

Análise Comparativa entre Mapas Temáticos de Uso e Cobertura da Terra no Litoral Leste do Estado do Rio de Janeiro

Comparative Analysis between Thematic Maps of Land Use and Land Cover on the East Coast of the State of Rio de Janeiro

Vinicius da Silva Seabraⁱ

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
São Gonçalo, Brasil

Evelyn de Castro Porto Costaⁱⁱ

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil

Mikaella Pereira dos Santosⁱⁱⁱ

Universidade Federal Fluminense
Niterói, Brasil

Resumo: A disponibilidade de grandes volumes de dados observada nos dias atuais faz com que tenhamos que dobrar a atenção sobre as diferenças entre os mesmos, fazendo sempre uma análise crítica entre seus limites e potencialidades. Neste sentido, este estudo tem a finalidade de realizar uma comparação entre mapeamentos de uso e cobertura da terra realizados a partir de diferentes metodologias e imagens orbitais. Estes mapeamentos temáticos foram produzidos por distintos grupos, o MapBiomias e o DAGEOP, a partir de classificação pixel a pixel por *machine learning* e classificação Geobia, respectivamente. Os principais resultados apontam para uma correspondência de 79,70% entre os mapeamentos, sendo que boa parte das divergências podem ser explicadas por diferentes aspectos, tais como as características das imagens, legendas escolhidas e metodologias adotadas.

Palavras-chave: Classificação de Imagens; GEOBIA; *Machine Learning*; Mapbiomas.

ⁱ Professor Associado, Departamento de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro/Faculdade de Formação de Professores (UERJ/FFP). vinigeobr@yahoo.com.br.
<https://orcid.org/0000-0003-1294-6015>

ⁱⁱ Professora Substituta, Departamento de Geografia, UFRJ. evelynportocosta@yahoo.com.br.
<https://orcid.org/0000-0001-7648-6949>

ⁱⁱⁱ Mestranda em Geografia, POSGEO/UFF. mikaellasantos.geo@gmail.com.
<https://orcid.org/0000-0003-1862-5212>

Abstract: The availability of large volumes of data observed today means that we must redouble our attention to the differences between them, always making a critical analysis of their limits and potential. In this sense, this study aims to carry out a comparison between land use and land cover mappings carried out from different methodologies and orbital images. These thematic mappings were produced by different groups, MapBiomass and DAGEOP, based on pixel-by-pixel classification by machine learning and Geobia classification, respectively. The main results point to a correspondence of 79.70% between the mappings, and a good part of the divergences can be explained by different aspects, such as the characteristics of the images, chosen subtitles and adopted methodologies.

Keywords: Image Classification; GEOBIA; *Machine Learning*; Mapbiomas.

Introdução

O sensoriamento remoto é uma importante ferramenta para análise de fenômenos naturais e antrópicos, de diferentes escalas espaciais ou temporais. Um dos produtos do sensoriamento remoto muito adotado para as observações terrestres são as imagens digitais. Essas imagens são representações matemáticas da energia eletromagnética refletida ou emitida pela superfície da Terra, que podem ser processadas para produzir informações sobre o uso da terra, vegetação, recursos hídricos, entre outros aspectos (JENSEN, 2009).

Câmara (2020) aponta que as imagens orbitais são a fonte mais abrangente de dados sobre nosso ambiente, pois elas fornecem informações essenciais para responder aos desafios globais. Ferreira *et al.* (2020) afirma que, atualmente, os pesquisadores têm livre acesso a um número sem precedentes de imagens de sensoriamento remoto coletadas por diferentes satélites e sensores com distintas resoluções espacial, temporal e espectral.

Essa grande diversidade de dados permite que diferentes mapeamentos temáticos sejam realizados, em escalas espaciais e temporais diferentes, a partir de resoluções diversas. A possibilidade de acesso a diferentes imagens de satélite permite que sejam realizados distintos levantamentos terrestres, bem como a produção de mapeamentos temáticos de uso e cobertura da terra.

Algumas das mais difundidas iniciativas, em se tratando de sensores orbitais, é a série Landsat, promovida pela Agência Espacial Americana (NASA) e a Sentinel, promovida pela Agência Espacial Europeia (ESA). Ambas são altamente popularizadas para estudos e pesquisas científicas, pois, além de atenderem muito bem estudos de mesoescala (ex: 1:100.000), são disponibilizadas de forma gratuita ao público.

Destaca-se que as imagens possuem características diferenciadas, dentre elas, a resolução espacial, que permite obter maior detalhamento a partir do tamanho do pixel. As imagens óticas do sensor MSI do Sentinel, fornecem imagens de resolução espacial que variam de 10, 20 a 30 metros. Enquanto o Landsat possui uma limitação de 30 metros de resolução espacial.

Nesse sentido, esta pesquisa se propõe a analisar mapeamentos de uso e cobertura da terra, resultantes da classificação de imagens digitais, processadas com abordagens

metodológicas diferentes. Ressalta-se ainda que os mapeamentos temáticos foram produzidos por distintos grupos, o MapBiomias e o DAGEOP, a partir de classificação pixel a pixel por *machine learning* e classificação Geobia, respectivamente.

Segundo Rosa *et al.* (2019), o MapBiomias é uma iniciativa de monitoramento, criada em 2015, envolvendo universidades, ONGs e empresas de tecnologia, que promove o mapeamento anual de cobertura e uso da terra do Brasil nas últimas três décadas. A estratégia de mapeamento inclui o uso dos mais avançados métodos de processamento, tecnologia e *big data* disponíveis (série temporal Landsat), fornecidos pelo Google Earth Engine.

Os mapeamentos desta iniciativa são apresentados em coleções, para esta pesquisa foi adotada a coleção 7 do MapBiomias, que adota séries temporais de Landsat, com resolução espacial de 30 metros, para a elaboração de mapeamentos de uso e cobertura da terra de todo o território brasileiro, através do uso de algoritmos de aprendizado de máquina.

O grupo de pesquisas Dinâmicas Ambientais e Geoprocessamento da Faculdade de Formação de Professores da UERJ (DAGEOP-FFP) é um grupo que desenvolve pesquisas no âmbito da área da geoinformação no território do Estado do Rio de Janeiro. Este grupo faz uso de metodologias e técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, para realização de mapeamentos do Litoral Leste do Estado do Rio de Janeiro (LLERJ), área de grande relevância econômica e ambiental do território fluminense.

Dentre os trabalhos de relevância desenvolvido pelo DAGEOP na área de estudos podemos destacar, entre os mais recentes, os publicados por Augusto *et al.* (2022), Costa *et al.* (2022), Costa; Seabra (2021a), Costa, Seabra (2021b), Seabra *et al.* (2023), Seabra *et al.* (2022), Seabra *et al.* (2021), Seabra, Augusto (2018) e Silva *et al.* (2023).

É importante ressaltar a escala espacial dos mapeamentos realizados, enquanto o MapBiomias adota como área de estudos todo o território brasileiro, dividido por biomas, o DAGEOP adota subáreas do estado do Rio de Janeiro. Nesse sentido, a proposta deste artigo é realizar uma comparação entre os mapeamentos e investigar os dados de validação das distintas classificações, assim como validar a partir de suas divergências e correspondências às classes temáticas associadas ao objeto.

As investigações de validação e metodologias de mapeamento são de grande relevância no âmbito das geociências, tendo em vista que permitem avaliar o desempenho das técnicas e dados adotados. Os resultados dessas metodologias podem afetar diretamente nas observações terrestres, pois estas podem comprometer as interpretações e análises espaciais realizadas, se equivocadamente classificadas.

McRoberts (2011) argumenta que, para que a ciência de sensoriamento remoto tenha impacto na política e na tomada de decisões em benefício da Terra e de seus habitantes, as análises baseadas em imagens de satélite devem produzir inferências científicas válidas – mapas que carecem de avaliações baseadas em inferências dos parâmetros de interesse são de pouca utilidade para inferências científicas, essencialmente, podem ser apenas imagens bonitas

Nesse sentido, os mapeamentos de uso e cobertura da terra são de grande relevância para os estudos de fenômenos terrestres, logo, estes dados devem possuir o maior nível de assertividade possível e representar o mundo real de modo monossêmico.

Área de Estudo

O Litoral Leste do Estado do Rio de Janeiro (LLERJ) é um importante recorte espacial (Figura 1), seja do ponto de vista estratégico, já que está inserido entre importantes áreas de produção de petróleo (Bacia de Campos) e a metrópole do Rio de Janeiro, ou do ponto de vista ambiental, já que abriga diferentes tipos de ecossistemas naturais. Também é relevante destacar que as intervenções causadas pela construção e instalação do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ) em Itaboraí, atualmente conhecido como Polo GasLub, localizado a noroeste do LLERJ, é outro aspecto que produz efeitos significativos na região.

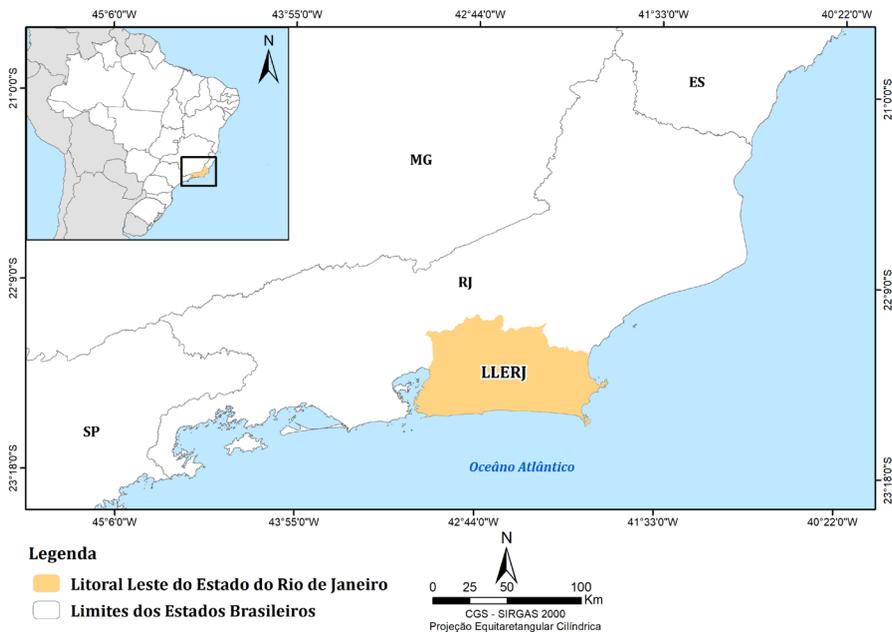


Figura 1 – Localização do Litoral Leste do Estado do Rio de Janeiro.

Para entender as mudanças destes espaços faz-se necessário a obtenção de dados ambientais capazes de subsidiar a compreensão do funcionamento dos sistemas integrados ao homem e à natureza. Portanto, a utilização do Sensoriamento Remoto e de ferramentas de geoprocessamento permite diagnósticos eficientes, propõe soluções de baixo custo e cria alternativas inteligentes para os desafios enfrentados face às mudanças aceleradas que observamos em nosso território (SAUSEN, 2005).

O LLERJ é composto por dez bacias hidrográficas que estão inseridas em dezenove municípios do estado do Rio de Janeiro, localizados a leste do estado (Figura 2). Ressalta-se que neste recorte se localizam importantes empreendimentos comerciais e uma vasta ocupação urbana que se concentra predominantemente a oeste do LLERJ, nos municípios mais próximos da metrópole. Outros núcleos urbanos encontram-se nos municípios da Região dos Lagos, importante unidade turística do estado do Rio de Janeiro.



Figura 2 – Municípios e bacias do Litoral Leste do Estado do Rio de Janeiro.

A partir dos dados do IBGE, o Censo de 2010 obteve como resultado 2.847.286 habitantes nos municípios que compõem o LLERJ. No Censo mais recente, referente ao ano de 2022, os dados preliminares apontam 3.092.306 de população total residente nestes municípios. Após mais de 10 anos, essa variação aponta um aumento de cerca de 8% dessa população. Isso reafirma a necessidade de estudos precisos para compreensão das dinâmicas urbano-ambientais do LLERJ.

Diferenças Metodológicas dos Mapeamentos

O mapeamento de uso e cobertura da terra do DAGEOP foi construído a partir de classificação GEOBIA de imagens Sentinel 2, sensor MSI, com datas de 2018 e 2019. As duas maiores cenas cobrem mais do que 90% da área, e foram produzidas pelo sensor MSI na mesma data (02/08/2019). É também importante ressaltar que as datas de aquisição das outras duas cenas (03/07/2019 e 17/08/2019) pertencem à mesma estação do ano, e possuem condições atmosféricas similares. A imagem MSI tem uma resolução espacial de 10 metros nas bandas do visível e do infravermelho próximo. As demais bandas utilizadas no processo de classificação (SWIR e Red Edge) possuem 20 metros de resolução espacial.

O processo de classificação baseado em objetos utiliza os polígonos gerados na segmentação para definição dos objetos de imagem a partir de um conjunto de dados, no caso os descritores. Nesta etapa, mapas temáticos de declividade, geomorfologia e

geologia foram utilizados na descrição destes objetos. A partir destes descritores, os objetos puderam então ser agrupados em classes temáticas.

A classificação do Mapbiomas foi realizada a partir de processamento em nuvem de imagens da coleção do Landsat, tendo como unidade de interpretação o pixel, que nesta imagem tem uma resolução espacial de 30 metros (30m²). Neste processo foram empregados algoritmos de aprendizagem de máquina (*machine learning*) através da plataforma Google Earth Engine e adotado o classificador Random Forest para classificar o uso e cobertura da terra.

Os dados de uso e cobertura de ambas as iniciativas foram sobrepostos por meio do software ArcGis, através da ferramenta *intersect*. A partir desse processamento foi possível comparar os resultados e sua distribuição espacial, permitindo uma análise comparativa entre os mapeamentos.

Para ser possível realizar tais análises foi realizada uma adaptação de legenda, no qual as classes foram adequadas de modo a possuir certa equivalência. Essa etapa foi de suma importância para obter uma análise comparativa adequada.

Assim, foram agrupadas as classes divergentes, ou seja, que não se correspondem, bem como agrupadas as classes convergentes, que se correspondem. Esses dados foram processados por meio de análises estatísticas exploratórias.

Validação dos Mapeamentos

A presença de erros pode introduzir viés substancial em mapas baseados em sensoriamento remoto (OLOFSSON *et al.*, 2013). Nesse sentido, foi adotada a metodologia denominada AREA 2, que se relaciona à estimativa de área e avaliação de precisão.

O AREA 2 (“área ao quadrado” ou “área dois”), abreviação de *Area Estimation & Accuracy Assessment*, é um aplicativo do Google Earth Engine que fornece suporte abrangente para amostragem e estimativa em uma estrutura de inferência baseada em design (BULLOCK; OLOFSSON, 2018).

Desse aplicativo foi adotado o desenho amostral, ou seja, a escolha das amostras ou também denominado amostragem da validação, sendo escolhida a metodologia de amostragem aleatória estratificada, conforme metodologia do AREA2. Olofsson *et al.* (2013) aponta que esse tipo de estimador é expresso como a soma das médias das amostras aleatórias simples dentro dos estratos ponderadas pelos pesos dos estratos calculados como proporções relativas da população dentro dos estratos.

Nesse sentido, a metodologia considera obter um quantitativo de amostras proporcional ao tamanho da classe no mapeamento, evitando assim estimativas e resultados superestimados. Conforme sugestão da metodologia AREA2, foram adotadas um total de 376 amostras, sendo 188 amostras divergentes e 188 amostras convergentes. Esse quantitativo está associado ao recomendado para cada classe, conforme o sugerido pelo estimador, logo essa proporção considera o percentual de cada classe no mapeamento para que sejam adotadas amostras equivalentes ao tamanho das suas áreas (Tabela 1).

Tabela 1 – Quantidade de amostras de cada classe.

Classes	Amostras (divergente)	Amostras (convergente)	TOTAL
Afloramento Rochoso	9	9	18
Agropasto	20	56	76
Área Úmida	9	9	18
Área Urbana	15	9	24
Areia	9	9	18
Complexo Petroquímico	9	9	18
Corpo Hídrico	9	9	18
Floresta	63	42	105
Mangue	9	9	18
Restinga	9	9	18
Reflorestamento	9	0	9
Salina	9	9	18
Solo Exposto	9	9	18
TOTAL	188	188	376

A etapa de validação foi realizada por meio da verificação das amostras pontuais no software Google Earth Pro. Logo, como verdade terrestre foram consideradas imagens de alta resolução espacial do ano de elaboração dos mapeamentos. Dessa forma, ocorreu uma validação pontual integrada aos dois mapeamentos, pois cada ponto possuía uma correspondência em relação a uma classe do MapBiomas e a uma classe do DAGEOP. Nesse sentido, foi verificado o acerto ou o erro de ambas as classificações, sendo esses dados incorporados em uma matriz de confusão.

Por fim, é importante ressaltar que esta pesquisa foi composta por diferentes etapas metodológicas, dentre elas, a adaptação de legendas dos mapeamentos, análise comparativa e validação (Figura 3).

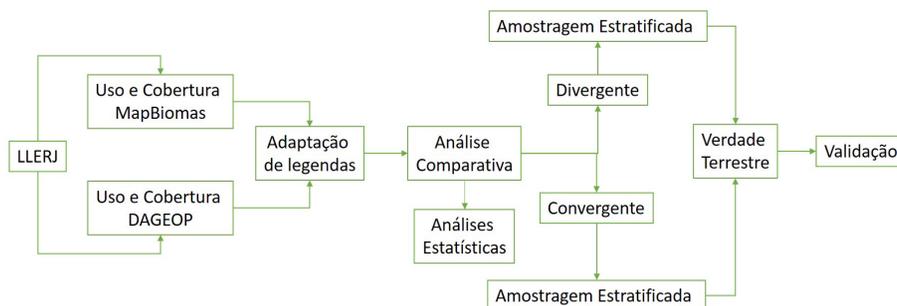


Figura 3 – Fluxograma Metodológico.

Resultados e Discussões

Mapeamentos de Uso e Cobertura da Terra

O mapeamento de uso e cobertura da terra do DAGEOP 2019 (Figura 4) apresenta 13 classes temáticas e se apresenta de forma bem semelhante ao mapeamento do Map-Biomas (Figura 5), que possui 17 classes temáticas. De modo geral, a distribuição dos mapeamentos se apresenta de forma equivalente, principalmente de modo visual. Com cores equivalentes às classes de mesma correspondência. Chama-se atenção para o fato de o mapeamento do MapBiomas possuir mais classes do que o DAGEOP.

Dentre as classes do LLERJ chama-se atenção para as classes de “Floresta” e “Agropasto”, que se apresentam como as predominantes nos mapas. Além dessas, as classes “Corpo Hídrico”, “Área Úmida” e “Área Urbanizada” se apresentam com presença marcante nas regiões mais costeiras da região.

A partir de análises de sobreposição de camadas de informação em ambiente SIG foram comparados os resultados dos mapeamentos de uso e cobertura da terra do ano de 2019 da coleção do Mapbiomas e do projeto “Análise da paisagem e mudanças de uso e cobertura da terra no litoral leste do estado do Rio de Janeiro”, desenvolvido pelo grupo Dinâmicas Ambientais e Geoprocessamento da Faculdade de Formação de Professores da UERJ (DAGEOP-FFP).

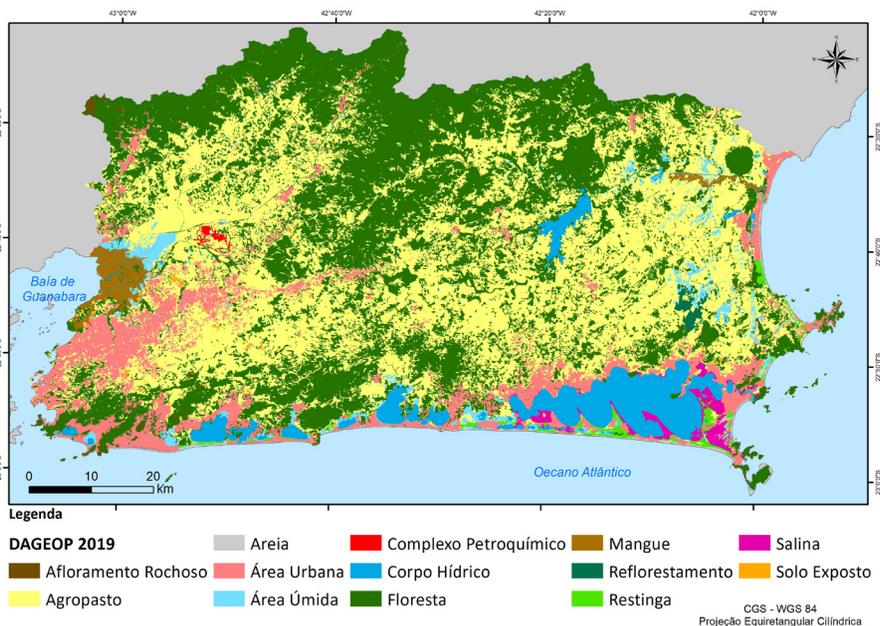


Figura 4 – Mapeamento de uso e cobertura da terra do DAGEOP 2019.

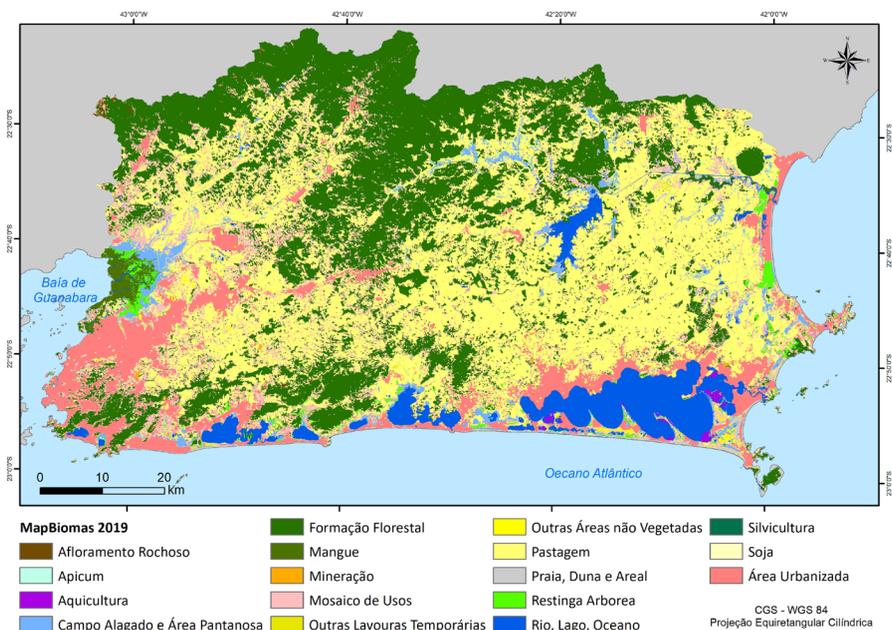


Figura 5. Mapeamento de uso e cobertura da terra do MAPBIOMAS 2019

Análise Comparativa entre os Mapas Temáticos

Numa análise ampla, podemos considerar que os resultados dos mapas possuem uma boa correlação, aproximando-se de 80% de similaridade entre as classes (Tabela 2 e Figura 6). No entanto, uma análise detalhada e espacial dos erros permite uma aproximação ainda maior entre estes mapeamentos, já que muitas das divergências são justificadas por diferenças metodológicas e semânticas inerentes a qualquer processo de classificação de imagens.

Tabela 2 – Análise comparativa entre os mapas temáticos de Uso e Cobertura da Terra.

Comparação	Área (km ²)	Percentual de Área
Convergente	5.099,59	79,70%
Divergente	1.299,07	20,30%

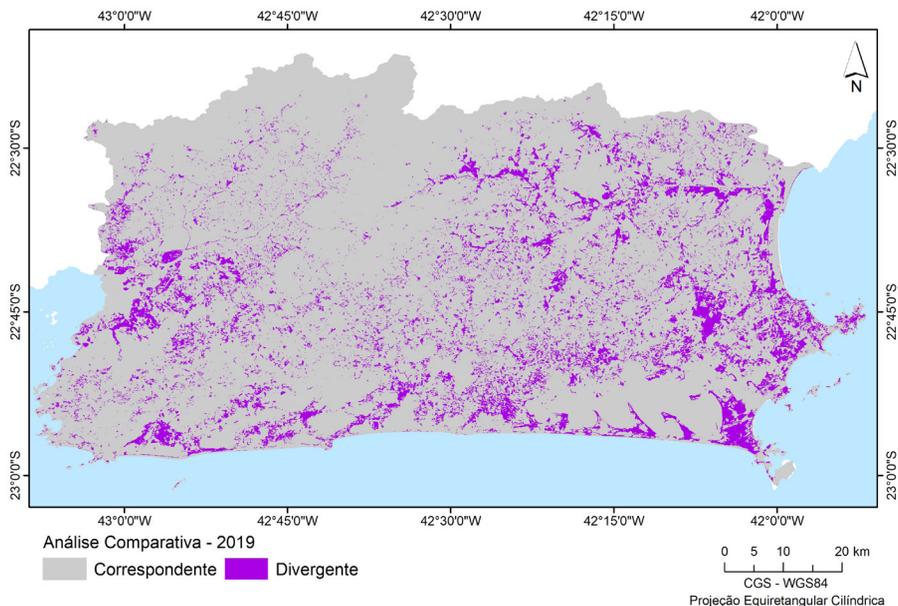


Figura 6 – Distribuição espacial das convergências e divergências entre os mapas de uso e cobertura da terra.

Portanto, objetivou-se realizar a interpretação e discussão das divergências e convergências encontradas nos dois mapas de uso e cobertura da terra (Tabela 2), com apontamentos entre as possíveis causas que justificam a correlação de 79,7% encontrada entre os dois resultados. Esta interpretação pode ser sintetizada nos pontos que apresentamos a seguir:

Necessidade de Adaptação das Legendas

O mapa do Mapbiomas apresentava para o LLERJ uma legenda com 17 classes que precisaram ser agrupadas para as 12 classes do mapa de uso e cobertura da terra mapeados pelo DAGEOP. Neste sentido, a classe “Outras áreas não vegetadas” do Mapbiomas foi convertida para a classe “Agropasto”. Esta adaptação justifica boa parte das divergências encontradas na região da lagoa de Araruama, já que nesta região a classe “Outras áreas não vegetadas” na verdade corresponde às salinas abandonadas, hoje dominadas por vegetação de Casuarinas, fato apresentado e discutido por Costa *et al.* (2022).

Resalta-se que houve a supressão da classe “Complexo Industrial” do mapeamento realizado pelo DAGEOP, devido à não equivalência desta classe no Mapbiomas. Nesse sentido, esta classe foi incorporada à classe de “Área Urbana”. Estas adaptações de legendas podem ser conferidas no Quadro 1:

Quadro 1 – Adaptação de legendas.

Classes MapBiomias (Coleção 7)	Classe DAGEOP
Formação Florestal	Floresta
Mangue	Mangue
Restinga Arborizada	Restinga
Campo Alagado e Área Pantanosa	Área Úmida
Apicum	Área Úmida
Afloramento Rochoso	Afloramento Rochoso
Pastagem	Agropasto
Soja	Agropasto
Outras Lavouras Temporárias	Agropasto
Silvicultura	Reflorestamento
Mosaico de Usos	Agropasto
Praia, Duna e Areal	Areia
Área Urbanizada	Área Urbana
Mineração	Solo Exposto
Outras Áreas não vegetadas	Agropasto
Rio, Lago e Oceano	Água
Aquicultura	Salina

Outra classe do mapa do Mapbiomas alterada foi a “Aquicultura” que, na verdade, corresponde aos marnéis destas mesmas salinas, ativas ou abandonadas. A classe “Mineração” foi convertida para a classe “Solo Exposto”, pois normalmente correspondiam às áreas de saibreiras ou exploração de areia de toda a área. Já a classe de “Apicum”, que teve muito baixa representatividade na área (inferior a 0,5%), foi agregada às áreas de “Mangue”. A classe “Soja” foi também agrupada para “Agropasto”, uma vez que não se observa este tipo de cultivo na região. Esta classe correspondeu, na verdade, a pequenas áreas de cultivo encontradas na bacia dos rios Macacu-Guapiaçu.

A classe “Outras Lavouras Temporárias” do Mapbiomas também foi agregada à classe “Agropasto” do mapa DAGEOP. No entanto, esta classe obteve uma excelente resposta, fato observado ao visualizarmos os polígonos desta classe sobre imagens do sensor MSI do Sentinel2 (2019) e a partir de dados de campo. A legenda final dos mapas corresponde à seguinte descrição:

- **Corpo Hídrico:** lagoas, espelho d'água, rios e lagos artificiais.
- **Área Úmida:** áreas de inundação temporária (não permanente).
- **Área Urbana:** áreas de ocupação urbana ou industriais, caracterizadas como urbano rarefeito, moderado ou intenso
- **Afloramento Rochoso:** exposição natural de uma rocha na superfície.
- **Agropasto:** áreas de agricultura e solos preparados para cultivos, ou vegetação rasteira (gramíneas).
- **Areia:** cordões arenosos e dunas.
- **Floresta:** cobertura arbórea típica de mata atlântica, exceto restingas e mangues.
- **Mangue:** vegetação de mangue e apicum.
- **Reflorestamento:** florestas de eucaliptos.
- **Restinga:** cobertura vegetal em depósitos arenosos.
- **Salina:** área de produção de sal marinho pela evaporação de água salgada. Nesta classe, foram agrupadas salinas úmidas – ativas, em funcionamento – e salinas secas – desativadas, em que não há mais nenhuma atividade de produção.
- **Solo Exposto:** solos preparados para cultivo ou construção civil e mineração.

Resultado da Validação dos Mapeamentos

Como os resultados do mapa de uso e cobertura da terra do DAGEOP foram utilizados por diferentes pesquisas, o processo de validação foi calculado apenas para dois recortes. Santos *et al.* (2020) encontraram índice *kappa* de 79% e exatidão global de 86% na bacia da lagoa de Saquarema, enquanto Costa *et al.* (2019) encontrou 69% de exatidão global na classificação da planície da lagoa de Araruama.

Na coleção 7 do MapBiomias, utilizada neste trabalho, a acurácia global apresentada pelo Mapbiomas foi de 90,1%, 84,4% e 84,3% nos seus diferentes níveis de classificação da legenda (1, 2 e 3, respectivamente).

Em relação a uma validação correlacionada, ou seja, que valida as classes correspondentes e divergentes dos mapeamentos, foi realizada uma amostragem aleatória e estratificada para obter 188 classes de cada classificação. Nesse sentido, as classes divergentes e correspondentes foram submetidas, separadamente, a interface do AREA2, a fim de obter uma amostragem aleatória e estratificada de cada classe do mapeamento.

Como resultados, as 188 amostras divergentes apresentam os erros e os acertos, em valores absolutos e percentuais, para cada classe, em relação ao mapeamento do DAGEOP e do MapBiomias. A partir da análise da Tabela 3, é possível observar que as classes que o DAGEOP mais errou foram as de “Agropasto” e “Corpo Hídrico”. Enquanto as demais classes foram subestimadas pelo mapeamento do MapBiomias, que obteve mais erros do que acertos de modo geral.

Algumas das possibilidades que justificam essas análises se refere a que a classe de “Agropasto” é a classe matriz da área de estudos, tendo em vista que o LLERJ possui um forte predomínio de colinas desmatadas e áreas de pastagem ou agricultura, assim como grande parte do território fluminense. A classe “Corpo Hídrico” pode ter sido confundida

com as classes de “Salina” ou “Área Úmida”, tendo em vista que a depender da época do ano, estas classes podem ser classificadas de modo diferenciado, a depender do seu regime e dinâmica.

Tabela 3 – Resultado da validação das classes divergentes.

Classes Divergentes		Legenda (DAGEOP)				Legenda (MapBiomias)			
		Erro	Acerto	Erro %	Acerto %	Erro	Acerto	Erro %	Acerto %
1	Afloramento Rochoso	1	8	11,1	88,9	8	1	88,9	11,1
2	Agropasto	16	4	80,0	20,0	7	13	35,0	65,0
3	Área Úmida	3	6	33,3	66,7	6	3	66,7	33,3
4	Área Urbana	7	8	46,7	53,3	8	7	53,3	46,7
5	Areia	0	9	0,0	100,0	9	0	100,0	0,0
6	Complexo Petroquímico	0	9	0,0	100,0	9	0	100,0	0,0
7	Corpo Hídrico	5	4	55,6	44,4	3	6	33,3	66,7
8	Floresta	21	42	33,3	66,7	46	17	73,0	27,0
9	Mangue	3	6	33,3	66,7	6	3	66,7	33,3
10	Reflorestamento	4	5	44,4	55,6	5	4	55,6	44,4
11	Restinga	0	9	0,0	100,0	9	0	100,0	0,0
12	Salina	2	7	22,2	77,8	7	2	77,8	22,2
13	Solo Exposto	4	5	44,4	55,6	6	3	66,7	33,3

Em relação às 188 amostras de classificações correspondentes, obtém-se como resultado que a maioria das classes temáticas foram classificadas corretamente, conforme verificado em verdade terrestre, por meio de imagem de alta resolução. Entretanto, apenas as classes de agropasto e solo exposto obtiveram um percentual menor de acerto, alcançando cerca de 3% e 11% de erros, correspondentemente (Tabela 4).

Esses erros podem se atrelar ao fato de que a classe “Agropasto” possui uma vasta possibilidade de classificações, como áreas de pastagem, áreas agrícolas, por exemplo. Essas áreas foram confundidas com áreas de “Salina” e “Área Úmida”, que podem possuir respostas parecidas. Já a classe de “Solo Exposto” está muito remetida a áreas de mineração e preparados para cultivos, que podem ter respostas espectrais semelhantes a classes urbanas, por exemplo.

Tabela 4 – Resultado da validação das classes correspondentes.

Classes Correspondentes	Acerto	Erro	Total de amostras validação	Acerto %	Erro %
Afloramento Rochoso	9	0	9	100,0	0,0
Agropasto	54	2	56	96,4	3,6
Área Úmida	9	0	9	100,0	0,0
Área Urbana	9	0	9	100,0	0,0
Areia	9	0	9	100,0	0,0
Complexo Petroquímico	9	0	9	100,0	0,0
Corpo Hídrico	9	0	9	100,0	0,0
Floresta	42	0	42	100,0	0,0
Mangue	9	0	9	100,0	0,0
Restinga	9	0	9	100,0	0,0
Salina	9	0	9	100,0	0,0
Solo Exposto	8	1	9	88,9	11,1

Ao realizar uma análise da validação comparando as duas classificações, observa-se que ambos acertaram mais de 180 amostras, enquanto ambos erraram menos de 20 amostras. Esse resultado mostra que as classes correspondentes tiveram bom desempenho na validação, e estão de fato equivalentes à verdade terrestre, conforme validado. Já as classes divergentes, apontaram maiores erros para o mapeamento do MapBiomias, que apresentou 113 erros, enquanto o DAGEOP apresentou 67 erros (Figura 7).

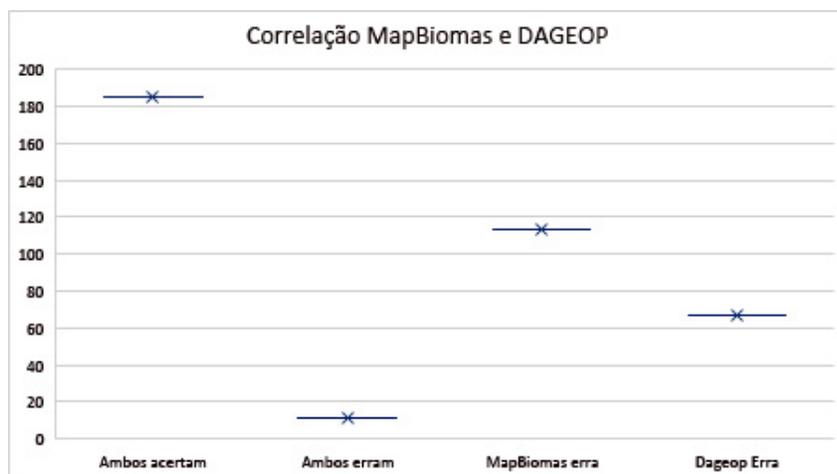


Figura 7 – Resultado sintetizado da validação correlacionada.

Análises Espaciais da Comparação

As diferenças entre as imagens e as metodologias de classificação podem explicar boa parte das divergências entre os quantitativos de fragmentos de “Floresta” e “Agropasto” encontrados no LLERJ, que em termos absolutos representou uma área 594,39 km² (Tabela 5). O mapa desenvolvido pelo DAGEOP apresentou maior percentual de área de “Floresta”, com cerca de 31% a mais desta classe, e cerca de 24% a menos de “Agropasto”, em relação ao mapa do Mapbiomas. Em termos quantitativos estas foram as maiores divergências entre os dois mapeamentos. Essas diferenças de área podem ser justificadas também por uma diferença de área mínima entre os mapeamentos.

Quando observamos visualmente os polígonos das divergências entre “Floresta” e “Agropasto” percebemos que a maioria são fragmentos pequenos e em formato alongado. Alguns destes fragmentos são matas ciliares, e outras diferenças entre bordas destes fragmentos nos dois mapas. O índice de circularidade destes fragmentos, calculados pela razão de área por perímetro (LIMA, 1976), descreve estes recortes como pouco circulares, o que corrobora para o que pode ser percebido de forma visual. Estas divergências localizam-se nas áreas mais rebaixadas do relevo, e são raras nas áreas montanhosas, onde a vegetação é mais preservada e contínua.

Tudo indica, portanto, que a maior presença de “Floresta” no mapa do DAGEOP pode, em parte, ser explicada pela utilização de um sensor de maior resolução espacial no processo de classificação. Como a floresta nesta região de baixadas é muito fragmentada, um sensor de maior resolução espacial tende a identificar melhor os menores fragmentos, o que tem uma relação direta com o nível de detalhamento semântico e geométrico das classes.

Também é importante destacar que uma área de aproximadamente 30 km² de plantação de eucalipto na bacia do Rio Uma (Gonda Eucaliptos), próxima ao Centro de abastecimento de São Pedro da Aldeia (CEASP), foi classificada equivocadamente como área de “Floresta” no Mapbiomas, o que justifica as divergências entre os dois mapeamentos nessa classe.

A classificação da “Área Urbana” também apresentou divergências que podem ser explicadas pela diferença dos métodos de mapeamento e na escolha do sensor. As maiores diferenças estão justamente nas áreas de urbanização rarefeita não identificadas pelo Mapbiomas. Em contraponto, as áreas não urbanas encontradas no entorno de áreas ocupadas foram equivocadamente classificadas como uso urbano no mapa do DAGEOP. Estas diferenças foram encontradas em maior volume nas bacias da área metropolitana, sendo elas a de Macacu-Guapiaçu, Caceribu, e bacias urbanas de Niterói e São Gonçalo.

Tabela 5 – Matriz de confusão entre os mapeamentos de uso e cobertura.

	MAPBIOMAS											Total no Mapa DAGEOP		
	Afloramento Rochoso	Agropasto	Área Úmida	Área Urbana	Área	Corpo Hídrico	Floresta	Mangue	Reflorestamento	Restinga	Salina		Solo Exposto	
Afloramento Rochoso	5,35	4,90	0,13	0,66	0,00	0,56	1,16	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	12,77
Agropasto	1,51	2.394,04	51,16	88,90	0,32	2,56	75,60	0,03	0,01	1,59	0,00	0,57	0,00	2616,29
Área Úmida	0,32	61,29	55,11	3,94	0,02	4,94	0,95	0,06	0,00	1,45	0,06	0,00	0,00	128,14
Áreas Urbanas	0,29	145,39	3,40	445,29	1,90	2,78	3,87	0,01	0,00	1,02	0,01	0,57	0,00	604,52
Área	0,01	1,93	0,14	3,97	12,54	0,53	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	19,15
Corpo Hídrico	0,00	4,75	3,22	1,55	0,21	328,18	0,71	0,61	0,00	0,57	2,06	0,02	0,00	341,88
Floresta	0,52	594,39	35,11	9,54	0,14	6,76	1.796,77	2,38	0,02	39,02	0,00	0,10	0,00	2484,75
Mangue	0,00	4,29	6,33	0,30	0,00	0,92	5,61	41,17	0,00	15,85	0,00	0,00	0,00	74,48
Reflorestamento	0,00	5,71	0,10	0,00	0,00	0,00	10,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,74
Restinga	0,00	18,92	3,45	6,63	1,15	0,68	0,02	0,15	0,00	10,26	0,00	0,00	0,00	41,27
Salina	0,00	5,04	9,74	10,73	0,46	0,00	0,04	0,00	0,00	0,17	10,26	0,00	0,00	36,45
Solo Exposto	0,00	3,21	0,04	3,88	0,00	0,19	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	1,74	0,00	9,12
Total no Mapa Mapbiomas	7,98	3243,87	167,94	575,40	16,73	348,09	1895,73	44,42	0,03	69,98	12,39	2,99	0,00	6.385,57

No entanto, em algumas observações comparativas não sistematizadas, foram identificados equívocos nos dois mapeamentos no processo de interpretação destas classes, o que é esperado, já que em ambos os casos existe, assumidamente nos processos de validação, margem de erro para ambos os produtos.

Conclusão

As diferenças nos desempenhos dos mapeamentos temáticos de uso e cobertura da terra podem estar associadas às diferenças dos tipos de dados e técnicas adotados, tal como às diferenças entre as resoluções espaciais dos sensores e as metodologias aplicadas.

A resolução espacial também se associa à escala do mapeamento, tendo em vista que o Landsat permite uma escala de mapeamento vinculado a uma resolução espacial de 30 metros, enquanto as imagens Sentinel permite uma escala associada a uma resolução espacial de 20 metros.

Além disso, é importante destacar a exatidão temática dos mapeamentos, enfatizando a presença de classes temáticas específicas para essa área de estudos, tais como as áreas de “Salina” e “Reflorestamento”, que foram pouco representativas pelo mapeamento do MapBiomias.

Nesse sentido, estudos que priorizem a validação dos mapeamentos temáticos tendem a auxiliar na compreensão da distribuição espacial de fenômenos. Logo, a comparação e a validação sistemática de mapeamentos de uso e cobertura promovem maior confiabilidade para o uso dos dados em aplicações práticas e permitem compreender as possíveis limitações temáticas do mapeamento.

Referências Bibliográficas

AUGUSTO, R. C.; CRUZ, C. B. M.; SEABRA, V. S.; MARTINS, J. S. Delimitação de zona ripária em planícies através do Índice Normalizado de Diferença da Água (NDWI) e série multitemporal Landsat. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, p. 234-249, 2022.

BULLOCK, E.; OLOFSSON, P. *What is AREA2?*, 2018. Disponível em: <https://area2.readthedocs.io/en/latest/overview.html>. Acesso em: 24 ago. 2023.

CÂMARA, Gilberto. On the semantics of big Earth observation data for land classification. *Journal of Spatial Information Science*, v. 1, p. 21-34, 2020.

COSTA, E. C. P.; SANTOS, M. P.; SILVA, J. G. O.; SEABRA, VINICIUS DA SILVA. Mapeamento multitemporal e cadastral das salinas da lagoa de Araruama – RJ. *Geographia (UFF)*, v. 24, p. 1-24, 2022.

_____; SEABRA, V. S. Dinâmicas naturais e atividades socioeconômicas da planície costeira da Lagoa de Araruama – RJ. *Revista Formação*, Presidente Prudente, v. 27, p. 353-382, 2021a.

_____; SEABRA, V. S. Mapeamento de uso e cobertura da terra no município de Maricá. In: Instituto Municipal de Informação e Pesquisa Darcy Ribeiro (IDR) (org.). *Estudos maricaenses: o município de Maricá em debate*, v. 1, p. 155-170. 1. ed. Maricá: Editora Instituto Darcy Ribeiro, 2021b.

_____. *Do sal ao solo: transformações da paisagem na planície costeira da Lagoa de Araruama entre os anos de 1929 e 2017*. 2019. 145 f. Dissertação (Mestrado em Produção social do espaço: natureza, política e processos formativos em Geografia) – Faculdade de Formação de Professores, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 2019.

FERREIRA, K. R.; QUEIROZ, G. R.; VINHAS, L.; MARUJO, R. F. B.; SIMOES, R. E. O.; PICOLI, M. C. A.; CAMARA, G.; CARTAXO, R.; GOMES, V. C. F.; SANTOS, L. A.; SANCHEZ, A. H.; ARCANJO, J. S.; FRONZA, J. G.; NORONHA, C. A.; COSTA, R. W.; ZAGLIA, M. C.; ZIOTI, F.; KORTING, T. S.; SOARES, A. R.; CHAVES, M. E. D.; FONSECA, L. M. G. Earth Observation Data Cubes for Brazil: Requirements, Methodology and Products. *Remote Sensing*, v. 12, p. 4033, 2020.

JENSEN, J. R.; EPIPHANIO, J. C. N. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

LIMA, W. P. *Princípios de manejo de bacias hidrográficas*. Piracicaba: ESALQ, USP, 1976.

MCROBERTS, R. E. Mapas baseados em imagens de satélite: inferência científica ou imagens bonitas? *Sensoriamento remoto do ambiente*, n. 115, p. 715-724, 2011.

OLOFSSON P. *et al.* Fazendo melhor uso de dados de precisão em estudos de mudança de terra: Estimando precisão e área... *Sensoriamento remoto do ambiente*, n. 129, p. 122-131, 2013.

_____ *et al.* Boas práticas para estimar a área e avaliar a precisão da mudança de terreno. *Sensoriamento Remoto do Meio Ambiente*, n. 148, p. 42-57, 2014.

ROSA, M.; SHIMBO, J. Z.; AZEVEDO, T. MapBiomass-Mapeando as transformações do território brasileiro nas últimas três décadas. Simpósio de Restauração Ecológica, VIII, *Anais*, p. 95-100, 2019.

SANTOS, M. P.; SILVA, J. G. O.; COSTA, E. C. P.; SEABRA, V. S. Distribuição do uso e cobertura da terra na bacia da Lagoa de Saquarema. In: Jornada de Geotecnologias do Estado do Rio de Janeiro, V. *Anais*, v. 1, p. 222-231, 2020. Niterói: GEOPARTNERS, 2020.

SAUSEN, T. M. *Sensoriamento Remoto e suas aplicações para recursos naturais*. São José dos Campos-SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005.

SEABRA, V. S.; AUGUSTO, R. C. O Litoral Leste do Estado do Rio de Janeiro. In: SEABRA, V. S. S.; AUGUSTO, R. C. (orgs.). *Dinâmicas ambientais e geoprocessamento no litoral leste do Estado do Rio de Janeiro*, v. 1, p. 17-38. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Autografia, 2018.

_____; COSTA, E. C. P.; SANTOS, M. P.; SILVA, J. G. O. Índice de transformação antrópica das unidades de paisagem do litoral leste do estado do Rio de Janeiro. In: SOUZA, E. M. F. R. (org.). *Geoinformação e análise espacial: métodos aplicados a áreas antropizadas*. 1. ed. Curitiba: Appris, 2023. p. 141-170.

_____; ROCHA LEAO, O. M.; COSTA, F. H. L. Uso e cobertura da terra e dinâmica hidrológica nas bacias hidrográficas urbanizadas do Leste Metropolitano do Rio de Janeiro. In: COSTA, A.; SCHNEIDER, L. (org.). *RIOS URBANOS: diferentes abordagens sobre as águas nas cidades*. 1. ed. Curitiba: CRV, 2022. p. 161-180.

_____; CRUZ, C. B. M.; RICHTER, M.; VICENS, S. R. Todas as direções apontam para o São João. In: CRUZ, C. B. M.; RICHTER, M.; SEABRA, V. S. (orgs.). *Um olhar para o São João*. 1. ed. Rio de Janeiro: Autografia, 2021. p. 15-28.

SILVA, P. N.; COSTA, E. C. P.; SEABRA, V. S. Índice de transformação antrópica por unidades de paisagem na bacia do Macacu-Guapiaçu – RJ. *Revista Tamoios*, v. 19.2, 2023. p. 24-44.

Recebido em: 24/08/2023.

Aceito em: 06/11/2023.