


Geoinformação e Sensoriamento Remoto em Geografia


Avaliação de classificadores para análise de uso da terra com imagens do Landsat 8 e CBERS 4A (2020) na bacia hidrográfica do rio Tamanduá, Paraná

Evaluation of classifiers for land use analysis using LANDSAT 8 and CBERS 4A images in the Tamanduá river basin, Paraná


Evaluación de clasificadores para el análisis del uso de la tierra con imágenes de Landsat 8 y CBERS 4A (2020) en la cuenca hidrográfica del río Tamanduá, Paraná

Marcia Aparecida Procopio da Silva Scheer ^I , Patricia Helena Mirandola Garcia ^{II} ,
Jair Souza da Silva ^{III} , Atamis Antônio Foschiera ^{IV} ,
Paulo Miguel de Bodas Terassi ^I 

^IUniversidade Federal da Integração Latino-Americana , Foz do Iguaçu, PR, Brasil

^{II}Universidade Federal de Mato Grosso do Sul , Campo Grande, MS, Brasil

^{III}Secretaria de Turismo do Tocantins, Palmas, TO, Brasil

^{IV}Universidade Federal do Tocantins , Palmas, TO, Brasil

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho dos classificadores Dzet-saka e Semi-Automático (SCP) no software QGIS, utilizando imagens de satélite dos Landsat 8 - OLI e CBERS 4A - MUX de 2020, na bacia hidrográfica do rio Tamanduá (BHRT) em Foz do Iguaçu e Santa Terezinha de Itaipu, Paraná. Os resultados mostraram que as classificações obtidas com as imagens do LANDSAT 8 - OLI foram mais precisas em comparação às do CBERS 4A - MUX, evidenciando a superioridade do classificador Dzet-saka para esse tipo de análise na BHRT. O estudo destaca a importância de uma seleção criteriosa das ferramentas de classificação e das fontes de dados de imagens orbitais para a realização de análises geográficas precisas. Conclui-se que os classificadores testados se mostraram eficazes e indicaram um aumento nas áreas de uso agrícola e expansão urbana na bacia estudada. Essas mudanças ressaltam a relevância do monitoramento contínuo do uso e cobertura da terra para subsidiar a gestão ambiental e planejamento territorial.

Palavras-chave: Classificação Semi-Automática (SCP); Classificação dzetsaka; Imagens de satélite

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the performance of the Dzetsaka and Semi-Automatic (SCP) classifiers in the QGIS software, using satellite images from Landsat 8 - OLI and CBERS 4A - MUX in 2020, in the Tamanduá watershed (TW) in Foz do Iguaçu and Santa Terezinha de Itaipu, Paraná. The results showed that the classifications obtained from the LANDSAT 8 - OLI images were more accurate compared to those from CBERS 4A - MUX, highlighting the superiority of the Dzetsaka classifier for this type of analysis in the BHRT. The study emphasizes the importance of carefully selecting classification tools and orbital image data sources for accurate geographical analyses. It concludes that the tested classifiers were effective and indicated an increase in agricultural and urban expansion areas in the studied basin. These changes underscore the relevance of continuous monitoring of land use and coverage to support environmental management and land-use planning.

Keywords: Semi-Automatic Classification (SCP); Dzetsaka classification; Satellite Images

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el desempeño de los clasificadores Dzetsaka y Semi-Automático (SCP) en el software QGIS, utilizando imágenes de satélite de Landsat 8 - OLI y CBERS 4A - MUX de 2020, en la cuenca hidrográfica del río Tamanduá (BHRT) en Foz do Iguaçu y Santa Terezinha de Itaipu, Paraná. Los resultados mostraron que las clasificaciones obtenidas con las imágenes de LANDSAT 8 - OLI fueron más precisas en comparación con las del CBERS 4A - MUX, evidenciando la superioridad del clasificador Dzetsaka para este tipo de análisis en la BHRT. El estudio resalta la importancia de una selección criteriosa de las herramientas de clasificación y de las fuentes de datos de imágenes orbitales para realizar análisis geográficos precisos. Se concluye que los clasificadores probados resultaron efectivos e indicaron un aumento en las áreas de uso agrícola y expansión urbana en la cuenca estudiada. Estos cambios subrayan la relevancia del monitoreo continuo del uso y la cobertura del suelo para apoyar la gestión ambiental y la planificación territorial.

Palabras-clave: Clasificación Semi-Automática (SCP); Clasificación dzetsaka; Imágenes de satélite

1 INTRODUÇÃO

A Geografia tem como um de seus pressupostos fundamentais a análise das relações entre sociedade e natureza, nas quais as ações antrópicas influenciam a dinâmica do uso e cobertura da terra. Ao longo do tempo, essas ações possibilitam transformações definitivas no ambiente, em diferentes escalas de atuação. Adotada como categoria de análise, a bacia hidrográfica (BH) é definida por autores como Botelho e Silva (2004) como uma área de superfície drenada por água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, por meio de um canal fluvial.

Novo (2010) complementa esse conceito, considerando-a uma área drenada por um canal principal e seus afluentes, com uma captação natural de água da precipitação que escoar para a foz. Na perspectiva da gestão, a Lei nº 9433/1997, em seu artigo 1º, define a bacia hidrográfica como a “unidade territorial para implementação da Política

Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (Brasil, 1997). Nesse contexto, as ações de planejamento e monitoramento do espaço geográfico incluem a análise do meio físico-biótico, da ocupação humana e de seu inter-relacionamento. Contudo, numa perspectiva mais ampla, pode-se considerar a bacia hidrográfica uma unidade geossociopolítica, formando um espaço para o qual confluem elementos naturais e sociais, que servem de base para sistematizar modelos de programas computacionais e projetos político-administrativos (Lima, 1997).

Paralelamente, o conceito de paisagem foi incorporado como categoria de análise para a ciência geográfica (Bertrand, 1972). Atualmente, a Geografia Ambiental integra a Geografia Física e a Humana (Claudino-Sales, 2021), o que potencializa o uso das Geotecnologias na identificação de feições da paisagem. Essas ferramentas geram subsídios cruciais para a tomada de decisão (Vicens *et al.*, 2019), permitindo diagnosticar a vulnerabilidade ambiental e promover o monitoramento sustentável.

A escolha da bacia hidrográfica do rio Tamanduá (BHRT), situada no extremo oeste do estado do Paraná, como objeto deste estudo, fundamenta-se nas distintas características de uso e cobertura da terra observadas na área. Tais variações decorrem das intervenções humanas, moldadas por aspectos econômicos, políticos e culturais específicos. Essas áreas são marcadas pelas atividades dominantes, evidenciando a dinâmica de interação entre as práticas das comunidades locais e o meio ambiente.

A BHRT serve, portanto, como um importante ponto de observação para o estudo das relações entre sociedade e natureza. Frolova (2008) destaca a relevância de estudar as bacias hidrográficas como sistemas dinâmicos, nos quais as alterações na cobertura da terra refletem mudanças socioeconômicas e culturais. Essa abordagem é essencial para compreender como as atividades humanas e as políticas de ordenamento territorial afetam e são afetadas pela organização do espaço geográfico.

Nesse sentido, Barrera-Lobatón (2009) argumenta que a análise das interações entre sociedade e ambiente revela como as comunidades se relacionam com seu entorno. As mudanças na cobertura da terra resultam não apenas de atividades

econômicas, mas também de decisões políticas, práticas culturais e valores sociais, o que destaca a necessidade de uma gestão holística dos recursos naturais. Frolova (2008) complementa ao afirmar que a identificação das dinâmicas de uso da terra revela prioridades e desafios enfrentados pelas sociedades, servindo de base para estratégias de gestão territorial e ambiental sustentáveis e inclusivas.

Em síntese, a análise do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica selecionada, guiada pelas concepções de Frolova (2008) e Barrera-Lobatón (2009), oferece uma oportunidade de explorar as múltiplas dimensões das interações entre sociedade e ambiente. Essa abordagem não apenas destaca as transformações físicas do território, mas também as complexas dinâmicas sociais que impulsionam essas mudanças.

Para realizar essa análise, a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) representa uma ferramenta fundamental no processo de coleta, padronização, organização e manipulação de dados espaciais e alfanuméricos. Essa abordagem facilita significativamente a elaboração de diagnósticos ambientais e sociais pela geração de gráficos, mapas e tabelas que sintetizam as informações. A relevância dessa metodologia é amplamente reconhecida na literatura, como evidenciado pelos trabalhos de Su (2000), Câmara *et al.*, (2001), Ferreira (2014), Scheer (2004, 2009), Garofalo *et al.*, (2015), Silva e Bacani (2017), Araujo *et al.*, (2020) e Scheer *et al.*, (2021), que destacam o papel crucial dos SIG na gestão e análise ambiental.

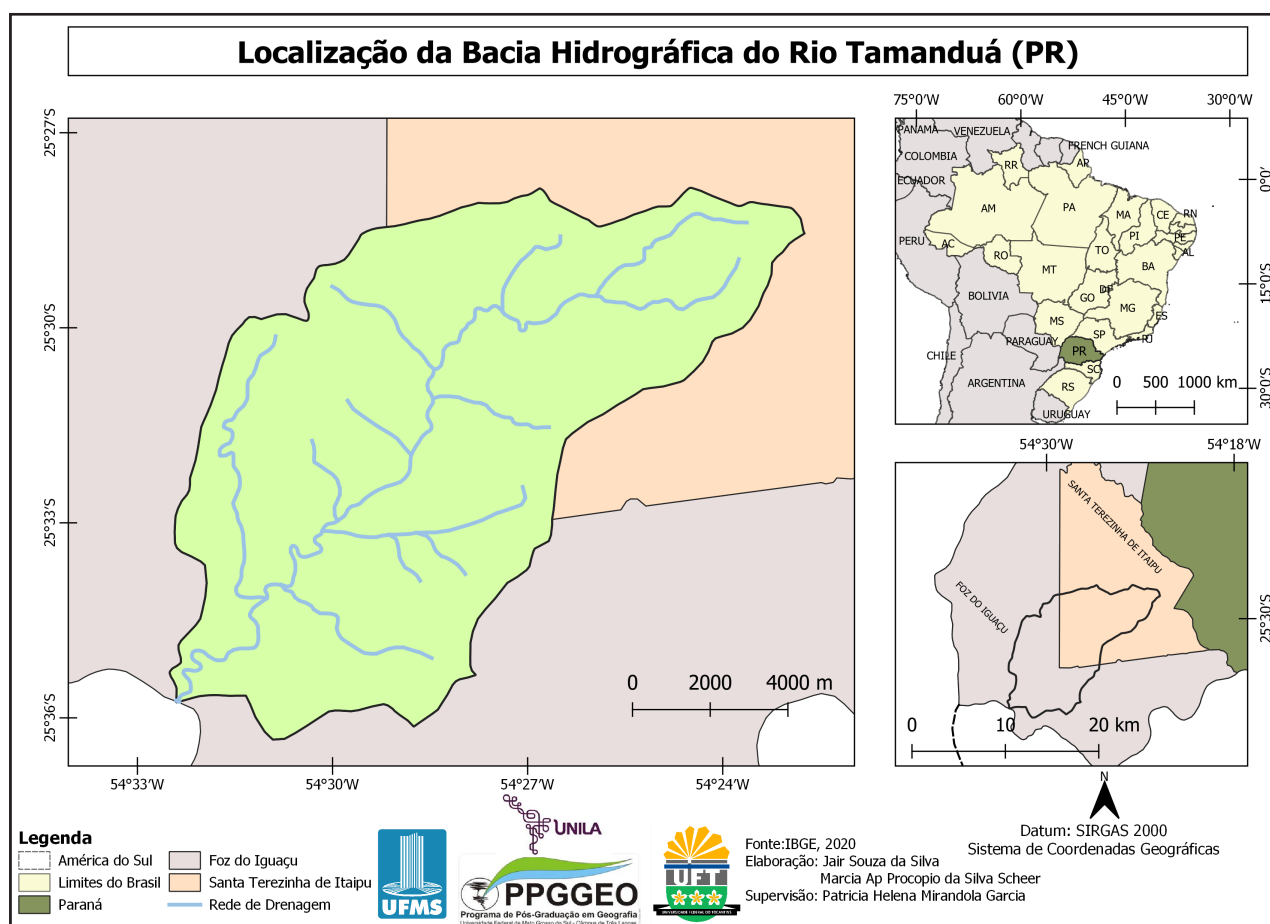
Paralelamente, a evolução das técnicas de classificação automática e semiautomática em imagens de sensoriamento remoto tem sido uma área de interesse contínuo. O objetivo desses avanços é aumentar a precisão e a eficiência na interpretação de dados, otimizando o processo de análise. Esse aprimoramento metodológico é corroborado pelos estudos de Blaschke e Kux (2007), Novo (2010), Ferreira (2014), Blaschke *et al.*, (2014), Mirandola-Garcia (2016), Sano e Silva (2016) e Meneses *et al.*, (2019).

Por fim, a evolução das tecnologias de geoinformação, especialmente com a adoção de softwares livres, aprimora a precisão dos estudos ambientais. Essa transição para ferramentas de código aberto democratiza a análise ambiental, permitindo que pesquisadores realizem comparações históricas e avaliem mudanças nas paisagens

de forma mais eficiente e precisa (Vescovi e Gomarasca, 1999). A integração dessas tecnologias fortalece a importância dos SIG e das técnicas de sensoriamento remoto, destacando o papel crucial da inovação nas Geociências. O objetivo foi avaliar o desempenho dos classificadores Dzetsaka e Semi-Automático (SCP) no software QGIS, utilizando imagens de satélite dos Landsat 8 - OLI e CBERS 4A - MUX de 2020, na bacia hidrográfica do rio Tamanduá (BHRT) em Foz do Iguaçu e Santa Terezinha de Itaipu, Paraná, visando propor medidas que promovam a melhoria da utilização dos recursos disponíveis na bacia como um todo, conforme destacado por Moragas (2005).

1.1 Localização e caracterização da área de estudo

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: INPE (2020a) e USGS (2020). Elaboração: Os autores (novembro de 2024)

O recorte espacial desta pesquisa corresponde à bacia hidrográfica do rio Tamanduá (BHRT) abrange uma área de 139,903 km² nos municípios de Foz do Iguaçu e Santa

Terezinha de Itaipu, Paraná. O rio Tamanduá é responsável por 40% do abastecimento de água do município de Foz do Iguaçu/PR. Sua nascente localiza-se no município de Santa Terezinha de Itaipu, próximo às margens da rodovia BR 277, e deságua no Rio Iguaçu, antes de se encontrar com o Rio Paraná, delimitando o que se conhece como tríplice fronteira: Brasil ao norte, Paraguai a oeste e Argentina ao sul (Palhares, 2005). A Figura 1, apresenta os limites da Bacia a partir de imagens dos satélites Landsat 8 e CBERS 4A.

A BHRT é composta, predominantemente, por propriedades pequenas e médias, as quais são administradas por pessoas (camponeses) que vivem e tiram seu sustento nesta área, podendo explorá-la com culturas temporárias, criação de animais e até pequenas agroindústrias, como também, ao longo dos cursos dos rios foram encontradas várias chácaras destinadas a exploração de turismo rural e tanques de pesque-pague (Scheer *et al.*, 2021).

A região de Foz do Iguaçu apresenta precipitação pluvial média anual de 1.705 mm, relativamente bem distribuída ao longo do ano, com valores mais elevados em outubro (211 mm) e maio (169 mm) e uma redução em agosto (81 mm), conforme apontam Santos Júnior *et al.*, (2021). O tipo climático da região é o “Cfa”, ou seja, subtropical mesotérmico brando sem estação seca definida, com temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C (16,4° em julho) e do mês mais quente superior a 22°C (25,2°C em janeiro), conforme apontam Álvares *et al.*, (2013).

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada neste estudo, que será detalhada nas seções subsequentes, é o resultado direto dos avanços discutidos anteriormente, que enfatizam a importância da integração de novas tecnologias e softwares livres na análise ambiental e na classificação de imagens de sensoriamento remoto. Esta abordagem metodológica aproveita a interpretação de imagens orbitais de média resolução espacial, que, graças à incorporação de diversos recursos, torna a investigação de paisagens e do uso e cobertura da terra mais facilitada para áreas com considerável extensão e diversidade de ocupação. Essa estratégia não apenas reflete o progresso tecnológico nas geociências,

como também exemplifica a aplicação prática dessas inovações no estudo detalhado de bacias hidrográficas e na avaliação de mudanças paisagísticas ao longo do tempo.

A inclusão de softwares livres na nossa metodologia destaca-se como um elemento transformador, democratizando o acesso a ferramentas de análise avançadas e permitindo uma exploração mais profunda das dinâmicas ambientais. Assim, ao integrar os conceitos e avanços tecnológicos discutidos nos parágrafos anteriores, esta metodologia estabelece uma base sólida para a apresentação e interpretação dos resultados obtidos, demonstrando sua relevância e contribuição para o campo das geociências. A capacidade de facilitar a investigação em áreas de grande extensão e com diversidade de ocupação sublinha a eficácia desta abordagem, ressaltando o papel crucial da inovação contínua e da acessibilidade em softwares de análise geoespacial.

2.1. Seleção e Preparação das Imagens Orbitais

A metodologia iniciou-se com a seleção de imagens orbitais dos satélites Landsat 8 (sensor OLI) e CBERS 4A (sensor MUX), obtidas junto ao portal do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020a). Os critérios de seleção incluíram baixa cobertura de nuvens (<5%) e a disponibilidade de cenas que cobrissem integralmente a área de estudo.

A escolha por esses sensores deve-se a uma combinação de fatores, incluindo a resolução espacial adequada para estudos em escala regional (30m para o Landsat-8/OLI e 20m para o CBERS-4A/MUX), a extensa série temporal disponível (especialmente para a série Landsat, que permite análises históricas), o custo zero associado à aquisição dos dados e a cobertura sistemática do território brasileiro (USGS, 2020; INPE, 2020b).

As imagens foram processadas no *software* QGIS 3.10. Inicialmente, procedeu-se com a montagem de mosaicos a partir das cenas individuais, seguida pelo recorte (“clipping”) utilizando o limite vetorial da BHRT. Para a visualização e classificação, foram geradas composições coloridas RGB (Vermelho, Verde, Azul) específicas para cada sensor, conforme estabelecido na literatura (Scheer *et al.*, 2021): para o Landsat 8/OLI, utilizou-se a combinação de bandas R6 (IVCS1), G5 (IVP), B4 (Vermelho); e para o CBERS 4A/MUX, a combinação R8 (IVP), G7 (Vermelho), B6 (Verde).

2.2. Processo de Classificação de Imagens

A etapa de classificação foi realizada utilizando dois classificadores supervisionados integrados ao QGIS 3.10: o Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) e o Dzetsaka Classification Tool. A classificação supervisionada é um método consagrado no sensoriamento remoto que se baseia em algoritmos de aprendizado de máquina treinados a partir de amostras de pixels cuja classe é conhecida a priori (Crosta, 1999; Meneses *et al.*, 2019).

O processo seguiu as seguintes etapas, adaptadas de Scheer *et al.*, (2021):

Definição de Classes: Foram estabelecidas cinco classes temáticas de cobertura e uso da terra: Área Urbana, Cultura Temporária, Solo Exposto, Floresta e Água, seguindo a tipologia do Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2013).

Seleção de Amostras de Treinamento: Para cada classe, foram digitalizados manualmente polígonos representativos (“regiões de interesse”), que serviram como amostras para treinar os algoritmos. Para garantir a robustez estatística, foram coletadas dez amostras por classe no Dzetsaka e cinco amostras por macroclasse no SCP.

Classificação: Os algoritmos dos respectivos plugins foram executados. O valor digital (Digital Number - DN) de cada pixel nas diversas bandas espectrais serve como assinatura espectral única, permitindo que o classificador extrapole a classificação para toda a cena com base na similaridade espectral com as amostras de treinamento. No SCP, foi utilizado especificamente o algoritmo de Distância Mínima.

Pós-processamento: Os resultados da classificação, inicialmente em formato raster, foram convertidos para o formato vetorial (*Shapefile*) por meio da ferramenta “Poligonizar” do QGIS, permitindo uma melhor manipulação e análise cartográfica posterior. A simbologia final do mapa foi aplicada conforme as normas do IBGE (2013).

2.3. Avaliação de Desempenho dos Classificadores

Este estudo adotou uma abordagem comparativa para avaliar o desempenho dos classificadores SCP e Dzetsaka na discriminação das classes de cobertura e uso da terra a partir das imagens Landsat 8/OLI. A avaliação comparativa é uma prática

fundamental na ciência do sensoriamento remoto para identificar as capacidades e limitações de diferentes técnicas e algoritmos (Foody, 2002).

A avaliação de precisão foi conduzida através da comparação dos mapas classificados com dados de referência, obtidos por interpretação visual de imagens de alta resolução e por observações realizadas em trabalho de campo. Métricas de acurácia, como matriz de confusão, acurácia global e índice Kappa, foram calculadas para quantificar e comparar objetivamente o desempenho de cada classificador, assegurando a confiabilidade dos resultados obtidos (Congalton e Green, 2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Desempenho dos classificadores SCP e Dzetsaka na identificação de uso e cobertura da terra na BHRT através de imagens Landsat 8 - OLI

A análise comparativa do desempenho dos classificadores Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) e Dzetsaka, aplicados a imagens Landsat 8 - OLI da Bacia Hidrográfica do Rio Tamanduá (BHRT), estão descritas na Tabela 1. Os resultados revelam diferenças significativas na classificação das categorias de cobertura e uso da terra, o que é crucial para o planejamento ambiental, uma vez que a escolha da ferramenta influencia diretamente a precisão dos dados e, conseqüentemente, as decisões de gestão.

Tabela 1 – Comparação de eficiência entre o SCP e o Dzetsaka na análise de imagens Landsat 8 - OLI para a BHRT

(continua...)

CLASSIFICADOR SCP			CLASSIFICADOR DZETSAKA		
BHRT (Landsat 8 - OLI)			BHRT (Landsat 8 - OLI)		
Classes	Área Total (ha)	Área (%)	Classes	Área Total (ha)	Área (%)
Água	2,37	0,17	Água	7,32	0,52
Terra Exposto	86,06	6,16	Terra Exposto	106,34	7,60
Florestal	200,38	14,34	Florestal	154,78	11,06
Cultura Temporária	487,79	34,91	Cultura Temporária	548,13	39,18
Área Urbanizada	316,61	22,66	Área Urbanizada	193,53	13,83

Tabela 1 – Comparação de eficiência entre o SCP e o Dzetsaka na análise de imagens Landsat 8 - OLI para a BHRT (conclusão)

CLASSIFICADOR SCP			CLASSIFICADOR DZETSAKA		
Pastagem	303,95	21,75	Pastagem	388,97	27,80
Total	1397,16	100	Total	1399,07	100
Acurácia entre os classificadores imagem Landsat 8 BH Tamanduá					
Kappa					0.313129
Total de acertos na classificação					130336
Pixels observados					285901
Percentual de acerto					45%

Fonte: Organizado pelos autores (novembro de 2024)

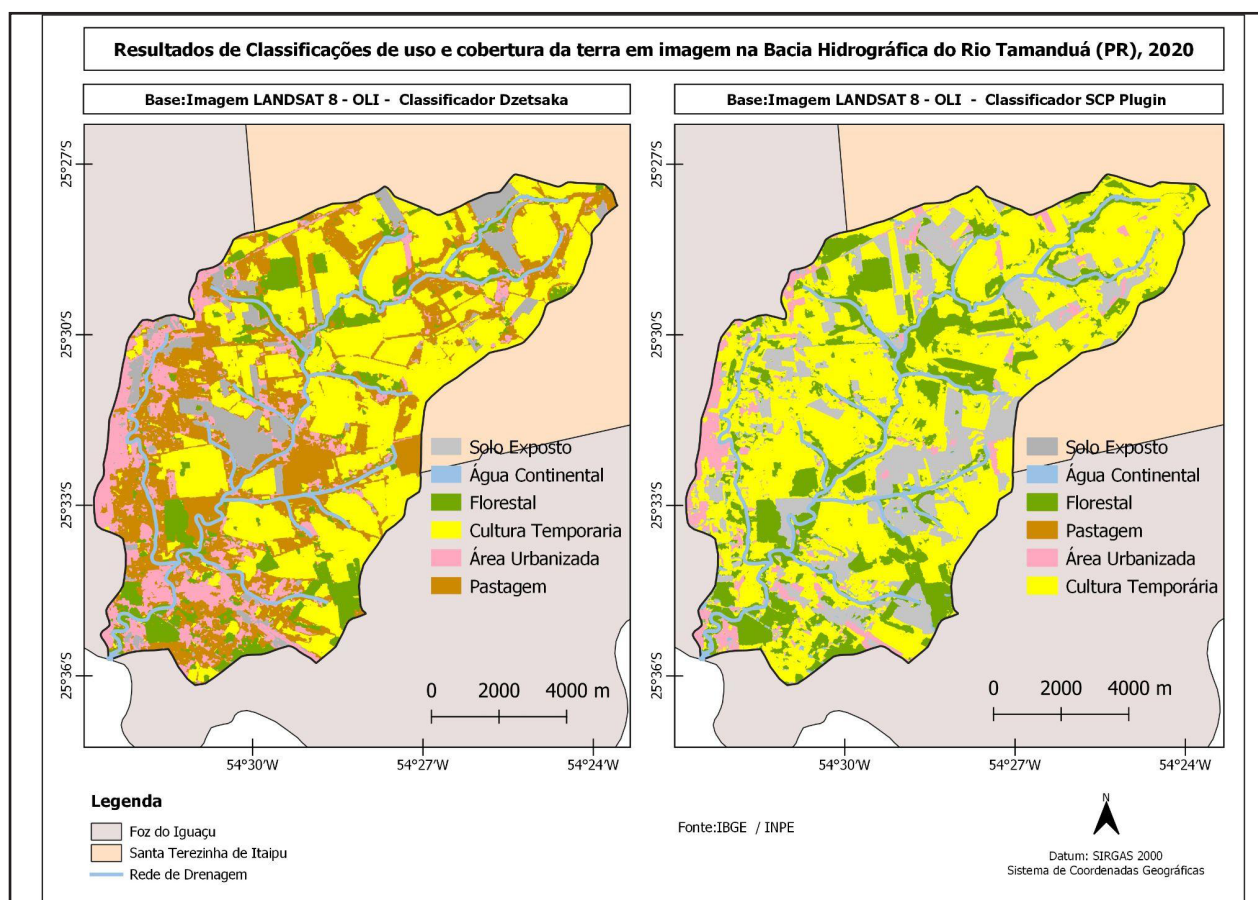
A comparação evidencia variações notáveis nas áreas estimadas. Por exemplo, a classe “Água” foi estimada em 2,37 ha pelo SCP (0,17% da área total), enquanto o Dzetsaka apresentou uma área significativamente maior, de 7,32 ha (0,52%), sugerindo uma sensibilidade diferente do algoritmo para a detecção de corpos d’água. Na classe “Terra Exposto”, o Dzetsaka também registrou uma área maior (106,34 ha) em comparação ao SCP (86,06 ha). Em contrapartida, na classe “Florestal”, o SCP identificou uma área maior (200,38 ha) do que o concorrente (154,78 ha), possivelmente refletindo uma distinta interpretação das assinaturas espectrais da vegetação densa.

As discrepâncias estendem-se às demais classes. O Dzetsaka tendeu a classificar áreas maiores para “Cultura Temporária” e “Pastagem”, enquanto o SCP alocou uma área maior para “Área Urbanizada”. Essas variações destacam que a performance de cada ferramenta é dependente da classe alvo, reforçando a importância de selecionar o classificador conforme o objetivo específico do estudo.

A acurácia geral obtida na comparação foi de 45%, com um índice Kappa de 0,313. Este valor indica uma concordância apenas moderada entre os classificadores e os dados de referência, ressaltando a necessidade de validação e ajuste destas ferramentas para garantir a confiabilidade dos dados gerados para a gestão de recursos naturais.

A Figura 2 ilustra visualmente essas disparidades na interpretação da paisagem da BHRT pelos dois algoritmos. As diferenças na delimitação e extensão de cada categoria são marcantes, particularmente na identificação de corpos d'água e na distribuição das áreas de vegetação e uso antrópico. Esta visualização corrobora os dados quantitativos da Tabela 1 e enfatiza como as escolhas metodológicas impactam diretamente o produto cartográfico final.

Figura 2 – Diferenças na Identificação de uso e cobertura da terra para os classificadores SCP e Dzetsaka na BHRT, conforme a imagem LANDSAT 8 – OLI em 2020



Fonte: USGS (2020), INPE (2020). Elaboração: Os autores (2024)

Essas diferenças têm implicações significativas para estudos e aplicações relacionadas ao planejamento ambiental, gestão de recursos naturais e conservação. A precisão na identificação de uso e cobertura da terra é fundamental para avaliar a saúde dos ecossistemas, planejar a utilização sustentável dos recursos e implementar políticas de conservação eficazes. A Figura 2, portanto, não apenas exemplifica as capacidades

e limitações de cada classificador em contextos específicos, mas também enfatiza a necessidade de uma escolha cuidadosa do método de classificação, considerando o objetivo do estudo e as características particulares da área de interesse. Além disso, destaca a importância da validação cruzada e da calibração dos classificadores com dados de campo, a fim de aumentar a confiabilidade dos resultados obtidos e otimizar as estratégias de manejo ambiental baseadas em dados de sensoriamento remoto.

3.2 Desempenho dos classificadores SCP e Dzetsaka na identificação de uso e cobertura da terra na BHRT através de imagens CBERS 4A - MUX

A avaliação do desempenho dos mesmos classificadores, agora utilizando imagens do satélite CBERS 4A - MUX, revelou desafios significativamente maiores e uma confiabilidade substancialmente reduzida. Os resultados estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação de eficiência entre o SCP e o Dzetsaka na análise de imagens CBERS 4A para a BHRT

CLASSIFICADOR SCP			CLASSIFICADOR DZETSAKA		
BH do Rio Tamanduá (CBERS 4A)			BH do Rio Tamanduá (CBERS 4A)		
Classes	Área Total (ha)	Área (%)	Classes	Área Total (ha)	Área (%)
Água	5,02	0,36	Água	7,30	0,52
Terra Exposto	316,03	22,58	Terra Exposto	106,10	7,59
Florestal	241,64	17,27	Florestal	154,60	11,06
Cultura Temporária	74,84	5,35	Cultura Temporária	388,65	27,80
Área Urbanizada	66,83	4,78	Área Urbanizada	194,14	13,89
Pastagem	694,96	49,66	Pastagem	547,28	39,15
Total	1399,32	100	Total	1398,07	100,00

Acurácia entre os classificadores SCP e Dzetsaka Imagem CBERS 4A Tamanduá	
Kappa	0.072095
Total de acertos na classificação	297504
Pixels observados	2573216
Percentual de acerto	11,5%

Fonte: Organizado pelos autores (novembro de 2024)

Os resultados apontam para uma baixa confiabilidade das classificações realizadas com este sensor. O índice Kappa de 0,072 e o percentual de acerto de 11,5% indicam uma concordância praticamente inexistente entre os classificadores, mostrando que os algoritmos interpretaram as informações espectrais de maneiras radicalmente diferentes e com elevada taxa de erro.

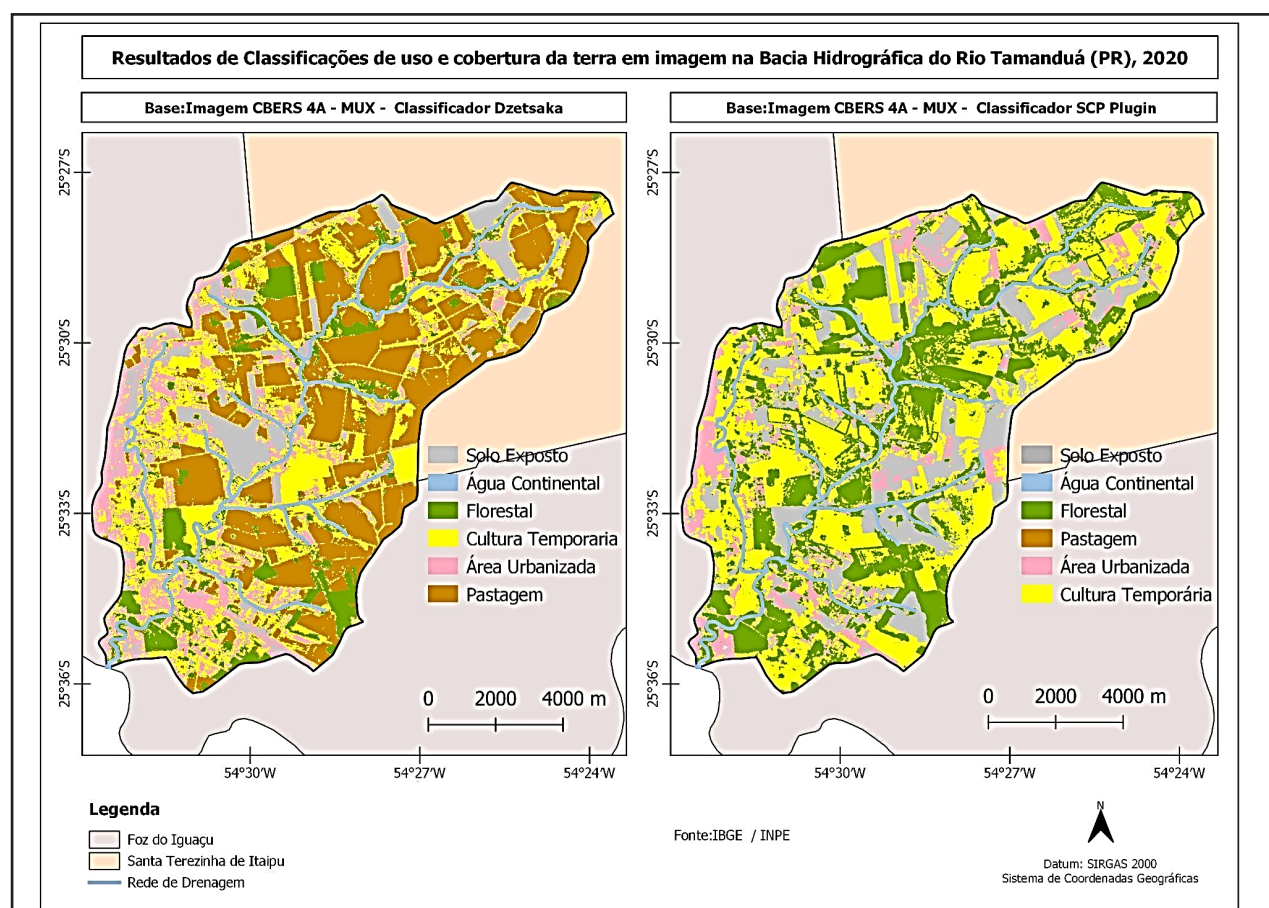
As discrepâncias são extremas. Para a classe “Cultura Temporária”, o Dzetsaka classificou 388,65 ha (27,80%) contra apenas 74,84 ha (5,35%) pelo SCP. Inversamente, o SCP superestimou drasticamente a classe “Terra Exposto” (316,03 ha; 22,58%) em comparação ao Dzetsaka (106,10 ha; 7,59%). O SCP também classificou quase metade da bacia (49,66%) como “Pastagem”, enquanto o Dzetsaka atribuiu 39,15% à mesma classe.

Estes resultados exigem uma reflexão crítica. A baixíssima acurácia sugere que as imagens CBERS 4A - MUX, nas condições e métodos aplicados neste estudo, podem não ter sido adequadas para a classificação supervisionada da cobertura e uso da terra nesta paisagem específica. Fatores como a resolução espacial (20m), a possibilidade de mistura espectral de pixels em uma paisagem heterogênea, ou a calibração dos algoritmos para as bandas espectrais específicas do sensor MUX podem ter contribuído para o desempenho insatisfatório. A validação com dados de campo é essencial para entender se as discrepâncias são erros de classificação ou uma falha generalizada dos métodos em interpretar adequadamente os dados deste sensor.

A Figura 3 ilustra as diferenças marcantes na identificação de uso e cobertura da terra entre os classificadores Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) e Dzetsaka, aplicados à BHRT, com base em imagens CBERS 4A - MUX. Esta visualização gráfica destaca a variabilidade na interpretação das mesmas imagens por diferentes algoritmos, evidenciando as disparidades na classificação de áreas como água, terra exposto, florestal, cultura temporária, área urbanizada e pastagem. Enquanto o SCP parece favorecer a identificação de extensões maiores de pastagem e terra exposto, o Dzetsaka demonstra uma tendência a classificar maior proporção de áreas como cultura temporária e áreas urbanizadas. Essas diferenças são cruciais para entender como cada classificador processa

e interpreta as informações espectrais das imagens, influenciando diretamente a precisão e a utilidade dos dados de uso e cobertura da terra gerados.

Figura 3 – Diferenças na identificação de uso e cobertura da terra para os classificadores SCP e Dzetsaka na BHRT para a Imagem CBERS 4A-MUX



Fonte: INPE (2020). Elaboração: Os autores (2024)

Em contraste com os resultados obtidos aqui, Vale e Silva (2021), utilizando imagens de maior resolução do satélite Sentinel-2, alcançaram acurácia de 98,80% e índice Kappa de 0,975 com os mesmos classificadores. Da mesma forma, Freires *et al.*, (2019), ao comparar índices de vegetação (NDVI) derivados do Landsat 8 e do Sentinel 2 para o Maciço de Uruburetama (CE), constataram uma exatidão superior para o Sentinel 2 (0,857) em comparação ao Landsat 8 (0,426). Esses estudos corroboram a premissa de que a resolução e as características do sensor são fatores determinantes para o sucesso da classificação, sugerindo que a imagem CBERS 4A - MUX, neste contexto, pode ser

mais adequada para estudos de alvos mais homogêneos ou requerer metodologias de processamento específicas e robustas para paisagens complexas como a da BHRT.

Os resultados obtidos nesta pesquisa mostraram marcadamente uma elevada dissimilaridade entre os classificadores, substancialmente mais evidente para a imagem analisada do CBERS 4A - MUX. Por exemplo, utilizando-se de imagens do satélite SENTINEL 2, Vale e Silva (2021) obtiveram acurácia de 98,80% e índice Kappa de 0,975, demonstrando semelhança entre os classificadores SCP e Dzetsaka para São Raimundo de Mangabeiras, Maranhão.

Para a região do Maciço de Uruburetama (Ceará) e com a aplicação do algoritmo Bhattacharya, Freires *et al.*, (2019) obtiveram uma exatidão inferior para a imagem NDVI/Landsat 8 (0,426) em comparação ao NDVI/Sentinel 2 (0,857), com um nível de acurácia superior a obtida nesta pesquisa para a imagem do Landsat 8 - OLI. Em suma, estes autores destacaram que a imagem OLI/Landsat-8 é mais adequada a estudos com alvos mais homogêneos.

A marcante variabilidade nas saídas sublinha a complexidade inerente à classificação de imagens de sensoriamento remoto. A seleção do classificador e, sobretudo, do sensor de imagem, é crucial e deve ser precedida de uma análise criteriosa que considere as características da paisagem e os objetivos do mapeamento. Os resultados reforçam a indispensabilidade da validação de campo, do ajuste fino dos parâmetros dos algoritmos e de uma compreensão profunda das limitações de cada conjunto de dados para gerar produtos confiáveis para o planejamento territorial e a gestão ambiental.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, existem diversos métodos de classificação de imagens de sensoriamento remoto, que podem ser divididos em critérios como paramétrico e não-paramétrico, espectral e espacial, ou supervisionado e não-supervisionado — sendo este último a forma mais difundida entre os usuários de SIG. Este estudo realizou uma análise comparativa entre os classificadores supervisionados Semi-Automatic Classification Plugin

(SCP) e Dzetsaka para identificar a cobertura e uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Tamanduá (BHRT), utilizando imagens dos satélites LANDSAT 8 - OLI e CBERS 4A - MUX.

A pesquisa revelou variações notáveis na capacidade de cada classificador em interpretar as assinaturas espectrais das imagens. Essas diferenças ressaltam que a escolha da ferramenta não é neutra; ela deve ser alinhada aos objetivos específicos do projeto, pois impacta diretamente a precisão dos dados que subsidiam decisões críticas em gestão de recursos naturais, planejamento urbano e monitoramento ambiental.

Para a imagem LANDSAT 8 - OLI, os resultados indicaram um desempenho moderado. O classificador Dzetsaka demonstrou maior sensibilidade na detecção de corpos d'água (7,32 ha contra 2,37 ha do SCP) e de terra exposta (106,34 ha vs. 86,06 ha). Por outro lado, o SCP identificou uma área maior de cobertura florestal (200,38 ha vs. 154,78 ha). A acurácia geral de 45% e o índice Kappa de 0,31, entretanto, indicam uma concordância apenas moderada com os dados de referência. Esses valores, considerados baixos para aplicações de precisão, sugerem que fatores como a heterogeneidade da paisagem, a resolução espacial do sensor (30m) e a qualidade das amostras de treinamento podem ter limitado a performance de ambos os algoritmos.

O desempenho foi significativamente inferior com a imagem CBERS 4A - MUX. Embora tenham sido observadas tendências similares (como a maior detecção de água pelo Dzetsaka), as discrepâncias foram extremas, particular para as classes "Cultura Temporária" e "Terra Exposto". O índice Kappa de 0,072 e a acurácia de 11,5% revelam uma concordância quase aleatória entre os classificadores. Este resultado crítico aponta para a potencial inadequação das bandas espectrais e da resolução espacial (20m) do sensor MUX para a classificação supervisionada em paisagens complexas como a da BHRT, usando os parâmetros e métodos aqui aplicados, ou a necessidade de um rigoroso controle de qualidade e calibração específica para este tipo de imagem.

Portanto, conclui-se que a seleção do classificador e, fundamentalmente, do sensor de imageamento, é uma etapa metodológica crucial que vai além de uma simples preferência técnica. A validação de campo mostrou-se não apenas recomendável,

mas essencial para calibrar os algoritmos e interpretar criticamente os resultados, conferindo confiabilidade ao produto final.

Perspectivas futuras de pesquisa incluem testar essa comparação com imagens de resolução espacial mais fina (como as do Sentinel-2), desenvolver métodos híbridos que combinem as *strengths* de cada classificador e investir no treinamento contínuo para o uso avançado dessas ferramentas. Dessa forma, será possível maximizar o potencial das geotecnologias para gerar informações precisas e aplicáveis ao planejamento territorial e à gestão ambiental sustentável.

Em última análise, este estudo evidencia que a seleção criteriosa do classificador e do sensor de sensoriamento remoto constitui um pilar fundamental para o planejamento ambiental, uma vez que a precisão do diagnóstico territorial—base para zoneamentos, licenciamentos e políticas de conservação—é diretamente dependente do rigor metodológico adotado, transformando uma escolha técnica aparentemente neutra em uma decisão estratégica com profundas implicações na eficácia da gestão sustentável do território.

REFERÊNCIAS

ÁLVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; DE MORAES GONÇALVES, J.L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso: 7 nov. 2024. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507

ARAUJO, R.C.; ALMEIDA, T.; CICERELLI, R.E.; RODRIGUES, S.P. Reforma Agrária no Brasil: Classificação baseado em objeto e reflectância acumulada no monitoramento e fiscalização da terra. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v.72, n.1, p.100-109, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/rbcv72n1-48545>. Acesso: 11 nov. 2024. DOI: 10.14393/rbcv72n1-48545

BARRERA-LOBATÓN, M.S. Manejo de cuencas hidrográficas durante el siglo XX: un análisis desde la geografía. In: MONTROYA, J.W. (Ed.) **Lecturas en la teoría de la Geografía**. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, p. 233-266, 2009.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, n. 13, 1972. 27f.

BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento Remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores: métodos inovadores**. 2ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 304p.

BLASCHKE, T.; HAY, G.J.; KELLY, M.; LANG, S.; HOFMANN, P.; ADDINK, E.; FEITOSA, R.Q.; MEER, F. V.D.; WERFF, H.V.D.; COILLIE, F.V.; TIEDE, D. Geographic Object-Based Image Analysis – Towards a new paradigm. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 87, n. 100, p. 180-191, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.09.014>. Acesso: 11 nov. 2024. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2013.09.014

BOTELHO, R.G.M.; SILVA, A.S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. *In*: VITTE, A.C.; GUERRA, A.T. (Org.). **Reflexões sobre a Geografia Física Brasileira**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, v. 1, p. 153-192, 2004.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Presidência da República Federativa do Brasil, Casa Civil, Subchefia para 172 Assuntos Jurídicos, Brasília, Distrito Federal. 8 de janeiro de 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/l9433.htm. Acesso: 22 out. 2024.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V.M. Introdução à Ciência da Geoinformação. INPE, 2001. São José dos Campos. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/index.html>. Acesso em 22 de outubro de 2024.

CLAUDINO-SALES, V. Geografia Física, Natureza, Sociedade. **Revista Humboldt**, Rio de Janeiro, v.1, n.2, e57381, 2021. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/humboldt/article/view/57381>. Acesso: 11 nov. 2024.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2008. 200p.

CROSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, 1999.164p.

FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial: teoria, técnicas e exemplos para Geoprocessamento**. São Paulo: Editora Unesp, 2014.344p.

FREIRES, E.V.; SILVA NETO, C.Â.; CUNHA, D.S.R.; DUARTE, C.R.; VERÍSSIMO, C.U.V.; GOMES, D.D.M. Comparação de Imagens OLI/Landsat-8 e MSI/Sentinel-2 no mapeamento de cobertura e uso da terra no Maciço de Uruburetama, Ceará. **Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 4, p. 427-442, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.11137/2019_4_427_442. Acesso: 11 nov. 2024. DOI: 10.11137/2019_4_427_442

FOODY, G.M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 1, p. 185-201, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4). Acesso: 11 nov. 2024. DOI: 10.1016/S0034-4257(01)00295-4

FROLOVA, M. El estudio de los paisajes del agua en una cuenca vertiente: propuesta metodológica. **Revista de Estudios Regionales**, Andalucía, n. 83, p. 21-47, 2008. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75511145001>. Acesso: 22 out. 2024.

GAROFALO, D.F.T., MESSIAS, C.G., LIESENBERG, V., BOLFE, É.L., FERREIRA, M.C. Análise comparativa de classificadores digitais em imagens do Landsat-8 aplicados ao mapeamento temático. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 593-604, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000700009>. Acesso: 11 nov. 2024. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000700009

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Manual Técnico de uso e cobertura da terra**. 3ª Edição, IBGE: Rio de Janeiro, 2013. 170p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=281615>. Acesso: 22 out. 2024.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Divisão de processamento de imagens**. 2020 a. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br>. Acesso: 10 nov. 2020.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **CBERS-4 Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres**. 2020b. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/hotsite/>. Acesso: 10 nov. 2020.

LIMA, C.S., QUEIROZ NETO, J.P. Contribuição metodológica para estudos ambientais integrados nos cerrados. *In*: SHIKI, S. GRAZIANO, J.S.; ORTEGA A.C. (Org). **Agricultura, meio ambiente e sustentabilidade do cerrado brasileiro**. Uberlândia: Gráfica da UFU, p. 245-255, 1997.

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T.; BAPTISTA, G.M.M. **Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.334p.

MIRANDOLA-GARCIA, P.H.M. Discussão teórica dos métodos e técnicas para estudos em bacias hidrográficas. **Ciência Geográfica**, Bauru, v.20, n.1, p.44-57, 2016. Disponível em: https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/revista/anoXX_1/agb_xx1_versao_internet/Revista_AGB_dez2016-03.pdf. Acesso: 22 out. 2024.

MORAGAS, W.M. **Análise dos sistemas ambientais na alta bacia hidrográfica do Rio Claro – sudoeste de Goiás, de 1963 a 2001**. 2005. 214f. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

NOVO, E. M. L. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4ª Edição. São Paulo: Blucher, 2010. 388p.

PALHARES, J.M. Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Rio Tamanduá Foz do Iguaçu -PR. **Ciência Geográfica**, Bauru, v. 11, n. 3, p. 182-192, 2005.

QGIS 3.10. Disponível em: https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html. Acesso: 10 fev. 2020.

SANO, E.E.; SILVA, L.R. Análise das imagens do satélite Rapideye para discriminação da cobertura vegetal do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v.68, n.7, p.1269-1283, 2016. Disponível: <https://doi.org/10.14393/rbcv68n7-44359>. Acesso: 11 nov. 2024. DOI: 10.14393/rbcv68n7-44359

SANTOS JUNIOR, E.P; SCHEER, M.A.P.S.; QUEIROS NETO, E.; PALHARES, J.M. Tipificação climática de Foz do Iguaçu - PR e de padrões de variação na disponibilidade de água para a cultura da soja. **Ciência Geográfica**, Bauru, v. 25, n. 3, p. 821-837, 2021. Disponível em: https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/revista/anoXXV_3/agb_xxv_3_web/agb_xxv_3-01.pdf. Acesso: 22 nov. 2024.

SCHEER, M.A.P.S. **Geoprocessamento e o modelo Shift-Share na análise das transformações do uso da terra nos municípios do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu (SP), 1979 a 2001**. 2004. 141f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SCHEER, M.A.P.S. Geoprocessamento e o modelo shift-share na análise das transformações do uso da terra em municípios da Bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu (SP), 1979 a 2001. **GeoTextos**, Salvador, v. 4., n. 1-2, p. 53-75, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/1984-5537geo.v4i0.3296>. Acesso: 11 nov. 2024. DOI: 10.9771/1984-5537geo.v4i0.3296

SCHEER, M.A.P.S.; SILVA, J.S.; GARCIA, P.H.M.; FOSCHIERA, A.A. Proposta Metodológica com Software Livre: classificação do uso e cobertura da terra e a análise do cadastro ambiental rural na BHRT-PR (2020). *In*: Congresso Brasileiro de Organização do Espaço, XV Seminário de Pós-Graduação em Geografia. **Anais**. UNESP- Programa de Pós-Graduação em Geografia, p.302-314, 2021.

SILVA, L.C.N; BACANI, V. M. Classificação orientada a objeto (GEOBIA) aplicada à análise das alterações do uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Rio da Prata em Jardim Bonito – MS. **Geografia**, Londrina, v. 26, n. 1, p. 5-18, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2017v26n1p05>. Acesso: 11 nov. 2024. DOI: 10.5433/2447-1747.2017v26n1p05

SU, Z. Remote Sensing of land use and vegetation for mesoscale hydrological studies. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 2, p. 213-233, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/014311600210803>. Acesso: 11 nov. 2024. DOI: 10.1080/014311600210803

USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos da América). **Landsat 8**. 2020. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>. Acesso: 10 mar. 2020.

VALE, C.C.; SILVA, A.L. Classificação supervisionada dos maciços vegetais e cobertura do solo no aglomerado urbano de São Raimundo das Mangabeiras - MA. **Acta Tecnológica**, São Luís, v.14, n.1, p.93-101, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ifma.edu.br/actatecnologica/article/view/924>. Acesso: 11 nov. 2024. DOI: 10.35818/acta.v14i1.924

VESCOVI, F.D.; GOMARASCA, M.A. Integration of optical and microwave remote sensing data for agricultural land use classification. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.58, n.2, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1006047906601>. Acesso: 11 nov. 2024. DOI: 10.1023/A:1006047906601

VICENS, R.S.; RODRIGUEZ, J.M.; CRONEMBERGER, F.M. A paisagem físico-geográfica: representação cartográfica. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v.64, n.2, p.2-17, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.21579/issn.2526-0375_2019_n2_2-17. Acesso: 11 nov. 2024. Acesso: DOI: 10.21579/issn.2526-0375_2019_n2_2-17

Contribuições de autoria

1 – Marcia Aparecida Procopio da Silva Scheer

Professora Titular na Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Pós-doutorado em Geografia pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul <https://orcid.org/0000-0001-7718-4002> – marcia.scheer@unila.edu.br
Contribuição: Conceituação; Metodologia; Curadoria de dados; Análise formal; Escrita – primeira redação; Escrita – revisão e edição

2 – Patricia Helena Mirandola Garcia

Professora Titular da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Pós-doutorado em Geografia pela Universidade de São Paulo

<https://orcid.org/0000-0002-7337-798X> – patricia.garcia@ufms.br

Contribuição: Supervisão; Conceituação; Metodologia; Seleção das imagens Landsat 8 e CBERS 4A (critérios de baixa nebulosidade e adequação espectral); Processamento digital e classificação no QGIS; Visualização (produtos cartográficos); Escrita – revisão e edição

3 – Jair Souza da Silva

Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Tocantins

<https://orcid.org/0000-0002-0402-9260> – jairsouza.geo@gmail.com

Contribuição: Conceituação; Investigação; Coleta e organização de dados de campo; Apoio na classificação e validação; Curadoria de dados; Visualização (produtos cartográficos); Escrita – revisão e edição

4 –Atamis Antônio Foschiera

Professor Assistente da Universidade Federal do Tocantins, Pós-doutorado em Geografia pela Universidade Federal de Goiás

<https://orcid.org/0000-0002-1306-4180> – foschieraa@mail.uft.edu.br

Contribuição: Conceituação; Apoio metodológico; Validação; Escrita – revisão e edição

5 –Paulo Miguel de Bodas Terassi

Professor Visitante na Universidade Federal da Integração Latino-Americana

<https://orcid.org/0000-0002-8184-0348> – pmbterassi@gmail.com

Contribuição: Conceituação; Revisão técnica e científica do manuscrito; Ajustes metodológicos e de layout; Escrita – revisão e edição

Como citar este artigo

SCHEER, M. A. P. DA S.; GARCIA, P. H. M.; SILVA, J. S. DA; FOSCHIERA, A. A.; TERASSI, P. M. DE B. Avaliação de classificadores para análise de uso da terra com imagens do Landsat 8 e CBERS 4A (2020) na bacia hidrográfica do rio Tamanduá, Paraná. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 29, e89743 , 2025. Disponível em: 10.5902/2236499489743 . Acesso em: dia mes abreviado e ano