

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

ISABELLA PEREIRA ESPINDOLA

**ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO NA BACIA DO RIO PIAUITINGA NO
ESTADO DE SERGIPE**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2023**

ISABELLA PEREIRA ESPINDOLA

**ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO NA BACIA DO RIO PIAUITINGA NO
ESTADO DE SERGIPE**

Relatório final apresentado à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

Orientador: Michel Castro Moreira

Coorientador: Layane Carmem Arruda da Rocha

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2023**

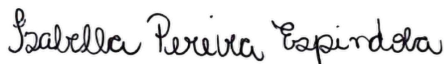
ISABELLA PEREIRA ESPINDOLA

**ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO NA BACIA DO RIO PIAUITINGA NO
ESTADO DE SERGIPE**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, para obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

APROVADO: 15 de dezembro de 2023.

Assentimento:



Isabella Pereira Espindola
Autora



Michel Castro Moreira
Orientador

AGRADECIMENTOS

É com muita alegria que venho aqui agradecer principalmente aos meus pais Tanea e José Ricardo, pelo imenso apoio em todas minhas decisões e por acreditarem em mim antes mesmo de mim mesma fazer isso, vocês são meus maiores amores e exemplos de determinação e luta, é por vocês que venho conquistar o tão sonhado diploma. Obrigada por sonharem junto comigo, esse diploma é nosso, amo vocês imensamente.

A todos os amigos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Mayara, Yasmin, Gabriel, Isabelly, Suenya, Ana Beatriz, Débora e Yasmim dentre outros que deram os primeiros passos juntos comigo nessa jornada e foram uma família pra mim por três anos. E em especial ao meu amigo Lucas que foi e é amigo/irmão e a pessoa mais incrível, determinada e inteligente que conheço.

Aos meus amigos de Cataguases, que estão sempre torcendo e vibrando por mim, mesmo que de longe, vocês são meu porto seguro. Em especial aos meus amigos Ramon, Maria Giulia, Carol Mota, Brunna, Déborah e Carol Andrade que estão comigo há muito tempo, se fazendo sempre presente, vocês são de vital importância na minha vida.

Aos amigos de Viçosa e de curso, Felipe, Danilo, Fabiana, Mateus, Jocássia, Izabela, Igor, Jocássia, Thiago, Nhorman, Karine, alguns do grupo Tóxicos e as meninas do 1001, foram vocês que tornaram os dias mais felizes e agradáveis, principalmente pelas raivas, incontáveis ritas, cervejas e festas que vivemos juntos, foi uma época incrível da minha vida, vocês são parte dessa conquista também, sou muito feliz por ter conhecido cada um de vocês.

Ao Grupo G5S que me ensinou e me engrandeceu tanto com profissional como pessoa.

Ao Prof. Dr. Michel Castro e à Me. Layane Carmem pela paciência e pela confiança durante todo o processo de construção desse TCC.

Às magníficas instituições UFV e UFRRJ, que juntamente com a Empresa Júnior, ECOSSAM, PET.EAA, à organização do XXXV CONEEAGRI e aos demais grupos de pesquisa e extensão que tive a feliz chance de participar e que me proporcionaram a oportunidade de possuir um ensino superior rico em conhecimento e experiências, assim como a expansão de meus horizontes. Estou formando na (segunda) mais linda do Brasil.

A todos que com muito carinho, direta e indiretamente, fizeram parte da minha formação e história em Viçosa, o meu muito obrigada.

RESUMO

A degradação dos solos, agravada pelo desmatamento e as práticas agrícola inadequadas, comprometem a fertilidade e a produtividade das culturas, reduzindo a saúde do solo. O monitoramento das variáveis-chave, como a concentração de sólidos em suspensão (C_{ss}) e a descarga sólida (Q_{ss}), é essencial para compreender a interação entre a erosão e a produção de sedimentos, além de ser fundamental para antecipar impactos e implementar práticas agrícolas sustentáveis. Essas variáveis são influenciadas por fatores como chuvas intensas e alterações no uso da terra. Assim, a compreensão desses elementos é crucial para a gestão sustentável dos recursos hídricos, não apenas no Brasil, mas também em escala global. Assim, o objetivo do trabalho foi estimar as perdas de solo, a partir das curvas de sedimentos, associando ao uso e ocupação da terra na bacia do rio Piauitinga, localizada no Estado de Sergipe. Utilizaram-se os dados de Vazão (Q) e da Concentração de Sólido em Suspensão (C_{ss}) da plataforma Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico dentre os anos de 1998 à 2015, sendo assim calculados, com esses dados, a Descarga Dólida (Q_{ss}), constatado os *outliers* através do método *boxplot*, e traçada a Curva de Transporte de Sedimento CCS (Curva Chave), além de também se calcular o rendimento específico do sedimento (SSY). Além disso, a partir da coleção 6 do Projeto MapaBiomias, utilizaram-se os dados de uso e ocupação da terra da região com a finalidade de associar a perda de solo. Por fim, foi construída uma matriz de correlação entre o uso e ocupação da terra e a perda de solo na região, feita no software RStudio®. A correlação de Pearson (r) e o coeficiente de determinação (R²) obtidos pela curva de ajuste da estação estudada foram de 0,91 e de 0,85, respectivamente, e assim foi determinada também a perda de solo diária. Já as maiores perdas de solo para os anos analisados foram de 14.739 ton no ano de 1999 e 12.181 ton em 2000. A matriz de correlação usada mostrou uma correlação indireta entre a agropecuária e a área de floresta, uma correlação direta entre área de não floresta e perda de solo e também entre área de floresta e perda de solo. O trabalho demonstrou que o valor de R² obtido foi compatível com os valores encontrados na literatura. O uso e a ocupação da terra não tiveram uma relação direta com a perda de solo entre os anos de 1998 a 2015, porém quando analisado a matriz de correlação observaram-se as interações entre agropecuária, floresta e a perda de solo, enriquecendo a compreensão dos fatores envolvidos. Por fim, as análises dos resultados destacaram os fatores na perda de solo, enfatizando a importância de práticas de manejo para preservar o solo e promover a sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Conservação de solo e água. Descarga sólida. Curva chave de sedimentos. Uso do solo.

ABSTRACT

The degradation of soils, exacerbated by deforestation and inappropriate agricultural practices, jeopardizes the fertility and productivity of crops, diminishing soil health. Monitoring key variables, such as suspended solids concentration (C_{ss}) and sediment discharge (Q_{ss}), is essential to understand the interaction between erosion and sediment production, as well as to anticipate impacts and implement sustainable agricultural practices. These variables are influenced by factors such as intense rainfall and changes in land use. Therefore, understanding these elements is crucial for the sustainable management of water resources, not only in Brazil but also on a global scale. The aim of the study was to estimate soil losses associated with land use and occupation in the Piauitinga River basin, located in the state of Sergipe, using sediment curves. Data from Flow (Q) and Suspended Solid Concentration (C_{ss}) from the Hidroweb platform of the National Water and Basic Sanitation Agency were used for the years 1998 to 2015. With these data, Solid Discharge (Q_{ss}) was calculated, outliers were identified through the boxplot method, and the Sediment Transport Curve (CCS) was plotted, also obtaining the sediment yield (SSY). Additionally, data from Land Use and Cover from MapBiomass Project Collection 6 were used to associate soil loss. Finally, a correlation matrix between land use and soil loss in the region was built using the RStudio® statistical software. The Pearson correlation (r) and coefficient of determination (R²) obtained by the curve fitting of the studied station were 0.91 and 0.85, respectively, determining the daily soil loss. The highest soil losses for the analyzed years were 14,739 t in 1999 and 12,181 t in 2000. The correlation matrix showed an indirect correlation between agriculture and forest area, a direct correlation between non-forest area and soil loss, and also between forest area and soil loss. The study demonstrated that the R² value is consistent with literature values. It is concluded that land use and occupation did not have a direct relationship with soil loss between 1998 and 2015. However, the correlation matrix revealed nuances in the interactions between agriculture, forest, and soil loss, enriching the understanding of the involved factors. Finally, the results highlight factors in soil loss, emphasizing the importance of management practices to preserve soil and promote environmental sustainability.

Keywords: Water and soil conservation. Solid discharge. Sediment key curve. Land use.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 MATERIAL E MÉTODOS	10
2.1 Área de estudo	10
2.2 Base de dados	11
2.3 Estimativa das perdas de solo	12
2.3.1 Curva chave de sedimentos	12
2.3.2 Matriz de Correlação	15
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4 CONCLUSÕES.....	22
REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

A degradação dos solos é um problema ambiental em todo o mundo, com graves consequências como a diminuição da fertilidade e da produtividade do solo, o acúmulo de sedimentos em rios e reservatórios e a contaminação das fontes de água, causando impactos negativos na agricultura e na qualidade de vida dos agricultores (SILVEIRA, 2022). O acúmulo de sedimentos em rios e reservatórios, por sua vez, aumenta o risco de inundações e reduz a capacidade de armazenamento de água (GENTIL et al., 2021).

O desmatamento emerge como um dos elementos capazes de acentuar o processo de degradação do solo, pois ao reduzir a cobertura vegetal, o solo torna-se suscetível a vários agentes, como a ação combinada da chuva e do sol, resultando em impactos substanciais na sua perda e fertilidade (BALBINO; CORDEIRO, 2019). Isso acontece quando a camada protetora do solo está ausente, fazendo com que a água da chuva ou irrigação escoe rapidamente, enfrentando dificuldades para se infiltrar ou reter a umidade vital para a estabilidade do solo, resultando na desagregação do solo e em seu transporte para outras áreas, facilitando, assim, o processo erosivo. (RODRIGUES; CONFESSOR; PEREIRA, 2023).

Para além do desmatamento, outros elementos desempenham um papel crucial na contínua degradação dos solos, agravando os desafios ambientais e sociais relacionados a esse problema global. Destaca-se, nesse contexto, a intensificação agrícola inadequada, que, quando realizada sem práticas sustentáveis, frequentemente implica no uso excessivo de agroquímicos, e isso compromete ainda mais a saúde do solo, reduzindo sua fertilidade, aumentando a contaminação e contribuindo para a erosão acelerada, resultando na perda de nutrientes essenciais (PEREIRA, 2021).

Relacionar a perda de solo e a taxa de erosão local à produção de sedimentos em bacias hidrográficas é essencial para prever e avaliar seu impacto em diferentes usos do solo, bem como entender o transporte de nutrientes e contaminantes associados aos sedimentos de áreas agrícolas, por isso a erosão hídrica é avaliada por meio da captura do fluxo de água e da coleta de amostras de sedimentos (PEIXOTO, 2020).

No Brasil, onde a atividade agrícola é de fundamental importância socioeconômica, a perda de solo tem um impacto significativo, exemplificado pela redução na produtividade das culturas. Portanto, é crucial conduzir uma análise cuidadosa das estimativas da erosão do solo, junto com uma análise de uso e ocupação do solo, já que a perda de solo de uma região é impactada diretamente pelas atividades humanas realizadas na região.

O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo (MapBiomass) representa uma iniciativa colaborativa envolvendo pesquisadores, empresas e organizações não governamentais do país, que utiliza a série de imagens do satélite Landsat e emprega métodos empíricos e estatísticos para criar mapas de uso e cobertura do solo. Esses mapas estão disponíveis gratuitamente para download no domínio do MapBiomass (BARBOSA, 2019). Assim, bacias onde a perda de solo está aumentando e as atividades humanas estão provocando mudanças na cobertura vegetal, estudos de análises do uso e ocupação da terra tornam-se cada vez mais relevantes.

Conforme destacado por Condé et al. (2020), uma parcela substancial dos sedimentos nos rios é transportada em suspensão, demandando a aplicação de modelos empíricos para compreender esse fenômeno. O autor ressalta a importância das curvas-chave de sedimentos em suspensão, que se destacam entre os modelos utilizados, pois elas delineiam a relação específica entre a vazão da água e a concentração de sedimentos em suspensão, sendo influenciadas por diversos fatores, tais como a quantidade disponível de sedimentos (erosão), a capacidade erosiva e de transporte do rio, e as fontes de sedimentos presentes no ambiente aquático.

Além do uso das curvas-chave de sedimentos em suspensão para a estimativa das perdas de solo, a realização da modelagem de uma bacia hidrográfica é fundamental para analisar a perda de solo e a produção de sedimentos, já que os modelos de predição podem prever para a bacia a ocorrência de ambos (PINTO; et al. 2020).

Dentre os vários tipos de monitoramento que permitem estimar as perdas de solos e a produção de sedimentos, a determinação da concentração de sólido em suspensão (C_{ss}) e da descarga sólida (Q_{ss}) envolvem uma variedade de métodos, cuja escolha deve levar em consideração as particularidades da bacia hidrográfica e do curso d'água, bem como a disponibilidade dos dados (BAUCKE, 2020).

Autores como Sirqueira et al. (2022) e Amaral, Nunes e Formiga (2021) destacam que os valores de sólido em suspensão (C_{ss}) podem ser influenciados por diversos fatores como chuvas torrenciais, turbidez, incêndios florestais, desmatamentos, mudança do uso da terra, dentre outros fatores. Além disso, os autores evidenciam a importância da estimativa da C_{ss} , já que pode desempenhar um papel crucial na compreensão do transporte de sedimentos em corpos d'água, fornecendo informações sobre a quantidade de sedimentos transportados e sua distribuição ao longo do tempo, além de prever impactos ambientais, gerenciar bacias hidrográficas e planejar intervenções que promovam a sustentabilidade dos recursos hídricos.

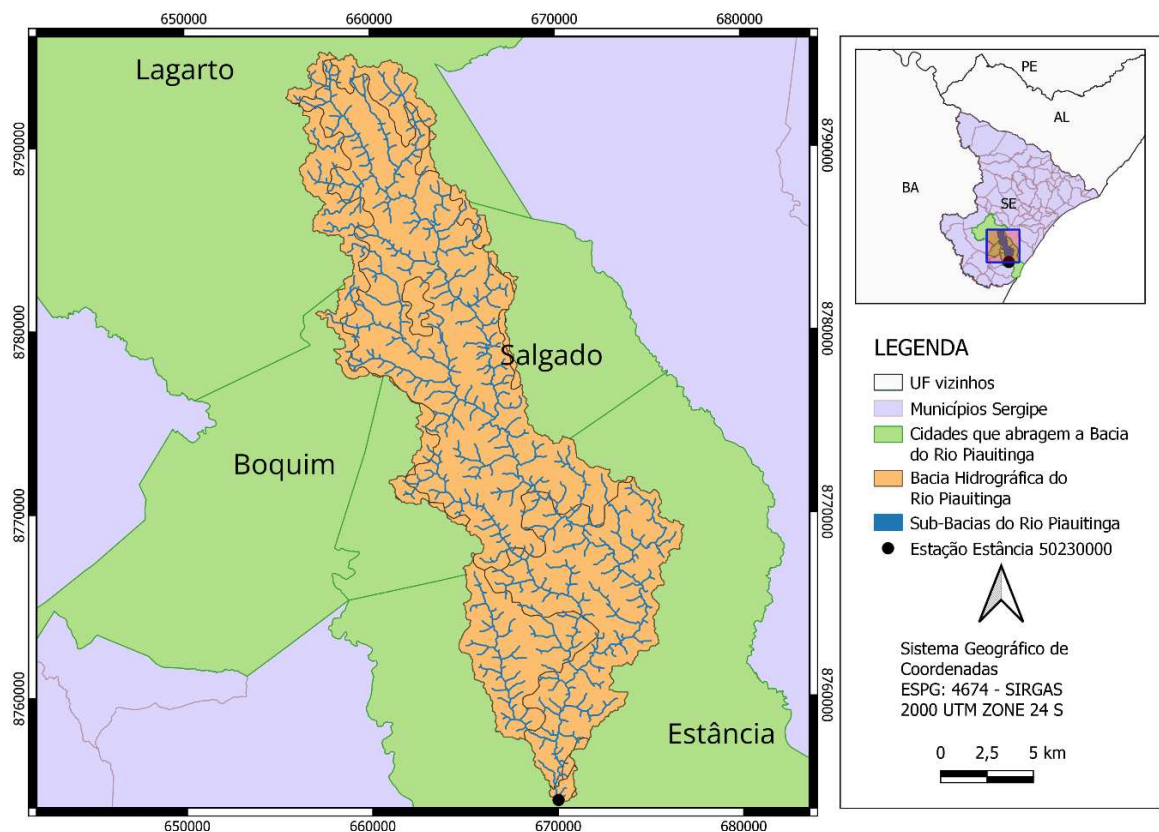
Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi estimar as perdas de solo, a partir das curvas dos sedimentos, associando ao uso e ocupação da terra na bacia do rio Piauitinga, localizada no Estado de Sergipe.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A seleção da área de estudo foi baseada na disponibilidade de dados hidrossedimentológicos e climáticos, com o objetivo de abranger características edafoclimáticas, incluindo clima, bioma, tipos de solo e relevo. A bacia hidrográfica escolhida para esse estudo localiza-se na região Centro-Sul do Estado de Sergipe, que compreende os municípios de Estância, Salgado, Boquim e Lagarto, na área da sub-bacia do rio Piauitinga (Figura 1), totalizando uma área de 418,20 km² (CALAZANS; et al., 2020).

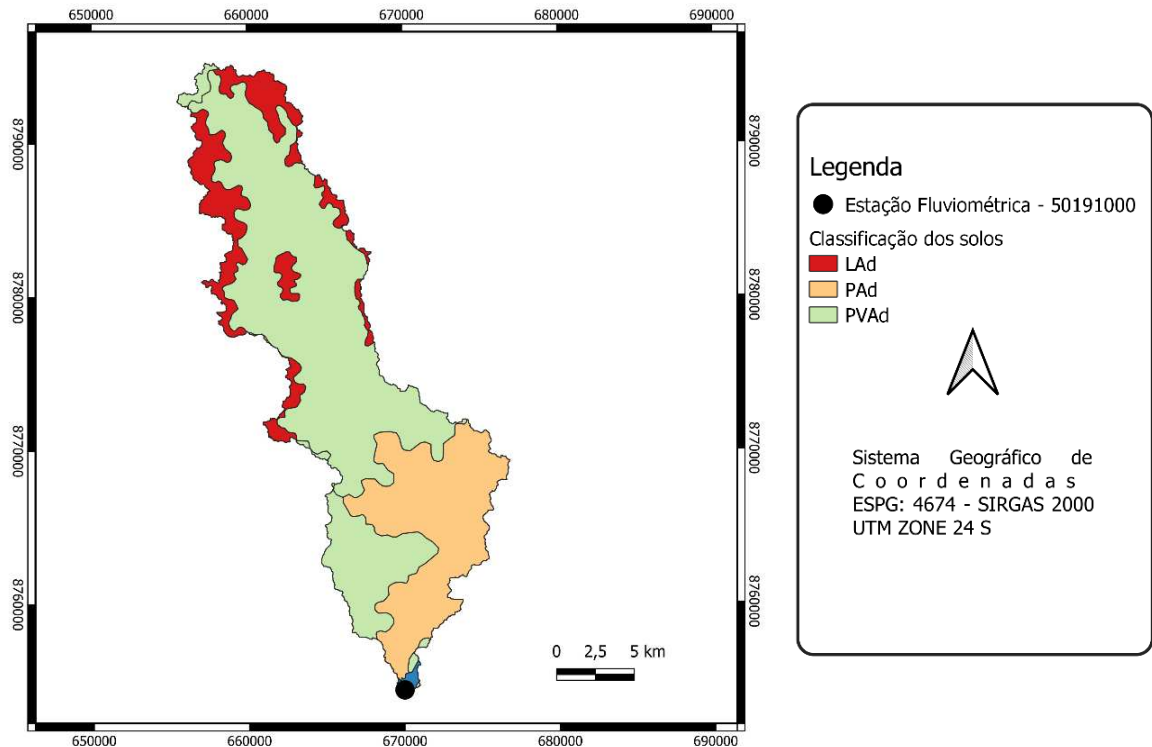
Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Piauitinga, estado de Sergipe



Fonte: Autora.

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2013), os solos predominantes na área da bacia hidrográfica do rio Piauitinga são: Latossolo Amarelo Distrófico (LAd), Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd) e Argissolo Amarelo Distrófico (PAD), conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Mapa dos solos presentes na bacia hidrográfica do rio Piautinga, estado de Sergipe



Fonte: Autora.

O clima presente na região do Centro-Sul do Estado de Sergipe é classificado como Aws, enquadrando-se na categoria de clima tropical de savana, também conhecido por clima savânico, ou então clima tropical com estação seca, de acordo com a classificação de Alvares et al. (2013). A precipitação média anual é de 1.067 mm, com a ocorrência de chuvas concentradas principalmente entre abril e julho, e novamente de outubro a janeiro. A temperatura média anual é de 24,0 °C, sendo fevereiro o mês mais quente, com uma média de 25,6 °C, e julho o mês mais frio, com uma média de 21,7 °C (CLIMATE-DATA, 2012).

2.2 Base de dados

Os dados de vazão (Q) e da descarga sólida (Qss) foram obtidos através do sistema Hidroweb, que disponibiliza os dados da Rede Hidrometeorológica Nacional, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA (HIDROWEB, 2023). Foram utilizados os dados da estação fluviométrica de Estância (Quadro 1), que possui dados de concentração de sedimentos suspensos (C_{ss}) e de cerca de doze medições de vazão (Q) anuais entre 1998 e 2015.

Quadro 1 - Descrição da estação fluviométrica na bacia hidrográfica do rio Piautinga, estado de Sergipe

Código	Nome	Localização		Altitude (m)	Anos	Área de contribuição (km ²)
		Latitude	Longitude			
50230000	Estância	-11.2644	-37.4425	53	1998- 2015	322,0

Fonte: ANA (2022).

A fim de se identificar o uso e ocupação da terra da bacia, foram utilizados os dados da Coleção 6 do projeto MapBiomas (MAPBIOMAS, 2022), no qual estão disponíveis mapas anuais (1985 a 2020) da cobertura e uso da terra do Brasil, na escala de 30 m de resolução, considerando as cinco classes: Floresta, Vegetação Natural Não Florestal, Agropecuária, Área sem vegetação e Água.

2.3 Estimativa das perdas de solo

Utilizando os dados de vazão (Q) e da concentração de sólidos suspenso (C_{ss}) da estação de Estância, foi possível estimar as perdas de solo para a sub-bacia a montante da estação fluviométrica de Estância, a partir da curva chave de sedimentos.

2.3.1 Curva chave de sedimentos

Os dados examinados foram processados em planilhas do Excel, realizando inicialmente análises estatísticas para avaliar a correlação entre os dados de sedimento e vazão para assim obter as estimativas da descarga sólida (Q_{ss}) a partir da Equação 1.

$$Q_{ss} = 0,0864 \times Q \times C_{ss} \quad (1)$$

Em que:

Q_{ss} = descarga sólida (t dia⁻¹);
 Q = vazão (m³ s⁻¹); e
 C_{ss} = concentração de sólido em suspensão (mg L⁻¹).

Com os valores de Q_{ss} determinado, realizou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, para estabelecer se o conjunto de dados é paramétrico ou não, entrando com os dados de

vazão, concentração de sólidos suspensos, e de série de descarga sólida. Caso os dados apresentem distribuição normal, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson (r) para estimar a relação entre Qss e Q.

De acordo com Dancey e Reidy (2006), a classificação para o coeficiente de correlação de Pearson foi proposta em $r = 0,10$ a $0,30$ (fraco), $r = 0,40$ a $0,6$ (moderado) e $r = 0,70$ a 1 (forte). Se o coeficiente citado fosse classificado como fraco, foi necessário remover os pontos fora da curva, mas se o coeficiente estivesse moderado, prosseguiu-se com as etapas seguintes.

Assim, foi utilizado o método do *boxplot* ou conhecido também como método da caixa, proposto por Tukey (1977), e citado por Moreira e Araujo (2022), a fim de revelar o centro, a dispersão e a distribuição dos dados, além da presença de *outliers*, os quais são os valores de uma série de dados que se distanciam da normalidade da amostra em questão, parecendo assim ser inconsistentes de acordo com o restante desse conjunto de dados.

Desse modo, o método do *boxplot* é uma forma simples de identificar os *outliers*, e constatar quartis através da diferença entre os limites ou então a variação interquartil ($IQR = Q3 - Q1$), que são delimitados por duas linhas, que são os limites inferiores (Linf) e superiores (Lsup) (Equações 2 e 3, respectivamente), levando em consideração que o quartil Q1 é de 25% dos dados que estão abaixo dele, e o quartil Q3 é de 75 %, onde 25% dos dados estão acima desse valor, formando assim uma distância segura dentro da normalidade.

$$Linf = Q1 - 1,5 * IQR \quad (2)$$

$$Lsup = Q3 + 1,5 * IQR \quad (3)$$

Em que:

Linf	=	limite inferior;
Lsup	=	limite superior;
Q1	=	medida de posição na qual 25% das observações ficam abaixo dela;
Q3	=	25% dos dados estão acima desse valor; e
IQR	=	variação interquartil $Q3 - Q1$.

Os resultados que ficaram de fora do limite inferior e superior foram classificados como *outliers*.

Além disso, após realizada a análise estatística inicial, foi traçada a Curva de Transporte de Sedimento CCS (Curva Chave), utilizando a metodologia apresentada por Carvalho (1994), citada por Melo, Araújo e Carvalho (2020), cuja curva foi ajustada por meio da relação

potencial (Equação 4) entre valores de vazão (descarga líquida – Q) ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) e da descarga sólida (t dia^{-1}).

$$Q_{ss} = a \times Q^b \quad (4)$$

Em que:

Q_{ss}	=	concentração de sedimentos ou descarga sólida total (t dia^{-1});
Q	=	vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);
a	=	coeficiente estimado da equação potencial (adimensional); e
b	=	coeficiente estimado da equação potencial (adimensional).

No Excel, a determinação da CCS envolve a representação gráfica dos valores de vazão sólida em suspensão (Q_{ss}) no eixo vertical e os valores de vazão líquida (Q) no eixo horizontal. Por meio de uma análise de regressão linear, foram derivadas as equações que representam as curvas, juntamente com o coeficiente de determinação (R^2).

Além disso, é importante considerar as estimativas dos coeficientes a e b (Equação 4) a partir de dados registrados, além de frisar que o uso da CCS é necessário quando os dados diários de sedimentos não são disponíveis e se possui os dados de vazão, de modo que a curva permite realizar uma estimativa dos dados de descarga sólida média anual para cada estação (MENEZES, MARCUZZO, PEDROLLO; 2021a).

Com as curvas chave de sedimentos desenvolvidas (Equação 4), calculou-se as cargas diárias de sedimentos suspensos (VÁZQUEZ-TARRÍO; MENÉNDEZ-DUARTE, 2021; ZHAO et al., 2021), e assim consequentemente obteve-se a carga mensal Q_{ss} (t mês^{-1}) e anual Q_{ss} (t ano^{-1}) de sedimentos suspensos.

A partir do quociente entre a Q_{ss} anual (t ano^{-1}) e a área de contribuição (ha) obteve-se o rendimento específico do sedimento (SSY), conforme apresenta-se na Equação 5.

$$SSY = \left(\frac{Q_{ss}}{A} \right) \quad (5)$$

Em que:

SSY	=	rendimento específico do sedimento ($\text{t ano}^{-1} \text{ha}^{-1}$);
Q_{ss}	=	descarga sólida estimada anual (t ano^{-1}); e
A	=	área de contribuição (ha).

Após o cálculo das descargas líquidas (Equação 5), o trabalho procedeu com a utilização do mapa de uso e ocupação da terra do MapBiomass, cujos dados serviram para identificar os

diferentes tipos de cobertura do solo, como florestas, áreas desmatadas, cultivos agrícolas, entre outros (SALES, JUNIOR, OLIVEIRA; 2019).

Assim, após ter identificado o uso e ocupação do solo na região, foi possível estabelecer uma possível relação entre ele e a erosão do solo, contribuindo para uma compreensão mais abrangente dos fatores envolvidos na degradação ambiental da região.

2.3.2 Matriz de Correlação

A matriz de correlação foi construída utilizando o software estatístico RStudio ® (GANDRUD, 2013). Para isso, os dados foram importados para o ambiente R, e a função "cor()" foi aplicada para calcular as correlações entre as variáveis de interesse. A Correlação mais próxima a +1 indica uma correlação direta entre os dados, a correlação próxima a zero indica que não há correlação entre os dados e já uma correlação próxima a -1 indica que há uma correlação indireta entre os dados.

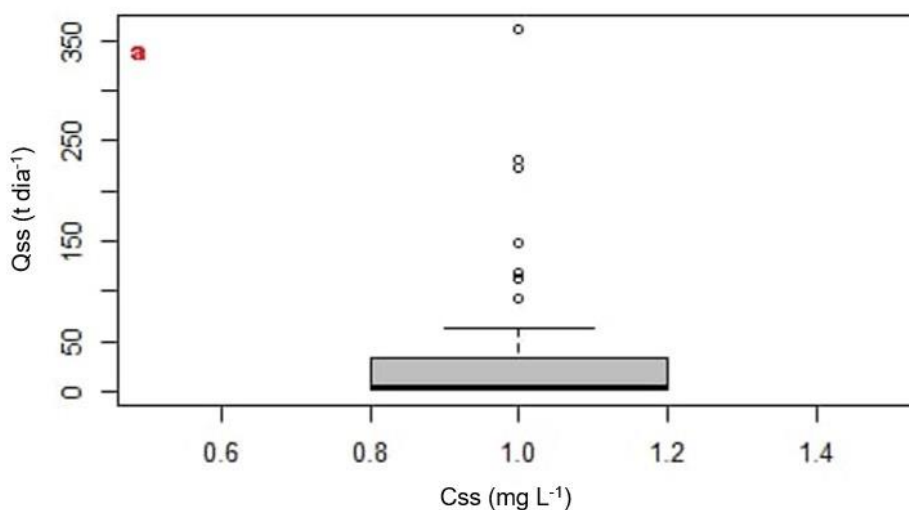
Assim, a matriz resultante forneceu uma visão das correlações lineares entre grandezas de perda de solo total anual/ha, corpo d'água, não vegetada, não florestal, floresta e agropecuária.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos dados obtidos pelo Hidroweb foi identificado um valor de vazão discrepante dos demais, no dia 11/02/2003, em que aparece a vazão como $1.968 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Possivelmente, houve um erro de digitação na disponibilização do Hidroweb, pois os dados do ano de 2003, como nos dias 21/07/2003 e 23/09/2003, são de $2,523 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $2,73 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Assim, avaliou-se a série histórica de vazão, para o ano de 2003 e chegou-se à conclusão de que este valor seria $1,968 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e não $1968 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, como foi disponibilizado. Após este ajuste, seguiu-se com a análise.

Os parâmetros do teste de Shapiro-Wilk da estação em estudo apresentaram distribuição normal (p-valor $<0,05$) para as variáveis Q, C_{ss} e Q_{ss}. Assim prosseguiu com a verificação dos *outliers* através do método do *boxplot*, representado na Figura 3, no qual mostra a variação nas descargas sólidas em suspensão em função da concentração do sólido em suspensão, além de observar que na série existem sete *outliers* ($>50 \text{ t dia}^{-1}$).

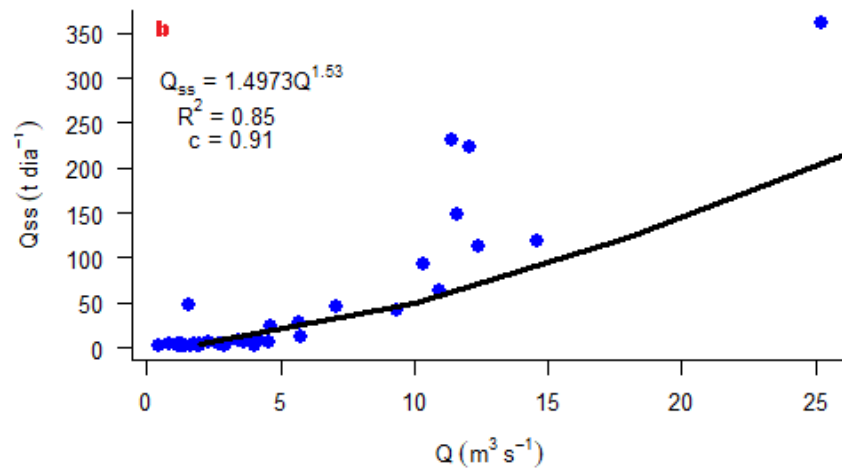
Figura 3 - Boxplot da descarga sólida (Q_{ss}) e da vazão (Q)



Fonte: Autora.

Para o método do *boxplot* com os *outliers* foram feitas as correlações entre a descarga sólida (Q_{ss}) e a vazão (Q), além de se analisar o coeficiente de Pearson (r) e o coeficiente de determinação (R²), com a finalidade de estimar a perda de solo, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Curva potencial das variáveis de descarga sólida (Q_{ss}) e vazão (Q)



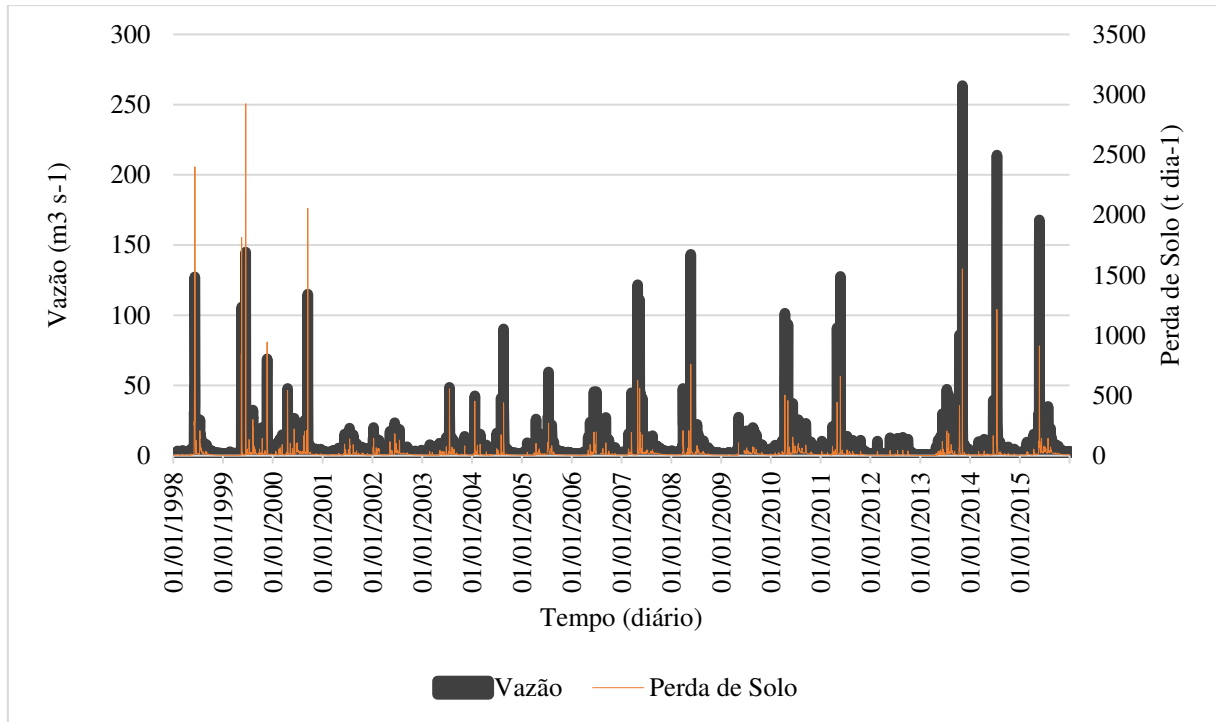
Fonte: Autora.

Na Figura 4, observou-se a correlação de Pearson (r) e o R^2 obtido pela curva de ajuste, em que o r foi de 0,91 e o R^2 de 0,85, sendo ambos resultados considerados satisfatórios.

Com isso, a curva-chave apresentada na Figura 4 pode ser considerada satisfatória, uma vez que quando comparamos o R^2 obtido neste estudo com o que está disponível na literatura, verifica-se que é normal obter um valor aproximado de 0,80 nas estações com dados de sedimentos aqui no Brasil. Menezes, Marcuzzo e Pedrollo (2021b) obtiveram R^2 igual a 0,62 para uma estação no Rio Grande do Sul, enquanto Silva (2023) encontrou R^2 igual a 0,81 para a estação localizada na bacia hidrográfica do rio Grande - BA, importante afluente do rio São Francisco

Na Figura 5 foi obtido o comportamento da perda de solo e da vazão para os anos de 1998 a 2015, onde é possível observar que a perda de solo ($t\ dia^{-1}$) acompanha a vazão ($m^3\ s^{-1}$), que pode ser explicado que quanto maior é o pico de vazão, maior também é a perda de solo, pois possibilita um maior arraste de solo para o curso d'água.

Figura 5 - Vazão e perda de solo anual no período de 1998 a 2015

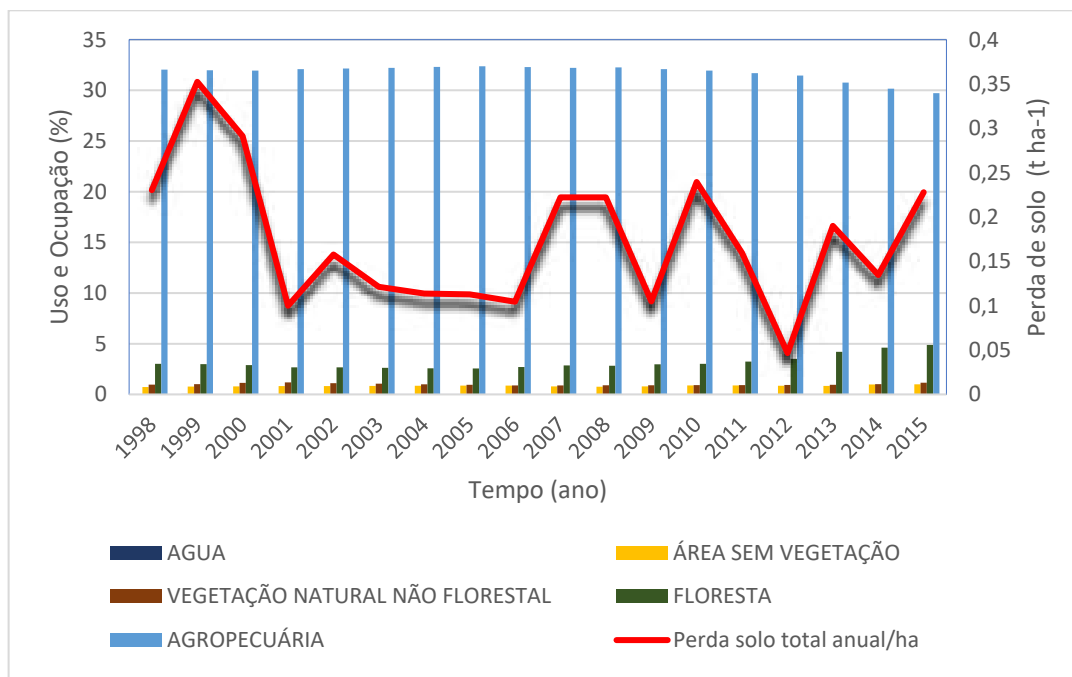


Fonte: Autora.

Conforme os dados mostrados na Figura 5, para chegar à dados anuais de perda de solo, dividiu-se esse dado ($t \text{ dia}^{-1}$), pelo tamanho da área da bacia Rio Piauitinga, que é de 41.820 ha. Desse modo, foi possível concluir que as maiores perdas de solo anuais, considerando o ano civil, foram nos anos de 1999 e 2000, dentre os anos analisados, sendo 14.739 t e 12.181 t, respectivamente. A FAO (1967), reconhece que as perdas de solo podem atingir cerca de 12,5 toneladas por hectare por ano em solos profundos, permeáveis e bem drenados. Para solos rasos ou impermeáveis, as perdas podem variar entre 2 e 4 toneladas por hectare por ano. Em relação a outros tipos de solos, a FAO admite perdas que se situam entre esses limites mencionados.

Na Figura 6 foram obtidos os usos e ocupações do solo, disponibilizados pelo projeto Mapbiomas e utilizando a ferramenta Semi-Automatic Classification, e a perda de solo entre os anos de 1998 a 2015 para a sub-bacia do rio Piauitinga, onde foi possível observar que as maiores perdas de solo foram não em momentos em que a agropecuária estava no seu ápice ou que a área de floresta estava na sua menor dimensão, com isso o uso e ocupação não teve uma relação direta com a perda de solo.

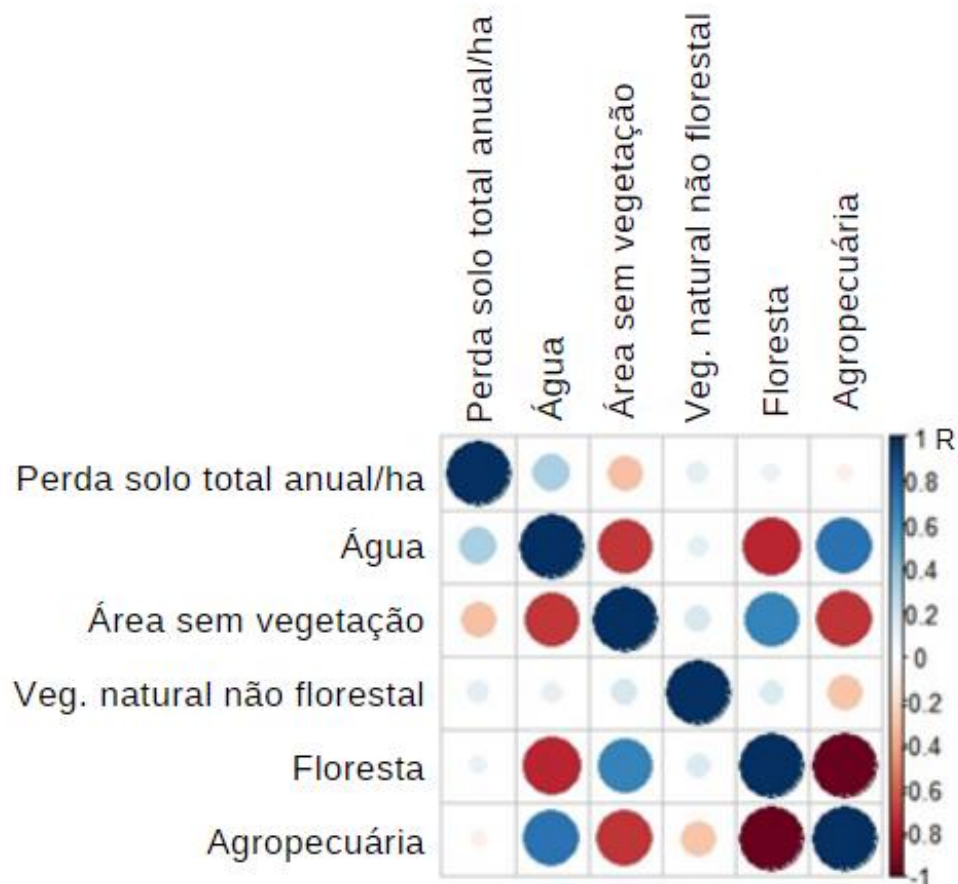
Figura 6 - Perda de solo e uso e ocupação da terra para a bacia do rio Piauitinga considerando os anos de 1998 a 2015



Fonte: Autora.

Já na matriz de correlação (Figura 6) mostra uma correlação indireta, mais próxima de -1, entre agropecuária e área de floresta, pois quando aumenta a primeira, a segunda diminui. A Figura 7 também evidencia a correlação direta média, mais próxima de +1, entre área de vegetação natural não florestal e perda de solo, mostrando que quando aumenta a primeira, a segunda também aumenta. Já a correlação direta entre área de floresta e perda de solo pode significar que florestas plantadas não estão conseguindo acabar com a perda de solo.

Figura 7 - Matriz de correlação de uso e ocupação da terra



Fonte: Autora.

Nos dados examinados do MapBiomass (2023), observou-se que no período de 1985 a 2022, a área ocupada pela atividade agropecuária no país aumentou de aproximadamente um quinto (22%) para um terço (33%) do território brasileiro, expandindo-se em 61,4 milhões de hectares durante o período analisado. No estado de Sergipe, a atividade avançou em mais de 69 mil hectares nesse mesmo intervalo de anos. Além disso, o país experimentou uma perda de 58,6 milhões de hectares de florestas naturais, correspondendo a 15% do total nacional, enquanto no estado estudado, a cobertura florestal diminuiu em mais de 68 mil hectares.

Os autores Silva e Monteiro (2021) expõem em seus estudos que o manejo do solo sem as práticas sustentáveis, pode promover o desequilíbrio ambiental e intensificar os processos erosivos. Assim como Costa, Moreira e Nunes (2023) citam também que ao passo que os solos são submetidos a processos de desmatamento, seguidos pela preparação do solo, plantio e colheita sem práticas adequadas de manejo, a sua camada superficial sofre perda de matéria orgânica do solo, aumentando a suscetibilidade à erosão, esse processo resulta na formação de bancos de sedimentos e, em alguns casos, assoreamento de corpos d'água.

O solo Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, mais predominante na área de estudo, também pode influenciar na perda de solo, como esclarece Velasquez e Righes (2019) em seus estudos onde concluem que os Argissolos podem ter maior susceptibilidade à erosão, os autores também correlacionam a degradação desse tipo de solo a instabilidade dos agregados e a baixa macroporosidade do solo que reduz a condutividade hidráulica saturada aumentando o escoamento superficial e consequentemente aumenta a perda de solo.

Bardgett (2016) em seu livro discorre que à medida que as florestas são convertidas em áreas não florestadas para fins agropecuários, urbanização ou outras atividades humanas, a cobertura vegetal natural que anteriormente protegia o solo é removida, tornando a superfície do solo mais suscetível à erosão, resultando em perda de solo. Ademais, o autor também correlaciona que a remoção das árvores reduz a capacidade do solo de reter a umidade e controlar o fluxo de água, aumentando o risco de erosão hídrica e podendo causar impactos negativos na fertilidade do solo, na qualidade da água e na sustentabilidade a longo prazo das atividades agrícolas, destacando então a importância da gestão sustentável das terras para evitar esses efeitos adversos.

Marmontel e Rodrigues (2018) ressaltaram que quando há a degradação das matas ciliares, decorrente de práticas agropecuárias inadequadas e expansão urbana, pode resultar em danos e alterações tanto na qualidade quanto na quantidade da água. Entretanto, é interessante observar que, nas análises realizadas, as maiores perdas de solo não foram necessariamente associadas a momentos em que a cobertura de matas ciliares estava reduzida. Isso sugere que, embora a degradação dessas áreas tenha impactos significativos, outros fatores podem estar desempenhando um papel crucial nas perdas de solo, destacando a complexidade das interações ambientais na região estudada.

E apesar das intenções de utilizar florestas plantadas como uma estratégia para mitigar a perda de solo, esse método pode enfrentar desafios significativos na prática. As florestas plantadas, muitas vezes compostas por espécies de crescimento rápido como é o caso do eucalipto, que oferecerem certa proteção contra a erosão inicialmente, mas que sendo uma área de monocultura, pode levar a problemas de compactação do solo e perda de biodiversidade, apresentando a maior exportação de sedimentos pelo corpo hídrico (OGASAWARA, 2021). Somando a isso, o desmatamento prévio para abrir espaço para essas plantações pode causar danos significativos ao ecossistema natural, contribuindo para a perda de solo (ROSA; CHEREM; SIAME, 2023). A eficácia das florestas plantadas na prevenção da erosão do solo também depende de práticas de gestão adequadas, como o manejo florestal sustentável e a manutenção de cobertura do solo.

4 CONCLUSÕES

A equação para estimativa da Q_{ss} para a estação trabalhada é apresentada como $Q_{ss} = 1,4973 \times Q^{1,53}$, demonstrando uma relação potencial entre a descarga sólida total (Q_{ss}) e a vazão (Q);

A perda de solo na bacia estudada, especialmente nos anos de 1999 e 2000, atingiu valores elevados ao se comparar com padrões de perda de solo aceitos como toleráveis, com perdas anuais de 14.739 t e 12.181 t, respectivamente;

A análise dos dados de uso e ocupação da terra revela que, isoladamente, a mudança de uso e cobertura da terra não é o único fator determinante das magnitudes de perdas de solo na bacia em estudo. As maiores perdas não coincidiram, necessariamente, com momentos de ápice na agropecuária ou mínima dimensão de áreas florestadas; e

A equação de estimativa da Q_{ss} , validada com a matriz de correlação, apresenta consistência, destacando-se pela correlação de Pearson (r) de 0,91 e R^2 de 0,85, sendo esses resultados comparáveis e, em alguns casos, superiores aos encontrados na literatura.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. **Zeitschrift Meteorologische**. 22(6): 711-728, 2013. doi:10.1127/0941-2948/2013/0507.
- AMARAL, A. K.; NUNES, R., L. E.; FORMIGA, K. T. M. Estudo do transporte de sedimentos em suspensão ao longo da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte – Go. **Ateliê Geográfico**. Goiânia, v. 15, n. 2, p. 94-113, out. 2021. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/ateli/article/view/66498>.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M. Políticas de fomento à adoção de Sistemas de Integração Lavoura, Pecuária e Floresta no Brasil. In: CFLI: **Inovação com Integração de Lavoura, Pecuária e Floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 835 p. p. 99-115. 2019.
- BARBOSA, L. M. Desafios do processo frente à crise ambiental. **VIII Simpósio de Restauração Ecológica/Luiz Mauro Barbosa**- São Paulo. Instituto de Botânica, 219-278 p. 2019. ISBN: 978-85-7523—074-9.
- BARDGETT, R. **Earth Matters: How soil underlies civilization**. Oxford University Press, 2016.
- BAUCKE, A. S. et al. Análise da descarga sólida do Rio Itajaí do Sul mediante aplicação do método simplificado de Colby. **Revista de gestão & sustentabilidade ambiental**. Florianópolis, SC. Vol. 9, n. 4 (out./dez. 2020), p. 297-315, 2020.
- CALAZANS, C. C. et al. Caracterização de nascentes na sub-bacia hidrográfica do rio Piauitinga, município de Estância, Sergipe. **Global Science and Technology**, v. 13, n. 1, 2020. Disponível: <https://rv.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/view/1196>. Acesso: 01 out. 2023.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro, Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais – CPRM / Eletrobrás. 372p. 1994.
- CLIMATE-DATA. **Dados climáticos mundiais - Região de Lagarto, Sergipe, Brazil**, 1982 – 2012. Disponível: <<https://pt.climate-data.org/america-dosul/brasil/sergipe/lagarto-42953/>>. Acesso: 02 de outubro de 2023.
- CONDÉ, R. C. C. et al. Curvas-chave de sedimentos de sensoriamento remoto para o Rio São Francisco. In: **XIV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**. 2020. ISSN: 2359-2141.
- COSTA, H. R. O.; MOREIRA, E. S.; NUNES, J. O. R. O uso da terra por atividades agropecuárias e seu impacto sobre bacias hidrográficas. **GeoGraphos. Revista Digital para Estudantes de Geografia y Ciencias Sociales**. 2023, 14(2): 64-90. <https://doi.org/10.14198/GEOGRA2023.14.154>
- DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA, Brasília, 353 p., 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. **Cuadernos de fomento agropecuario da Org. de Las Naciones Unidas-FAO**. Roma, n. 81, 1967.

GANDRUD, C. **Reproducible research with R and R studio**. Boca Raton, Florida: CRCPress, 2013.

GENTIL, W. B. et al. Diagnóstico Batimétrico do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Caçu-GO. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1541-1558, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1541-1558>.

HIDROWEB. **Portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)**. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/download>>. Acesso em: 9 out. 2023.

MAPBIOMAS. **Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 05 nov. 2023.

MAPBIOMAS. **Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas)** 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2023/10/06/area-de-agropecuaria-no-brasil-cresceu-50-nos-ultimos-38-anos/>.

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 171-181, 2018.

MELO, S. C.; ARAUJO, J. C. F.; CARVALHO, R. C. M. O. Curvas-chave de descargas de sedimentos em suspensão no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 13 n. 03, 1248- 1262. 2020. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p1248-1262>. 2020. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1124900>. Acesso em: 23 dez. 2022.

MENEZES, D.; MARCUZZO, F. F. N.; PEDROLLO, M. C. R. Estimativa da produção de sedimentos utilizando a curva-chave de sedimentos. **Ciência e Natura, Santa Maria**, v.43, e17, p. 131, 2021. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/22167>>. Acesso: 02 outubro 2023a.

MENEZES, D.; MARCUZZO, F. F. N.; PEDROLLO, M. C. R. Estimativa da produção de sedimentos utilizando a curva-chave de sedimentos. **Ciência e Natura, Santa Maria**, v.43, e17, p. 131, 2021. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/22167>>. Acesso: 02 outubro 2023b.

MOREIRA, T. S. J.; ARAUJO, R. C. Comparação das capacidades de carga de estacas pré-moldadas de concreto estimadas por meio de um método teórico e um semiempírico. **Revista de engenharia e tecnologia**, V. 14, No. 2. 2022. ISSN 2176-7270.

OGASAWARA, M. E. et al. Runoff and sediment yield from forested catchments under varying management intensities: Insights from a subtropical region of Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 2, p. 628-639, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3753>.

PEIXOTO, R. A. O. et al. Determinação da relação entre vazões líquida e sólida e análise de fatores que influenciam a dinâmica do transporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Jordão (UPGRH-PN 1). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 921–931, nov. 2020.

PINTO, G. S. et al. Estimativa das perdas de solo por erosão hídrica utilizando o Método de Erosão Potencial. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 39, p. 62-71, 2020. DOI: 10.11606/rdg.v39i0.160233. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/160233>. Acesso em: 02 dez. 2023.

PEREIRA, G. S. A erosão pluvial e a ação antrópica como fatores de degradação do solo no sítio ribeiro grande alagoinha –PB. **Anais do XIV ENANPEGE**. Campina Grande: Realize Editora, 2021. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/777777>. Acesso em: 21 nov. 2023.

RODRIGUES, S. C.; CONFESSOR, J. G.; PEREIRA, J. S. Técnicas de manejo voltadas à recuperação de áreas degradadas por erosão: Análise de 15 anos de estudos na voçoroca da Fazenda Experimental do Campus Glória-UFU. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 24, n. 00, 2023. DOI: 10.20502/rbg.v24i00.2317. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2317>. Acesso em: 21 nov. 2023.

ROSA, L. E.; CHEREM, L. F. S.; SIAME, L. The role of natural and anthropic factors in the variability of soil loss in the state of Goiás between 1985 and 2018. **Sociedade & Natureza**, v. 35, p. e66034, 2023. ISSN 1982-4513. <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-66034x>.

SALES, D. S.; JUNIOR, J. L.; OLIVEIRA V. P. S. Avaliação espaço-temporal da dinâmica de sedimentação do baixo curso do rio Paraíba do Sul por meio de sensoriamento remoto. **VII ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto**, UFSC, Florianópolis 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/244359>. Acesso em: 02 out. 2023.

SILVA, L. F.; MONTEIRO, J. V. O preparo de solo para plantio de milho. In: **Congresso de Tecnologia-Fatec**. Mococa. v. 4 n. 1. 2021. Disponível em: <https://congresso.fatecmococa.edu.br/index.php/congresso/article/view/205>. Acesso: 25 nov. 2023.

SILVA, S. F. **Uso e cobertura do solo e precipitação no regime das vazões da Bacia do Rio Grande - BA**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

SIRQUEIRA, E. S. et al. Vazão líquida, sedimentos em suspensão e turbidez na microbacia do rio Caiabi, no ecotóno Cerrado Amazônia. **Nativa**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. 525–532, 2022. DOI: 10.31413/nativa.v10i4.13961. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/13961>. Acesso em: 15 nov. 2023.

SILVEIRA, A. P. P. **Solos e recursos hídricos**. Série Universitária. 1. Ed. São Paulo: Editora Senac, 2022. ISBN: 6555368985, 9786555368987

TUKEY, J. W. **Exploratory data analysis** (Vol. 2). Reading, MA. 1977.

VÁZQUEZ-TARRÍO, D.; MENÉNDEZ-DUARTE, R. The estimation of bedload in poorly-gauged mountain rivers. **Catena**, v. 204, n. April, 2021.

VELASQUEZ, R. P.; RIGHES, A. A. Controle de voçoroca em argissolo vermelho em São Valentim-RS. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 20, n. 1, p. 53-69, 2019.

ZHAO, Y. et al. Interactive effects of elevated CO₂ and nitrogen fertilization levels on photosynthesized carbon allocation in a temperate spring wheat and soil system. **Pedosphere**, v. 31, n. 1, p. 191–203, 2021.