

MAPEAMENTO E ANÁLISE DE CONFLITOS NO USO DA TERRA, SEUS IMPACTOS E A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUAJIRU (RN)

MAPPING AND ANALYSIS OF LAND USE CONFLICTS, THEIR IMPACTS AND ENVIRONMENTAL DEGRADATION IN THE HYDROGRAPHIC BASIN OF THE GUAJIRU RIVER(RN)

MAPEO Y ANÁLISIS EN CONFLICTOS EN EL USO DEL SUELO, SUS IMPACTOS Y DEGRADACIÓN AMBIENTAL LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUAJIRU (RN)

Michele Barbosa da Rocha¹

Sebastião Milton Pinheiro da Silva²

Resumo: Este estudo teve como objetivo realizar o mapeamento do uso e cobertura da terra, a identificação de conflitos e a degradação ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru, considerando a sua importância social e econômica como fonte de recursos naturais e atividades agropastoris e a proximidade da capital, Natal, no litoral leste do Rio Grande do Norte. Para o mapeamento e análise, utilizaram-se uma cena do satélite sensor MSI Sentinel 2 e a classificação supervisionada com emprego do Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) do *software* QGis 3.16. Os resultados mostram que as pastagens recobrem 30% da área da bacia, seguida da caatinga arbóreo-arbustiva aberta, com 21,9%. Os campos antropizados, ocupados por atividades agrícolas, representam 19%, e as lâminas de corpos d'água ocupam 0,9% da superfície dos terrenos. Os resultados nas APPs mostram que 32,9% dessas áreas são ocupadas por pastagens, e 8,1%, por atividades antrópicas. Dados e informações de campo validam os resultados e atestam que os conflitos legais e a degradação ambiental na bacia estão amplamente distribuídos, com maiores impactos nas áreas de nascentes, e estritamente associados à ocupação humana desordenada.

Palavras-chave: Degradação; Conflitos ambientais; Sensoriamento remoto; Sistemas de Informações Geográficas.

¹ Mestra em Desenvolvimento e Meio Ambiente pelo Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Coordenadora na Prefeitura Municipal de Vera Cruz/RN – Secretaria Municipal de Habitação e Assistência Social de Vera Cruz/RN. E-mail: michelerochageo@gmail.com Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/4249480592123434> Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0001-8054-8815>

² Professor Adjunto do Departamento de Geologia na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Graduado em Geologia pela Universidade Federal de Pernambuco. Mestre em Sensoriamento Remoto e Aplicações pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Doutorado em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). E-mail: sebastiao.milton.silva@ufrn.br Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/3202304089432033> Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-0950-4622>

Abstract: This study aimed to map land use and land cover, identify conflicts and environmental degradation in the Guajiru River Basin, considering its social and economic importance as a source of natural resources, agropastoral activities and proximity to the capital Natal on the east coast of Rio Grande do Norte. For mapping and analysis, a scene from the sensor satellite MSI Sentinel 2 and supervised classification were applied using the Semi-Automatic Classification Plugin-SCP of the QGis 3.16 software. The results show that pastures cover 30% of the basin area, followed by open arboreal and shrubby Caatinga with 21.9%. The anthropized fields, occupied by agricultural activities, represent 19% and the layers of water bodies occupy 0.9% of the land surface. The results in the APPs show that 32.9% of these areas are occupied by pastures and 8.1% by anthropic activities. Field data and information validate the results and attest that legal conflicts and environmental degradation in the basin are widely distributed with greater impacts in the areas of springs and are strictly associated with disorderly human occupation.

Keywords: Degradation; environmental conflicts; remote sensing; geographic information systems.

Resumen: Este estudio tuvo como objetivo mapear el uso y cobertura del suelo, identificar conflictos y degradación ambiental en la cuenca del río Guajirú, considerando su importancia social y económica como fuente de recursos naturales y actividades agropastoriles y su proximidad a la capital, Natal, en la costa este de Río Grande del Norte. Para el mapeo y análisis, se utilizó una escena del satélite sensor MSI Sentinel 2 y se supervisó la clasificación utilizando el complemento de clasificación semiautomática (SCP) del *software QGis 3.16*. Los resultados muestran que los pastos cubren el 30% del área de la cuenca, seguidos por la caatinga arborea-arbustiva abierta, con el 21,9%. Los campos artificiales, ocupados por actividades agrícolas, representan el 19%, y los cuerpos de agua ocupan el 0,9% de la superficie terrestre. Los resultados en APP muestran que el 32,9% de estas áreas están ocupadas por pastos y el 8,1% por actividades humanas. Los datos e información de campo validan los resultados y atestiguan que los conflictos legales y la degradación ambiental en la cuenca están ampliamente distribuidos, con mayores impactos en las zonas de manantiales y estrictamente asociados a la ocupación humana desordenada.

Palabras clave: Degradación; Conflictos ambientales; Detección remota; Sistemas de Información Geográfica.

Introdução

A ocupação antrópica para diversos fins provoca alterações na terra, atingindo níveis capazes de modificar o funcionamento dos diversos componentes e sistemas ambientais e, conseqüentemente, as suas dinâmicas (Zuquette; Rodrigues; Pejon, 2013).

Sabe-se que o processo de antropização tem início com a remoção da vegetação nativa, e que a extensão e a severidade da ação humana podem gerar impactos consideráveis, como o desaparecimento de cursos de água e a extinção de espécies, além de contribuir para as mudanças climáticas, que, por sua vez, ampliam os impactos, e estes, a degradação do meio físico.

Relatório publicado pelo MapBiomas mostra que a perda de vegetação nativa de caatinga entre 1985 e 2021 foi de 10,1%, colocando esse bioma na terceira colocação no ranking do desmatamento no Brasil (MapBiomas, 2022), fato que pode ser considerado muito grave em face da sistemática escassez de chuvas e da aridez que caracterizam esse bioma.

O desmatamento modifica a paisagem natural e afeta o equilíbrio ambiental, de modo que conhecer e mapear os territórios deveria ser meta a ser alcançada pela sociedade. Nesse sentido, o critério da bacia hidrográfica, segundo Santos (2004), é comumente usado em variados tipos de estudos de planejamento ambiental, porque constitui um sistema natural bem delimitado no espaço e fácil de ser interpretado.

Desse modo, as Áreas de Preservação Permanente (APPs) têm papel vital no funcionamento integral desse tipo de ambiente, por serem responsáveis pela manutenção, preservação e conservação dos ecossistemas ali existentes (Sartori *et al.*, 2009). Ainda conforme Araújo, Almeida e Guerra (2011), as bacias hidrográficas são de grande importância na recuperação de áreas degradadas pelo fato de que grande parte dos danos ambientais sobre a superfície terrestre ocorre em bacias hidrográficas.

Entre as geotecnologias aplicadas aos estudos em bacias hidrográficas estão o Sensoriamento Remoto, que contribui para que os levantamentos forneçam subsídios para as análises e avaliações dos impactos ambientais (Paranhos Filho *et al.*, 2016), e os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), que oferecem a possibilidade de executar modelagens para prever possíveis cenários decorrentes do tipo de ocupação e uso dos recursos naturais (Ramalho Filho; Beek, 1994; Barros *et al.*, 2004; Menezes *et al.*, 2009, Luppi *et al.*, 2015; Oliveira; Borges; Júnior, 2018).

A Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru (BHRG) integra uma das mais importantes bacias do estado do Rio Grande do Norte, denominada Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN), que abriga o único reservatório expressivo da região, conhecido como Lagoa de Extremoz, uma das principais fontes de abastecimento de água da cidade de Natal e região metropolitana.

O Rio Guajiru é um rio intermitente, com cerca de 45 km de extensão, que deságua pela margem direita da Lagoa de Extremoz. A bacia homônima tem cerca de 120 km², reúne atividades de exploração mineral, agropastoris e de pecuária intensiva e abriga o Aeroporto Internacional Aluizio Alves, sendo densamente povoada no extremo leste, com avanço sistemático, para oeste, de empreendimentos diversos e da incorporação de condomínios residenciais.

Estudos anteriores utilizando imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento permitiram caracterizar e mapear o uso e cobertura da terra e forneceram subsídios para as análises e avaliações dos impactos ambientais e da perda da qualidade das águas, que representam o principal problema e têm agravado a situação ambiental decorrente dos desmatamentos na bacia do Rio Doce – RN (Faustino; Ramos; Silva, 2014; Costa; Souza; Silva, 2019; Damasceno *et al.*, 2021; Campos, 2020).

Costa, Souza e Silva (2021) analisaram e mostraram que há uma diminuição da estabilidade natural/ambiental no sentido oeste-leste da bacia do Rio Doce e que, em termos de uso e cobertura da terra, a vulnerabilidade é alta em decorrência da forma como o homem vem explorando o meio ambiente, sustentando a necessidade do planejamento do uso e ocupação do solo, principalmente para as áreas que apresentaram vulnerabilidade alta.

A importância econômica e social da Bacia do Rio Guajiru, a sua relação direta com a Lagoa de Extremoz e o cenário das transformações em curso na região motivaram a realização deste estudo, tendo como objetivo principal mapear e confrontar as condições de uso e cobertura da terra com a legislação ambiental, notadamente nas áreas de nascentes do Rio Guajiru.

O objetivo desse trabalho foi realizar o mapeamento do uso e cobertura da terra, a identificação de conflitos e a degradação ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru. A execução do trabalho ainda levou em consideração a contribuição técnico-científica dos dados, das técnicas empregadas e dos mapas e produtos gerados.

Área de estudos e aspectos fisiográficos

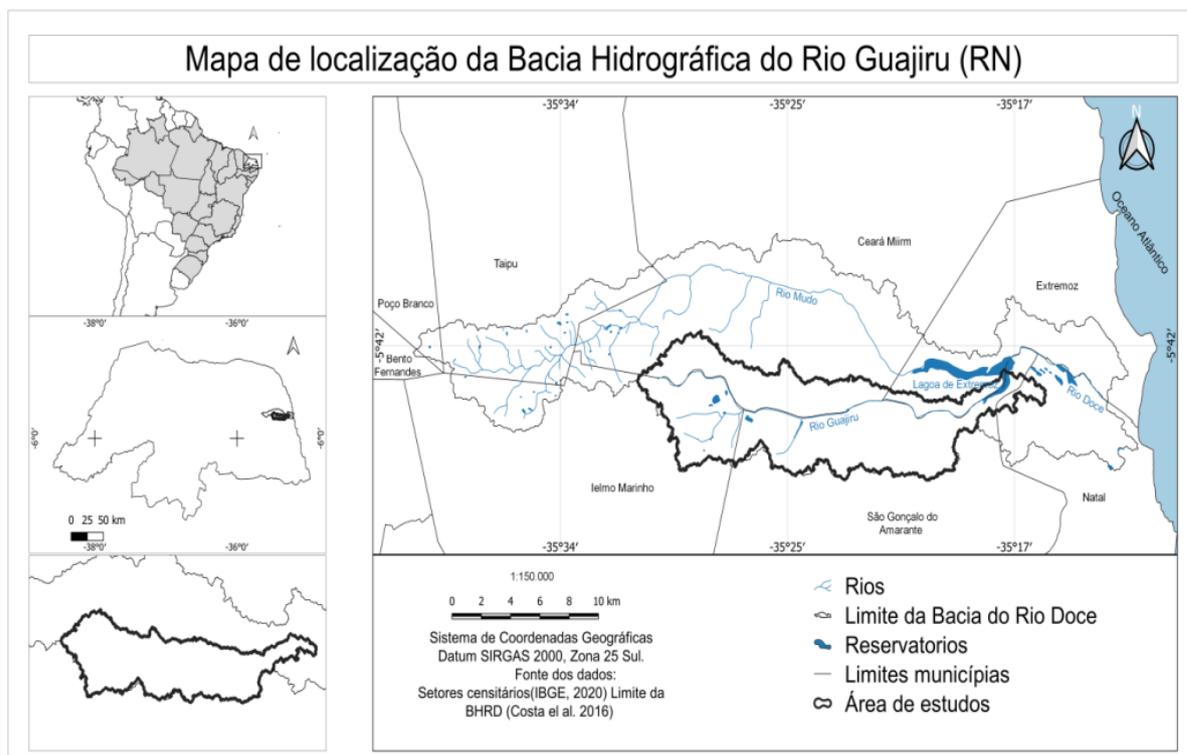
O estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru, situada no litoral leste do Rio Grande do Norte, com uma área total de 120 km², abrangendo os municípios de Ielmo Marinho, Ceará-Mirim, São Gonçalo do Amarante, Extremoz e Natal delimitada pelos paralelos 05° 47' 05" e 05° 40' 33" de latitude Sul e os meridianos de 035° 31' 41" e 035° 25' 09" de longitude Oeste Greenwich. (Figura 1).

Os climas predominantes na bacia são os climas subúmido e subúmido seco. O clima subúmido apresenta médias pluviométricas anuais entre 800 e 1.200 milímetros de chuvas e equivale, na Classificação de Köppen, ao clima tropical chuvoso, com inverno seco e com a estação chuvosa prolongando-se até o mês de julho (Rio Grande do Norte, 1998).

A BHRG é caracterizada, em sua maior parte, pelas atividades agropecuárias e pela presença da savana estépica arborizada, cuja formação é estruturada em dois nítidos estratos: um, arbustivo-arbóreo superior, esparsos, geralmente de características idênticas ao da Savana

Estépica Florestada; e outro, inferior gramíneo-lenhoso, também de relevante importância fitofisionômica IBGE (2021).

Figura 1: Mapa de localização da área de estudos



Fonte: Autores (2023).

O solo Argissolo Amarelo Distrófico é encontrado em praticamente toda extensão da bacia (Costa; Souza; Silva, 2019), seguido dos Latossolos Amarelos Distróficos e os solos do tipo Gleissolos sálico sódico (Embrapa, 2018). Campos (2020) detectou Neossolos Quartzarênicos bem drenados e muito pobres em nutrientes e em matéria orgânica.

O terreno geológico dominante é composto, em sua maior parte, por sedimentos quaternários (Dunas, Paleodunas, Aluviões e Coberturas indiferenciadas) terciário-quaternários do Grupo Barreiras, que ocorrem ao longo de uma faixa próxima ao litoral potiguar em forma de tabuleiros, por vezes constituindo falésias litorâneas (Angelim *et al.*, 2007).

As unidades geomorfológicas presentes são os Tabuleiros Costeiros, destacando-se por seu relevo tabular sobre a Formação Barreiras (Silva *et al.*, 2017) e as planícies de inundação fluvial sujeitas às inundações periódicas, correspondendo às várzeas atuais e dos solos Neossolo Flúvico (IBGE, 2009).

Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos adotados constaram da revisão bibliográfica, do levantamento de dados cartográficos e de imagens de satélite e da implementação da base de dados geoespaciais no *software* QGIS 3.16.11³ para tratamento, análise, obtenção de resultados e produção de mapas.

Foram realizados a seleção e o *download* de imagem do sensor Multispectral Instrument (MSI), do satélite Sentinel-2, com correção atmosférica, no portal Copernicus Open Access Hub⁴, da Agência Espacial Europeia (ESA), datada de 26/7/2022.

Os procedimentos de classificação de imagem e de pós-processamentos foram realizados com emprego do complemento Semi-Automatic Classification Plugin – SCP (Congedo, 2018), do *software* QGIS 3.16.11, utilizando-se a técnica de classificação supervisionada Spectral Angle Mapper – SAM (Kruse *et al.*, 1993), que quantifica o grau de similaridade ou distância espectral entre espectros de reflectância dos materiais imageados (Meneses; Almeida, 2012; Barbosa; Novo; Martins, 2019).

Foram selecionadas 9 (nove) classes de uso e cobertura da terra com base na análise da resposta espectral dos alvos identificados na cena e informações de campo, quais sejam: corpos d'água, solos descobertos, áreas edificadas, pastagens, campos antropizados, caatinga arbóreo-arbustiva fechada, caatinga arbóreo-arbustiva aberta, áreas úmidas e vias.

Os resultados da classificação foram avaliados com o coeficiente Kappa (Congalton; Green, 2009), que permite medir e comparar os resultados gerados nas classificações de imagens. Para isso, utilizou-se o plugin AcAtaMa (Llano, 2022), do *software* QGIS 3.16.11, com o qual foram gerados 202 pontos, com amostragem aleatória estratificada, que, no final, possibilitaram gerar a matriz de erros e calcular a Acurácia Global e o Índice de Kappa.

Foi necessário detalhar e densificar a rede de drenagem, composta por cursos d'água, nascentes e lagoas. Para isso, foram utilizados o modelo digital de elevação MDE de uma imagem de radar do Satélite ALOS PALSAR, com resolução espacial interpolada de 12,5 metros (NASA, 2021), selecionada e obtida no endereço <https://asf.alaska.edu/>, no site do Alaska Satellite Facility (ASF), e o Plugin TerraHidro 0.42x (Rosim *et al.*, 2003), que integra o SIG TerraView 4.2.2 (INPE, 2010). Os dados altimétricos do MDE também foram utilizados para gerar a hipsometria e delimitar a bacia. Os resultados da delimitação da bacia e da rede de

³ Disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site/

⁴ Disponível em: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

drenagem foram salvos em formato *shapefile*, importados para o QGIS, plotados em mapas e avaliados comparando-os com a realidade do terreno em campo.

Para identificar os conflitos nas APPs, foi gerada uma camada vetorial relativa às nascentes, e, em seguida foram gerados os *buffers* das áreas de influência, tomando como base o disposto no Novo Código Florestal Brasileiro⁵ (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012).

Foi estabelecido o raio de 50 metros nas APPs de nascentes, conforme a legislação (Brasil, 2012). Consideraram-se como APPs prioritárias para estudo as de nascentes do alto e médio curso do rio, tendo em vista a importância para uma desejável regularização hidrológica da bacia e o fato de que elas estão em áreas predominantemente rurais, com comunidades originárias e três assentamentos federais onde moram 320 famílias, que dependem da água para a produção agrícola, ainda economicamente incipiente e basicamente de convivência e subsistência.

O mapeamento das áreas de conflitos de uso nas APPs foi realizado a partir da sobreposição do mapa de uso e cobertura da terra com o mapa de APPs de nascentes, mediante emprego da ferramenta Intersecção, do *software* QGIS 3.16.11, gerando-se ao final o arquivo do mapa de conflitos dessas áreas. Para a construção desse mapa, também foram incorporados os dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR), sobretudo das áreas de reserva legal dos municípios de Ceará-Mirim, São Gonçalo do Amarante, Ielmo Marinho e Extremoz, focalizando o alto curso do Rio Guajiru. Posteriormente, foi possível quantificar as classes de uso e ocupação da terra nas APPs.

Os trabalhos de campo possibilitaram investigar a distribuição espacial das ocupações e usos da terra, as coberturas superficiais, além do mapeamento dos pontos críticos na bacia, na perspectiva da degradação ambiental como um todo. Foram etapas de campo realizadas em períodos secos e chuvosos para a checagem da situação e dos problemas ambientais, assim como dos principais agentes causadores da degradação ambiental.

Foram utilizados GPS, imagens e mapas com registro das coordenadas geográficas dos pontos escolhidos para análise dos fatos e problemas ambientais com registro fotográfico.

Resultados e Discussão

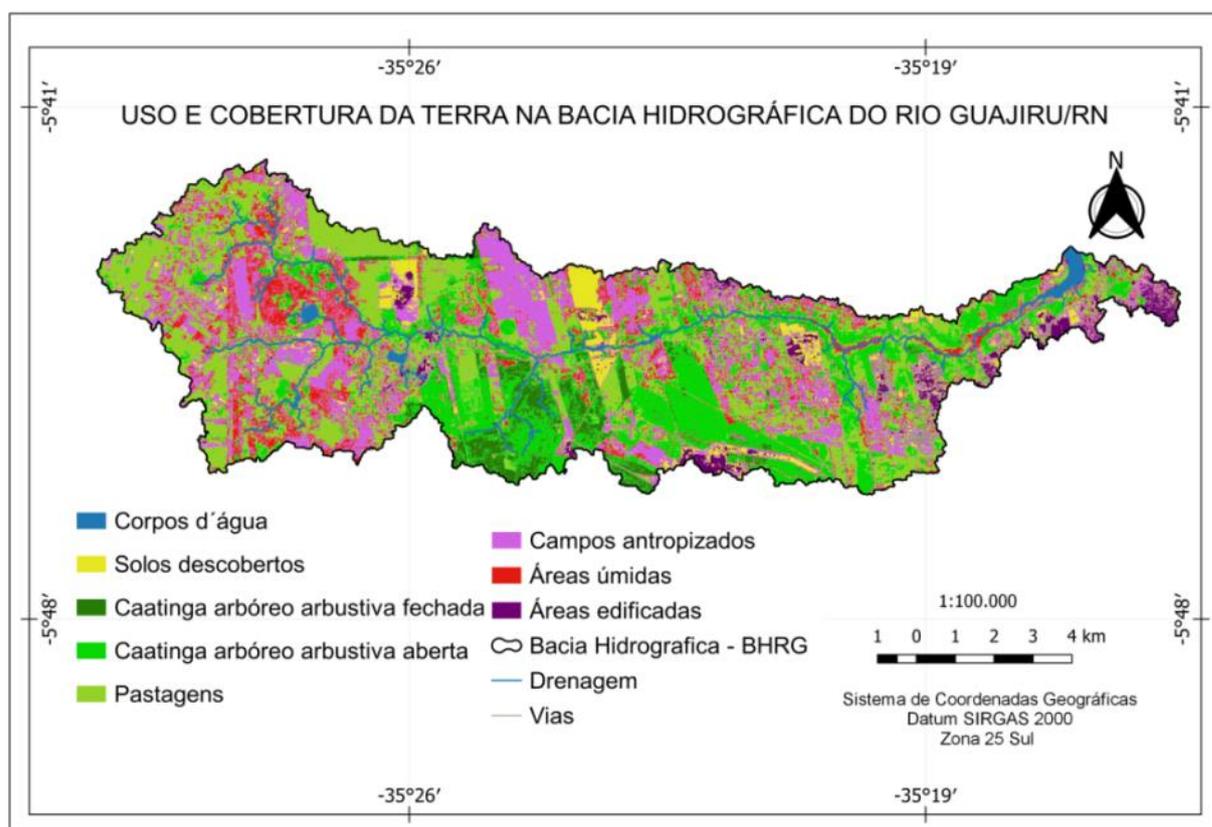
Uso e cobertura da terra

Os resultados da classificação supervisionada permitiram analisar a distribuição espacial

⁵ Disponível em: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

e a quantificação das classes de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru. O mapa da Figura 2 apresenta a distribuição das classes de uso e cobertura da terra na Bacia do Rio Guajiru.

Figura 2: Mapa de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Guajiru/RN



Fonte: Elaborado pelos autores a partir do Limite da BHRD de Costa, Souza e Silva (2016) e Imagens Sentinel – 2 (2022).

A validação dessa classificação foi realizada pelo índice Kappa, com resultado de 0,45, correspondendo a um desempenho regular.

De acordo com os dados da Tabela 1, a classe de uso e cobertura mais expressiva é representada pelas pastagens, correspondendo a 30,0% do território da bacia. Costa Junior, Souza e Costa (2022) analisaram a produção agropecuária na Bacia do Rio Doce e constataram que a maior distribuição de criação de bovinos encontra-se entre os municípios de Ceará-Mirim e São Gonçalo do Amarante, ao longo do Rio Guajiru, onde predominam as pastagens.

Os campos antropizados utilizados para atividades agrícolas ocupam 19% da área total (Tabela 1). As áreas com vegetação natural totalizam 26,6 % e são caracterizadas pela caatinga

arbóreo-arbustiva fechada (IBGE, 2012) — com tons de verde mais escuro na imagem, encontradas na porção central e na proximidade do Aeroporto Aluizio Alves, em São Gonçalo do Amarante — e por fragmentos da caatinga arbóreo-arbustiva aberta, encontrados no médio e baixo curso, nas proximidades da Lagoa de Extremoz.

Tabela 1: Classes de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Guajiru/RN

Classes de uso e cobertura da terra	Área ocupada em (ha)	Área ocupada em (%)
Corpos d'água	120,0	0,9
Solos descobertos	581,8	4,8
Caatinga arbóreo-arbustiva fechada	567,0	4,7
Caatinga arbóreo-arbustiva aberta	2637,0	21,9
Pastagem	3569,0	30,0
Campos antropizados	2281,0	19,0
Áreas úmidas	1540,7	12,8
Áreas edificadas	241,0	2,0
Vias	473,9	3,9
Total	12010,50	100

Fonte: Autores (2022).

As áreas úmidas ocupam 12,8% da bacia. Os solos descobertos recobrem 4,8% da área, identificados também por Campos (2020), e bem visíveis na imagem Sentinel-2 devido aos altos níveis de reflexão decorrentes da textura homogênea e da cor branca, que permite sua melhor observação e separação na imagem utilizada.

Nas áreas de cabeceiras do alto curso, onde se localizam as nascentes do Rio Guajiru, a vegetação é predominantemente rasteira e as matas ciliares foram retiradas, deixando solos predominantemente quartzo-arênicos (Campos, 2020) sujeitos a erosão e transporte nos períodos chuvosos.

As vias ocupam 3,9% dos terrenos, e as áreas de edificações, 2,0% da área total (Tabela 1). As áreas ocupadas pelos corpos d'água (Tabela 1) são de pouca extensão e representatividade, com 0,9% da área total da bacia.

Foram identificadas também outras lagoas e pequenos corpos d'água nas proximidades do alto curso do Rio Guajiru, na época com água.

Em decorrência das chuvas que ocorreram na região, as pastagens encontram-se recobertas por vegetação rasteira de crescimento natural, visualizadas durante trabalho de campo.

Através do mapeamento do uso e cobertura da terra, foi possível observar que os remanescentes de vegetação natural estão concentrados na margem direita no médio curso do Rio Guajiru e nas proximidades do aeroporto em São Gonçalo do Amarante, e que nas áreas de nascentes é onde houve uma maior supressão da cobertura vegetal.

Os dados da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) mostrados na Tabela 2 indicam que para o ano de 2022 ocorreram bons níveis de precipitação nos municípios inseridos na Bacia do Rio Guajiru (Tabela 2), em padrões compatíveis com dados históricos (Costa; Souza, Silva, 2021), os quais, ainda assim, não foram suficientes para promover o escoamento em nascentes e riachos e o enchimento de lagoas, como a do assentamento Padre Cícero que encontrava-se seca. Entendem-se esses fatos como, supostamente, resultantes do maior escoamento superficial em contrapartida aos níveis de infiltração de água no terreno.

Há também a declaração de moradores mais antigos na área de diminuição da superfície de lâminas de d'água e também do rebaixamento generalizado do lençol freático regional, o que talvez justifique a pouca representatividade desses recursos hídricos superficiais (de apenas 0,9% da área total da bacia) e o fluxo intermitente do Rio Guajiru. São dados preocupantes, mas não isolados no cenário nacional.

De acordo com Jorge, Eufrede Jr. e Marmotel (2020), as inadequações do uso do solo e a diminuição na cobertura da vegetação natural no meio rural trazem como consequência a perda de biodiversidade, problemas de conservação do solo e dos recursos hídricos, sobretudo, causando uma série de conflitos ambientais em APPs.

Tabela 2: Médias anuais de precipitação por município da bacia hidrográfica do rio Guajiru/RN

Municípios	Médias de 2021	Médias de 2022
São Gonçalo do Amarante	547,5 mm	991,0 mm
Ceará-Mirim	316,1 mm	947,2 mm
Extremoz	672,0 mm	2.003,5 mm
Ielmo Marinho	336,2 mm	1.128,4 mm
Natal	477,9 mm	2.075,9 mm

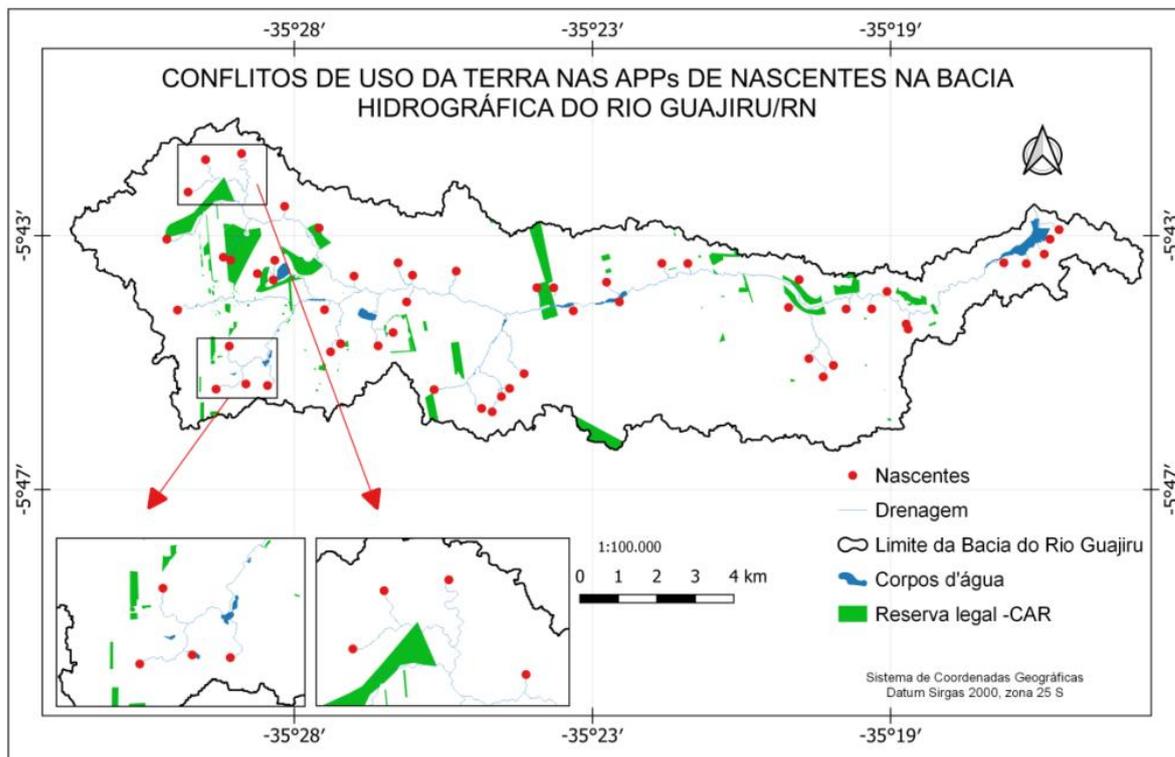
Fonte: EMPARN (2022).

Conflitos legais de uso do solo nas APPs de nascentes

A partir do cruzamento dos mapas de APPs e do mapeamento do uso e cobertura da terra, obteve-se a quantificação da ocorrência de conflitos do uso da terra nas APPs. Os

resultados são apresentados na Tabela 3 e mapeados na Figura 3.

Figura 3: Mapa dos conflitos de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru



Fonte: Elaborado pelos autores, a partir do limite da BHRD de Costa, Souza e Silva (2016) e base de dados do SICAR (2022).

Os conflitos de uso da terra encontram-se, em sua maior parte, no alto curso do Rio Guajiru (Figura 3), pois é onde se concentra a maior parte das APPs de nascentes, que ocupam 41,3 hectares da área de estudos (Tabela 3).

Tabela 3: Porcentagem de ocorrência de classes de uso e cobertura da terra nas APPs

Classes de uso e cobertura da terra nas APPs	Área ocupada em (ha)	Área ocupada em (%)
Corpos d'água	0,8	1,9
Solos descobertos	0,6	1,5
Caatinga arbóreo-arbustiva fechada	1,2	3,6
Caatinga arbóreo-arbustiva aberta	13,0	31,0
Pastagem	13,7	32,9
Campos antropizados	3,4	8,1
Áreas úmidas	6,7	16,2
Áreas edificadas	0,3	0,9
Vias	1,6	3,9
Total	41,3	100

Fonte: Autores (2022).

Os resultados mostraram que 32,9% das APPs se encontram ocupadas por pastagens, e 8,1%, por atividades antrópicas. Entre as atividades que têm provocado impactos negativos, pode-se destacar a atividade agropecuária, que, com o passar dos anos, contribuiu para o desmatamento e, como consequência, supostamente, para o rebaixamento do nível do lençol freático.

Verificou-se ainda que as classes caatinga arbóreo-arbustiva fechada e caatinga arbóreo-arbustiva aberta (Tabela 3) recobrem, respectivamente, 3,6% e 31,0% da área de APPs. Outro indicativo de conflito observado, também no meio rural, foram as rodovias e estradas carroçáveis, que ocupam uma área de 3,9% do território. Constata-se que estradas, quando mal planejadas, acabam contribuindo para o barramento e o assoreamento de cursos d'água.

Aspectos da degradação ambiental

No alto curso do Rio Guajiru foram constatadas áreas degradadas, como é o caso da Lagoa do Assentamento Padre Cícero e do Riacho Jambolão, mostrados nas Figuras 4a e 4b. A lagoa se encontra sem cobertura vegetal, e o riacho, apesar de se encontrar cercado, vem sendo utilizado para dessedentação animal, sem qualquer ação de preservação.

Após análise do uso e cobertura da terra, sobretudo no alto curso do Rio Guajiru, onde se localizam as nascentes, observou-se que a cobertura vegetal praticamente inexistente nesses locais.

Figura 4: Registros fotográficos da degradação ambiental

<p>a) Lagoa completamente seca e sem a cobertura vegetal em seu entorno, no assentamento Padre Cícero.</p>	<p>b) Escavação no leito do Riacho Jambolão, no assentamento Padre Cícero, um dos riachos formadores da Bacia do Rio Guajiru (MB005).</p>
	

Fonte: Autores (2022).

A presença da vegetação nativa permitiria retardar o escoamento e melhoraria a infiltração da água no solo, e isso, por sua vez, elevaria o nível do lençol freático, contribuindo para aumentar o fluxo de água superficial e subsuperficial nas nascentes e nos leitos, perenizados os cursos d'água.

Esse tipo de situação também foi evidenciado nos estudos de Garcia *et al.* (2018) na Bacia do Ribeirão das Pedras, localizada no estado de São Paulo, onde a cobertura vegetal vem sofrendo fortes pressões antrópicas, o que é refletido de forma direta na cobertura vegetal das áreas das nascentes, impactando a qualidade das águas dos locais envolvidos.

No estado do Pará, Bitencourt, Reis e Loureiro (2020) analisaram o desmatamento na Bacia Hidrográfica do Rio Sororó, nos anos de 1989, 1999, 2009 e 2016, com associação das atividades desenvolvidas na área, e chegaram à conclusão de que a bacia estudada é um reflexo do potencial de degradação, sobretudo com relação ao desmatamento advindo tanto da abertura de rodovias e criação de assentamentos como das atividades econômicas.

Santos e Guerra (2021) apontam que as mudanças na cobertura vegetal e o uso e manejo inadequado têm influência no aporte de matéria orgânica do solo, podendo afetar seus atributos e, com o tempo, aumentar sua erodibilidade. A supressão da cobertura vegetal contribui não só para os processos erosivos e a desagregação dos solos, mas para o assoreamento dos rios.

Faustino, Ramos e Silva (2014) investigaram a dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN) e apontaram o desmatamento como o principal fator que expõe os solos aos agentes erosivos.

Figura 5: Processos erosivos na Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru/RN



Fonte: Autores (2022).

Durante o trabalho de campo também foi observada a existência de variados tipos de resíduos sólidos, como latas, garrafas plásticas, vidros e utensílios domésticos, nas margens de estradas vicinais e rodovias, por toda a área e dentro da Lagoa de Extremoz, que é o maior corpo hídrico da região e um dos principais reservatórios do estado. Essa disposição inadequada de resíduos sólidos nas margens de rios e reservatórios ocasiona poluição e degradação ambiental (Figuras 6e e 6f).

Em um tributário do Rio Guajiru, no distrito de Canto de Moça, no município de Ilmo Marinho, e em loteamento nas proximidades de Massaranduba, em São Gonçalo do Amarante (Figuras 7g e 7h), observou-se a expansão urbana, com moradias, nas proximidades de rios, em total desacordo com a legislação ambiental.

Desde a década passada os estudos apontam que o crescimento urbano acelerado, a partir da década de 1980, de Natal e região metropolitana, vem influenciando na qualidade da água disponível na Bacia do Rio Doce (Castro, 2000).

De acordo com Castro (2000), as atividades urbanas e industriais associadas ao uso de sistemas de saneamento com disposição local de efluentes (fossas e sumidouros) constituem fontes potenciais de contaminação dos recursos hídricos na bacia. Na área de estudos, uma estrada corta o canal fluvial e as edificações avançam sobre a planície aluvionar, bordejando localmente o leito principal, enquanto as plantações ocupam praticamente toda a planície de inundação desse riacho.

Figura 6: Desmatamento, erosão e disposição inadequada de resíduos sólidos no Rio Guajiru e na Lagoa de Extremoz.



Fonte: Autores (2022).

Figura 7: Expansão urbana com moradias nas proximidades de rios, contrariando a lei.

g) Loteamento nas proximidades de uma das nascentes do Rio Guajiru, no município de São Gonçalo do Amarante.	h) Moradias irregulares em proximidades de cursos d'água no distrito Canto de Moça, no município de Ielmo Marinho.
	

Fonte: Autores (2022).

As investigações realizadas por Rocha e Silva (2018) já tinham apontado algum tipo de problema ambiental em algumas áreas de nascentes do Rio Guajiru, com degradação ambiental decorrente do acentuado nível de desmatamento, além de barramentos de canais de drenagem para implantação de estradas, assentamentos e agrovilas.

Considerações Finais

Por meio do emprego da imagem Sentinel 2, foi possível mapear o uso e cobertura da terra no ano de 2022 e mostrar que os remanescentes de vegetação natural estão concentrados na margem direita no médio curso do Rio Guajiru e nas proximidades do aeroporto em São Gonçalo do Amarante, e que nas áreas de nascentes ocorreu uma maior supressão da cobertura vegetal.

A classe pastagem é a classe que tem predominância na bacia, recobrando 30% da área total, seguida da caatinga arbóreo-arbustiva aberta, com 21,9%, e dos campos antropizados, com 19,0%, enquanto os corpos d'água representam apenas 0,9% da área total de estudos.

Em se tratando de conflitos de uso da terra, observou-se que as áreas de nascentes do Rio Guajiru são as mais afetadas e degradadas, sendo ocupadas por pastagem em 32,9% dessas áreas.

Outro tipo de conflito decorre da construção de vias de acesso que foram mal planejadas e acabaram barrando os cursos d'água, contribuindo para o processo de assoreamento de riachos.

O mau uso da terra na bacia pela ação antrópica vem contribuindo para a degradação ambiental e requer medidas urgentes de proteção e políticas públicas voltadas para a educação ambiental junto aos agricultores que permitam melhorias, através do reflorestamento e da conservação dos fragmentos florestais já existentes.

O emprego do *software* QGis 3.16.11 e da imagem do satélite Sentinel 2 apresentaram potencial satisfatório para esse tipo de análise, pois permitiu o levantamento e o mapeamento atualizado das coberturas e uso da terra e dos conflitos existentes na Bacia do Rio Guajiru, concluindo-se, dessa forma, que as geotecnologias são consideradas indispensáveis em pesquisas ambientais dessa natureza.

Por fim, constata-se a necessidade de novas pesquisas na Bacia Hidrográfica do Rio Guajiru, para que sejam geradas novas e mais detalhadas informações em escalas de detalhe que venham a contribuir com atitudes e ações públicas e privadas que visem à recuperação e à restauração ambiental e possibilitem o reordenamento territorial com a não ocupação de áreas de preservação permanente.

Referências

ARAÚJO, G. H. de. S.; ALMEIDA, J. R. de; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand. Brasil, 2011. 322 p.

ANGELIM, L. A. de A. *et al.* **Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte**: Escala 1:500.000. Recife: CPRM, 2007.

BARBOSA, C. F; NOVO, E. M. L. M; MARTINS, V. S. **Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos**: princípios e aplicações. São José dos Campos: INPE, 2019.

BARROS, Z. X. *et al.* Estudo da adequação de uso do solo, no município de Maringá-PR, utilizando-se de geoprocessamento. **Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 436-444, 2004.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 1º nov. 2022.

BITENCOURT, E. B; REIS, L. M. dos; LOUREIRO, G. E. Análise temporal do desmatamento na bacia hidrográfica do rio Sororó – região de integração de Carajás, PA. **Revista Georaguia**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 89-106, 2020.

- CAMPOS, A. L. F. **Geotecnologias aplicadas à análise ambiental no assentamento de reforma agrária padre Cícero na Bacia Hidrográfica do Rio Doce, Ceará-Mirim (RN)**. 2020. 115 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.
- CASTRO, V. L. L. **Águas subterrâneas no curso inferior da bacia do rio Doce/RN: subsídios para um gerenciamento integrado**. 2000. 211 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- CONGEDO, L. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation: Release 5.0.0.1**. 2018. 208 p. (Technical Report). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265031337_SemiAutomatic_Classification_Plugin_User_Manual. Acesso em: 4 nov. 2022.
- CONGALTON, R; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data – Principles and Practices**. Boca Raton: CRC Press: Taylor & Francis Group, 2009. 183 p.
- COSTA, F. R; SOUZA, R. F. de; SILVA, S. M. P. da. Análise comparativa de Metodologias Aplicadas à Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN. **Soc. & Nat**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 429-442, dez. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-451320160308>. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadnatureza/article/view/35246>. Acesso em: 25 abr. 2022.
- COSTA, F. R. da; SOUZA, R. F. de; SILVA, S. M. P. da. Análise das Vulnerabilidades Natural e Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN). **Geociências**, [s. l.], v. 40, n. 2, p. 459-475, 2021.
- COSTA JUNIOR, M. F. da; SOUZA; R. F. de; COSTA, F. R. da. Caracterização da produção pecuária na Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 310-329, mar. 2022. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/9145. Acesso em: 20 jul. 2022.
- COSTA, F. R. da; SOUZA, R. F. de; SILVA, S. M. P. da. Geoprocessamento aplicado à Caracterização Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Doce - RN/Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 75, p. 43-63, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/geociencias/article/view/58756/3974>. Acesso em: 3 nov. 2022.
- DAMASCENO, M. B. *et al.* Caracterização hidroquímica de águas superficiais dos rios Guajiru e do Mudo, Bacia Hidrográfica do Doce, Nordeste do Brasil. **Pesquisas em Geociências**, [s.l.], v. 48, n. 1, p. e102566, 2021. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/PesquisasemGeociencias/article/view/102566>. Acesso em: 1º nov. 2022.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 356 p. 2018.
- EMPARN. **Chuvas observadas no RN**. Disponível em: <http://meteorologia.emparn.rn.gov.br/boletim/diario>. Acesso em: 28 nov. 2022.

FAUSTINO, A. B.; RAMOS, F. F.; SILVA, S. M. P. Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN) com base em Sensoriamento Remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais. **Sociedade e Território**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 18-30, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/5305>. Acesso em: 14 abr. 2022.

GARCIA J. M. *et al.* Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos. **Soc. & Nat**, Uberlândia, MG, v. 30, n. 1, p. 228-254, jan./abr. 2018. ISSN 1982-4513. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/SN-v30n1-2018-10>. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/38336>. Acesso em: 20 jan. 2022.

IBGE. **Downloads:** geociências, organização territorial, 2020a. Canal de arquivos para download. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 8 dez. 2021.

IBGE. **Manual técnico de geomorfologia.** (Manuais técnicos em geociências, n. 5). 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 282 p.

IBGE. **Manual Técnico de Vegetação.** Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. ed. IBGE: Rio de Janeiro, 2012. 271 p.

INPE. **Tutorial do TerraView 4.2.2.** São José dos Campos, SP: INPE, 2010. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/terralib5/wiki/doku.php?id=wiki:downloads:tutorial_tv422. Acesso em: 8 dez. 2022.

JORGE, L. A. B.; EUFRADE JUNIOR, H. de J.; MARMOTEL, C. V. F. **Planejamento Ambiental.** São Carlos, SP: Editora Cubo, 2020. 151p.

KRUSE, F. A. *et al.* The Spectral Image Processing System (SIPS): interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 44, n. 2-3, maio/jun. 1993, p. 145-63. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(93\)90013-N](https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90013-N). Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1993RSEnv..44..145K/abstract>. Acesso em: 17 mar. 2022.

LUPPI A. S. L. *et al.* Utilization of Geotechnology for the Mapping of Permanent Preservation Areas in João Neiva, Espírito Santo State, Brazil. **Floresta e Ambiente**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 13-22, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.0027>. Disponível em: <https://www.floram.org/journal/floram/article/doi/10.1590/2179-8087.0027>. Acesso em: 25 jan. 2022.

LLANO, X. C. **AcATaMa:** Plugin QGIS para Avaliação de Precisão de Mapas Temáticos, versão XX.XX. 2022. Disponível em: <https://plugins.qgis.org/plugins/AcATaMa/>. Acesso em: 4 dez. 2022.

MAPBIOMAS. **Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Brasil (Coleção 7).** 2022. Disponível em: <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact-Sheet-Colecao7.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UNB: CNPQ, 2012.

MENEZES, M. D. de *et al.* Levantamento pedológico e sistema de informações geográficas na avaliação do uso das terras em sub-bacia hidrográfica de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1544-1553, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/M6xRrrf4gRq8bZbLrRB3ZfP/>. Acesso em: 10 set. 2021.

NASA. Asf Data Search Vertex. **Imagem do Satélite AlosPalsar**. 2021. Disponível em: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu>. Acesso em: 8 dez. 2022.

OLIVEIRA, C. D. C. D; BORGES, L. A. C; ACERBI JÚNIOR, F. W. Land use in Permanent Preservation Areas of Grande River (MG). **Floresta e Ambiente**, [s. l.], v. 25. n. 2, p. 2-11, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.023015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/7TDWCsTnCdKbGpVCPq8hNkS/>. Acesso em: 10 jun. 2022.

PARANHOS FILHO *et al.* **Geotecnologias em aplicações ambientais**. Campo Grande: Ed. UFMS, 2016. 383 p.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1994.

RIO GRANDE DO NORTE. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Caracterização Hidrogeológica dos Aquíferos do Rio Grande do Norte. Natal: SERHID, 1998.

ROCHA M. B; SILVA, S. M. P. Uso e cobertura da terra em microbacias de nascentes degradadas do rio Guajiru (RN) baseada em dados de campo e apoio de geotecnologias. *In*: CONADIS, 1., 2018, Natal. **Anais** [...]. Natal: UFRN, 2018. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/50890>. Acesso em: 22 nov. 2021.

ROSIM, S. *et al.* TERRAHIDRO: Uma plataforma computacional para o desenvolvimento de aplicativos para a análise integrada de recursos hídricos. *In*: SBSR, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais** [...]. Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 2589-2596. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/rep/83LX3pFwXQZ5Jpy/CxGU3>. Acesso em: 11 fev. 2022.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184p.

SANTOS, R. C; GUERRA, A. J. T. Assessment of Soil Erosion in the Drainage Basin of Pequeno River, Paraty Municipality, Rio de Janeiro State. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 12, p. 23-43, jan. 2021. ISSN 2178-0463. Disponível em: <http://www.geosaberes.ufc.br/geosaberes/article/view/1060>. Acesso em: 15 abr. 2022.

SARTORI, A. A. da C. *et al.* Mapeamento de conflitos de solo em áreas de preservação permanente na Bacia Experimental do Rio Pardo - São Paulo – Brasil. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. **Anais** [...]. Natal: INPE, 2009. p. 6197-6202. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/rep/83LX3pFwXQZ5Jpy/CxGU3>. Acesso em: 20 set. 2021.

SILVA, C. C. L. da *et al.* Unidades naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Doce – RN. *In:* Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 17; Congresso Nacional de Geografia Física, 1., 2017, Campinas. **Anais** [...]. Campinas: Unicamp, 2017. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2508>. Acesso em: 19 maio 2022.

ZUQUETTE, L. V; RODRIGUES, V. G; PEJON, O. J. Recuperação de áreas degradadas. *In:* CALIJURI, M. do G.; CUNHA, D. G. F. (Coord.). **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

Recebido em 28 de março de 2024.

Aceito em 30 de abril de 2024.

Publicado em 03 de maio de 2024.