0,22
Área úmidas: 0,07 – 0,19	<b>Telhados</b>
<b>Florestas</b>	Telha (escuras e claras): 0,05 – 0,25
Caducifólia (filha nua): 0,13 – 0,20	Ferro corrugado: 0,10 – 0,16
Pomares: 0,07 – 0,15	Aço galvanizado (envelhecido e novo): 0,37 – 0,45
Coníferas: 0,11 – 0,13	<b>Janelas</b>
<b>Água</b>	Vidro transparente: 0,08
$\beta > 60$ : 0,03 – 0,10	$\beta > 50$ : 0,09 – 0,52
$10 < \beta < 60$ : 0,10 – 0,50	$10 < \beta < 50$ : 0,40 – 0,80

Fonte: Adaptado de Oke *et al.*, 2017, p. 129.

Em uma escala de 0,0 a 1,0, quanto mais próximo de 1, maior é o albedo, logo, mais luz solar é refletida de volta para a atmosfera em vez de ser absorvida pela superfície. Quando a faixa de areia é ampliada, mais área de superfície composta por areia clara é exposta à luz solar. É importante destacar que a areia tem um alto albedo, o que significa que ela reflete uma quantidade significativa de luz solar (YNOUE et al. 2017).

Para mensurar a temperatura de superfície utilizando o sensor TIRS, do Landsat 8, o processo foi semelhante para concepção dos mapas de albedo. De acordo com Correa e Coelho (2013), Pires e Ferreira (2015) e Hendges et al. (2020), além de adquirir as bandas, no caso da LST a banda 10, é necessário utilizar fatores fixos de conversão, que estão presentes no arquivo MTL. É válido destacar que tanto o arquivo MTL quanto a banda terma foram adquiridas de forma gratuita no site da USGS. Por fim, para realizar uma comparação direta, os dados de temperatura de superfície da área da faixa de areia são da mesma data (10/08/2020) e (03/08/2023), que os dados de albedo de superfície. Logo, há as mesmas condições meteorológicas para ambas imagens.

Após o *download* da banda 10 e do arquivo MTL, as imagens de 2020 e 2023 foram importadas para dentro do software Qgis. A partir desse momento, dentro do *software*, foi utilizada a calculadora *raster* para conceber o produto devidamente corrigido e calibrado (Equação 2). É importante destacar que foi realizada a conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância e a calibração utilizando os valores presentes no arquivo MTL. Vale destacar que não foi realizada a correção atmosférica, logo, a temperatura de superfície tende a ser menor se comparada com a mesma imagem devidamente corrigida (Pires e Ferreira, 2015). Contudo, os contrastes térmicos são semelhantes.

$$T (^{\circ}C) = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{ML*QCAL+AL} + 1\right)} - 271.15 \quad (2)$$

Em que,

T – Temperatura efetiva no satélite em graus Celsius

K2 – Constante de calibração 2 = 1.321.08 (K)

K1 – Constante de calibração 1 = 774.89 (K)

M<sub>L</sub> – Fator multiplicativo de redimensionamento de banda 10 = 3.3420E-04

A<sub>L</sub> – Fator de redimensionamento ativo específico de banda 10 = 0.10000

Q<sub>cal</sub> – Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda 10

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas datas analisadas (03/08/2020 e 10/08/2023), as temperaturas do ar registradas na estação meteorológica automática do INMET às 10h e 00min, no momento de passagem do sensor, foram semelhantes (Tabela 3).

Tabela 3 – Dados da Estação Meteorológica Automática do INMET (Itajaí/SC).

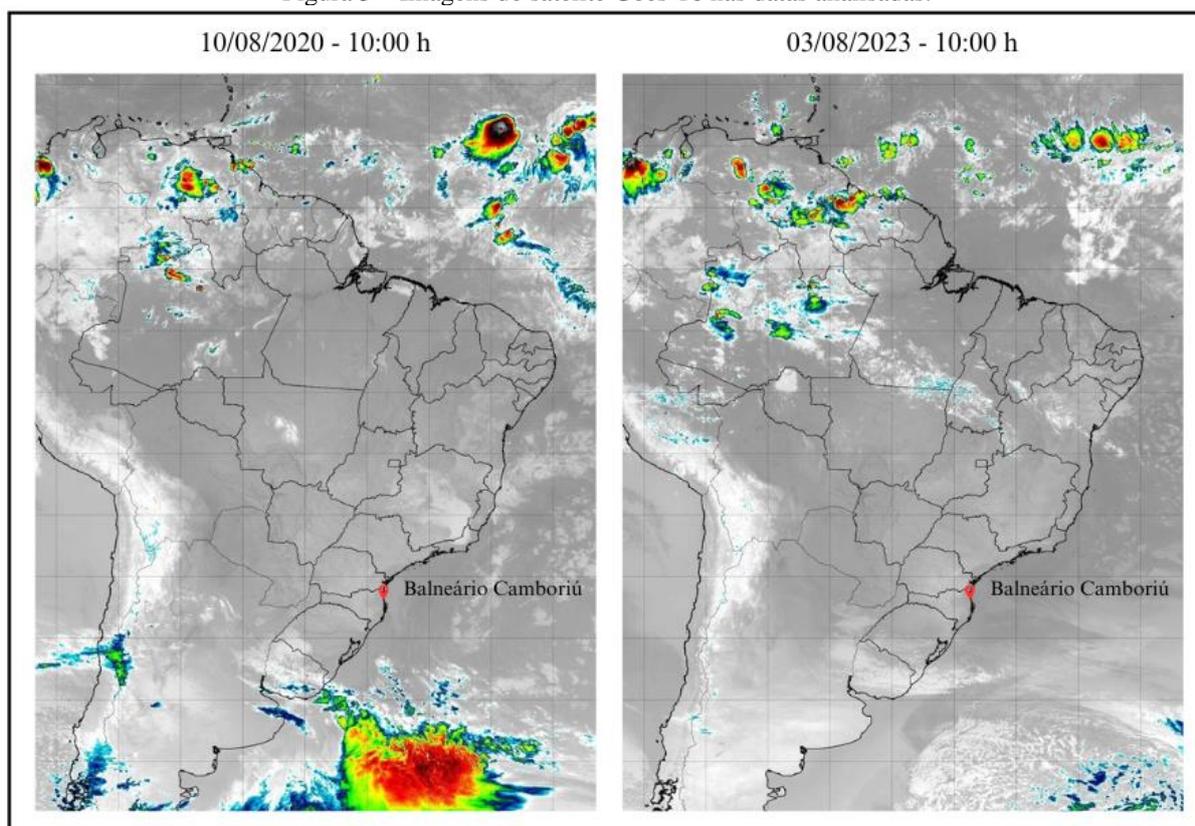
<b>Data/horário</b>	<b>10/08/2020 – 10h</b>	<b>03/08/2023 – 10h</b>
Temperatura do ar instantânea (°C)	17,7	14,5
Umidade relativa do ar instantânea (%)	91,0	94,0
Velocidade do vento instantâneo (m/s)	0,1	1,9
Temperatura do ar – máx. diária (°C)	25,4	28,5

Fonte: INMET (2023).

De maneira sintética, percebe-se dados de temperatura do ar verossímeis. Às 10:00h de 10/08/2020 a temperatura do ar é maior em comparação a temperatura do ar de 03/08/2023. Contudo, o vento na data de 2023 é maior, o que pode diminuir a temperatura do ar. Além disso, a temperatura máxima da data de 2023 é maior que a temperatura máxima da data de 2020. Entretanto, somente os dados de temperatura e vento são insuficientes para concernir o tipo de tempo predominante na região.

A partir do satélite geoestacionário Goes-16, é possível visualizar, em uma escala mais apropriada, a situação meteorológica no momento em que o satélite Landsat 8 imageou área estudada. Logo, é possível inferir, baseado nos dados da estação meteorológica automática e nas imagens de satélite, o sistema atmosférico dominante nas datas analisadas. Em 10/08/2020 e 03/08/2023, às 10h, o satélite Goes-16 registrou situação ilustrada na Figura 3.

Figura 3 – Imagens do satélite Goes-16 nas datas analisadas.



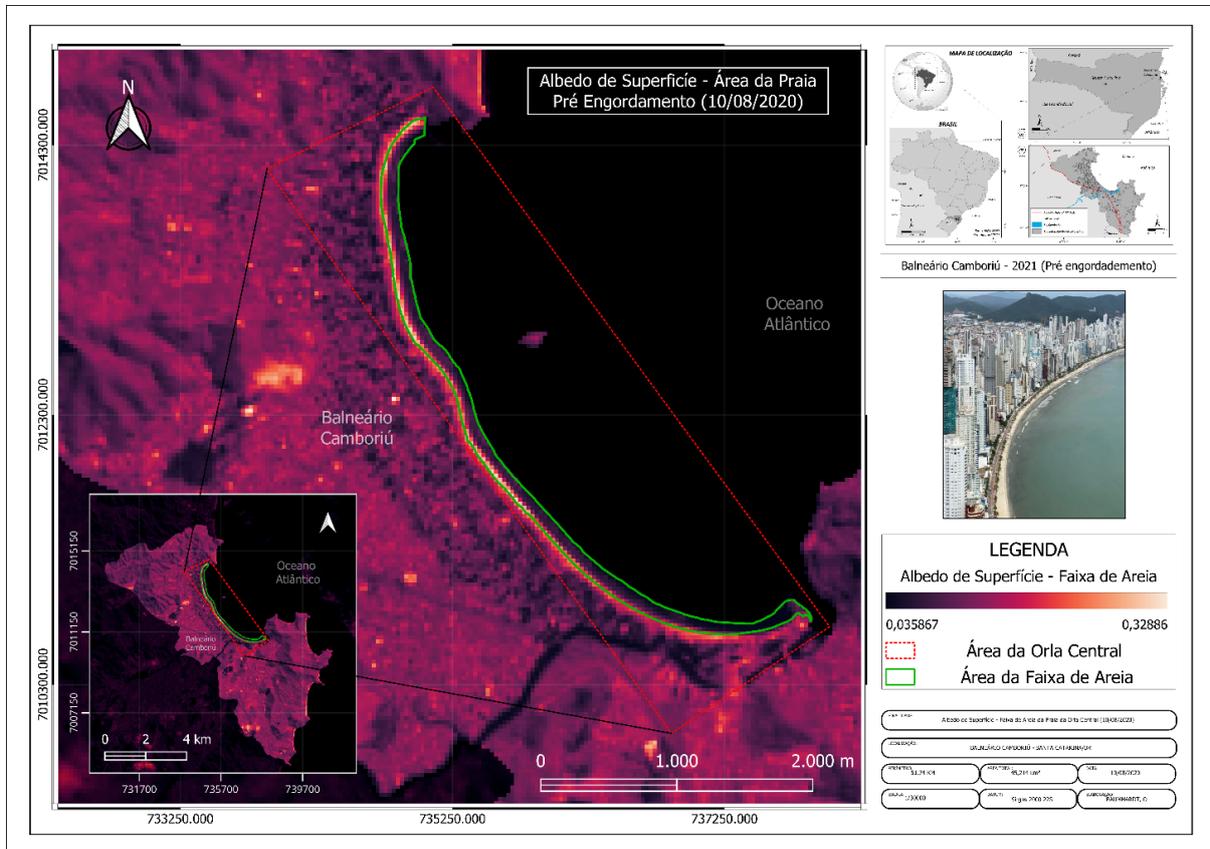
Fonte: Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA), INPE/CPTEC (2020 e 2023).

A partir da Figura 3 é possível observar que não há sistemas frontais próximos ao município de Balneário Camboriú. Além disso, percebe-se a ausência de nuvens verticais próxima a cidade. Isso se deve pelo fortalecimento da Alta Subtropical do Atlântico Sul, que exerce subsidência do ar na faixa leste de Santa Catarina (MONTEIRO, 2001). Como a temperatura do ar, em ambas as datas, está relativamente alta para um período invernal, e não há um sistema frontal mais ao norte de Balneário Camboriú, observa-se a atuação de um sistema tropical, com a presença da Massa Tropical Atlântica. Essa inferência pode ser validada observando as temperaturas máximas diárias para as duas datas analisadas.

Ao aumentar a área de areia exposta, há mais superfície para refletir a luz solar de volta para a atmosfera. Isso pode levar a um aumento do albedo na região. Para a data de 10/08/2020, antes da obra de extensão da faixa de areia, o albedo médio (Figura 4) na área de alargamento artificial é de 0,1183 unidades fracionárias, ou 11%. Esse valor relativamente baixo se dá justamente por esta área estar sendo majoritariamente ocupada por água, que possui um albedo

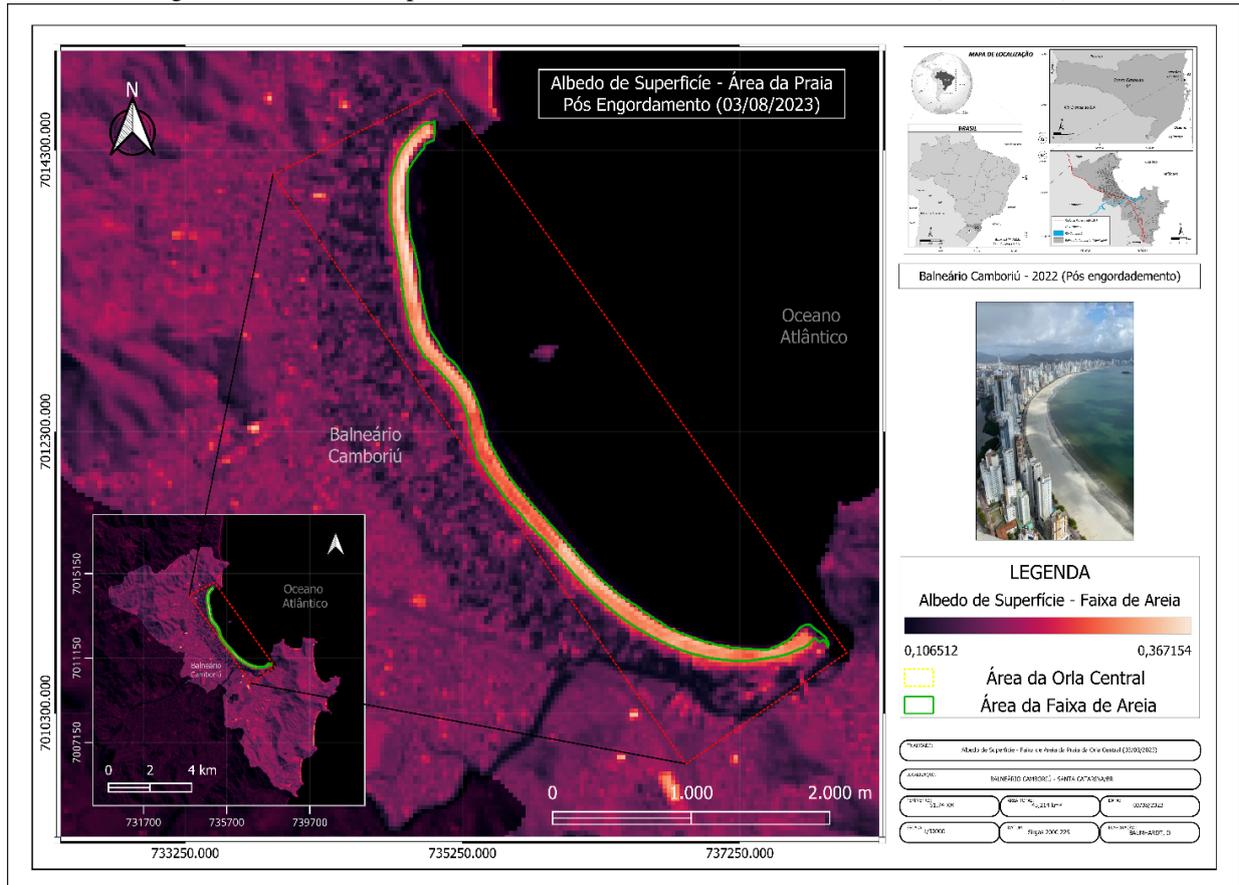
baixo. O valor de pixel mínimo para a área estendida foi em 2020 foi de 0,0358. Na mesma área, o valor máximo foi de 0,3288. Logo, há uma amplitude de 0,2929.

Figura 4 – Albedo de superfície na Praia Central de Balneário Camboriú (10/08/2020).



Para a área de controle (bairro Várzea do Ranchinho), o valor do albedo médio é de 0,1117. Logo, percebe-se que, no ano de 2020, o albedo médio da área de alargamento artificial é apenas 4,1% maior que a média do albedo no Bairro Várzea do Ranchinho. É válido destacar que esse bairro possui um albedo médio relativamente baixo por ser uma área predominantemente vegetada. Para a data de (03/08/2023) o valor médio do albedo de superfície na área da faixa de areia é ligeiramente mais alto, sendo de 0,2912 ou 29% (Figura 5). É válido destacar que esse valor está de acordo com os valores de referência (Tabela 2).

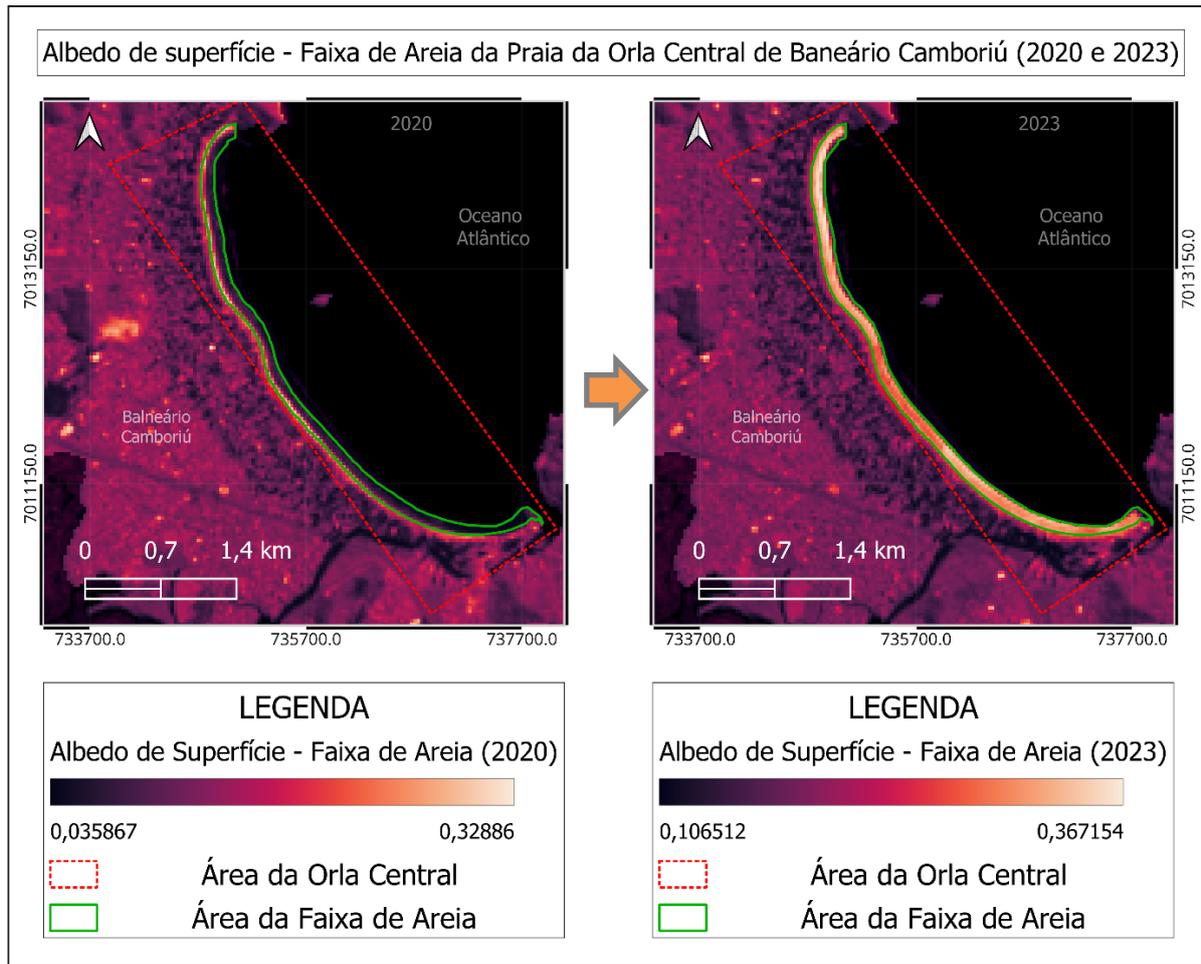
Figura 5 – Albedo de superfície na Praia Central de Balneário Camboriú (03/08/2023).



O valor de pixel mais baixo na área estendida foi de 0,1065, enquanto o valor mais alto foi de 0,3671, ambos mais altos em relação a 2020. É importante destacar que a amplitude do valor médio do albedo também diminuiu em relação a 2020 (0,2606). Logo, percebe-se que há uma hegemonia maior entre os valores de pixel na área alargada em relação ao ano de 2020. No bairro Várzea do Ranchinho (ponto de controle) o albedo médio em 2023 é de 0,1286. Logo, houve um aumento médio de 120,48% do albedo de 2023 em relação à 2020 na área da Praia. Esse valor comparativo é 116,38% mais alto em 2023 em relação ao ano de 2020.

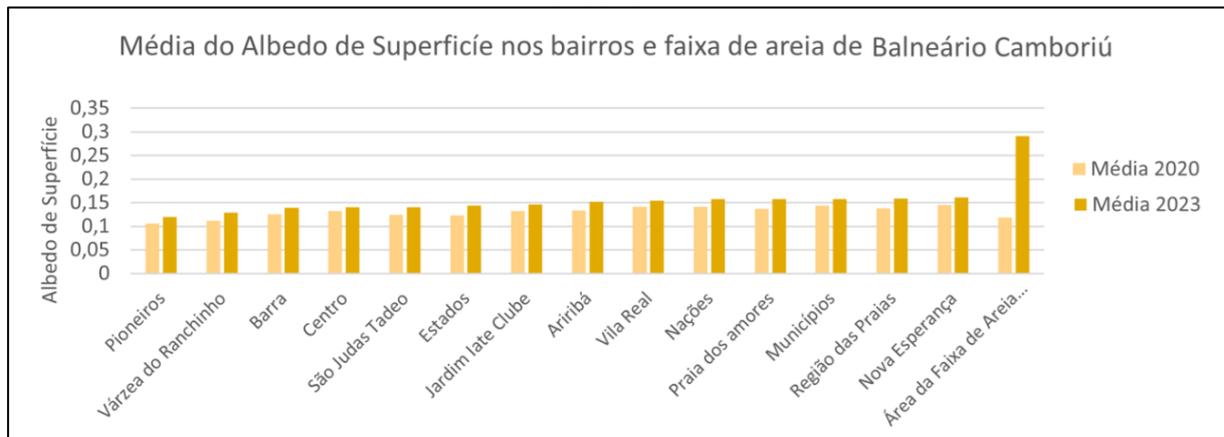
Comparando os valores diretamente (Figura 6) percebe-se que houve um aumento do albedo médio na área da faixa de areia de 0,1183 em 2020 para 0,2912 em 2023. Esta diferença corresponde um aumento percentil de 150,06%.

Figura 6 – Diferença entre Albedo de superfície na Praia Central de Balneário Camboriú entre 10/08/2020 e 03/08/2023.



Contudo, por mais que o albedo de superfície da área da faixa de areia tenha sido comparado somente com ele mesmo e com o bairro Várzea do Ranchinho, após o alargamento artificial a média dos valores do albedo de superfície na área engordada se tornou maior em comparação a todos os bairros de Balneário Camboriú (Figura 7).

Figura 7 – Média do Albedo de Superfície nos bairros e faixa de areia de Balneário Camboriú em 10/08/2020 e 03/08/2023.



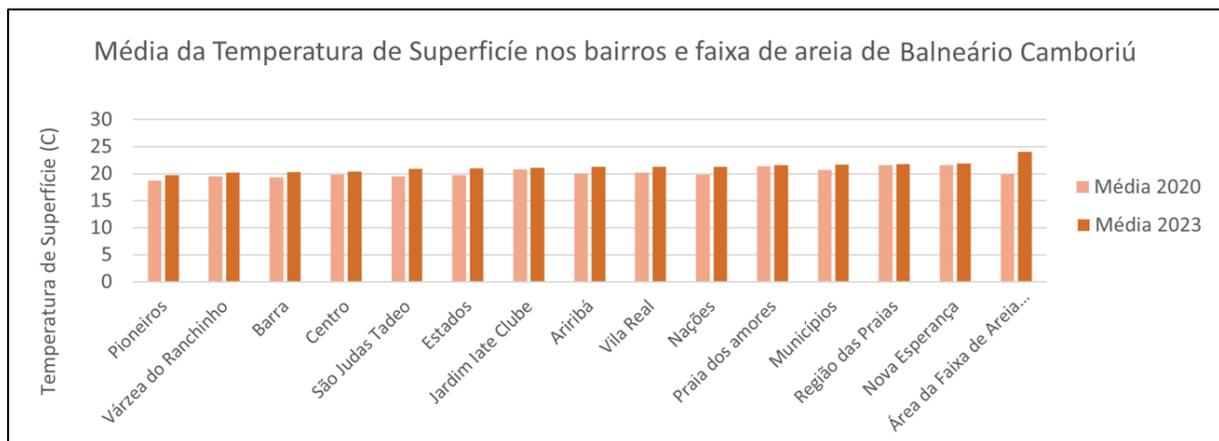
Além disso, é importante destacar que há relação entre o albedo de superfície e LST. Angelini et al. (2015), em um estudo na área urbana de Cuiabá apresentaram valores que mostram correlação entre alto albedo e alta LST. Nesse estudo, é apresentado que a área com vegetação densa possui os menores valores de albedo e a menor LST, já a área urbanizada apresenta valores de albedo mais elevados e a maior LST.

Ainda, inúmeras pesquisas que mostram uma causalidade direta entre alta LST e áreas urbanizadas (FERREIRA, 2019; CALLEJAS et al., 2011; GAMARRA et al., 2014; WANG et al., 2022). Logo, além de compreender a variação do albedo de superfície causado pelo alargamento artificial em Balneário Camboriú, é importante discernir a variação da LST na área.

Para a data de 2020, a LST média na área da faixa de areia é de 19,9°C. O bairro Várzea do Ranchinho, que é justamente a área mais vegetada da cidade, apresenta uma LST média de 18,7°C. Logo, a área da praia apresenta uma LST média de 6% mais alta em relação ao bairro Várzea do Ranchinho. Já para o ano de 2023, a LST média na área da praia é de 24,1°C. Já para Várzea do Ranchinho, a LST média é de 19,7°C.

Nesse sentido, percebe-se que a LST na área da praia é 21% mais alta que o ponto de controle, e 15% mais elevada que a comparação do ano de 2020. Contudo, pós alargamento artificial, a LST média da área da praia se tornou a maior em comparação aos demais bairros da cidade, inclusive a área mais edificada (Figura 8).

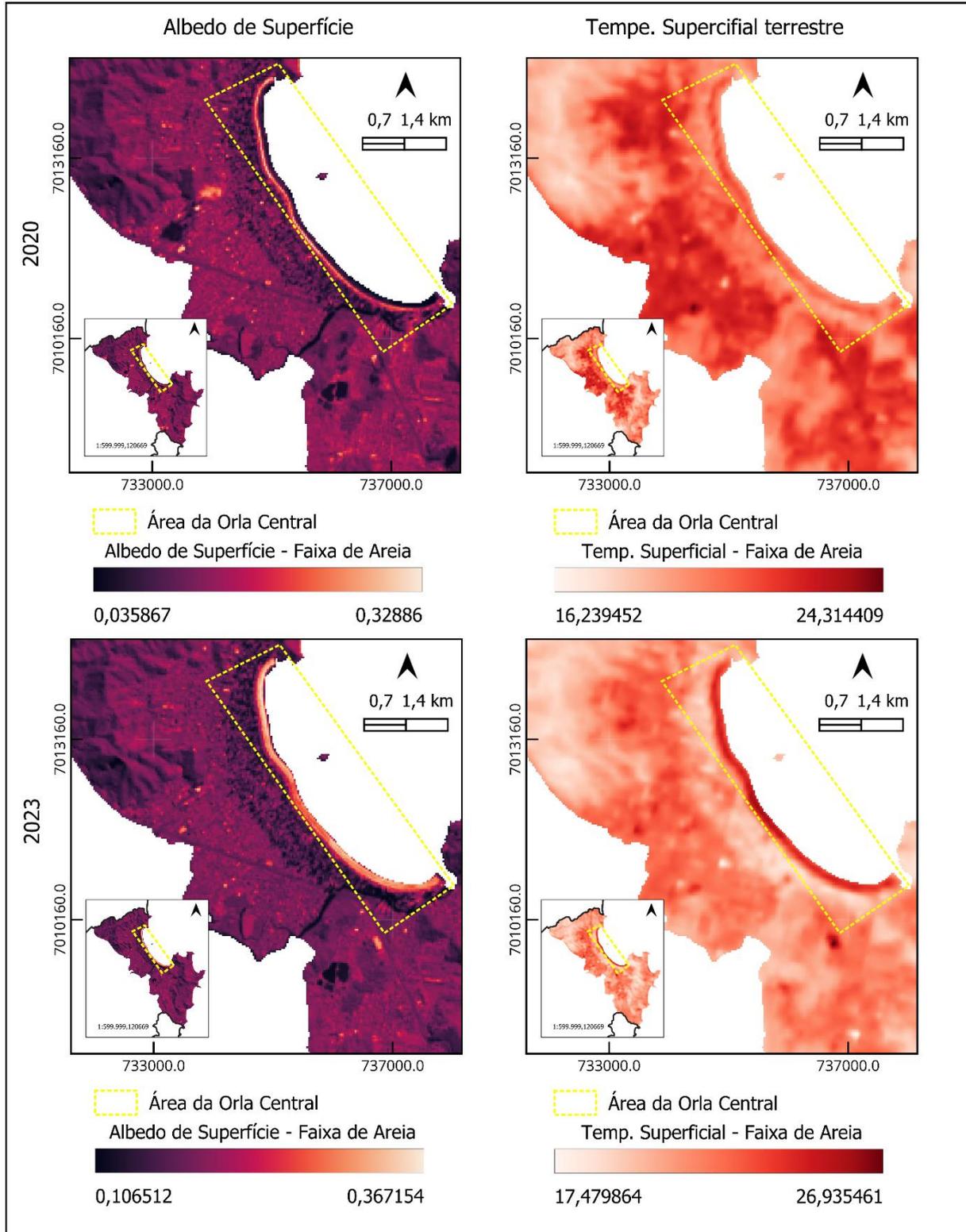
Figura 8 – Média da LST nos bairros e faixa de areia de Balneário Camboriú em 10/08/2020 e 03/08/2023.



Na Figura 8, percebe-se que a LST na área da faixa de areia, no ano de 2023, é maior que a média da LST dos demais bairros da cidade. Nesse sentido, em 2023, a área da praia se tornou a área com a maior LST de toda Balneário Camboriú. No de 2020, a mesma área apresenta uma LST média menor em comparação aos bairros edificados da cidade.

De acordo com a Figura 9, é possível visualizar como a LST variou após o alargamento artificial, alterando o contraste da LST no município de Balneário Camboriú.

Figura 9 – Variação do Albedo de Superfície e LST entre 10/08/2020 e 03/08/2023.



É importante destacar a correlação alta entre o aumento do albedo e o aumento da LST. Para Balneário Camboriú, a correlação de Pearson entre as variáveis média do albedo e média da LST para todos os bairros e a área de alargamento artificial tem um valor de 0,92 em 2023. Esse resultado mostra que quando uma variável aumenta (albedo de superfície) a outra variável aumenta (LST).

Evidencia-se, portanto, que a partir do alargamento da faixa de areia da praia da Orla Central de Balneário Camboriú, houve grande aumento do albedo de superfície. Além disso, a expansão da faixa de área aumentou a LST. Esse resultado reverbera no conforto térmico da área, visto que, onde antes havia água, um grande absorvedor de energia, hoje há areia, que reflete essa energia incidida de volta para a atmosfera terrestre, o que aumenta a temperatura radiante. Essa variação pode impactar negativamente na conservação de energia.

A partir dessa perspectiva, ao realizar um projeto dessa magnitude em uma área exclusivamente urbana, é de incognoscível relevância compreender e mensurar todos os impactos que ela pode gerar no microclima. A variação do albedo e da LST nessa área mostrou alteração vertiginosa do comportamento espectral da superfície, e por consequência, o conforto térmico das pessoas que frequentam essa área da cidade.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

De maneira geral, um dos principais motivos para o alargamento artificial da faixa de areia em regiões litorâneas é a diminuição dos processos erosivos causados pela ação das ondas e uma proteção da infraestrutura urbana quando há ressaca no mar – algo relativamente comum no sul do Brasil pela presença de baixas pressões atmosféricas relacionadas a passagem de frentes-frias.

O alargamento artificial da praia trouxe benefícios socioeconômicos consideráveis para Balneário Camboriú, particularmente no que diz respeito ao aumento do turismo e ao desenvolvimento urbano. A ampliação da faixa de areia permitiu a criação de novos espaços para lazer, atividades recreativas e maior conforto para os turistas, o que potencialmente resultará em um aumento significativo do fluxo turístico nos próximos anos. Contudo, é importante compreender todos os impactos que uma obra dessa magnitude pode causar no microclima. Balneário Camboriú é um município exclusivamente urbano, sendo o mais verticalizado do sul do Brasil. Já existem inúmeras pesquisas que relacionam a morfologia urbana dessa cidade com impactos microclimáticos.

Logo, é válido discernir os motivos e consequências dessas variações, que podem gerar malefícios a saúde humana. Outrossim, é importante destacar a eficiência de sensores satelitais na análise espectral da superfície terrestre. Porém, é relevante validar esses resultados através de dados primários oriundos de estações meteorológicas. Além disso, pela cidade ser bastante verticalizada, há inúmeras áreas de sombreamento, o que pode comprometer os resultados. Entretanto, como o horário de passagem do satélite é às 10 horas na área de estudo, não há sombras sendo projetadas na faixa de areia, o que deixa os resultados ainda mais consistentes.

A partir da metodologia empregada, foi possível mensurar a variação do albedo de superfície e temperatura de superfície. O albedo teve um aumento médio na área de alargamento artificial de 150% em 2023 em relação à 2020. Além disso, a área da praia tem a maior média de albedo em relação a todos os bairros de Balneário Camboriú. Já a LST, após a obra, houve um aumento de 15% em relação a data anterior à obra. É válido reiterar que ambas as datas de análise possuem padrões meteorológicos semelhantes.

Dada essa conjuntura, torna-se imprescindível levar em consideração o impacto térmico que uma obra de alargamento artificial pode gerar no ambiente. Há inúmeras pesquisas que mostram causalidade entre este tipo de obra em praias e as mudanças no ecossistema marinho. Porém, ao conceber projetos dessa magnitude é imprescindível levar todas as variáveis em consideração. O alargamento artificial expande a faixa de areia. Logo, onde havia água, que possui um baixo albedo, agora há areia, que possui um alto albedo. Essa mudança, por mais simples que seja, reverbera em grandes alterações espectrais dessa área, haja vista que há mais energia sendo refletida para a atmosfera, o que aumenta a temperatura média radiante.

## 5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos recursos dados via Bolsa de Produtividade PQ, processos nº 306505/2020-7 e 309222/2023-0.

## 6. REFERÊNCIAS

AMORIM, M. C. C. T. Clima urbano: concepções teóricas, metodologias, aplicações e perspectivas. **Revista Equador**, v. 4, p. 49-66, 2015.

ANGELINI, L.; FAUSTO, M.; MÜTZENBERG, D.; NASSARDEN, D.; DANELICHEN, V. H.; MARQUES, H.; MACHADO, N.; NOGUEIRA, J.; BIUDES, M. Relação entre albedo e temperatura da superfície estimados por sensoriamento remoto na área urbana de Cuiabá, Mato Grosso. **In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. João Pessoa Volume: 17. 2015.

AUMOND, R. et al. Impactos ambientais e urbanos do alargamento da praia de Balneário Camboriú. **Revista Brasileira de Ecologia Costeira**, v. 9, n. 2, 2023.

CALLEJAS, I. J. A, et al. Uso do solo e temperatura superficial em área urbana. **Mercator**, v. 10, n. 23, p. 207-223, 2011.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. S. C. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013.

DASH, P.; GÖTTSCHE, F. M.; OLESEN, F. S.; FISCHER, H. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice-current trends. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 13, p. 2563–2594. 2002. <https://doi.org/10.1080/01431160110115041>

ESKANDARI DAMENEH, H; 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.

FERREIRA, L. S. **Vegetação, temperatura de superfície e morfologia urbana: um retrato da região metropolitana de São Paulo**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2019.

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

HENDGES, E. R.; FOLLADOR, F. A. C.; ANDRES, J. Correlation study between land use and covering with surface temperature registered by Landsat 8 satellite. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 338-347, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>

LEITE, W. A. P. **Identificação dos impactos ambientais causados pela engorda da Praia Central do município de Balneário Camboriú - SC.** 33f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Gestão Ambiental) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

LUTGENS, F. K.; TARBUCK, E. J. **The Atmosphere: An Introduction to Meteorology.** 13. Edition. Hoboken: Pearson, 2015. 68p.

MONTEIRO, M. A. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. *Geosul*, v. 16, n. 31, p. 69-78, 2001.

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.

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

OLIVEIRA, M. L.; RUFINO, I. A. A.; CUNHA, J. E. B. L.; VASCONCELOS, R. S.; BRITO, H. C. Urban growth dynamics based on surface Albedo changes in Petrolina, Brazil. *Acta Scientiarum. Technology*, 2020. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v42i1.46270>

PIRES, E. G.; FERREIRA JR, LAERTE GUIMARÃES. Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8. **In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR** p. 7421-7428, 2015.

PREFEITURA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ. **Ampliação da faixa de areia da Praia Central é concluída.** Portal Oficial de Balneário Camboriú, 2021.

SANTOS, L. S.; MOURA, D. Impactos ambientais do engordamento de praias: o caso de Balneário Camboriú. *Revista Brasileira de Tecnologia Ambiental*, v. 8, n. 3, 2021.

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*, v. 152, p. 467-479, 2014. <https://10.1016/j.rse.2014.07.009>

SILVA, C. A. R.; ABESSA, D. M. S. Efeitos da dragagem costeira sobre ecossistemas marinhos em praias urbanas. *Revista Brasileira de Ciências Marinhas*, v. 10, n. 3, 2021.

SILVA, C. A. R.; ALMEIDA, F. A. Impactos da dragagem e engordamento costeiro em cidades turísticas. *Revista Brasileira de Engenharia Costeira*, v. 21, n. 3, 2021.

STEPHENS, G. L., et al. The albedo of Earth. *Reviews of geophysics*, v. 53, n. 1, p. 141-163, 2015.

TEIXEIRA PINTO, C.; JING, X.; LEIGH, L. Evaluation analysis of Landsat level-1 and level-2 data products using in situ measurements. *Remote sensing*, v. 12, n. 16, p. 2597, 2020.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal Remote Sensing of Urban Climates. *Remote Sensing of Environment*, 86, 370-384.2003. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8).

WANG, Y.; *et. al.* Influence of spatiotemporal changes of impervious surface on the urban thermal environment: A case of Huai'an central urban area. **Sustainable Cities and Society**, v. 79, p. 103710, 2022.

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. <https://10.1016/j.enbuild.2015.06.046>

WOLLMANN, C. A.; HOPPE, I. L.; GOBO, J. P. A.; SIMIONI, J. P. D.; COSTA, I. T.; BARATTO, J.; SHOOSHTARIAN, S. Thermo-Hygrometric Variability on Waterfronts in Negative Radiation Balance: A Case Study of Balneário Camboriú/SC, Brazil. **Atmosphere**. v. 12, p. 1453, 2021. <https://doi.org/10.3390/atmos12111453>

WRITZL, L.; WOLLMANN, C. A.; COSTA, I. T.; GOBO, J. P. A.; Shooshtarian, S.; Matzarakis, A. Outdoor Human Thermal Comfort along Bike Paths in Balneário Camboriú/SC, Brazil. **Atmosphere**, v. 13, p. 2092, 2022. <https://doi.org/10.3390/atmos13122092>

YNOUE, R. Y.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T., *et. al.* **Meteorologia: noções básicas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. ISBN: 978-85-7975-263-6. Capítulos 2 e 12.



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.