

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL BONFIM-GUARAÍRA/RN

Anna Letícia Araújo da Mata¹

Jairo Rodrigues de Souza²

RESUMO

A ocupação da APA Bonfim-Guaráira em contrariedade com as normas ambientais demonstra um sério risco à sustentabilidade do meio ambiente. Assim, o objetivo do trabalho é analisar a dinâmica da cobertura vegetal na APA Bonfim-Guaráira através do processamento digital de imagem, para verificar sua eficácia na preservação dos remanescentes florestais. A análise multitemporal foi realizada a partir de imagens do LANDSAT 5 - TM e SENTINEL 2B - MSI, utilizando composição colorida em falsa cor infravermelho e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Como resultado, verificou-se aumento das regiões urbanizadas próximas a áreas de fragilidade ambiental, ocasionando áreas de conflito. Apesar disso, houve aumento da Vegetação densa. Assim, este trabalho contribui para que se efetive a custódia das áreas de proteção permanentes já resguardadas juridicamente.

Palavras-Chave: Índice de Vegetação Normalizada. Área de proteção Ambiental. Sensoriamento Remoto.

ANALYSIS OF THE SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF VEGETATION COVERAGE IN THE ENVIRONMENTAL PROTECTION AREA BONFIM-GUARAÍRA/RN

ABSTRACT

The occupation of the APA Bonfim-Guaráira in contravention of environmental regulations demonstrates a serious risk to the sustainability of the environment. Thus, the objective of this work is to analyze the dynamics of the vegetation cover in the APA Bonfim-Guaráira through digital image processing, to verify its effectiveness in the preservation of forest remnants. The multitemporal analysis was performed from LANDSAT 5 - TM and SENTINEL 2B - MSI images, using infrared false color composite and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). As a result, there was an increase in urbanized regions close to areas of environmental fragility, causing areas of conflict. Despite this, there was an increase in Dense vegetation. Thus, this work contributes to the custody of permanent protection areas already legally guarded.

Keywords: Normalized Vegetation Index. Environmental Protection Area. Remote Sensing.

¹Pós-graduada em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Email: leticiaaraujodamata@outlook.com

²Mestre em Ciências Ambientais pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Email: jairo.souza@ifrn.edu.br

ANÁLISIS DINÁMICA ESPACIO-TEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL EN EL ÁREA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL BONFIM-GUARAÍRA/RN

RESUMEN

La ocupación de la APA Bonfim-Guaráira en contravención de las normas ambientales demuestra un grave riesgo para la sostenibilidad del medio ambiente. Así, el objetivo de este trabajo es analizar la dinámica de la cobertura vegetal en el APA Bonfim-Guaráira a través del procesamiento digital de imágenes, para verificar su eficacia en la preservación de los remanentes de bosque. El análisis multitemporal se realizó a partir de imágenes LANDSAT 5 - TM y SENTINEL 2B - MSI, utilizando compuesto infrarrojo de falso color y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Como resultado, hubo un aumento de las regiones urbanizadas cercanas a las áreas de fragilidad ambiental, lo que generó áreas de conflicto. A pesar de esto, hubo un aumento en la vegetación densa. Así, esta obra contribuye a la custodia efectiva de las áreas de protección permanente ya protegidas legalmente.

Palabras Clave: Índice de vegetación normalizado. Área de Protección Ambiental. Percepción remota.

INTRODUÇÃO

O processo de ocupação do território brasileiro foi caracterizado pela exploração demasiada dos recursos naturais, com consequente supressão da vegetação nativa e exposição do solo a variados processos de degradação ambiental (SIMONETTI, 2022). Ainda hoje, o avanço das atividades humanas ocasiona diminuição da cobertura vegetal (MASCARENHAS; FERREIRA; FERREIRA, 2009; DIAS; MOSCHINI; TREVISAN, 2017; WELERSON *et al.*, 2021; ARRAZ; MARQUES; RIBEIRO, 2022), elemento que atua na manutenção dos recursos naturais e exerce papel determinante no equilíbrio dos ecossistemas, garantindo assim o seu funcionamento (SANTANA; SOUZA; PEREIRA, 2021).

Igualmente importante é a degradação dos solos e das águas superficiais pelo manejo inadequado das terras usadas em atividades agropecuárias, cujos impactos negativos são amplamente conhecidos (PACHECO *et al.*, 2022). Diante desse contexto, percebe-se a necessidade de conservar áreas naturais com características relevantes para a proteção da biodiversidade, de fontes de água e do solo, e para a garantia de continuidade do acesso aos recursos ambientais e dos serviços ambientais essenciais para a manutenção da vida.

No contexto de mitigação da perda de biodiversidade e degradação do solo e da água, pode-se destacar as Unidades de Conservação (UCs). Dentre as UCs Estaduais legalmente

instituídas no Rio Grande do Norte, temos a Área de Proteção Ambiental (APA) Bonfim-Guaráira, que se configura como a maior unidade de conservação do estado (IDEMA, 2020a).

O histórico de criação de Unidades de Conservação no Rio Grande do Norte está ligado à compensação pela construção de obras governamentais. Não foi diferente para a APA Bonfim-Guaráira, cuja criação está ligada aos estudos de viabilidade da ampliação do sistema adutor Agreste-Trairí-Potengi (Adutora Monsenhor Expedito) (SANTOS; JERÔNIMO, 2013). Nesse contexto, o sistema Bonfim, que servia como fonte de captação do sistema adutor, e o estuário do Sistema Lagunar-estuarino de Nísia-Papeba-Guaráira, no município de Tibau do Sul, vinham sofrendo uma grande pressão em decorrência do crescimento da atividade turística, passaram a ser protegidos com a criação da APA em 22 de março de 1999, através do Decreto Estadual 14.369/99. A APA Bonfim-Guaráira foi instituída com o objetivo principal de proteger e preservar os ecossistemas de dunas, Mata Atlântica e manguezal, as lagoas, rios e demais recursos hídricos, além de espécies vegetais e animais (RIO GRANDE DO NORTE, 1999).

A área delimitada pela APA Bonfim-Guaráira consiste em uma região de importantes recursos naturais, incluindo outras UCs em seu interior, no qual serão detalhadas na caracterização da área de estudo. Ainda, a APA é significativa na proteção da Mata Atlântica estadual, que se encontra bastante degradada, na medida em que corresponde a 13% da área total do bioma do estado e possui aproximadamente 40,03% de sua área total de remanescentes vegetais (IDEMA, 2020a). Considerando isso, a ocupação não planejada e em contrariedade com as normas ambientais demonstra um sério risco à sustentabilidade do meio ambiente.

Fonseca (2017) destaca impactos ambientais associados à atividade turística na APA Bonfim-Guaráira, dentre eles pode-se citar a elevação dos níveis de poluição dos recursos hídricos, a ocupação desordenada da orla marítima, com habitações, loteamentos e grandes empreendimentos turísticos ocupando áreas de fragilidade ambiental, a depredação de ambientes frágeis e a abertura indiscriminada de trilhas e interferências nos habitats dos animais devido à excessiva aproximação de pessoas e barcos.

A respeito do entorno dos recursos hídricos, Medeiros (2019) realizou mapeamentos nos arredores das lagoas que compõem o Sistema Lacustre Bonfim e classificação supervisionada das Áreas de Preservação Permanente (APP), a fim de avaliar, de modo qualitativo e semiquantitativo, a modificação do uso e cobertura do solo nessas áreas, considerando um período de 30 anos. O estudo concluiu que as zonas de proteção das lagoas já

apresentavam uma grande área ocupada pela atividade de agricultura, o que se manteve crescente durante o período analisado. Percebeu-se também uma significativa diminuição da área de mata nativa entre os anos 2013 e 2018, que pode ser explicada pelo grande aumento da ocupação antrópica por meio de residências, loteamentos e granjas, somado ao desmatamento e crescimento das áreas destinadas à agricultura. Ao verificar as relações entre processos erosivos de morfogênese e pedogênese associados ao assoreamento, Paiva *et al.* (2022) verificou que 61,15% da bacia hidrográfica Sistema Lacustre Bonfim (cerca de 44,15 km²) apresentou grau de Fragilidade Ambiental Médio, Forte e Muito Forte. Os resultados dos estudos indicam a necessidade de atenção com relação ao regulamento do uso do solo, dada a existência de atividades com alto poder de degradação em zonas com graus de fragilidade ambiental considerável.

Roversi (2017) mapeou a ocupação pela atividade de carcinicultura no entorno do Sistema Lagunar de Nísia-Papeba-Guaráira, composto pela Laguna de Guaráiras, ao sul, e as Lagoas de Nísia Floresta e Papeba, ao norte. A análise teve como base imagens de satélite coletadas nos últimos 32 anos. Notou uma expressiva expansão da carcinicultura no entorno do sistema lagunar como um todo, a uma taxa média de instalação de viveiros de 30,3 ha/ano, cobrindo uma área total de 1.528,1 ha em 2017. Em relação à Lagoa de Guaráira em específico, dentre os problemas ambientais relatados por pescadores e marisqueiros estão o desmatamento para construção de viveiros de camarão e a contaminação da lagoa por efluentes de carcinicultura (SILVA, 2015).

Levando em conta esse contexto, é necessário que haja o monitoramento periódico para averiguar o cumprimento do que foi estabelecido pela legislação, principalmente quando consideramos a situação da APA Bonfim-Guaráira com relação ao seu plano de manejo, que só foi definido em 2020, 21 anos após sua criação (IDEMA, 2020a).

Assim, temos o seguinte questionamento norteador: a criação da APA Bonfim-Guaráira proporcionou a preservação ou regeneração dos remanescentes florestais? A hipótese definida é a de que, apesar da criação da APA, os remanescentes florestais não foram preservados e que ocorreu diminuição da cobertura vegetal devido à presença de propriedades privadas, áreas de cultivo e movimentação turística na região, agravado pela falta do plano de manejo durante a maior parte de seu funcionamento.

A investigação das mudanças na dinâmica da cobertura vegetal na APA é essencial para verificar se seus objetivos de conservação estão sendo cumpridos, bem como para investigar os efeitos da falta do plano de manejo. Nessa conjuntura, o sensoriamento remoto se destaca como uma ferramenta fundamental de suporte no gerenciamento de recursos naturais, como por exemplo, no monitoramento da cobertura vegetal e do uso e ocupação do solo.

O uso de imagens de sensores remotos orbitais tem grande potencial na avaliação das alterações no ambiente por ações antrópicas, com possibilidade não apenas de um mapeamento espacial, mas também temporal (MASCARENHAS; FERREIRA; FERREIRA, 2009). No sensoriamento remoto os Índices de vegetação, que indicam a densidade e capacidade fotossintética da vegetação, têm sido amplamente utilizados no monitoramento da dinâmica da vegetação em áreas amplas (MACEDO *et al.*, 2020; DOURADO *et al.*, 2019; VALLE JÚNIOR *et al.*, 2019; MASCARENHAS; FERREIRA; FERREIRA, 2009). Esses índices têm como objetivo explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo. Vários índices foram desenvolvidos, dentre eles o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), criado por Rouse *et al.* (1974), que costuma ser o mais empregado (FERREIRA; FERREIRA; FERREIRA, 2008).

Usando uma abordagem de sensoriamento remoto aprimorado com base na combinação de dados de solo e o NDVI, o estudo de Valle Júnior *et al.* (2019) estimou a degradação devido a áreas de pastagens em uma área de proteção ambiental. A respeito do uso de imagens de satélite em análises da dinâmica da vegetação, Miranda, Paranhos Filho e Pott (2018) analisaram a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal do Pantanal e foram capazes de identificar alterações preocupantes da vegetação com consequente aumento de áreas de pastagem.

Zhao, Zhou e Fang (2012) revisaram estudos sobre o uso do NDVI na avaliação de mudanças na cobertura vegetal, variações de biomassa e produtividade, dinâmica fenológica, desertificação e degradação de pastagens na China que ocorreram nas últimas três décadas. Segundo os autores, o NDVI foi aplicado com sucesso no monitoramento da distribuição da vegetação, da fenologia das plantas e das mudanças na produtividade em grandes escalas espaciais e temporais, o que permitiu uma melhor compreensão sobre os efeitos das mudanças climáticas e da atividade humana nos ecossistemas terrestres.

O NDVI foi utilizado com sucesso na detecção de mudanças na superfície da terra causadas por atividade antropogênica (MIRANDA; PARANHO FILHO; POTT, 2018) e na cobertura vegetal em análises envolvendo mudanças espaço-temporais, inclusive em áreas de proteção ambiental (MACEDO *et al.*, 2020; DOURADO *et al.*, 2019; VALLE JÚNIOR *et al.*, 2019; MASCARENHAS; FERREIRA; FERREIRA, 2009). Dessa forma, o NDVI será adotado para a análise em questão.

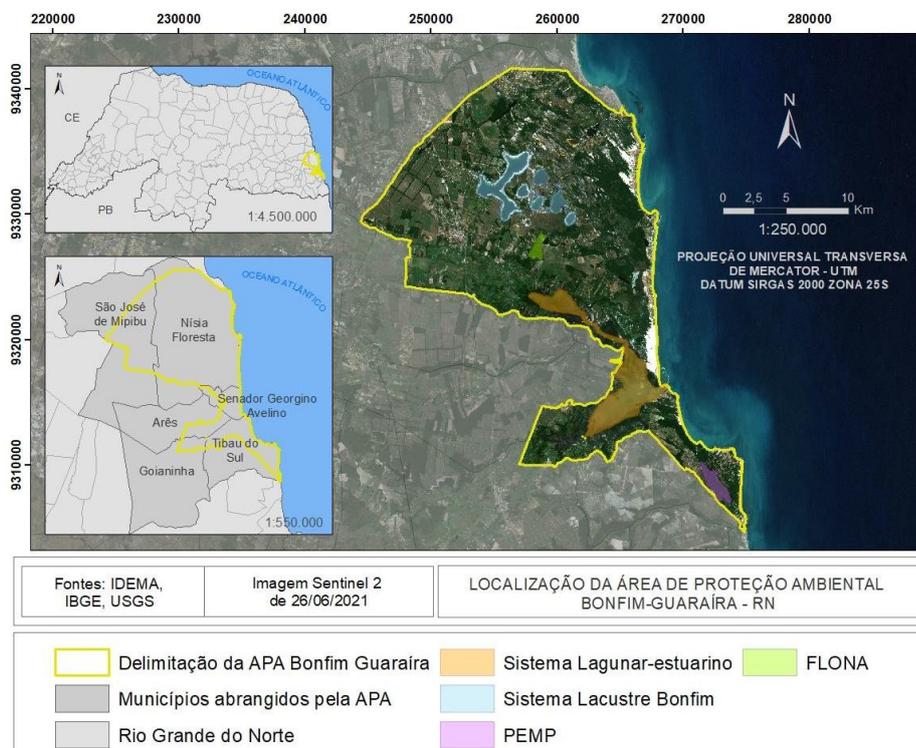
Então, o objetivo geral desse trabalho é analisar, de forma multitemporal, a dinâmica da cobertura vegetal na APA Bonfim-Guaraíra entre os anos de 1992, 2018 e 2021, utilizando imagens dos satélites LANDSAT 5, sensor *Thematic Mapper* (TM), e SENTINEL 2B, sensor *Multispectral Instrument* (MSI). Já os específicos são: Utilizar o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para averiguar de modo qualitativo a cobertura vegetal na APA Bonfim-Guaraíra, nos anos de 1992, 2018 e 2021; Utilizar composição colorida em falsa cor para averiguar de modo qualitativo a ocupação urbana em áreas de fragilidade ambiental na APA Bonfim-Guaraíra, nos anos de 1992, 2018 e 2021; Delimitar e mapear a composição colorida em falsa cor e o NDVI da APA Bonfim-Guaraíra, nos anos de 1992, 2018 e 2021, com recortes que facilitem a visualização das mudanças ocorridas; Analisar a dinâmica da vegetação entre os anos 1992 e 2021 para averiguar se a criação da APA Bonfim-Guaraíra foi eficaz na preservação ou regeneração dos remanescentes florestais e analisar a dinâmica da vegetação entre os anos 2018 e 2021 para averiguar se a criação do plano de manejo da APA Bonfim-Guaraíra influenciou de forma positiva na preservação da cobertura vegetal.

METODOLOGIA

Área de estudo

A Área de Proteção Ambiental Bonfim-Guaraíra, Unidade de Conservação (UC) Estadual de Uso Sustentável no Rio Grande do Norte, possui cerca de 42.695 hectares de extensão. Foi criada através do Decreto Estadual nº 14.369 (1999), e engloba de forma parcial os municípios de Nísia Floresta, São José do Mipibu, Senador Georgino Avelino, Goianinha, Arês e Tibau do Sul (Figura 1).

Figura 1: Mapa de localização da APA Bonfim-Guaráira, no Rio Grande do Norte.



Fonte: USGS (2022), IBGE (2022), IDEMA (2017).

A área delimitada pela APA inclui um vasto território de tabuleiros, dunas, lagoas, manguezais, mata atlântica, praias e diferentes espécies animais e vegetais (IDEMA, 2020a). Vale ressaltar que a APA Bonfim-Guaráira abrange parcialmente duas áreas prioritárias para conservação, classificadas como de prioridade extremamente alta, o que demonstra sua importância na conservação do Bioma Mata Atlântica e da zona costeira (IDEMA, 2020a).

Além de ser a maior UC do estado, a APA Bonfim-Guaráira apresenta a complexidade de possuir mais outras três UCs localizadas em seus domínios, a saber: a Floresta Nacional de Nísia Floresta (FLONA), o Parque Estadual Mata da Pipa (PEMP) e a Reserva Faunística de Tibau do Sul – REFAUTS. Neste caso, a gestão do conjunto de UCs deve ser feita de forma integrada e participativa, considerando-se os seus distintos objetivos de conservação (BRASIL, 2000). A APA Bonfim-Guaráira também abriga o Sistema Lagunar-estuarino de Nísia-Papeba-Guaráira, além do Sistema Lacustre Bonfim, que fornece água para a Adutora Monsenhor Expedito (IDEMA, 2020a).

Métodos

Na primeira etapa do trabalho foi feito levantamento bibliográfico e da legislação, bem como a seleção das imagens de satélites considerando o intervalo de tempo definido no estudo. Como a APA foi criada em 1999, buscou-se estabelecer um critério de estudo comparativo a partir do ano de 1992, ano precedente à criação e com imagem que apresentou pouca quantidade de nuvens. Considerando que a elaboração do plano de manejo foi em 2020, imagem de 2018 foi selecionada levando em conta os mesmos critérios: o ano precede um acontecimento representativo e apresentou imagem com poucas nuvens. A presença de nuvens na área é frequente, o que dificultou a seleção de imagens atuais. Por essa razão optou-se por utilizar imagem do ano 2021, que estava em melhores condições, levando a uma análise temporal de 29 anos. As imagens selecionadas compuseram as seguintes datas: julho de 1992; agosto de 2018; junho de 2021. Para o ano de 1992 foi utilizado o LANDSAT 5 – TM (USGS, 2022), com resolução espacial de 30 metros. Para 2018 e 2021 o SENTINEL 2B – MSI (USGS, 2022), com resolução espacial de 10 metros. Todas as imagens foram disponibilizadas gratuitamente pela *United States Geological Survey Earth Explorer* (USGS).

As imagens analisadas foram projetadas em coordenadas planas UTM Datum SIRGAS 2000 zona 25S, e processadas no software ARCGIS 10.5 (ESRI, 2016), onde também foi feito o recorte da área de interesse, composição de bandas, aplicação do NDVI e produção dos mapas. A delimitação da APA utilizada para o recorte, bem como a definição das áreas de fragilidade ambiental, são provenientes do Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (IDEMA, 2017).

A vetorização dos limites das seis lagoas que compõe o Sistema Lacustre Bonfim foi realizada no software ARCGIS. Uma faixa de 100 metros foi delimitada utilizando a ferramenta *Buffer*, tomando como referência a vetorização das lagoas na imagem mais antiga do estudo, de 1992, uma vez que nesta as lagoas visivelmente apresentavam maior volume de armazenamento em comparação com os outros períodos imageados.

No Processamento Digital das Imagens (PDI) foram realizadas as composições coloridas no Sistema RGB (Red, Green, Blue) em que para o LANDSAT 5 - TM foi aplicada a R4G3B2 e para as imagens do SENTINEL 2B - MSI a composição correspondente R8G4B3. As bandas correspondem aos intervalos do infravermelho próximo, vermelho e verde, respectivamente.

No cálculo do NDVI, as bandas utilizadas representam a reflectância do infravermelho próximo e do vermelho. Para a imagem de 1992 do LANDSAT 5 - TM, esses intervalos equivalem às bandas B4 e B3, enquanto para as imagens de 2018 e 2021, ambas do SENTINEL 2B - MSI, esses intervalos correspondem às bandas B8 e B4, respectivamente. O NDVI é obtido por meio da Equação (1):

$$\text{NDVI} = ((\text{NIR}-\text{R})) / ((\text{NIR}+\text{R})) \quad (1)$$

Onde NDVI se refere ao Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, o NIR se refere à reflectância espectral da banda do sensor na faixa do infravermelho próximo e o R é referente à reflectância espectral da banda do sensor na faixa do vermelho (ROUSE *et al.*; 1974).

Após o cálculo, realizou-se a classificação visual em que foram estabelecidas sete classes: Água rasa, Água profunda, Solo exposto e urbanização, Vegetação seca, Vegetação rasteira, Vegetação moderada e Vegetação densa. Ainda, foi possível delimitar áreas de carcinicultura e áreas de cultivo, através de seu formato característico na imagem e com auxílio das composições coloridas no Sistema RGB.

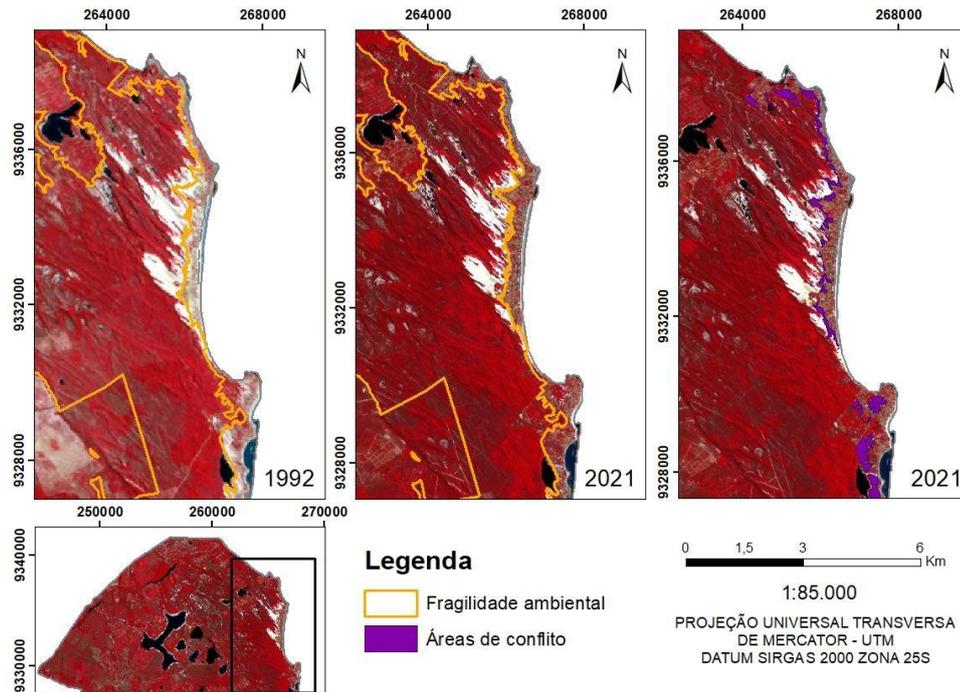
Para melhor observar a dinâmica do espaço, na etapa de elaboração dos mapas a área de estudo foi dividida em três partes, a saber: região norte, região central e região sul, com recortes para facilitar a visualização.

RESULTADOS

Os mapas de cobertura da terra dos anos de 1992, 2018 e 2021 demonstraram as alterações ocorridas ao longo dos anos a partir do uso de composição colorida e do NDVI.

Considerando o recorte da região norte da APA Bonfim-Guaraíra, observa-se que houve aumento da ocupação urbana ao longo da costa, o que era esperado visto que a área tem grande apelo turístico. Essa região de ocupação, considerada como um dos aglomerados urbanos consolidados, faz fronteira com área de fragilidade ambiental que abrange as dunas móveis, as fixas, as paleodunas, as lagoas interdunares e as planícies de deflação (IDEMA, 2020b). Pelo contexto, é de se esperar que haja expansão urbana além dos limites aceitáveis, e as áreas de ocupação urbana percebidas na região de fragilidade ambiental foram consideradas como áreas de conflito de uso (Figura 2). Observou-se que a expansão dessas áreas urbanas conflituosas se deu entre os anos de 1992 e 2018.

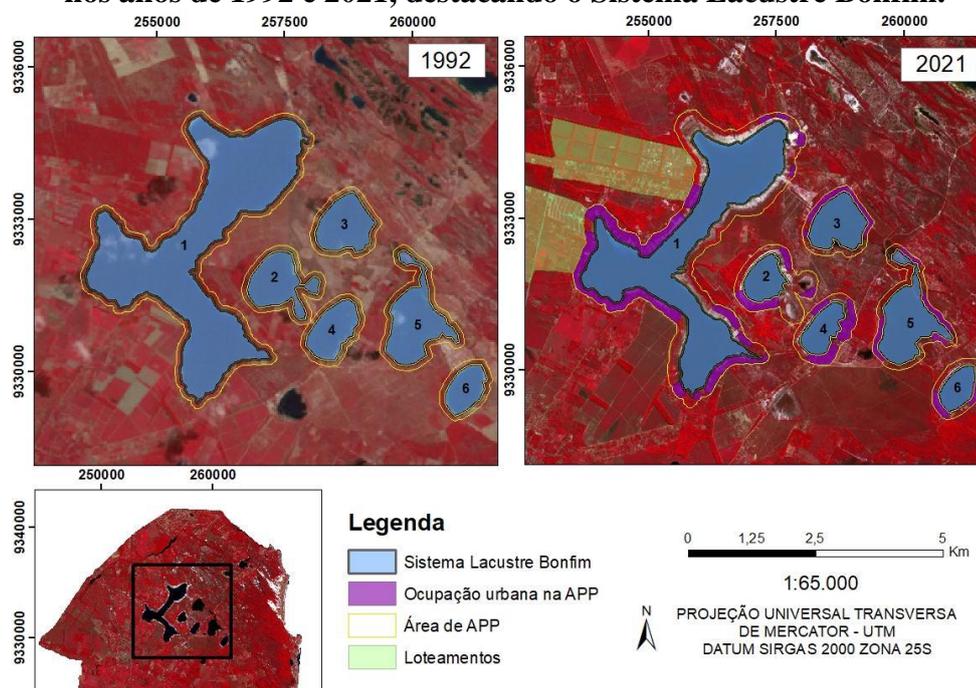
Figura 2: Recorte da região norte da APA Bonfim-Guaráira, no Rio Grande do Norte, nos anos de 1992 e 2021, destacando áreas de fragilidade ambiental e de conflito.



Fonte: USGS (2022), IDEMA (2017).

No entorno do sistema Lacustre Bonfim, nota-se aumento da ocupação ilegal das áreas de preservação permanente em decorrência da agricultura e principalmente pelos loteamentos e residências construídas às margens das lagoas, em especial a Lagoa do Bonfim, o que corrobora com o estudo de Medeiros (2019). Também é possível perceber aumento de áreas loteadas nas proximidades da lagoa (Figura 3), na região correspondente a zona de uso sustentável (IDEMA, 2020b).

Figura 3: Recorte da região norte da APA Bonfim-Guaráira, no Rio Grande do Norte, nos anos de 1992 e 2021, destacando o Sistema Lacustre Bonfim.



Fonte: USGS (2022), IDEMA (2017).

É possível perceber uma diminuição considerável do espelho d'água da Lagoa do Bonfim (1) quando se toma a imagem de 1992 como referência (Figura 3). Durante o período do estudo, a lagoa apresentou diminuição de aproximadamente 28% em sua área de espelho d'água. Durante esse mesmo período, a Lagoa Redonda (2) demonstrou uma drástica diminuição de 45% em seu espelho d'água, sendo a lagoa que apresentou maior perda no sistema Lacustre Bonfim (Tabela 1).

Tabela 1: Área do espelho d'água das lagoas que formam o Sistema Lacustre Bonfim nos anos de 1992 e 2021.

Lagoa	Área da superfície em 1992 (m ²)	Área da superfície em 2021 (m ²)	Redução
(1) Bonfim	8.290.139	5.934.977	28%
(2) Redonda	1.027.906	562.170	45%
(3) Urubu	981.815	945.002	4%
(4) Boa Água	805.991	551.202	32%
(5) Ferreira Grande	1.441.087	1.416.057	1,4%
(6) Carcará	567.709	458.090	19,3%

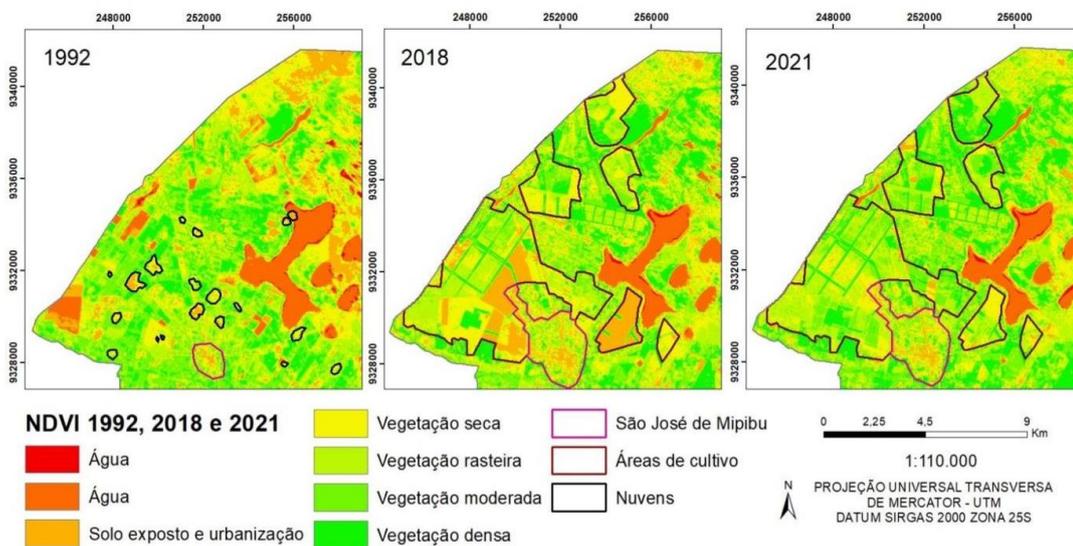
Fonte: Elaboração própria (2022).

Em setembro de 2021, a lagoa do Bonfim estava com cerca de 48,46% de sua capacidade volumétrica, e atualmente se encontra com 52,41% do volume (SEMARH, 2022).

É visível que, desde a instalação da Adutora Monsenhor Expedito, a Lagoa do Bonfim vem apresentando uma redução significativa no seu volume, sendo exaurido de forma que os mecanismos de reposição hídrica não estão suprindo a necessidade do sistema.

Na região que corresponde à zona de uso sustentável, nota-se aumento de áreas cultiváveis com relação à imagem de 1992 (Figura 4). Também foi possível perceber a expansão do núcleo urbano da cidade de São José de Mipibu, bem como as áreas com recorte característico de plantações em suas proximidades.

Figura 4: NDVI da região norte da APA Bonfim-Guarairá, no Rio Grande do Norte, nos anos de 1992, 2018 e 2021, destacando áreas de cultivo.

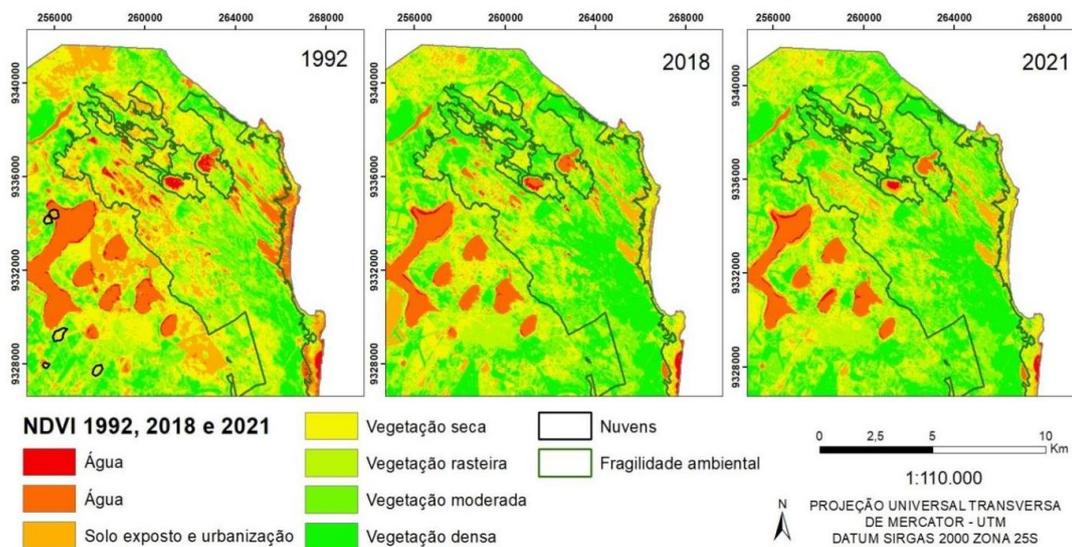


Fonte: USGS (2022), IDEMA (2017).

Observa-se maior quantidade de áreas classificadas como Solo exposto e urbanização em 2018 do que em 2021 (Figura 4), especialmente a oeste do Sistema Lacustre Bonfim, com feições geométricas características de áreas de cultivo, indicando que no momento do imageamento a produção agrícola foi colhida ou removida.

Ainda a respeito da região norte, observa-se que, na área delimitada como de fragilidade ambiental, a quantidade de Vegetação densa e Vegetação moderada são maiores em 2021 do que em 1992 (Figura 5). Isso indica efeitos positivos na conservação da vegetação, apesar dos trechos de conflito de uso mostrados na Figura 2.

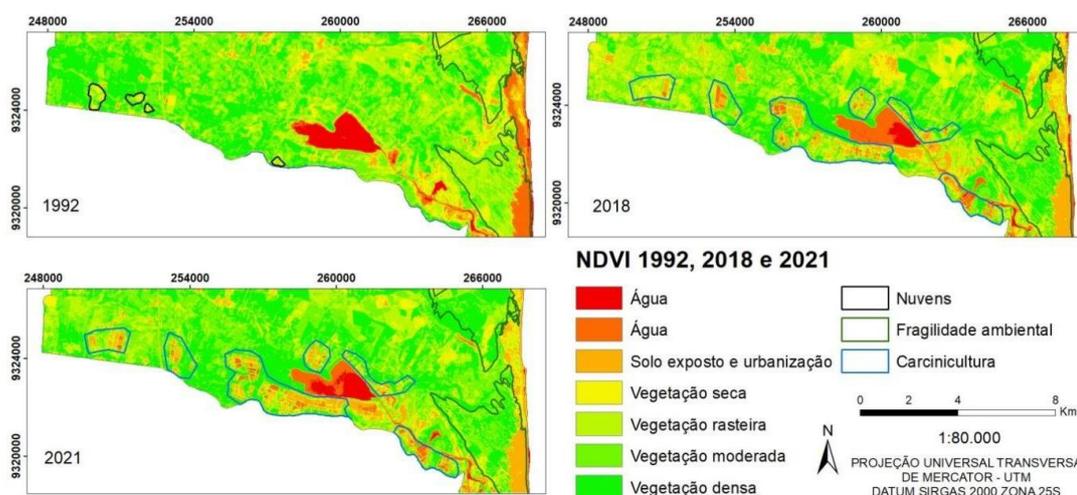
Figura 5: NDVI da região norte da APA Bonfim-Guaráira, no Rio Grande do Norte, nos anos de 1992, 2018 e 2021, destacando área de fragilidade ambiental.



Fonte: USGS (2022), IDEMA (2017).

Com relação ao recorte da parte central da APA Bonfim-Guaráira, percebe-se o crescimento da atividade de carcinicultura nas proximidades da Lagoa de Nísia Floresta, na parte norte do Sistema Lagunar-estuarino (Figura 6), corroborando o resultado de Roversi (2017).

Figura 6: NDVI da região central da APA Bonfim-Guaráira, no Rio Grande do Norte, nos anos de 1992, 2018 e 2021, destacando áreas de fragilidade ambiental e de carcinicultura.

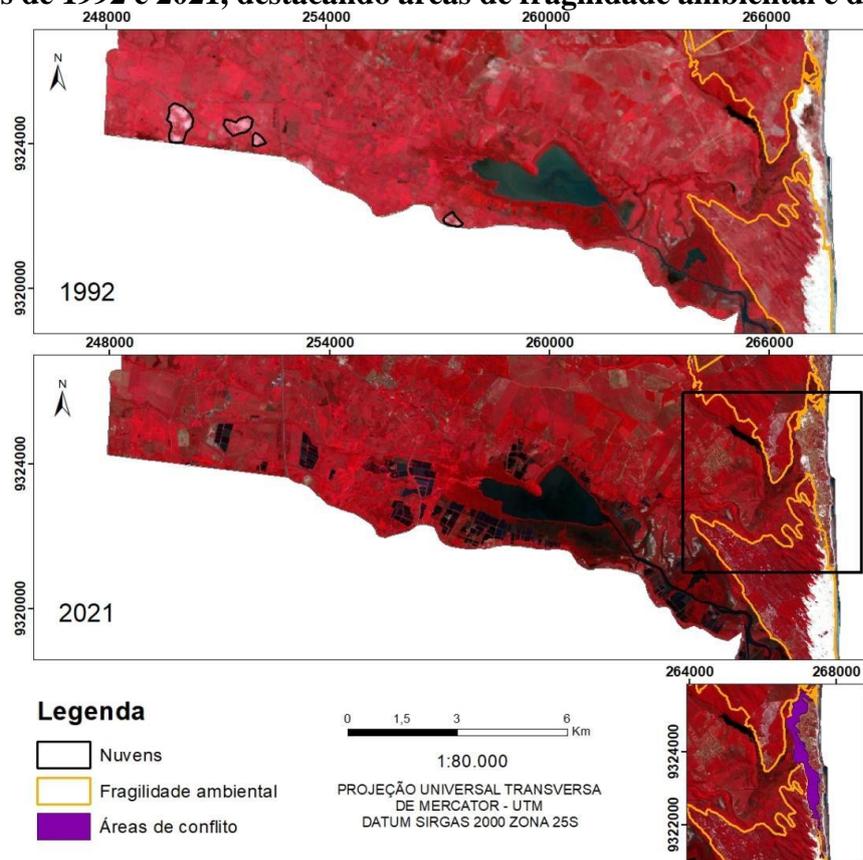


Fonte: USGS (2022), IDEMA (2017).

Assim como no recorte da parte norte, no trecho que corresponde à área de fragilidade ambiental observa-se que a quantidade de Vegetação densa e Vegetação moderada são maiores em 2021 do que em 1992, o que indica efeitos positivos na conservação da vegetação (Figura 6).

Apesar disso, a ocupação urbana consolidada no litoral faz fronteira com região de fragilidade ambiental que abrange as dunas móveis, as fixas, as paleodunas, as lagoas interdunares e as planícies de deflação, como também áreas de corredores ecológicos e fragmentos de mata atlântica, de forma que as áreas conflitantes de uso foram destacadas (Figura 7).

Figura 7: Recorte da região central da APA Bonfim-Guarairá, no Rio Grande do Norte, nos anos de 1992 e 2021, destacando áreas de fragilidade ambiental e de conflito.

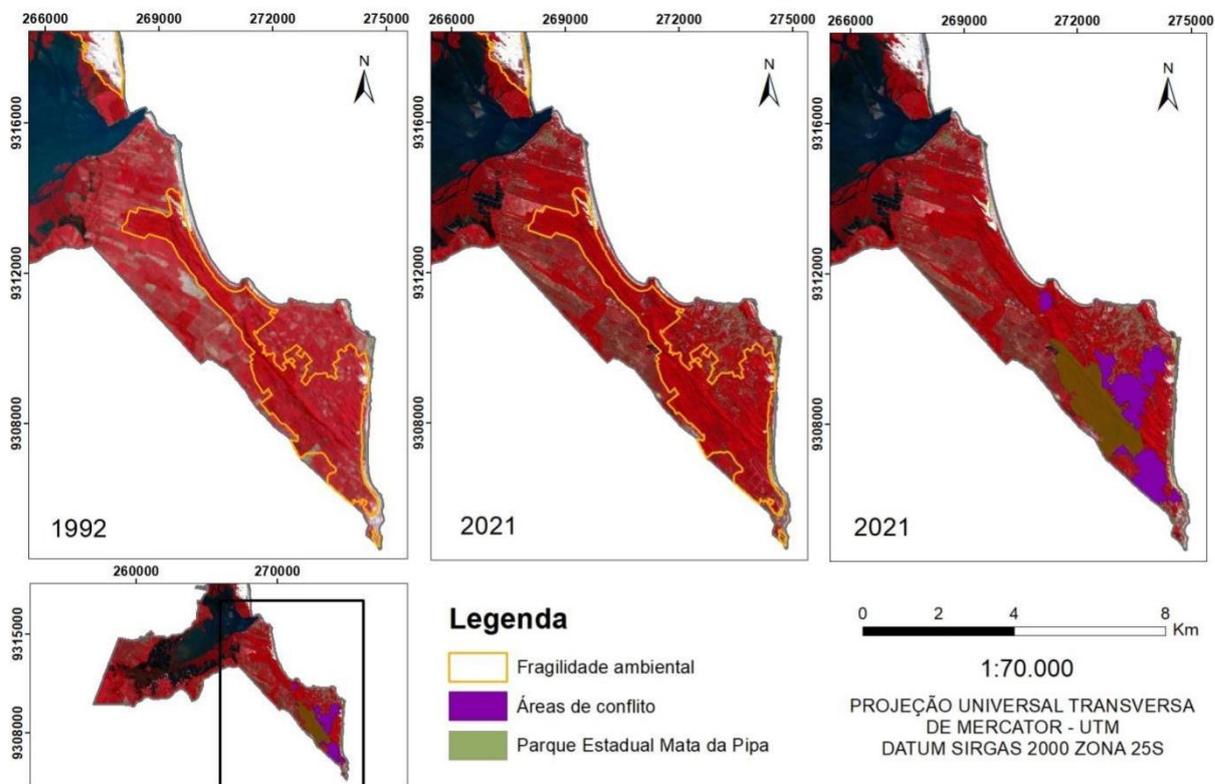


Fonte: USGS (2022), IDEMA (2017).

Considerando o recorte da região sul, observa-se um aumento considerável da área urbana no extremo sul da APA quando se compara com a imagem de 1992 (Figura 8), e o aumento se deu principalmente na região próxima à costa, nas proximidades do Parque Estadual Mata da Pipa. No limite inferior da APA também é possível notar feições características de um

loteamento, evidenciando a tendência de crescimento no entorno de aglomerados urbanos consolidados.

Figura 8: Recorte da região sul da APA Bonfim-Guaíba, no Rio Grande do Norte, nos anos de 1992 e 2021, destacando área de fragilidade ambiental.



Fonte: USGS (2022), IDEMA (2017).

Segundo o zoneamento da APA Bonfim Guaíba (IDEMA, 2020b), essa região abrange as dunas móveis, as fixas, as paleodunas, as lagoas interdunares e as planícies de deflação, de modo que a proteção da cobertura vegetal fixadora do solo é uma de suas diretrizes de gestão. Desse modo, as áreas de expansão urbana percebidas foram consideradas como áreas de conflito de uso. Assim, o aumento da ocupação urbana levou a diminuição das áreas de vegetação nativa.

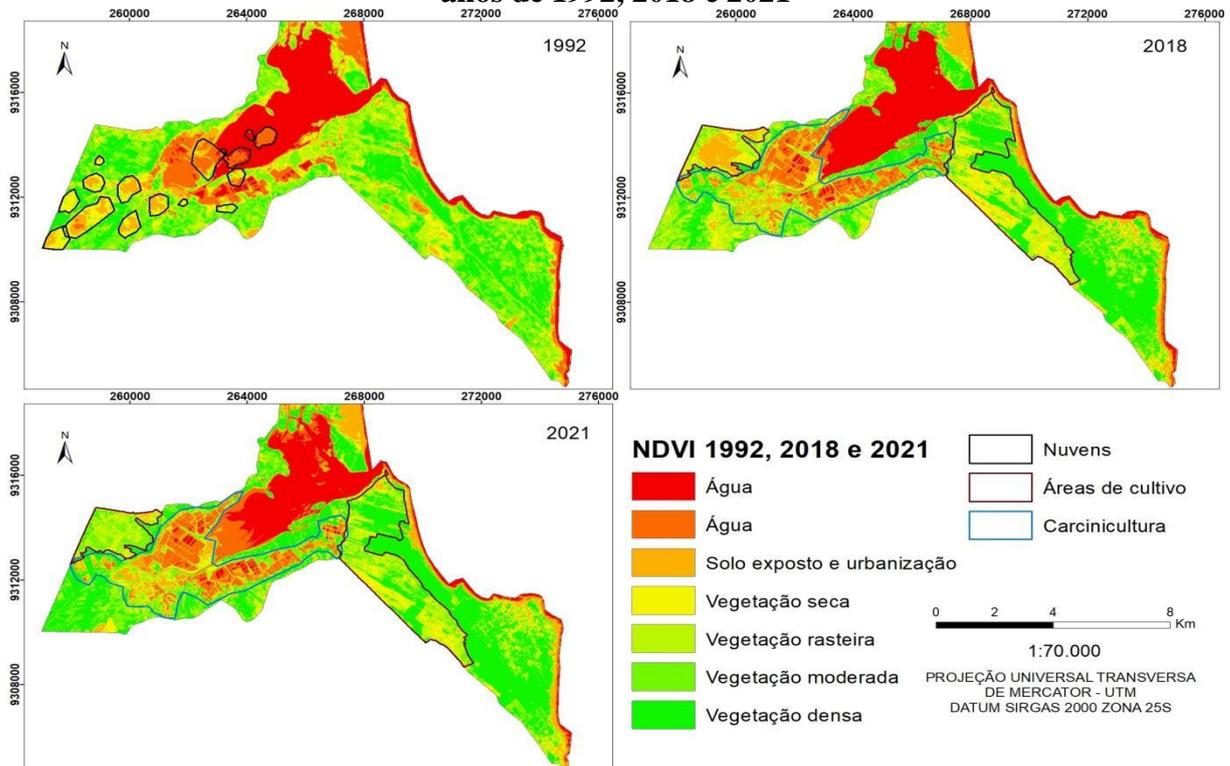
A partir do comparativo entre as imagens de 1992 e 2021 constata-se a expansão das áreas ocupadas pela construção de viveiros em todo entorno da Laguna de Guaíba (Figura 9), bem como a expansão urbana nas proximidades, corroborando com o estudo de Roversi (2017).

Também se notou aumento de áreas limítrofes a regiões de vegetação densa com limites bem definidos, com formato característico de áreas de cultivo. Essas áreas correspondem a

aglomerados humanos rurais e atividades agropastoris, de aquicultura, apicultura, agricultura permanente e temporária, e agricultura consorciada, consideradas como de uso sustentável (IDEMA, 2020b). Sendo assim, boa parte da vegetação densa que se observa nessa região corresponde a plantações.

Quanto à qualidade da vegetação, em comparação a 2018 o ano de 2021 mostra ligeiro aumento das áreas de vegetação densa e rasteira em detrimento de áreas de solo exposto de um modo geral. A leste do sistema estuarino se observa área classificada como Vegetação densa em 2021, que foi classificada como Solo exposto e urbanização em 2018, quando a produção agrícola foi colhida ou removida no momento do imageamento.

Figura 9: NDVI da região sul da APA Bonfim-Guaraira, no Rio Grande do Norte, nos anos de 1992, 2018 e 2021



Fonte: USGS (2022), IDEMA (2017).

É importante destacar que as imagens foram obtidas em meses diferentes, o que pode ter proporcionado uma melhor condição para o desenvolvimento da vegetação em um período do que no outro. Esse fato causou uma diferença de resposta no NDVI. Senso assim, a melhora na quantidade de Vegetação densa pode ser decorrente da própria transformação da área em Unidade de Conservação, apesar dos problemas apontados. No entanto, não se pode ignorar os efeitos de outros fatores, como a pluviosidade.

CONCLUSÕES

O emprego do Geoprocessamento, com destaque para o uso de composição colorida RGB e o NDVI na análise multitemporal de imagens LANDSAT 5 - TM e SENTINEL 2B - MSI, se mostrou efetivo no realce das feições de uso e cobertura do solo na área de interesse, possibilitando a visualização da transformação temporal da cobertura vegetal da Área de proteção ambiental Bonfim-Guaraíra. Com relação ao NDVI, foi possível realizar uma análise qualitativa considerando o total de sete classes.

Concluiu-se que a APA apresenta uma grande ocupação formada pela atividade de agricultura em zonas de uso sustentável, o que se manteve crescente durante o período analisado. Comparando os resultados de 2018 e 2021, observou-se que as diferenças mais significativas com relação à vegetação se deram em regiões com formato geométrico característico de áreas de cultivo. De modo geral, a análise espaço-temporal mostrou o aumento das áreas urbanizadas, especialmente em regiões costeiras. Os núcleos urbanos já consolidados e que estão de acordo com o zoneamento ecológico-econômico fazem fronteira com áreas de fragilidade ambiental, de modo que houve expansão irregular em alguns trechos durante o período de 1992 e 2018, demarcados como áreas de conflito.

Com relação à vegetação nas áreas demarcadas de fragilidade ambiental, o estudo mostrou que houve aumento da Vegetação densa durante o intervalo de tempo analisado. No entanto, apesar da elaboração do plano de manejo e posterior zoneamento, foi possível notar aumento de áreas de conflito urbano no extremo sul da APA, com feições de loteamento que caracterizam possibilidade de expansão. Alerta-se para o fato de que, além da área não permitir a ocupação, ela se encontra próximo ao Parque Estadual Mata da Pipa, uma das UCs localizadas no interior da APA Bonfim-Guaraíra. Foi possível também perceber um crescimento da ocupação antrópica às margens das lagoas, em especial a Lagoa do Bonfim, em descumprimento ao Código Florestal, o que apresenta um risco à qualidade da água das lagoas. Notou-se ainda uma expansão expressiva da atividade de carcinicultura no entorno do sistema lagunar como um todo.

Sendo assim, pode-se concluir que ações de fiscalização e regularização do espaço são necessárias especialmente nos limites dos núcleos urbanos consolidados ao longo do litoral, bem como nas áreas de preservação permanente no entorno das lagoas. Alerta-se para a importância do monitoramento da atividade de carcinicultura, considerando que grande parte

desses empreendimentos estão inseridos nas proximidades do Sistema Lagunar-estuarino de Nísia-Papeba-Guaraira. Assim, este trabalho contribui para que seja dada a devida atenção aos recursos protegidos e se efetive a custódia das áreas de proteção permanentes já resguardadas juridicamente.

REFERÊNCIAS

ARCGIS. Versão 10.5. Califórnia: Esri, 2016
<<https://enterprise.arcgis.com/ptbr/portal/10.5/use/deploy-app.htm#>>

ARRAZ, R. M.; MARQUES, E. E.; RIBEIRO, L. S. . Analyze of the dynamics temporal of use and occupation from soil in the county of Conceição do Araguaia-PA (1985-2020). **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 8, p. e37911831026, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i8.31026.

BRASIL. Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000. **Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm.

DIAS, L. C. C.; MOSCHINI, L. E.; TREVISAN, D. P. A Influência das Atividades Antrópicas na Paisagem da Área de Proteção Ambiental Estadual do Rio Pandeiros, MG - Brasil. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 85-105, 10 set. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2017v6i2>.

DOURADO, G. F. *et al.* Spatiotemporal Analysis of an Urban Water-Supply Watershed. **Anuário do Instituto de Geociências - Ufrj**, [S.L.], v. 42, n. 4, p. 238-248, 12 dez. 2019. Instituto de Geociências - UFRJ. http://dx.doi.org/10.11137/2019_4_238_248.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, [S.L.], v. 30, n. 4, p. 379-390, 28 nov. 2008. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actascibiols.v30i4.5868>.

FONSECA, I. L. **Desafios do planejamento e gestão turística: enfoque analítico sobre a Área de Proteção Ambiental Bonfim-Guaraira, Estado do Rio Grande do Norte.** 2017. 153f. Dissertação (Mestrado em Turismo) - Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

IDEMA. Área de Proteção Ambiental Bonfim-Guarairas. Acervo. Mapas: **Limites vetoriais da APA Bonfim-Guarairas**, 2017. Disponível em: <<http://idema.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=942&ACT=null&PAGE=0&PA>>

IDEMA. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Bonfim-Guaarára** – Volume I, 2020a.

IDEMA. **Zoneamento Ecológico-Econômico da Área de Proteção Ambiental Bonfim-Guaarára** – Volume II, 2020b.

MACEDO, C. E. S. *et al.* Detecção da Variação de Cobertura Vegetal a Partir da Estimativa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Unidade de Conservação do Parque Estadual das Carnaúbas - CE com Utilização de Técnicas do Sensoriamento Remoto. **Anuário Instituto de Geociências**, v. 43, n. 2, 2020. doi:10.11137/2020_2_477_485

MASCARENHAS, L. M. A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 5-18, abr. 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/s1982-45132009000100001>.

MEDEIROS, J. I. M. **O geoprocessamento no cumprimento da legislação ambiental: uma análise multitemporal do uso e cobertura do solo no Sistema Lacustre Bonfim**. 2019. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

MIRANDA, C. S.; PARANHO FILHO, A. C.; POTT, A. Changes in vegetation cover of the Pantanal wetland detected by Vegetation Index: a strategy for conservation. **Biota Neotropica**, [S.L.], v. 18, n. 1, 8 jan. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2016-0297>.

PACHECO, C. S. G. R. *et al.* Impactos da agricultura convencional sobre o solo, a água e os processos produtivos agrícolas: A necessária transição agroecológica em áreas paleodunares. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 5, 2022.

PAIVA, A. M. L. *et al.* Fragilidade Ambiental aplicada em área de manancial no Nordeste brasileiro. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 8, n. 1, p. 128–147, 2022.

RIO GRANDE DO NORTE. Decreto Nº 14.369, de março de 1999. **Cria a Área de Proteção Ambiental (APA) Bonfim/Guaarára nos Municípios de Nísia Floresta, São José do Mipibú, Senador Georgino Avelino, Goianinha, Arês, Tibau do Sul, e dá outras providências**. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC000000000014307.PDF>.

ROUSE, J. W. *et al.* Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA Spec. Publ**, v. 351, n. 1, p. 309, 1974.

ROVERSI, F. *et al.* Alterações morfológicas e evolução da carcinicultura no Sistema Lagunar de Guaaráras - RN. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, p. 6312–6319, 2017.

SANTANA, M. C.; SOUZA, A. J.; PEREIRA, A. P. A. As florestas nativas e plantadas como agentes prestadores de serviços ecossistêmicos. In: CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira (org.). **A Sustentabilidade ambiental da agricultura e de florestas tropicais: uma visão científica, ecológica, política e social**. Curitiba: Appris Editora, 2021. Cap. 2. p. 27-43.

SANTOS, E.; JERONIMO, C. E. M. Unidades de conservação da natureza: diagnóstico do Programa Estadual de Unidades de Conservação-PEUC no Rio Grande do Norte-Brasil. **Revista Monografias Ambientais**, [S. l.], v. 11, n. 11, p. 2435–2445, 2013. DOI: 10.5902/223613087680.

SEMARH. Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Ficha técnica do Reservatório Lagoa do Bonfim**, 2022.

SILVA, L. K. T. **Pesca artesanal entre mudanças socioambientais: estudo de caso na APA Bonfim-Guaráira/RN-Brasil**. 2015. 133f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SIMONETTI, V. C. **Reflexos das atividades antrópicas sobre a qualidade da água e do solo em uma bacia hidrográfica**. 2022. 146 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Ciência e Tecnologia (ICTS), Universidade Estadual Paulista (Unesp), Sorocaba, 2022.

USGS, 2022. United States Geological Survey. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> . Acesso em: 17 de setembro de 2022.

VALLE JÚNIOR, R. F. *et al.* Diagnosis of degraded pastures using an improved NDVI-based remote sensing approach: An application to the Environmental Protection Area of Uberaba River Basin (Minas Gerais, Brazil). **Remote Sensing Applications Society and Environment**, v. 14, p. 20–33, 2019. doi:10.1016/j.rsase.2019.02.001

WELERSON, C. C. *et al.* Anthropic expansion of Paraty in Serra da Bocaina National Park, Mata Atlântica Biome. **Ambiente & Sociedade**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 1-18, jul. 2021. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200023r1vu202112ao>

ZHAO, X.; ZHOU, D.; FANG, J. Satellite-based Studies on Large-Scale Vegetation Changes in ChinaF. **Journal Of Integrative Plant Biology**, [S.L.], v. 54, n. 10, p. 713-728, out. 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7909.2012.01167.x>.

Recebido em Maio de 2023

Aprovado em Fevereiro de 2024

Publicado em Agosto de 2024