



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 10, nº 2 (2024)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2024v10n2ID33545>



Índice de Transformação Antrópica (ITA) aplicado à bacia hidrográfica do rio Araranguá, Santa Catarina, entre os anos de 1985, 2005 e 2019

Anthropic transformation index (ATI) applied to the Araranguá river hydrographic basin, Santa Catarina, between 1985, 2005 and 2019

José Gustavo Santos da Silva¹; Nilzo Ivo Ladwig²; Álvaro José Back³

¹ Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma/SC, Brasil. Email: gustasantos92@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0578-8266>

² Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis/SC, Brasil. Email: ladwignilzo11@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3031-0192>

³ Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Urussanga, SC, Brasil. Email: ajb@epagri.sc.gov.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0057-2186>

Resumo: Os estudos de cobertura e uso da terra são fundamentais para o planejamento e gestão territorial, especialmente quando se busca representar a dinâmica da paisagem. Este estudo teve como objetivo compreender e quantificar as transformações ocorridas na bacia hidrográfica do Rio Araranguá, no estado de Santa Catarina, Brasil, ao longo de três períodos distintos (1985, 2005 e 2019). A metodologia utilizada consistiu em duas etapas. Na primeira etapa, foi realizada uma análise multitemporal da cobertura e uso da terra, utilizando o método de regiões para classificação temática das imagens de satélite LANDSAT 5 e 8. Para processamento das imagens, foram empregados os softwares QGIS, ArcGIS 10.3 e IDRISI Selva. Na segunda etapa, foi aplicado o Índice de Transformação Antrópica (ITA) após a classificação temática, com o objetivo de entender a influência antrópica sobre o território em análise. Os resultados indicaram que, ao longo dos 35 anos abordados pelo estudo, a classe de pastagem e vegetação rasteira foi a mais reduzida em termos de área total (-532,29 km²), enquanto as áreas agrícolas (tipo solo exposto) cresceram significativamente (521,97 km²). Outras classes que apresentaram redução foram as áreas de extração mineira (-29,15 km²) e áreas de dunas e areais (-7,00 km²). O ITA foi classificado como "degradação regular" para a bacia como um todo em todos os anos de análise, com valores variando entre 3,15 em 1985, 3,52 em 2005 e 3,49 em 2019.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Sensoriamento Remoto; Análise Multitemporal.

Abstract: Studies of land cover and use are essential for land planning and management, especially when the aim is to represent landscape dynamics. The aim of the present study is to understand and quantify the transformations that occurred in the Araranguá River hydrographic basin in the state of Santa Catarina, Brazil, in three different periods (1985, 2005 and 2019). The methodology was done in two phases. In the first phase, a multitemporal analysis of land cover and use was carried out with the application of the regional method to thematically classify LANDSAT 5 and 8 satellite images. To process the images, the QGIS, ArcGIS 10.3 and IDRISI Selva software were used. In the second phase, the Anthropic Transformation Index (ATI) was used after the thematic classification with the aim of understanding the anthropic influence on the land being analyzed. Results indicated that, during the 35 years covered by the study, the class pastures and creeping vegetation underwent the greatest reduction in terms of total area (-532.29 km²), while agricultural areas (of the exposed soil type) increased significantly (521.97 km²). Other classes that presented a reduction were those of mining extraction areas (-29.15 km²) and dunes and sands (-7.00 km²). The ATI was classified as "average degradation" for the basin as a whole in all the years analyzed, with values varying between 3.15 in 1985, 3.52 in 2005 and 3.49 in 2019.

Keywords: Geoprocessing; Remote Sensing; Multitemporal Analysis;

Recebido: 08/08/2023; Aceito: 20/03/2024; Publicado: 19/07/2024

1. Introdução

O uso das terras pelas sociedades tem impactado suas características e condições originais. O ser humano tem modificado o espaço em que vive para adaptá-lo às suas necessidades, muitas vezes sem um planejamento adequado, o que resulta na alteração das características naturais da cobertura das terras (BEPPLER; JUSTINO, 2017). A avaliação dessas mudanças na paisagem é fundamental para um planejamento e gestão territorial eficazes, pois esses estudos podem subsidiar decisões relacionadas ao uso e conservação da natureza.

Para essa avaliação, é crucial contar com informações cartográficas precisas que retratem a dinâmica da cobertura e uso da terra e as transformações na paisagem em um determinado território. Neste estudo, a unidade territorial de análise é a bacia hidrográfica do Rio Araranguá (BHRA). As bacias hidrográficas têm se destacado como unidades de análise, uma vez que são unidades de gestão dos recursos hídricos conforme a legislação (SCHUSSEL; NASCIMENTO NETO, 2015). Por isso, precisam ser consideradas como unidades de estudo nas pesquisas científicas para a melhoria constante da qualidade do meio biótico, abiótico e social, partes integrantes desse espaço geográfico. Assim, uma bacia hidrográfica é um território onde ocorrem atividades humanas. Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica, tornando-a uma unidade de planejamento relevante (PORTO; PORTO, 2008).

A metodologia de análise empregada neste trabalho baseia-se em dois momentos distintos. Inicialmente, será realizada uma análise multitemporal da cobertura e uso da terra para compreender a dinâmica da paisagem nessa bacia. Esse tipo de análise tem sido empregado em estudos científicos desde a década de 1950 e ganhou importância com o avanço da ciência do sensoriamento remoto. A obtenção contínua de imagens de satélite da superfície terrestre permite a detecção e análise das mudanças na cobertura das terras e da dinâmica da paisagem de forma abrangente.

Num segundo momento, será aplicada outra metodologia denominada de Índice de Transformação Antrópica (ITA), a utilização desta metodologia é possibilitada a partir dos dados obtidos na análise multitemporal. Essa metodologia é proposta por Lémechev (1982) e modificada por Mateo Rodriguez (1991), visa compreender as pressões antrópicas sobre o território estudado, quantificando o grau de modificação da paisagem considerando o uso da terra. O ITA é uma ferramenta objetiva que fornece informações sobre a ação humana em um determinado espaço geográfico (Gomes & Sobrinho, 2018). A classificação da cobertura e uso da terra e o ITA são metodologias complementares na análise ambiental.

Portanto, o objetivo desta pesquisa é analisar de forma multitemporal as mudanças na cobertura e uso da terra na BHRA e as pressões antrópicas sobre ela, por meio da aplicação do ITA.

2. Localização e Caracterização da área de estudo

Delimitou-se como território de estudo a Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, localizada no sul de Santa Catarina (figura 1). A bacia apresenta como divisor ao sul a Bacia Hidrográfica do Rio Mampituba (BHRM), ao norte a Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga (BHRU), a leste o oceano Atlântico, e a oeste as escarpas da Serra Geral. A Serra Geral apresenta-se como o principal divisor de águas da rede hidrográfica do sul de Santa Catarina, direcionando as bacias a leste de suas escarpas para a vertente do Atlântico. A área de ocupação da bacia é de aproximadamente 3.071 km² (KREBS, 2004; COMASSETO, 2008; PERH/SC, 2017).

A bacia apresenta, como características de ocupação e uso da terra, três formas distintas: a forte influência das questões agropastoris, com destaque para a agricultura de arroz irrigado; a extração mineral do carvão e outros minerais; e a intensificação da urbanização e crescimento das populações residentes por toda a bacia, crescendo, assim, a carga antrópica sobre os recursos, com aumento da demanda por esgotamento sanitário e água potável para consumo e irrigação.

Krebs (2004); Scheibe; Buss e Furtado (2010) citam que os recursos hídricos da região se encontram extremamente prejudicados, estimando que 2/3 destes estão poluídos de alguma forma e são impróprios para o consumo, não se restringindo somente a BHRA, mas envolvendo todas as três bacias que drenam a região carbonífera do sul de Santa Catarina. Santos da Silva et al., (2023) apontam que a qualidade ambiental da BHRA pode ser classificada como impactada no terço inferior, alterada no terço médio e natural no terço superior.

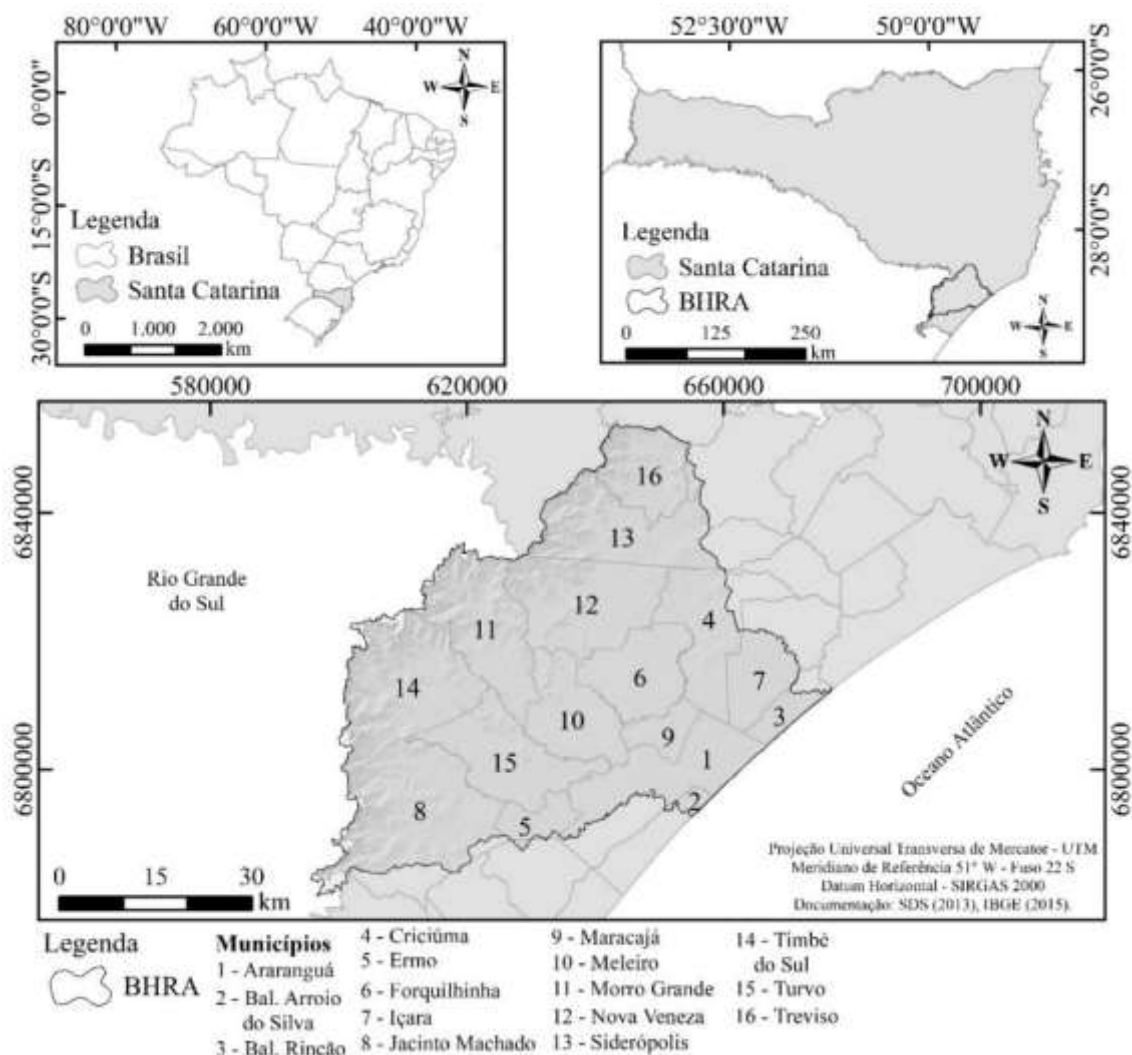


Figura 1 – Localização Geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá.
 Fonte: Autores (2024).

No que se concerne ao clima, a BHRA apresenta dois tipos climáticos de acordo com a classificação de Köppen. A maior parte da bacia possui um clima subtropical mesotérmico úmido (Cfa), com verões quentes, enquanto áreas mais elevadas possuem um clima temperado mesotérmico úmido (Cfb), com verões amenos (Figura 2 A). Nas áreas com clima Cfa, a temperatura média anual varia de 17,0 a 19,3 °C (Figura 2 B), e a precipitação pluviométrica total anual varia entre 1.220 e 1.660 mm (Figura 2 C). Já nas áreas com clima Cfb, a temperatura média anual varia de 11,4 a 17,9 °C (Figura 2 B) (ALVARES et al., 2014).

O relevo da BHRA se encontra distribuído em altitudes entre 0 e 1500 m (Figura 3 A), ocupando espaços desde a Planície Litorânea até as Escarpas da Serra Geral, variando de plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado a montanhoso (SANTA CATARINA, 1986). As formações pedológicas da bacia apresentam-se em nove tipos de solos (Figura 3 B), sendo os mais expressivos em área os Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Neossolos (EMBRAPA, 2018). A BHRA está inserida na região hidrográfica número 10 (RH 10 Extremo sul Catarinense) (Back, 2014). Seus rios deságuam na vertente Atlântica tendo suas principais nascentes na região da Serra Geral (Figura 3 C), cujas altitudes médias variam de 1200 a 1400 m (SANTA CATARINA, 1986). O seu rio principal (Araranguá) é o maior receptor da bacia, drenando o volume de água proveniente dos demais afluentes que formam a bacia. Segundo Santos da Silva et al., (2023) o grande volume de água que se drena a partir dos afluentes da bacia acabam por carrear contaminantes advindos

das atividades antrópicas como cultura do arroz irrigado, dejetos urbano-industriais, resíduos sólidos, drenagem ácida de minas e metais pesados provenientes das áreas de mineração de carvão.

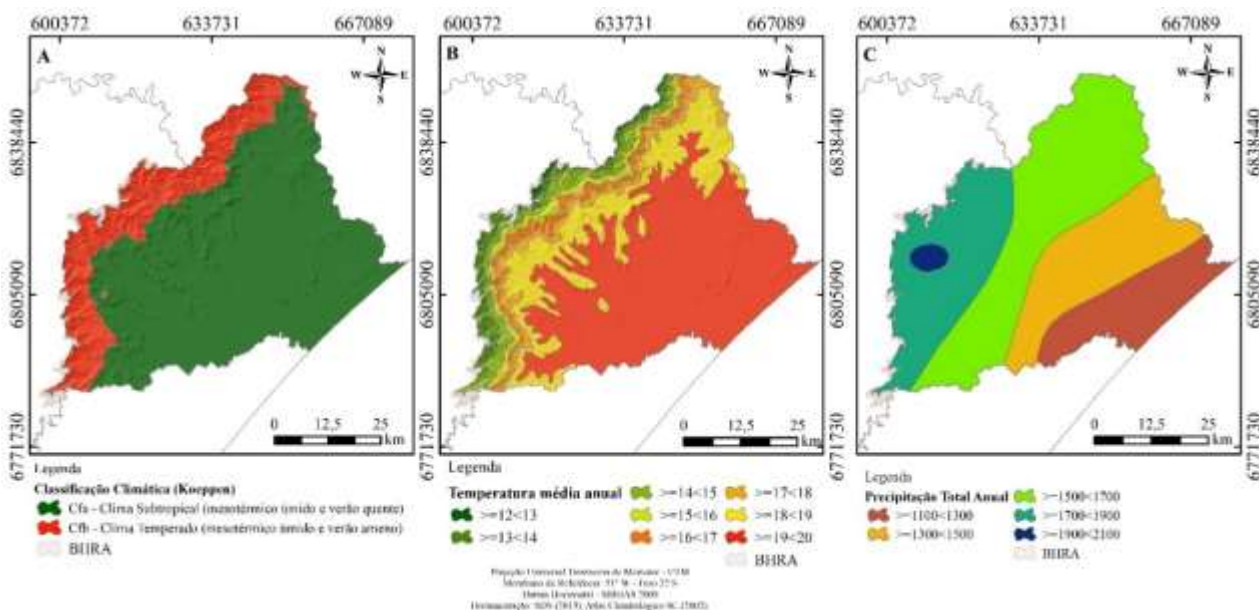


Figura 2 – Distribuição dos tipos climáticos Cfa e Cfb (A), temperaturas médias anuais (B) e precipitação total anual (C) da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, sul de Santa Catarina, Brasil.

Fonte: Autores (2024).

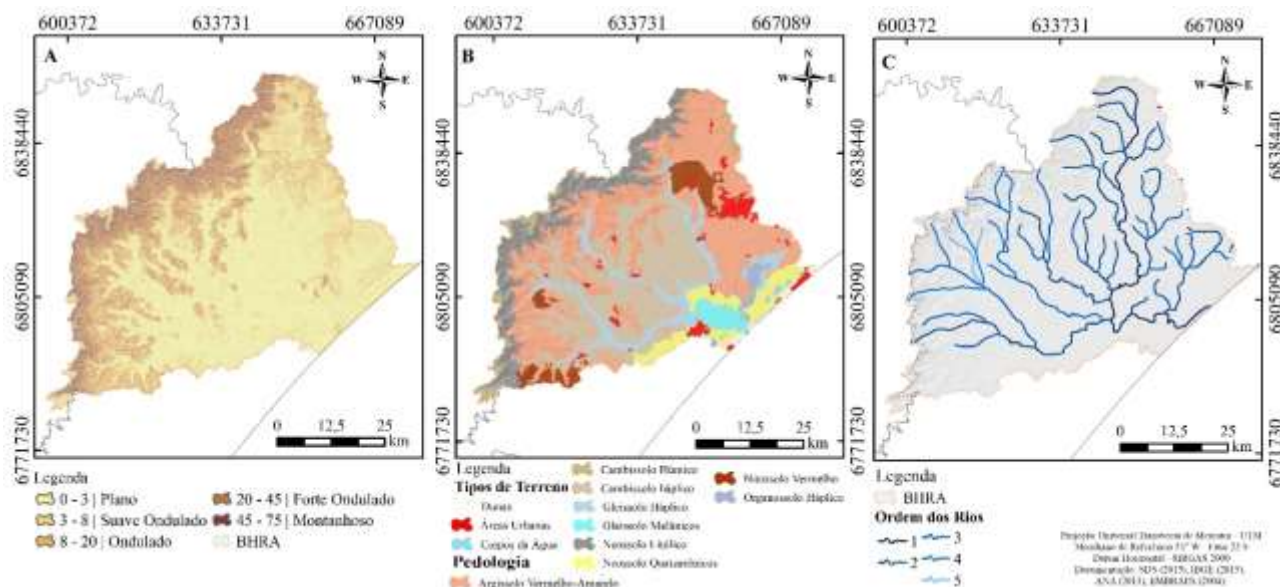


Figura 3 – Relevo (A), formações pedológicas (B) e hidrografia (C) da BHRA sul de Santa Catarina, Brasil.

Fonte: Autores (2024).

3. Metodologia

3.1 Processamento digital de imagens

A síntese do processamento digital das imagens pode ser observada na figura 4.

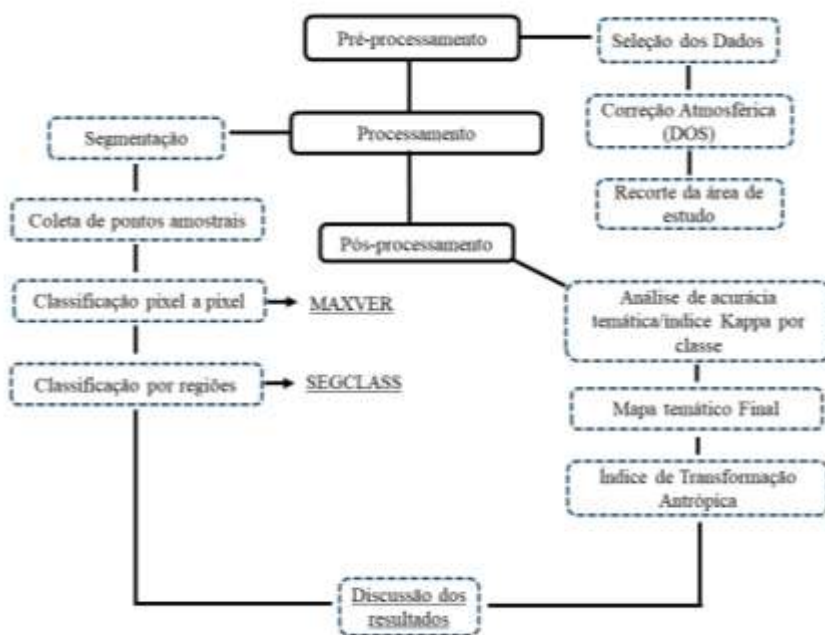


Figura 04 – Fluxograma do processamento digital das imagens
 Fonte: Autores (2024)

As imagens foram escolhidas com base em critérios pré-estabelecidos como: sua temporalidade (respeitando um espaço temporal de 35 anos), pela baixa cobertura de nuvens, mesma resolução espacial, e que pertencem a uma sazonalidade entre final do mês de abril e setembro. Este último critério justifica-se pelo fato de que entre o mês de agosto e o mês de janeiro ocorre o ciclo da cultura do arroz irrigado na bacia.

As imagens foram obtidas no banco de imagens no site *Earth Explorer* do *United States Geological Survey* (USGS) derivados do sistema de imageamento terrestre Landsat 5 e 8. As características gerais das imagens podem ser observadas no quadro 1. Optou-se pelo uso da imagem do ano de 2019 pela razão de que em 2020 não foi encontrada uma imagem sem cobertura de nuvens no período de sazonalidade pretendido.

| Sensor | Data de aquisição da imagem | Orbita/ponto | Resolução espacial | Resolução radiométrica | Resolução temporal | Bandas utilizadas |
|-----------------|-----------------------------|--------------|--------------------|------------------------|--------------------|-----------------------|
| Landsat 5 - TM | 09/07/1985 | 220/80 | 30 m | 8 bits | 16 dias | 1(B)2(G) 3(R)4(IR) |
| Landsat 5 - TM | 29/05/2005 | 220/80 | 30 m | 8 bits | 16 dias | 1(B)2(G)3(R)4(IR) |
| Landsat 8 - OLI | 05/06/2019 | 220/80 | 30 m | 16 bits | 16 dias | 2(B)3(G) 4(R)5(IR) |

Tabela 1 – Características das imagens Landsat utilizadas.
 Fonte: Earth Explore/USGS

A etapa de pré-processamento se iniciou pela definição das imagens e bandas. Após a definição das bandas e datas das imagens, iniciou-se a etapa de distinção das classes temáticas. Foram definidas 8 classes por meio da técnica de chave de fotointerpretação, esta etapa consistiu em diferenciar os elementos da paisagem a ser classificada por meio de interpretação visual (JENSEN, 2009). São elas: Tecido urbano, Áreas agrícolas (tipo solo exposto), Pastagens e vegetação rasteira, Vegetação Arbórea/Arbustiva, Áreas de extração mineral, Massa da Água, Dunas e áreas e Sombra. A nomenclatura das classes se baseou no programa denominado *CORINE land Cover (Co-ordination of Information on the Environment)* criado em 1985 pela Comissão Europeia. Após a seleção, as bandas foram importadas no software QGIS 3.14.0 “pi” em que foram registradas, reprojatadas para o Datum SIRGAS 2000 e realizada a correção atmosférica pelo método de DOS (*Dark Object Subtraction*).

Para a classificação das imagens foi empregada a metodologia de classificação por regiões seguindo as recomendações de Mastella e Vieira (2018). Nesta metodologia a imagem é segmentada ou dividida em regiões, processo que consiste no agrupamento de pixels que possuem características semelhantes (BRITES et al., 2012). Esse procedimento utilizou a ferramenta “*segmentation*” e teve como base as bandas 1/2/3/4 para o sensor TM e bandas 2/3/4/5 para o sensor OLI. O índice de similaridade utilizado foi igual a 1 e uma janela de varredura 3x3.

Após a imagem segmentada utilizou-se a ferramenta “*SegTrain*”, onde se cruza os segmentos gerados a uma imagem em composição falsa cor para realizar as coletas das amostras de treinamento dentro dos segmentos e dar origem a um arquivo de assinatura de cada classe, onde é atribuído um ID (identificador) e o nome respectivo da classe.

Com o arquivo de assinatura determinado, inicia-se o processo de classificação pixel a pixel das imagens, utilizando o algoritmo de classificação Máxima Verossimilhança (MAXVER). A última etapa utilizou a imagem classificada pixel a pixel como base para uma reclassificação em segmentos (classificação por regiões) usando a ferramenta “*SEGCLASS*”. (MASTELLA; VIEIRA, 2018), este tipo de classificação é visto como supervisionada.

A validação do mapeamento foi condicionada ao coeficiente Kappa e à exatidão global; estes índices avaliam a totalidade da acurácia do mapeamento. Landis e Koch (1977) desenvolveram os intervalos de índice Kappa que estão conexos ao nível de qualidade do mapeamento temático, variando de 0 a 1. Os resultados obtidos pelo índice Kappa são apresentados na tabela 1 a seguir.

| Ano | Kappa | Exatidão Global | Qualidade do mapeamento |
|------|--------|-----------------|-------------------------|
| 1985 | 0,8933 | 0,9067 | Excelente |
| 2005 | 0,8819 | 0,8967 | Excelente |
| 2019 | 0,8933 | 0,9067 | Excelente |

Tabela 2 – Valores de Kappa e Exatidão global
Fonte: Autores (2021).

3.2 Cálculo ITA

Após a classificação e mapeamento final da cobertura e uso da terra, é realizada a segunda etapa do trabalho, que consiste na aplicação do cálculo do ITA. Para realizar esse cálculo, é necessário que as classes de uso da terra estejam contabilizadas. O cálculo do ITA foi realizado seguindo as orientações dos estudos de Mateo Rodriguez (1991) e tem como objetivo fornecer informações sobre a carga antrópica de cada classe mapeada. Portanto, sem a prévia classificação da cobertura e uso da terra, não é possível aplicar o ITA.

Os estudos desenvolvidos por Mateo Rodriguez (1991) propõem a seguinte equação para o cálculo do ITA:

$$ITA = \sum (\%USO \times PESO) / 100 \quad \text{Eq}$$

Em que:

USO: refere-se a área em valores percentuais da classe de cobertura e uso da terra;

PESO: peso dado aos diferenciados tipos de cobertura e uso quanto ao grau de alteração antrópica.

Os pesos atribuídos aos diversos tipos de cobertura e uso da terra em relação ao grau de alteração antrópica foram estabelecidos após consulta a especialistas da área. Essa consulta envolveu o conhecimento de oito pesquisadores com formações diversas (Biologia, Engenharia e Geografia), com o objetivo de auxiliar na definição dos pesos. Os resultados dessa consulta estão apresentados no quadro 2. Vale ressaltar que a classe "Sombra" não recebeu nenhum peso antrópico devido à falta de conhecimento sobre o que está contido na região sombreada.

| Classes | Pesos | Classificação |
|--|-------|--------------------|
| Tecido urbano | 7,78 | Muito degradada |
| Áreas agrícolas (tipo solo exposto) | 6,11 | Degradada |
| Pastagens e vegetação rasteira | 4,67 | Degradação regular |
| Vegetação arbórea/arbustiva | 1,22 | Pouco degradada |
| Áreas de extração mineira | 8,67 | Muito degradada |
| Massa da água | 1,67 | Pouco degradada |
| Dunas e areais | 2,50 | Pouco degradada |
| Sombra | 0 | Não atribuído |

Tabela 3 – Pesos atribuídos e classificação de degradação das classes
 Fonte: Autores (2024)

O método de classificação do ITA baseia-se nos trabalhos de Cruz (1984), Gouveia; Galvanin; Neves (2013) que classificam o ITA em: pouco degradada (0 - 2,5), degradação regular (2,5 - 5), degradada (5 - 7,5) e muito degradada (7,5 - 10).

4. Resultados e discussão

Observa-se na Figura 5 o mapeamento de cobertura e uso da terra para os anos de 1985, 2005 e 2019 da BHRA. A Tabela 2 demonstra o resultado da mensuração das classes de cada ano. Os principais resultados da análise multitemporal demonstram a expansão das áreas destinadas a fins agrícolas, com um crescimento de 521,3 km² (139,07%) no período analisado, estas áreas se expandiram em detrimento da diminuição das áreas destinadas a pastagens e vegetações rasteiras, que obtiveram uma supressão de área de -532,29 km² (-48,7%). Outra classe analisada que apresenta expansão foram as áreas urbanas, com um crescimento no período de 79,24 km² (192%). Outro resultado importante a se apontar é a supressão das áreas de extração mineira e de dunas, que perderam respectivamente no período -29,15 km² (-85,52%) e -7 km² (-46,89%).

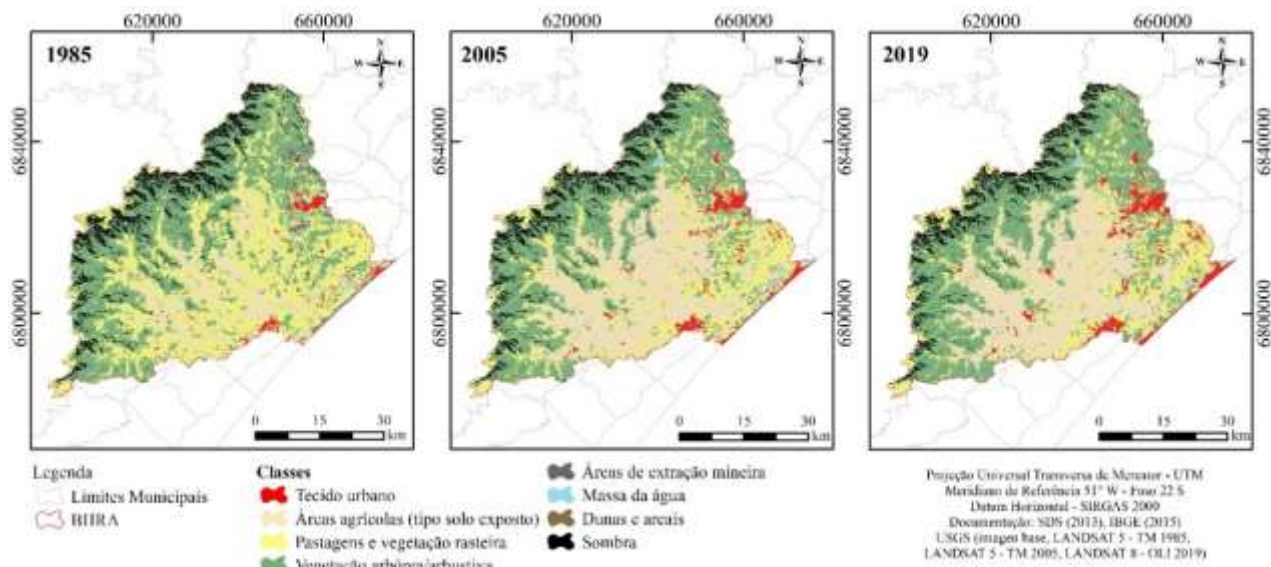


Figura 05 – Mapas de cobertura e uso da terra
 Fonte: Autores (2024)

| Classe | Área (Km ²) | Área (%) | Área (Km ²) | Área (%) | Área (Km ²) | Área (%) |
|-------------------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|
| | 1985 | 1985 | 2005 | 2005 | 2019 | 2019 |
| Tecido urbano | 41,31 | 1,35 | 79,88 | 2,60 | 120,55 | 3,93 |
| Áreas agrícolas (tipo solo exposto) | 375,33 | 12,22 | 897,16 | 29,21 | 897,30 | 29,22 |
| Pastagens e vegetação rasteira | 1115,91 | 36,33 | 670,25 | 21,82 | 583,62 | 19,00 |
| Vegetação arbórea/arbustiva | 1212,14 | 39,47 | 1154,10 | 37,58 | 1221,24 | 39,76 |
| Áreas de extração mineira | 34,11 | 1,11 | 13,27 | 0,43 | 4,94 | 0,16 |
| Massa da água | 16,54 | 0,54 | 20,64 | 0,67 | 20,82 | 0,68 |
| Dunas e areais | 14,93 | 0,49 | 8,78 | 0,29 | 7,93 | 0,26 |
| Sombra | 260,93 | 8,50 | 227,12 | 7,40 | 214,79 | 6,99 |
| Total | 3071,19 | 100 | 3071,20 | 100 | 3071,20 | 100 |

Tabela 4 – Mensuração das classes de uso e cobertura da terra da BHRA.

Fonte: Autores (2024).

Na figura 6 se observa os resultados do mapeamento do ITA para os três períodos estudados. A tabela 3 demonstra os resultados obtidos para o ITA, que, de forma geral, foi classificado para a BHRA como “degradação regular” em todos os anos de análise, variando entre 3,15 em 1985, 3,52 em 2005 e 3,49 em 2019. Os resultados individuais são discutidos a seguir em conjunto com a mensuração de cada classe.

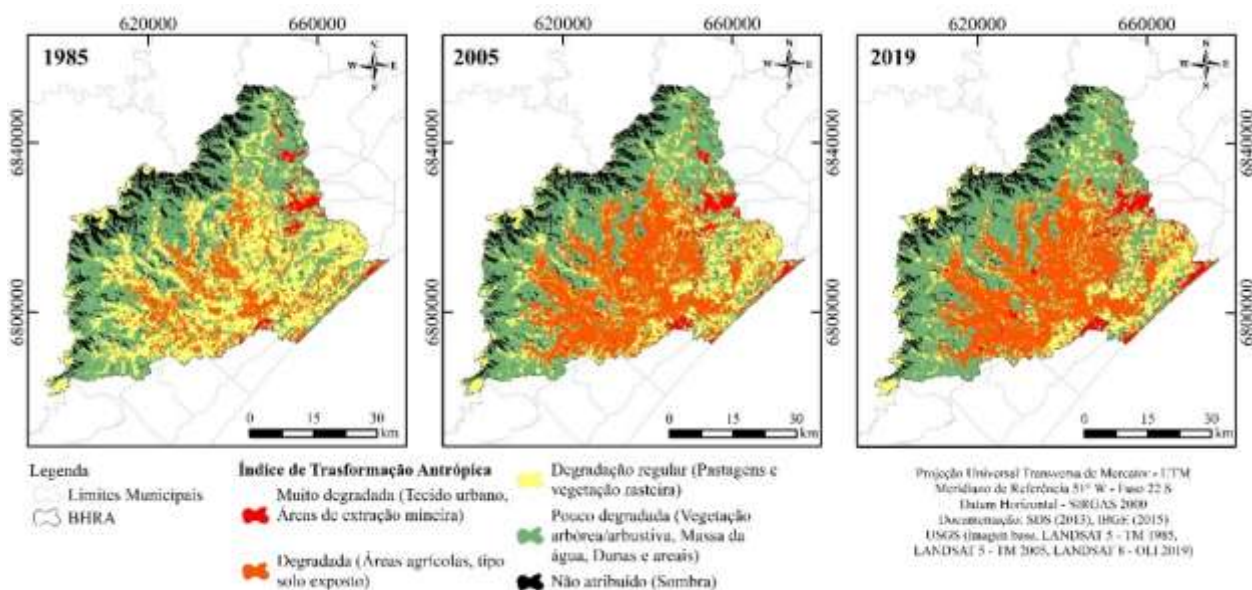


Figura 06 – Mapeamento do ITA para a BHRA.

Fonte: Autores (2024).

| Classe | Área (%) | | | | Resultado ITA | | |
|--|----------|-------|-------|----------|---------------|------|------|
| | 1985 | 2005 | 2019 | Peso ITA | 1985 | 2005 | 2019 |
| Tecido urbano | 1,35 | 2,60 | 3,93 | 7,78 | 0,10 | 0,20 | 0,31 |
| Áreas agrícolas (tipo solo exposto) | 12,22 | 29,21 | 29,22 | 6,11 | 0,75 | 1,78 | 1,79 |
| Pastagens e vegetação rasteira | 36,33 | 21,82 | 19,00 | 4,67 | 1,70 | 1,02 | 0,89 |
| Vegetação arbórea/arbustiva | 39,47 | 37,58 | 39,76 | 1,22 | 0,48 | 0,46 | 0,49 |
| Áreas de extração mineira | 1,11 | 0,43 | 0,16 | 8,67 | 0,10 | 0,04 | 0,01 |
| Massa da água | 0,54 | 0,67 | 0,68 | 1,67 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Dunas e areais | 0,49 | 0,29 | 0,26 | 2,5 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Sombra | 8,50 | 7,40 | 6,99 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | 100 | 100 | 100 | - | 3,15 | 3,52 | 3,49 |

Tabela 5 – Resultados do ITA.

Fonte: Autores (2024).

A primeira classe de cobertura e uso analisada no mapeamento temático refere-se a classe “Tecido urbano”, que engloba área com edificações, sistemas viários e terrenos que constituem uma cidade. Esta classe representa, no ano de 1985, uma área de 41,31 km², expandindo para 79,88 km² em 2005 e, seguindo a tendência de aumento em 2019, registra 120,55 km², totalizando um aumento de área de 79,24 km² entre 1985 e 2019. A classe Tecido Urbano foi a que apresentou o segundo maior peso ITA (7,78) proposto pelos avaliadores, sendo classificada como degradada, demonstrando a pressão antrópica sobre esta unidade de análise.

A expansão da classe Tecido Urbano pode ser observada no território da bacia em quatro eixos: norte da bacia, região de Araranguá, litoral e municípios interioranos. Na porção norte da bacia, na região dos municípios de Criciúma, Içara e Forquilha, a urbanização se desenvolveu mais rapidamente devido a descoberta do carvão mineral e a consequente atração de pessoas para trabalhar neste setor. Criciúma se tornou o principal município da bacia, tendo destaque comercial desde o começo dos anos 1900. Esta, com o passar dos anos se tornou polo de atração em diversas áreas.

Os municípios localizados na porção norte da bacia hidrográfica apresentam uma urbanização mais acelerada a partir do século XX, em comparação com os municípios da porção sul, que mantiveram características rurais. Esse crescimento urbano na região norte pode ser atribuído ao impulso proporcionado pelas atividades comerciais iniciadas no início do século XX, principalmente o setor de mineração. Posteriormente, indústrias cerâmicas, metalmeccânicas, agroindústrias e têxteis contribuíram para essa urbanização. A instalação dessas empresas nas cidades da porção norte da bacia atuou como agente de produção e modificação da morfologia do espaço urbano, com o apoio do estado para suas instalações e atividades (SILVA, 2012).

Segundo Manenti (2019), que trabalhou com predições de mudanças na cobertura e uso da terra na região da AMREC (que engloba parte dos municípios ao norte da bacia), para o ano de 2040, a tendência revelada é que provavelmente está conurbação já iniciada entre Criciúma e Içara se expanda entre Criciúma e outros municípios vizinhos como Nova Veneza, Forquilha, Morro da Fumaça e Cocal do Sul, influenciados por suas ligações rodoviárias e comerciais.

Outra atividade que exerce pressão sobre os recursos hídricos da bacia é a atividade agrícola; esta é a segunda classe analisada, sendo denominada de “Áreas Agrícolas (tipo solo exposto)”; esta classe engloba as áreas de cultivos temporários de terreno seco e/ou irrigado.

Estas áreas são evidentes na paisagem, sendo representadas por formas regulares bem definidas presente em quase toda extensão territorial da bacia. Encontra-se de forma descontínua pelo território, tendo porções desde a escarpa da Serra Geral até o litoral. Nesta classe também se englobam as áreas de solo exposto que não necessariamente tenham algum tipo de cultivo, mas que apresentam resposta espectral parecida.

A principal classe que sofreu conversão para áreas agrícolas foi a classe de pastagem e vegetação rasteira, principalmente aquelas que se encontravam em áreas mais planas da bacia. O ITA para esta classe foi classificado como “degradado” (6,11); isto está atrelado a expansão das áreas agrícolas na bacia, em especial ao cultivo do arroz irrigado após os anos 1980.

O sistema de cultivo irrigado ou de várzeas caracteriza-se por ter suas áreas de cultivo próximas a recursos hídricos, geralmente em planícies fluviais, que fazem parte da zona de sedimentação nas bacias hidrográficas. O modo de semeadura utilizado é o pré-germinado, no qual a semeadura é efetuada em lâmina da água; esse tipo de plantação é encontrada em

áreas suscetíveis a inundação, local próprio para o cultivo por sua exigência de lâmina da água durante parte da produção. (COLOMBO, 2017).

Back; Deschamps e Santos (2016) comentam que, apesar desse sistema oferecer vantagens, ele apresenta um maior período de irrigação contínua, desta forma apresentando desvantagem em relação ao maior consumo de água e a probabilidade da contaminação dos recursos hídricos. O cultivo em várzeas é predominante no sul de Santa Catarina, especialmente na área da BHRA, por apresentar planícies de inundação favoráveis ao estabelecimento dessa cultura.

A produção agrícola na bacia exerce sobre os recursos hídricos pressão no que diz respeito a utilização de agrotóxicos na produção do cultivo do arroz irrigado; esta tem apresentado aumento ao longo das últimas três décadas, acompanhando a expansão da área plantada e, nos sistemas de plantio, o uso de agrotóxicos adotado na bacia traz a preocupação com a contaminação dos recursos hídricos, superficiais e subterrâneos (BACK; DESCHAMPS; SANTOS, 2016).

A terceira classe analisada é denominada de Pastagens e vegetação rasteira. Esta evidencia-se na paisagem de forma descontínua por todo território, caracterizando-se por áreas de campo aberto. Esta classe apresenta área de 1115,91 km² em 1985, tendo supressão significativa em 2005 para 670,25 km² e seguiu a tendência para 2019, chegando a 583,62 km². A classe foi classificada, segundo os avaliadores, com ITA de 4,67 (degradação regular). Esta classe foi a que apresentou maior supressão no período analisado, tendo perda total de 532,29 km².

Segundo Santos et al. (2020) as áreas de pastagens no Brasil apresentam aumento nas últimas décadas; conseqüentemente, as áreas destinadas a agricultura cresceram concomitantemente, tomando o lugar das áreas de pastagem, fato este que se apresenta na dinâmica da paisagem na bacia, em que se dá, de forma histórica, primeiramente a conversão de área de floresta em pastagens e, posteriormente, a conversão de áreas de pastagens artificiais em campos agrícolas.

A quarta classe a ser analisada foi denominada de “Vegetação Arbórea/Arbustiva”; esta apresenta-se de forma contínua nas escarpas da Serra Geral, onde é predominante e em manchas mais espaçadas distribuídos pela bacia em áreas mais íngremes. É importante destacar que esta classe de cobertura e uso engloba as formações florestais em processo de sucessão (florestas secundárias) assim como as áreas de plantio comercial (pinus, eucalipto, entre outras espécies); isto se dá em virtude da limitação da resolução espacial e radiométrica das imagens utilizadas no processamento digital de imagens.

Esta classe apresentou área de 1212,14 km² em 1985, tendo diminuição de área no ano de 2005 para 1154,10 km² e aumento de área para 1221,24 km² em 2019. O ITA para esta classe foi classificado como “Pouco degradado” (1,22); isso se dá, entre outros fatores, em função desta classe ter apresentado regeneração no período de estudo.

Apesar da classe em questão ter demonstrado regeneração no período de estudo, é importante ressaltar que a qualidade destas vegetações deve ser ainda estudada, assim como o monitoramento destas deve ser abrangente e periódico. A questão de estudo e monitoramento da qualidade das áreas de vegetação torna-se importante, uma vez que, após os anos 1980, segundo Marcondes (2016), houve grande expansão na área de silvicultura, principalmente com *Pinus* spp.; este ocupou áreas de pastagens naturais, e, posteriormente, expansão também de *Eucalyptus* spp. em áreas de pastagens.

É reconhecido historicamente, também a supressão da classe vegetação arbórea/arbustiva para a quinta classe a ser analisada, esta denominada de “áreas de extração mineral”. Esta classe se engloba no contexto da paisagem como áreas de extração mineral para carvão mineral a céu aberto; existem também outros tipos de mineração na área de estudo, como argila, seixos, areia, basalto, entre outros. Porém, o mais significativo em impacto ambiental e conseqüências residuais na paisagem é a extração de carvão mineral.

Esta classe apresenta área de 34,11 km² em 1985, em 2005 houve diminuição das áreas mapeadas para 13,27 km², seguindo a tendência de diminuição em 2019, apresentando área de 4,94 km². Esta classe recebeu o maior valor ITA entre as classes analisadas, sendo 8,67 (muito degradada).

A BHRA está inserida dentro de uma zona de destaque comercial, a zona carbonífera do sul do Brasil. Em Santa Catarina, a extração de carvão mineral remonta o fim do século XIX. Em meados dos anos 1980, a falta de políticas definidas para o setor, acarretou a diminuição da produção do carvão na bacia carbonífera. As atividades ligadas a mineração do carvão são citadas como as principais responsáveis pela degradação do meio ambiente, com destaque particular pela contaminação dos recursos hídricos na região sul de Santa Catarina (Alexandre, 2000).

Outro problema gerado a partir da mineração é a drenagem ácida de mina (DAM), está contribui para a contaminação de três bacias hidrográficas que a região carbonífera abrange. Além das cavas, outro mecanismo de geração de DAM são as galerias subterrâneas, pilhas de estéreis, bacias de decantação e outros rejeitos.

A sexta classe analisada é denominada de “Massa da água”, que engloba as áreas da bacia que apresentam corpos líquidos, sejam artificiais ou naturais. Esta classe apresenta-se no litoral, com predominância para o complexo lagunar no município de Balneário Rincão e Araranguá, mas também de forma descontínua, como nos açudes e reservatório do Rio São Bento, em Siderópolis,

A variação de área desta classe foi de 16,54 km² em 1985, sofrendo aumento para 20,64 km² em 2005 e pequeno aumento para 20,82 km² em 2019; o ITA para esta classe é avaliado como “pouco degradado” (1,67).

A bacia apresenta um complexo lagunar na faixa litorânea, formado por três lagoas principais: Lagoa Mãe Luzia, Lagoa dos Esteves e Lagoa do Faxinal. Este complexo é formado a partir das transgressões e regressões do nível do mar no período quaternário, em um sistema chamado de laguna-barreira (HORN-FILHO, 2003). As lagoas costeiras na área de estudo, vêm sofrendo pressão antrópica nos últimos anos, principalmente com a urbanização, como já comentado anteriormente; esta classe vem avançando em área e densidade de ocupação no entorno destas lagoas.

Outro fato nesta classe é seu aumento de área de 4,1 km², passando de 16,54 km² em 1985 para 20,64 km² em 2005. Este aumento se dá devido a construção da barragem do rio São Bento, no município de Siderópolis. Esta barragem foi construída tendo múltiplos fins: abastecimento humano, abastecimento de água para a Agricultura (irrigação) e controle de cheias (COLONETTI et al., 2009).

A penúltima classe mapeada é denominada de dunas e areais, mais concentrada no litoral da bacia, ocupando áreas entre os municípios de Balneário Rincão, Balneário Arroio do Silva e Araranguá. Esta classe sofreu mudanças de área, sendo que em 1985 contava com 14,54 km², tendo supressão de área em 2005 para 8,78 km², e, seguindo a tendência, no ano de 2019 apresentou área de 7,93 km².

As áreas de dunas fazem parte do sistema costeiro, sistema este que, segundo Portz *et al.*, (2014), é a faixa de interface e integração de fenômenos entre a terra firme e o mar. Ainda segundo os autores, as dunas estão inseridas neste sistema; na maioria das praias arenosas, estas são constituídas de grandes volumes de sedimento, com formas, tamanhos e orientações diferentes (PORTZ et al., 2014)

As áreas de dunas são consideradas Áreas de Preservação Permanente (APP), inseridas no novo código florestal, que as engloba nas áreas de restinga, estabelecendo-as em sua totalidade como área de APP (BRASIL, 2012). Para Portz et al. (2014) estas áreas incidem em espaços territoriais legalmente protegidos, ambientalmente frágeis e vulneráveis.

As áreas de dunas na bacia hidrográfica encontram-se em processo de supressão e alteração devido ao avanço da urbanização em direção ao litoral, às práticas turísticas e locais sem planejamento, assim como aos florestamentos com espécies exóticas (CRISTIANO, 2018). Outros tipos de degradação podem ser elencados como o pisoteio, o uso de veículos e a deposição de lixo.

Para Cristiano (2018), as dunas frontais formam uma barreira de proteção contra ressacas do mar. A autora ainda comenta que, com a ausência de fenômenos de ressaca do mar, a funcionalidade das dunas é esquecida, assim exercendo papel indesejado pelos moradores que ocupam as áreas próximas as dunas, principalmente quando há o transporte eólico das dunas em direção as casas.

Tem-se na figura 7 o avanço eólico das dunas em direção ao tecido urbano; é inegável que o avanço das dunas causa problemas aos moradores, porém, a ocupação irregular é a principal causa e motivadora destas perturbações causadas pelo avanço das dunas.



Figura 7 – Transporte eólico de dunas em direção às residências

Fonte: Autores (2024). Legenda: imagem A e B (portal Sulinfo, 2013, Município de Bal. Rincão), imagem C e D (Autor, 2021, município de Bal. Rincão).

A última classe considerada no mapeamento é a classe “Sombra”, que apresentou variação de área entre as datas estudadas; porém, de modo geral, esta área não pode ser considerada na pesquisa, pois não se sabe o que realmente se encontra nas feições sombreadas. Estas encontram-se em sua maioria nas áreas íngremes da bacia, em geral nas encostas da Serra Geral, e variam conforme o ângulo de inclinação do sol e quantidade de energia refletida.

5. Considerações finais

O uso das imagens orbitais e das técnicas de processamento digital de imagens empregados neste estudo possibilitaram a utilização da metodologia de análise multitemporal de cobertura e uso da terra para mapear e descrever as mudanças na paisagem da BHRA em um período de 35 anos, assim como esta metodologia deu suporte ao cálculo das transformações antrópicas na bacia.

Os resultados deixaram evidente que as mudanças na cobertura e uso da terra dentro do território da BHRA foram significativas, tendo como destaque o crescimento das áreas de tecido urbano e, conseqüentemente, o aumento da população residente na bacia, desta forma acelerando a degradação ambiental, proveniente da excessiva urbanização sem controle e planejamento.

Outro destaque nas mudanças de cobertura e uso da terra foram as conversões das áreas de pastagens e vegetações rasteiras em áreas ocupadas por extensas áreas agrícolas, principalmente com destaque para as plantações de arroz irrigado, que demandam pressão sobre os recursos hídricos da bacia.

É perceptível o aumento da pressão antrópica nas diversas coberturas e usos aqui apresentados, uma vez que se observa que o ITA apresentou aumento no período de estudo de maneira geral. Destaca-se ainda que é necessário a atualização periódica destes dados; isso se torna possível uma vez que as imagens orbitais para este fim estão disponíveis gratuitamente, assim como os softwares para a produção destas informações.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) pelo financiamento da pesquisa e também a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pela bolsa de doutoramento (CP48/2021) atualmente concedida ao primeiro autor. Os autores agradecem aos avaliadores da Revista de Geociências do Nordeste pelas contribuições para melhoria do artigo.

Referências

- ALEXANDRE, N.Z. *Análise Integrada da Qualidade das Águas da Bacia do Rio Araranguá (SC)*. 2000. 297 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Geografia, Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- ALVARES, C.A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- BACK, Á.J; DESCHAMPS, F.C; SANTOS, M.G.S. Ocorrência de agrotóxicos em águas usadas com irrigação de arroz no sul de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* (online), [s.l.], n. 39, p.47-58, mar. 2016. <http://dx.doi.org/10.5327/z2176-9478201611014>.
- BACK, Á. J. *Bacias Hidrográficas: Classificação e caracterização física (com o programa HidroBacias para cálculos)*. Epagri. 2014.
- BEPPLER, M; JUSTINO, G. Avaliação espaço temporal da Cobertura Vegetal da bacia hidrográfica do rio Miriri (PB). In: SOUSA, R. F; FALCÃO, E. C (Org.). *Geoprocessamento Aplicado: Contexto Multidisciplinar*. João Pessoa: IFPB, 2017. Cap. 3. p. 55-75.
- BRASIL. *Decreto nº 86.146, de 23 de junho de 1981*. Dispõe sobre a Criação do Programa Nacional para Aproveitamento de Várzeas Irrigáveis - PROVÁRZEAS Nacional. Brasília, DF, 24 jun. 1981. v. 4, Seção 1, p. 11781-11781
- BRASIL. *Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, 28 maio 2012. Seção 1, p.1. Disponível em > http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm Acesso em 07 maio de 2021.
- Brites, R.S; BIAS, E.S; Rosa, A.N.C. Classificação Pixel a Pixel de Imagens. In: MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de. *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Brasília: UnB, 2012. Cap. 12. p. 191-208.
- COLOMBO, T.C. *Análise dos indicadores de sustentabilidade na produção de arroz irrigado no sul de Santa Catarina*. 2017. 111 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Socioeconômico, Criciúma, 2017
- COLONETTI, S; CITADINI-ZANETTE, V; MARTINS, R; SANTOS, R; ROCHA, E; JARENKOW, J.A. Florística e estrutura fitossociológica em floresta ombrófila densa submontana na barragem do rio São Bento, Siderópolis, Estado de Santa Catarina. *Acta Scientiarum*. Biological Sciences, [S.L.], v. 31, n. 4, p. 397-405, 20 ago. 2009. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciobiolsci.v31i4.3345>.
- COMASSETTO, V. *Água, Meio Ambiente e Desenvolvimento Na Bacia Do O Araranguá (SC)*. 2008. 339 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- CRISTIANO, S.C. *Interfaces entre a Geoconservação e a gestão costeira no município de Araranguá (Santa Catarina, Brasil)*. 2018. 252 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

- CRUZ, C.B.M, TEIXEIRA, A.J; BARROS, R.S; ARGENTO, Mauro, S.F; MENEZES, P.M.L. Carga antrópica da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, Santos. *Anais...* Santos: 1998. p.99-109.
- EMBRAPA, E. B. d. P. A. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. (5ª ed.). Embrapa.
- GOMES SOBRINHO, J. M. (2018). *Índice de transformação antrópica (ita) como suporte para análise da degradação da paisagem no município Jardim de Piranhas-RN*. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Bacharelado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- GOUVEIA, R.G.L; GALVANIN, E.A.S; NEVES, S.M.A.S. Aplicação do índice de transformação antrópica na análise multitemporal da bacia do córrego do Bezerra Vermelho em Tangará da Serra-MT. *Revista Árvore*, [s.l.], v. 37, n. 6, p.1045-1054, dez. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622013000600006>
- HORN FILHO, N.O. Setorização da província costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. *Geosul*, 2003. 18(35):71-98
- JENSEN, J.R. *Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em Recursos Terrestres*. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.
- KREBS, A.S.J. *Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, SC*. 2004. 375 f. Tese (Doutorado) - Doutorado em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- LANDIS, R.J; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v.33, n.1, p. 159-174, 1977.
- LÉMECHEV, T. On hydrological heterogeneity catchment morphology and catchment response. *Journal of Hydrology*. v.100, p. 357- 375. 1982.
- MANENTI, V.D. (2019). *Modelagem Do Uso Da Terra E Planejamento Territorial Da Região Carbonífera Do Sul De Santa Catarina, brasil*. 2019. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma., 2019.
- MARCONDES, T. A agropecuária em Santa Catarina: cenário atual e principais tendências. *Revista NECAT*, ano 5, nº 9, p. 8-38, jan-jun de 2016.
- MASTELLA, A.F; VIEIRA, C.A. Acurácia temática para classificação de imagens utilizando abordagens por pixel e por objetos. *Revista Brasileira de Cartografia*, [s.l.], v. 70, n. 5, p.1618-1643, 31 dez. 2018. <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv70n5-44559>.
- MATEO, J.R. *Geoecologia de los Paisajes*. Universidad Central de Caracas. Monografia. 1991
- PERH/SC: *Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina*. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS). Plano Estadual de Recursos Hídricos. RH 10. 2017. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br>
- PORTO, M. F. A., & PORTO, R. L. L. (2008). Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*, 22(63), 43–60. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142008000200004>
- PORTZ, L; ROCKETT, G, C; FRANCHINI, R.A.L; MANZOLLI, R.P; GRUBER, N.L.S. Gestão de dunas costeiras: o uso de sistema de informações geográficas (sig) na implantação de planos de gestão no litoral do rio grande do Sul, brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 517-534, set. 2014. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH). <http://dx.doi.org/10.5894/rgci445>.
- SANTA CATARINA. *Atlas de Santa Catarina*. (Gabinete de planejamento e coordenação geral. subchefia de estatística, geografia e informática). Aerofoto Cruzeiro. 1986.

-
- SANTA CATARINA. *Lei nº. 10.949, de 09 de novembro de 1998, dispõe sobre a caracterização do Estado em 10 (dez) Regiões Hidrográficas.* Disponível em: [chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Legislacao/Lei-Estadual-10949-1998.pdf](https://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Legislacao/Lei-Estadual-10949-1998.pdf).
- SANTOS da SILVA, J. G., Scussel, C., Varella, E. P., Nicoladelli, T. B., Luz, C. d., Pires, D. A., Milanez, P. R., Olivo, E. F., Zocche, J. J. Aplicação de Protocolo de Avaliação Rápida da Integridade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, SC. *Boletim Paulista de Geografia*, 109(1), 147–171. 2023. <https://doi.org/10.54446/bpg.v109i1.2974>
- SANTOS, L.D; SCHLINDWEIN, S.L; FANTINI, A.C; HENKES, J.A; BELDERRAIN, M.C.N. DINÂMICA DO DESMATAMENTO DA MATA ATLÂNTICA: causas e consequências. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 378, 30 set. 2020. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e32020378-402>.
- SCHEIBE, L.F (Org.); BUSS, M.D; FURTADO, S.M.A. *Atlas Ambiental Bacia do Rio Araranguá: Santa Catarina - Brasil*. Florianópolis: Ed. UFSC: Cidade futura, 2010. 64 p.
- SCHUSSEL, Z., & NASCIMENTO NETO, P. Gestão Por Bacias Hidrográficas: Do Debate Teórico à Gestão Municipal. *Ambiente & Sociedade*, 18(3), 137–152. 2015 <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc838v1832015>
- SILVA, M.J.A. *A produção do espaço urbano de Criciúma – SC e seus agentes de transformação*. 2012. 165 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Curso de Mestrado em Geografia, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Puc-sc, São Paulo, 2012.