

# **CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA USO DO SOLO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MAHALANOBIS DISTANCE E MAXIMUM LIKELIHOOD**

Júlia Stefane da Silva Vieira<sup>1</sup>

## **INTRODUÇÃO**

O uso da terra é um fator determinante para entender as interações entre processos naturais e atividades humanas, impactando diversos aspectos econômicos, sociais e ambientais. Geotecnologias, como Sistemas de Informação Geográfica (SIG), geoprocessamento, Global Positioning System (GPS) e sensoriamento remoto, têm se mostrado fundamentais na análise espacial e no planejamento (FONSECA et al., 2013; FONSECA et al., 2016). A análise geomorfológica desempenha um papel crucial na compreensão das características do relevo e na orientação do uso da terra, influenciando significativamente atividades urbanas, industriais e outras (RIBEIRO, 2010; GIRÃO e CORRÊA, 2004).

O crescimento socioeconômico recente de Goiana e áreas vizinhas, especialmente com o estabelecimento do polo automotivo da Jeep FIAT/Chrysler, tem introduzido novas dinâmicas no uso da terra e impactos nas unidades geomorfológicas da região (VIEIRA; REIS; GIRÃO, 2020). Com isso, a compreensão do risco ambiental e da vulnerabilidade é essencial para gerenciar esses impactos de forma eficaz (CARPI et al., 2007)

Neste contexto, os objetivos deste estudo são: delimitar as unidades geomorfológicas e classificar as formas de uso da terra em Goiana; correlacionar as unidades de relevo às formas de uso identificadas; avaliar a acurácia do mapeamento digital das unidades geomorfológicas e formas de uso utilizando o índice de Kappa; e comparar a acurácia dos métodos de classificação digital das imagens.

---

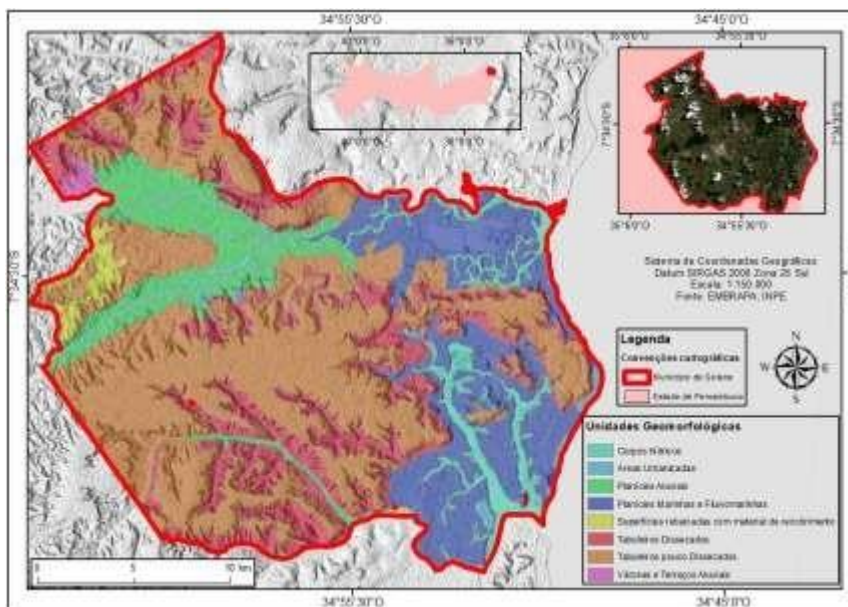
<sup>1</sup> Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, [julia.vieira@academico.ufpb.br](mailto:julia.vieira@academico.ufpb.br)

## METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

A área de estudo está situada no município de Goiana, Pernambuco, entre as coordenadas 7° 35' 30'' S e 34° 53' 30'' O, abrangendo uma extensão aproximada de 300km<sup>2</sup>, a cerca de 20 km da linha de costa (Figura 1).

A região de Goiana está inserida na Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba, caracterizada predominantemente por tabuleiros costeiros, que oferecem condições favoráveis para a agricultura e desenvolvimento urbano (MABESOONE; ALHEIROS, 1989). O clima é classificado como tropical chuvoso, com uma temperatura média anual de aproximadamente 26 °C e precipitação que supera 1200 mm por ano.

**Figura 1:** Mapa Geomorfológico da área de estudo



**Fonte:** Autoral, 2024.

Para o estudo, foram utilizados dados obtidos através do Google Earth Pro, ArcGIS 10.5 e ENVI 4.7. As imagens LANDSAT 8 foram empregadas para a classificação digital, utilizando os métodos de Mahalanobis Distance e Maximum Likelihood. A acurácia dos mapas gerados foi avaliada por meio de uma matriz de confusão e do índice de Kappa, conforme a metodologia constada em Figueiredo e Vieira(2007). A vetorização das unidades geomorfológicas foi baseada na classificação do IBGE (2009), com o objetivo de fornecer um mapeamento preciso das unidades de relevo.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Diversos estudos têm abordado a aplicação das geotecnologias para a análise e gestão do uso da terra, com enfoques variados. Pachecho et al. (2021) demonstram que o uso integrado de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Sensoriamento Remoto tem aprimorado significativamente a precisão das análises de uso da terra, destacando a capacidade dessas ferramentas para identificar mudanças de forma mais eficaz do que métodos tradicionais de levantamento em campo. Este avanço é contrastado por Zarandian et al. (2023) que apontam limitações nas resoluções espaciais e temporais das imagens de satélite, sugerindo a necessidade de complementação com dados de campo para uma análise mais completa.

Além disso, a literatura recente também explora a interação entre as características geomorfológicas e o uso da terra. Menezes et al. (2007) investigam como a integração de dados geomorfológicos com modelos de uso da terra pode melhorar a previsão de riscos ambientais, como deslizamentos e inundações, proporcionando uma abordagem mais robusta em comparação com estudos anteriores que consideravam apenas dados de uso da terra sem integrar a análise geomorfológica. Esta integração é especialmente relevante para a gestão sustentável do território, conforme discutido por Santos (2020), que enfatizam a importância de considerar fatores geomorfológicos para a definição de zonas de risco e planejamento urbano.

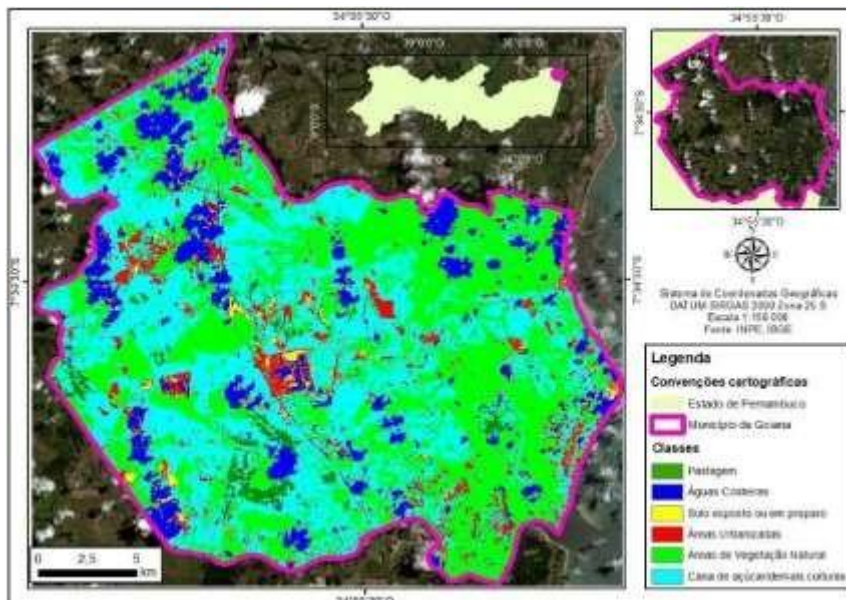
Por outro lado, a avaliação da acurácia das classificações de uso da terra também tem sido um foco importante. Mastela e Vieira (2018) e Nery (2013), exploram diferentes métodos de classificação de imagens, como Redes Neurais e Máxima Verossimilhança, e discutem como a acurácia dessas classificações pode variar dependendo da metodologia e do tipo de dados utilizados. Isso contrasta com a abordagem de Bernardes et al. (2018), que focam na aplicação prática dessas classificações em cenários reais, oferecendo insights sobre a eficácia desses métodos na detecção de mudanças de uso da terra.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de uso da terra para o município de Goiana foram obtidos através dos métodos de classificação supervisionada Mahalanobis Distance e Maximum Likelihood, e validados com o índice de Kappa. Foram coletados 1133 pixels das imagens digitais, distribuídos entre seis classes: Pastagem, Águas Costeiras, Solo Exposto ou em Preparo, Áreas Urbanizadas, Áreas de Vegetação Natural e Cana-de-açúcar/demais Cultivos.

A classificação pelo método Mahalanobis Distance resultou em um índice de Kappa de 0,7431, indicando um acordo substancial. Já o método Maximum Likelihood apresentou um índice de Kappa de 0,9058, refletindo uma concordância perfeita. A matriz de confusão revelou que a maior parte dos conflitos nas classes ocorreu entre Áreas Urbanizadas e outras classes, como Solo Exposto ou em Preparo, devido a semelhanças espectrais. Áreas de Vegetação Natural apresentaram poucos conflitos, sugerindo uma maior precisão na classificação dessa classe.

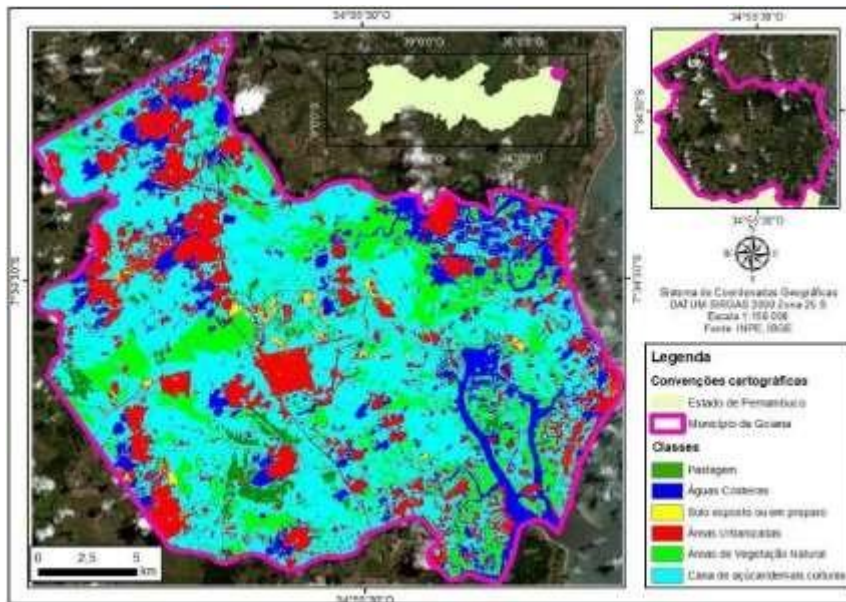
**Figura 2:** Classificação de usos pelo método Mahalanobis distance



Fonte: Autoral, 2024.

**Figura 3:** Classificação de usos pelo método Maximum

## Likelihood



Fonte: Autorial, 2024

As interferências das nuvens nas imagens também impactaram os resultados, evidenciando a necessidade de correção nas análises futuras.

A matriz de confusão foi usada para validar o mapeamento de classes, mostrando a porcentagem de pixels classificados corretamente. O índice de Kappa, que varia de 0 a 1, avalia a concordância entre o mapeamento digital e a Verdade Terrestre (Landis e Koch, 1977).

**Tabela I: Valores do índice de Kappa**

Valores de Kappa	Significado
<0	Não existe concordância
0,00 – 0,19	Concordância mínima
0,20 – 0,39	Concordância razoável
0,40 – 0,59	Concordância moderada
0,60 – 0,79	Acordo substancial
0,80 – 1,0	Concordância perfeita

Fonte: Landis e Koch, 1977.

Os índices de Kappa obtidos foram:

**Tabela II: Coeficiente Kappa por método**

<b>Classificador</b>	<b>Coeficiente Kappa</b>
Mahalanobis Distance	0,7431
Maximum Likelihood	0,9058

**Fonte:** Autoral, 2024.

O método Maximum Likelihood apresentou uma concordância perfeita (Kappa = 0,9058), enquanto o Mahalanobis Distance (MD) teve um acordo substancial (Kappa = 0,7431). Esses resultados indicam que o Maximum Likelihood (ML) foi mais preciso na classificação das imagens.

Assim, constou-se que o ML conseguiu distinguir com maior precisão entre as categorias de uso do solo, como Áreas Verdes (vegetação natural e culturas temporárias), Corpos Hídricos e Áreas Urbanizadas. Isso foi especialmente importante para identificar corretamente áreas de vegetação natural em meio a outras formas de uso e para distinguir entre áreas urbanas e outros tipos de solo exposto ou em preparo.

A análise do índice de Kappa confirmou que o ML ofereceu uma concordância superior com a verdade terrestre, refletindo uma melhor identificação das categorias de uso do solo na área.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O avanço das tecnologias espaciais, como satélites e sensores remotos, possibilitou o detalhado reconhecimento da superfície terrestre, essencial para decisões em diversas escalas e para o planejamento socioeconômico.

Os resultados da comparação entre os métodos de classificação Mahalanobis Distance e Maximum Likelihood mostraram que o método Maximum Likelihood, com um índice de Kappa de 0,9058, apresentou uma concordância perfeita, enquanto o Mahalanobis Distance, com um índice de Kappa de 0,7431, mostrou um acordo substancial. Isso evidencia que o Maximum Likelihood é a técnica mais precisa para a classificação das imagens.

Os resultados reforçam a relevância das geotecnologias na tomada de decisões de mitigação ambiental, oferecendo suporte valioso para futuras pesquisas na área.

**Palavras-chave:** Uso da terra; Sensoriamento remoto; Fotointerpretação; Classificação digital.

## REFERÊNCIAS

BERNARDES, T. et al. Avaliação da acurácia do mapeamento do uso da terra no complexo Serra Negra, Patrocínio, MG, por interpretação visual e classificação automática de imagens Landsat. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, v. 13, p. 5587-5594, 2007.

CARPI, S.; DAGNINO, R. S.; SCALEANTE, O. Aparecida Furquim. Percepção e Mapeamento de Riscos em Campinas/SP. **Olam Ciência & Tecnologia**, v. 7, n. 1, p. 545-568, 2007.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O.. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 13, p. 5755-5762, 2007.

FONSECA, S. F.; SANTOS, D. C.; HERMANO, V. M. 2013. Geoprocessamento aplicado à análise dos impactos socioambientais urbanos: estudo de caso do Bairro Santo Expedito em Buritizeiro/MG. **Revista de Geografia (UFPE)**, vol. 30, n. 3, p. 178-191.

FONSECA, S. F.; HERMANO, Vívian Mendes; SILVA, Alexandre Christófar. Mapeamento do uso da terra nos municípios de Janaúba e Nova Porteira (MG) usando dados de sensoriamento remoto. **Élisée-Revista de Geografia da UEG**, v. 5, p. 103-119, 2016.

GIRÃO, Osvaldo; CORREA, AC de B. A contribuição da geomorfologia para o planejamento da ocupação de novas áreas. **Revista de Geografia, Recife**, v. 21, n. 2, p. 36-58, 2004.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **biometrics**, p. 159-174, 1977.

MABESOONE, J. M.; ALHEIROS, M. M. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. **Revista brasileira de geociências**, v. 18, n. 4, p. 476-482, 1989.

MASTELLA, A. F.; VIEIRA, C. A. Acurácia temática para classificação de imagens utilizando abordagens por pixel e por objetos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 5, p. 1618-1643, 2018.

MENEZES, J. B. et al. Índice de Vulnerabilidade à Erosão para Uma Bacia na Mesorregião do São Francisco Pernambucano, d Partir das Relações entre Morfogênese e Pedogênese. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 2, 2007.

NERY, C V. M. et al. Avaliação das técnicas de classificação Maxver, Maxver-ICM e Distância Mínima Euclidiana de acordo com Índice Kappa. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 2, p. 320-328, 2013.

PACHECO, A. P. et al. Assessment of k-nearest neighbor and random forest classifiers for mapping forest fire areas in central Portugal using Landsat-8, Sentinel-2, and Terra imagery. **Remote Sensing**, v. 13, n. 7, p. 1345, 2021.

RIBEIRO, Simone Cardoso. Geomorfologia de áreas semi-áridas: uma contribuição ao estudo dos sertões nordestinos. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 27, n. 1, p. 120-137, 2010.

SANTOS, R. Planejamento ambiental e ordenamento territorial: subsídios à gestão ambiental do município de Presidente Epitácio, estado de São Paulo. Tese (**Doutorado – Programa de Pós-graduação em Geografia**) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, São Paulo. 2020.

VIEIRA, J. S. da Silva; REIS, L. H. R.; GIRÃO, O. Análise morfodinâmica de ambientes costeiro e estuarino do município de Goiana, Litoral norte do estado de Pernambuco. **Revista Cerrados**, v. 18, n. 01, p. 83-106, 2020.

ZARANDIAN, A. et al. Scenario modeling to predict changes in land use/cover using Land Change Modeler and InVEST model: a case study of Karaj Metropolis, Iran. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 195, n. 2, p. 273, 2023.