







# Impacto das mudanças climáticas e de uso e cobertura da terra na perda de solo de pequenas bacias hidrográficas da Amazônia e do Cerrado

Impact of climate change and land use and cover on soil loss in small catchments in the Amazon and Cerrado

Radjha Jennifer Nunes da Silva<sup>1</sup> , Ruan Veloso Sousa Sobral<sup>1</sup> ,  
Amanda de Cássia Lobato Soares<sup>1</sup> , Leonardo Melo de Mendonça<sup>1</sup> ,  
Josias da Silva Cruz<sup>1</sup> , Claudio José Cavalcante Blanco<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, PA, Brasil. E-mails: radijha.silva@itec.ufpa.br, sobralruan15@gmail.com, amanda.soares@itec.ufpa.br, leonardomeelo@gmail.com, josias.cruz75@gmail.com, blanco@ufpa.br

**Como citar:** Silva, R. J. N., Sobral, R. V. S., Soares, A. C. L., Mendonça, L. M., Cruz, J. S., & Blanco, C. J. C. (2024). Impacto das mudanças climáticas e de uso e cobertura da terra na perda de solo de pequenas bacias hidrográficas da Amazônia e do Cerrado. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 21, e19. <https://doi.org/10.21168/rega.v21e19>

**RESUMO:** O objetivo é analisar o impacto das mudanças climáticas e do uso e cobertura da terra na perda de solo de uma pequena bacia hidrográfica na Amazônia e outra no Cerrado. A perda de solo foi estimada via Equação Universal da Perda de Solo (USLE). O fator de erosividade da chuva (R), atual, foi estimado com dados observados de precipitações. O R futuro foi estimado com dados de precipitações simulados por sete modelos climáticos da NASA Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP), considerando o cenário climático SSP5-8.5 (*Shared Socioeconomic Pathways*, em português, Caminhos Socioeconômicos Compartilhados). O fator C foi determinado para o período atual e para três cenários de uso e cobertura da terra. Os outros fatores da USLE foram determinados para o período atual e considerados os mesmos para a cenarização futura. Os resultados apontaram que as precipitações diminuirão e, conseqüentemente, as erosividades diminuirão nas regiões das pequenas bacias hidrográficas analisadas. A perda de solo futura da bacia do Rio Braço Norte apresentou aumento nos três cenários de uso e cobertura da terra. Na bacia do Rio Piranhas, a perda de solo futura aumentou em um dos três cenários de uso e cobertura da terra. Nos casos de aumento da perda de solo, é importante considerar a implementação de práticas conservacionistas do uso e cobertura da terra, evitando-se prejuízos para a economia das comunidades locais.

Palavras-chave: USLE; CMIP6; NEX-GDDP; Precipitação Futura.

**ABSTRACT:** The objective is to analyze the impact of climate change and land use and cover on soil loss in a small catchment in the Amazon and another in the Cerrado. Soil loss was estimated via the Universal Soil Loss Equation (USLE). The current R factor was estimated with observed rainfall data. The future R was estimated with rainfall data simulated by seven NASA Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP) climate models, considering the SSP5-8.5 climate scenario (Shared Socioeconomic Pathways). The C factor was determined for the current period and for three land use and cover scenarios. The other USLE factors were determined for the current period and considered the same for the future scenario. The results indicated that precipitation will decrease and, consequently, erosivity will decrease in the regions of the small catchments analyzed. Future soil loss in the Braço Norte catchment increased in the three land use and cover scenarios. In the Piranhas catchment, future soil loss increased in one of the three land use and cover scenarios. In cases of increased soil loss, it is important to consider the implementation of conservation practices in land use and cover, avoiding losses to the economy of local communities.

Keywords: USLE; CMIP6; NEX-GDDP; Future Precipitation.

## INTRODUÇÃO

A climatologia progrediu geometricamente e confirmou a hipótese de que as mudanças climáticas estão ocorrendo, com forte influência humana no aumento das temperaturas do planeta, sendo a

Recebido: Junho 27, 2024. Revisado: Setembro 30, 2024. Aceito: Outubro 02, 2024.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

queima de combustível fóssil e o desmatamento as principais causas do aquecimento global, constatando-se que o mesmo é inequívoco desde meados de 1950 e que não tem precedentes nos últimos milênios (Marengo & Souza Junior, 2018). Projeções fornecidas pelos Modelos de Circulação Global (*Global Circulation Models, GCMs*) possuem um papel importante para entender as mudanças climáticas no futuro (Mishra et al., 2020). Inúmeros estudos mostram que as mudanças climáticas podem afetar significativamente a erosão do solo (Plangoen et al., 2013; Zhang et al., 2010; Park et al., 2011). Um dos impactos diretos das mudanças climáticas na erosão é a interferência no poder erosivo das chuvas (Panagos et al., 2017). Segmentos da economia podem enfrentar consideráveis prejuízos, devido à velocidade com que ocorrem as perdas de solo, afetando diretamente os processos produtivos no meio rural e a infraestrutura urbana nas áreas metropolitanas (Eduardo et al., 2013).

Vários estudos recentes têm documentado aumentos na duração das estiagens na Amazônia (Bottino et al., 2024). A pequena bacia hidrográfica do Rio Braço Norte (Amazônia) está inserida em uma Reserva Biológica do tipo Unidade de Conservação de Proteção Integral Federal. Desde 2009, a região testemunhou tanto a expansão dos esforços de preservação da floresta em áreas há décadas impactadas pela atividade humana, quanto o crescimento da invasão humana por atividades econômicas não legalizadas em regiões de floresta nativa. Os conflitos ambientais na área persistiram devidos à implementação do Projeto da BR-163 e a criação e/ou ampliação das Unidades de Conservação (UC) (Zamadei et al., 2019).

Nos últimos 35 anos, o Cerrado tem sofrido impactos antrópicos significativos. Nesse tempo, mais da metade da sua cobertura vegetal original foi transformada em pastagens, culturas agrícolas e outros tipos de usos (Klink & Machado, 2005). A pequena bacia hidrográfica do Rio Piranhas, localiza-se no município de Abreulândia, onde se situa a maior Unidade de Conservação do Estado do Tocantins, a Área de Proteção Ambiental da Ilha do Bananal (APAIB), que contribui de forma direta para a manutenção da biodiversidade do Parque Estadual do Cantão. No entanto, a bacia do Rio Piranhas não está inserida na APAIB, o que reforça a exploração dos recursos naturais e o aproveitamento econômico por meio de culturas agrícolas e o desmatamento da formação florestal transformada em pastagens (Agência Tocantinense de Saneamento, 2013).

O objetivo é estimar a perda de solo atual e futura através da USLE (Wischmeier & Smith, 1965), em relação ao cenário pessimista, porém realista das mudanças climáticas (Lyra et al., 2018; Costa et al., 2023), i.e., o cenário SSP5-8.5. Assim, dados de precipitação futura foram tomados do cenário supracitado, considerando, também, diferentes cenários de uso e cobertura da terra para a pequena bacia hidrográfica do Rio Braço Norte, localizada no bioma Amazônia, e para a pequena bacia hidrográfica do Rio Piranhas, localizada no bioma Cerrado.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

Na Figura 1 são apresentadas as localizações das pequenas bacias hidrográficas do Rio Braço Norte (Amazônia), com área de drenagem de 465 km<sup>2</sup>, tendo 195,3 km<sup>2</sup> inseridos na Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo (RBNSC); e do Rio Piranhas (Cerrado), com área de drenagem de 186 km<sup>2</sup>. O clima do município de Novo progresso, Estado do Pará, onde fica localizada a pequena bacia hidrográfica do Rio Braço Norte e no município de Abreulândia, Estado do Tocantins, onde fica localizada a pequena bacia hidrográfica Rio Piranhas, enquadra-se no tipo climático Aw da classificação de Köppen-Geiger (Köppen, 1936; Geiger, 1954), sendo tropical com inverno seco. Esse tipo de clima apresenta estação chuvosa de novembro a abril e uma estiagem de maio a outubro (julho é o mês mais seco). A temperatura média para as bacias do Rio Braço Norte e do Rio Piranhas é de, respectivamente, 25,8°C e 26,8°C. A altimetria da pequena bacia do Rio Braço Norte varia de 454m a 690m e do Rio Piranhas varia de 237m a 678 m (Figura 1).

A RBNSC é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral Federal criada em 2005 com o objetivo de conter o avanço do desmatamento às proximidades da BR-163. Contudo, a realidade é diferente, segundo o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), ao longo dos anos, a reserva tem sido ocupada de forma desordenada devido à especulação e grilagem de terras, com intensa exploração de madeira, pastos e garimpos. Há também, a implantação da agricultura comercial de grãos e outros produtos; a caça e a pesca, e a extração de produtos vegetais como castanha e borracha (Brasil, 2023). A reserva vem passando por pressão antrópica de invasão e desmatamentos que deram um grande salto em 2019, continuando de forma crescente, pelo menos, até 2022 (Freire de Aguiar, 2022).

A pequena bacia hidrográfica do Rio Piranhas localiza-se no Município de Abreulândia e faz parte da bacia hidrográfica Tocantins/Araguaia. Abreulândia está localizado na Área de Proteção Ambiental da Ilha do Bananal/Cantão, situada em uma grande porção de seu território (centro e norte), com uma área de 0,121 hectares. A Ilha do Bananal foi instituída em 1997, sendo a maior ilha fluvial do mundo, juntamente a inúmeras lagoas marginais, que durante o período de cheia, formam uma grande planície inundada. Entretanto a pequena bacia do Rio Piranhas não está inserida nessa área de proteção ambiental e nem possui plano de manejo e cobertura da terra (Agência Tocantinense de Saneamento, 2013), justificando sua mais forte antropização (Figura 2).

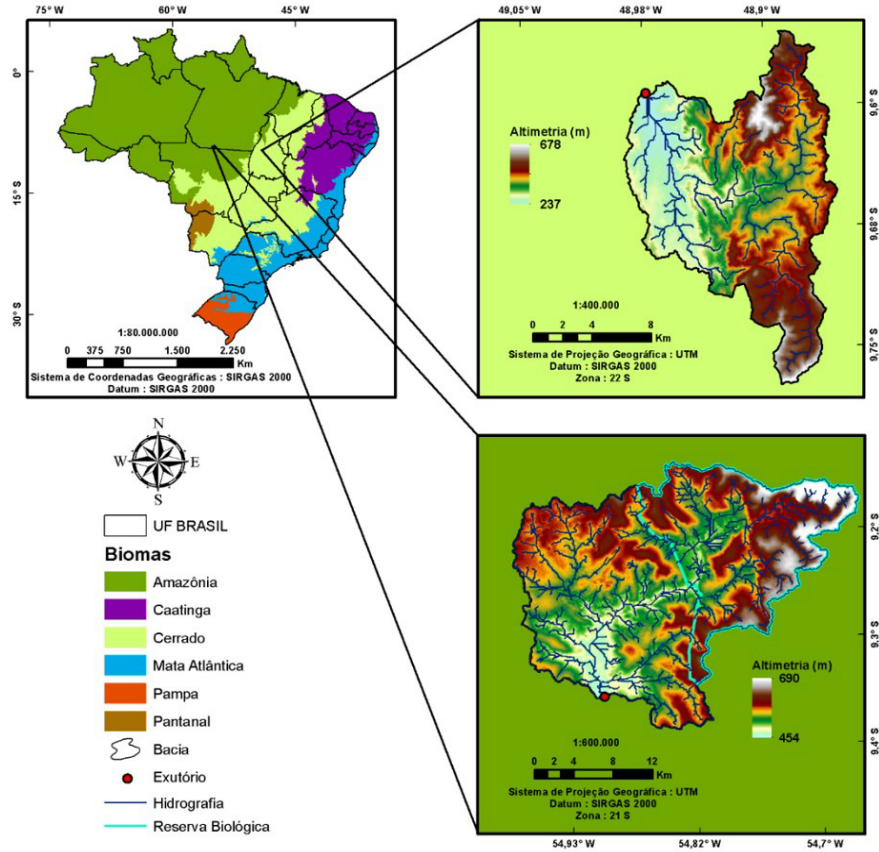


Figura 1 – Mapas de localização das pequenas bacias hidrográficas.

### Uso e cobertura da terra

Os dados de uso e cobertura da terra foram obtidos por meio do mapeamento realizado pelo Projeto MapBiomias (2022) (Figura 2).

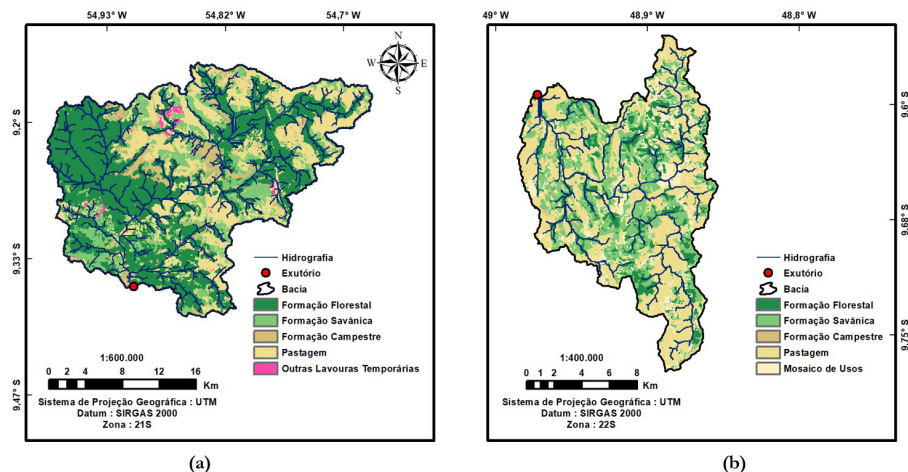


Figura 2 – Uso e cobertura da terra das pequenas bacias hidrográficas do Rio Braço Norte (a) e Rio Piranhas (b).

Analisando-se a Figura 2, tem-se que na região da pequena bacia do Rio Braço Norte predominam solos do tipo Neossolo Quartzarênico Órtico. Sartori et al. (2005) observaram que este tipo de solo apresenta alta taxa de infiltração, sendo muito suscetível à erosão. Entre os usos e cobertura da terra, destacam-se: formação florestal (48,18%) e savânica (15,80%), pastagem (27,41%) e outras lavouras temporárias (0,92%). Na região da pequena bacia do Rio Piranhas predominam solos do tipo Plintossolo Pétrico Concrecionário, normalmente, usados para pastagem, sendo caracterizado por baixa fertilidade e impedimento da penetração de raízes (Moreira & Oliveira, 2008). Entre os usos e cobertura da terra dessa região, têm destaque áreas de formação florestal (13,94%), formação savânica (28,25%), pastagem (42,03%) e mosaico de usos (15,22%). Para a cenarização de possíveis mudanças do uso e cobertura da terra da pequena bacia do Rio Braço Norte, foram considerados 3 cenários, além do atual (Tabela 1). O critério para consideração das classes dos possíveis cenários futuros foi devido ao intenso avanço das atividades antrópicas que ameaçam a pequena bacia do Rio Braço Norte e a RBNSC (Freire de Aguiar, 2022).

Tabela 1 – Cenário atual e possíveis cenários futuros de uso e cobertura da terra da pequena bacia hidrográfica do Rio Braço Norte

Uso e cobertura da terra (%)	Cenário atual (1993-2022)	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
<b>Formação Florestal</b>	48,18	-	-	-
<b>Formação Savânica</b>	15,80	-	-	-
<b>Formação Campestre</b>	7,64	-	-	-
<b>Pastagem</b>	27,41	50	100	-
<b>Outras Lavouras Temporárias</b>	0,92	50	-	100

Para a pequena bacia do Rio Piranhas, também, foram considerados 3 cenários de uso e cobertura da terra, além do cenário atual (Tabela 2). A cenarização abordada na pequena bacia do Rio Piranhas é diferente, visto que 42% da área atual é pastagem. Logo, foi analisado o possível retorno da formação florestal.

Tabela 2 – Cenário atual e possíveis cenários futuros de uso e cobertura da terra da pequena bacia hidrográfica do Rio Piranhas

Uso e cobertura da terra (%)	Cenário atual (1974-2014)	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
<b>Formação Florestal</b>	13,94	-	-	71,75
<b>Formação Savânica</b>	28,25	28,25	28,25	28,25
<b>Formação Campestre</b>	0,58	-	-	-
<b>Pastagem</b>	42,03	71,75	-	-
<b>Mosaico de Usos</b>	15,22	-	71,75	-

### Dados observados de Precipitação e Modelos Climáticos Globais

As precipitações diárias observadas foram obtidas no HidroWeb, do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos do Brasil. As estações de monitoramento pluviométrico com séries temporais mais longas foram selecionadas. A estação pluviométrica KM 947 BR-163 (Código: 855000) foi usada para a pequena bacia hidrográfica do Rio Braço Norte com dados de precipitação medidos de 1993 a 2022; e a estação Abreulândia (Código: 949000) para a pequena bacia hidrográfica do Rio Piranhas, com dados medidos entre 1974 e 2014. Os dados de precipitação observados foram utilizados para determinação da erosividade atual das pequenas bacias hidrográficas.

As projeções climáticas foram estimadas a partir de Modelos Climáticos Globais (*Global Climate Models, GCMs*). O conjunto de dados NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP) fornece séries temporais de precipitações diárias históricas e futuras de GCMs do CMIP6 (Google, 2023). Os dados são obtidos com resolução espacial de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ , graças ao *downscaling* estatístico com correção de viés e desagregação espacial, viabilizando investigações em escala local (Thrasher et al., 2012; 2022). No entanto, a complexidade do sistema climático global e a limitação computacional

dificultam previsões de mudanças climáticas mais precisas, principalmente em longo prazo (Wu et al., 2022). Por isso, duas etapas de pós-processamento foram utilizadas, ou seja, o modelo Ensemble e a correção de viés da série temporal por Escalonamento Linear (Equação 1). O modelo Ensemble (ME) é formado por sete GCMs (Tabela 3), possuindo como saída, a média das precipitações diárias dos modelos. Essa média é determinada para mostrar a tendência central da modelagem com o ME, buscando, assim, a redução da incerteza gerada pela comparação das precipitações simuladas por cada modelo.

Tabela 3 – Modelos Climáticos Globais do NEX-GDDP-CMIP6

Modelos	Instituição de pesquisa responsável
ACCESS-ESM1-5	Comunidade Australiana
CESM2	National Center for Atmospheric Research, USA
CESM2-WACCM	National Center for Atmospheric Research, USA
FGOALS-g3	Chinese Academy of Sciences, China
MIROC6	National Institute for Environmental Studies, Japan
MPI-ESM1-2-LR	Max Planck Institute for Meteorology, Alemanha
TaiESM1	Research Center for Environmental Changes, Taiwan

A correção de viés por Escalonamento Linear (Equação 1) foi utilizada para ajustar as precipitações simuladas pelo ME às precipitações observadas in situ. O método do escalonamento linear é simples e traz bons resultados (Mahmood et al., 2018; Tan et al., 2020).

$$P_{cor} = P_{sim} \times \frac{P_{obs}}{P_{sim}} \quad (1)$$

Sendo  $P_{cor}$  - precipitação diária corrigida,  $P_{sim}$  - precipitação diária simulada pelo ME e  $P_{obs}$  - precipitação diária observada. Assim, a série temporal resultante foi utilizada para investigação das projeções de precipitações e erosividades da chuva para período entre 2025 e 2099, seguindo o cenário SSP5-8.5.

### Equação Universal de Perda de Solo (USLE)

A perda de solo (Equação 2) foi determinada via USLE (Wischmeier e Smith, 1965).

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (2)$$

Sendo: A – Perda de solo ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ); R – Fator de Erosividade da chuva ( $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$ ); K – Fator de erodibilidade do solo ( $t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ ); LS – Fator comprimento e grau de declive da encosta (-); C – Fator uso e manejo da terra (-); e P – Fator de práticas conservacionistas (-). No presente trabalho, os fatores K, LS e P foram considerados os mesmos em relação ao período histórico de cada bacia; para o Rio Braço Norte (1993-2022) e para o Rio Piranhas (1974-2014), pois, as variações de K e LS dependem de mais tempo para ocorrer ou de ações antrópicas. No caso do fator P, sua variação depende de práticas conservacionistas, as quais são difíceis de serem previstas, atualmente e no futuro. Assim, para o cálculo da perda de solo (Equação 1), os fatores K, LS e C foram calculados pixel a pixel através de software do tipo SIG e os fatores R e P foram considerados como valores médios para os períodos analisados.

### Fator R

O fator R reflete a capacidade natural da precipitação em desencadear a erosão do solo, através de sua energia cinética e de sua intensidade máxima durante um intervalo de 30 minutos. O fator R pode ser calculado a partir de dados pluviométricos através da Equação 3 de Wischmeier & Smith (1965).

$$R = \sum_{i=1}^n E_i \cdot I_{30} \quad (3)$$

Sendo:  $E_i$  – Energia cinética da chuva do evento  $i$  ( $Mj \cdot ha^{-1}$ );  $I_{30}$  – Intensidade da chuva de 30 min, mais intensa, ocorrida durante o período do evento chuvoso ( $mm \cdot h^{-1}$ ). Para se determinar a energia cinética da chuva ( $E_i$ ), são necessários dados de chuva com periodicidade de 30 min, dificultando a aplicação em regiões onde os dados são limitados (Renard & Freimund, 1994). Assim, para se

calcular a erosividade da chuva, foram aplicados dados de precipitação média na Equação 4 (Teixeira et al., 2023).

$$R = 4,4688Pm^{1,0778} \quad (4)$$

Sendo: R – Fator de Erosividade da chuva Mensal ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mês}^{-1}$ ) e Pm – Precipitação Média Mensal (mm).

### Fator K

O fator K foi determinado por método indireto (Araújo et al., 2011), usando-se o mapa de erodibilidade do solo desenvolvido para todo o Brasil por Faria Godoi et al. (2021). Os autores fizeram o cálculo do fator K, aplicando as equações propostas originalmente no nomograma da USLE, utilizando as propriedades do solo como textura, estrutura, conteúdo de matéria orgânica e permeabilidade. Portanto, o fator K para as pequenas bacias hidrográficas do Rio Braço Norte e do Rio Piranhas, foi obtido a partir de recorte e reamostragem do mapa do fator K do Brasil para a área de estudo.

### Fator LS

O fator LS corresponde a multiplicação de dois fatores: L, comprimento da inclinação da superfície do terreno obtido por meio da metodologia de Desmet & Govers (1996), conforme a Equação 5; e S, indicando a inclinação da encosta proposto por McCool et al. (1987) nas Equações 8 e 9.

$$L_{i,j} = \frac{[(A_{i,j} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j})^{m+1}]}{[(x_{i,j})^m \cdot (D)^{m+2} \cdot (22,13)^m]} \quad (5)$$

Sendo  $L_{i,j}$  – fator de comprimento da vertente de uma célula com coordenadas (i, j);  $A_{i,j}$  – área de contribuição de uma célula com coordenadas (i,j) ( $\text{m}^2$ ); D – tamanho da grade de células (m);  $x_{i,j}$  – valor da direção do fluxo; e m – coeficiente que dependem da declividade.

Os valores do expoente m da Equação 5 são calculados, conforme a Equação 6.

$$m = \frac{\beta}{1+\beta} \quad (6)$$

Sendo  $\beta$  – quociente entre a erosão em sulcos e entre sulcos podendo ser calculado, conforme a Equação 7 (McCool et al., 1989).

$$\beta = \frac{(\text{sen } \theta / 0,0896)}{[3(\text{sen } \theta)^{0,8} + 0,56]} \quad (7)$$

Sendo  $\theta$  ( ) – ângulo da encosta, que é o mesmo utilizado para o cálculo do fator S (Equações 8 e 9).

$$S = 10,8 \text{ sen } \theta + 0,03 \quad (S < 9\%) \quad (8)$$

$$S = 16,8 \text{ sen } \theta - 0,50 \quad (S \geq 9\%) \quad (9)$$

Os dados necessários à determinação do fator LS foram obtidos do Modelo Digital de Elevação (NASADEM) das regiões das duas pequenas bacias hidrográficas. O NASADEM é baseado numa imagem *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de  $30 \times 30$  m (National Aeronautics and Space Administration, 2020).

### Fator C

O fator de uso e cobertura da terra (C) foi obtido de valores disponíveis na literatura (Tabela 4), as classes de uso da terra presentes nas pequenas bacias do Rio Braço Norte e Rio Piranhas foram obtidas através do Projeto MapBiomias (2022). Em seguida, foram adotados em ambiente SIG, os valores de C para cada pixel respectivo das classes. Segundo a plataforma MapBiomias, para a pequena bacia do Rio Piranhas, a classe mosaico de usos é uma área sem possibilidade de distinção entre agricultura (outras lavouras temporárias) e pastagem. Assim, foi considerado um valor de C médio

entre pastagem com C igual a 0,01 (Martins et al., 2023) e agricultura (outras lavouras temporárias) com C igual a 0,1893 (Silva et al., 2017), resultando em um fator C igual a 0,0997 (Tabela 4).

Tabela 4 – Fatores C em função do uso da terra e suas referências para as bacias do Rio Braço Norte e Rio Piranhas

Classes de uso da terra	Fator C	Referências
Formação Florestal	0,0004	Silva et al. (2017)
Formação Savânica	0,0020	Cunha et al. (2017)
Formação Campestre	0,0050	Demarchi et al. (2019)
Pastagem	0,0100	Martins et al. (2023)
Mosaico de Usos	0,0997	-----
Outras Lavouras Temporárias	0,1893	Silva et al. (2017)

### Fator P

O fator P estabelece a relação entre a perda de solo em áreas submetidas a práticas conservacionistas e aquelas sem a aplicação de qualquer medida de conservação da terra. A abordagem para o fator P foi fundamentada nas orientações apresentadas por Santos et al. (2015). Esses autores preconizam a atribuição do valor 1 a áreas sem práticas de conservação da terra, enquanto valores intermediários entre 0 e 1 são aplicados em locais com técnicas conservacionistas, variando conforme a natureza da prática adotada. Não foi possível observar práticas conservacionistas nas duas pequenas bacias analisadas. Portanto, o fator P foi considerado igual a 1, ou seja, considerou-se plantio morro a baixo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Precipitação observada e futura

Na pequena bacia hidrográfica do Rio Braço Norte (Figura 3a), considerando-se o cenário SSP5-8.5, foi observada uma diminuição da precipitação em relação ao período histórico. Observa-se, também, a redução da precipitação média mensal em relação ao período histórico, pois a média é de 220,51 mm e o valor médio futuro é de 159,63 mm. Nesse caso, os valores de desvio padrão são, respectivamente, iguais a 150,57 mm (período histórico) e 125,09 mm (futuro). Na pequena bacia hidrográfica do Rio Piranhas (Figura 3b), para o futuro, também houve diminuição da precipitação em relação ao período histórico. Além disso, também se nota uma redução da precipitação média mensal futura em relação ao período histórico, pois a média mensal histórica é de 184,50 mm e no futuro, a média é 154,44 mm. Nesse caso, os valores de desvio padrão são, respectivamente, iguais a 130,88 mm (histórico) e 130,85 mm (futuro). As reduções de precipitação nessas bacias, também foram encontradas por Blanco et al. (2023). Os autores utilizaram dados do Eta-Miroc5 e analisaram os períodos de 2024 a 2060 e 2061 a 2099, considerando, os cenários RCP 4.5 e 8.5, que são equivalentes, respectivamente, aos cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5.

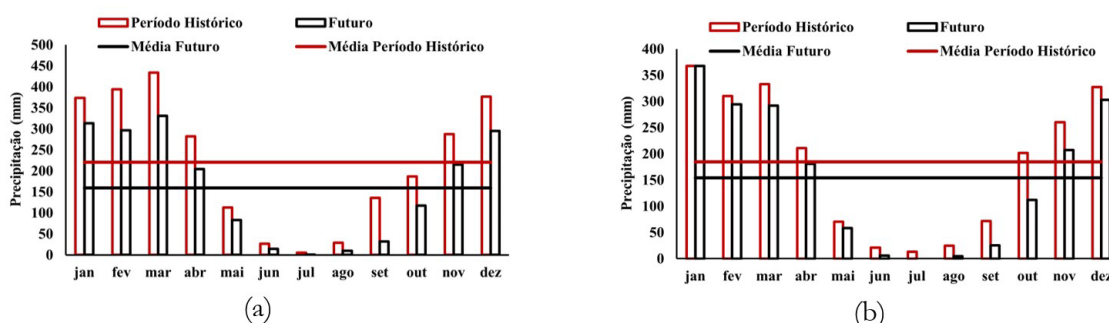


Figura 3 - Precipitações mensais médias nas pequenas bacias hidrográficas do Rio Braço Norte (a) e do Rio Piranhas (b) para o cenário SSP5-8.5 de 2025-2099.

### Fator R

Na Figura 4a, referente à pequena bacia hidrográfica do Rio Braço Norte, são apresentados os fatores R mensais médios para os períodos histórico ( $1.534 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mês}^{-1}$ ) e futuro ( $1.147,70 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mês}^{-1}$ ). Nesse caso, os valores de desvio padrão são, respectivamente, iguais



a 1.087,61 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup> (histórico) e 934,15 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup> (futuro). Na Figura 4b, referente à pequena bacia hidrográfica do Rio Piranhas, são apresentados os fatores R mensais médios para os períodos histórico (1.268 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>) e futuro (1.057,95 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>). Nesse caso, os valores de desvio padrão são, respectivamente, iguais a 933,81 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup> (histórico) e 923,58 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup> (futuro). Assim, percebe-se a redução futura dos fatores R mensais médios nas duas pequenas bacias hidrográficas. Em relação ao fator R anual médio do período histórico, o R da bacia do Rio Braço Norte foi de 18.415 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e da bacia do Rio do Piranhas foi de 15.215 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Santos Silva et al. (2020) determinaram fatores R entre 10.000 e 20.000 MJ mm ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para a região Norte do Brasil. Em relação ao futuro, o fator R anual médio para a bacia do Rio Braço Norte foi de 13.093 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e para a bacia do Rio Piranhas foi de 12.695 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Assim, percebe-se a redução do fator R, seguindo a redução futura das precipitações (Figura 3). Riquetti et al. (2023) utilizaram dados do CMIP5 e, também, projetaram até 2099, nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, reduções no fator R para a região norte do Brasil.

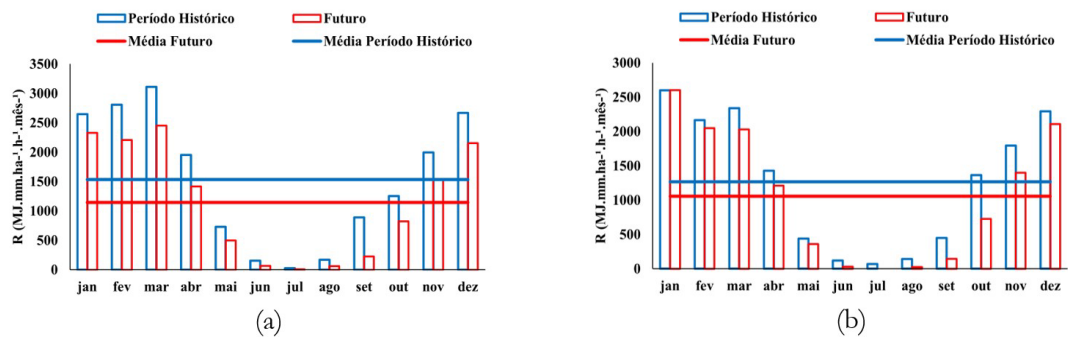


Figura 4 – Gráficos dos fatores R das pequenas bacias hidrográficas do Rio Braço Norte (a) e do Rio Piranhas (b) para o cenário SSP5-8.5.

### Fator K

O fator K para a pequena bacia hidrográfica do Rio Braço Norte (Figura 5a) variou de 0,0190 t.h.MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> a 0,0270 t.h.MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, com desvio padrão igual a 0,004 t.h.MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> e média de 0,023 t.h.MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. Para a pequena bacia hidrográfica do Rio Piranhas (Figura 5b), o fator K variou de 0,0129 a 0,0201 t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>, com desvio padrão igual a 0,004 t.h.MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> e média de 0,017 t.h.MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. Segundo Foster et al. (1981), o solo nessas bacias é classificado de baixa a moderada erodibilidade, ou seja, de 0,01 t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup> a 0,03 t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>.

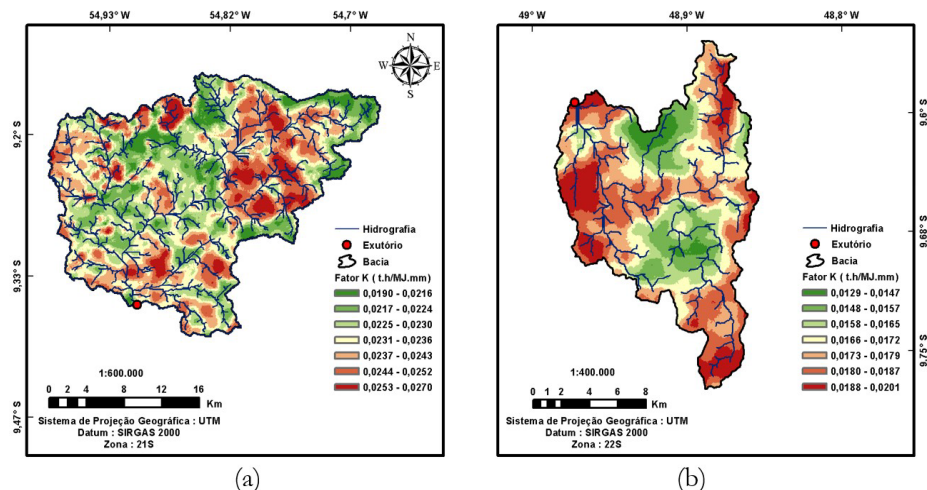


Figura 5 – Mapas do fator K das pequenas bacias hidrográficas do Rio Braço Norte (a) e do Rio Piranhas (b).

### Fator LS

Na pequena bacia hidrográfica do Rio Braço Norte, os valores do fator LS variaram de 0,03 a 37,92, com uma média igual a 0,9378 (Figura 6a) e desvio padrão igual a 26,58. No entanto, o LS varia mais na faixa entre 0,26 e 0,71. Esses valores são característicos de relevos ondulados e de pequenas



declividades. Para a pequena bacia hidrográfica do Rio Piranhas, o fator LS variou de 0,03 a 48,30, com uma média de 2,83 (Figura 6b) e desvio padrão igual a 32,21. Valores de LS maiores indicam relevos mais acidentados, enquanto valores menores caracterizam relevos suaves e terrenos quase planos (Efthimiou et al., 2020).

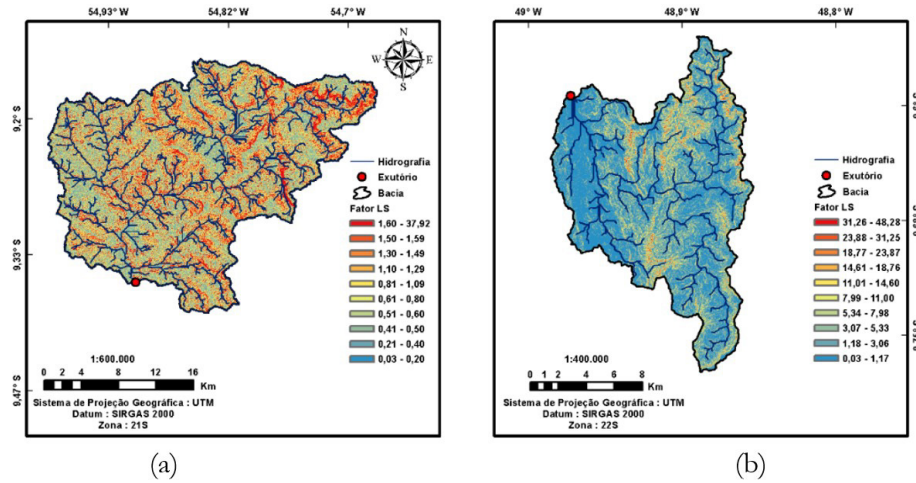


Figura 6 – Mapas do fator LS das pequenas bacias hidrográficas do Rio Braço Norte (a) e do Rio Piranhas (b).

### Fator C

Na Figura 7a são mostrados os valores de C para cada classe de uso e cobertura da terra (Tabela 4) presentes, atualmente, na pequena bacia hidrográfica do Rio Braço Norte.

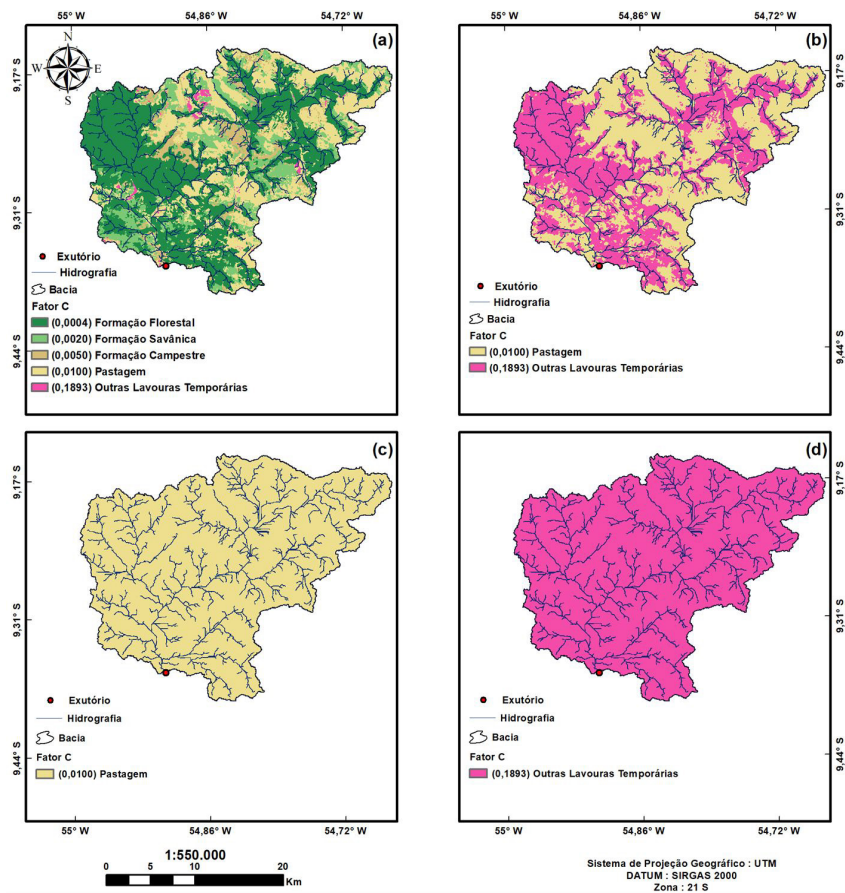


Figura 7 – Mapa do Fator C para cada cenário da pequena bacia hidrográfica do Rio Braço Norte, (a) uso e cobertura da terra atual, (b) outras lavouras temporárias e pastagem, (c) pastagem e (d) outras lavouras temporárias.

Analisando-se a Figura 7a, a área de formação florestal apresentou o menor valor de C, sendo igual a 0,0004, enquanto outras lavouras temporárias apresentaram o maior valor, ou seja, C igual a 0,1893. Nas Figuras 7b-d são apresentados os valores de C determinados a partir dos cenários propostos na Tabela 1, seguindo os valores de C apresentados na Tabela 4. Na Figura 8a são mostrados os valores de C para cada classe de uso e cobertura da terra (Tabela 4) presentes, atualmente, na pequena bacia hidrográfica do Rio Piranhas. Nesse caso, também, a área de formação florestal apresentou o menor valor, ou seja, C igual a 0,0004, enquanto a área formada por mosaico de usos apresentou o maior valor de C, sendo igual a 0,0997. Nas Figuras 8b-d são apresentados os valores de C determinados a partir dos cenários propostos na Tabela 2, seguindo os valores de C apresentados na Tabela 4.

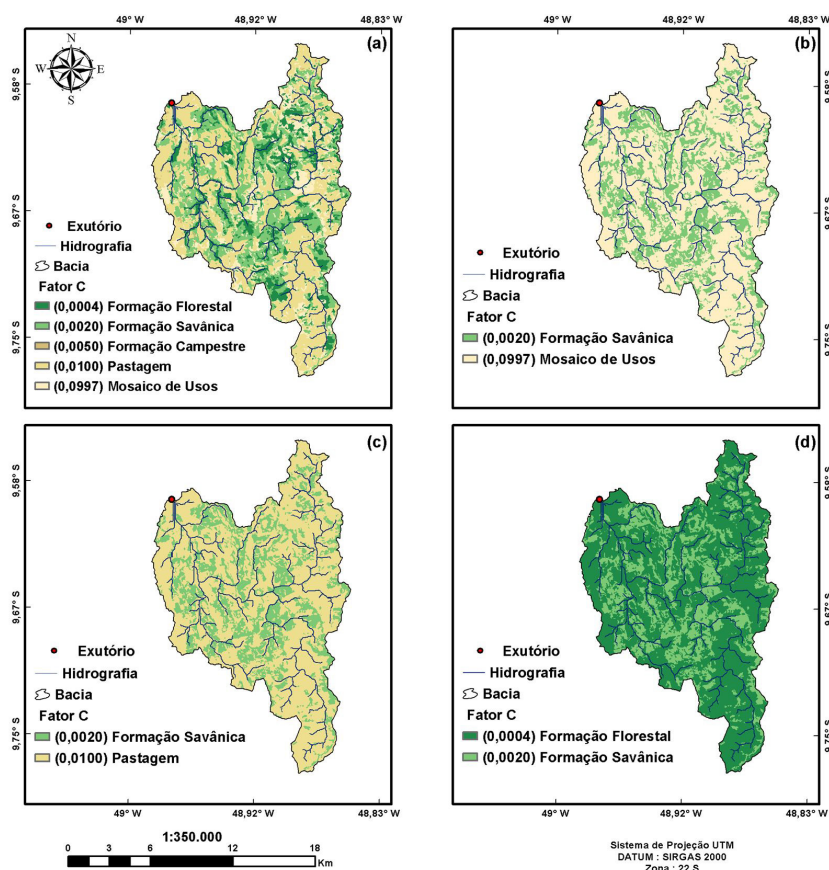


Figura 8 – Mapa do Fator C para cada cenário da pequena bacia hidrográfica do Rio Piranhas, (a) uso e cobertura da terra atual, (b) somente savana e pastagem, (c) savana e mosaico de usos e (d) savana e floresta.

### Perda de Solo Atual

Para a pequena bacia do Rio Braço Norte (Figura 9a), houve variação de  $0,0046 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  a  $1.465,58 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , com desvio padrão igual a  $1.034,85 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e média de  $2,08 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Lobato et al. (2023) encontraram valores de perda de solo média da mesma ordem de grandeza para a pequena bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, também localizada no bioma amazônico, estado do Pará, com uma perda de  $6,11 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Para a pequena bacia hidrográfica do Rio Piranhas (Figura 9b), houve variação de  $0,003$  a  $966,31 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , com desvio padrão igual a  $692,08 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e média de  $15,2 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Melo et al. (2023) encontraram valores de perda de solo de até  $20,0 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  na região do Rio Piranhas. Observa-se que os valores mais elevados de perda de solo estão associados a altos valores do fator LS em áreas próximas aos corpos hídricos.

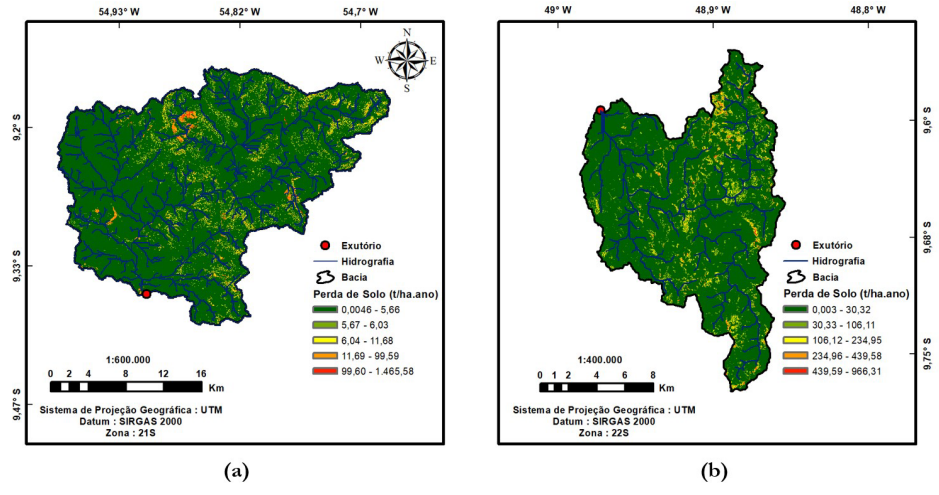


Figura 9 – Mapas de Perda de Solo atual para as pequenas bacias hidrográficas do Rio Braço Norte (a) e Rio Piranhas(b).

**Perda de Solo Futura**

**Pequena bacia hidrográfica do Rio Braço Norte (Amazônia)**

Na Figura 10 são apresentadas as perdas de solo, considerando o cenário SSP5-8.5 e os cenários de uso e cobertura da terra da Tabela 1.

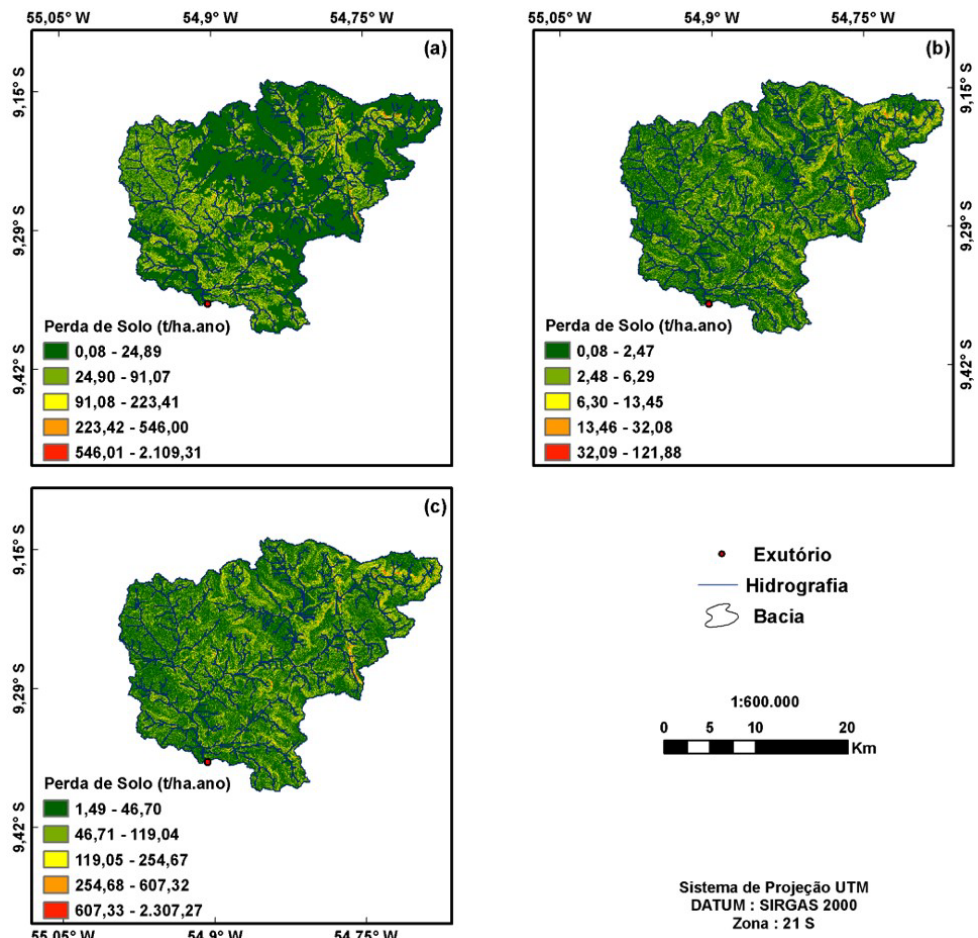


Figura 10 – Mapas de Perda de Solo para o cenário SSP5-8.5 e cenários de uso e cobertura da terra da pequena bacia hidrográfica do Rio Braço Norte, (a) outras lavouras temporárias e pastagem, (b) somente pastagem e (c) somente outras lavouras temporárias.

Analisando-se a Figura 10, pode-se notar que a perda de solo variou de 0,08 a 2.109,31 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Figura 10a), 0,08 a 121,88 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Figura 10b) e 1,49 a 2.307,27 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Figura 10c). Na Tabela 5 é apresentada a comparação da perda de solo, considerando o valor médio de 2,08 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> determinado para o período de 1993-2022 e de combinações entre os cenários climático e os de uso e cobertura da terra (Tabela 1). Na Tabela 5, também, são apresentados os valores de desvio padrão das perdas de solo.

Tabela 5 – Comparação entre as perdas de solo anuais médias e desvios padrões da bacia do Rio Braço Norte para os cenários climático e de uso e cobertura da terra

Cenários de uso e cobertura da terra	Perda de solo média (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Desvio padrão (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
<b>Período atual</b>	2,08	1.034,85
<b>Pastagem e Outras lavouras temporárias</b>	29,7	1.470,66
<b>Pastagem</b>	2,87	84,18
<b>Outras lavouras temporárias</b>	54,3	1.593,53

Analisando-se a Tabela 5, pode-se observar que houve aumento na perda de solo para as três possibilidades analisadas de uso e cobertura da terra. Esse aumento foi mais marcante para outras lavouras temporárias, ou seja, aproximadamente 27 vezes a perda de solo do período atual. O uso misto pastagem e outras lavouras temporárias apresenta um aumento de, aproximadamente, 15 vezes e apenas pastagem é da mesma ordem de grandeza da perda de solo para o período atual.

#### Pequena bacia hidrográfica do Rio Piranhas (Cerrado)

Na Figura 11 são apresentadas as perdas de solo, considerando o cenário SSP5-8.5 e os cenários de uso e cobertura da terra da Tabela 2.

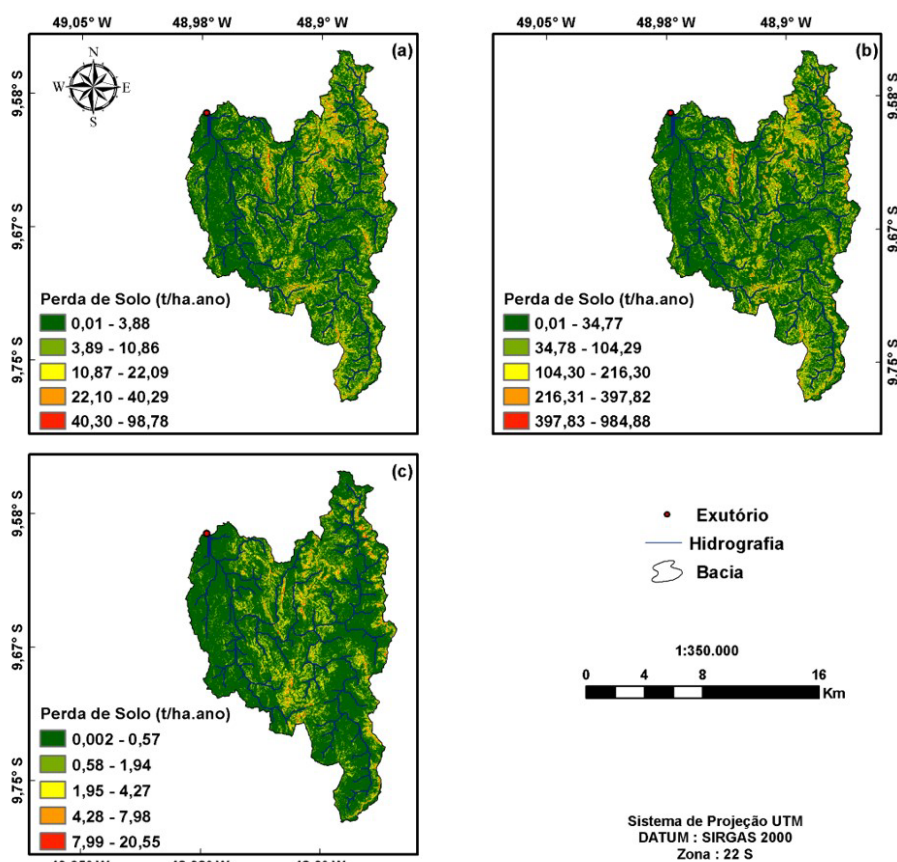


Figura 11 – Mapas de Perda de Solo no cenário SSP5-8.5 e cenários de uso e cobertura da terra da pequena bacia hidrográfica do Rio Piranhas, (a) savana e pastagem, (b) savana e mosaico de usos e (c) savana e floresta.



Analisando-se a Figura 11, pode-se observar que a perda de solo variou de 0,01 a 98,78 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Figura 11a), 0,01 a 984,88 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Figura 11b) e 0,002 a 20,55 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Figura 11c). Na Tabela 6 é apresentada a comparação da perda de solo, considerando o valor médio de 15,2 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> determinado para o período de 1974-2014 e de combinações entre os cenários climático e os de uso e cobertura da terra (Tabela 2). Na Tabela 6, também, são apresentados os valores de desvio padrão das perdas de solo.

Tabela 6 – Comparação entre as perdas de solo médias e desvios padrões da pequena bacia hidrográfica do Rio Piranhas para os cenários climático e de uso e cobertura da terra

Cenários de uso e cobertura da terra	Perda de solo média (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Desvio Padrão (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
Período atual	15,2	692,08
Savana e Pastagem	4,51	66,73
Savana e Mosaico de Usos	41,4	667,78
Savana e Floresta	0,57	14,13

Analisando-se a Tabela 6, pode-se notar que houve aumento na perda de solo apenas para savana e mosaico de usos, sendo de, aproximadamente, 3 vezes a perda de solo do período atual. Os outros cenários apresentaram diminuição da perda de solo, no caso de savana e pastagem a perda foi reduzida a, aproximadamente, um terço e savana e floresta a menos de 4% da perda de solo do período atual. Essa última redução, bastante significativa, é devida à bacia do Rio Piranhas sofrer forte exploração de seus recursos naturais e o cenário proposto ser uma volta ao passado com uso e cobertura da terra originais.

## CONCLUSÃO

Através da análise dos dados de precipitação históricos e futuros, foi possível constatar que as precipitações diminuirão e, conseqüentemente, as erosividades diminuirão no cenário SSP5-8.5 nas regiões das duas pequenas bacias hidrográficas analisadas. Em relação às perdas de solo, na pequena bacia hidrográfica do Rio Braço Norte, houve aumento na perda de solo para as três possibilidades analisadas de uso e cobertura da terra. Esse aumento foi mais marcante para outras lavouras temporárias, ou seja, aproximadamente, 27 vezes a perda de solo do período atual. Os aumentos ocorreram mesmo com a diminuição da erosividade da chuva no cenário climático SSP5-8.5, demonstrando o potencial de perda de solo da bacia do Rio Braço Norte na hipótese de seu uso e cobertura da terra ser transformado para agricultura (outras lavouras temporárias). Se este for o caso, práticas conservacionistas de uso e manejo da terra devem ser adotadas, visando diminuir o fator P e, em consequência, a perda de solo. Na pequena bacia hidrográfica do Rio Piranhas, houve aumento na perda de solo apenas para savana e mosaico de usos, sendo de, aproximadamente, 3 vezes a perda de solo do período atual. Os outros cenários apresentaram diminuição da perda de solo, seguindo a redução da erosividade futura. Em casos de aumentos da perda de solo, é reforçada a importância de se implementar práticas conservacionista de uso e cobertura da terra. Tais práticas incluem o manejo adequado da vegetação, o controle da erosão em terrenos íngremes e o estímulo à agricultura sustentável. Ou seja, um melhor gerenciamento do uso e cobertura da terra é necessário para a manutenção de setores econômicos importantes, como: turismo, agricultura e outras atividades produtivas das comunidades locais, que habitam as pequenas bacias hidrográficas dos Rios Braço Norte e Piranhas.

## REFERÊNCIAS

- Agência Tocantinense de Saneamento. (2013). *Plano Municipal de Saneamento Básico de Abreulândia, Tocantins*. Recuperado em 14 de maio de 2024, de <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/to/abreulandia>
- Araújo, F. S., Salviano, A. A. C., & Holanda Neto, M. R. (2011). Estimativa da erodibilidade de latossolos do Piauí. *Scientia Plena*, 7(10), 1-6.
- Blanco, C., Soares, A. C. L., Lobato, A. K. R., & Cruz, J. S. (2023). Precipitação em cenários climáticos futuros para usos de recursos hídricos em pequenas bacias hidrográficas da Amazônia. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, 11(2), 105-121. <http://doi.org/10.9771/gesta.v0i2.52993>
- Bottino, M. J., Nobre, P., Giarolla, E., Silva Junior, M. B., Capistrano, V. B., Malagutti, M., Tamaoki, J. N., Oliveira, B. F. A., & Nobre, C. A. (2024). Amazon savannization and climate change are projected to increase dry season

- length and temperature extremes over Brazil. *Scientific Reports*, 14(1), 5131.  
<http://doi.org/10.1038/s41598-024-55176-5>
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima – MMAMC. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBIO. (2023). *Plano de Manejo Integrado do Fogo: Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo (RBNSC), Itaituba, Pará*. Recuperado em 17 de janeiro de 2024, de <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/amazonia/lista-de-ucs/rebio-dnascentes-da-serra-do-cachimbo>
- Costa, G. K. L., Blanco, C. J. C., Soares, A. C. L., Cruz, J. S., & Mendonça, L. M. (2023). Impacto das mudanças climáticas nas vazões mínimas de referência de pequenas bacias hidrográficas na Amazônia Legal e dentro do arco do desflorestamento. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 20(1), e6.  
<http://doi.org/10.21168/rega.v20e6>
- Cunha, E. R., Bacani, V. M., & Panachuki, E. (2017). Modeling soil erosion using RUSLE and GIS in a watershed occupied by rural settlement in the Brazilian Cerrado. *Natural Hazards*, 85(2), 851-868.  
<http://doi.org/10.1007/s11069-016-2607-3>
- Demarchi, J. C., Piroli, E. L., & Zimback, C. R. L. (2019). Estimativa de perda de solos por erosão na bacia hidrográfica do ribeirão das perobas (SP) nos anos 1962 e 2011. *O Espaço Geográfico em Análise*, 46(1), 110-131.
- Desmet, P. J. J., & Govers, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51(5), 427-433.  
Recuperado em 17 de janeiro de 2024, de <https://www.jswnonline.org/content/51/5/427>
- Eduardo, E. N., Carvalho, D. F., Machado, R. L., Soares, P. F. C., & Almeida, W. S. (2013). Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(3), 796-803. <http://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300026>
- Efthimiou, N., Lykoudi, E., & Psomiadis, E. (2020). Inherent relationship of the USLE, RUSLE topographic factor algorithms and its impact on soil erosion modelling. *Hydrological Sciences Journal*, 65(11), 1879-1893.  
<http://doi.org/10.1080/02626667.2020.1784423>
- Faria Godoi, R., Rodrigues, D. B., Borrelli, P., & Oliveira, P. T. S. (2021). High-resolution soil erodibility map of Brazil. *The Science of the Total Environment*, 781, 146673. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146673>
- Foster, G. R., McCool, D. K., Renard, K. G., & Moldenhauer, W. C. (1981). Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 36(6), 355-359. Recuperado em 17 de janeiro de 2024, de <https://www.jswnonline.org/content/36/6/355>
- Freire de Aguiar, P. (2022). Erodibilidade do solo devido ao uso de técnicas de geoprocessamento no município de Altamira, Pará, Brasil. *William Morris Davis: Revista de Geomorfologia*, 3(2), 1-14.  
<http://doi.org/10.48025/ISSN2675-6900.v3n2.2022.166>
- Geiger, R. (1954). Klassifikation der Klimate nach W. Köppen [Classification of climates after W. Köppen]. In K. Schäfer (Ed.), *Landolt-Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik*. Switzerland: Springer.
- Google. (2023). *NEX-GDDP-CMIP6: NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Climate Projections*. Recuperado em 30 de janeiro de 2023, de [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NASA\\_GDDP-CMIP6](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NASA_GDDP-CMIP6)
- Klink, C. A., & Machado, R. B. (2005). Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, 19(3), 707-713. <http://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>
- Köppen, W. (1936). II. Teil. Das geographische System der Klimate. In W. Köppen (Ed.), *Handbuch der Klimatologie*. Berlin: De Gruyter. <http://doi.org/10.1515/9783111491530-003>
- Lobato, A. K. R., Sobral, R. V. S., Blanco, C. J. C., Cruz, J. S., & Mendonça, L. M. (2023). Perda de solo em pequenas bacias hidrográficas dos biomas Amazônia e Cerrado. In *Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos* (pp. 1-10). Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Recuperado em 14 de fevereiro de 2024, de <http://www.abrhydro.org.br/xxvsbrh>
- Lyra, A., Tavares, P., Chou, S. C., Sueiro, G., Dereczynski, C., Sondermann, M., Silva, A., Marengo, J., & Giarolla, A. (2018). Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. *Theoretical and Applied Climatology*, 132(1-2), 663-682. <http://doi.org/10.1007/s00704-017-2067-z>
- Mahmood, R., Jia, S., Tripathi, N. K., & Shrestha, S. (2018). Método de escalonamento linear estendido de precipitação para correção da precipitação GCM e sua avaliação e implicação na bacia transfronteiriça do rio Jhelum. *Atmosfera*, 9(5), 160. <http://doi.org/10.3390/atmos9050160>



- Marengo, J. A., & Souza Junior, C. (2018). *Mudanças climáticas: impactos e cenários para a Amazônia* (33 p.). São Paulo: Alana. Recuperado em 20 de março de 2024, de <https://sinapse.gife.org.br/download/mudancas-climaticas-impactos-e-cenarios-para-a-amazonia>
- Martins, R. F. D., Farias Filho, M. S., Campos, M. C. C., & Silva, J. B. (2023). Aplicação da equação universal de perda de solo em três microrregiões da Amazônia Maranhense. *Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente*, 14(2), 419-434. <http://doi.org/10.31072/rcf.v14i2.1356>.
- McCool, D. K., Brown, C., Foster, G. R., Mutchler, C. K., & Meyer, L. D. (1987). Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE. American Society of Agricultural Engineers*, 30(5), 1387-1396. <http://doi.org/10.13031/2013.30576>
- McCool, D. K., Foster, G. R., Mutchler, C. K., & Meyer, L. D. (1989). Revised slope Length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE. American Society of Agricultural Engineers*, 32(5), 1571-1576. <http://doi.org/10.13031/2013.31192>
- Melo, A. C. A., Bettiol, G. M., Albuquerque, L. B., Lopes, I. A., & Sano, E. E. (2023). Susceptibilidade à erosão, perda de solos e vulnerabilidade natural na bacia do Médio Rio Araguaia – Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(6), 3103-3124. Recuperado em 14 de fevereiro de 2024, de <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>
- Mishra, V., Bhatia, U., & Tiwari, A. D. (2020). Bias-corrected climate projections for South Asia from coupled model intercomparison project-6. *Scientific Data*, 7(1), 338. <http://doi.org/10.1038/s41597-020-00681-1>
- Moreira, H. L., & Oliveira, V. A. (2008). Evolução e gênese de um Plintossolo Pétrico concrecionário éutrico argissólico no município de Ouro Verde de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(4), 1683-1690. <http://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400033>
- National Aeronautics and Space Administration – NASA. U.S. Geological Survey – USGS. (2020). *NASADEM Merged DEM Global 1 arc second V001 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC*. Recuperado em 30 de janeiro de 2023, de [https://lpdaac.usgs.gov/products/nasadem\\_hgtv001/](https://lpdaac.usgs.gov/products/nasadem_hgtv001/)
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Yu, B., Klik, A., Jae Lim, K., Yang, J. E., Ni, J., Miao, C., Chattopadhyay, N., Sadeghi, S. H., Hazbavi, Z., Zabihi, M., Larionov, G. A., Krasnov, S. F., Gorobets, A. V., Levi, Y., Erpul, G., Birkel, C., Hoyos, N., Naipal, V., Oliveira, P. T. S., Bonilla, C. A., Meddi, M., Nel, W., Al Dashti, H., Boni, M., Diodato, N., Van Oost, K., Nearing, M., & Ballabio, C. (2017). Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Scientific Reports*, 7(1), 4175. <http://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>
- Park, S., Jin, C., & Choi, C. (2011). Predicting soil erosion under land-cover area and climate changes using the revised universal soil loss equation. In *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIII: International Society for Optics and Photonics* (Vol. 8174). Prague, Czech Republic: SPIE. <http://doi.org/10.1117/12.896325>.
- Plangoen, P., Babel, M. S., Clemente, R. S., Shrestha, S., & Tripathi, N. K. (2013). Simulating the impact of future land use and climate change on soil erosion and deposition in the Mae Nam Nan sub-catchment, Thailand. *Sustainability*, 5(8), 3244-3274. <http://doi.org/10.3390/su5083244>
- Projeto MapBiomás. (2022). *Coleção [8] da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil*. Recuperado em 24 de outubro de 2023, de <https://brasil.mapbiomas.org>
- Renard, K. G., & Freimund, J. R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology*, 157(1-4), 287-306. [http://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90110-4](http://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90110-4)
- Riquetti, N. B., Mello, C. M., Leandro, D., & Guzman, J. A. (2023). Climate change projections of soil erosion in South America in the XXI century. *Geoderma Regional*, 33, e00657. <http://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00657>
- Santos Silva, D. S., Blanco, C. J. C., Santos Junior, C. S., & Martins, W. L. D. (2020). Modeling of the spatial and temporal dynamics of erosivity in the Amazon. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(1), 513-523. <http://doi.org/10.1007/s40808-019-00697-6>
- Santos, D. B. O., Blanco, C., & Pessoa, F. C. L. (2015). RUSLE para determinação da tolerância de perda de solo. *Biota Amazônia*, 5(4), 78-83. <http://doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n4p78-83>
- Sartori, A., Lombardi Neto, F., & Genovez, A. M. (2005). Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Parte 1: classificação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 10(4), 5-18. <http://doi.org/10.21168/rbrh.v10n4.p5-18>.
- Silva, D. C. C., Albuquerque Filho, J. L., Sales, J. C. A., & Lourenço, R. W. (2017). Identificação de áreas com perda de solo acima do tolerável usando NDVI para o cálculo do fator C da USLE. *O Espaço Geográfico em Análises* 42, 72-85.
- Tan, Y., Guzmán, S. M., Dong, Z., & Tan, L. (2020). Selection of effective GCM bias correction methods and evaluation of hydrological response under future climate scenarios. *Climate*, 8(10), 108. <http://doi.org/10.3390/cli810108>

- Teixeira, D. B. S., Cecílio, R. A., Moreira, M. C., Pires, G. F., & Fernandes Filho, E. I. (2023). Assessment, regionalization, and modeling rainfall erosivity over Brazil: findings from a large national database. *The Science of the Total Environment*, 891, 164557. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164557>
- Thrasher, B., Maurer, E. P., McKellar, C., & Duffy, P. B. (2012). Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3309-3314. <http://doi.org/10.5194/hess-16-3309-2012>
- Thrasher, B., Wang, W., Michaelis, A., Melton, F., Lee, T., & Nemani, R. (2022). NASA global daily downscaled projections, CMIP6. *Scientific Data*, 9(1), 262. <http://doi.org/10.1038/s41597-022-01393-4>
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1965). *Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: guide for selection of practices for soil and water conservation* (Agricultural Handbook, No. 282). Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture. Recuperado em 27 de junho de 2024, de <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-A-PURL-gpo22285/pdf/GOVPUB-A-PURL-gpo22285.pdf>
- Wu, Y., Miao, C., Fan, X., Gou, J., Zhang, Q., & Zheng, H. (2022). Quantifying the uncertainty sources of future climate projections and narrowing uncertainties with bias correction techniques. *Earth's Future*, 10(11), e2022EF002963. <http://doi.org/10.1029/2022EF002963>
- Zamadei, T., Heimann, J. P., & Pires, P. T. L. (2019). Recategorização de unidades de conservação: estudo de caso Reserva Biológica Nascentes da Serra do Cachimbo – PA, Brasil. *Ciência Florestal*, 29(4), 1796-1808. <http://doi.org/10.5902/1980509831421>
- Zhang, Y.-G., Nearing, M. A., Zhang, X.-C., Xie, Y., & Wei, H. (2010). Projected rainfall erosivity changes under climate change from multimodel and multiscenario projections in Northeast China. *Journal of Hydrology*, 384(1-2), 97-106. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.013>

#### Contribuições dos autores:

**Radijha Jennifer Nunes da Silva:** escrita geral, levantamento das referências e de dados; desenvolvimento da metodologia, análise dos resultados e revisão geral do artigo.

**Ruan Veloso Sousa Sobral:** levantamento das referências e de dados; desenvolvimento da metodologia e análise dos resultados.

**Amanda de Cássia Lobato Soares:** supervisão da metodologia, levantamento de dados e análise dos resultados.

**Leonardo Melo de Mendonça:** levantamento de dados e de referências, supervisão da metodologia e análise dos resultados.

**Josias da Silva Cruz:** levantamento de referências, supervisão da metodologia e análise dos resultados.

**Claudio José Cavalcante Blanco:** levantamento de fundos para a pesquisa, concepção do artigo, levantamento de referências, elaboração da metodologia, análise dos resultados e revisão geral do artigo.