



Estimativa de perdas de solo na bacia do rio xingu

Estimation of soil losses in the xingu river basin

Estimación de pérdidas de suelo en la cuenca del río xingú

Alyson Bueno Francisco

Doutorado em Geografia

Universidade Estadual Paulista

Email: alysonbueno@gmail.com.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7271560980557369>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7632-9249>

RESUMO - A perda de solos é um fenômeno presente em bacias hidrográficas com escoamentos superficiais, principalmente em climas equatoriais e tropicais. No caso da Bacia do Rio Xingu, localizada na Floresta Amazônica Brasileira, as mudanças na cobertura da terra pelo desmatamento e introdução da agricultura na parte sul e pecuária no leste favoreceram o desenvolvimento de processos para perda de solos. A Bacia do Rio Xingu apresenta aproximadamente 25% da área desmatada com atividades econômicas de agronegócio e mineração, além de ser uma região com implantação de usinas de geração de energia elétrica com movimento da água fluvial. O fenômeno da erosão hídrica precisa ser estimado em grandes bacias hidrográficas, pela importância de quantificar o impacto causado pelo desmatamento. Como metodologia, foi elaborado um banco de dados geográficos para elaboração de mapas da Bacia do Rio Xingu e produção de informações geográficas sobre os fatores da equação universal de perdas de solo revisada. Foram estimadas 504 toneladas de solo perdido por ano na Bacia do Rio Xingu e 79 milhões de toneladas de sedimentos produzidos que podem contribuir para o assoreamento, mesmo diante da grande vazão produzida por um dos maiores rios do mundo.

Palavras-chave: Erosão. Desmatamento. Equação. Solos

ABSTRACT - The soil loss is a phenomenon present in watersheds with surface runoff, especially in equatorial and tropical climates. In the case of the Xingu River Basin, located in the Brazilian Amazon Forest, changes in land cover due to deforestation and the introduction of agriculture in the southern part and cattle ranching in the east have favored the development of processes for soil loss. The Xingu River Basin has approximately 25% of the deforested area with economic activities of agribusiness and mining, in addition to being a region with the implementation of electric power generation plants with the movement of river water. The phenomenon of water erosion needs to be estimated in large river basins, due to the importance of quantifying the impact caused by deforestation. As a methodology, a geographic database was developed for the elaboration of maps of the Xingu River Basin and the production of geographic information on the factors of the revised universal equation of soil losses. It was estimated that 504 tons of soil were lost per year in the Xingu River Basin



and 79 million tons of sediments produced that can contribute to siltation, even in the face of the large flow produced by one of the largest rivers in the world.

Keywords: Erosion. Deforest. Equation. Soils

RESUMEN - La erosión del suelo es un fenómeno presente en las cuencas hidrográficas con escorrentía superficial, especialmente en climas ecuatoriales y tropicales. En el caso de la cuenca del río Xingú, ubicada en la selva amazónica brasileña, los cambios en la cobertura del suelo debido a la deforestación y la introducción de la agricultura en la zona sur de la cuenca y la ganadería en la parte oriental de la cuenca favorecieron el desarrollo de procesos erosivos. La cuenca del río Xingú tiene aproximadamente el 25% de las áreas deforestadas con actividades de agroindustria, y también está la implementación de centrales hidroeléctricas. El fenómeno de la erosión hídrica necesita ser estimado en cuencas hidrográficas de grandes áreas territoriales debido a la relevancia de los impactos causados por la deforestación. En la metodología, se implementó una base de datos geográfica con los factores de la ecuación universal revisada de pérdida de suelo. Se estimó una pérdida de suelo de 504 toneladas/ha/año en la cuenca del río Xingú y 79 millones de toneladas de sedimentos producidos, causando sedimentación en una de las cuencas hidrográficas más grandes del mundo.

Palabras clave: Erosión. Deforestación. Ecuación. Suelos

INTRODUÇÃO

A erosão de solos é um fenômeno presente em bacias hidrográficas de climas equatoriais, com a presença de precipitações volumosas e escoamentos concentrados em drenagens de grandes áreas territoriais. As condições da atmosfera nos climas equatoriais interferem nas perdas de solo, cujas mudanças climáticas podem contribuir com riscos de maiores intensidades na erosividade (Panagos et al., 2022).

Os processos de perdas de solo representam uma ameaça à segurança alimentar e à qualidade das águas. Aproximadamente 95% das atividades agropecuárias dependem da capacidade dos solos produzirem resultados em fertilidade. O consumo de nutrientes com o uso de fertilizantes aumenta em média 2% ao ano, para corrigir as perdas na fertilidade dos solos. Em decorrência das atividades econômicas de mudança das coberturas das terras, estima-se uma taxa anual de 43 bilhões de toneladas de solo perdido (Borelli et al., 2020).

O contexto da Floresta Amazônica, no caso da região centro-norte do Brasil, é marcado pelo desmatamento com a introdução da agricultura em grandes fazendas para



produção de grãos para o mercado internacional e pastagens com a pecuária extensiva. No caso da Bacia do Rio Xingu, a existência de terras indígenas delimitadas para unidades de conservação natural contribuíram para a preservação da floresta equatorial. No entanto, aproximadamente 25% da área da Bacia do Rio Xingu foi desmatada, o que representa mudanças no escoamento superficial das vertentes e áreas com o desenvolvimento de processos erosivos (Ramalho et al., 2024).

As bacias hidrográficas em climas equatoriais com elevadas pluviosidades, quando são alteradas as formas de cobertura da terra pelo desmatamento e implantação de culturas agrícolas ocorre mudança no ciclo hidrológico, com aumento relevante do escoamento superficial e processos de perdas de solos (Mersha et al., 2025).

A perda de solos é um fenômeno que provoca condições de degradação nas vertentes das bacias hidrográficas, cuja dinâmica precisa ser analisada através de dados e com o uso de experimentos de campo e técnicas de mapeamento, de acordo com a área territorial pesquisada. Na escala regional das bacias hidrográficas existe o método de estimativa das perdas de solo pela equação universal proposta por Wischmeier e Smith (1978), com uma revisão apresentada por Renard et al. (1997). Os fatores relacionados às precipitações pluviais, propriedades dos solos, topografia, cobertura da terra e uso de práticas de conservação são utilizados nas revisões e modificações da equação universal, mas possuem parâmetros diferentes alterados pelos resultados das parcelas experimentais nas pesquisas acadêmicas (Gwapedza et al., 2021).

Em decorrência da extensão territorial das bacias hidrográficas analisadas e avanços nas imagens de sensoriamento remoto, as técnicas de mapeamento computadorizadas contribuem para as análises de geração de dados sobre os fatores da equação universal de perdas de solo (Todisco et al., 2022).

A Amazônia Oriental possui áreas cobiçadas pelo agronegócio brasileiro, com a expansão de atividades agrícolas pela monocultura da soja, concentrada no Estado de Mato Grosso e áreas de influência de atividades da mineração e hidrelétricas no Estado do Pará, na região centro-norte do Brasil. No caso da Bacia do Rio Xingu, a Floresta Amazônica foi preservada no Estado de Mato Grosso pela existência da unidade de conservação Parque Nacional do Xingu, criada a partir de um trabalho antropológico de pesquisa desde a década de 1960. Praticamente toda a borda dessa unidade de conservação da Amazônia foi desmatada



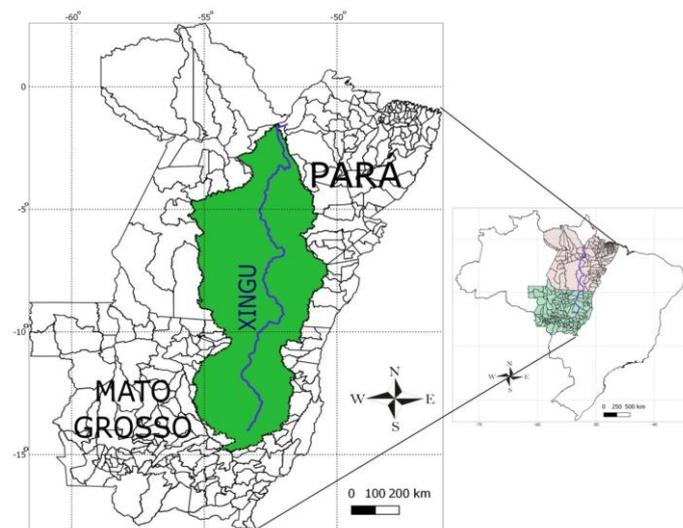
por causa das culturas agrícolas em franca expansão em Mato Grosso. Na Bacia do Rio Xingu está localizada a Serra de Carajás, uma das províncias minerais mais ricas do mundo, cujas atividades de mineração atraem populações e atividades secundárias como a pecuária e a exploração madeireira (Sanches et al., 2020).

A Bacia do Rio Xingu representa uma unidade territorial com necessidade imediata de conservação da natureza, diante da riqueza do potencial de biodiversidade da Floresta Amazônica, recursos hídricos e recursos minerais. Diante desse cenário, o solo localizado na bacia hidrográfica é um recurso natural importantíssimo para integridade territorial, segurança alimentar e preservação da paisagem, cujos estudos científicos contribuem para estimar a quantidade de perdas de solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

A Bacia do Rio Xingu tem uma importância ambiental significativa ao estar localizada na Floresta Amazônica, com fragilidade de ecossistemas e com necessidade de atenção das políticas diante da expansão do desmatamento e atividades agropecuárias. A figura 1 apresenta a localização da Bacia do Rio Xingu.

Figura 1. Bacia do Rio Xingu entre os estados do Pará e Mato Grosso, Amazônia Oriental



Fonte: Elaborado por Francisco (2025)



Aproximadamente 25% de toda extensão territorial da Bacia do Rio Xingu foi desmatada. A Bacia do Rio Xingu possui 51 milhões de hectares distribuídos pela Amazônia Oriental Brasileira, em uma região de clima equatorial com precipitações anuais média de 2.090 mm, com maior volume de precipitação pluvial entre os meses de junho a setembro, presença de muita umidade ao longo do ano e temperaturas médias entre 31°C e 23°C (Ramalho et al., 2024).

Sobre os solos da Bacia do Rio Xingu, existe o predomínio de distribuição de Argissolos Vermelho Amarelos em aproximadamente 61% do território, com a presença de Latossolo Vermelho em 25% da bacia e Latossolo Amarelo (4%) na região da foz do Rio Xingu (Tortorello et al., 1997). Além dos tipos predominantes, existem Cambissolos e Areia Quartzosa principalmente na porção sul da bacia onde o desmatamento é mais atuante (Almada et al., 2021).

Na Bacia do Rio Xingu está distribuído uma parte da Serra de Carajás, uma das províncias minerais mais ricas em potencial do mundo, cujas atividades de mineração e implantação de usina para geração de energia elétrica contribuíram para o fluxo de migração e população fixada na região. Após a construção da hidrelétrica de Tucuruí, no Pará, os trabalhadores continuaram na região de Marabá e uma das alternativas econômicas foi a implantação da pecuária com desmatamento de áreas da Floresta Amazônica. Na localidade de São Félix do Xingu e Ourilândia do Norte não foram demarcadas unidades de conservação da floresta e estão nos limites de terras indígenas, com aberturas de frentes de desmatamento e impactos ambientais irreversíveis. As atividades de mineração estão presentes na Bacia do Rio Xingu e geraram contaminantes provocando sérias doenças às populações nativas com a inclusão de impactos à natureza (Moita et al., 2024).

A Bacia do Rio Xingu está localizada em uma área com implantação da agricultura e frentes de desmatamento desde a década de 1970, com a presença de terras indígenas para garantirem a conservação das áreas de mata nativa. A parte sul da bacia hidrográfica, localizada no estado de Mato Grosso e ao sul do Parque Nacional do Xingu, tem atividades agropecuárias com modificação da cobertura da terra e presença de solos suscetíveis à erosão, como a Areia quartzosa e o Cambissolo.

A parte leste localizada no estado de Mato Grosso tem a presença de Latossolo vermelho com interesses do agronegócio para expansão de atividades agropecuárias, sendo



uma área próxima da Planície do Rio Araguaia com fragilidade ambiental para ecossistemas. A parte central da Bacia do Rio Xingu, no estado do Pará existe a região de influência da Serra de Carajás com atividades de desmatamento no município de São Félix do Xingu, com problemas ambientais graves pela expansão da pecuária extensiva.

A parte norte da Bacia do Rio Xingu tem alterações ambientais com frentes de desmatamento na influência da hidrelétrica Belo Monte em Altamira, estado do Pará.

Os processos erosivos nas cabeceiras de drenagem da Bacia do Rio Xingu, onde estão localizadas as frentes de desmatamento, são impactantes para uma das maiores bacias hidrográficas da América do Sul, com produção de sedimentos e perdas irreversíveis para a qualidade ambiental e ecológica do Bioma Amazônico e Cerrado.

Para apresentar a estimativa de perda de solo na Bacia do Rio Xingu foram aplicados os parâmetros de acordo com a revisão da Equação Universal de Perda de Solo Revisada de acordo com Renard et al. (1997).

A metodologia foi aplicada em sistema de informação geográfica com uso dos parâmetros da Equação Universal de Perda de Solo. Foi criado um banco de dados geográficos no sistema QGIS, com geração de planos de informação com os dados georreferenciados de tipos de solos e cobertura da terra da Bacia do Rio Xingu. Os tipos de solos da Bacia do Rio Xingu foram identificados a partir do Mapa Pedológico do Estado de Mato Grosso (Tortorello; Farran; Santos, 1997) e a estimativa de erodibilidade foi baseada nos parâmetros apresentados por Raimo et al. (2019).

Os parâmetros topográficos de comprimento de rampa e declividades para aplicação na Equação Universal de Perda de Solo foram calculados com base nas indicações de Bertoni e Lombardi Neto (1999), pelas análises das altitudes distribuídas pela Bacia do Rio Xingu, no programa Google Earth.

O parâmetro de cobertura da terra da Equação Universal de Perda de Solo foi analisado a partir de uma vetorização das áreas das classes de mata nativa, pastagem e agricultura pelas imagens de sensoriamento remoto disponibilizadas no programa Google Earth. Os vetores gerados foram importados no banco de dados geográficos do sistema QGIS, onde foi produzido o mapa de cobertura da terra, com as respectivas áreas das classes no sistema de informação.

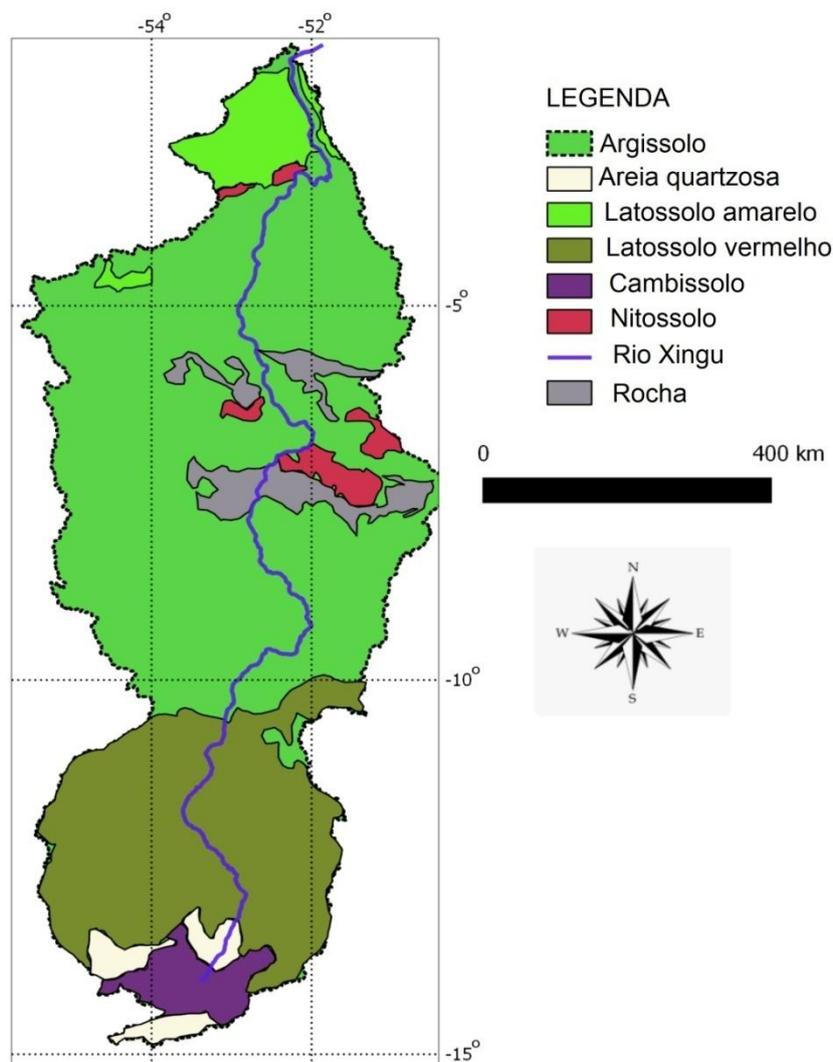


RESULTADOS E DISCUSSÃO

A erosividade estimada para a Bacia do Rio Xingu, de acordo com dados de precipitação pluvial média de 1.979 mm, da localidade de Altamira é de 11.071 MJ.mm.h/ha/ano.

Sobre a erodibilidade dos solos, apresenta os tipos de solos no mapa da figura 2.

Figura 2. Mapa dos tipos de solos da Bacia do Rio Xingu



Fonte: Elaborado por Francisco (2025)



A estimativa de erodibilidade na Bacia do Rio Xingu, de acordo com a área de cada tipo de solo foi apresentada na tabela 1.

Tabela 1. Estimativa de erodibilidade na Bacia do Rio Xingu

Tipo de Solo	Fator K	Área (ha)	Estimativa
Latossolo	0,09	14.938.952	1.344.505,7
Argissolo	0,31	31.586.261	9.791.740,9
Areia quartzosa	0,55	1.218.722	670.297,1
Cambissolo	0,03	1.603.141	32.062,8
Nitossolo	0,01	200.675	2.006,8
	Σ	49.547.751	11.840.613,3
	K		0,239

Fonte: Elaborada por Francisco (2025).

Para a estimativa do fator topográfico na Bacia do Rio Xingu, foram calculados uma declividade média de 5,5% e um comprimento de rampa de 9.000 m. A partir disso foi aplicada a seguinte expressão:

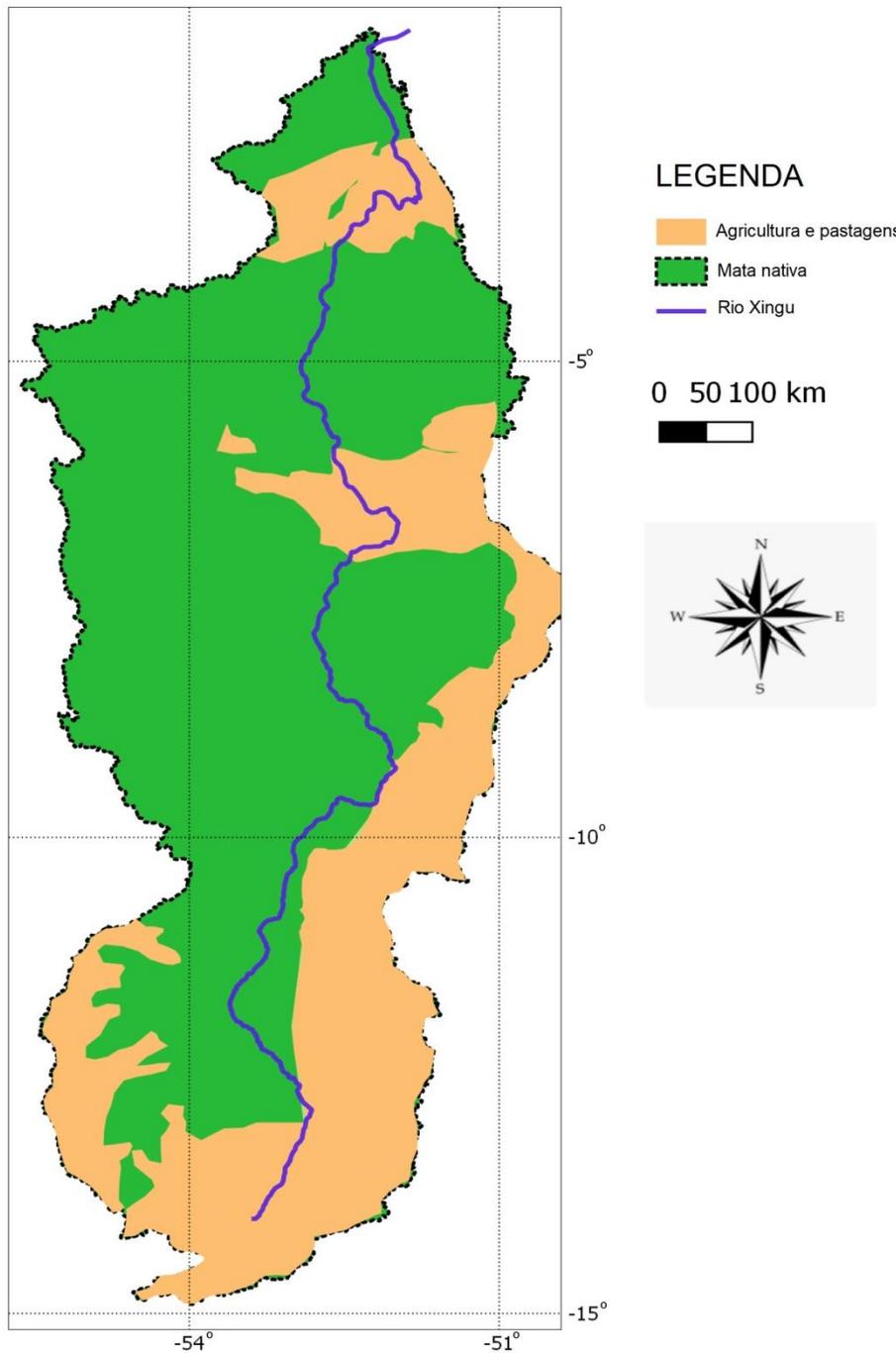
$$S = 0.00654 \times 0.055^2 + 0.0456 \times 0.055 + 0.065 \quad (1)$$

Como fator LS na Equação Universal de Perda de Solo para a Bacia do Rio Xingu foi obtido o valor de 607,75.

A respeito da cobertura da terra (fator C) na Bacia do Rio Xingu foi apresentado o mapa da figura 3.



Figura 3. Mapa de cobertura da terra da Bacia do Rio Xingu



Fonte: Elaborado por Francisco (2025)



A tabela 2 apresenta a estimativa do fator C de cobertura da terra para a Bacia do Rio Xingu, ao considerar as classes na análise.

Tabela 2. Estimativa do fator C para Bacia do Rio Xingu

Classe de cobertura	Fator C	Área (ha)	Estimativa
Agricultura	0,1142	4.227.334,3	482.761,6
Floresta	0,0003	39.015.022	11.704,5
Pastagem	0,0377	8.454.668,6	318.741
	Σ	51.825.126	813.207,1
		Estimativa	15,691

Fonte: Elaborada por Francisco (2025)

Em decorrência de a ação humana ter modificado aproximadamente 25% do território com o desmatamento e a predominância de pastagens em aproximadamente 70% da área alterada pelas atividades agropecuárias, no fator de práticas conservacionistas foi estimado o índice de 0,2 para aplicação da equação.

Como resultado de todos os fatores pode ser apresentada a expressão da Equação Universal de Perda de Solo em:

$$A = 11.071 \times 0,239 \times 607,75 \times 15,691 \times 0,2 \quad (2)$$

A estimativa de perda de solos para a Bacia do Rio Xingu a partir dessa pesquisa é de 504,65 t/ha/ano.

Ao considerar a área territorial da Bacia do Rio Xingu e a densidade média do solo em 1,5 t/ha, calcula-se uma produção de aproximadamente 79 milhões de toneladas de sedimentos.



Discussão dos resultados

A produção de sedimentos em uma bacia amazônica representa impactos ambientais e socioeconômicos. Francisco (2024) apresenta uma estimativa de 18 milhões de toneladas de sedimentos produzidos na Bacia do Rio Curisevo, afluente do Rio Xingu, em uma área com aproximadamente 66% desmatada.

A estimativa de aproximadamente 500 t/ha/ano de perdas de solo na Bacia do Rio Xingu representa os impactos gerados pelo desmatamento do bioma amazônico em área de clima equatorial, com erosividade de aproximadamente 11.000 MJ.mm.h/ha/ano; com erodibilidade alta na Areia quartzosa e Cambissolo distribuídos na parte sul territorial da bacia hidrográfica.

As bacias amazônicas estão localizadas em áreas de depressões e planícies com baixas declividades. No entanto, a vasta dimensão territorial com comprimentos de rampa de 9.000 m, como ocorre na Bacia do Rio Xingu, representa uma perda de solo de grande volume, como foi indicado na estimativa de 607,75 do fator topográfico (LS).

A partir da estimativa, torna-se destacável a perda de solo na área de agricultura, no qual representa 59,4% do fator de cobertura da terra. O fator C com estimativa de aproximadamente 15,7 representa alto risco de perdas de solo em uma bacia amazônica.

Em síntese, o desmatamento da Bacia do Rio Xingu representa, pelos dados apresentados na pesquisa, um impacto relevante para as condições ambientais, com destaque ao recurso natural solo, em uma das principais regiões do mundo para a necessidade de conservação da natureza.

CONCLUSÕES

A erosão hídrica precisa de uma pesquisa apoiada no sistema de informação geográfica, com a produção de cartografia e estimativas para quantificar as perdas de solo. O caso analisado de uma bacia hidrográfica amazônica, com uma dimensão de 51,8 milhões de hectares, apresenta uma introdução regional para estudos mais detalhados sobre as áreas mais problemáticas em condições de degradação e desmatamentos. Os documentos cartográficos



podem contribuir com políticas públicas para os municípios pertencentes à bacia hidrográfica elaborarem projetos de gestão territorial.

A Equação Universal de Perda de Solo é um método científico aplicado para quantificar o fenômeno da erosão de acordo com as condições de precipitações, tipos de solos, topografia, cobertura da terra e práticas conservacionistas; a fim de contribuir com estudos geográficos sobre a distribuição das áreas com maiores intensidades da erosão de solos.

A Amazônia precisa de estudos ambientais para uma gestão territorial a fim de inibir o desmatamento com argumentos científicos, visto que o solo é um recurso natural a ser conservado para garantir da biota, dinâmicas hidrológicas e geomorfológicas, atividades sustentáveis e de conservação da natureza.

CONFLITE DE INTERESSE

O autor não declarou conflito de interesse no trabalho.

REFERÊNCIAS

ALMADA, A. P.; PINHEIRO, C. R., PEREIRA, M. G., REIS, I. M. S., SOUSA, M. A.; PINTO, L. A. S. R. Characterization and classification of soils from an Amazonic Biome in western Pará. **Brazilian Journal of Agrarian Sciences**, v.16. n.1, p.1-8, 2021.

BERTONI, J.; LOMBARDI, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1999.

BORRELLI, P.; ROBINSON, D. A.; PANAGOS, P.; LUGATO, E.; YANG, J. E.; ALEWELL, C.; WUEPPER, D.; MONTANARELLA, L.; BALLABIO C. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). **Proceeding National Academy Sciences USA**. 117(36): p. 21994–22001, 2020.

FRANCISCO, A. B. Estimation of erosion rate in a hydrographic basin in a deforestation area in the Brazilian Amazon, Eastern Mato Grosso. **Journal of Asian Geography**, v.3, n.1, p. 30-35, 2024.

GWAPEDZA, D.; NYAMELA, N.; HUGHES, D. A.; SLAUGHTER, A. R.; MANTEL, S. K.; WAAL, B. Prediction of sediment yield of the Inxu River catchment South Africa using the MUSLE. **International Soil and Water Conservation Research**, v.9, n.1, p. 37-48, 2021.



MERSHA, E.; DEGEFA, S.; ARGAW, M.; MENGIST, W. Spatiotemporal modeling of soil loss and sediment yield due to land use and land cover changes. **Journal of Water & Climate Change**, v.1, n.2, p. 25-52, 2025.

MOITA, M. D. C.; SILVA, F. M. R.; PEREIRA, T. S.; MARINHO, R. B.; VITORIO, E. O.; PELLEGRINO, E.F.C. Mercury exposure in river populations of Terra do Meio Extractive Reserves in the Xingu basin, Brazil. **Environ Geochem Health**, v.46, n.88, p. 4-12, 2024.

PANAGOS, P.; BORELLI, P.; MATTHEWS, F.; LIAKOS, L.; BEZAK, N.; DIODATO, N.; BALLABIO, C. Global rainfall erosivity projections for 2050 and 2070. **Journal of Hidrology**, v. 610, n.1, p. 1-14, 2022.

RAIMO, L. A. L.; AMORIM, R. S. S.; TORRES, G. N.; BOCUTI, E. D.; COUTO, E. G. Spatial variation of erodibility in Mato Grosso State. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 42, n. 5, p. 55-67, 2019.

RAMALHO, A. H. C.; MAFFIOLETTI, F. D.; BIAZATTI, L. D., CARVALHO, G. S., SILVA, M. A. P., LUZ, K. T. Temporal evolution of deforestation in the Xingu River watershed between 2008 to 2020. **Advances in Forestry Science**, v. 11, n. 1, p. 2168-2175, 2024.

RENARD, K.; FOSTER, G.; WEESIES, G.; MCCOOL, D.; YODER, D. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation. **Agriculture Handbook**, v. 703, n.1, p. 23-36, 1997.

SANCHES, R.; FUTEMMA, C.; ALVES, H. Q.; RAMOS, F. Indigenous territories and governance of forest restoration in the Xingu River. **Land Use Policy**, v. 104, n. 3, p. 44-57, 2020.

TODISCO, F.; VERGNI, L.; ORTENZI, S.; MATTEO, L. (2022) Soil loss estimation coupling modified USLE model with a runoff correction factor based on rainfall and satellite soil moisture data. **Water**, v. 14, n. 2, p. 1-15, 2022.

TORTORELLO, L. M.; FARRAN, K. A. A.; SANTOS, M. V. **Mapa Pedológico do Estado de Mato Grosso**. Cuiabá: Governo de Mato Grosso, Escala 1:250.000, 1997.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. **Agriculture Handbook**, v. 537, n.2, p.1-16, 1978.