



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

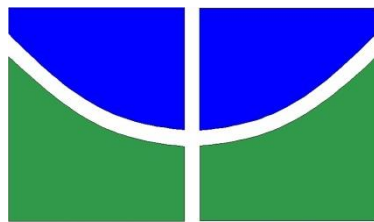
**PERDAS DE ÁGUA E SOLO SOB CERRADO NATURAL, PASTAGEM
DEGRADADA E PASTAGEM RESTAURADA NA APA DAS
NASCENTES DO RIO VERMELHO (GO)**

Isabela Fernanda Leite Gomes Camargo

Brasília, 18 de julho de 2023

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**PERDAS DE ÁGUA E SOLO SOB CERRADO NATURAL, PASTAGEM
DEGRADADA E PASTAGEM RESTAURADA NA APA DAS
NASCENTES DO RIO VERMELHO (GO)**

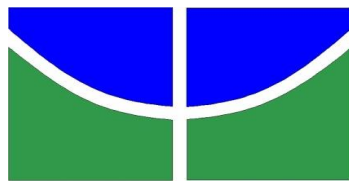
Isabela Fernanda Leite Gomes Camargo

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado ao Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade de Brasília como
parte das exigências para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Marinho

Leite Chaves

Brasília-DF, 18 de julho de 2023



Universidade de Brasília – UnB
Faculdade de Tecnologia – FT
Departamento de Engenharia Florestal – EFL

**PERDAS DE ÁGUA E SOLO SOB CERRADO NATURAL, PASTAGEM
DESGRADADA, PASTAGEM RESTAURADA NA APA DAS NASCENTES DO RIO
VERMELHO (GO)**

Estudante: Isabela Fernanda Leite Gomes Camargo

Matrícula: 18/0018931

Orientador: Prof. Dr. Henrique Marinho Leite Chaves

Menção: _____

Prof. Dr. Henrique Marinho Leite Chaves

Universidade de Brasília – UnB

Departamento de Engenharia Florestal

Orientador (EFL)

Dra. Maria Rita Souza Fonseca

Consultora

Membro da Banca

Maria Eduarda Moraes Sarmiento Coelho

Engenheira Florestal

Membro da Banca

Brasília-DF, 18 de julho de 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

CAMARGO, ISABELA FERNANDA LEITE GOMES

PERDAS DE ÁGUA E SOLO SOB CERRADO NATURAL, PASTAGEM DEGRADADA E PASTAGEM RESTAURADA NA APA DAS NASCENTES DO RIO VERMELHO (GO).

59 p., 210 x 297mm (EFL/FT/UnB, Engenheiro(a), Engenharia Florestal, 2023).

Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.
Departamento de Engenharia Florestal

- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| 1. Restauração Ecológica | 2. Erosão Hídrica |
| 3. Degradação do Solo | 4. Escoamento Superficial |
| I. EFL/FT/UnB | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CAMARGO, I. F. L. G (2023). **PERDAS DE ÁGUA E SOLO SOB CERRADO NATURAL, PASTAGEM DEGRADADA E PASTAGEM NATURAL NA APA DAS NASCENTES DO RIO VERMELHO (GO)**. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 59 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR(A): Isabela Fernanda Leite Gomes Camargo

TÍTULO: *Perdas De Água E Solo Sob Cerrado Natural, Pastagem Degradada e Pastagem Recuperada Na APA Das Nascentes Do Rio Vermelho (GO)*.

GRAU: Engenheiro(a) Florestal

ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Isabela Fernanda Leite Gomes Camargo

isafernanda6@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, meus agradecimentos vão aos meus pais, Luis e Júlia, por me prestarem todo o apoio que sempre precisei, por permanecerem ao meu lado e me incentivarem a sempre ir atrás dos meus objetivos, mantendo os pés no chão. Além de agradecer à minha irmã, Letícia, por ter me ensinado a ser uma pessoa resiliente.

Quero agradecer ao Bater das Asas, por serem pessoas que eu recorro em momentos que quero dar risada ou compartilhar angústias e por se manterem presentes há tanto tempo.

Agradecer aos meus amigos de graduação: Anna, Larissa, Jarllys, Júlia e Bia por terem compartilhado essa jornada e experiências comigo, por entenderem as minhas reclamações e dificuldades e ajudarem sempre que eu pedi.

Agradecer a Nathália, Camila, Izabel, Luiz e Benon, por serem presentes na minha vida, me proporcionarem conforto e clareza.

Gostaria de agradecer ao Professor Doutor Henrique Marinho Leite Chaves e à Doutora Maria Rita Souza Fonseca, por me incluírem neste projeto.

Agradecer à minha psicóloga, Teresa Souza, por ter me ensinado ferramentas que me permitiram chegar até aqui e continuar me ajudando a chegar em uma versão mais saudável e sustentável de mim mesma.

Agradecer à equipe da Coginf, por terem me ajudado e contribuído com a minha formação como profissional, como engenheira e como mulher. Por me mostrarem como conseguimos ir longe quando nos unimos, quando buscamos compreender e quando somos compreendidas.

Agradecer ao Patrick, por ter me ajudado tanto em tantos momentos, me ensinar muitas coisas sem nem perceber e não desistir de mim em nenhum momento. Além de acreditar em mim, mesmo quando tudo apontava ao contrário. Por me acolher nos meus momentos mais baixos e compartilhar comigo os mais altos, por ser quem eu me sinto confortável de recorrer sempre que necessário e desnecessário. Por ser o meu melhor amigo.

Por fim, queria agradecer principalmente a mim, por passar por um período tempestuoso e cheio de obstáculos, mas me manter, mesmo com dificuldade. Por não ter desistido de mim, de quem sou, de quem quero ser e de onde quero chegar. Por ter buscado maneiras de ser mais gentil comigo mesma pra aguentar momentos que a vida não é gentil com ninguém, e ainda sim buscar ir mais longe. Agradecer a mim por existir, por ser quem eu sou e por seguir adiante, indo pelos meus caminhos, apesar de não serem os mais fáceis.

*I'm making mistakes and learning from them;
I'm not afraid of making mistakes.
I embrace mistakes, they make you who you are.*

(Beyoncé Knowles)

RESUMO

Aproximadamente 45% dos solos mundiais se encontram degradados em algum nível em decorrência de uso intensivo e alterações climáticas. A erosão é uma das principais formas de degradação do solo e é altamente afetada pela cobertura do solo, que contribui com a manutenção da qualidade das águas, mostrando ser um fator fundamental na sustentabilidade ambiental. Este estudo tem como objetivo comparar as perdas de solo e água em três tipos de cobertura do solo em propriedades dos municípios de Buritinópolis, Damianópolis e Mambaí, no estado de Goiás. O estudo foi realizado nos solos Latossolo Vermelho, Neossolo Litólico e Neossolo Quartzarênico, na região da APA das Nascentes do Rio Vermelho (GO). A precipitação no ano hidrológico 2022/2023 foi de 1.095,5 mm, enquanto a erosividade foi 7209,2 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ em Mambaí, 7356,6 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ em Buritinópolis e 7353,7 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. O escoamento superficial médio anual foi maior na pastagem degradada em Buritinópolis, 39.099,37 mL, no cerrado natural em Damianópolis, 35.842,3 mL, e na pastagem restaurada em Mambaí, 25.584,17 mL. A concentração de sedimentos média anual foi maior na pastagem degradada em Buritinópolis, 18,6 g/L, na pastagem restaurada em Damianópolis, 1,26 g/L, e na pastagem degradada em Mambaí, 3,22 g/L. A resistência à penetração do solo média foi maior no cerrado natural em Buritinópolis, na pastagem restaurada em Damianópolis e na pastagem degradada em Mambaí. A velocidade de infiltração média foi maior na pastagem restaurada em Buritinópolis e no cerrado natural em Damianópolis e em Mambaí. Todas as propriedades apresentaram correlação positiva entre escoamento superficial e quantidade e concentração de sedimentos. A concentração de sedimentos indica a influência da cobertura vegetal protegendo o solo dos processos erosivos, tornando-a um fator positivo na conservação da qualidade ambiental e da produtividade do solo.

Palavras-chave: Restauração de pastagem; erosão hídrica; perda de solo; escoamento superficial.

ABSTRACT

Approximately 45% of the world's soils are degraded at some degree as a result of intensive use and climate change. Erosion is one of the main forms of soil degradation and is highly affected by land cover. Soil cover contributes to the maintenance of water quality, proving to be a fundamental factor in the environmental sustainability issue. This study aims to compare soil and water losses in three types of soil cover on properties in the municipalities of Buritinópolis, Damianópolis and Mambaí, in the state of Goiás. The study was carried out in the soils Latossolo Vermelho, Neosol Litólico and Neosol Quartzarenic, in the EPA region of Nascentes do Rio Vermelho (GO). Precipitation in the hydrological year 2022/2023 was 1095.5 mm, while erosivity was 7209.2 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ in Mambaí, 7356.6 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ in Buritinópolis and 7353.7 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. The annual surface runoff mean was higher in the degraded pasture in Buritinópolis, 39,099.37 mL, in the natural cerrado in Damianópolis, 35,842.3 mL, and in the restored pasture in Mambaí, 25,584.17 mL. The annual sediment concentration average was higher in the degraded pasture in Buritinópolis, 18.6 g/L, in the restored pasture in Damianópolis, 1.26 g/L, and in the degraded pasture in Mambaí, 3.22 g/L. The mean resistance to soil penetration was higher in the natural cerrado in Buritinópolis, in the restored pasture in Damianópolis and in the degraded pasture in Mambaí. The average infiltration velocity was higher in the restored pasture in Buritinópolis and in the natural cerrado in Damianópolis and Mambaí. All properties showed a positive correlation between runoff and sediment quantity and concentration. The sediment concentration indicates the influence of vegetation cover protecting the soil from erosion processes, making it a positive factor in the conservation of environmental quality and soil productivity

Keywords: Pasture restoration; water erosion; soil loss; surface runoff.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - APA das Nascentes do Rio Vermelho	21
Figura 2 - Teste de infiltração de anéis concêntricos	22
Figura 3 - Penetrômetro	23
Figura 4 - Teste de resistência à penetração	23
Figura 5 – Estrutura da Caixa de Gerlach.....	25
Figura 6- Caixa de Gerlach B-1.....	26
Figura 7- Caixa de Gerlach B-3.....	26
Figura 8- Caixa de Gerlach B-5.....	26
Figura 9 - Mapa Fazenda Funil, município de Buritinópolis.	27
Figura 10 - Mapa Fazenda Progresso, município de Damianópolis.....	28
Figura 11 - Mapa Fazenda Tarimba, município de Mambai	29
Figura 12 - Béqueres de 1 litro de volume na mesa secadora	30
Figura 13 - Caixa cheia.....	31
Figura 14 - Caixa vazia.....	31
Figura 15 - Curva de infiltração pasto restaurado (à esquerda) e cerrado (à direita) na Fazenda Funil, em que f é a velocidade de infiltração e Tac é o tempo acumulado.....	35
Figura 16 - Pasto em recuperação Fazenda Funil (outubro/2022).....	36
Figura 17 - Pasto recuperado da Fazenda Funil (fevereiro/2023)	36
Figura 18 – Pasto degradado da Fazenda Funil (fevereiro/2023).....	37
Figura 19 – Resultados por tipo de cobertura na Fazenda Funil	37
Figura 20 - Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de Sedimento (C) no pasto degradado da Fazenda Funil	38
Figura 21 - Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no pasto degradado da Fazenda Funil	39
Figura 22 – Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de Sedimento (C) no pasto restaurado da Fazenda Funil	39
Figura 23 - Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no pasto restaurado da Fazenda Funil	40
Figura 24 – Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de Sedimento (C) no cerrado da Fazenda Funil	40
Figura 25 - Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no cerrado da Fazenda Funil	41
<i>Figura 26 - Curva de infiltração do pasto degradado da Fazenda Progresso.....</i>	<i>42</i>

Figura 27 – Curva de infiltração do pasto restaurado da Fazenda Progresso.....	42
Figura 28- Curva de infiltração do cerrado na Fazenda Progresso.....	43
Figura 29 - Pasto recuperado da Fazenda Progresso (fevereiro/2023).....	44
Figura 30 - Pasto degradado da Fazenda Progresso (fevereiro/2023).....	44
Figura 31 - Resultados por tipo de cobertura da Fazenda Progresso.....	45
Figura 32 - Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de Sedimento (C) no pasto degradado da Fazenda Progresso.....	45
Figura 33 - Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no pasto degradado da Fazenda Progresso.....	46
Figura 34 - Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de Sedimento (S) no pasto restaurado da Fazenda Progresso.....	46
Figura 35 – Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no pasto restaurado da Fazenda Progresso.....	47
Figura 36 - Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de Sedimento (S) no cerrado da Fazenda Progresso	47
Figura 37 - Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no cerrado da Fazenda Progresso	48
Figura 38 - Curva de infiltração no pasto restaurado da Fazenda Tarimba.....	49
Figura 39 - Curva de infiltração no cerrado da Fazenda Tarimba.....	49
Figura 40 - Pasto restaurado em outubro/2022 (à esquerda) e janeiro/2023 (à direita), Fazenda Tarimba.....	50
Figura 41 - Pasto degradado da Fazenda Tarimba (outubro/2022)	51
Figura 42 – Resultados por tipo de cobertura Fazenda Tarimba.....	51
Figura 43 – Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de sedimento (C) no pasto degradado da Fazenda Tarimba.....	52
Figura 44– - Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no pasto degradado da Fazenda Tarimba.....	52
Figura 45 - Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de Sedimento (C) no pasto restaurado da Fazenda Tarimba.....	53
Figura 46 - Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no pasto restaurado da Fazenda Tarimba.....	53
Figura 47 - Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de Sedimento (C) no cerrado da Fazenda Tarimba	54

Figura 48 - Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no cerrado da Fazenda Tarimba 54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - pH, Acidez do solo, composição granulométrica e tipo de solo de cada tipo de cobertura nas propriedades	21
Tabela 2 - Coordenadas, Altitude Caixas de Gerlach da Fazenda Funil	27
Tabela 3 - Coordenadas e Altitude Caixas de Gerlach da Fazenda Progresso	28
Tabela 4 - Coordenadas e Altitude Caixas de Gerlach da Fazenda Tarimba	29
Tabela 5 - Amostras por propriedade e tipo de cobertura do solo.....	30
Tabela 6 - Precipitação e Erosividade ano hidrológico 2022/2023 para as fazendas Funil, Progresso e Tarimba	34
Tabela 7 - Velocidade de infiltração e resistência à penetração Fazenda Funil	34
Tabela 8 - Escoamento, quantidade de sedimento e concentração	35
Tabela 9- Velocidade de infiltração e resistência à penetração Fazenda Progresso.....	41
Tabela 10 - Escoamento, quantidade de sedimento e concentração	43
Tabela 11 - Velocidade de infiltração e resistência à penetração Fazenda Tarimba.....	48
Tabela 12 - Escoamento, quantidade de sedimento e concentração	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVO	16
2.1. Objetivo geral	16
2.2. Objetivos específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1. Área de Estudo	20
4.2. Anéis de Infiltração e Penetrômetro	22
4.3. Caixas de Gerlach	24
4.4. Precipitação, Escoamento Superficial e Concentração de Sedimentos	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1. Precipitação e Erosividade	34
5.2. Fazenda Funil	34
5.2.1. Testes de infiltração e resistência à penetração	34
5.2.2. Resultados por tipo de cobertura do solo	35
5.2.3. Correlação entre parâmetros	38
5.3. Fazenda Progresso	41
5.3.1. Testes de infiltração e resistência à penetração	41
5.3.2. Resultados por tipo de cobertura do solo	43
5.3.3. Correlação entre parâmetros	45
5.4. Fazenda Tarimba	48
5.4.1. Testes de infiltração e resistência à penetração	48
5.4.2. Resultados por tipo de cobertura do solo	49
5.4.3. Correlação entre parâmetros	52
6. CONCLUSÃO	55
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso essencial para o estabelecimento humano, por ser um instrumento de suprimento das necessidades territoriais e alimentares da população mundial, correspondendo às necessidades atemporais, às particulares e coletivas (Ratzel, 1983). Dessa forma, o uso do solo para a agricultura contribuiu para o desenvolvimento antrópico, o que tornou a agricultura intensiva e, conseqüentemente, responsável pelo depauperamento do solo de diferentes maneiras; uma destas, a instalação de processos erosivos de partículas do solo com nutrientes adsorvidos a elas para locais mais baixos dos terrenos (Andreoli et al., 2014).

O solo é uma fonte não renovável, que exerce múltiplas funções, como o apoio à produção de alimentos, e aproximadamente 45% dos solos mundiais se encontram degradados em algum nível em decorrência de uso intensivo e alterações climáticas (Gardi et al., 2015). A erosão é uma das principais formas de degradação do solo e é altamente afetada pela cobertura, pelo desgaste do solo e pela declividade do terreno (Inácio et al., 2007). Isto porque ao aumentar a quantidade de água interceptada, a vegetação minimiza o efeito da energia de impacto das gotas de chuva e reduz a destruição dos agregados e a obstrução dos poros e o selamento superficial do solo (Eduardo, 2013).

Ainda, os solos apresentam competência de manutenção da qualidade das águas disponíveis (Andreoli et al., 2014). Segundo Fonseca et al. (2023), a cobertura permanente do solo mantém os níveis toleráveis de perda de solo, conseqüentemente contribui com a diminuição de deposição de sedimentos nos corpos hídricos superficiais ou subterrâneos. Sendo assim, um solo saudável revela-se um fator fundamental na questão ambiental atual.

Sabe-se que a erosão é um processo natural no qual partículas de solo são desprendidas da matriz coesa de solo e em seguida carreadas a jusante, por agentes transportadores (Minella et al., 2007). O processo erosivo contribui diretamente para a deterioração do solo, que é caracterizada pela dispersão de partículas do solo, destruição da estrutura do solo, alteração da densidade e porosidade (Osman, 2014). Nestas áreas é possível observar as conseqüências do processo erosivo, como assoreamento de corpos d'água e intensificação de problemas de inundação (Guerra, 1994).

Além disso, as atividades antrópicas intensas tendem a acelerar e acentuar estes processos, ao contribuir com impactos severos na hidrologia do solo ao alterar o regime de escoamento de uma bacia hidrográfica (Osman, 2014). De acordo com Oliveira (2013), o

Sudeste e Centro-Oeste brasileiros possuem diversas áreas de risco de erosão hídrica associadas a erosividades classificadas como fortes e ao avanço da conversão de cobertura do solo. Consequentemente, é possível perceber que a pastagem desempenha grande influência na susceptibilidade à erosão dos solos, pela reestruturação da camada arável (Santos et al., 1998) e contribuição para a formação de agregados do solo (Bono et al., 1996).

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

O estudo avalia as perdas de água e solo em três diferentes tipos de cobertura solo: pasto degradado, pasto restaurado e cerrado natural. A partir disto, objetiva-se entender a influência da vegetação sobre os processos erosivos e o escoamento superficial, a fim de buscar maneiras de minimizá-los. Para, assim, atuar, também, como um auxílio em tomada de decisões para melhorar a qualidade ambiental e a qualidade de vida dos beneficiários da bacia hidrográfica.

2.2. Objetivos específicos

- Comparação dos níveis de infiltração de água no solo;
- Comparação das resistências dos solos à penetração;
- Mensuração do escoamento superficial;
- Mensuração dos níveis de concentração de sedimento e
- Correlação entre escoamento superficial e quantidade de sedimentos e concentração de sedimentos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Guerra (2017), problemas relativos à erosão acontecem quando a perda de solo supera os níveis naturais em decorrência da ausência de práticas conservacionistas. Além disso, sabe-se que os problemas decorrentes do processo de erosão-sedimentação resultam em perda de nutrientes, afetação e variação da microfauna e microflora existentes e redução do potencial produtivo, em razão, principalmente, da alteração da capacidade de retenção hídrica (Marques, 1998).

A modalidade hídrica do processo de erosão é considerada uma das mais agressivas e é causada pelo processo de queda das gotas de chuvas e pelo movimento de enxurrada ou escoamento superficial. Por isso, é um processo dependente da energia cinética e potencial e, conseqüentemente, de uma massa de água ou solo e da posição em relação à outra massa, a diferença de altura entre a posição original e a posição de destino (Volk, 2006).

Destarte, ambientes cársticos são caracterizados por conter cavernas, depressões fechadas, afloramentos rochosos estriados, grandes nascentes e sistemas hídricos subterrâneos extensos e são desenvolvidos, principalmente, em rochas solúveis, e ocorrem pela associação desta alta solubilidade, com fratura e porosidade secundária (Ford & Williams, 2007).

Esta categoria de paisagem apresenta alta declividade, é comum que ocorra erosão em encostas onde essa mostra-se superior a 3° (Morgan, 2005), em decorrência de grandes volumes de escoamento superficial.

O desenvolvimento de modelos de erosão do solo, com a assistência de tecnologias de análise espacial, permite que a compreensão acerca do tema seja mais rápida e precisa. Compreender e mitigar a erosão e a degradação associada é fundamental para a redução dos efeitos, como assoreamento de rios e reservatório, piora da qualidade da água e redução da produtividade do solo (Benavidez, 2018). Além disso, o processo também é uma das causas do transporte de poluentes do solo para um curso d'água, da redução de biodiversidade e de padrões de inundação (Wicharuck et al., 2023).

Consoante disposto por Bertoni & Lombardi Neto (1990), a obtenção de perda solo por erosão pode ser coletada laboratorialmente ou no campo, utilizando das condições naturais da área de estudo. Este tipo de aferição é mais realista e, portanto, mais apropriado para a coleta de dados de erosão dos solos (Guerra, 2005). Uma das maneiras de quantificar a perda de solo é a partir do uso de estações experimentais, e, segundo Silveira (2017), uma das mais conhecidas e utilizadas em trabalhos de pesquisa trata-se das Calhas de Gerlach.

A Calha de Gerlach é uma técnica de quantificação de perda de solo simples e barata, que pode ser utilizada para fazer a avaliação de grandes regiões e para muitas áreas aleatoriamente selecionadas, por não exigir delimitação de parcela. Este fato é apontado como uma dificuldade na utilização da técnica, em razão da difícil identificação da área de contribuição para cada caixa (Wicharuck et al., 2023).

A estrutura é comumente conhecida como caixa de erosão e consiste em um equipamento constituído por dois componentes: uma caixa interna, que retém o material transportado por efeito do escoamento superficial e uma caixa externa, que possui tampa que objetiva reduzir a entrada de material resultante do efeito *splash*. O equipamento é posicionado em locais terminais da área de convergência, para que receba a enxurrada (Nunes & Lourenço, 2019). Dessa forma, é utilizada para fazer o monitoramento da erosão dos locais de estudo.

Antoneli (2016) utilizou das Calhas de Gerlach para fazer a comparação da perda de solo e água entre plantio direto e convencional em plantações de agricultura familiar de milho na região Centro-Sul do Paraná. Dessa forma, o autor chegou aos resultados de menores valores de perda de solo e água em culturas que adotaram manejo conservacionista. Já Barbosa & Fearnside (2000), empregaram tais caixas para a compreensão do processo de erosão e perda do solo pela ação hídrica na Amazônia em sistemas de pastagem e florestas naturais, visando demonstrar as diferenças entre estes dois sistemas ao longo das fases climáticas anuais na região. Neste caso, todos os resultados obtidos apontaram maior erosão em sistemas de pastagem.

Sabendo que a cobertura vegetal desempenha importante papel na desaceleração do processo de desagregação e transporte de partículas do solo, Fonseca et al. (2022) estimaram perda de solo para diferentes tipos de cobertura no bioma Cerrado. O valor médio anual de perda de solo obtido para cobertura natural foi de 0,1 ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), enquanto para pastagem foi de 0,2 ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e solo exposto, 19,4 ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Valores estes que comprovam os efeitos protetivos da presença de vegetação sobre o solo contra a erosão. Além disso, de acordo com Chaves (2010), o solo de vertentes nos Cerrados brasileiros apresenta tolerância de 4 a 12 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

A compreensão da cobertura vegetal do solo estudado contribui para uma melhor e mais completa compreensão do balanço hídrico climático da área em questão. Este consiste em um método de monitoramento da umidade no solo, amplamente difundido, que calcula entrada e saída de água em camadas com raízes de plantas periodicamente (Conceição, 2010). De acordo

com Pereira (2005), é necessário fazer a definição do armazenamento máximo do solo, a chuva total e a evapotranspiração potencial estimada em um período definido para o desenvolvimento do modelo proposto por Thornthwaite & Mather (1955). A partir disso, deve-se, então, fazer a dedução da evapotranspiração real, o total de água retida no solo e o déficit ou excedente hídrico.

A qualidade da água presente em uma bacia hidrográfica depende de condições naturais e ações antrópicas, pois é influenciada pelo uso da terra nos arredores. Padrões de qualidade de água referem-se às características físicas, químicas e biológicas de um corpo d'água em relação ao uso específico ou designado pelo governo numericamente ou por narrativa (Brooks, 2012). Os fatores naturais de uma bacia hidrográfica influenciam na qualidade de águas superficiais por esta ser afetada pelo escoamento e infiltração das chuvas, fazendo com que a proteção e composição do solo desempenhem grande influência. Já a ação antrópica é manifestada concentradamente, introduzindo compostos não presentes no solo da bacia (Von Sperling, 2007).

Por isso, identifica-se grande necessidade da adoção de práticas conservacionistas do solo em áreas circundantes aos cursos d'água. Um instrumento próspero de adoção de medidas de conservação e preservação de recursos naturais são os pagamentos por serviços ambientais (PSA). Como definido por Wunder (2005), PSA é estruturado em uma transação voluntária em que um serviço ambiental, ou uma terra garantidora do serviço, é adquirido por comprador de provedor. A transição é realizada quando o provedor garante o fornecimento do serviço ambiental. Dessa forma, o instrumento se baseia nos princípios do usuário-pagador e provedor-recebedor para atingir a conservação dos recursos (Pagiola, 2013).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho – APA-NRV, com área de 170 hectares (Figura 1) e criada em 2001 com o objetivo de proteger o patrimônio espeológico local e seus recursos hídricos.

A APA-NRV está compreendida na Bacia do Tocantins, com características climáticas tropicais, com estação seca e chuvosa bem definidas (Nunes, 2020). A geomorfologia da área é composta pelo Chapadão Central (porção superior), remanescente da superfície Sul americana (Cherem & Varajão, 2014), e constituída pelo Grupo Urucuia, formado por arenitos que apresentam sedimentos siliciclásticos não consolidados, sendo o Vale do Paranã (porção inferior) formado de rochas pelíticas intercaladas com os carbonatos da Formação Lagoa do Jacaré, do Grupo Bambuí (Tavares et al., 2021). O clima da região é tropical, com período chuvoso entre outubro e março, aproximadamente, e o índice pluviométrico é próximo de 1.500 mm por ano (Esbérard et al., 2005).

O presente estudo utilizou de coleta, tratamento e avaliação de amostras coletadas no ano hidrológico 2022/2023, nas regiões de Buritinópolis-GO, Damianópolis-GO e Mambaí-GO, localizadas no Cerrado brasileiro, cuja altitude varia de 700 a 850 metros (Esbérard et al., 2005). Foram escolhidas três propriedades rurais, uma em cada cidade selecionada, para a realização do projeto. São elas: Fazenda Funil, em Buritinópolis, Fazenda Progresso, no município de Damianópolis, e Fazenda Tarimba, localizada em Mambaí (Figura 1). Além disso, em cada uma das propriedades selecionadas, foram escolhidas áreas com tipos de cobertura do solo distintas: pasto degradado, pasto em recuperação e cerrado.

A maioria das propriedades rurais da região desenvolvem a pecuária intensiva como atividade econômica. Por isso, é comum que a degradação do solo seja frequente e ocorram grandes níveis de erosão quando o manejo não é realizado adequadamente.

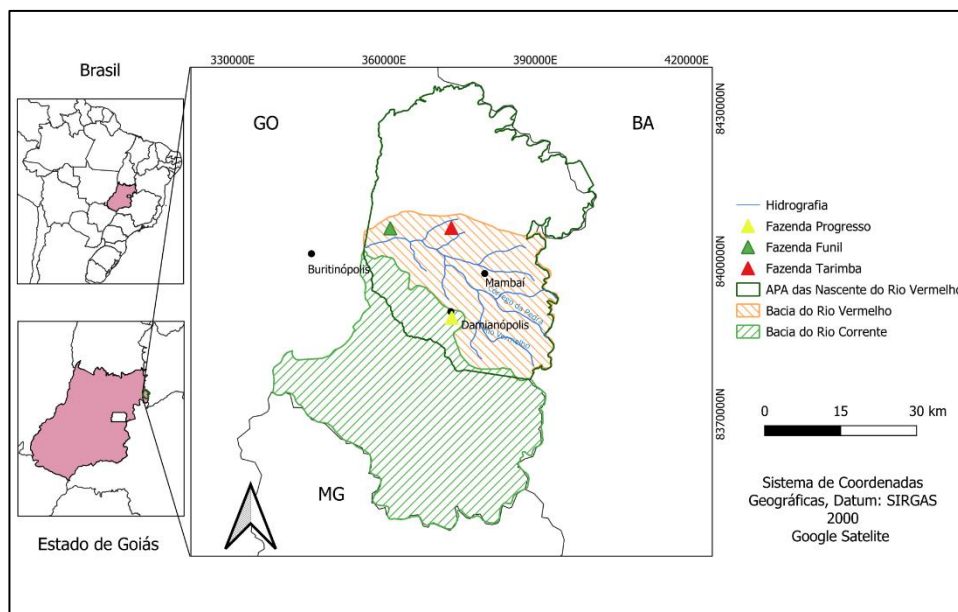


Figura 1 - APA das Nascentes do Rio Vermelho

O monitoramento foi realizado no ano hidrológico de outubro de 2022 a setembro de 2023, compreendendo as estações chuvosa e seca. As coletas foram realizadas durante período chuvoso, concentrado entre os meses de outubro a maio, do bioma Cerrado (Marcuzzo, 2012), que se apresenta como o momento de maior necessidade de cobertura vegetal, para o processo de erosão acelerada (Demarchi et al., 2019). Os tipos de solos de todas as áreas e tipos de coberturas foram analisados, fornecendo, assim, as características do solo de cada um, gerando a Tabela 1:

Tabela 1 - pH, Acidez do solo, composição granulométrica e tipo de solo de cada tipo de cobertura nas propriedades

Propriedade	Tipo de Cobertura	pH	Acidez (H+Al, em cmol/dm ³)	Composição Granulométrica			Tipo de Solo
				Argila (g/kg)	Areia (g/kg)	Silte (g/kg)	
Fazenda Funil	Pasto degradado	6,1	Média toxidez	275	625	100	Latossolo Vermelho textura média
	Pasto restaurado	6,5	Média toxidez	300	575	125	Latossolo Vermelho textura média
	Cerrado	6,4	Média toxidez	250	700	50	Latossolo Vermelho textura média
Fazenda Progresso	Pasto degradado	7,0	Média toxidez	175	800	25	Neossolo Quartzarênico
	Pasto restaurado	7,1	Baixa toxidez	175	800	25	Neossolo Quartzarênico
	Cerrado	6,6	Média toxidez	150	800	25	Neossolo Quartzarênico
Fazenda Tarimba	Pasto degradado	6,4	Baixa toxidez	150	800	50	Neossolo Litólico
	Pasto restaurado	6,7	Média toxidez	300	650	50	Transição entre Neossolo Quartzarênico e Neossolo Litólico
	Cerrado	6,4	Média toxidez	425	425	150	Neossolo Quartzarênico

4.2. Anéis de Infiltração e Penetrômetro

Para a obtenção dos valores de resistência à penetração do solo e de velocidade de infiltração, realizou-se o teste de infiltração de anéis concêntricos e o teste de resistência à penetração, com auxílio do penetrômetro, nas datas de 11 e 12 de novembro de 2022.

O teste de anéis concêntricos consiste no posicionamento de dois anéis de ferro de diâmetros distintos no solo, a fim de avaliar a velocidade de infiltração da água no solo. Para isso, a água foi despejada dentro dos dois anéis e sua infiltração foi medida por meio de marcações feitas no interior do anel interno e com o auxílio de um cronômetro, conforme apresentado na figura 1. As medições de tempo decorrido na infiltração foram efetuadas sempre que a variação de altura da água despejada atingia 5 cm.



Figura 2 - Teste de infiltração de anéis concêntricos

A resistência à penetração do solo refere-se à resistência exercida pelo solo ao crescimento de raízes e é um indicativo da compactação do solo (Vaz, 2002). Para a determinação do grau de compactação do solo pode ser realizado o teste de resistência à penetração.

O teste de resistência à penetração consiste na inserção de uma haste do penetrômetro (Figura 3) no solo onde se deseja conhecer a resistência do solo, conforme pode ser visto na

Figura 4. Durante a realização do teste, as medições foram repetidas 3 vezes a cada 10 cm de profundidade, com início na superfície.



Figura 3 - Penetrômetro



Figura 4 - Teste de resistência à penetração

Para a obtenção dos valores de resistência à penetração do solo e de velocidade de infiltração, realizou-se o teste de infiltração de anéis concêntricos e o teste de resistência à penetração, com auxílio do penetrômetro, nas datas de 11 e 12 de novembro de 2022.

A velocidade de infiltração no solo foi calculada a partir dos dados obtidos pelo teste de anéis concêntricos, a partir da equação Velocidade de Infiltração Básica.

$$f = \frac{\Delta H}{T_{ac}}$$

Em que: f = Velocidade de infiltração da água no solo (cm/min); ΔH = variação de altura da água no anel (cm); T_{ac} = Tempo acumulado (min).

Os valores de resistência à penetração para cada área foram calculados pela média aritmética dos valores fornecidos pelo material utilizado para as diferentes profundidades.

$$Rp = \frac{\sum Rp_h}{n}$$

Em que: Rp = Resistência à penetração média (MPa); Rp_h = resistência à penetração a uma profundidade (Mpa); n = quantidade de medições.

4.3. Caixas de Gerlach

Para fazer a captação da água resultante do escoamento superficial, foram utilizadas Caixas de Gerlach de 10 centímetros de altura, 20 centímetros de largura e 50 centímetros de comprimento, com volume de 10.000 centímetros cúbicos. Estas caixas foram posicionadas estrategicamente nas propriedades, em posições baseadas nos perfis de declive, ausência de sulcos e similaridade da vegetação da área. As caixas utilizadas possuem uma tampa articulada e um tubo de saída que se liga às garrafas de armazenamento, como mostra a Figura 5.

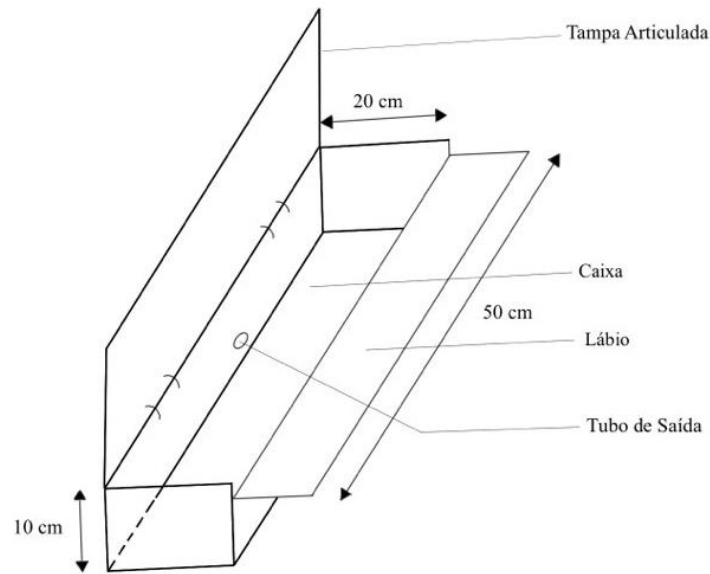


Figura 5 – Estrutura da Caixa de Gerlach

Foram instaladas 6 (seis) caixas, 2 para cada tipo de cobertura, de maneira padronizada, em cada propriedade, a fim de permitir a identificação das amostras coletadas (Figuras 6, 7 e 8). Para a nomenclatura das caixas, foi adotado o seguinte padrão: a) a letra refere-se à primeira letra do nome do município em que a propriedade se encontra; b) números sequenciais das amostras para tipo de cobertura do solo a ser coletado, onde os números ímpares indicam a primeira amostra de uma cobertura e os números pares, indicam a segunda amostra referente a esta cobertura.

Destarte, os números 1 e 2 tratam de pasto degradado, os números 3 e 4 são referentes ao pasto em recuperação e, por fim, o Cerrado é representado pelos números 5 e 6. Nas Tabelas 2, 3 e 4 pode-se observar as características particulares de cada Caixa de Gerlach utilizada neste experimento.



Figura 6- Caixa de Gerlach B-1



Figura 7- Caixa de Gerlach B-3



Figura 8- Caixa de Gerlach B-5

A escolha da localização de instalação das caixas foi feita com base na declividade da área, na ausência de sulcos e pequena área de drenagem com cobertura de solo de, no mínimo, 90% de mesmo tipo. Dessa forma, a distribuição das caixas de erosão dentro das propriedades é ilustrada conforme disposto nas figuras 9, 10 e 11, com as coordenadas e altitudes apresentadas nas tabelas 2, 3 e 4.



Figura 9 - Mapa Fazenda Funil, município de Buritinópolis.

Tabela 2 - Coordenadas, Altitude Caixas de Gerlach da Fazenda Funil

Caixa	Tipo de Cobertura	Latitude (° S)	Longitude (° W)	Altitude (m)
B-1	Pasto degradado	14,41466	46,28480	713
B-2	Pasto degradado	14,41534	46,28356	706
B-3	Pasto restaurado	14,41246	46,28428	733
B-4	Pasto restaurado	14,41218	46,28417	724
B-5	Cerrado	14,41568	46,28528	702
B-6	Cerrado	14,41577	46,28510	717

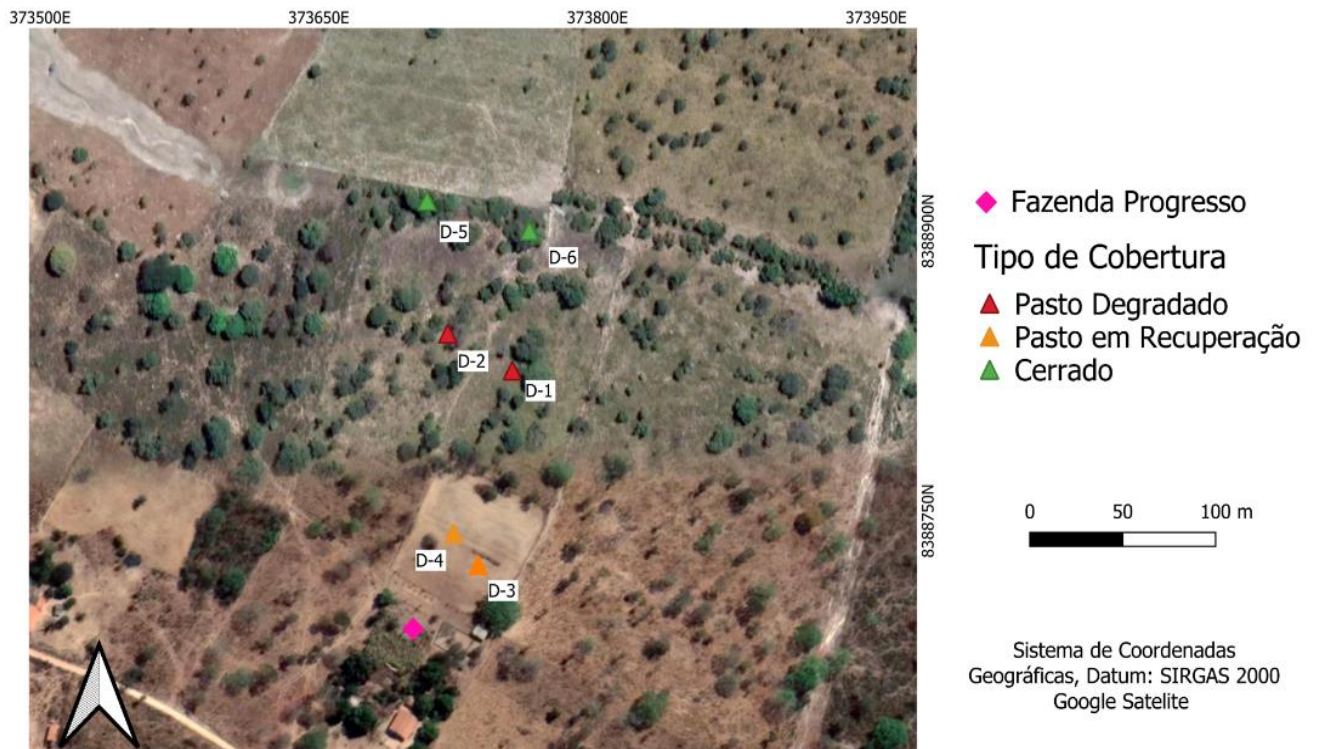


Figura 10 - Mapa Fazenda Progresso, município de Damianópolis.

Tabela 3 - Coordenadas e Altitude Caixas de Gerlach da Fazenda Progresso

Caixa	Tipo de Cobertura	Latitude (° S)	Longitude (° W)	Altitude (m)
D-1	Pasto degradado	14,57075	46,17192	741
D-2	Pasto degradado	14,57057	46,17221	740
D-3	Pasto restaurado	14,57164	46,17207	745
D-4	Pasto restaurado	14,57151	46,17220	743
D-5	Cerrado	14,56997	46,17234	733
D-6	Cerrado	14,57008	46,17184	733



Figura 11 - Mapa Fazenda Tarimba, município de Mambai

Tabela 4 - Coordenadas e Altitude Caixas de Gerlach da Fazenda Tarimba

Caixa	Tipo de Cobertura	Latitude (° S)	Longitude (° W)	Altitude (m)
M-1	Pasto degradado	14,41291	46,17236	736
M-2	Pasto degradado	14,41300	46,17157	753
M-3	Pasto restaurado	14,41333	46,17121	756
M-4	Pasto restaurado	14,41350	46,17095	751
M-5	Cerrado	14,41358	46,17191	772
M-6	Cerrado	14,41350	46,17194	769

4.4. Precipitação, Escoamento Superficial e Concentração de Sedimentos

Os dados de precipitação utilizados para a presente análise foram coletados ao longo dos meses de outubro de 2022 a maio de 2023, correspondente ao período chuvoso do ano hidrológico. Tais dados foram obtidos a partir da utilização do pluviômetro padrão da marca WMO. Na Fazenda Funil, foram realizadas 27 coletas nas áreas de pastagem degradada e cerrado natural e 26 coletas na área de pastagem restaurada. Já na Fazenda Progresso, 19 coletas foram realizadas na área de pastagem degradada, 18 na área de pastagem recuperada e 22 na área de cerrado natural. Por fim, na Fazenda Tarimba, 24 foram realizadas na área de pastagem degradada, 23 coletas na área de pastagem recuperada e 19 coletas na área de cerrado natural.

As coletas de precipitação, escoamento e concentração de sedimentos ocorreram aproximadamente a cada 15 dias, e foram armazenadas e tratadas no Laboratório de

Geoquímica da Universidade de Brasília. A quantidade de amostras por propriedade e tipo de cobertura é evidenciada pela Tabela 5.

Tabela 5 - Amostras por propriedade e tipo de cobertura do solo

Propriedade	Tipo de Cobertura	Quantidade de Amostras
Fazenda Funil	Pasto degradado	53
	Pasto restaurado	48
	Cerrado	49
Fazenda Progresso	Pasto degradado	33
	Pasto restaurado	27
	Cerrado	45
Fazenda Tarimba	Pasto degradado	44
	Pasto restaurado	44
	Cerrado	38

O volume do escoamento de cada caixa de Gerlach foi mensurado a partir do volume contido nas garrafas, que tiveram os conteúdos despejados nos béqueres de vidro previamente identificados (Figura 12).



Figura 12 - Béqueres de 1 litro de volume na mesa secadora

A concentração de sedimentos foi medida a partir do sedimento transportado pelo escoamento superficial e coletado pelas garrafas de 1 litro que fazem parte da composição da Caixa de Gerlach. Ainda, foi coletada a informação da situação da caixa externa, indicando se estava vazia ou cheia de sedimento (Figuras 13 e 14).



Figura 13 - Caixa cheia



Figura 14 - Caixa vazia

A separação e medição dos sedimentos ocorreram no Laboratório de Geoquímica/UnB, em que cada amostra coletada foi despejada em béqueres de vidro de aproximadamente 1 litro de volume, e, então, posicionadas na mesa secadora, com temperatura entre 100 a 150°C, durante 24 horas.

O sedimento compreendido do interior do béquer foi, portanto, sujeito à raspagem com o auxílio de raspador de vidro. A partir deste procedimento, foi realizado o cálculo da concentração de sedimento em cada amostra, utilizando a razão entre volume de escoamento e quantidade de sedimento na amostra.

$$C = 1000 * \frac{S}{Q}$$

Em que: C = Concentração de sedimento da amostra (g/L); S = quantidade de sedimento da amostra (g) e Q = volume de escoamento da amostra (mL).

Os dados de precipitação dos municípios de Buritinópolis e Damianópolis não são disponibilizados pelo Banco de Dados Meteorológicos do INMET (BDMEP). Por conseguinte, a precipitação de todos os municípios foi corrigida utilizando a precipitação registrada no município de Posse durante o período do estudo, pelo Instituto Nacional de Meteorologia e disponibilizada no BDMEP, buscando minimizar os erros de medição. Inicialmente, realizou-se o cálculo de um fator de correção para cada município, que foi multiplicado pelas precipitações de todas as amostras.

$$F_c = \frac{P_w}{P_T}$$

Em que: F_c = Fator de correção; P_w = precipitação de Wischmeier, disponibilizada pelo Inmet (mm) e P_T = precipitação total (mm).

Em seguida, a precipitação corrigida foi adquirida.

$$P_c = P * F_c$$

Em que: P_c = precipitação corrigida (mm) e P = precipitação obtida na data de coleta (mm).

O mesmo procedimento foi realizado para a obtenção do escoamento, quantidade de sedimento e concentração corrigidos.

$$Q_c = Q * F_c$$

Em que: Q_c = escoamento corrigido (ml).

$$S_c = S * F_c$$

Em que: S_c = quantidade de sedimento corrigida (g).

$$C_c = C * F_c$$

Em que: C_c = concentração de sedimento corrigida (g/L).

A partir dos valores de precipitação já corrigidos, foi calculada a erosividade da chuva do ano hidrológico estudado de cada município. Para a realização do cálculo, utilizou-se a equação regional do tipo Fournier, baseada na precipitação mensal e anual (Silva, 2004).

$$R = 12,592 * \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{M_i^2}{P_a} \right)^{0,603}$$

Em que: R = Erosividade da chuva anual (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹); M_i = precipitação mensal corrigida (mm) e P_a = precipitação anual corrigida (mm).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Precipitação e Erosividade

Tabela 6 - Precipitação e Erosividade ano hidrológico 2022/2023 para as fazendas Funil, Progresso e Tarimba

Fazenda	P _c (mm)	R (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)
Fazenda Funil	1095,5	7356,6
Fazenda Progresso	1095,5	7353,7
Fazenda Tarimba	1095,5	7209,2

A erosividade obtida para o referido ano hidrológico é considerada de classe média-forte (Oliveira, 2013). Os valores obtidos de precipitação e erosividade apresentaram redução, quando comparados aos valores de 1494,8 mm e 8.692,8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, respectivamente, mensurados para a mesma região no ano hidrológico de 2021-2022 (Toledo, 2022).

5.2. Fazenda Funil

5.2.1. Testes de infiltração e resistência à penetração

Tabela 7 - Velocidade de infiltração e resistência à penetração Fazenda Funil

Tipo de Cobertura	f (cm/min)	Rp (Mpa)
Pasto Degradado	0	3,32
Pasto Recuperado	3,6	2,83
Cerrado	2,5	3,40

Na Fazenda Funil, a velocidade de infiltração do cerrado natural foi superior àquela encontrada para o pasto degradado. No entanto, a maior velocidade de infiltração da propriedade foi a registrada no pasto recuperado. Assim, os resultados obtidos se diferem daqueles alcançados por Bono et al. (2012), que obteve maior velocidade de infiltração em solos com vegetação nativa em relação àqueles com pastagem contínua e adubada. Além disso, todos os valores de resistência à penetração foram considerados de classe moderada, com moderada

restrição ao desenvolvimento radicular (Momoli et al., 2022), por estarem entre 2,6 e 5 Mpa.

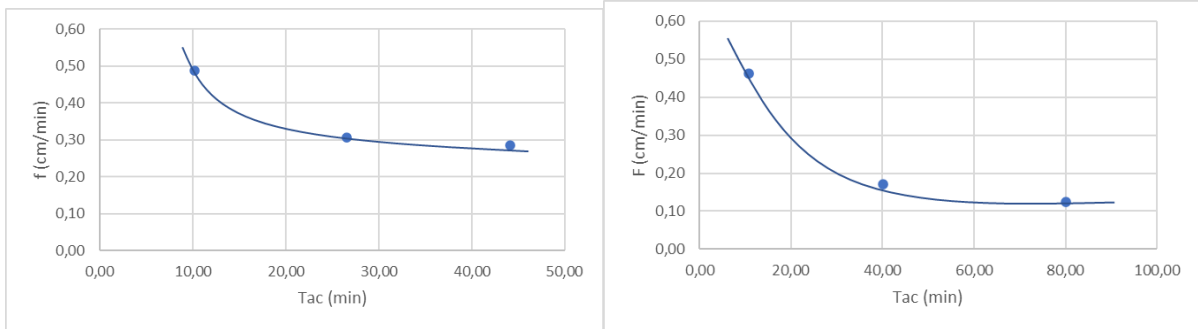


Figura 15 - Curva de infiltração pasto restaurado (à esquerda) e cerrado (à direita) na Fazenda Funil, em que f é a velocidade de infiltração e Tac é o tempo acumulado

A partir da realização dos testes e dos valores alcançados, foi possível obter as curvas referentes à infiltração do solo para o pasto restaurado e cerrado (Figura 11). Já para o pasto degradado, a velocidade observada foi de 0 cm/min, impossibilitando, portanto, o estabelecimento de uma relação entre as medidas.

5.2.2. Resultados por tipo de cobertura do solo

Tabela 8 - escoamento, quantidade de sedimento e concentração

Tipo de cobertura	Q_c (ml)			S_c (g)			C_c (g/L)	
	total	média	D.P.	total	média	D.P.	média	D.P.
Pasto degradado	78.198,74	39.099,37	487,31	888,78	444,39	25,63	18,6	38,99
Pasto restaurado	75.436,62	37.718,31	586,22	284,36	142,18	9,66	4,86	10,31
Cerrado	74.109,81	37.054,90	642,35	229,93	114,97	5,11	5,65	11,16

As intervenções feitas nesta área de estudo foram bem sucedidas e ocasionaram, portanto, no aumento da cobertura vegetal (Figura 16 e 17) em contraste com a área de controle degradada (Figura 18). Por isso, ao comparar os resultados atingidos, é possível observar redução significativa na concentração de sedimento entre o pasto degradado e os demais tipos de cobertura do solo. Tal redução está associada, também, ao maior escoamento superficial medido nas áreas de pasto degradado, compatível com a baixa velocidade de infiltração da água, que indica compactação do solo.



Figura 16 - Pasto em recuperação Fazenda Funil (outubro/2022)



Figura 17 - Pasto recuperado da Fazenda Funil (fevereiro/2023)



Figura 18 – Pasto degradado da Fazenda Funil (fevereiro/2023)

O gráfico abaixo (Figura 19) exprime uma análise qualitativa entre todos os parâmetros analisados na Fazenda Funil, por tipo de cobertura do solo. A partir dele, é possível observar a redução da concentração de sedimentos do pasto degradado aos demais tipos de cobertura do solo apesar dos valores não tão dispare de escoamento superficial.

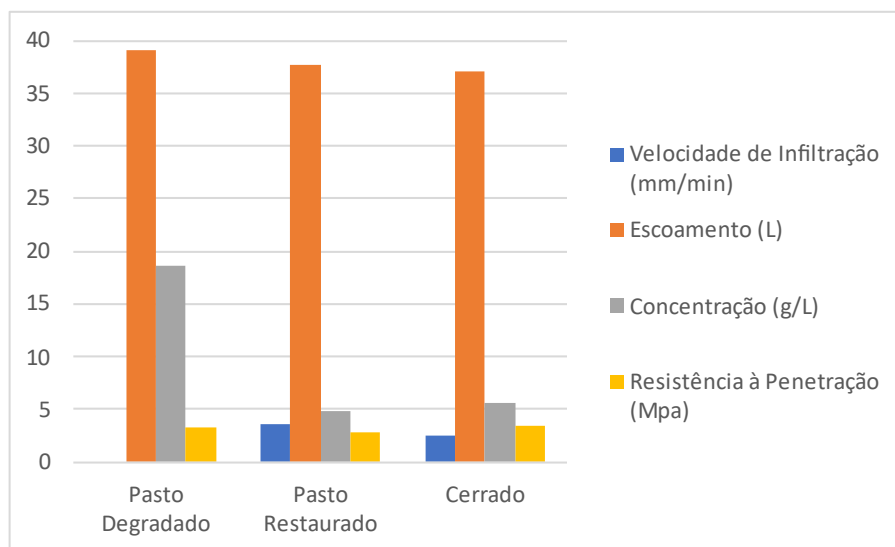


Figura 19 – Resultados por tipo de cobertura na Fazenda Funil

Além disso, o desvio padrão calculado para as amostras de pasto degradado mostra-se muito destoante daqueles obtidos para os outros tipos de cobertura do solo, tal medida representa a uniformidade de um conjunto de valores. Destarte, é possível atribuir o alto valor atingido aos valores de concentração de sedimento de 85,78 g/L e 281,18 g/L, ocasionadas por chuvas de 78,4 mm e 35 mm, ocorridas em 17/11/2022 e 19/01/2023, respectivamente.

5.2.3. Correlação entre parâmetros

Os valores obtidos foram analisados a fim de buscar correlação entre o escoamento obtido com a quantidade de sedimento e com a concentração de sedimento, para cada tipo de cobertura.

5.2.3.1. Pasto Degradado

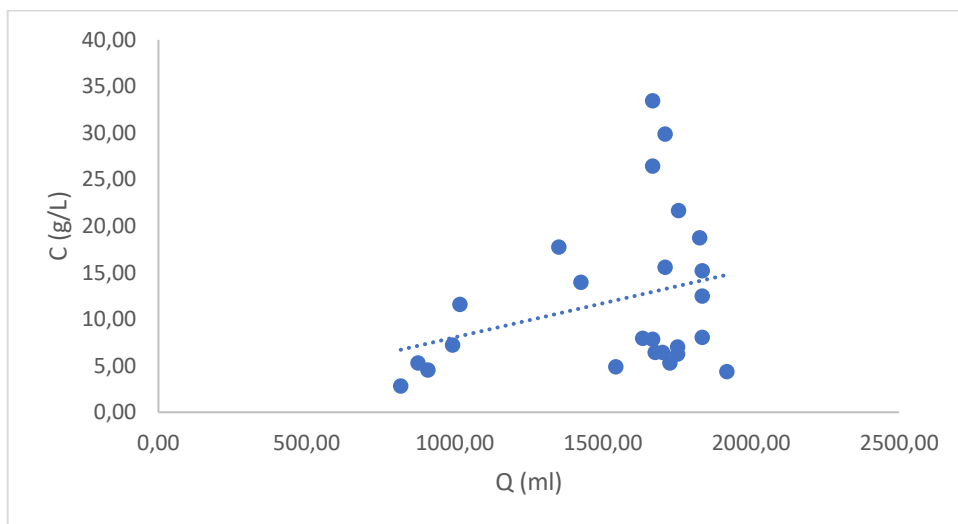


Figura 20 - Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de Sedimento (C) no pasto degradado da Fazenda Funil

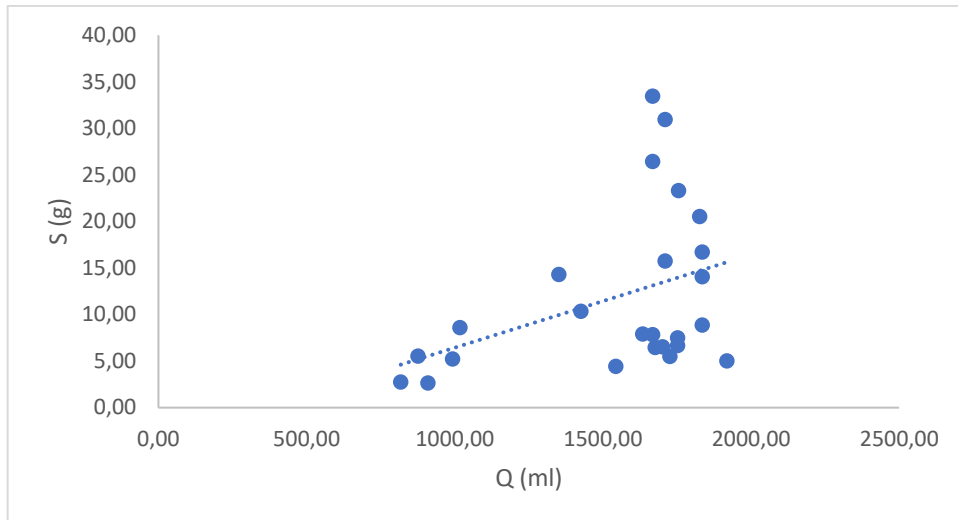


Figura 21 - Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no pasto degradado da Fazenda Funil

Para este tipo de cobertura na Fazenda Funil, as correlações entre escoamento e os demais parâmetros foram positivas (Figuras 20 e 21). O valor obtido para concentração de sedimento foi de 0,0872, enquanto a obtida para a quantidade de sedimento foi de 0,1513.

5.2.3.2. Pasto Recuperado

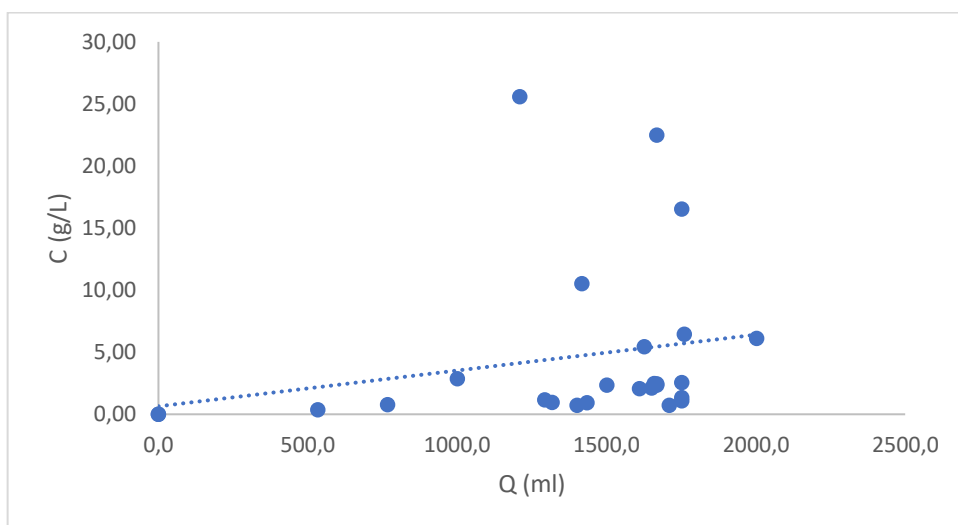


Figura 22 – Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de Sedimento (C) no pasto restaurado da Fazenda Funil

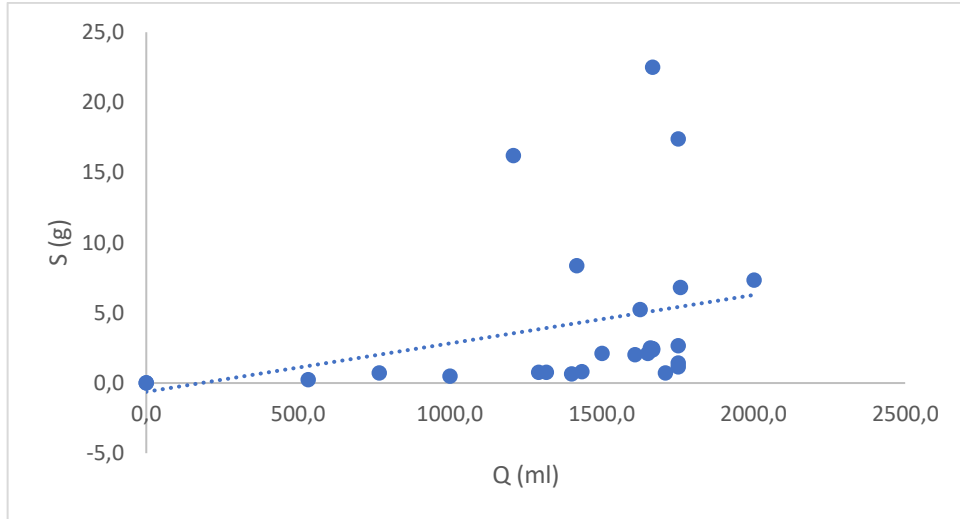


Figura 23 - Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no pasto restaurado da Fazenda Funil

A correlação obtida entre escoamento e concentração de sedimento para o pasto recuperado de Buritinópolis foi de 0,0493, enquanto a obtida para o escoamento e quantidade de sedimento foi de 0,0935, ambas positivas (Figuras 22 e 23).

5.2.3.3.Cerrado

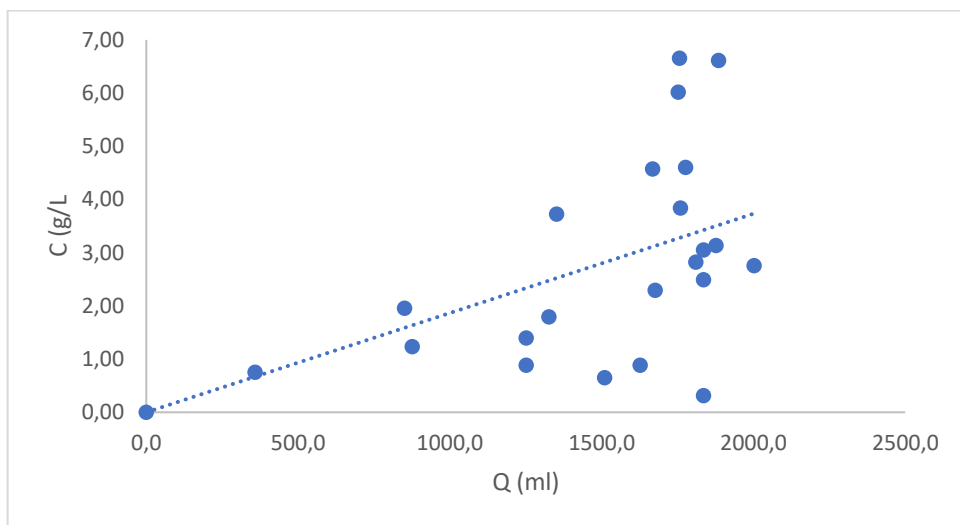


Figura 24 – Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de Sedimento (C) no cerrado da Fazenda Funil

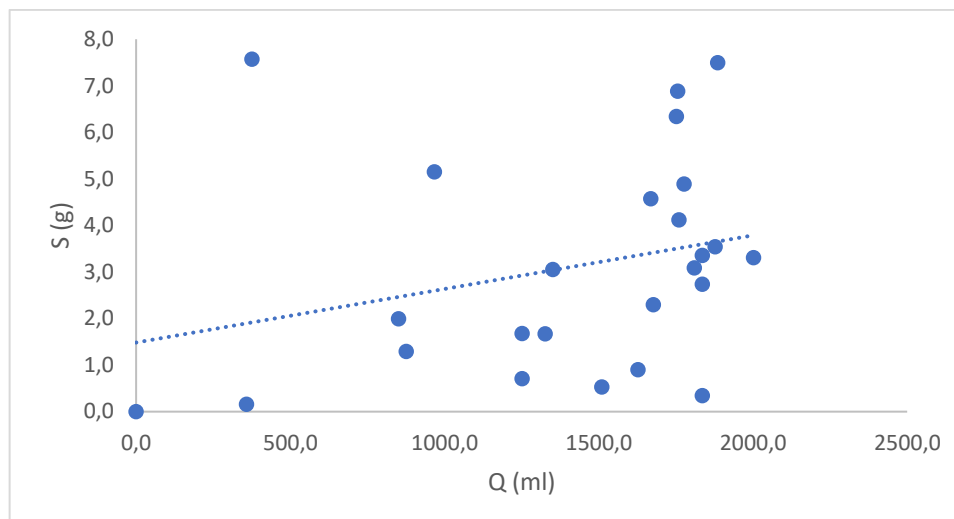


Figura 25 - Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no cerrado da Fazenda Funil

Para as áreas de cerrado da Fazenda Funil, a concentração de sedimento é explicada em 0,7639 (Figura 24) pelo escoamento, enquanto a quantidade de sedimentos é explicada em 0,075 (Figura 25) por esse parâmetro.

5.3.Fazenda Progresso

5.3.1. Testes de infiltração e resistência à penetração

Tabela 9- Velocidade de infiltração e resistência à penetração Fazenda Progresso

Tipo de Cobertura	f (cm/min)	Rp (Mpa)
Pasto Degradado	0,74	1,88
Pasto Recuperado	0,93	1,90
Cerrado	0,97	1,86

Na Fazenda Progresso, a velocidade de infiltração do cerrado natural foi superior àquelas encontradas nos dois tipos de pastagem. Assemelhando-se, portanto, aos resultados obtidos por Duarte et al. (2020), que obteve maior velocidade de infiltração em solos com vegetação nativa em relação àqueles com pastagem de sequeiro e irrigada. No estudo mencionado, a menor velocidade de infiltração encontrada foi a da pastagem irrigada, comparável à pastagem degradada do presente estudo. Além disso, todos os valores de resistência à penetração foram considerados de classe baixa, com limitação fraca ao desenvolvimento radicular (Momoli et al., 2022), por estarem entre 1,1 e 2,5 Mpa.

A partir da realização dos testes e dos valores alcançado, foi possível obter os gráficos referentes à infiltração do solo para o pasto degradado (Figura 26), pasto restaurado (Figura 27) e cerrado (Figura 28).

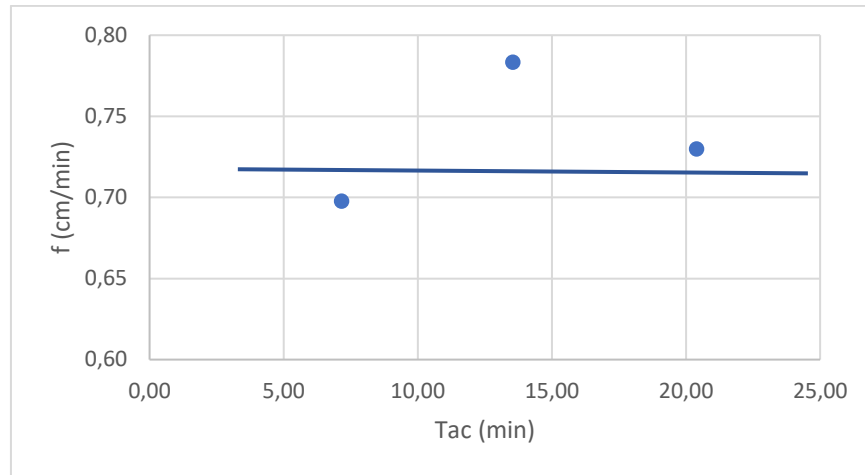


Figura 26 - Curva de infiltração do pasto degradado da Fazenda Progresso

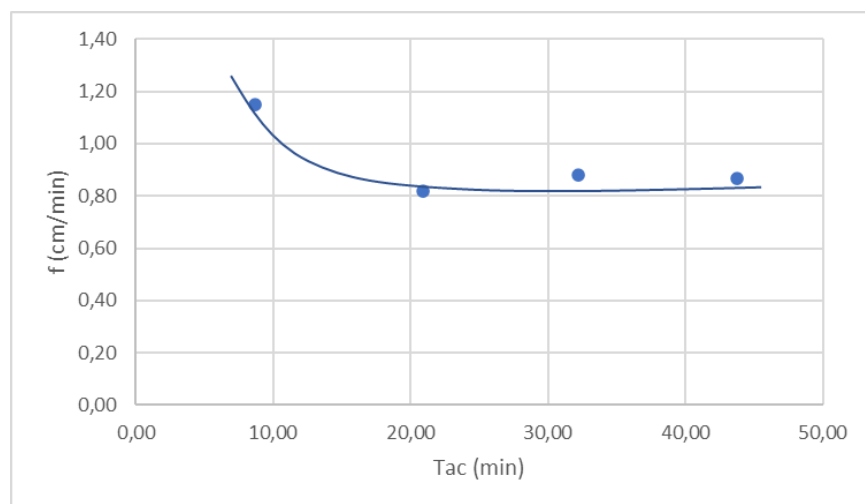


Figura 27 – Curva de infiltração do pasto restaurado da Fazenda Progresso

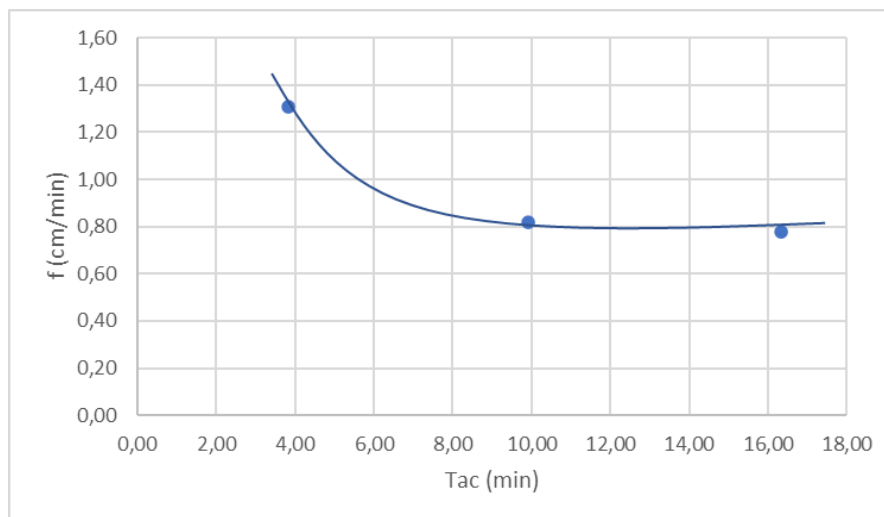


Figura 28- Curva de infiltração do cerrado na Fazenda Progresso

5.3.2. Resultados por tipo de cobertura do solo

Tabela 10 - escoamento, quantidade de sedimento e concentração

Tipo de cobertura	Q _c (ml)			S _c (g)			C _c (g/L)	
	total	média	D.P.	total	média	D.P.	média	D.P.
Pasto degradado	49.838,86	24.919,4	868,88	23,92	11,96	0,69	0,49	0,68
Pasto restaurado	36181,34	18.090,7	843,88	39,47	19,74	3,04	1,26	4,16
Cerrado	70.964,53	35.482,3	721,75	38,55	19,28	1,02	0,77	0,96

Já na propriedade localizada em Damianópolis, é perceptível que a concentração de sedimento das amostras da área coberta por pasto degradado foi inferior às observadas nas áreas de pasto recuperado e cerrado. Nesta localidade, durante o manejo do pasto restaurado, foi identificada a presença de carrapicho, uma espécie invasora e agressiva, que se mostrou um obstáculo para o desenvolvimento do capim nativo semeado. Como é possível observar pelas Figuras 29 e 30, a cobertura do solo foi maior nas áreas de pasto degradado em comparação restaurado, o que contribuiu para menor valor de escoamento na primeira.



Figura 29 - Pasto recuperado da Fazenda Progresso (fevereiro/2023)



Figura 30 - Pasto degradado da Fazenda Progresso (fevereiro/2023)

Além disso, o solo presente nesta propriedade trata-se de Neossolo Quartzarênico, que apresenta a possibilidade de desenvolvimento superficial do sistema radicular, responsável pela absorção de água e nutrientes, em qualquer sistema de uso do solo adotado (Souza et al., 2005), o que contribuiu para o melhor desempenho da espécie invasora. Para mais, neste caso, o solo das áreas intervencionadas encontrava-se solto, não consolidado por ter sido submetido ao processo de aração, diferentemente do solo observado na área degradada o que pode ser, também, uma das razões dos valores de concentração obtidos.

Ademais, conforme observado no gráfico abaixo (Figura 31), que se trata de uma análise qualitativa de todos os parâmetros analisados, a área de cerrado apresentou maior valor de escoamento superficial. Este fato pode estar relacionado ao posicionamento das Calhas de Gerlach na propriedade, uma vez que a inclinação do terreno é diretamente ligado ao escoamento superficial (Matsura & Al-Toum, 2000). Também é possível atribuir esta ocorrência à área de contribuição destas caixas, uma vez que o método utilizado não possui área de contribuição previamente definida.

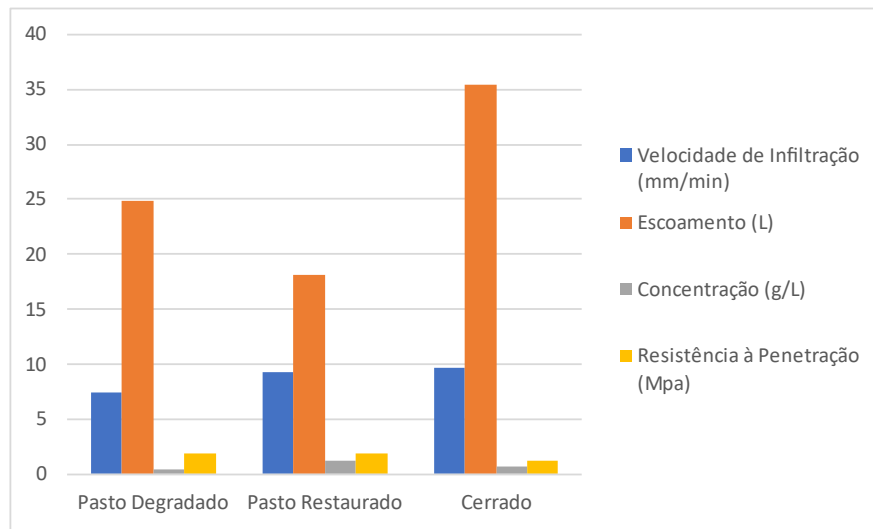


Figura 31 - Resultados por tipo de cobertura da Fazenda Progresso

5.3.3. Correlação entre parâmetros

Foram analisadas as correlações entre o escoamento obtido com a quantidade de sedimento e a concentração de sedimento para cada tipo de cobertura.

5.3.3.1. Pasto Degradado

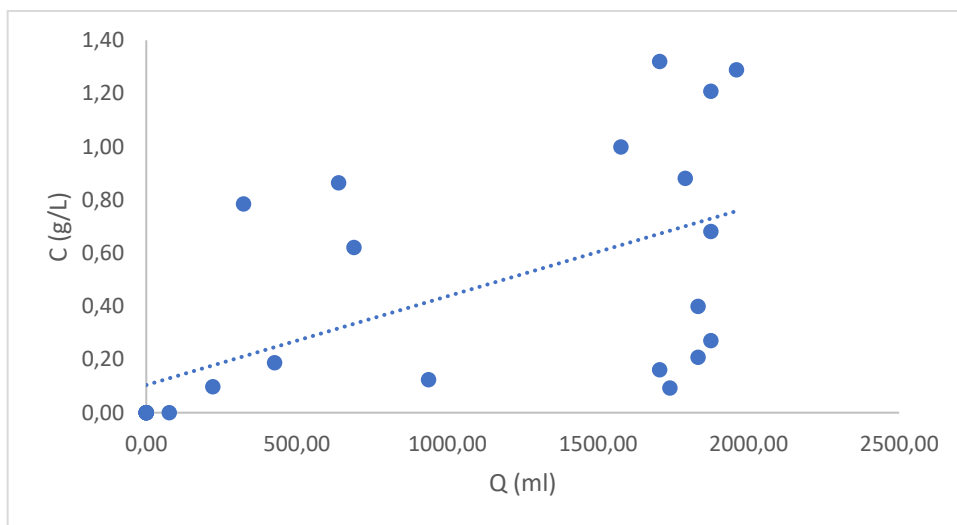


Figura 32 - Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de Sedimento (C) no pasto degradado da Fazenda Progresso

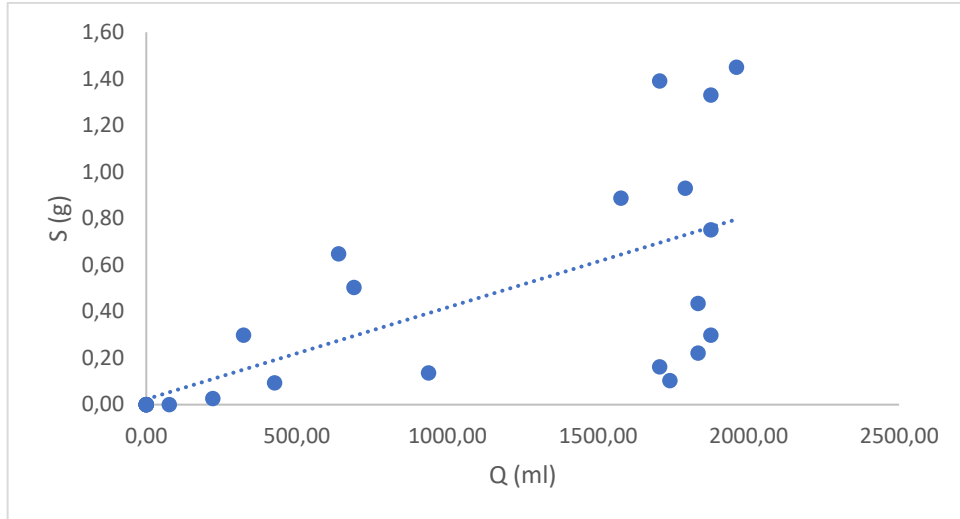


Figura 33 - Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no pasto degradado da Fazenda Progresso

A correlação obtida entre escoamento e concentração de sedimento para o pasto degradado de Damianópolis foi de 0,3535 (Figura 32), enquanto a obtida para o escoamento e quantidade de sedimento foi de 0,4581 (Figura 33).

5.3.3.2. Pasto Recuperado

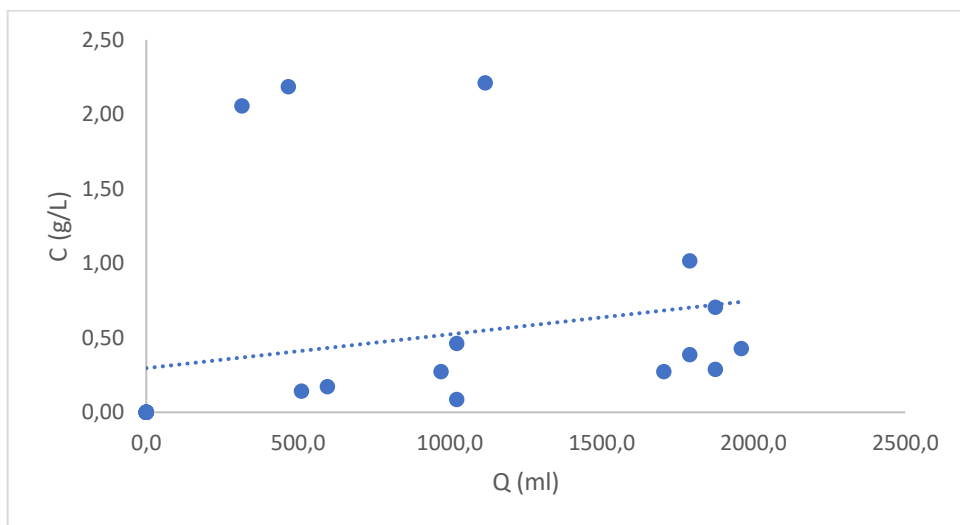


Figura 34 - Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de Sedimento (S) no pasto restaurado da Fazenda Progresso

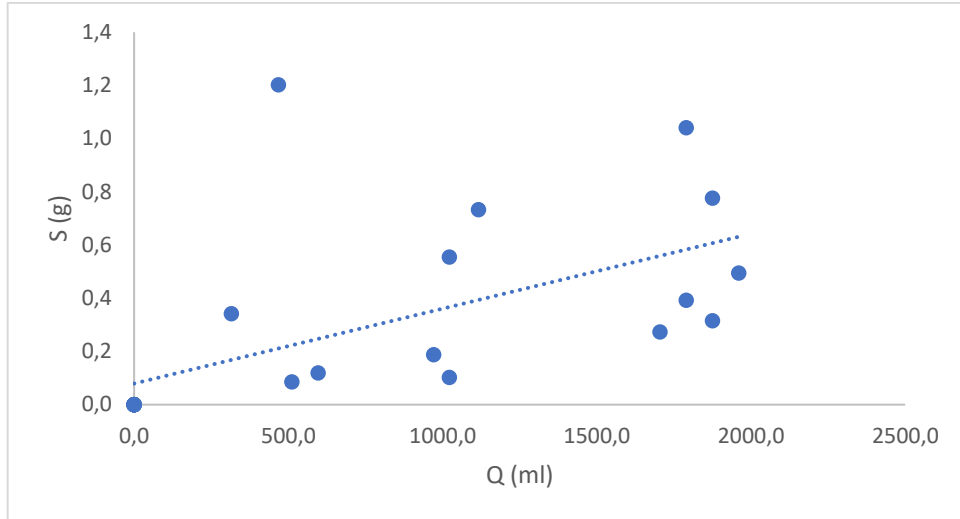


Figura 35 – Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no pasto restaurado da Fazenda Progresso

A correlação obtida entre escoamento e concentração de sedimento para o pasto recuperado de Damianópolis foi de 0,0585 (Figura 34), enquanto a obtida para o escoamento e quantidade de sedimento foi de 0,3592 (Figura 35).

5.3.3.3.Cerrado

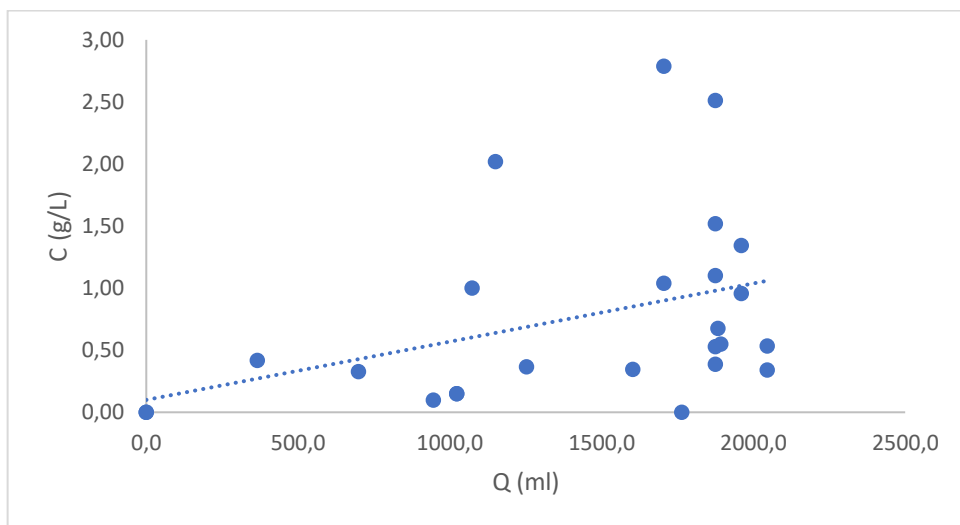


Figura 36 - Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de Sedimento (S) no cerrado da Fazenda Progresso

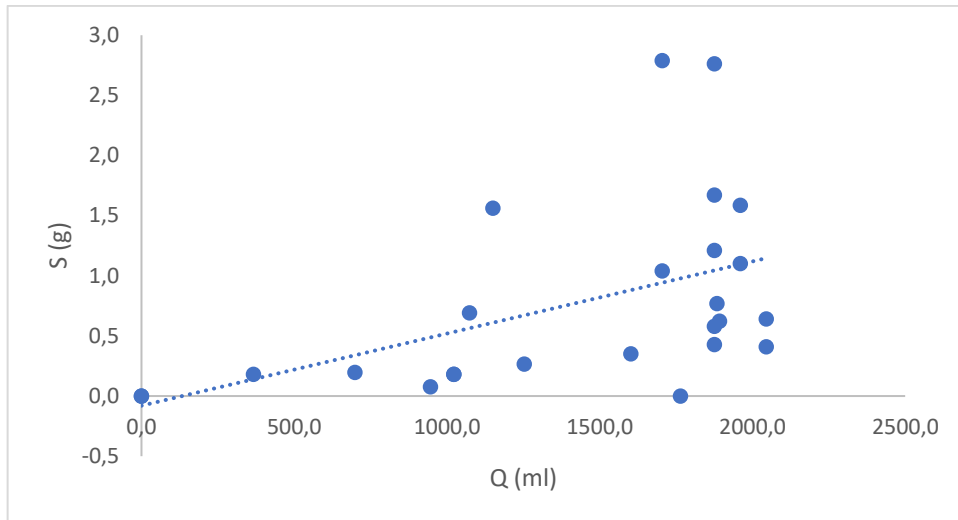


Figura 37 - Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no cerrado da Fazenda Progresso

A correlação obtida entre escoamento e concentração de sedimento para o cerrado de Damianópolis foi de 0,1508 (Figura 36), enquanto a obtida para o escoamento e quantidade de sedimento foi de 0,231 (Figura 37).

5.4.Fazenda Tarimba

5.4.1. Testes de infiltração e resistência à penetração

Tabela 11 - Velocidade de infiltração e resistência à penetração Fazenda Tarimba

Tipo de Cobertura	f (cm/min)	Rp (Mpa)
Pasto Degradado	0	3,02
Pasto Recuperado	0,79	2,58
Cerrado	0,92	1,26

Como observado na Tabela 12, a velocidade de infiltração do pasto degradado foi de 0 cm/min, valor associado à maior resistência à penetração. Na Fazenda Tarimba, a velocidade de infiltração do cerrado natural foi superior ao valor encontrado na área de pastagem recuperada. Assemelhando-se, portanto, aos resultados obtidos por Duarte et al. (2020), que obteve maior velocidade de infiltração em solos com vegetação nativa em relação à velocidade de infiltração do pasto recuperado. A área de pasto degradado apresentou, similarmente aos resultados observados por Flach et al. (2020), o menor valor de velocidade de infiltração. Este fato foi atribuído à intensidade de pisoteio.

Além disso, a resistência à penetração no cerrado natural foi considerada baixa, enquanto nos outros tipos de cobertura esse parâmetro foi considerado moderado. Destarte, para o cerrado natural, existe limitação fraca ao desenvolvimento radicular e, para as pastagens, a limitação é moderada.

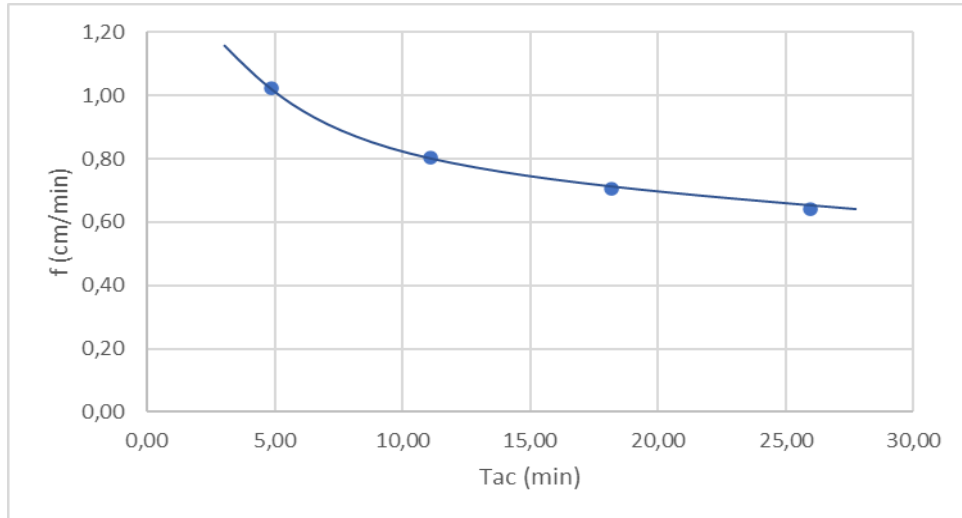


Figura 38 - Curva de infiltração no pasto restaurado da Fazenda Tarimba

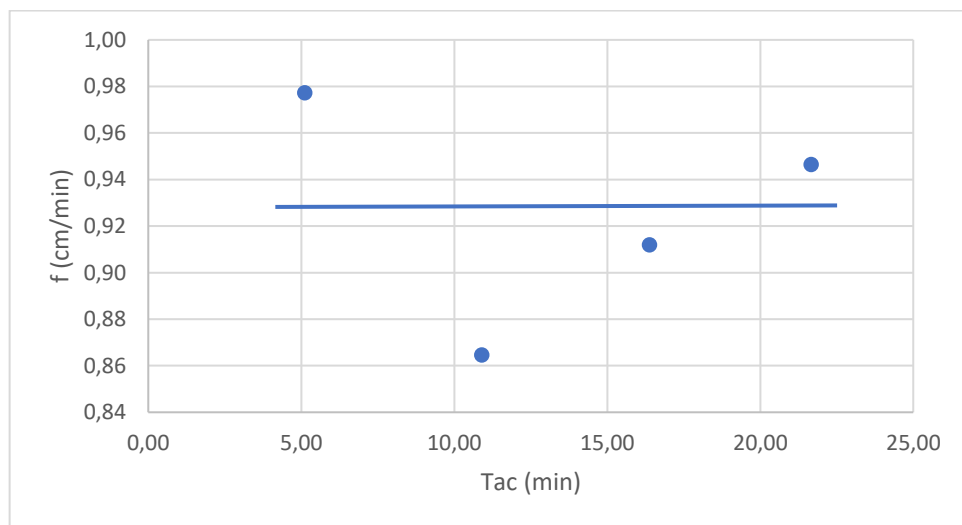


Figura 39 - Curva de infiltração no cerrado da Fazenda Tarimba

5.4.2. Resultados por tipo de cobertura do solo

Tabela 12 - Escoamento, quantidade de sedimento e concentração

Tipo de cobertura	Q _c (ml)			S _c (g)			C _c (g/L)	
	total	média	D.P.	total	média	D.P.	Média	D.P.
Pasto degradado	46.413,86	23.206,93	340,26	140,96	70,48	4,21	3,22	4,52
Pasto restaurado	51.168,35	25.584,17	332,87	109,31	54,66	3,59	2,24	3,59
Cerrado	35.847,10	17.923,55	506,44	58,80	29,40	2,79	1,69	3,25

Na Fazenda Tarimba, a área de pasto recuperado (Figura 40), apesar das intervenções realizadas, manteve-se similar à degradada (Figura 41). Por isso, é possível observar que o escoamento é maior na área recuperada (Tabela 12), que apresenta solo com baixa permeabilidade. Embora este valor tenha sido da área onde intervenções foram realizadas, a maior concentração de sedimento foi identificada para a área de pasto degradado. Este resultado assemelha-se àqueles obtidos por Toledo (2022) e Fonseca et al. (2023), em que a parcela de solo exposto apresentou maior perda de solo comparada às demais.

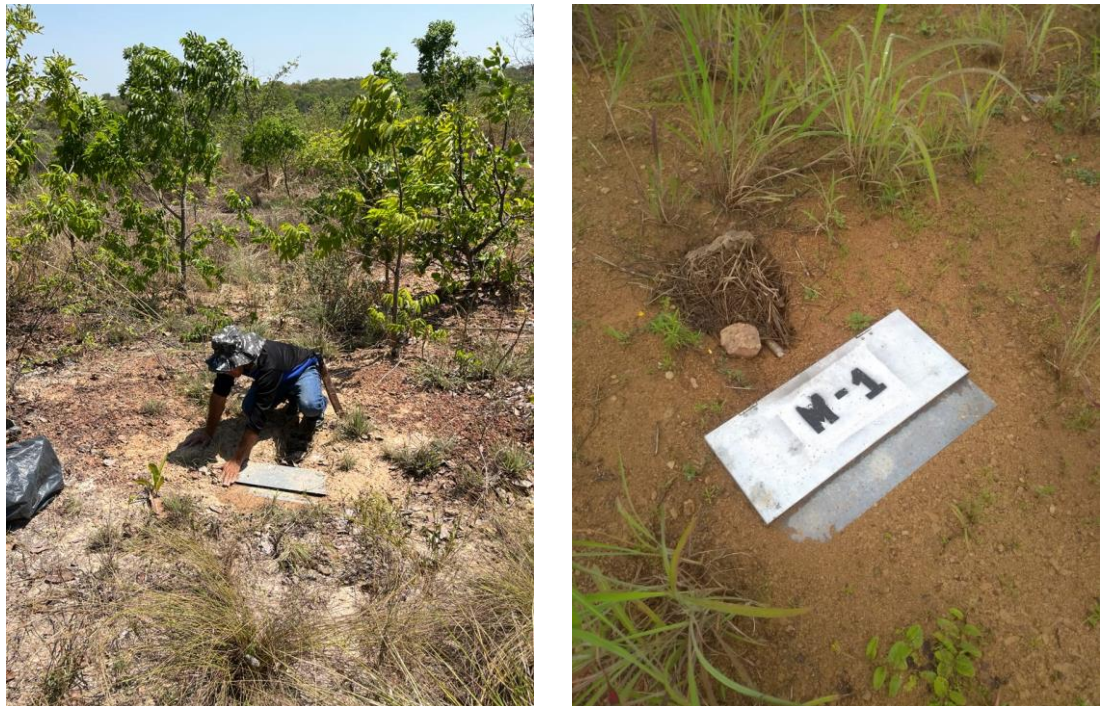


Figura 40 - Pasto restaurado em outubro/2022 (à esquerda) e janeiro/2023 (à direita), Fazenda Tarimba



Figura 41 - Pasto degradado da Fazenda Tarimba (outubro/2022)

O gráfico abaixo (Figura 42) exprime uma análise qualitativa entre todos os parâmetros analisados na Fazenda Tarimba, por tipo de cobertura do solo. A partir dele, é possível observar a redução da concentração de sedimentos do pasto degradado aos demais tipos de cobertura do solo apesar de apresentar um valor de escoamento superficial menor do que o observado na área de pastagem restaurada.

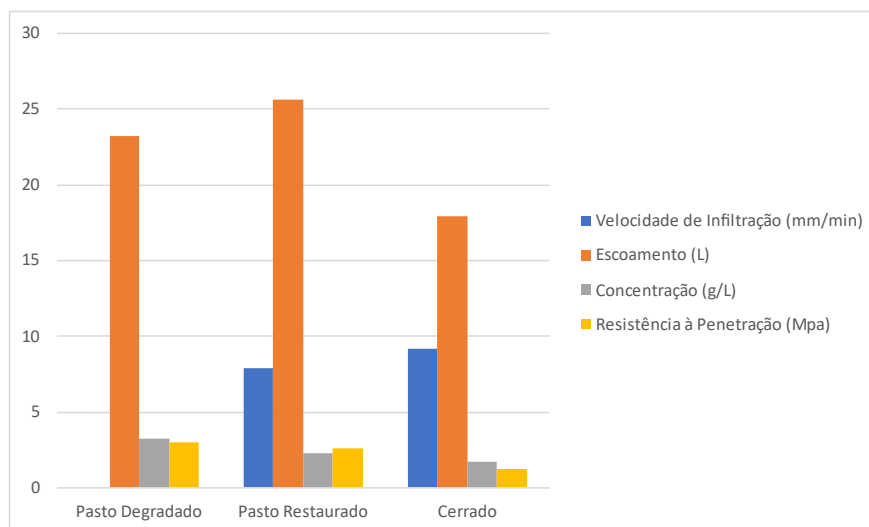


Figura 42 – Resultados por tipo de cobertura Fazenda Tarimba

5.4.3. Correlação entre parâmetros

Foram analisadas as correlações entre o escoamento obtido com a quantidade de sedimento e a concentração de sedimento para cada tipo de cobertura.

5.4.3.1. Pasto Degradado

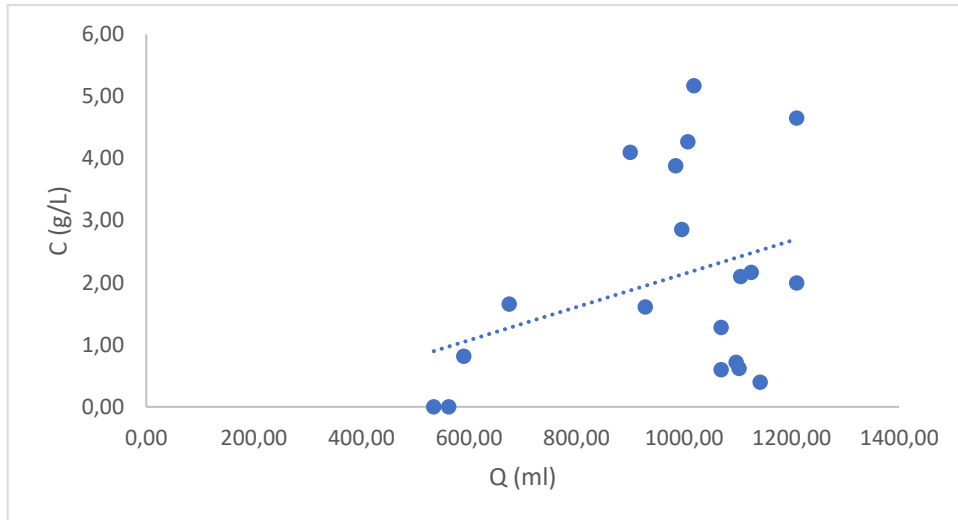


Figura 43 – Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de sedimento (C) no pasto degradado da Fazenda Tarimba

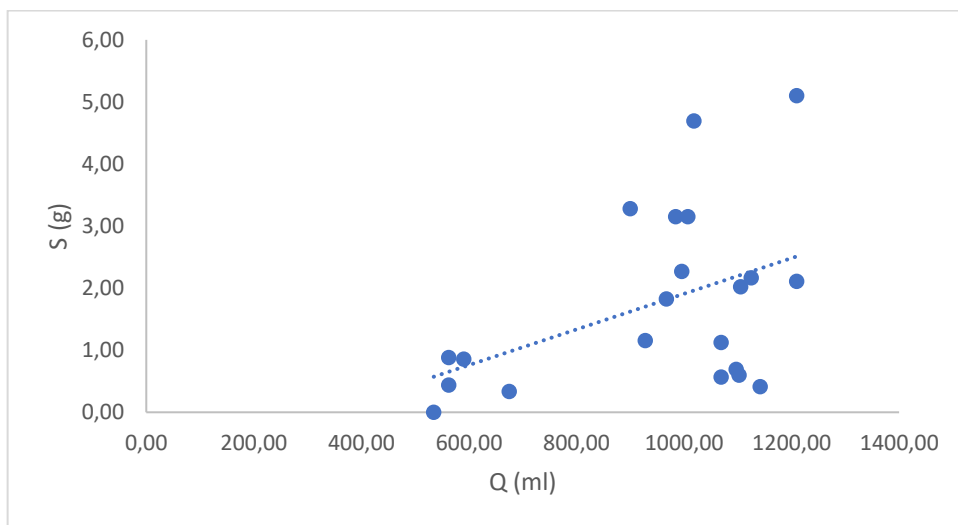


Figura 44 - Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no pasto degradado da Fazenda Tarimba

A correlação obtida entre escoamento e concentração de sedimento para o pasto degradado de Mambáí foi de 0,1218 (Figura 43), enquanto a obtida para o escoamento e quantidade de sedimento foi de 0,197 (Figura 44).

5.4.3.2. Pasto Recuperado

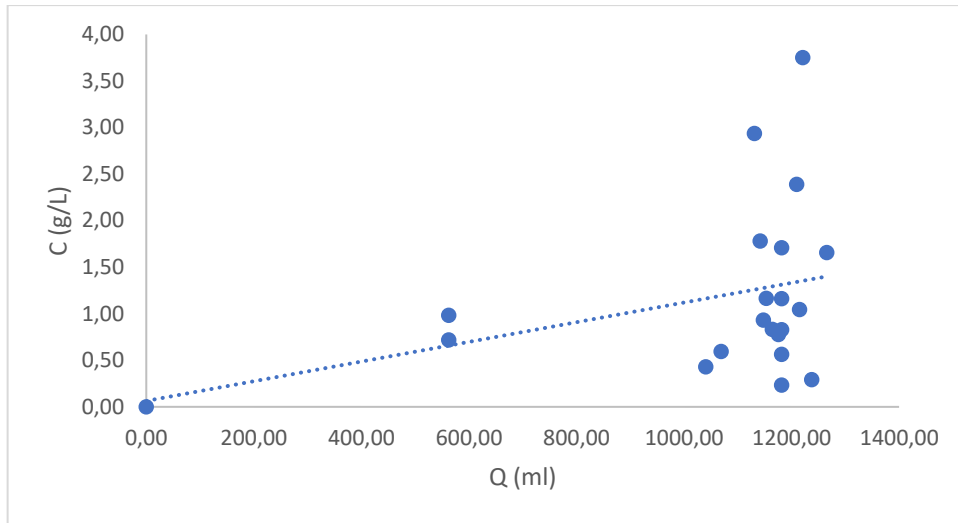


Figura 45 - Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de Sedimento (C) no pasto restaurado da Fazenda Tarimba

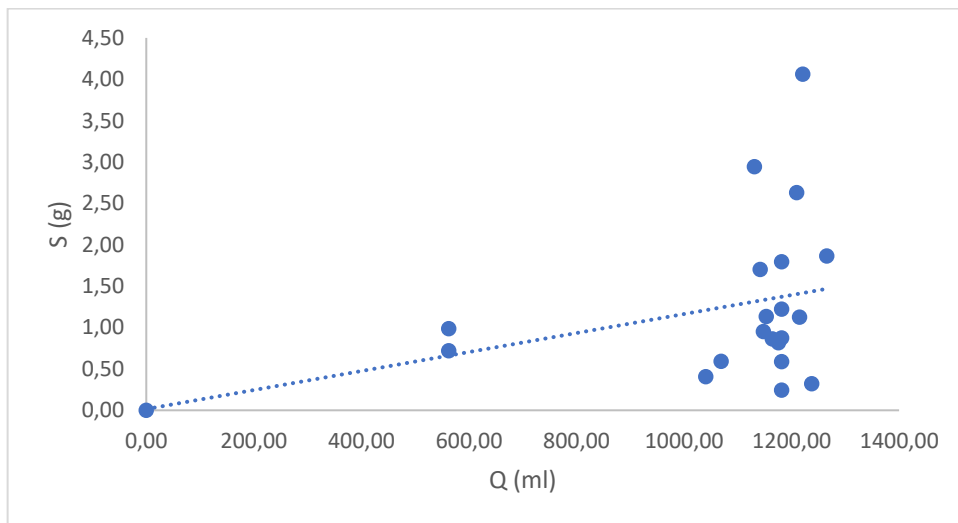


Figura 46 - Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no pasto restaurado da Fazenda Tarimba

A correlação obtida entre escoamento e concentração de sedimento para o pasto recuperado de Mambaí foi de 0,1232 (Figura 41), enquanto a obtida para o escoamento e quantidade de sedimento foi de 0,1277 (Figura 42).

5.4.3.3.Cerrado

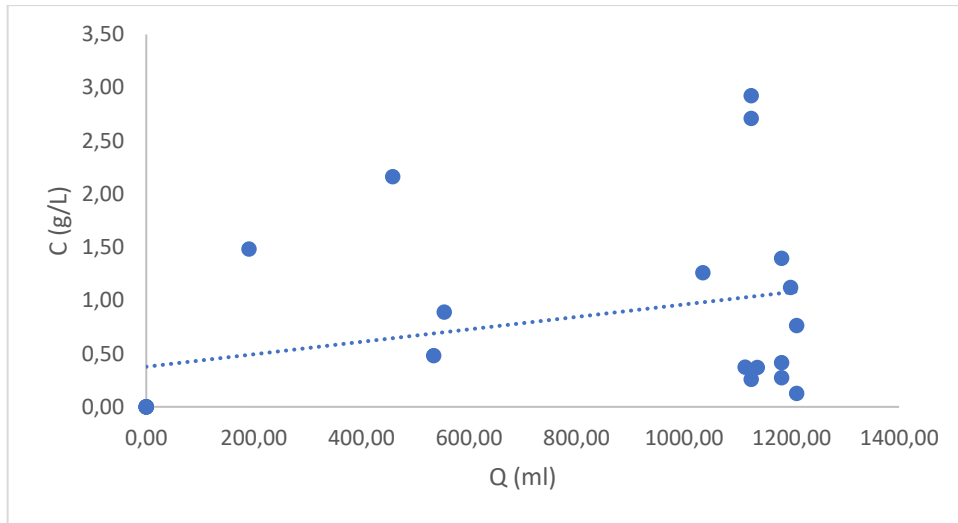


Figura 47 - Correlação entre Escoamento (Q) e Concentração de Sedimento (C) no cerrado da Fazenda Tarimba

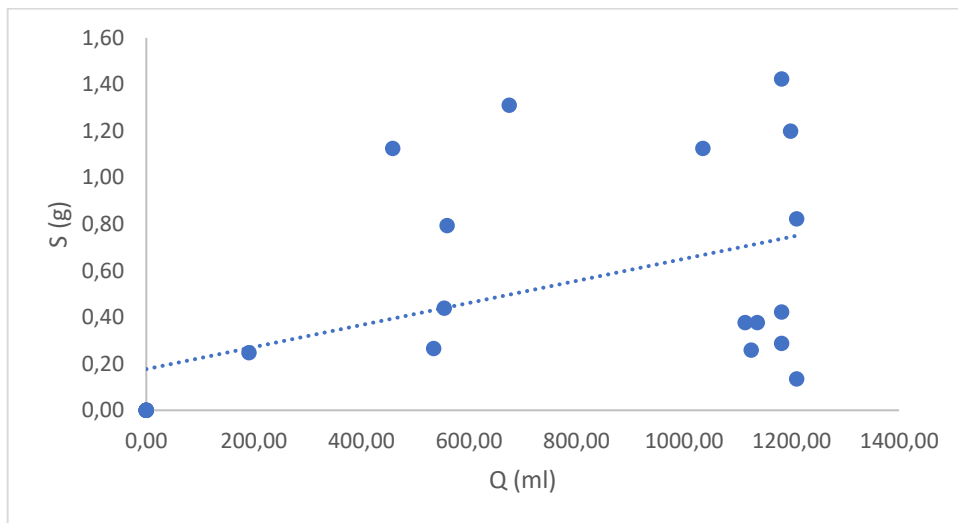


Figura 48 - Correlação entre Escoamento (Q) e Quantidade de Sedimento (S) no cerrado da Fazenda Tarimba

A correlação obtida entre escoamento e concentração de sedimento para o cerrado de Mambaí foi de 0,1125 (Figura 47), enquanto a obtida para o escoamento e quantidade de sedimento foi de 0,2411 (Figura 48).

6. CONCLUSÃO

Neste estudo inicial das áreas de pastagem degradada, pastagem restaurada e cerrado natural, a erosividade do ano hidrológico 2022/2023 foi considerada média-forte em todas as propriedades.

Na Fazenda Funil, localizada no município de Buritinópolis, a velocidade de infiltração foi maior na área de pastagem recuperada, que também apresentou menor valor de resistência à penetração. Somado a isso, a concentração de sedimento atingiu maior valor na área de pastagem degradada, assim como maior valor de escoamento superficial.

Na Fazenda Progresso, no município de Damianópolis, a menor resistência à penetração foi observada na área de cerrado natural, onde foi encontrada maior velocidade de infiltração, que assumiu valor mais baixo no pasto degradado. Apesar disto, o maior escoamento foi apresentado pelo cerrado natural e maior concentração de sedimentos pelo pasto restaurado.

Já na Fazenda Tarimba, o pasto degradado apresentou menor velocidade de infiltração, assim como maior resistência à penetração e concentração de sedimentos. No entanto, o maior escoamento observado foi na área de pasto restaurado. Além disso, a menor resistência do solo à penetração foi apresentada pelo cerrado.

A correlação entre escoamento e os demais parâmetros mostrou-se positiva em todas as situações. Os baixos valores podem ser atribuídos à alta variabilidade temporal e espacial do experimento, visto que as amostras não foram coletadas em áreas iguais, apesar de análogas.

De maneira geral, é possível concluir que a cobertura vegetal de uma área, as condições gerais do solo e a forma de manejo se mostram importantes e de essencial entendimento para a redução do processo erosivo. Por isso, é possível entender o estudo como um aliado às tomadas de decisão para melhorias da qualidade de corpos hídricos e da qualidade de vida daqueles que se beneficiam, por servir como um norteador e poder guiar atividades de monitoramento.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C. V. et al. Formação e características dos solos para o entendimento de sua importância agrícola e ambiental. Complexidade: redes e conexões do ser sustentável. **Curitiba: SENAR-PR**, 2014.

ANTONELI, V. et al. Perda de solos em diferentes usos em área de faxinal na região sudeste do Paraná, Brasil. **Geografia**, v. 41, n. 3, p. 497-512, 2016.

BARBOSA, R. I. FEARNSIDE, P. M. Erosão do solo na Amazônia: Estudo de caso na região do Apiaú, Roraima, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 30, p. 601-601, 2000.

BENAVIDEZ, R. et al. A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R) USLE): With a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 22, n. 11, p. 6059-6086, 2018.

BERTONI, J. LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Ícone. **São Paulo**, 1990.

BONO, J. A. M. et al. Cobertura vegetal e perdas de solo por erosão em diversos sistemas de melhoramento de pastagens nativas. 1996.

BONO, J. A. M. et al. Infiltração de água no solo em um Latossolo Vermelho da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1845-1853, 2012.

BROOKS, K. N et al. Water-Quality Characteristics. In: BROOKS, K. N. **Hydrology and the Management of Watersheds**. John Wiley & Sons, 2012. p. 297-329. CHAVES, H. M. L. Relações de aporte de sedimento e implicação de sua utilização no Pagamento por Serviço Ambiental em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1469-1477, 2010.

CHEREM, L. F. S. VARAJÃO, C. A. C. O Papel da Lito-estrutura do Carste na Morfodinâmica Cenozóica da Serra Geral de Goiás (GO/TO/BA): aproximações iniciais. **Revista Geonorte**, v. 5, n. 19, p. 180-184, 2014.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Balanço hídrico em fruteiras. 2010.

DEMARCHI, J. et al. Estimativa de perda de solos por erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão das Perobas (SP) nos anos 1962 e 2011. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 46, n. 1, p. 110-131, 2019.

- DUARTE, J. F. B. et al. Atributos físico-hídricos de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 14, n. 2, p. 3968, 2020.
- ESBÉRARD, C. E. et al. Morcegos cavernícolas da Área de Proteção Ambiental (APA) Nascentes do Rio vermelho, goiás. **Revista brasileira de Zociências**, v. 7, n. 2, 2005.
- EDUARDO, E. N. et al. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 796-803, 2013.
- FLACH, C. W. et al. Taxa de infiltração da água e resistência mecânica à penetração em solos submetidos a diferentes usos na região da serra de sudeste/RS. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 73, p. 223-242, 2020.
- FONSECA, M. R. S. et al. Rates, factors, and tolerances of water erosion in the Cerrado biome (Brazil): A meta-analysis of runoff plot data. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 47, n. 2, p. 582-595, 2022.
- FONSECA, M. R. S. et al. Runoff, soil loss, and water balance in a restored Karst area of the Brazilian Savanna. **Catena**, v. 222, p. 106878, 2023.
- FORD, D. WILLIAMS, P. D. *Karst hydrogeology and geomorphology*. John Wiley & Sons, 2007.
- GARDI, C. et al. Land take and food security: assessment of land take on the agricultural production in Europe. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 58, n. 5, p. 898-912, 2015.
- GUERRA, A. J. T. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. **Bertrand Brasil**, 1994.
- GUERRA, A. J. T. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. **Revista do Departamento de geografia**, v. 16, p. 32-37, 2005.
- GUERRA, A. J. T. JORGE. M. C. O. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. Oficina de Textos, 2017.
- INÁCIO, E. S. B. et al. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na microbacia do Ribeirão Salomea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 355-360, 2007.

MARCUZZO, F. F. N. et al. Sazonalidade e distribuição espaço-temporal das chuvas no bioma do **Cerrado do Estado do Mato Grosso do Sul**. 2012.

MARQUES, J. F. Custos da Erosão do Solo em Razão dos seus Efeitos Internos e Externos à Area de Produção Agrícola. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 36, n. 1, p. 61–80, 1998.

MATSURA, S. AL-TOUM, S. A study on surface wash and runoff using open system erosion plots. **Pertanika J. Trop. Agric. Sci**, v. 23, n. 1, p. 43-53, 2000.

MINELLA, J. P. G. et al. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1637-1646, 2007.

MOMOLI, R. S. et al. Atributos Morfológicos E Físicos Dos Solos Das Trilhas Turísticas Da Apa Nascentes Do Rio Vermelho, GOIÁS. **Formação (Online)**, v. 29, n. 54, p. 167-197, 2022.

MORGAN, R. P. C. Soil erosion and conservation. 3rd ed ed. **Malden, MA: Blackwell Pub**, 2005.

NUNES, A. LOURENÇO, L. Catástrofes Mistas. Uma Perspetiva Ambiental. **Coimbra University Press**, 2019

NUNES, J. G. S. Mapeamento de solos através de técnicas diretas e indiretas na Apa Nascentes Do Rio Vermelho, Mambai-GO. 2020.

OLIVEIRA, P. T. S. et al. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena**, v. 100, p. 139-147, 2013.

OSMAN, K. T. et al. Soil degradation, conservation and remediation. **Dordrecht: Springer Netherlands**, 2014.

PAGIOLA, S. et al. Experiências de pagamentos por serviços ambientais no Brasil. **São Paulo: SMA/CBRN**, v. 86494, p. 1-338, 2013.

PEREIRA, A. R. Simplificado o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, v. 64, p. 311-313, 2005.

RATZEL, F. O solo, a sociedade e o Estado. **Revista do departamento de geografia**, v. 2, p. 93-101, 1983.

SANTOS, D. et al. Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas melhoradas sob diferentes práticas de manejo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 33, n. 2, p. 183-189, 1998.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, n. 3, p. 251-259, 2004.

SILVEIRA, P. B. Influência da escala nos resultados de estimativa de perda de solo por meio da EUPS. 2017.

SOUZA, E. D. et al. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 1135-1139, 2005.

TAVARES, A. et al. Analysis of the Erosion Potential and Sediment Yield Using the Intero Model in an Experimental Watershed Dominated by Karst in Brazil. **The Journal Agriculture and Forestry**, v. 67, p. 153–162, 30 jun. 2021.

TOLEDO, A. C. Perda de água e solo em zona de carste restaurada nos cerrados. 2022.

VAZ, C. M. P. et al. Influência da umidade na resistência do solo medida com penetrômetro de impacto. 2002.

VOLK, L. B. S. Condições físicas da camada superficial do solo resultantes do seu manejo e indicadores de qualidade para redução da erosão hídrica e do escoamento superficial. 2006.

VON SPERLING, M. Wastewater characteristics, treatment and disposal. **IWA publishing**, 2007.

WICHARUCK, S. et al. Soil erosion assessment under different land use types using modified Gerlach trough in North-Western Thailand Highland. **Soil Science Annual**, v. 74, n. 1, p. 163079, 2023.

WISCHMEIER, W. H. SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. **Department of Agriculture, Science and Education Administration**, 1978.

WUNDER, S. et al. Payments for environmental services: some nuts and bolts. 2005.