

ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDADE À DEGRADAÇÃO AMBIENTAL [ISDA] NAS GLEBAS ASSURINI E ITUNA - SUDOESTE DO PARÁ

Rayane Pereira Sodré¹
Erika Kelliane Gonçalves da Silva²
Beatriz Lopes Pereira³
Viviane Valente Saboia de Paiva⁴
Rafael Oliveira da Silva⁵
Elnatan Ferreira Feio⁶
Ricardo de Lima Dias⁷
Haroldo Oliveira e Silva Júnior⁸
Gabriel Alves Veloso⁹

INTRODUÇÃO

As mudanças no uso da terra, especialmente para áreas agrícolas e urbanas, são uma das principais causas da perda de biodiversidade e degradação ambiental no Brasil (Bustamante et al., 2019). A degradação ambiental, que afeta a produtividade, a biodiversidade, a qualidade da água e a viabilidade econômica, pode ter efeitos irreversíveis se os processos envolvidos forem suficientemente intensos e duradouros (Kazmierczak, 1996 *apud* Kazmierczak; Seabra, 2007).

Na Amazônia, o desenvolvimento socioeconômico, impulsionado pela pecuária, expansão urbana, indústrias madeireiras e usinas hidrelétricas, tem intensificado a degradação ambiental. O uso inadequado do solo na agricultura e pecuária contribui para a emissão de gases de efeito estufa, afetando o clima regional e o aquecimento global (Araujo et al., 2022). A ocupação das glebas Assurini e Ituna, historicamente marcada por conflitos agrários devido à grilagem de terras públicas, está diretamente ligada à atuação do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), especialmente na definição de políticas de colonização e assentamentos rurais desde a década de 1970. Essa região, que abrange assentamentos de reforma agrária em Altamira e Senador José Porfírio, é habitada por agricultores locais e indígenas que utilizam baixos níveis tecnológicos. De acordo com o censo agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2022, a produção predominante inclui lavouras

¹ Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, rayane.gazela@gmail.com;

² Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, erikakelliane21@gmail.com;

³ Graduada pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Pará - UFPA, pereiralopes89@gmail.com;

⁴ Graduada pelo Curso de Engenharia Ambiental e Energias Renováveis da Universidade Federal Rural do Pará - UFRA, paiva.ane10@gmail.com;

⁵ Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, rafaelosilva21@gmail.com;

⁶ Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, elnatan.feio9@gmail.com;

⁷ Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Federal - UFPA, ricardo_limadias@hotmail.com;

⁸ Graduado pelo Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Estado do Pará - UEPA, jrharoldo9@gmail.com;

⁹ Professor orientador: Doutor, Faculdade de Geografia - UFPA, gveloso@ufpa.br.

permanentes, como cacau e açaí, lavouras temporárias, como milho e mandioca, e pecuária bovina. (Rocha, 2010; Barreto, 2007 *apud* Almeida; Saraiva; Marinho, 2023;).

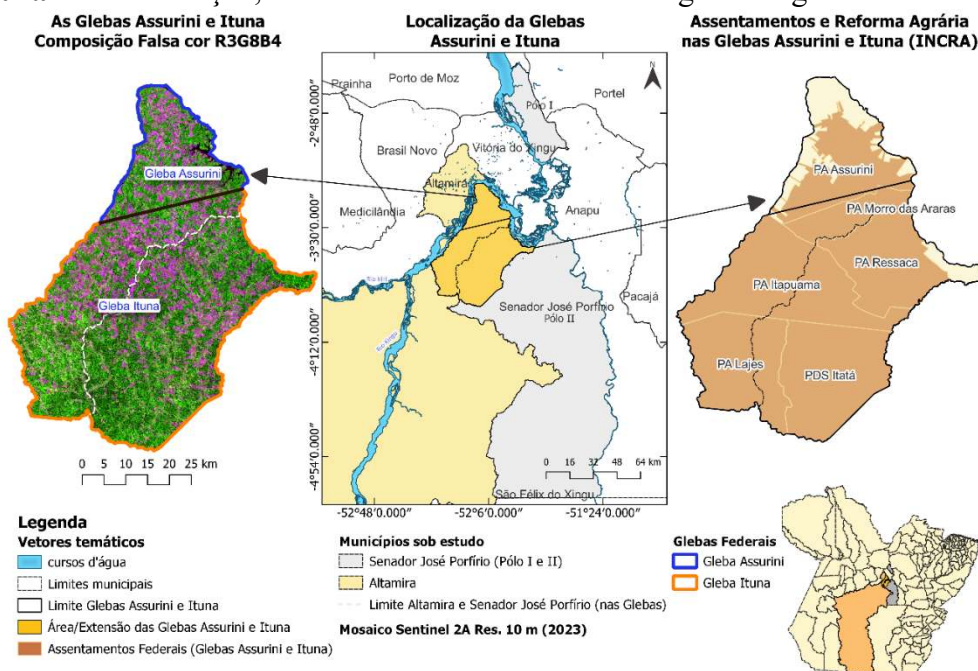
Essas alterações ambientais, que resultam na fragmentação da paisagem e no uso intenso de recursos naturais (Pavlickova; Vyskupova, 2015 *apud* Batista; Bellini; Pisani, 2023), podem ser monitoradas por meio de imagens de satélite, amplamente utilizadas em estudos ambientais por oferecerem uma visão abrangente e contínua da paisagem (Crepani et al, 2001 *apud* Batista; Bellini; Pisani, 2023). Neste sentido, o uso de tecnologias como o Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem crescido devido à sua flexibilidade na análise de dados espaciais, com interfaces aprimoradas que facilitam diagnósticos ambientais (Adami *et al.*, 2012). Essas características tornam o SIG uma ferramenta essencial na criação de índices como o ISDA, criado para calcular o risco de suscetibilidade à degradação ambiental, utilizando indicadores como (i) uso da terra, (ii) *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, em Português), (iii) padrões de precipitação e (iv) erodibilidade, evidenciando o risco espacialmente.

O principal objetivo da pesquisa é avaliar o grau de suscetibilidade à degradação nas glebas Assurini e Ituna, em Altamira e Senador José Porfírio, Pará, usando técnicas de sensoriamento remoto.

MATERIAIS E MÉTODOS

A Área de estudo são as glebas Assurini e Ituna, nos municípios de Altamira e Senador José Porfírio, região sudoeste do Pará, região amazônica, **Figura 1**.

Figura 1 – Localização, assentamentos e mosaico de imagens das glebas Assurini e Ituna.



Sistema de Coordenadas Geográficas: SIRGAS 2000 UTM Zona EPSG: 31982 Elaboração: Rayane P. Sodré (2024)

Fonte: Copernicus Open Access Hub (2024); INCRA (2024); Secretaria Municipal de Regulação Urbana - SERURB Altamira (2024).

Com base nos critérios da classificação climática de Köppen, o clima dos municípios de Altamira e Senador José Porfírio é do tipo equatorial Am₃ (clima de Monção) e Aw (clima tropical com estação seca de Inverno) – Am_{3,4} e Aw_{3,4} (Altamira), Am₄ e Aw₄ (Senador José Porfírio).

Os indicadores para o Índice de Suscetibilidade de Degradação Socioambiental (ISDA) foram baseados em Kazmierczak e Seabra (2007) e Kazmierczak (1996) – de 93 indicadores iniciais, 21 foram selecionados e, após nova triagem, cinco foram escolhidos: Uso do Solo, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*NDVI*), Precipitação, Pressão da Pecuária e Erodibilidade. Neste estudo, foram usados apenas os indicadores de Uso do Solo, NDVI, Precipitação e Erodibilidade, devido à falta de dados específicos sobre pecuária na área de estudo. Para a pesquisa, foram utilizadas imagens (bandas espectrais: B3 (verde, 560 nm), B4 (vermelho, 665 nm) e B8 (infravermelho próximo, 842 nm)) do satélite *Sentinel-2 L2A* (10 m de resolução) da Agência Espacial Europeia (*ESA*), cobrindo o período de 1º de janeiro de 2023 a 27 de julho de 2024. O processamento das imagens de *NDVI* foi realizado no *Google Earth Engine (GEE)*, bem como a composição colorida de falsa cor. A edição de dados vetoriais, álgebra de dados *raster* e criação de mapas temáticos foram feitas nos *softwares QGIS, ArcGIS e ENVI*. A classificação do uso e ocupação do solo para 2023 foi obtida a partir do *site Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover Time Series* produzido por *Impact Observatory e Esri*. O indicador de precipitação foi derivado do conjunto de dados *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS)*, obtido no *GEE*, com análise de krigagem ordinária no *ArcGIS* para melhorar a resolução. A erodibilidade foi calculada no *GEE* com base na declividade, utilizando dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) do *ALOS World 3D – 30 m*, da Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (*JAXA*). Cada indicador foi dividido em cinco classes para o ISDA, com valores e cores específicos, conforme a **Tabela 1**.

Tabela 1 – Relação de cores, valores e classes do ISDA.

Valor	Classe	Cor
1	Muito Alto	Azul escuro
2	Alto	Azul claro
3	Médio	Verde
4	Baixo	Laranja
5	Muito Baixo	Vermelho

Fonte: Modificado de Dantas *et al.* (2018).

Para gerar o mapa de suscetibilidade à degradação ambiental das glebas Assurini e Ituna, os indicadores foram divididos em cinco classes, resultando em um ISDA que varia de 5 a 25. O ISDA é calculado pela equação: $ISDA = USO + NDVI + PPT + ERRO$,

onde USO representa o Uso do Solo, *NDVI* é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, PPT é a Precipitação, e ERRO é o Potencial de Erodibilidade. Cada classe de indicador tem peso e valor iguais, permitindo a espacialização do ISDA para identificar as áreas mais suscetíveis à degradação. A Pressão Exercida pela Pecuária (PEP) não foi utilizada neste trabalho, conforme já explicado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise dos índices

A **Tabela 2**, abaixo, mostra a classificação para grau/peso de susceptibilidade dos indicadores elaborados para o cálculo do ISDA, conforme Kazmierczak e Seabra (2007) e Dantas *et al.* (2018), para as glebas Assurini e Ituna.

Tabela 2 – Valores de susceptibilidade dos indicadores Precipitação, *NDVI*, Uso do solo e Erodibilidade no Argilossolo vermelho-amarelo Distrófico nas glebas Assurini e Ituna.

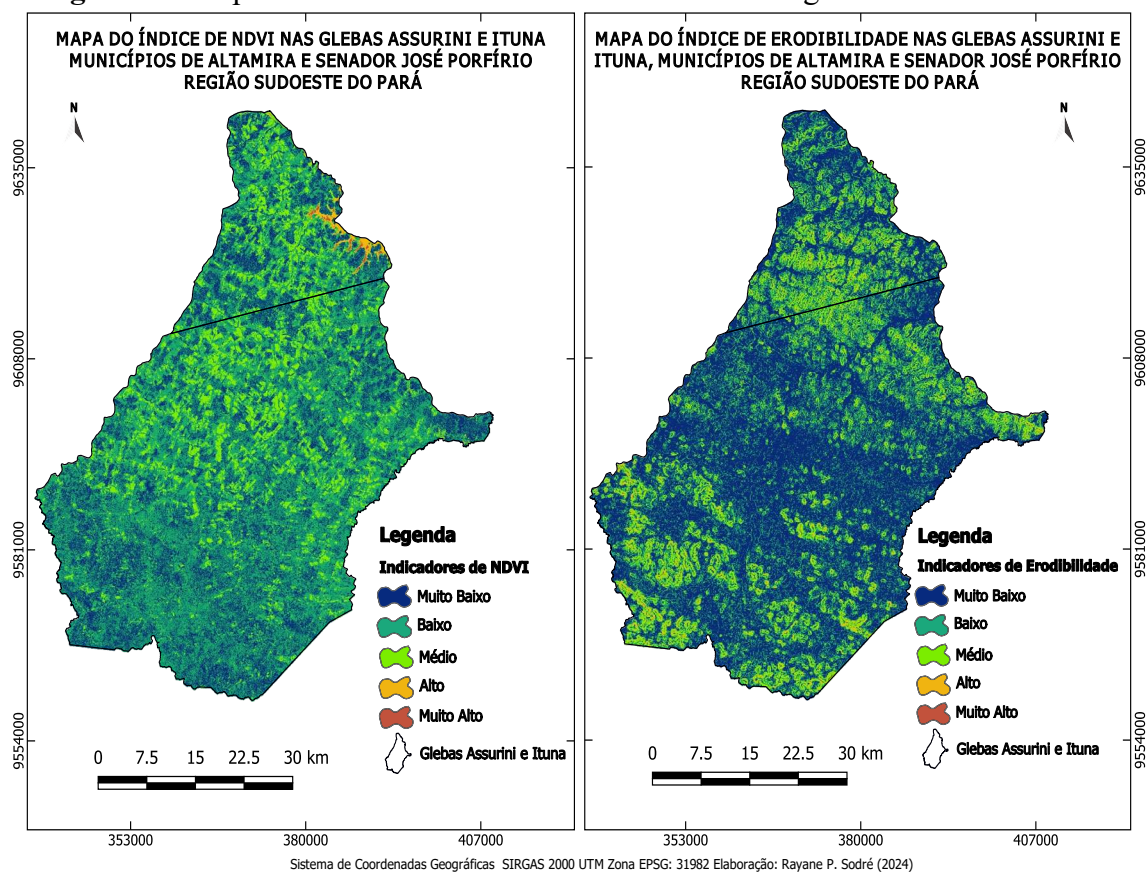
Precipitação (mm)	Peso	Classificação
1769 - 1903	1	Muito Baixo
1904 - 2066	2	Baixo
2067 - 2221	3	Médio
2222 - 2358	5	Alto
2359 - 2513	5	Muito Alto
<i>NDVI</i> (mm)	Peso	Classificação
-0,0874 – 0,0629	5	Muito Alto
0,0629 – 0,2133	4	Alto
0,2133 – 0,3636	3	Médio
0,3636 – 0,5139	2	Baixo
0,5139 – 0,6642	1	Muito Baixo
Erodibilidade	Peso	Classificação
0 a 6%	1	Muito Baixo
6% a 12%	2	Baixo
12% a 20%	3	Médio
20% a 45%	4	Alto
> 45%	5	Muito Alto
Uso/Cobertura de Solo (Classes)	Peso	Classificação
Corpos D'água	1	Muito Baixo
Floresta Remanescente	1	Muito Baixo
Áreas inundáveis	1	Muito Baixo
Agricultura/Plantações	3	Médio
Área Construída	4	Alto
Solo exposto	5	Muito Alto
Pastagem	5	Muito Alto

Fonte: Pluviosidade adaptada de Ross (2012); Uso do solo adaptado de Kazmierczak e Seabra (2007); configuração modificado de (Dantas *et al.*, 2018).

Considerou-se a declividade no grau de propensão de erodibilidade do Argilossolo vermelho-amarelo Distrófico (tipo de solo nas glebas). As áreas com menor propensão a

erodibilidade, cerca de 85,08% da área, têm declividade Baixo (6% a 12%), 54,90%, e Muito Baixo (0 a 6%), 30,18%. Relacionando esse mapa com o de uso do solo, percebe-se que tanto as áreas com maior quanto as de menor declive estão sendo afetadas por atividades de agricultura permanente e pastagem. A classificação dos indicadores no *NDVI* (que varia entre -1 e 1) foi invertida – as áreas com maior biomassa propiciam maior proteção ao solo, e desta forma devem ter valores menores. A variância do *NDVI* mostrou valores entre -0,0874 a 0,6642, e o indicador apresenta Baixa a Muito Baixa propensão à susceptibilidade (pois ainda há considerável biomassa vegetal) na maior parte das glebas, possuindo um total de 86,69% (áreas vegetadas).

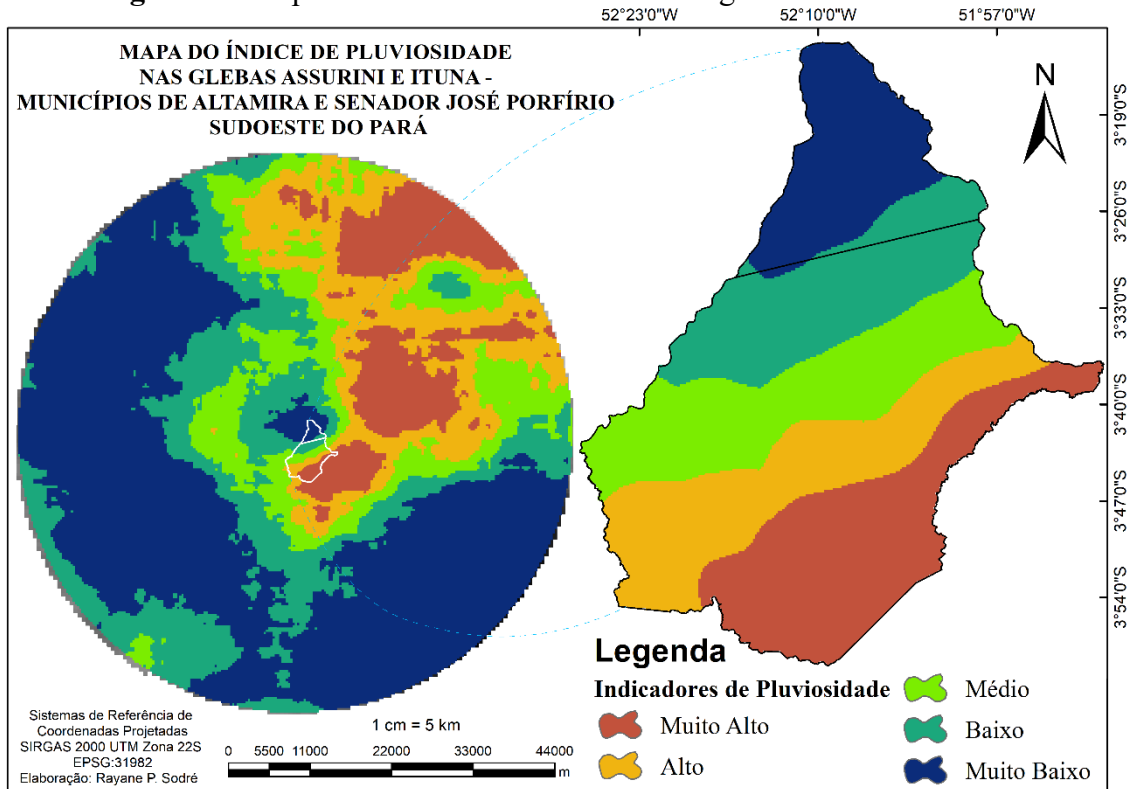
Figura 2 – Mapa dos índices de NDVI e Erodibilidade nas glebas Assurini e Ituna.



Fonte: MDE ALOS (AW3D30) (2024); Copernicus Open Access Hub (via GEE) (2024).

A precipitação nas glebas Assurini e Ituna varia entre 1769 mm e 2513 mm por ano, com uma média de 2162 mm. A **Figura 3** mostra o índice de pluviosidade nas glebas. A gleba Ituna registra as maiores chuvas. Chuvas intensas aumentam a erodibilidade do solo (Dantas *et al.*, 2018), embora esse efeito seja menor em áreas vegetadas. Segundo Lima *et al.* (2023), a maior parte do Brasil apresenta índices de erosividade da chuva fortes ou muito fortes, especialmente entre novembro e abril, que ocorrem principalmente nas áreas com maior atividade agropecuária.

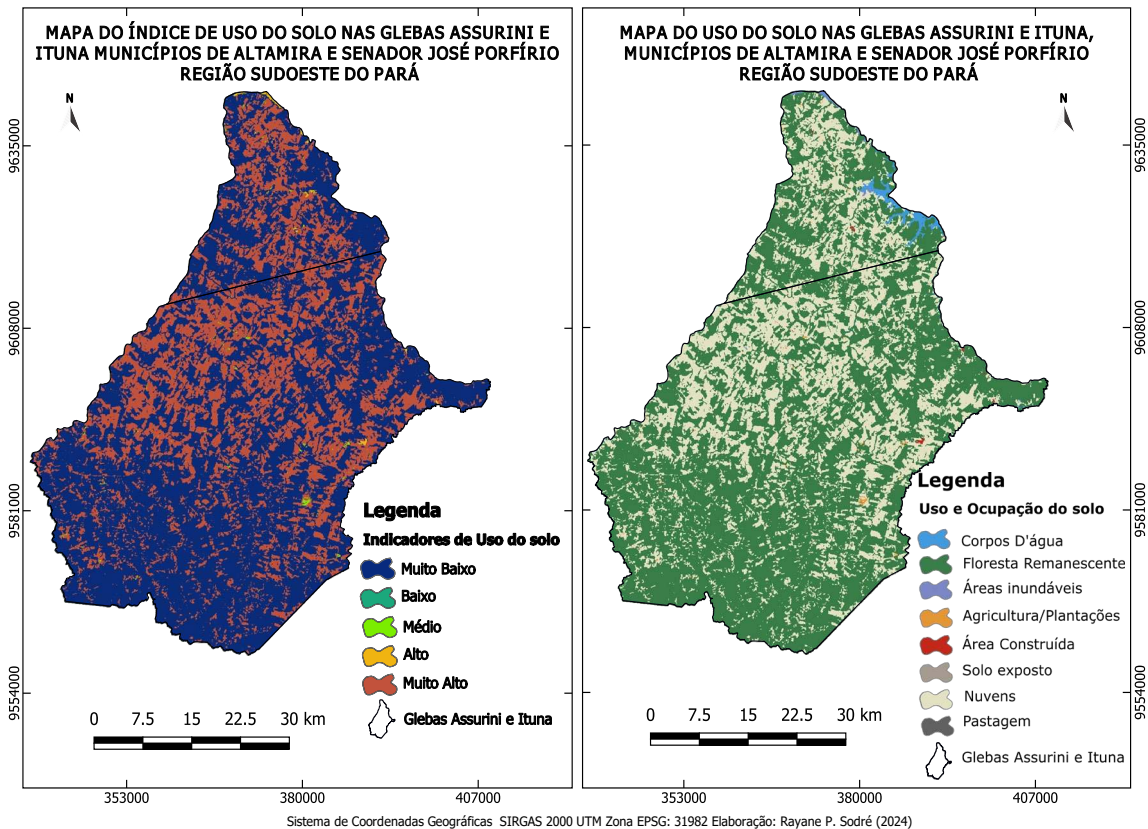
Figura 3 – Mapa do índice de Pluviosidade nas glebas Assurini e Ituna.



Fonte: CHIRPS (2024).

A figura 4, que mostra o índice do uso e ocupação do solo, revela que 32,89% das glebas apresenta áreas antropizadas (pastagem) e 65,94% de vegetação.

Figura 4 – Mapa do índice de Uso do solo nas glebas Assurini e Ituna.

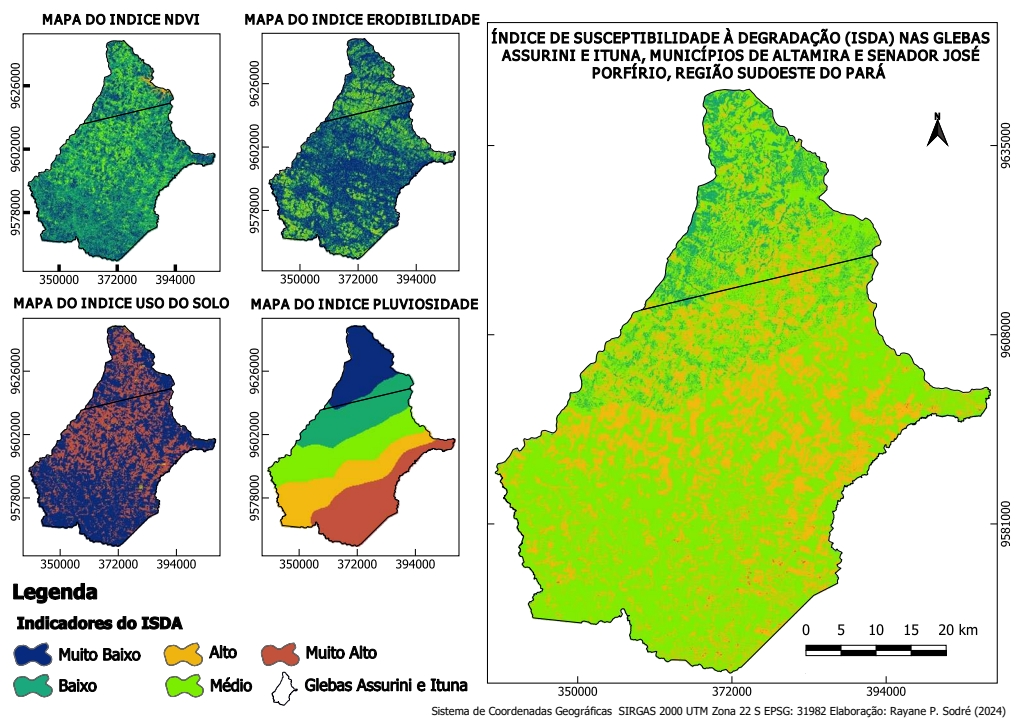


Fonte: Impact Observatory e Esri (site Sentinel-2 10m land use/land cover time series of the world) (2024).

No mapa do USO, os indicadores mais representativos foram os com maior suscetibilidade (Muito alto) para áreas de agricultura/pastagem e menor susceptibilidade (Muito Baixo) para áreas vegetadas.

A integração dos indicadores gerou um mapa de ISDA, **Figura 5** a seguir.

Figura 4 – Mapa do índice de Uso do solo nas glebas Assurini e Ituna.



Fonte: Impact Observatory e Esri; CHIRPS; MDE ALOS (AW3D30); Copernicus Open Access Hub (2024).

Os níveis mais abrangente de SDA para as glebas são Médio (vasto na parte sul da gleba Ituna onde ocorre maior pluviosidade – que influencia a erosividade – e nas áreas de agricultura/pastagem), Baixo (nas áreas com erodibilidade baixa e áreas vegetadas) e Alto (em áreas de solo exposto, pastagem e cicatrizes de fogo).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os mapas mostram que o método ISDA, mesmo linear, apresenta uma forma de monitorar a tendência à degradação ambiental, e constitui uma ferramenta eficaz no processo de modelagem ambiental. As áreas antropogenicamente perturbadas (solo exposto, agricultura e pastagem) são áreas degradadas ou mais suscetíveis à degradação devido à escassez de recursos e sobrecarga da capacidade de suporte e resiliência do ecossistema.

Palavras-chave: Índice; Indicadores, ISDA, Degradação Ambiental, Glebas Federais Amazônicas.

REFERÊNCIAS

ADAMI, S. F. *et al.* Environmental fragility and susceptibility mapping using geographic information systems: applications on Ribeirão do Pinhal watershed (Limeira, State of São Paulo). **Acta Scientiarum. Technology**, [s. l.], v. 34, n. 4, p. 433–440, 2012. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/10005>. Acesso em: 5 jul. 2024.

ALMEIDA, M. C. de; SARAIVA, M. P.; MARINHO, J. A. Indígenas, camponeses e apropriação da terra na Gleba Ituna, Senador José Porfírio (PA). **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, [s. l.], v. 16, n. 7, p. 7867–7882, 2023. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/654>. Acesso em: 30 jul. 2024.

ARAUJO, A. E. *et al.* Estado atual da situação territorial e supressão vegetal no município de Altamira- PA no período 2015-2021. **Revista de Educação, Saúde e Ciências do Xingu**, [s. l.], v. 1, n. 5, 2022. Disponível em: <https://periodicos.uepa.br/index.php/rescx/article/view/4830>. Acesso em: 2 ago. 2024.

BATISTA, W. J.; BELLINI, A. L. da S.; PISANI, R. J. Carta de sensibilidade para o meio físico do município de Campos Gerais-MG: uma proposta metodológica. **Formação (Online)**, [s. l.], v. 30, n. 57, p. 295–323, 2023. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/9191>. Acesso em: 20 jul. 2024.

DANTAS, H. R. *et al.* Avaliação da susceptibilidade à degradação ambiental em um município serrano do semiárido do Brasil (Cerro Corá-RN) / Evaluation of susceptibility to environmental degradation in a mountain municipality at semi-arid region of Brazil (Cerro Corá-RN). **Caderno de Geografia**, [s. l.], v. 28, n. 55, p. 880–897, 2018. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/17793>. Acesso em: 5 jul. 2024.

KAZMIERCZAK, M. L.; SEABRA, F. B. Índice de susceptibilidade de degradação ambiental [ISDA] em áreas do cerrado paulista. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13 (SBSR), 2007. **Anais [...]**. [S. l.]: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2007. p. 2745–2752. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.31.19.48/doc/thisInformationIt emHomePage.html>. Acesso em: 5 jul. 2024.

LIMA, E. de P. *et al.* **Erosividade da chuva do Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2023. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, v. 286). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/260323/1/CNPS-BPD-286-2023.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2024.

ROCHA, G. de M. Ocupação planejada da terra na região de integração do Xingu: da colonização oficial aos assentamentos rurais. **Movendo Ideias**, [s. l.], v. 15, n. 1, 2010. Disponível em: <https://revistas.unama.br/index.php/Movendo-Ideias/article/view/553>. Acesso em: 2 ago. 2024.

ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do Departamento de Geografia**, [s. l.], p. 38–51, 2012. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rdg/article/view/53841>. Acesso em: 11 ago. 2024.