

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE AQUIDAUANA – CPAQ
CURSO DE GEOGRAFIA BACHARELADO

BRUNA DOS SANTOS BORGES
LAUCINEI LEANDRO DO VISO

**ESTIMATIVA DE PERDAS DE SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO
INDAIÁ - AQUIDAUANA/MS**

AQUIDAUANA, MS

2025

BRUNA DOS SANTOS BORGES
LAUCINEI LEANDRO DO VISO

**ESTIMATIVA DE PERDAS DE SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO
INDAIÁ - AQUIDAUANA/MS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado, como exigência do curso de Bacharelado em Geografia, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, sob a orientação do Professor Doutor Elias Rodrigues da Cunha.

AQUIDAUANA, MS

2025

FOLHA DE APROVAÇÃO

BRUNA DOS SANTOS BORGES
LAUCINEI LEANDRO DO VISO

ESTIMATIVA DE PERDAS DE SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO INDAIÁ - AQUIDAUANA/MS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado, como exigência do curso de Bacharelado em Geografia, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, sob a orientação do Professor Doutor Elias Rodrigues da Cunha.

Resultado: Aprovado

Aquidauana, MS, 02 de dezembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Elias Rodrigues da Cunha
UFMS

Professor Gustavo da Silva
UFMS

Professor Eliezer Cece Gregório

RESUMO

O uso intensivo da terra nos assentamentos Indaiá I, II, III e IV, na bacia do córrego Indaiá, tem provocado impactos ambientais relevantes, especialmente relacionados a erosão do solo. Para avaliar esse processo, o estudo aplicou a *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) integrada ao Modelo InVEST para estimar as perdas de solo. Os resultados indicaram perdas de solo variando de 0 a 2649,43 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, com média geral de 10,42 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Em 80,94% da bacia do Córrego Indaiá ocorrem perdas de solo moderadas, inferiores a 10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. A análise dos valores máximos por classe de uso e cobertura mostrou que as maiores perdas ocorreram em áreas de floresta estacional decidual (2649,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), solo exposto ao longo das estradas (2009,9 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e pastagens degradadas (1520,9 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Entretanto, as maiores médias de perdas de solo ocorreram na classe processos erosivos (285,81 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e solo exposto (159,35 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Por fim, estudo demonstra que a aplicação da RUSLE integrada ao Modelo InVEST é eficaz para estimar perdas de solo, constituindo uma ferramenta importante para apoiar ações de planejamento e gestão territorial na bacia hidrográfica do córrego Indaiá.

Palavras-chave: Perdas de solo; Monitoramento ambiental; RUSLE.

ABSTRACT

Intensive land use in the Indaiá I, II, III, and IV settlements, within the Indaiá stream basin, has caused significant environmental impacts, particularly related to soil erosion. To assess this process, the study applied the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) integrated with the InVEST Model to estimate soil losses. The results indicated soil losses ranging from 0 to 2649.43 Mg ha⁻¹ year⁻¹, with an overall average of 10.42 Mg ha⁻¹ year⁻¹. Moderate soil losses, less than 10 Mg ha⁻¹ year⁻¹, occur in 80.94% of the Indaiá stream basin. Analysis of maximum values by land use and land cover class showed that the greatest losses occurred in areas of seasonal deciduous forest (2649.4 Mg ha⁻¹ year⁻¹), exposed soil along roads (2009.9 Mg ha⁻¹ year⁻¹), and degraded pastures (1520.9 Mg ha⁻¹ year⁻¹). However, the highest average soil losses occurred in the erosive processes class (285.81 Mg ha⁻¹ year⁻¹) and exposed soil (159.35 Mg ha⁻¹ year⁻¹). Finally, the study demonstrates that the application of RUSLE integrated with the InVEST Model is effective in estimating soil losses, constituting an important tool to support territorial planning and management actions in the Indaiá stream watershed.

Key-words: Soil loss; Environmental monitoring; RUSLE.

1 INTRODUÇÃO

As primeiras civilizações desenvolveram-se ao entorno de corpos de água, utilizando-a para sua sobrevivência, pois a água é um recurso natural primordial para a vida em contexto holístico. De acordo com o Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL, 2014, p.163) para análise de plano de bacia, o avanço das pressões antrópicas de forma desordenada sobre o espaço geográfico, resulta em um elevado custo financeiro ou até mesmo em danos irreversíveis no ecossistema afetado, por esta razão se faz necessário realizar medidas de caráter preventivo através de análises baseadas em aspectos técnicos que compreendem o planejamento do ordenamento territorial frente as potencialidades naturais. Cunha (2015) ressalta a realidade do uso inadequado da terra e a importância do manejo e conservação do solo para evitar processos de degradação ambiental em bacias hidrográficas como o escoamento superficial das águas pluviais que carregam sedimentos à jusante, por isso a importância de conhecer o meio ambiente (relevo, geologia, geomorfologia, solo, clima, vegetação, hidrografia) e como usar os recursos naturais da melhor maneira, em consonância com Ross (1994), os estudos ambientais são fundamentais para entender os processos que ocorrem através da inter-relação homem/natureza com o intuito do uso racional e a preservação dos recursos naturais.

Cada elemento físico tem a sua função para manter a boa qualidade de uma bacia hidrográfica. No caso do solo quando há o desequilíbrio sem a presença adequada da vegetação, pode desencadear-se o processo erosivo, Silva (2024) ressalta a questão do assoreamento e a eutrofização de reservatórios que impactam na fertilidade do solo, aumentando o risco de desertificação e erosão.

O processo erosivo é parte complexa e comum em uma bacia hidrográfica, que depende dos subprocessos que ocorrem nas encostas, leitos e margens das áreas de drenagem. Sua complexidade envolve três fases distintas: remoção, transporte e deposição dos sedimentos, cuja intensidade é determinada pelo tipo de material sedimentar e a energia do fluxo. (SILVA, 2024)

Ainda nessa vertente, Cunha (2015) relata que a erosão do solo foi considerada a principal ameaça às funções do solo em vários continentes e subcontinentes. Para aplicar técnicas que auxiliem na preservação a longo prazo destes ambientes, o método utilizado foi da Revisão da Equação Universal de Perda de Solo (RUSLE), Costa (2023) mostra que esse método pode ser realizado através de uma planilha e possibilita analisar o fator de erosividade (R – potencial da chuva que pode ocasionar erosão no solo), o fator de erodibilidade (K – taxa de perda de solo em cenário de rampa), fator de declividade (LS – relaciona comprimento e

inclinação da encosta), fator de prática do uso do solo (C – relaciona os usos do solo) e o fator de prática conservativa do solo (P – relaciona as práticas de conservacionistas do solo).

Dentro deste cenário a quantificação e espacialização da perda de solo através da RUSLE baseado no Modelo InVEST (software) módulo Sediment Delivery Ratio (SDR – taxa de entrega de sedimentos) que “utiliza *rasters* como fonte de informações e quase todos os resultados são expressos em mapas” (RODRIGUES; FERREIRA, 2021) se torna uma ferramenta indispensável para avaliar a erosão do solo, e determinar uso e manejo do solo de forma adequada, visando principalmente a produção sustentável e a manutenção dos serviços ecossistêmicos e do setor econômico na região do Assentamento Indaiá.

Em âmbito global, o crescente desenvolvimento econômico com as produções de alimentos, rações e biocombustíveis já apresentaram alguns momentos de crises pois, as áreas de terras agricultáveis necessárias para a produção estão diminuindo em muitas partes do mundo (GIBBS et al., 2015; CUNHA et al., 2022). O uso inadequado da terra associado à falta de práticas de planejamento ambiental e conservação do solo e água provocam processos de degradação ambiental, especialmente nas bacias hidrográficas situadas principalmente no bioma Cerrado, em consequência do aumento da velocidade do escoamento superficial das águas pluviais, carregamento de sedimentos à jusante, perda de nutrientes, comprometendo a qualidade desse ambiente devido sua característica sistêmica (fluxo constante de matéria e energia).

Diante deste cenário, a bacia hidrográfica do córrego Indaiá desde 2009 tem passado por uma intensa transformação no uso e cobertura da terra devido a instalação do complexo de assentamento rural Indaiá I, II, III e IV. Em dezembro de 2009, o INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) realizou o lançamento simultâneo dos quatro primeiros projetos de reforma agrária em Aquidauana- MS. Ao todo foram 252 famílias beneficiadas pelo complexo de 6,4 mil hectares formado pelos assentamentos Indaiá I, II, III e IV (INCRA, 2009). Estudos de diagnóstico e monitoramento ambiental já foram realizados (Cunha et. al., 2013; Cunha et al., 2017), no entanto, nos últimos anos ocorreu um avanço das áreas florestas plantadas (eucaliptos) na região sudeste da bacia. Observamos que nenhum estudo analisou os impactos dessa mudança na erosão do solo. Tal fato acentua a importância da realização dessa pesquisa para subsidiar o planejamento, gestão e a conservação do solo e da água, visando principalmente a produção sustentável e a manutenção dos serviços ecossistêmicos e do setor econômico na região do Assentamento Indaiá.

Nesse estudo de caso será utilizado o modelo *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs* (InVEST 3.12.0) (Sharp et al., 2020) baseado na Revised Universal

Soil Loss Equation- RUSLE para mapear e quantificar as perdas de solo na bacia hidrográfica do Córrego Indaiá.

A *Revised Universal Soil Loss Equation*- RUSLE (RENARD et al., 1997) uma versão revisada da USLE (WISCHMEIER e SMITH 1978) que é um modelo amplamente utilizado em todo o mundo para estimar perdas médias anuais de solo tanto por erosão entressulcos ou sulcos (PANAGOS e KATSOYIANNIS, 2019.). Além disso, é conveniente e compatível com SIG podendo ser utilizadas a fim de compreender efeitos dos processos de degradação do solo em várias escalas de paisagem (GOMES et al., 2019; TENG et al., 2018).

2. METODOLOGIA

A metodologia aplicada foi a abordagem sistêmica, inicialmente analisou-se o contexto histórico e espacial que reflete nas relações e dinâmicas econômicas, sociais, culturais, ambientais e políticas de uma região (RATTNER, 2006). Nesta análise, Capra (2000) elucida a necessidade de entender os problemas ambientais, a partir de uma visão sistêmica, em função das diversas perspectivas de conexão e interação dos aspectos envolvidos, compreendendo-se a importância de investigar os problemas para solucioná-los e preveni-los (CAPRA, 2000:23).

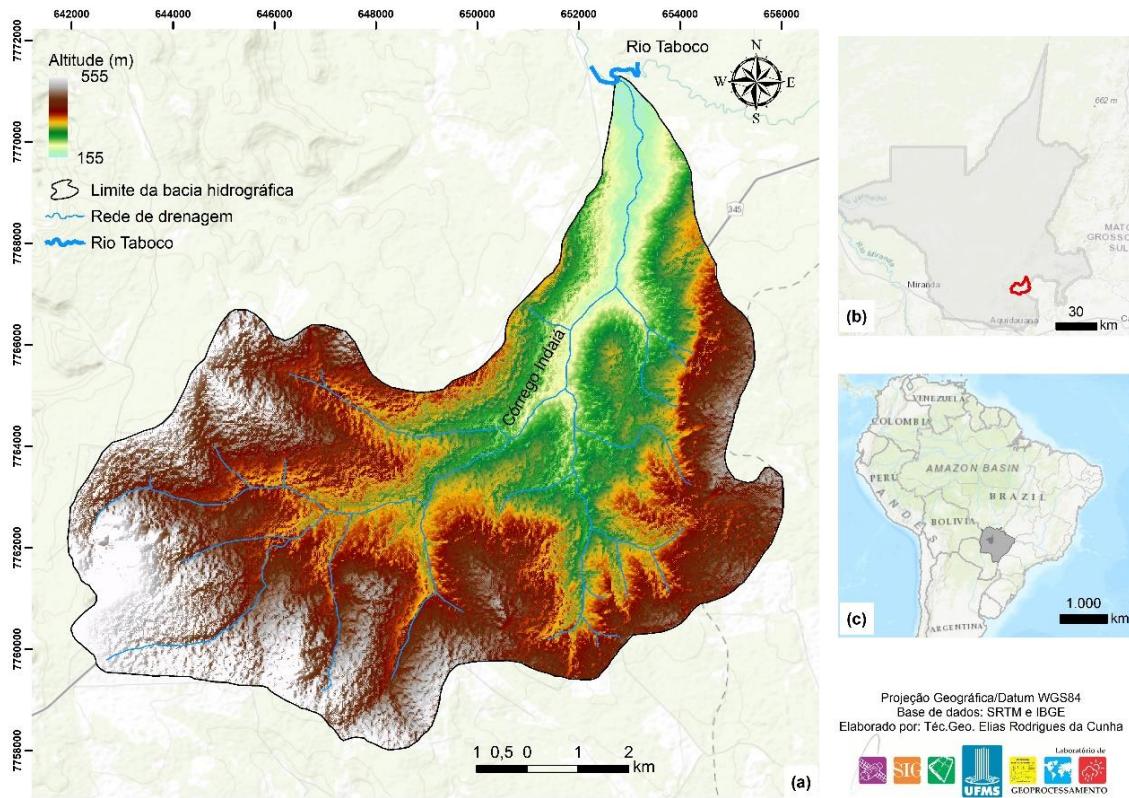
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do córrego Indaiá (Figura 1) está localizada na porção sudeste do município de Aquidauana- MS, entre as coordenadas 20°09'00" S e 20°16'00" S e 55°29'30" W e 55°39'00" W, ocupando uma área de aproximadamente 94,64 km². O córrego Indaiá está inserido na Bacia do Alto Paraguai (BAP), é afluente do rio Taboco, que por consequência adentre a Planície Pantaneira. A unidade de estudo está inserida no bioma Cerrado. A geomorfológico é estruturada na Bacia Sedimentar do Paraná, subdividida em duas unidades morfoesculturais principais: o Planalto Maracaju–Campo Grande e a Depressão do Paraguai.

O acabaço geológico é composta pelas Formações Furnas (Grupo Paraná) e Aquidauana, além dos depósitos de Aluviões Fluviais atuais (BRASIL, 1982; BRASIL, 1997). Os solos predominantes na bacia incluem Gleissolos Háplicos, Neossolos Quartzarênicos, Latossolos Vermelhos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Litólicos.

Figura 1: mapa de localização da bacia hidrográfica do Córrego Indaiá.



Fonte: Elias Rodrigues da Cunha (2025).

3.2 Modelo InVEST

O modelo *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs* (InVEST 3.9.0) (Sharp et al., 2020) através do módulo SDR foi utilizado para espacializar e quantificar as perdas de solo. O modelo permitiu a caracterização da conectividade hidrológica da bacia e supera as limitações dos modelos convencionais de erosão do solo (Sharp et al., 2020). Além disso, pode ser facilmente adaptado a um contexto específico e para dados globais ou locais (Aneseyee et al., 2020). O módulo SDR é baseado no conceito de conectividade hidrológica e tem sido bastante aplicado nos últimos anos e os resultados são considerados satisfatórios (CUNHA et al., 2021; SHRESTHA et al., 2021; GUERRA et al., 2020; ZHOU et al., 2019).

A partir da versão 3.12.0 do InVEST, diversas atualizações importantes foram implementadas no modelo SDR, com o objetivo de melhorar sua funcionalidade, clareza e exatidão. O termo “deposição” foi substituído por “aprisionamento”, e o parâmetro intermediário anteriormente identificado como R passou a ser denominado T, com a finalidade de evitar confusões com o fator R utilizado na equação USLE.

Os cálculos dos parâmetros intermediários R (agora chamado de T – referente ao aprisionamento) e F (fluxo) foram reformulados. Antes, R e F eram determinados de maneira que o sedimento erodido de um determinado pixel (de acordo com a Equação Universal de Perda de Solo Revisada – RUSLE) pudesse ser retido pela cobertura vegetal nesse mesmo local. Essa abordagem apresentava uma incoerência conceitual: a influência da vegetação na diminuição da erosão e do transporte de sedimentos já está representada no fator C da RUSLE (Wischmeier e Smith, 1978). Permitir que o sedimento seja retido imediatamente no mesmo pixel implicava em contabilizar duas vezes a função da vegetação.

Com a revisão dos cálculos, todo o material erodido de um pixel é transferido para o pixel imediatamente a jusante, onde poderá ser retido ou continuar seu deslocamento. Embora essa modificação não altere os resultados relativos à qualidade da água em comparação com a versão anterior do modelo, ela pode modificar a identificação espacial de onde os serviços de retenção de sedimentos estão sendo fornecidos. Portanto, é provável que haja variações nos resultados em relação às versões anteriores do InVEST.

3.2.1 RUSLE

A erosão e a retenção de sedimentos superficiais são processos naturais que governam a concentração de sedimentos em cursos d'água. A dinâmica de sedimentos na escala da bacia hidrográfica é determinada principalmente pelo clima (em particular, a intensidade da chuva), pelas propriedades do solo, pela topografia e pela vegetação, bem como por fatores antropogênicos, como atividades agrícolas. A RUSLE calcula a quantidade média de perda de solo a partir da Equação 1, que utiliza cinco fatores (RENARD et al., 1997; WISCHMEIER; SMITH 1978). Todas as etapas, desde o processamento dos dados, a obtenção das variáveis e a aplicação da RUSLE foram realizados em ambientes InVEST 3.12 e ArcMap 10.8.2

Eq. 1

$$A=R \times K \times LS \times C \times P$$

Onde: A é perda de solo por unidade de área (Mg/ha/ano); R é a erosividade das chuvas ($MJ \text{ mm ha}^{-1} h^1$); K é a erodibilidade dos solos face suas características físicas, químicas e biológicas ($Mg \text{ ha h ha}^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}$); O LS é o fator comprimento de rampa e declividade; C é o fator uso e manejo da terra e P é o fator práticas conservacionistas.

3.2.1.1 Fator erosividade da chuva (R)

Devido à ausência de estações pluviométricas na região do córrego Indaiá foram usados valores obtidos por Cunha et al. (2015) com base nos dados elaborados por Oliveira et al. (2012). No estudo os autores utilizaram umas séries históricas de três estações pluviográficas: Campo Grande (3 anos), Dourados (8 anos) e Coxim (4 anos) e 109 estações pluviométricas (superior a 15 anos) para obtenção de equações de regressão entre o índice de erosividade EI_{30} (WISCHMEIER, 1959) e o coeficiente de chuvas.

3.2.1.2 Fator erodibilidade do solo (K)

O mapa de solos utilizado foi o elaborado por Cunha et al. (2015) com base no levantamento de solos realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- Embrapa (SANTOS et al., 2018) e trabalhos de campo nos anos de 2012 e 2014.

3.2.1.3 Fator topográfico (LS)

O fator LS (comprimento de rampa e declividade) representa a influência do comprimento e do grau de declive na perda de solo. O fator LS foi gerado para cada pixel do modelo digital de elevação (MDE) extraído das imagens da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução de 1 segundo de arco (~ 30 metros). O fator LS foi calculado no modelo InVEST a partir do método desenvolvido por Desmet e Govers (1996), McCool et al. (1987, 1989) (Sharp et al., 2020), conforme as equações 2, 3, 4 e 5.

(2)

$$L_{(i,j)} = \frac{\left(A_{(i,j)} + D^2\right)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m D^{m+2} (22.13)^m}$$

(3)

$$m = \beta / (1 + \beta)$$

(4)

$$\beta = (\sin \theta / 0.0896) / \left[3(\sin \theta)^{0.8} + 0.56 \right]$$

(5)

$$S = 10.8 \sin \theta + 0.03 \quad (S < 9\%) \quad (4)$$

$$S = 16.8 \sin \theta - 0.50 \quad (S \geq 9\%)$$

Onde: $L(i,j)$ = fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i,j) ; $A_{i,j}$ = área de contribuição de uma célula com coordenadas (i,j) (m^2); D = tamanho da grade de células (m); $X_{i,j}$ = valor da direção do fluxo; m = coeficiente dependente da declividade; 22,13= tamanho padrão da parcela USLE (WISCHMEIER e SMITH 1978) e RUSLE (RENARD et al. 1997). Onde: β é o quociente entre a erosão em sulcos e entressulcos podendo ser calculado conforme a Eq. 5 (MCCOOL et al. 1989). Onde: θ = ângulo em graus da encosta.

3.2.1.4 Mapeamento do uso e cobertura da terra, fatores uso e manejo (C) e práticas conservacionistas (P)

O mapeamento de uso e cobertura da terra foi elaborado em ambiente ArcMap 10.8.2 segundo procedimentos metodológicos descritos por Cunha et al. (2017) que utiliza como base imagens de alta resolução espacial e técnicas de interpretação visual de imagem. A primeira etapa foi a elaboração de um mosaico das imagens Planet (L15-0707E-0906N, L15-0707E-0907N, L15-0708E-0906N, L15-0708E-0907N) com resolução espacial de aproximadamente 5 metros datadas de fevereiro de 2025. Em seguida, com base nas imagens Planet realizamos a atualização das classes que sofreram mudanças/ transições no ano de 2025 usando os dados vetorizados (shapefile) das classes de uso e cobertura da terra referente ao ano de 2013.

O fator uso e manejo do solo (C) é a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições, e as perdas correspondentes desse terreno mantido continuadamente descoberto e sem cultivo (WISCHMEIER e SMITH 1978). O fator C reflete diretamente o efeito do cultivo e práticas de gestão na taxa de erosão, sendo um dos fatores mais usados para comparar os impactos relativos das opções de gestão sobre planos de conservação (RENARD et al., 1997). O fator P é a relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática conservacionista e as perdas quando se cultiva no sentido do declive (morro abaixo) (WISCHMEIER e SMITH, 1978). As práticas conservacionistas mais comuns para as culturas anuais são: plantio em contorno, plantio em faixas e terraceamento. Finalmente, atribuímos valores para os fatores C e P (Tabela 1)

Tabela 1: Valores biofísicos das classes do uso e cobertura da terra (fatores C e P).

Classes de uso e cobertura da terra	Fator C	Referências	Fator P	Referências
Pasto sujo	0,016	Galdino et al. 2012	1,0	Galdino et al. 2012
Agricultura	0,143	Bertol et al. 2001	1,0	Bertol et al. 2001
Campo graminosos úmidos	0,013	Cunha et al. 2017	1	Cunha et al. 2017
Cerradão	0,013	Oliveira et al. 2015	0,8	Cunha et al. 2017
Cerrado sentido restrito	0,013	Cunha et al. 2017	0,8	Cunha et al. 2017
Solo exposto (estrada e outras áreas)	1	Oliveira et al. 2015	1	Cunha et al. 2017
Floresta estacional semidecidual	0,013	Martins et al. 2010	0,8	Cunha et al. 2017
Floresta estacional decidual	0,013	Oliveira et al. 2015	0,8	Cunha et al. 2017
Mata ciliar	0,013	Cunha et al. 2017	0,8	Cunha et al. 2017
Processos erosivos	1	Cunha et al. 2017	1	Cunha et al. 2017
Vegetação secundária	0,013	Cunha et al., 2017	0,8	Cunha et al., 2017
Pastagem com terraço	0,016	Cunha et al., 2017	0,5	Cunha et al., 2017
Veredas	0,01	Cunha et al., 2017	1	Cunha et al., 2017
Eucaliptos	0,016	Cunha et al., 2017	0,8	Cunha et al., 2017

Fonte: Os autores (2025).

4. Resultados e discussão

4.1 Perdas de solo

A combinação dos fatores naturais (solo, chuva e topografia) e humanos (uso e manejo da terra), analisados em ambiente SIG, permitiu calcular as perdas de solo na bacia do córrego Indaiá (Figura 2). Os valores estimados variaram de 0 a 2.649,43 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, com média de 10,42 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Observou-se um aumento de 823,84 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no valor máximo de perdas de solo em comparação aos resultados apresentados por Cunha et al. (2015). Esse incremento pode estar associado ao surgimento ou à expansão de áreas com processos erosivos (Figura 3). Por outro lado, ao comparar as médias de perdas de solo, verificou-se uma mudança significativa. Em 2015, a média era de 19,23 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, reduzindo para 10,42 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no presente estudo, o que representa uma diminuição de 45,81% nas perdas médias anuais na área analisada.

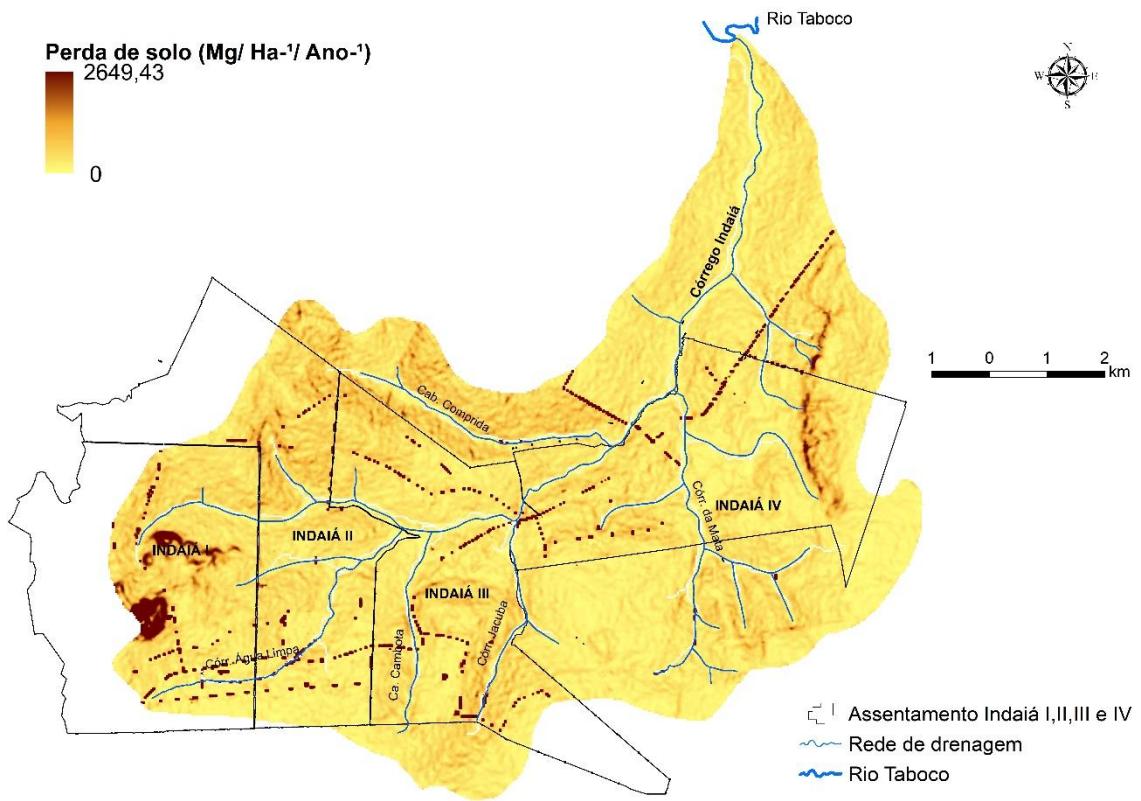


Figura 2- Espacialização de perdas de solo na área de estudo a partir do modelo RUSLE.

Para facilitar a interpretação dos resultados, as perdas de solo foram classificadas conforme sua intensidade (Tabela 2), seguindo os intervalos propostos por Cunha et al. (2022). As classes consideradas foram: Ligeiramente Leve ($0\text{--}2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), Leve ($2\text{--}5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), Moderada ($5\text{--}10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), Intensa ($10\text{--}20 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), Extremamente Intensa ($20\text{--}50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e Severa ($>50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

Tabela 2: Quantificação de perda de solo a partir do modelo RUSLE

Perda de solo $\text{Mg ha}^1 \text{ ano}^1$	Classes	Área (ha)	%
0 a 2	Ligeiramente leve	787,66	9,00
2 a 5	Leve	2960,50	33,83
5 a 10	Moderada	3335,03	38,11
10 a 20	Intensa	1370,47	15,66
20 a 50	Extremamente intensa	211,51	2,42
> 50	Severa	85,93	0,98
Total		8751,10	100,00

Fonte: Os autores (2025).

Os resultados apresentados na Tabela 2 mostram que em 80,94% da bacia do Córrego Indaiá ocorrem perdas de solo moderadas, inferiores a $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Esse valor é muito próximo aos 85,59% encontrado em 2015 por Cunha et al. (2017) ao estimar as perdas de solo

na bacia do Córrego Indaiá. Ainda de acordo com o autor, essas perdas ocorrem nas áreas de relevo plano à suave onulado com declividades inferiores a 20%, cuja cobertura vegetal é caracterizada pela presença de vegetação nativa e pastagem. Os resultados desse estudo corroboram como os obtidos por Nicolete e Piroli (2025) bacia hidrográfica do Rio Pardo na região sudoeste do Estado de São Paulo onde encontram perdas moderadas em 88,3%. Barboza et al. (2024) ao analisarem as perdas de solo microbacia hidrográfica de Jucusbamba (noroeste do Peru) encontraram perdas moderadas em 93,34% da bacia. As perdas classificadas como intensa ocupam 15,66%, as Extremamente Alta e Severa somadas correspondem a 3,4% da área da bacia, sendo localizadas principalmente nas áreas com processos erosivos, solo exposto ao longo das estradas, bem como nas áreas de encostas dos morros (Figura 3).

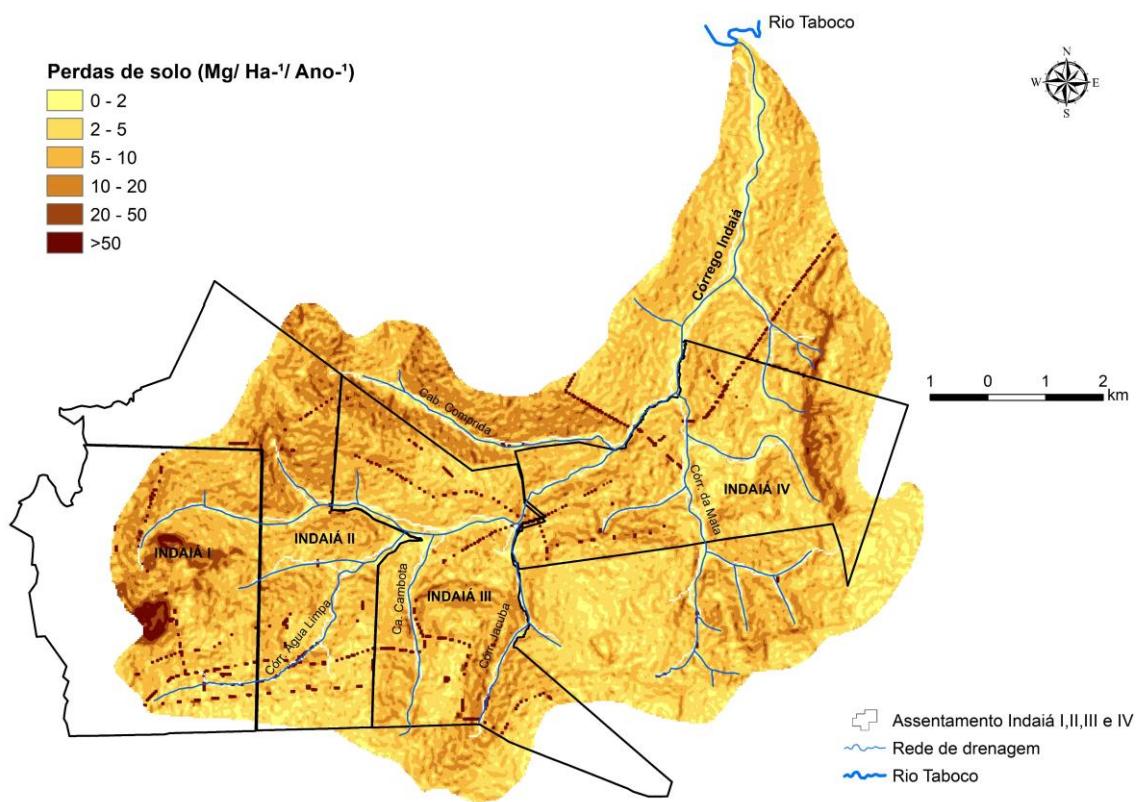


Figura 3- Espacialização de perdas de solo por intervalos.

A estimativa das perdas de solo para cada categoria de uso da terra e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do córrego Indaiá é apresentada na Tabela 3.

No que se refere aos valores máximos de perdas de solo associados aos diferentes tipos de uso da terra, observou-se que as maiores perdas ocorreram em áreas de floresta estacional decidual, que alcançaram $2.649,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e representam 5,39% da área da

bacia. Em seguida, destacam-se as áreas de solo exposto, com perdas máximas de 2.009,9 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, o que é coerente com a elevada vulnerabilidade de superfícies desprotegidas ao longo de todo o ano. A classe pasto sujo (degradado) apresentou perdas máximas de 1.520,9 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, possivelmente relacionadas à baixa cobertura vegetal e à compactação do solo causada pelo pisoteio excessivo, constituindo a terceira maior perda máxima registrada.

Tabela 3- Quantificação das perdas de solo por classes de uso e cobertura da terra.

Uso e cobertura da terra	Área	Estimativa de perda de solo (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)			
		ha	%	Máx	Média
Cerradão	507,88	5,36		1148,6	8,55
Mata ciliar/galeria	441,73	4,67		1049	7,87
Cerrado sentido restrito (<i>stricto sensu</i>)	182,55	1,93		1025,4	11,29
Floresta estacional semidecidual	917,78	9,69		501,26	6,89
Floreta estacional decidual	510,03	5,39		2649,4	17,27
Veredas	361,14	3,81		432,37	3,44
Campos graminosos úmidos	222,11	2,35		778,97	5,18
Vegetação secundária	409,93	4,33		1106,5	9,15
Pastagem com terraço	2636,20	27,84		1193,3	6,24
Pasto sujo (degradado)	2995,24	31,64		1520,9	12,2
Solo exposto (estradas e outras áreas)	72,15	0,76		2009,9	159,35
Silvicultura	196,46	2,08		9,62	2,43
Processos erosivos	9,30	0,10		875,41	285,81
Área construída	1,79	0,02			
Corpos d'água	3,55	0,04			
Total	9467,83			100,00	

Fonte: Os autores (2025).

Quando analisamos os valores médios, mas maiores perdas ocorrem justamente nas áreas onde o solo está sem cobertura vegetal, desprovido, o que favorece o desenvolvimento erosão, consequentemente aumentando as perdas de solo nessas áreas. As maiores perdas ocorreram na classe processos erosivos (285,81 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e Solo exposto ao longo das estradas e outras áreas (159,35 Mg ha⁻¹ ano⁻¹).

Ao considerar as menores perdas médias anuais, a classe silvicultura apresentou o menor valor médio (2,43 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), seguida pelas veredas (3,44 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), paisagem típica do Cerrado associada a áreas úmidas dominadas por buritis. Logo após, aparecem os campos graminosos úmidos, com perdas médias de (5,18 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) em seguida a pastagem com terraço (6,24 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) técnica que atua diretamente na redução da erosão e no controle do escoamento da água da chuva evitando perdas severas de solo, as florestas estacional semidecidual apresenta uma perda média de (6,89 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) isso

porque o solo permanece protegido pelas folhas caídas e detrito orgânico funcionando como uma camada protetora.

5. Conclusão

Os resultados indicaram perdas de solo variando de 0 a 2649,43 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, com média geral de 10,42 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Em 80,94% da bacia do Córrego Indaiá ocorrem perdas de solo inferiores a 10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. As classes Extremamente Alta e Severa (superiores a 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) somadas correspondem a 3,4% da área da bacia, sendo localizadas principalmente nas áreas com processos erosivos, solo exposto ao longo das estradas, bem como nas áreas de encostas dos morros.

A análise dos valores máximos por classe de uso e cobertura mostrou que as maiores perdas ocorreram em áreas de floresta estacional decidual (2649,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), solo exposto ao longo das estradas (2009,9 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e pastagens degradadas (1520,9 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Entretanto, as maiores médias de perdas de solo ocorreram na classe processos erosivos (285,81 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e solo exposto (159,35 Mg ha⁻¹ ano⁻¹).

Esse cenário indica risco de aceleração dos processos erosivos, aumento do assoreamento dos cursos d'água e comprometimento da qualidade hídrica. Caso não sejam adotadas práticas de manejo e conservação, a tendência é de intensificação da degradação, afetando a estabilidade do solo e o equilíbrio ecológico da bacia. Soluções práticas e técnicas podem contribuir para impedir o aumento gradual da erosão na bacia, incluindo medidas como plantio em nível, terraceamento e recuperação de áreas degradadas com vegetação nativa, entre outras.

Por fim, estudo demonstra que a aplicação da RUSLE integrada ao Modelo InVEST é eficaz para estimar perdas de solo, constituindo uma ferramenta importante para apoiar ações de planejamento e gestão territorial na bacia hidrográfica do córrego Indaiá.

REFERÊNCIAS

CAPRA, F. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos.** São Paulo: Cultrix, 2000

COSTA, José. **Como calcular a perda de solo pelo Método de RUSLE?** Blog Sobre as Águas. Junho, 2023. Disponível em:<<https://sobreasaguas.com/2023/06/02/como-calcular-a-perda-de-solo-pelo-metodo-de-rusle/>>. Acesso em: novembro de 2025.

CUNHA, E. R.; BACANI, V. M.; FACINCANI, E. M.; SAKAMOTO, A. Y.; LUCHIARI, A. **Remote sensing and gis applied to geomorphological mapping of the watershed stream Indaia, MS, Brazil.** In: 8th IAG International Conference on Geomorphology, Paris-France. 8th IAG International Conference on Geomorphology, 2013.

CUNHA, E.R., BACANI, V.M. e PANACHUKI, E. **Modelagem da erosão do solo usando RUSLE e SIG em uma bacia hidrográfica ocupada por assentamentos rurais no Cerrado brasileiro.** *Nat Hazards* **85**, 851–868 (2017). Disponível em:<<https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-016-2607-3>>. Acesso em: outubro de 2025.

CUNHA, Elias Rodrigues da. **Geoprocessamento aplicado a estimativa de perdas de solo da bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS.** 2015. Dissertação (Programa de Pós-Graduação-Mestrado em Geografia/ Área de concentração: Análise Geoambiental e Produção do Território). CPTL/UFMS. Três Lagoas-MS, 2015. Disponível em:<<https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/2503>>. Acesso em: outubro de 2025.

CUNHA, Elias Rodrigues da. **Predições do uso e cobertura da terra e seus impactos na erosão do solo no ecótono Cerrado/Mata Atlântica : estudo de caso da bacia hidrográfica do Rio da Prata / Elias Rodrigues da Cunha.** - João Pessoa, 2021. 132 f. Disponível em:< https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/24083?locale=pt_BR>. Acesso em: outubro de 2025.

GOMES, Luciene et al. **Agricultural expansion in the Brazilian Cerrado: Increased soil and nutrient losses and decreased agricultural productivity.** Land, v. 8, n. 1, p. 12, 2019.

INCRA, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Disponível em:<<http://www.incra.gov.br/incra-lanca-complexo-de-assentamentos-em-aquidauana>>. Acesso em: outubro de 2025.

MATO GROSSO DO SUL. 2014. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia e Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. **Plano de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Ivinhema.** Campo Grande-MS, março/2014, p.163. Disponível em:< <https://wwwimasul.ms.gov.br/wp->

<content/uploads/2015/06/Diagn%C3%BDstico-Final-Plano-de-Bacia-Ivinhema.pdf>. Acesso em: outubro de 2025.

OLIVEIRA, Paulo TS et al. **Spatial variability of the rainfall erosive potential in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil.** Engenharia Agrícola, v. 32, n. 1, p. 69-79, 2012.

RATTNER, H. **Abordagem sistêmica, interdisciplinar e desenvolvimento sustentável.** Revista Espaço Acadêmico, São Paulo, nº 56, ano V, Janeiro/2006.

RENARD, K. G.; FOSTER, G.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. **Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).** Agricultural Handbook No 703. United States Department of Agriculture, Washington, DC, 1997

ROSS, Jurandy Luciano Sanches. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.** In: Revista do departamento de geografia, nº 8. FFLCH. SP. São Paulo, 1994.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5^a ed. Embrapa, Brasília, DF, pp. 531. 2018

SHARP, Richard. *et al.* **InVEST 3.9.0 User's Guide.** The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota. The Nature Conservancy, and World Wildlife Fun., 2020. Disponível em:<[\(PDF\) Guia do Usuário do InVEST](#)>. Acesso em: outubro de 2025.

SHRESTHA, M., PIMAN, T., GRÜNBÜHEL, C. **Prioritizing key biodiversity areas for conservation based on threats and ecosystem services using participatory and GIS-based modeling in Chindwin River Basin, Myanmar.** Ecosystem Services, 48, 101244, 2021.

SILVA, Erika Roanna da. **Modelagem da Taxa de Retenção de Sedimentos (SDR) em uma Bacia Hidrográfica do semiárido brasileiro utilizando o modelo InVEST /** Erika Roanna da Silva. 3 2024. 84 f.: il. color. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza,

2024. Disponível em:< <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/78129>>. Acesso em: novembro de 2025.

TENG, H. et al. **Current and future assessments of soil erosion by water on the Tibetan Plateau based on RUSLE and CMIP5 climate models**. Science of the Total Environment v. 635, p. 673–686, 2018

WISCHMEIER, W. H, SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation. Agricultural Handbook No. 537.** Planning, Science and Education Administration. United States Department of Agriculture, Washington, DC, 1978.

ZHOU, M. et al. **Identifying the effects of land use change on sediment export: Integrating sediment source and sediment delivery in the Qiantang River Basin, China.** Science of the total environment, 686, 38-49, 2019.

Nicolete, Donizeti Aparecido Pastori and Piroli, Edson Luís, Spatio-Temporal Analises of Soil Loss and Sediment Export Using GIS and the Invest-Sdr Model: Applications in the Rio Pardo Basin, Brazil. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=5302072> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5302072>

BARBOZA, Elgar et al. Estimation of soil loss using RUSLE model and GIS tools: Case study in the Jucusbamba Micro-Watershed (Amazonas, NW Peru). **Revista Ambiente & Água**, v. 19, p. e2998, 2024.