



MODELAGEM PREDITIVA NA SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO EM ÁREAS NO ENTORNO DO LAGO DE ITAPARICA – SUBMÉDIO RIO SÃO FRANCISCO

Sidney Walison Santos da Silva ¹
Maria Rita Monteiro de Lima ²
Daniel Dantas Moreira Gomes ³
Kleber Carvalho Lima ⁴

RESUMO

A região semiárida nordestina apresenta áreas extensas suscetíveis aos processos de degradação, a partir de fatores naturais, como também dos processos de uso e ocupação. Deste modo, torna-se necessário a identificação de setores críticos, a fim de contribuir com a proteção e recuperação. Diante disso, objetivou-se identificar áreas suscetíveis aos processos erosivos em municípios no entorno do Lago de Itaparica em Pernambuco, como forma de identificar setores com maiores índices de suscetibilidade à erosão. A técnica utilizada, a Regressão Logística, adotou-se variáveis a partir do Modelo Digital de Terreno do Projeto Pernambucano Tridimensional (PE3D). Como também, foram coletados pontos de erosão, definidos com base nas ortoimagens do PE3D, e pontos sem erosão gerados em áreas menos propensas ao surgimento erosivo. Os resultados apresentaram que as variáveis como Declividade apresentaram maior influência no surgimento de áreas degradadas e no contexto geral Floresta, Belém do São Francisco e Itacuruba apresentaram grandes extensões de áreas com índices de Alta à Muito alta suscetibilidade aos processos erosivos. Portanto, a partir dos resultados obtidos, evidencia-se a necessidade de estratégias voltadas ao uso e ocupação destas áreas, com base na gestão e planejamento para mitigação dos efeitos da degradação ambiental, tendo em vista, o atual cenário vigente da construção do Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca.

INTRODUÇÃO

No semiárido brasileiro, os processos de degradação afetam uma grande parcela do território e impulsionam problemáticas socioambientais (Vieira *et al.*, 2021). A erosão é um dos principais fatores que contribuem com a degradação no semiárido, associadas a fatores climáticos e intensificadas pela atividade antrópica (Corrêa; Souza, Cavalcanti, 2014).

No contexto do semiárido pernambucano, percebe-se o avanço de estágios de degradação, através de práticas agrícolas ineficientes, como também pelas grandes extensões de áreas para a caprinocultura (Xavier *et al.*, 2020; Barbosa Neto *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2023).

¹ Mestrando do PPG em Saúde e Desenvolvimento Socioambiental da Universidade de Pernambuco – UPE, sidney.walison@upe.br.

² Mestranda do PPG em Saúde e Desenvolvimento Socioambiental da Universidade de Pernambuco - UPE, mariarita.lima@upe.br.

³ Professor: Doutor, Universidade de Pernambuco – UPE, daniel.gomes@upe.br.

⁴ Professor: Doutor, Universidade de Pernambuco – UPE, kleber.carvalho@upe.br.



De acordo com a Secretaria de Meio Ambiente de Pernambuco (SEMAS-PE, 2020), os municípios da região de Desenvolvimento de Itaparica, integram zonas consideradas altamente suscetíveis à desertificação. E ao longo dos anos, foram impulsionadas através de uma nova dinâmica do uso da terra marcada pela construção de grandes empreendimentos, como a construção da usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga, e o Eixo Leste da transposição do rio São Francisco.

Desse modo, evidencia-se a necessidade de diagnósticos que permitem identificar setores estratégicos para o combate da degradação. Na literatura recente, modelos de aprendizagem de máquina vêm sendo amplamente utilizados para a análise de áreas suscetíveis aos processos erosivos (Baiddah *et al.*, 2023; Gelete *et al.*, 2024; Fonseca; Silva Filho, 2024; Marques Filho *et al.*, 2024).

A partir desse contexto, o presente estudo tem como objetivo identificar áreas suscetíveis aos processos erosivos nos municípios de Belém do São Francisco, Floresta e Itacuruba. Para o alcance do objetivo, utilizou-se produtos LiDAR do Projeto Pernambuco Tridimensional (PE3D) e adotou-se o modelo de Regressão Logística para a análise.

MATERIAIS E MÉTODOS

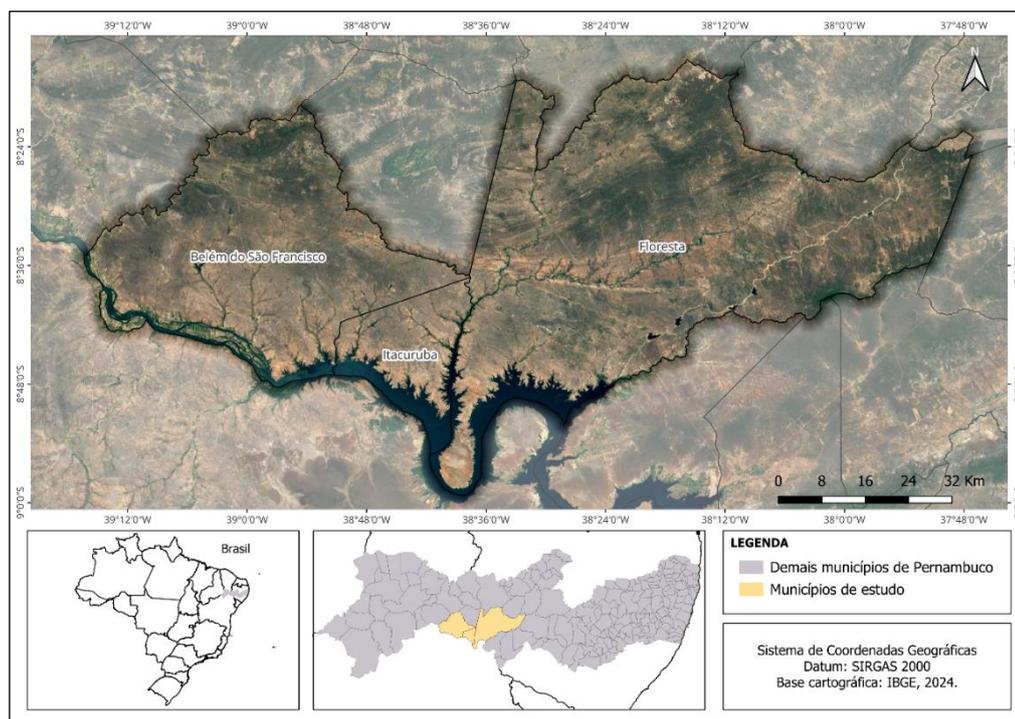
Área de estudo

A pesquisa concentra-se nos municípios de Belém do São Francisco, Floresta e Itacuruba, localizados no estado de Pernambuco. O clima local é semiárido, com precipitações médias em torno de 528 mm/ano e temperatura média anual por volta de 24°C (APAC, 2023).

Sobre o relevo, a paisagem é caracterizada por extensas áreas de aplainamento, sobre o embasamento de rochas cristalinas, pertencentes à Depressão Sertaneja (IBGE, 2023), com presença de pedimentos e inselbergues. A altitude deste terreno varia, em geral, de 299 a 1.059 metros, com a maior parte da área apresentando baixa declividade, com inclinações que ficam predominantemente entre 0 e 5%.

Como também, predomina-se na região a presença de Planossolos Nátricos e Luvisolos Crômicos, e no quadro regional são caracterizados pela baixa permeabilidade, rasos e predispostos ao escoamento difuso (Barbosa *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2023).

Figura 1. Mapa de localização dos municípios de Belém do São Francisco, Floresta e Itacuruba - Pernambuco



Fonte: Autores (2025)

Procedimentos metodológicos

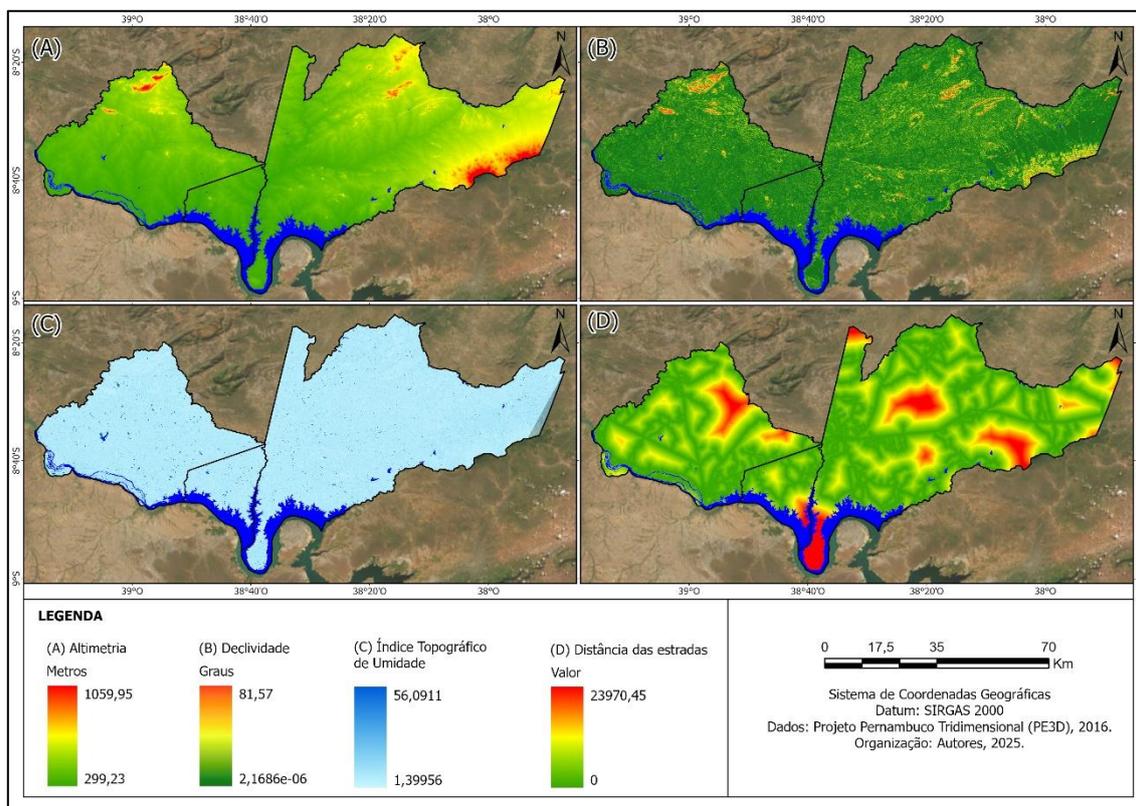
Na presente pesquisa, utilizou-se dados da superfície, como o Modelo Digital de Terreno (MDT) e ortomagem de 2016 através do levantamento LiDAR, do Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), fornecidos pela Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC).

Além disso, com base no MDT, foram executados procedimentos de pré-processamentos para melhores resultados (Dietrich *et al.*, 2019), com isso, foram extraídos produtos condicionantes, referentes à dinâmica geomorfológica e hidrológica, expostos na Figura 2, como: Altitude, Declividade, Índice topográfico de umidade (TWI) e Distância das estradas, assim como em trabalhos anteriores realizados por (Baidah *et al.*, 2023; Alexandre *et al.*, 2024; Marques Filho *et al.*, 2024)



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

Figura 2. Fatores condicionantes adotados na Regressão Logística.



Fonte: Autores, 2025.

A partir dos produtos, adotou-se procedimentos propostos por Silva *et al.*, (2024) para a identificação de feições erosivas em áreas predominantemente aplainadas, além da adoção de técnicas de fotointerpretação propostas por Formaggio; Sanches (2017) e Zhang; Liu (2019), com isso, criou-se o inventário erosivo com 212 amostras com ocorrência de processos erosivos. Posteriormente, foram geradas 212 amostras aleatórias sem a presença erosiva, totalizando 424 amostras.

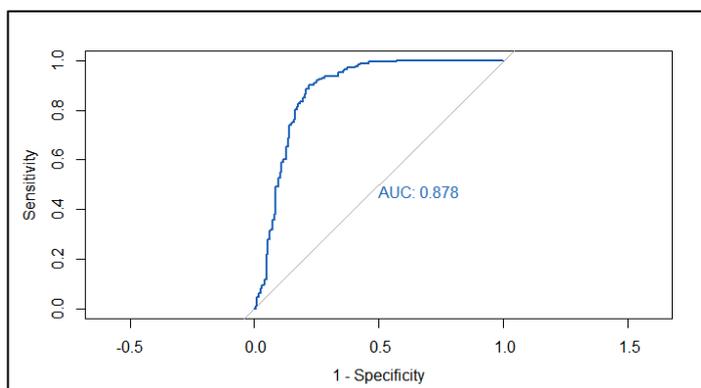
Com isso, o teste de multicolinearidade foi executado para a verificação dos fatores de controle, adotando limite para o Fator de Inflação Variável (VIF) < 10 (Marques Filho *et al.*, 2024).

Modelo de aprendizado de máquina

Nesta etapa, adotou-se o modelo preditivo de Regressão Logística, proposta que se demonstrou eficaz em estudos anteriores propostos por Fonseca; Silva Filho (2023); Baiddah *et al.*, (2023); Alexandre *et al.*, (2024). Além disso, adaptando-a às características referentes à área de estudo.

A validação do modelo foi a partir da Curva (AUC) do Receiver Operating Characteristic (ROC), amplamente utilizada em modelos de Machine Learning, que mede a precisão de confiabilidade dos modelos (Gelete *et al.*, 2024). Para o modelo utilizado, a curva AUC foi considerada satisfatória, com valor de 0.878 (Figura 3).

Figura 3. Curva AUC para o modelo de Regressão Logística.



Fonte: Autores, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, são expostos os resultados do Fator de Inflação de Variância (VIF), como também o resultado final do modelo adotado. Observou-se valores abaixo de 5 para o VIF, o que indicou que não houve problemas de multicolinearidade entre as variáveis. Os resultados do modelo final, apontaram o valor de $p < 0,05$, o que indicou significância para cada variável utilizada, além disso, os outros aspectos possibilitaram interpretar o impacto de cada variável.

Tabela 1: Análise de Multicolinearidade (VIF) e Resumo do modelo de Regressão Logística.

Variável	Fator VIF	Estimativa	Erro Padrão	Valor p	Odds Ratio
Intercept	-	8.761e+00	1.585e+00	3.24e-08	6377.6
Altitude	1.164287	-3.675e-02	4.981e-03	1.62e-13	0.964
Declividade	1.443745	6.260e-01	8.101e-02	1.10e-14	1.870
TWI	2.870658	2.877e-01	6.128e-02	2.66e-06	1.333
Distância das estradas	1.166955	-1.071e-04	5.443e-05	0.0492	0.999

Fonte: Autores, 2025.

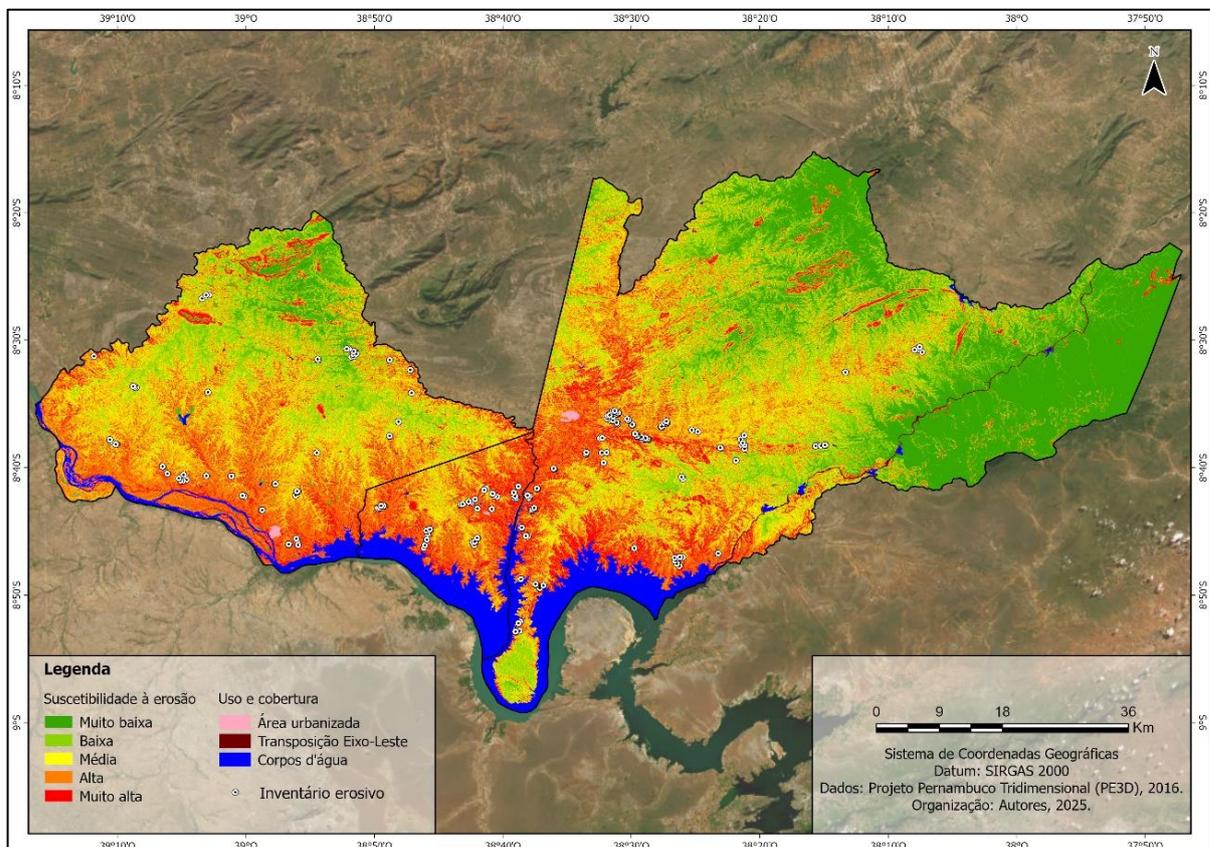
Desse modo, destaca-se que um dos fatores que indicou maior influência no aumento do risco da erosão, foi a declividade, contudo, como observado na (Figura 2-B), a área de estudo

correspondeu em sua maior parte, com áreas com baixa declividade, porém evidenciou que o mínimo de declive já intensifica a possibilidade do surgimento ao processo erosivo. Como também, o modelo detectou que áreas com maiores índices de umidade, são facilitadores para o surgimento erosivo, o que correspondeu que a saturação dos solos aumenta a possibilidade erosiva (Guerra, 2015).

No que se refere aos fatores que diminuem o risco, as erosões encontram-se em áreas de menor altitude, nesse sentido, Perez-Marin *et al.*, (2012) aponta que as áreas de menor altimetria, constituem-se de vegetação mais rarefeita, o que influência diretamente na pouca capacidade de retenção dos fluxos de drenagem, e conforme segue-se a vertente, a vegetação comporta-se mais adensada. Como também, observou-se que a proximidade das estradas, intensificam o surgimento dos processos erosivos.

E a partir do modelo, gerou-se o mapa de suscetibilidade à erosão (Figura 4) com a espacialização das distintas categorias, observou-se que as áreas próximo ao Lago de Itaparica apresentaram maior suscetibilidade, assim como a área que recobre o lineamento geológico no município de Floresta.

Figura 4. Mapa de suscetibilidade à erosão gerado por meio de modelagem preditiva, abrangendo os municípios de Belém do São Francisco, Floresta e Itacuruba – PE.



Fonte: Autores, 2025.

Além disso, obteve-se os valores referentes a área ocupada por cada classe de suscetibilidade e a proporção relativa à área total dos municípios, e observou-se o alto grau de suscetibilidade com maiores taxas relativas ao município de Itacuruba, seguido por Belém do São Francisco e Floresta (Tabela 2).

Tabela 2: Distribuição das áreas (km²) e percentual das categorias de suscetibilidade à erosão, relativa à área total de cada município.

Classes	Belém do São Francisco		Itacuruba		Floresta	
	Área (Km ²)	%	Área (Km ²)	%	Área (Km ²)	%
Muito baixa	105,04	5,74%	–	–	999,50	27,50%
Baixa	376,07	20,55%	5,12	1,17%	820,00	22,56%
Média	460,01	25,15%	59,00	13,53%	632,58	17,40%
Alta	453,10	24,77%	120,00	27,51%	466,54	12,83%
Muito alta	370,24	20,24%	138,75	31,81%	529,00	14,55%

Fonte: Autores, 2025.

Como pode-se observar, a situação mais alarmante foi identificada no município de Itacuruba, com cerca de 258,75 km² do território classificado em Alta e Muito alta à suscetibilidade erosiva, o que correspondeu à 59,32% da área total do município. Esse percentual elevado, indicou intensa vulnerabilidade frente aos processos de degradação correlacionados as variáveis adotadas no modelo. Em Belém do São Francisco, as classes totalizaram 823,34 km², equivalente a 45% da área total do município, configurando-se em uma extensa área territorial com fator alarmante.

Já o município de Floresta, a área sob Alta e Muito alta suscetibilidade somaram 995,54 km², o que representou 27,38% da área total do município. Embora o percentual do município seja o menor em proporção relativa, concentra-se a maior área absoluta em categorias alarmantes à suscetibilidade erosiva.

De forma geral, os resultados confirmaram que a região de estudo apresenta extensas áreas altamente suscetíveis aos processos de degradação, o que possibilitou um diagnóstico essencial para a priorização de áreas estratégicas para o combate à degradação.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem utilizada no presente artigo, mostrou-se eficiente para a identificação de áreas suscetíveis à erosão, com grande parte das áreas do município com alta tendência para a degradação ambiental.

Conforme os indicadores de desempenho do modelo de aprendizado de máquina, e as variáveis adotadas, o modelo apresentou-se consistente com a literatura atual para a área. Portanto, considera-se que além do desempenho métrico, a validação em campo é fundamental. Ainda, se considera a adoção de Bacias hidrográficas para a aplicação de novas variáveis e distintos modelos que possam contribuir de forma mais detalhada com a compreensão da dinâmica do território.

Com isso, o estudo contribui para o inventário de estudos geoambientais, considerando o atual momento de construção do Plano de Ação e Combate contra a Desertificação, e possibilita ações estratégicas de mitigação e gestão do território.

Palavras-chave: Degradação das Terras, Machine Learning, Núcleo de Desertificação de Cabrobó, Regressão Logística, PAB.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), de Bolsa de Pós-Graduação ao primeiro autor (Processo n.º IBPG-1178-4.00/24) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela concessão de bolsa de mestrado ao segundo autor (Processo n.º 130427/2024-1).

REFERÊNCIAS

APAC. **Boletim Climático- Síntese Climática.** / Agência Pernambucana de Águas e Clima. Gerência de Meteorologia e Mudanças Climáticas.– Recife. v.11. n.7. jul. 2023.

BAIDDAH, A.; KRIMISSA, S.; HAJJI, S.; ISMAILI, M.; ABDELRAHMAN, K.; EL BOUZEKRAOUI, M.; ELOUDI, H.; ELALOUI, A.; KHOUZ, A.; BADRELDIN, N.; Namous, M. (2023). Head-cut gully erosion susceptibility mapping in semi-arid region using machine learning methods: Insight from the High Atlas, Morocco. **Frontiers in Earth Science**, 11, 1184038. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1184038>



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

BARBOSA NETO, M.V.; ARAÚJO, M.S.B.; ARAÚJO FILHO, J.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; ALMEIDA, B.G. Rill and sheet soil erosion estimation in an area undergoing desertification in the Brazilian semi-arid region. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 6, p. 1-9, 2020. DOI: 10.1007/s40808-020-01026-y

CORRÊA, A. C. B.; SOUZA, J. O. P.; CAVALCANTI, L. C. S. Solos do ambiente semiárido brasileiro: erosão e degradação a partir de uma perspectiva geomorfológica. In: **Degradação dos solos no Brasil**. [S.l.]: Editora Bertrand Brasil, 2014. . . Acesso em: 24 jul. 2025.

DIETRICH, L. S.; TIGGES, C. H. P.; CORDEIRO, V. A.; SEGATO, L. S.; MARCATTI, G. E. Uso de dados lidar para identificação de locais susceptíveis a erosão em estradas florestais. In: XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Santos-SP, 2019.

FONSECA, E. L.; SILVA FILHO, E. P. Regressão logística binária aplicada ao mapeamento da suscetibilidade à erosão no Sul da Amazônia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 4, e2314, 2023.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento Remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

GELETE, T. B., PASALA, P., ABAY, N. G., WOLDEMARIAM, G. W., YASIN, K. H., KEBEDE, E., & Aliyi, I. (2024). Integrated machine learning and geospatial analysis enhanced gully erosion susceptibility modeling in the Erer watershed in Eastern Ethiopia. **Frontiers in Environmental Science**, 12, 1410741. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1410741>

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.) **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 17-55, 2015.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Banco de Dados de Informações Ambientais**. 2023. Disponível em <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geomorfologia>. Acesso em: 16 de jul. de 2025.

LIMA, M. G. A. et al. Erosão em áreas suscetíveis à desertificação no Semiárido pernambucano: dinâmica espaço-temporal em Belém do São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 3, p. 1229–1245, 2023. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1229-1245>

MARQUES FILHO, J. P. M.; GUERRA, A. J. T.; CRUZ, C.B.M.; JORGE, M. C. O.; BOOTH, C.A. Machine Learning Models for the Spatial Prediction of Gully Erosion Susceptibility in the Piraí Drainage Basin, Paraíba Do Sul Middle Valley, Southeast Brazil. **Land**, 2024, 13, 1665. <https://doi.org/10.3390/land13101665>

PEREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS, S. S. ; TINÔCO, L. B. M.; SALCEDO, I. H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 17, n. 34, p. 87–106, jan./jun. 2012.

SEMAS-PE. **Zoneamento das áreas suscetíveis à desertificação do estado de Pernambuco**. Recife: SEMAS, 2020. 120 p.



SILVA, S. W. S.; LIMA, M. R. M.; RAMOS, R. P. S.; LIMA, K. C. Potencialidades de imagens de alta resolução na identificação de feições erosivas em perímetros irrigados do semiárido brasileiro. **Olam: Ciência & Tecnologia**, v. 19, n. 1, p. 154–163, 2024. DOI: 10.5281/zenodo.14560270.

VIEIRA, R. M. S. P.; TOMASELLA, J.; BARBOSA, A. A.; MARTINS, M. A.; RODRIGUEZ, D. A.; REZENDE, F. S.; CARRIELLO, F.; SANTANA, M. O. Avaliação do risco de desertificação no Nordeste do Brasil: Tendências atuais e cenários futuros. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 2, p. 817-832, fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3681>.

XAVIER, J. P. S.; COUTINHO, E. A. T.; TAVARES, K. C. O.; LISTO, D. G. S.; LISTO, F. L. R. Erosões lineares no semiárido pernambucano: avaliação de uma parcela erosiva em microescala na Depressão São Franciscana. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, n. 2, p. 106-111, 2020. DOI: 10.21680/2447-3359.2020v6n2ID19303

ZHANG, W.; LIU, Y. Research on visual interpretation and spatial distribution pattern of the erosion gully in Luoyugou Watershed of China. **Environment and Natural Resources Research**, v. 9, n. 3, p. 23-31, 2019. DOI:10.5539/enrr.v9n3p23