



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

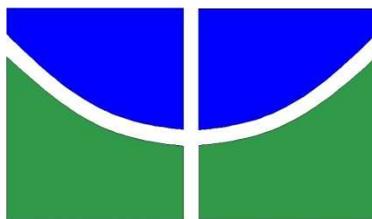
**PERDA DE ÁGUA E SOLO EM DOIS SOLOS SOB DIFERENTES
COBERTURAS EM MAMBAÍ-GO**

Arielly Fátima Messias de Souza

Brasília, 14 de julho de 2023

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

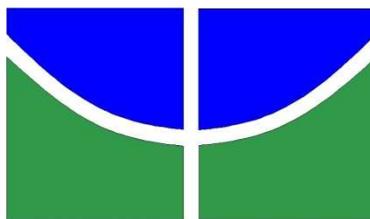
**PERDA DE ÁGUA E SOLO EM DOIS SOLOS SOB DIFERENTES
COBERTURAS EM MAMBAÍ-GO**

Arielly Fátima Messias de Souza

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, 14 de julho de 2023



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

**PERDA DE ÁGUA E SOLO EM DOIS SOLOS SOB DIFERENTES
COBERTURAS EM MAMBAÍ-GO**

Estudante: Arielly Fátima Messias de Souza

Matrícula: 17/0099806

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, 14 de julho de 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

SOUZA, ARIELLY FÁTIMA MESSIAS DE
PERDA DE ÁGUA E SOLO EM DOIS SOLOS SOB DIFERENTES COBERTURAS
EM MAMBAÍ-GO.

44 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

SOUZA, A. F. M. D (2023). **PERDA DE ÁGUA E SOLO EM DOIS SOLOS SOB DIFERENTES COBERTURAS EM MAMBAÍ-GO**. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 44 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR(A): Arielly Fátima Messias de Souza

TÍTULO: *Perda De Água E Solo Em Dois Solos Sob Diferentes Coberturas Em Mambaí-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.

Arielly Fátima Messias de Souza

ariellyft@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu gostaria de agradecer ao professor Henrique Chaves por me receber de braços abertos quando lhe procurei para ser sua orientada. Também sou muito grata à Maria Rita que sempre teve muita paciência em me ensinar e transmitir todos os seus conhecimentos. Por fim agradeço aos diversos professores que conheci ao longo dessa graduação, que me marcaram cada um de uma maneira.

Agradeço aos meus pais Marcos e Andrea, e a minha família, em especial a Adrielly, que sempre foi o meu apoio e meu pilar; aos meus tios Luís Carlos e Janaína que sempre foram além de tios, meus amigos, e que me ajudaram de uma maneira que nem sei agradecer. Agradeço também ao meu tio Marcelo (que me tem como sua filha), minha prima Kamila e a mãe dela a Tia Francisca, esses três sempre foram muito importantes para mim, mesmo estando longe, todos anos sempre contei os dias para voltar para PHB, apenas para ver vocês.

Também gostaria de agradecer a família que a vida me deu de presente, as KFers, obrigada por me adotarem e me incluírem na família de vocês, de uma maneira, que não sei nem retribuir. Mas em especial sou eternamente grata a duas pessoas que me aturam todo dia a Karina, que é a irmã mais velha quis sempre quis ter; e a Karen, minha amiga/psicóloga, que sinceramente foi o maior presente que ganhei da universidade. Sou muito feliz por ter me oferecido para acharmos juntas aquela sala de química no 1º semestre, e desde então estamos nos perdendo e procurando o caminho juntas.

Sou grata também as minhas amigas Sthefany e Maria Regina por terem sido o meu pilar de Ecoflor, e hoje da vida (amo nossos cafés de segunda). Também gostaria de agradecer aos meus amigos e companheiros de UnB: Marcus, Walmir e Mariana. Obrigada por todas as caronas, e por todas as vezes que os elogios e comentários de vocês, me fizeram me sentir mais inteligente do que eu realmente achava que era. Sou grata também aos meus amigos Elias e Anna Carolina, por sempre terem sido meus apoiadores.

Agradeço às famílias de trabalho que adquiri no Herbário e na Novacap ao longo destes anos de universidade, obrigada: Dani, Mari, Fábio, Reis, Chico, Marco Aurélio, Cris, Edu, Yago, Rebecca, Léo, Tiago. Se cheguei onde estou hoje, com toda certeza vocês tiveram uma contribuição gigante.

Por fim, agradeço à minha força de vontade, pois só eu sei o quanto esses 6 anos foram difíceis, em diversos momentos. Mas hoje, fico feliz por sempre ter levantado a cabeça, e nunca ter desistido, pois as sementes que semeei, estão germinando.

RESUMO

No Brasil, a erosão hídrica causa a perda anual de 846 milhões de toneladas de solo cultivado, enquanto mundialmente esse número chega a cerca de 75 bilhões de toneladas, resultando em prejuízos de aproximadamente US\$ 400 bilhões. Esse processo é agravado pela degradação da cobertura vegetal e pela falta de manejo do solo. O escoamento superficial de água também causa prejuízos ambientais, como o assoreamento de rios e lagos. Por isso, é importante promover projetos de conservação do solo em bacias hidrográficas, que incluam a implementação de terraços ou canais escavados. Esta pesquisa tem como objetivo quantificar as perdas de solo e água em um ambiente cárstico próximo à Gruma da Tarimba, avaliando a restauração ecológica realizada há cinco anos. O estudo foi realizado nos solos Neossolo Litólico e Neossolo Quartzarênico, na região de Mambai-GO, e contou com cinco parcelas de enxurrada (USLE). A precipitação no quinto ano foi de 1.095,5mm, e a erosividade foi de 7246,1 (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹), consideradas baixas. O escoamento superficial médio anual para as parcelas restauradas foi de 214,7 mm ano⁻¹, já para a parcela descoberta foi 347,2 mm ano⁻¹. A perda de solo média anual das parcelas restauradas (P1-P4) foi 0,7 Mg ha ano⁻¹, enquanto para a parcela de cerrado (P5) foi de 0,5 Mg ha ano⁻¹. O fator C médio das parcelas P1-P4 foi 0,09 (Mg há⁻¹), enquanto a P5 foi de 0,04 (Mg ha⁻¹). Após cinco anos de estudos, foi observada uma diminuição nas perdas de solo e escoamento superficial nas parcelas restauradas, seguindo padrões anteriores. Não houve grandes diferenças nos valores de CN das áreas restauradas, porém observou-se uma discrepância em comparação da parcela descoberta com a de cerrado nativo. A tolerância à erosão indica que os valores das áreas restauradas estão abaixo do valor de tolerância do cerrado, indicando sucesso na restauração. O Fator de Cobertura apresentou um valor maior em relação ao ano anterior, mas não significativo. A sucessão das espécies plantadas possibilitou a restauração ecológica da área. Por fim, concluiu-se que além da precipitação, práticas conservacionistas influenciam no escoamento superficial e podem beneficiar o meio ambiente tanto localmente, quanto regionalmente.

Palavras-chave: Restauração ecológica; erosão hídrica; degradação do solo; escoamento superficial.

ABSTRACT

In Brazil, water erosion causes an annual loss of 846 million tons of cultivated soil, while worldwide this number reaches about 75 billion tons, resulting in losses of approximately US\$ 400 billion. This process is aggravated by the degradation of the vegetation cover and the lack of soil management. Runoff also causes environmental damage, such as the siltation of rivers and lakes. Therefore, it is important to promote conservation projects in watersheds, including management practices such as the implantation of terraces or excavated channels. This research aims to quantify soil and water losses in a karst environment near Gruma da Tarimba, evaluating the ecological restoration implemented five years ago. The study was conducted in the soils Litolic Neosol and Quartzarenic Neosol, in the region of Mambaí-GO, and had five flood plots (USLE). Precipitation in the fifth year was 1,095.5mm, while the erosivity was 7246.1 (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹), considered low. The average annual runoff for the restored plots was 214.7 mm year⁻¹, while for the discovered plot was 347.2 mm year⁻¹. The average annual soil loss of the restored plots (P1-P4) was 0.7 Mg ha year⁻¹, while for the cerrado plot (P5) was 0.5 Mg ha year⁻¹. The C factor of the plots P1-P4 was 0.09 (Mg ha⁻¹), while the P5 was 0.04 (Mg ha⁻¹). After five years of studies, it was observed a decrease in soil losses and runoff in the restored plots, following previous patterns. There were no major differences in the CN values of the restored areas, but a discrepancy was observed in comparison with the discovered portion of native Cerrado. Erosion tolerance indicates that the values of the restored areas are below the tolerance value of the Cerrado, indicating success in restoration. The Coverage Factor presented a higher value compared to the previous year, but not significant. The succession of planted species allowed the ecological restoration of the area. Finally, it was concluded that in addition to precipitation, conservation practices influence runoff and can benefit the environment both locally and regionally.

Keywords: Ecological restoration; water erosion; soil degradation; surface runoff.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - APA das nascentes do Rio Vermelho - Município de Mambai.....	17
Figura 2 - Sistema Aquífero Urucuia	18
Figura 3 – Área de instalação das Parcelas P0 a P4	19
Figura 4 - Parcelas de enxurrada	20
Figura 5 - Parcela 5 em área de Cerrado	21
Figura 6 - Esquema de instalação das parcelas de enxurrada.....	21
Figura 7 - Amostras engarrafadas.....	24
Figura 8 - Amostras montadas em mesa secadora.....	24
Figura 9 - Amostras de solo após o processo de evaporação da água.....	25
Figura 10 - Amostras de solo secas	25

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Média do volume de escoamento para o quinto ano hidrológico	30
Gráfico 2 - Dados por parcela normalizados pela precipitação do quinto ano hidrológico	30
Gráfico 3 - Dados por parcela normalizados pela precipitação nos cinco anos hidrológicos	31
Gráfico 4 - Dados por parcela normalizados em relação a P0 nos cinco anos hidrológicos	32
Gráfico 5 - Curva Número calibrada para o quinto ano hidrológico.....	32
Gráfico 6 - Média CN por parcela para os cinco anos hidrológicos.....	33
Gráfico 7 - Perda de solo por parcela no quinto ano hidrológico.....	33
Gráfico 8 - Perda de solo normalizada pela erosividade no quinto ano hidrológico.....	35
Gráfico 9 - Perda de solo normalizada pela erosividade nos cinco anos hidrológicos...	35
Gráfico 10 - Fator C: USLE para os cinco anos hidrológicos	36
Gráfico 11 - Perda de solo das parcelas P0-P5 e tolerância máxima N. Litólico e N. Quartzarênico.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do solo por parcela.....	22
Tabela 2 - Dados da precipitação e erosividade dos cinco anos hidrológicos.....	29
Tabela 3 - Dados de perda de solo anual dos cinco anos hidrológicos	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Cobertura de solo por parcela	19
Quadro 2 - Espécies nativas usadas na recuperação das parcelas P1-P4.....	20

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVO	13
2.1	Objetivo geral.....	13
2.2	Objetivo específico.....	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
4	MATERIAIS E MÉTODOS	17
4.1	Área de estudo.....	17
4.2	Área do experimento – parcelas	18
4.3	Amostragem e processamento das amostras	22
4.4	Cálculo de precipitação, escoamento superficial e perda de solo	25
4.5	Cálculo do coeficiente de escoamento superficial	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1	Precipitação e escoamento superficial	29
5.2	Perda de solo local	33
5.3	Tolerância à erosão	36
6	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, cerca de 846 milhões de toneladas de solos em terras cultivadas são perdidos devido à erosão hídrica (MERTEN; MINELLA, 2013). Mundialmente, estima-se que esse número sobe para cerca de 75 bilhões de toneladas, gerando um prejuízo de aproximadamente US\$ 400 bilhões (GLOBAL..., 2017).

A erosão hídrica do solo é um processo geomorfológico natural, agravado principalmente pela degradação da cobertura vegetal de um local, ou falta de manejo do solo, em que o arraste de solo ocasiona perda de nutrientes, macro e microfaunas de um agroecossistema (PANDEY *et al.*, 2016; POSTHUMUS *et al.*, 2015).

Em situações de chuvas intensas, este processo erosivo se deve principalmente pela interação entre a gotas de chuva com o solo, textura, cobertura vegetal e, sobretudo, pela erodibilidade do solo. Esta propriedade se trata da capacidade da desagregação e desprendimento do solo em decorrência do impacto das gotas de chuva sobre a superfície, e da capacidade de infiltração de água no solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010; WISCHMEIER *et al.*, 1971).

Os principais tipos de solo do Cerrado brasileiro são: Latossolos, Argissolos e Neossolos. Por serem considerados como bastante antigos, possuem altas taxas de alumínio e acidez, o que, dentre outros fatores, corrobora para serem conhecidos como pouco férteis. No entanto, com o avanço das técnicas de correção o Cerrado Brasileiro vem ganhando cada vez mais destaque no cenário agrícola (ADÁMOLI *et al.*, 1986; COSTA & BORGES, 2010; EMBRAPA, 1999).

Em geral, áreas de pastagem são as mais suscetíveis a processos erosivos (SANTOS *et al.*, 2019). No entanto, a capacidade de erodibilidade desses locais tende a aumentar a depender da textura do solo, uma vez que solos mais argilosos e arenosos são mais suscetíveis a sofrer com processos erosivos (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010).

Além da textura, a inclinação do relevo é outro fator que interfere no aumento da erodibilidade de um local (DEMARCHI *et al.*, 2019; MORGAN, 2005). E atua como principal controlador de trajetória do curso do escoamento dos materiais erodidos (SOUZA, 2001).

Além dos aspectos financeiros, a erosão hídrica gera um grande prejuízo ambiental, sendo as vertentes das bacias as principais afetadas. Em razão dos rejeitos

transportados pela erosão (GUERRA & CUNHA, 2008), os rios e lagos destes locais possuem suscetibilidade a sofrer com processos de assoreamento e contaminação de água.

Segundo Oliveira, Rodrigues e Rodrigues (2008), é importante promover projetos de proteção de áreas em bacias hidrográficas, a fim de minimizar os impactos ambientais. Podemos citar, como atividades esperadas, a adoção de práticas de manejo, como a implantação de terraços ou canais escoadouros (VERDUM et al., 2016). Estes cuidados se fazem ainda mais importantes em períodos de alta pluviosidade, pois podem reduzir a quantidade de rejeitos erodidos que serão depositados no leito dos corpos hídricos (DEMARCHI et al., 2019). Por isso, são realizados diversos estudos e avaliações, a fim de aprimorar técnicas que visam a diminuição das taxas de escoamento superficial e perda de solo, a fim de preservar a fertilidade do solo, aumentar a percolação hídrica e as taxas de recarga da bacia (PALMA, 2015; CHAVES & PIAU, 2008; SILVA, 2009).

Desse modo, a presente pesquisa se compromete a dar continuidade ao monitoramento de análise hidrológica, prosseguindo com o estudo do 5º ano hidrológico na região de Mambaí-BA. A importância da continuidade do monitoramento se dá pelo fato de que são poucos locais do Cerrado brasileiro que possuem dados concisos desenvolvidos no decorrer de mais de um ciclo hidrológico. Por fim, os dados coletados serão de grande relevância para a implantação do Plano de Manejo para o sistema Cárstico da Gruma da Tarimba.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo, dar continuidade aos estudos do quinto ano hidrológico, das parcelas de enxurrada na região de Mambai-GO. Pesquisa esta que visou, quantificar as perdas de solo e água em um ambiente cárstico próximo à Gruma da Tarimba, além de avaliar a eficácia da restauração ecológica, realizada por meio plantio de espécies nativas há cinco anos atrás, na diminuição do escoamento superficial.

Onde estes dados serão utilizados para a implantação do Plano de Manejo do sistema cárstico da Gruma da Tarimba, e para o enriquecimento do Plano da APA Nascentes do Rio Vermelho.

2.2 Objetivo específico

Foram determinados como objetivos específicos: a) quantificação da perda de solo em diferentes cenários de cobertura de solo; b) avaliação das taxas de erosão e comparar com as tolerâncias de perda de solo; c) mensuração do coeficiente de escoamento superficial (CN) e Fator C da USLE; e d) avaliação da eficiência da restauração ecológica.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para dar subsídios à construção do embasamento teórico desta pesquisa, a revisão bibliográfica realizada contemplou os seguintes elementos: erosões hídricas, fator relevante para o acometimento do solo; ambientes cársticos, pela sua suscetibilidade a erosões; e a própria degradação do solo, um componente significativo para as condições de erosão. Tais elementos são inter-relacionados com aspectos que potencializam a erosão.

Dado o avanço das zonas de pastagem nas áreas de Cerrado brasileiro, faz-se cada vez mais importante os estudos que avaliam os impactos dessa atividade no aumento da degradação dos solos e do escoamento superficial. Tais estudos podem promover técnicas de plantio mais eficientes, no intuito de diminuir estes impactos, melhorando a capacidade de percolação dos solos e diminuindo o volume de escoamento superficial (PEREIRA *et al.*, 2021).

Paisagens cársticas são ambientes formados por diversos processos de intemperismo químico (FORD & WILLIAMS, 1989). Estas paisagens são consideradas como extremamente sensíveis, ameaçadas principalmente pela degradação do solo e conseqüentemente por erosões (FEBLES-GONZÁLEZ *et al.*, 2011; FONSECA *et al.*, 2023; PARISE *et al.*, 2009). Em zonas cársticas, a erosão hídrica junto ao intemperismo químico provoca tanto erosões subterrâneas, quanto superficiais (ZENG, F. *et al.*, 2018).

Em períodos de chuvas intensas e constantes, o solo tende a atingir mais rapidamente o seu estado de saturação, ou seu limite de infiltração, originando o escoamento superficial (Q). Segundo Chaves e Piau (2008), fatores como a variação nos índices de precipitação e o tipo de uso e manejo podem afetar de forma significativa o índice de escoamento.

O fator Q é dividido em superficial, laminar ou concentrado, e o aumento das suas taxas reduzem o potencial de retenção hídrica do solo, diminuindo conseqüentemente a capacidade de recarga da bacia. Ademais, a sua tensão cisalhante possui impacto direto no processo de desencadeamento das erosões hídricas (VERDUM *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2010).

Cabe enfatizar que o escoamento superficial é considerado um dos maiores causadores de erosão e degradação do solo, gerando uma diminuição da espessura, ocasionada pelo aporte e arraste das partículas e nutrientes antes presentes nas camadas superficiais (SANTOS; GRIEBELER & OLIVEIRA, 2010; SILVA *et al.*, 2005).

Segundo os estudos de erosões do solo, a partir do local de origem, as perdas de solo podem ser divididas em dois tipos: *on-site* (internas) ou *off-sites*(externas). As erosões *off-site* possuem maior capacidade de impacto do que as erosões *on-site*, pois resultam na sedimentação no leito dos rios e cursos d'água (MINELLA *et al.*, 2009; WISCHMEIER & SMITH, 1978). No entanto, as *on-site* também podem ocasionar na perda de fertilidade do solo, gerando impacto na produtividade (MINELLA *et al.*, 2009).

Um dos maiores potencializadores das taxas de erosão e escoamento superficial é a degradação solo, gerado principalmente pela diminuição da cobertura vegetal (ARAÚJO NETO *et al.*, 2013). Segundo Fonseca *et al.* (2021), para o bioma Cerrado foi estimado uma perda média anual de solo de 0,1 (Mg ha⁻¹ ano⁻¹) para áreas de cobertura vegetativas naturais, 0,2 (Mg ha⁻¹ ano⁻¹) para regiões de pastagem e 19,4 (Mg ha⁻¹ ano⁻¹) para áreas de solo exposto. Segundo Chaves (2010), a tolerância de perda de solo em vertentes do Cerrados, pode variar de 4 a 12 (Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Por fim, cabe enfatizar que segundo Bertoni e Lombardi Neto (2008), para os solos Neossolo Litólico e Neossolo Quartzarênico, a tolerância máxima à erosão anual é de 4,2 (Mg ha⁻¹ ano⁻¹).

Um dos métodos mais utilizados para fazer a estimativa de volume de escoamento superficial é por meio do método de Curva de Número, mais conhecido como CN. Este método foi criado pelo Serviço de Conservação dos Solos (SCS-USDA). Atualmente este método é bastante utilizado, principalmente pela sua facilidade para a obtenção de dados, em que se utiliza as seguintes variáveis para a montagem de modelos: condições de umidade antecedente, condições hidrológicas, grupo hidrológico, função do uso e cobertura da terra (HAWKINS, 1993; WISCHMEIER & SMITH, 1978).

O fator de cobertura (C) é extremamente importante no ponto de vista da conservação e manejo do solo, pois tem influência direta na redução dos níveis de erosão (WISCHMEIER & SMITH, 1978). O fator C varia de 0 a 1 – quanto mais próximo de 0, mais práticas conservacionistas o local possui. Em contrapartida, coberturas com valores mais próximos de 1 tendem a ser mais degradadas. Por isso, tem-se que o fator C varia de acordo com a erosividade e erodibilidade para cada tipo de cultura e manejo do solo (BERTOL *et al.*, 2002).

Estudos como o de Palma *et al.* (2015) e Renfro (1975), mostram que além da declividade, tipo e textura de solo, a cobertura e o manejo do solo influenciam no aumento ou diminuição da infiltração de água daquele local, e por consequência nos níveis de escoamento superficial e erosão hídrica.

Nesse sentido, a qualidade e saúde de um solo depende fortemente dos processos de manejo da vegetação ou degradação que ocorrem no seu perímetro (CHAVES & PIAU, 2008; DIAZ & QUERNER, 2005). Portanto, locais mais preservados apresentam solo mais equilibrados e conseqüentemente uma bacia mais saudável, pois a vegetação é uma aliada contra as erosões hídricas e o aporte de sedimentos (CHAVES & PIAU, 2008; LAFLEN *et al.*, 1978; ZUAZO & PLEGUEZUELO, 2008).

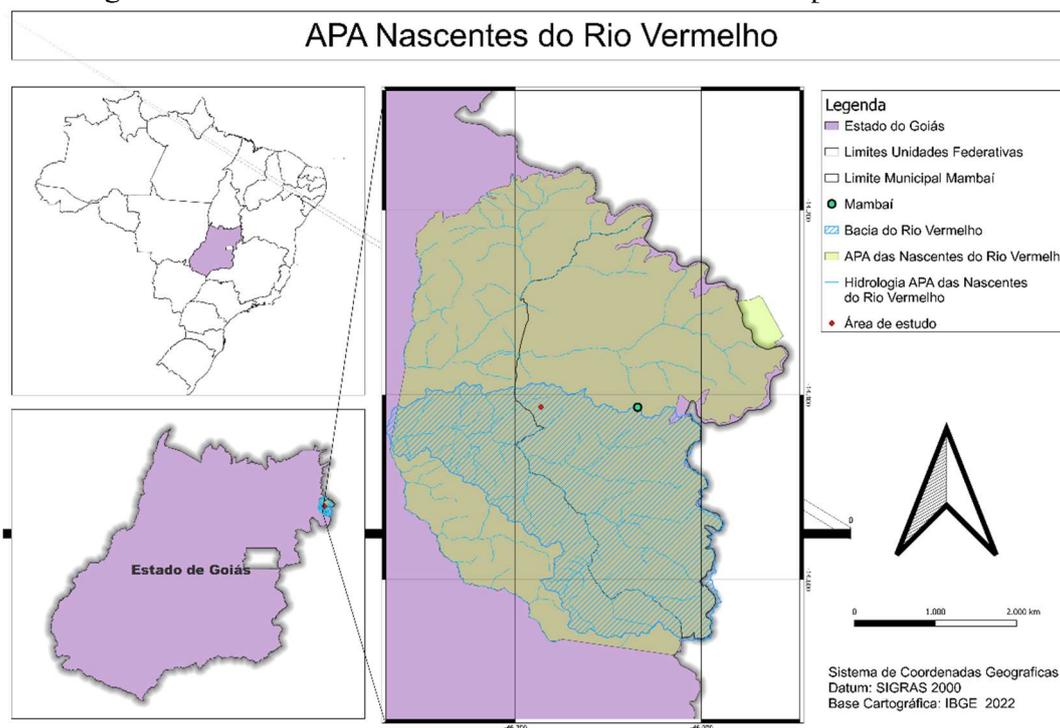
Por fim, cabe enfatizar que a criação de projetos de conservação, que visem a geração e manutenção de serviços ecológicos, também podem ser valorados economicamente. Gerando além dos benefícios ambientais e ecossistêmicos, uma renda para as famílias produtoras locais, assim como já acontece na região do Pípiripau-DF, por meio do Programa Produtor de Águas (CHAVES, 2004).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado na região de Mambai, localizado no nordeste do estado de Goiás e na divisa com o estado da Bahia, a oeste (Figura 1). Parte do município faz parte da Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho (APA-NRV).

Figura 1 - APA das nascentes do Rio Vermelho - Município de Mambai



Fonte: Elaboração própria

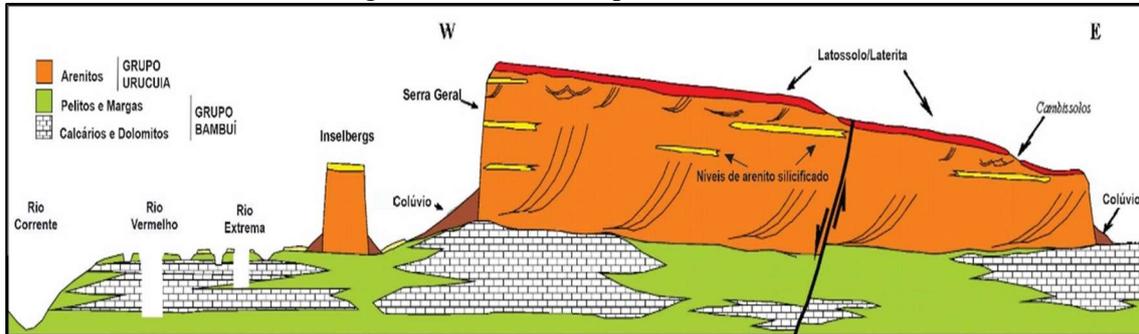
O clima da região é típico do bioma Cerrado Central, caracterizado por ser tropical, com temperatura média superior a 18°C e índice pluviométrico entre 1200 a 1500 mm/ano (NASCIMENTO & NOVAIS, 2020).

A área do experimento está inserida em ambiente cárstico, próximo à Gruna da Tarimba (Mapa 2), onde diversas pesquisas que visam subsidiar de planos de conservação e manejo da APA são desenvolvidas (LOBO *et al.*, 2015).

A geomorfologia do local é denominada pelo Chapadão Central, formado pela porção superior do Grupo Urucuia constituída de quartzo arenitos e arenitos feldspáticos eólicos, com conformação de níveis silicificados não consolidados (Figura 2). A porção inferior é composta pelo Grupo Bambuí formado de rochas pelíticas intercaladas com

carbonatos (GASPAR & CAMPOS, 2007; TAVARES *et al.*, 2021). Quanto aos solos, os principais tipos do local são: Neossolo Quartzarênico (85%), Neossolo Litólito (9%), Latossolo Amarelo (5%) e Cambissolo háptico (0,9%) (SANTOS, 2015).

Figura 2 - Sistema Aquífero Urucuia



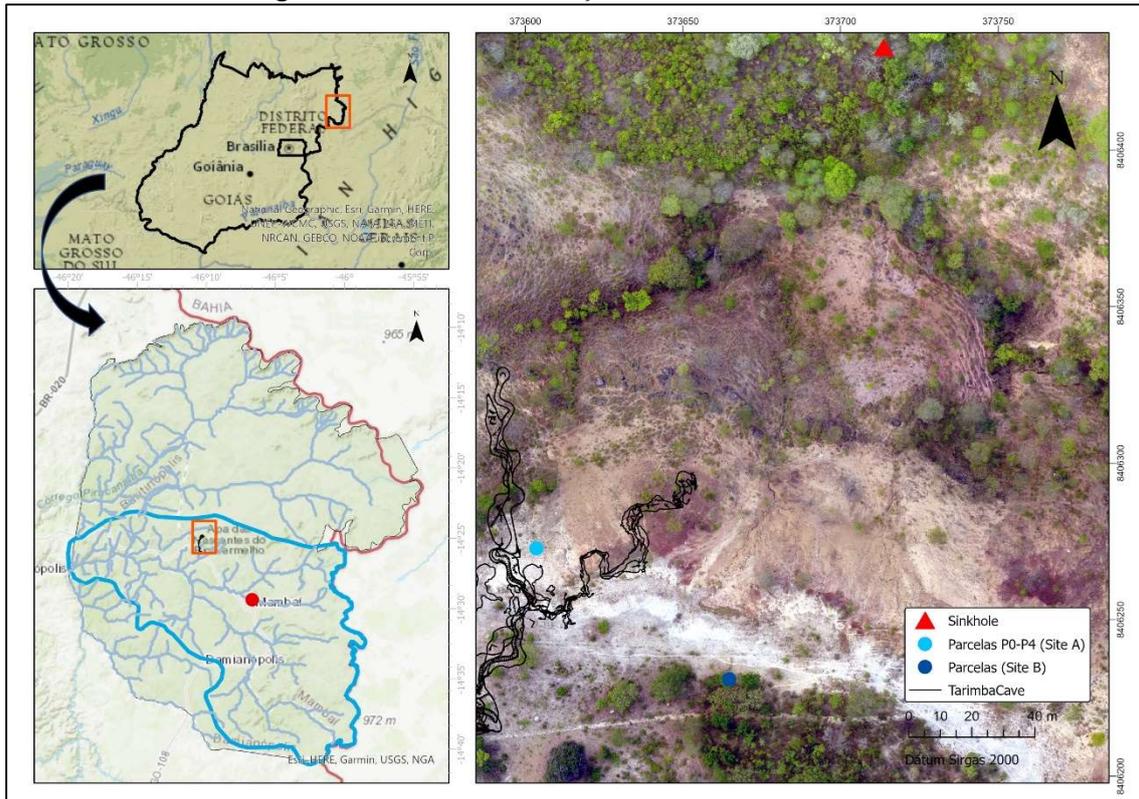
Fonte: Gaspar e Campos (2007).

4.2 Área do experimento – parcelas

Para a realização da quantificação da perda de solo e escoamento superficial, foram analisadas seis parcelas de enxurrada, cada uma contendo diferentes tipos de cobertura solo. Cada parcela tem comprimento de 22,1m e largura 1,80m, totalizando uma área de 39,78m² (Figura 3).

As seis parcelas foram denominadas como P0, P1, P2, P3, P4 e P5 (Quadro 1). A P0 é a parcela com solo exposto, P1 e P3, foram restauradas com vegetação nativa sem cobertura de juta, P2 e P4 foram restauradas com vegetação nativa com cobertura de juta e a parcela P5 foi instalada em uma área de cerrado nativo próximo às demais parcelas (Figura 3).

Figura 3 – Área de instalação das Parcelas P0 à P4



Fonte: Fonseca, 2023

Quadro 1 - Cobertura de solo por parcela

PARCELAS	COBERTURA DO SOLO
P0	Solo Exposto
P1-P3	Semeadura direta sem presença de juta
P2-P4	Semeadura direta com presença de juta
P5	Vegetação de floresta nativa - Cerrado

Fonte: Elaboração própria

A restauração ecológica foi realizada no local, no ano de 2018, com processos de adubação verde e plantio direto com espécies de cerrado nativo, conforme apresentado no Quadro 2 (FONSECA *et al.*, 2023).

Quadro 2 - Espécies nativas usadas na recuperação das parcelas P1-P4

Árvores	Arbustos	Gramíneas
Pau Santo (<i>Kielmeyera coriacea</i>)	Assa Peixe (<i>Vernonanthura sp.</i>)	Capim Andropogon (<i>Andropogon fastigiatus</i>)
Ipê Caraíba (<i>Tabebuia aurea</i>)	Capaibinha (<i>Copaifera sp.</i>)	
Jacarandá Bico de Papagaio (<i>Machaerium acutifolium</i>)	Amargoso (<i>Lepdaploa aurea</i>)	
Guatambu do Cerrado (<i>Aspidosperma macrocarpum</i>)		
Tingui (<i>Magonia pubecens</i>)		
Amburana (<i>Amburana cearenses</i>)		
Aroeira Preta (<i>Myracrodruon urundeuva</i>)		

Fonte: Fonseca *et al.* 2023.

A figura 4 mostra as parcelas P0-P4, em que a parcela P0 se encontra completamente sem vegetação, pois é realizada uma manutenção constante, a fim de preservar a parcela teste. Nas demais parcelas P1-P4, pode-se observar as espécies utilizadas para a restauração ecológica (Quadro 2).

Figura 4 - Parcelas de enxurrada



Quanto a P5, conforme a Figura 5, a mesma foi instalada em uma área de cerrado não degradado, com presença de gramíneas e espécies arbustivas de 3 a 8m (FONSECA *et al.*, 2023).

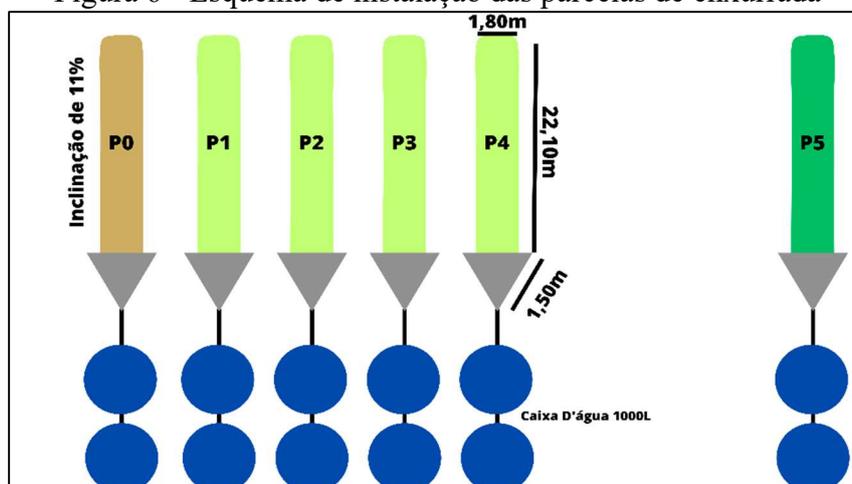
Figura 5 - Parcela 5 em área de Cerrado



Fonte: Toledo (2022).

A vertente onde estão instaladas as parcelas de enxurrada tem 11% de declividade, onde na zona mais baixa foram instaladas duas caixas d'águas de 1000 litros por parcela, com uma calha redutora de zinco e um cano de PVC de 75mm na extremidade (Figura 6). A fim de não haver a entrada de água de outra calha de enxurrada, as mesmas foram separadas por aço galvanizado de 50cm e enterradas a 25cm.

Figura 6 - Esquema de instalação das parcelas de enxurrada



As caixas d'água armazenam a água escoada nas parcelas. Após a primeira caixa atingir a capacidade máxima, por meio do cano que a liga com a segunda, a água será transbordada para a segunda caixa (FONSECA *et al.*, 2023).

As amostras foram armazenadas e coletadas a cada 15 dias em períodos de chuva menos intensos, e com maior frequência em períodos de chuva intenso. Durante o

momento da coleta, as amostras foram agitadas com um bastão, a fim de misturar os sedimento depositado no fundo da caixa d'água conferindo maior homogeneidade às amostras.

As parcelas de enxurrada P0 a P4 foram instaladas sob Neossolo Litólico derivado de pelito, e a parcela P5 sobre Neossolo Quartzarênico (Tabela 1).

Tabela 1 - Características do solo por parcela

Parcelas	Tipo de solo	Profundidade (cm)	Textura (%)			Classe	NRCS Grupo Hidrológico
			Areia	Silte	Argila		
P0 - P4	Neossolo Litólico	15	63,83	31,46	4,71	Areno Argiloso	C
		40	41,28	50,25	8,47	Argiloso	
		70	25,34	66,13	8,53	Argiloso	
P5	Neossolo Quartzarênico	20	93,04	6,07	0,89	Arenoso	A
		40	93,87	5,15	0,98	Arenoso	
		70	92,77	6,11	1,12	Arenoso	

Fonte: Fonseca *et al.*, 2023.

4.3 Amostragem e processamento das amostras

O período analisado por este trabalho refere-se ao 5º ano hidrológico, que compreende os meses de outubro de 2022 a setembro de 2023. O primeiro ano de instalação e monitoramento foi realizado em 2018 pela Doutora Maria Rita Souza Fonseca, que conduziu os estudos dos 3 primeiros anos hidrológicos referentes aos períodos de 2018-2019, 2019-2020, 2020-2021. O 4º ano hidrológico foi conduzido pelo Engenheiro Florestal Alexandre Campos de Toledo, referente ao período de 2021-2022.

Todas as amostragens foram realizadas no laboratório de Geoquímica da Universidade de Brasília, onde foi realizada separação do material e a pesagem. No primeiro ano hidrológico foram feitas 15 mensurações, 18 no segundo ano, 19 no terceiro ano (FONSECA *et al.*, 2022), 23 no quarto ano hidrológico (TOLEDO, 2022), e 11 no quinto ano.

A primeira coleta deste trabalho foi realizada no dia 18 de novembro de 2022, as demais foram feitas a cada 15 dias em períodos de chuvas menos intensos e com maior frequência em períodos de chuva abundante. Todas as amostras foram realizadas por um auxiliar de campo que reside na cidade de Mambai, armazenadas e enviadas para Brasília, de mês em mês.

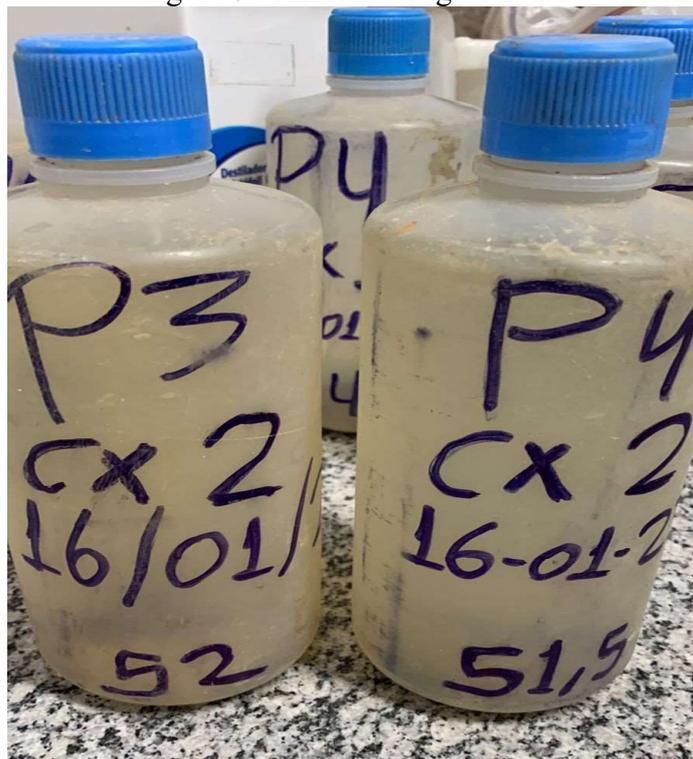
As coletas de escoamento de água foram feitas a partir da medição do nível de águas das caixas d'água armazenadoras; na qual para cada parcela foi realizada uma mensuração, por meio da razão do volume total das duas caixas e a área total (BAGARELLO & FERRO, 2010).

$$Q = \frac{V}{A_p}$$

Para Q (mm) atribuímos a unidade de volume de escoamento no período; V(L) é o volume de escoamento do período; A_p (m^2) é a área total do terreno.

Para a perda de solo, as amostras foram obtidas também a partir das caixas d'água, onde o escoamento superficial e o sedimento erodido ficaram armazenados. A amostra líquida foi coletada e identificada com o número da parcela e da caixa, data da coleta e quantidade de chuva, em mm (Figura 7).

Figura 7 - Amostras engarrafadas



No laboratório de geoquímica da UnB, as amostras foram separadas por dia de coleta. Após a triagem, as amostras foram colocadas em beakers de 1L, e levadas a uma mesa secadora à 150°C (Figura 8). A intenção deste processo é permitir a separação do sedimento sólido (Figura 9).

Figura 8 - Amostras montadas em mesa secadora



Figura 9 - Amostras de solo após o processo de evaporação da água



Após a secagem das amostras, o becker com o sedimento foi pesado e armazenado em tubos, contendo a data da coleta e número da parcela e caixa (Figura 10).

Figura 10 - Amostras de solo secas



4.4 Cálculo de precipitação, escoamento superficial e perda de solo

Depois do processo de raspagem e pesagem das amostras secas, os dados foram inseridos em um banco de dados para calcular a perda de solo e o escoamento superficial

por meio de cálculos que utilizam o produto da concentração do sedimento, a área total das parcelas, e o volume de escoamento das caixas d'água (ANACHE *et al.*, 2018).

$$Ps = C * \frac{V}{A_p}$$

No qual, Ps (Mg ha⁻¹) = perda total de solo do período analisado; C (gL⁻¹) = concentração de sedimento por amostra; V (L) = volume total de escoamento dos tanques da parcela no período; e A_p (ha) = área da parcela.

Também foi realizada a normalização do escoamento superficial em cada parcela, a fim de eliminar a influência dos cinco anos experimentais, e isolar os efeitos da recuperação do solo, e o escoamento anual (FONSECA *et al.*, 2023).

$$Q_n = 100 * \frac{Q}{P}$$

No qual, Q_n = normalização do escoamento (%), Q = escoamento anual (mm ano⁻¹); P = precipitação anual (mm).

Para o levantamento da perda de solo foi realizada a normalização do valor anual (FONSECA *et al.*, 2021).

$$A_n = 100 * \frac{A}{R}$$

Na qual, A_n = perda de solo normalizada (t ano⁻¹MJ⁻¹mm¹h); A = perda de solo (Mg ha⁻¹ano⁻¹); R = erosividade da chuva (MJ mm ha⁻¹h⁻¹).

Por meio da equação regional de Fournier, para todos os anos hidrológicos, foi calculada a erosividade da chuva com a utilização dos dados de precipitação mensal e anual (SILVA, 2004).

$$R = 12.592 * \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{M_i^2}{P} \right)^{0,603}$$

Em que, R = Erosividade da chuva anual (MJ mm ha⁻¹hr⁻¹) Mi = precipitação mensal (mm), P = precipitação anual (mm).

Para fundamentar a efetividade da restauração ecológica das parcelas P1-P4, foi utilizado fator C das USLE, que varia de 0 a 1 (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

$$C_i = \frac{A_i}{A_0}$$

Na fórmula acima, a variável Ci = Fator USLE-C (0-1) por cobertura i; Ai = perda de solo anual na parcela coberta i (Mg ha ano⁻¹); A0 = perda de solo anual na parcela descoberta (Mg ha ano⁻¹).

Após a obtenção dos dados de erosão anual por parcela, foi feita a comparação dos valores de escoamento, com a capacidade máxima de tolerância dos solos do cerrado segundo Chaves (2010), a fim de avaliar o grau de degradação das parcelas. Para a comparação, entre as parcelas de recuperação e a de cerrado nativo, os dados referentes aos seus respectivos solos, Neossolo Litólico e Neossolo Quartzarênico, foram obtidos no livro “Conservação do solo” (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008).

4.5 Cálculo do coeficiente de escoamento superficial

Para o estudo foram utilizadas as equações de NRCS (2004) para obter os valores de escoamento superficial (CN) em cada uma das parcelas.

$$Q = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{(P + 0,8 * S)}$$

Na qual, a variável Q = superfície de escoamento superficial (mm); P = volume da precipitação (mm); S = fator de abstração (sem dimensão).

$$S = \left(\frac{25,400}{CN} \right) - 254$$

Na qual, a variável S = fator de abstração (sem dimensão); CN = número-curva (0-100, sem dimensões).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Precipitação e escoamento superficial

O volume de chuva e erosividade do quinto ano hidrológico foi muito menor que o do quarto ano, que foi considerado como um ano atípico pelos seus valores acima do comum. No entanto, quando comparado com os três primeiros anos, pode ser considerado como o de segunda menor erosividade, por conta da baixa precipitação (Tabela 2).

Tabela 2 - Dados da precipitação e erosividade dos cinco anos hidrológicos

Ano hidrológico	Precipitação (mm)	Erosividade (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)
2018-2019	1.223,6	7.440
2019-2020	1.295,1	7.746
2020-2021	935,5	6.694,1
2021-2022	1.494,8	8.692,8
2022-2023	1095,5	7.246,1

Fonte: Fonseca *et al.*,(2023) e Toledo (2022).

Quando comparados com os valores de precipitação coletados pelo IMNET para a localidade de Posse, foi confirmado que regionalmente houve uma baixa precipitação para o quinto ano hidrológico. Por ser uma variável com influência proporcionalmente direta da precipitação, segundo Chaves (2010), a erosividade para o 5º também foi menor quando comparada com os demais anos, exceto o ano três; seguindo o padrão da precipitação.

Nos gráficos 1 e 2, apresenta-se o volume médio do escoamento (Q) e o escoamento por parcela normalizado pela precipitação anual (Q/P).

Gráfico 1 - Média do volume de escoamento para o quinto ano hidrológico por parcela

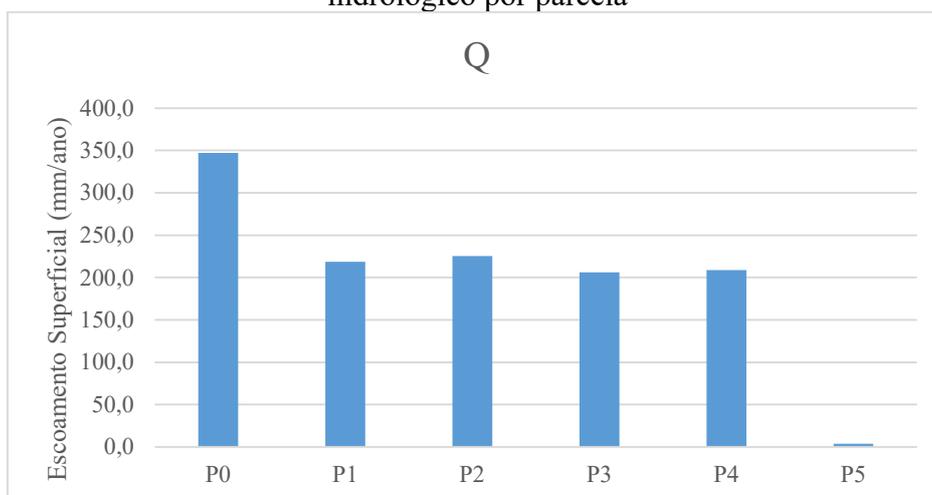
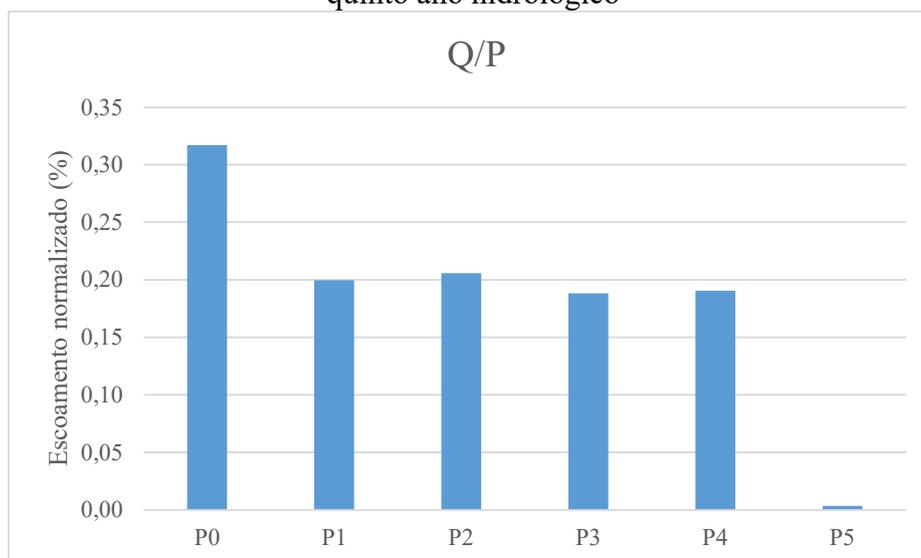
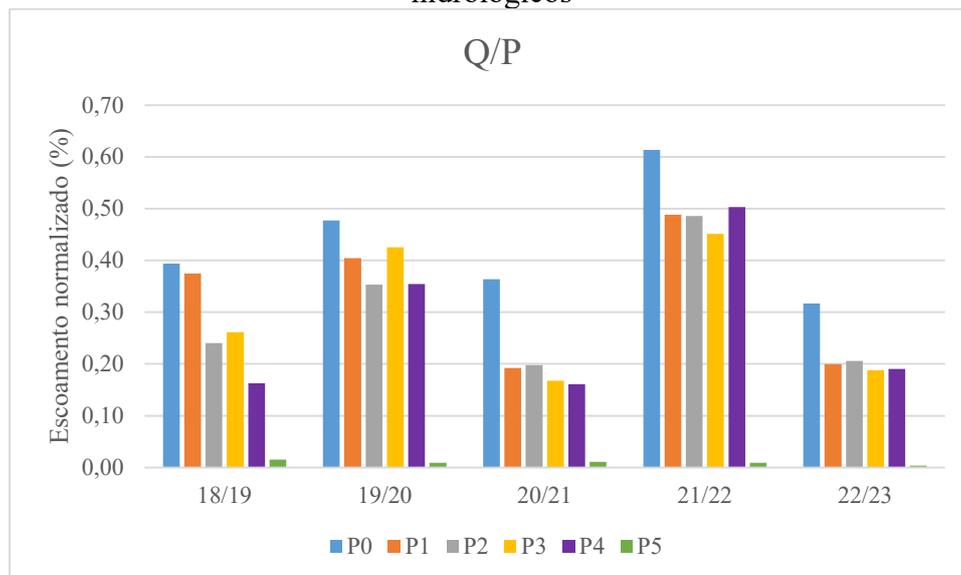


Gráfico 2 - Dados por parcela normalizados pela precipitação do quinto ano hidrológico



Apesar dos baixos valores de precipitação do quinto ano, tendo como referência os quatro primeiros e o já descrito por Fonseca *et al.* (2023) e Toledo (2022), é possível observar que há uma tendência de diminuição dos valores de escoamento superficial da P0-P5 (Gráfico 3). Os valores de Q/P indicam que ambas as parcelas restauradas sem juta (P1/P3) e com juta (P2/P4) contribuíram para o aumento da infiltração da água e redução do escoamento superficial.

Gráfico 3 – Dados por parcela normalizados pela precipitação nos cinco anos hidrológicos

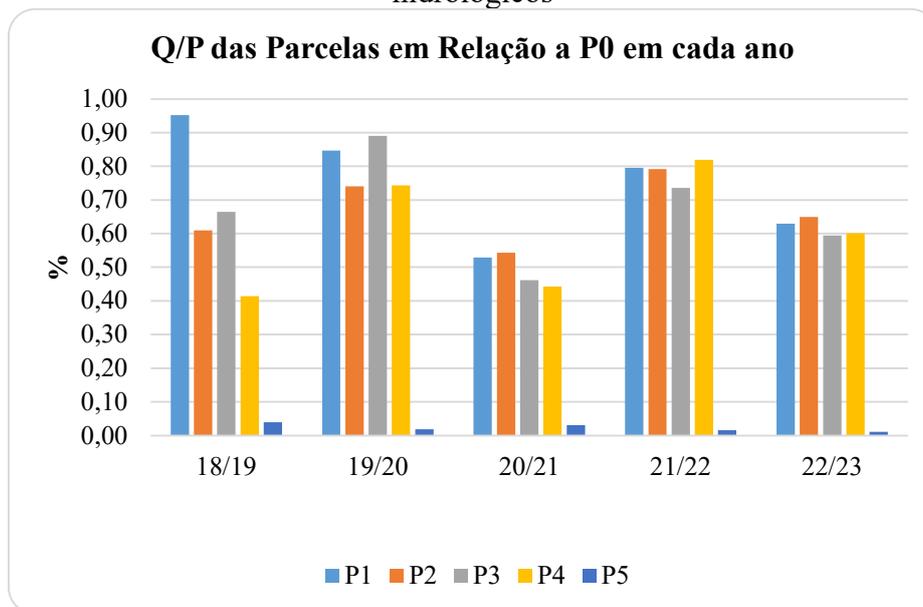


Conforme reportado por Fonseca *et al.* (2023), observou-se uma mudança na cobertura do solo nas áreas próximas da restauração, fator essencial para diminuir o escoamento superficial no local ao longo dos anos de estudo, fenômeno também já citado anteriormente por Palma (2015) e Chaves & Piau (2008).

Para as parcelas em restauração P1-P4 (Neossolo Litólico), houve uma variação nos valores de escoamento anual, tendo seus maiores valores registrados no quarto ano hidrológico. Para a P5, cerrado nativo (Neossolo Quartzarênico), o valor de Q se manteve próximo de zero.

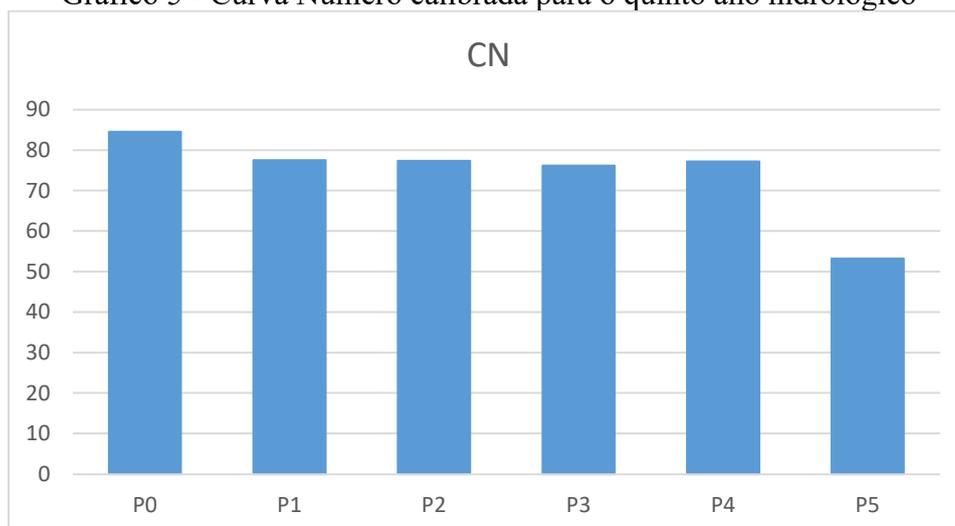
No Gráfico 4, após normalizada pela precipitação, a parcela P0 que se refere a de solo exposto, apresentou uma diminuição de 0,36 (ano 3) e 0,61 (ano 4), para 0,32 no ano 5. Já a parcela 5, mesmo estando próximo de 0 desde o primeiro ano, ainda assim apresentou uma diminuição com o passar do tempo.

Gráfico 4 - Dados por parcela normalizados em relação a P0 nos cinco anos hidrológicos



No Gráfico 5 é apresentado os valores escoamento superficial por meio da utilização da Curva Número (CN), nela é possível visualizar um mesmo padrão já descrito por Fonseca (2023), de que não há uma diferença muito significativa entre as parcelas recuperadas sem juta (P1 e P3) e nem para as parcelas recuperadas com juta (P2 e P4). Ademais, os números da CN mostram que existe uma discrepância muito grande entre a P0, quando comparadas à P5.

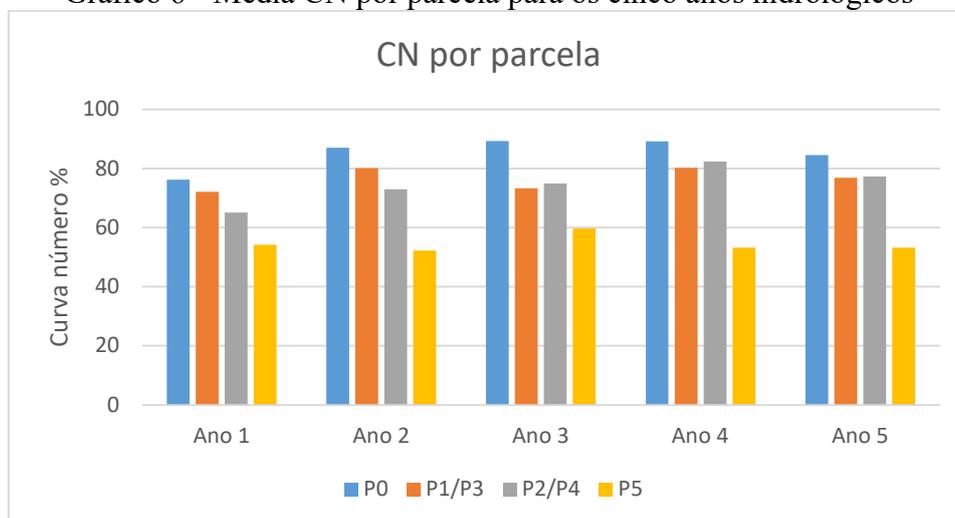
Gráfico 5 - Curva Número calibrada para o quinto ano hidrológico



Quando comparados com os quatro anos hidrológicos anteriores, obtidos por Fonseca *et al.* (2023) e Toledo (2022), os valores da P0 a P5 apresentaram um decréscimo.

Ademais, foi possível observar que os valores de CN de cada parcela apresentaram uma pequena variação ao longo dos anos (Gráfico 6).

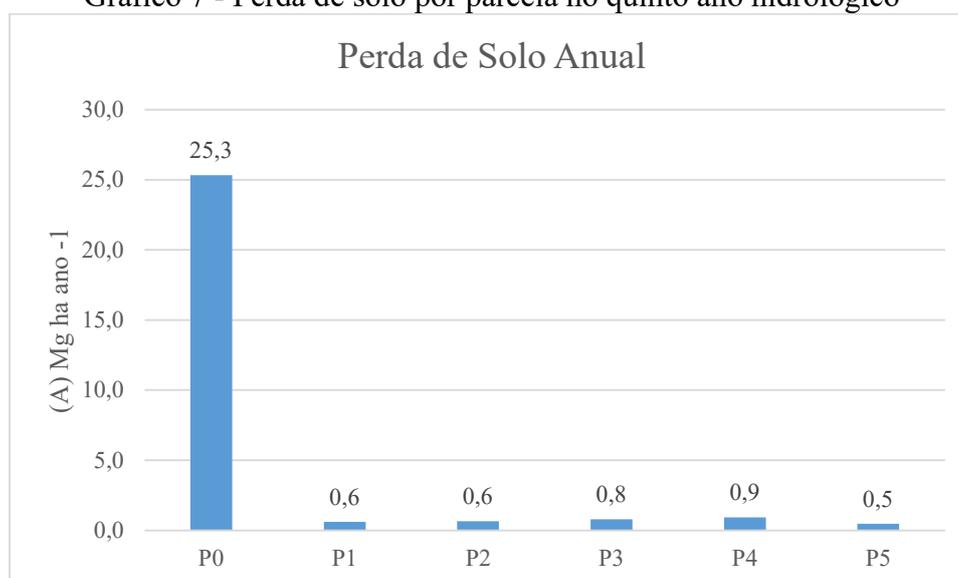
Gráfico 6 - Média CN por parcela para os cinco anos hidrológicos



5.2 Perda de solo local

A perda anual de solo (A) para o ano cinco teve o seu maior valor de 25 Mg ha ano⁻¹ para a P0, o que já era esperado, pois seguiu o comportamento dos quatro anos anteriores, onde a perda de solo da parcela foi muito maior que as demais parcelas, o que pode ser explicado pela falta de cobertura vegetal na parcela (Gráfico 7).

Gráfico 7 - Perda de solo por parcela no quinto ano hidrológico



Para as parcelas restauradas, P1 e P3, a perda anual média foi de 0,7 Mg ha ano⁻¹, já para as P2 e P4 foi de 0,75 Mg ha ano⁻¹; enquanto a P5 foi de 0,5 Mg ha ano⁻¹, sendo a parcela com menor perda de solo, e seguindo o padrão dos quatro anos anteriores.

Como explicado por Chaves & Piau (2008), os baixos índices de precipitação e o menor número de coletas em relação aos demais anos, influenciou para que a perda de solo anual, estimada para o quinto ano hidrológico, fosse a menor dos cinco anos de estudo para as parcelas P2 e P5. No entanto, essa diferença foi bem pequena, tendo em vista que os valores encontrados para o ano cinco não foram muito menores que os registrados por Fonseca *et al.* (2023) no seu terceiro ano de estudo, onde a precipitação anual foi a mais baixa registrada dentre os cinco anos de estudo. Na Tabela 3 são apresentados os valores de perda de solo anual para os cinco anos hidrológicos.

Tabela 3 - Dados de perda de solo anual dos cinco anos hidrológicos (ton/ha)

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
P0	38,6	32,5	31,7	98,6	25,3
P1	10,0	4,8	0,4	4,7	0,6
P2	9,0	4,9	0,8	5,1	0,6
P3	14,4	3,4	0,6	4,8	0,8
P4	5,9	3,7	0,7	5,2	0,9
P5	1,6	0,1	0,6	18,2	0,5

O Gráfico 8 apresenta a perda de solo normalizada pela erosão causada pela chuva (100 A/R) para todas as parcelas no quinto ano hidrológico. Já o Gráfico 9 mostra detalhadamente como foi este comportamento para todos os anos de estudo.

Gráfico 8 - Perda de solo normalizada pela erosividade no quinto ano hidrológico por parcela

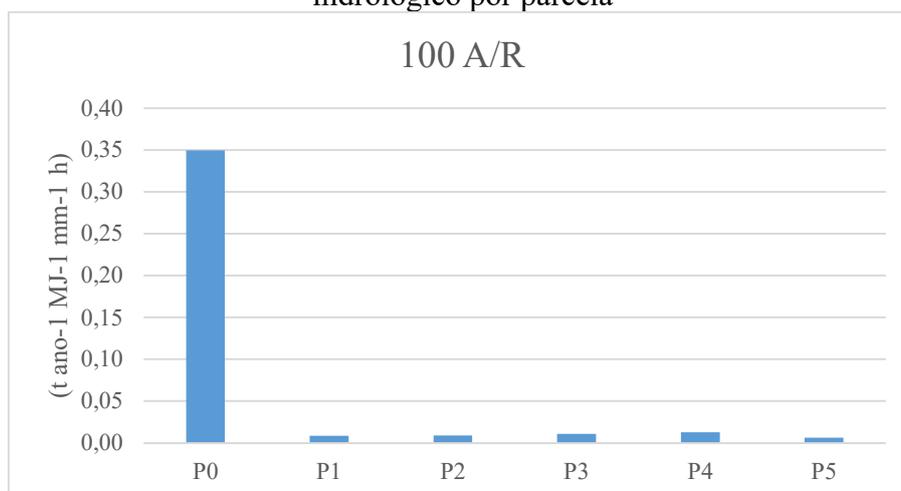
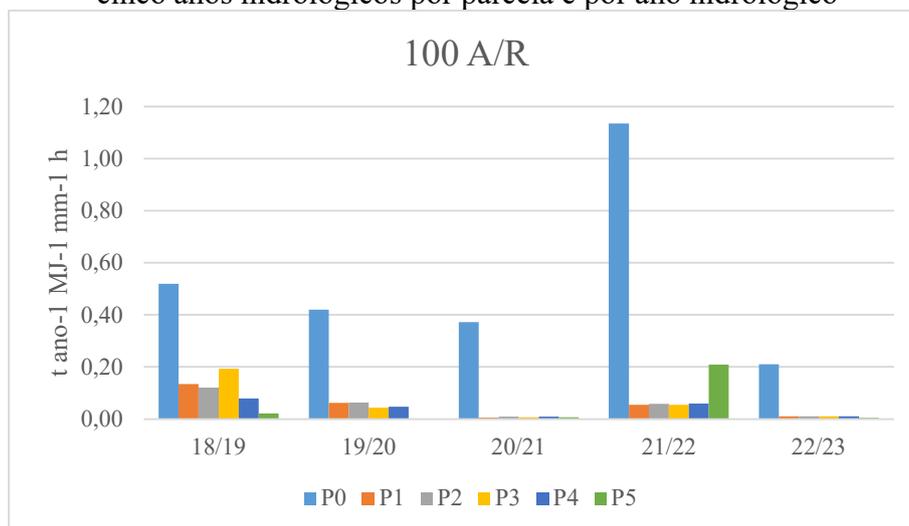


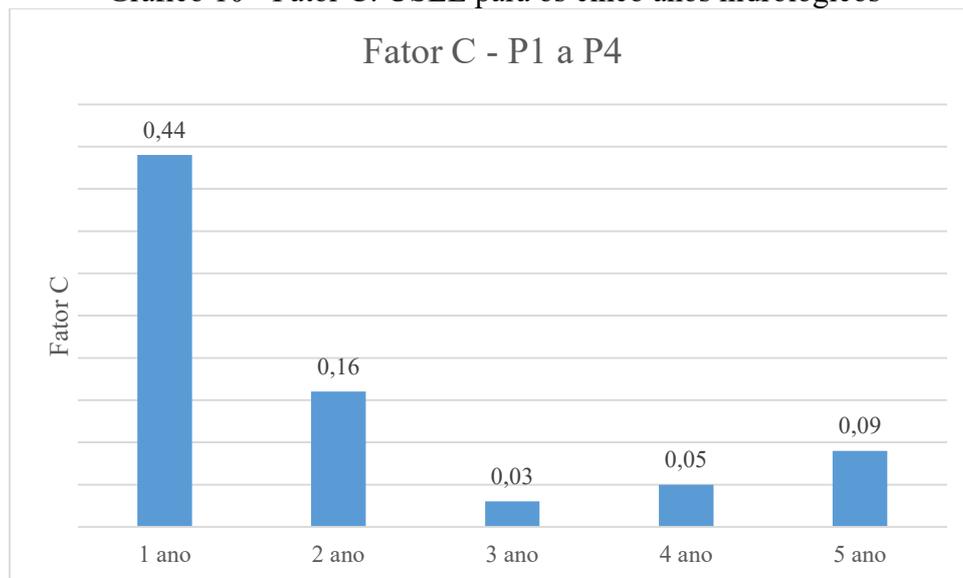
Gráfico 9 - Perda de solo por parcela normalizada pela erosividade nos cinco anos hidrológicos por parcela e por ano hidrológico



O gráfico mostra que os valores de perda de solo normalizados para as parcelas restauradas (N. Litólico) para o quinto ano foram próximos da parcela de cerrado nativo (N. quartzarênico), apontando que a restauração hidrosedimentológica foi efetiva no local.

Essa diminuição de perda de solo observada nas parcelas restauradas (P1 e P4), em relação aos primeiros anos de estudo, pode ser explicada pelo desenvolvimento da vegetação, e aumento das raízes, que realizam o trabalho de proteção do solo contra a erosividade da chuva, diminuindo o processo de erosão e enxurrada do solo (PALMA, 2015; SILVA & SANTOS, 2009).

Gráfico 10 - Fator C: USLE para os cinco anos hidrológicos

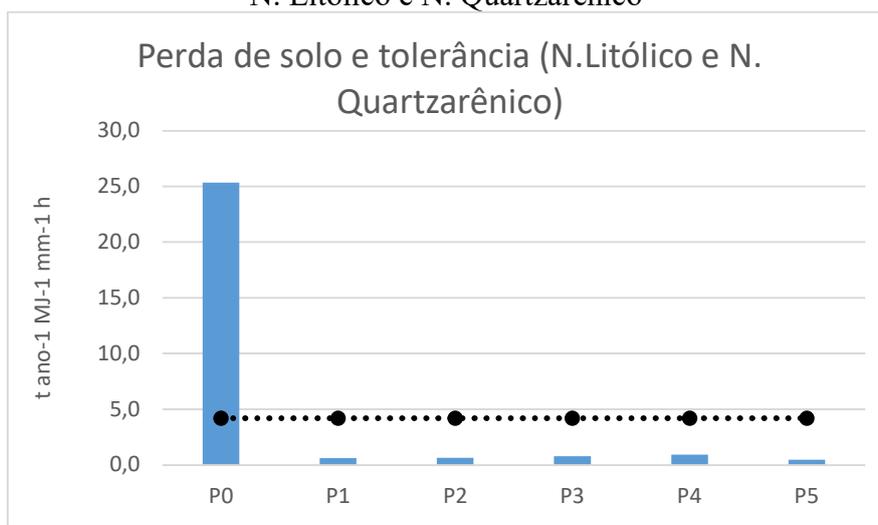


O fator C das P1 e P4 para o quinto ano hidrológico foi de 0,09 (Mg há^{-1}), que quando comparado com o ano anterior apresentou um pequeno aumento. No entanto, comparando os valores das parcelas restauradas com a P5, que apresentou um fator C de 0,04 (Mg há^{-1}), observa-se que os valores entre a parcela de cerrado e as demais, não estão muito divergentes. Ainda, se associado com a diminuição de mais de 80% em relação aos valores do primeiro ano de estudo de Fonseca *et al.* (2023), é possível concluir assim como nos estudos de (RENFRO, 1975; PALMA, 2015; SILVA & SANTOS, 2009) que o aumento da cobertura vegetativa e manejo do solo, foi de fato efetiva para a restauração ecológica das parcelas P1-P4.

5.3 Tolerância à erosão

Considerando os valores de tolerância a erosão segundo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008), no qual foi estipulado que para os solos Neossolo Litólico e Neossolo Quartzarênico, a tolerância on-site máxima é de $4,2 \text{ Mg ha ano}^{-1}$. Se comparados com os valores obtidos no 5º ano, além da P5 de cerrado nativo (N. Quartzarênico), as demais parcelas restauradas (P1 aP4) também se encontram muito abaixo da tolerância máxima para N. Litólico (Gráfico 11).

Gráfico 11 - Perda de solo das parcelas P0-P5 e tolerância máxima N. Litólico e N. Quartzarênico



Quanto a parcela P0, mesmo apresentando o menor valor de todos os cinco anos de estudo (25 Mg ha ano⁻¹), a perda de solo ainda assim excedeu muito o valor de tolerância on site, para o tipo de solo da parcela (N. Litólico). No entanto, essa diminuição pode indicar que a restauração da cobertura das parcelas P1 a P4 pode estar sendo efetiva para uma melhoria na qualidade do solo do local e para a diminuição da degradação permanente. (CHAVES, 2010; CHAVES; *et al.*, 2017; FONSECA *et al.*, 2023).

6 CONCLUSÃO

A partir dos estudos do quinto ano hidrológico, foi possível concluir que os valores de perda anual de solo (A) e de escoamento superficial (Q) apresentaram uma diminuição, seguindo os padrões dos três primeiros anos. Quanto aos valores de CN, concluiu-se que não existe grande diferença entre as parcelas restauradas (P1 a P4). No entanto, existe uma grande discrepância quando comparamos a parcela descoberta (P0) com a de cerrado nativo (P5).

Em relação à tolerância de erosão, os valores de R encontrados nos estudos do ano cinco mostram que as parcelas restauradas, P1 a P4, possuem valores próximos ao da P5, e estão abaixo do valor de tolerância, o que indica sucesso da restauração ecológica estabelecida no local.

O Fator de Cobertura apresentou um valor maior em relação ao ano anterior, mas não significativo. Além disto, quando comparado o Fator C obtido nas parcelas restauradas e na de cerrado nativo, observou-se que os valores não estão muito divergentes, o que comprova, novamente, que as sucessões das espécies plantadas no local promoveram uma diminuição do fator de cobertura, possibilitando a restauração ecológica das parcelas.

Os estudos indicaram que a precipitação anual e as práticas conservacionistas de manejo influenciam fortemente os valores de escoamento superficial. A redução da perda de água e de solo pode gerar benefícios ambientais a nível local, tanto dentro como fora da propriedade estudada, e benefícios em escala regional, podendo contribuir para a preservação de bacias e paisagens da APA Nascentes do Rio Vermelho.

Por fim, é importante citar que apesar dos grandes esforços por parte da equipe do ICMBio, a região de Mambaí possui pouco engajamento por parte dos moradores, para alavancar projetos de restauração e conservação, principalmente por se tratar de comunidades mais tradicionais. E por isso é importante a criação de incentivos fiscais, como por exemplo, o Programa Produtor de Água, visando estimular os produtores locais. Além do engajamento de pesquisadores e universidades na região, com o intuito de promover ações e estudos, que visem proteger as áreas da APA.

REFERÊNCIAS

ADÂMOLI, J. *et al.* Caracterização da região dos Cerrados. *In: GOEDERT, W. J. Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo.* Brasília: EMBRAPA/CPAC, p. 33-74. 1986.

ANACHE, J. A. A. *et al.* Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado. **Science of The Total Environment**, v. 622–623, p. 140–151, maio 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717333156>. Acesso em: 6 jul. 2023.

ARAÚJO NETO, J. R. *et al.* Análise comparativa do escoamento superficial de microbacias experimentais em clima semiárido tropical. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 2, p. 111-120, 2013. Disponível em: <http://www3.ufrb.edu.br/seer/index.php/wrim/article/download/1615/847>. Acesso em: 6 jul. 2023.

BAGARELLO, V.; FERRO, V. Plot-scale measurement of soil erosion at the experimental area of Sparacia (southern Italy). **Hydrological Processes**, v. 18, n. 1, p. 141-157, 2004.

BAGARELLO, V.; FERRO, V. Analysis of soil loss data from plots of differing length for the Sparacia experimental area, Sicily, Italy. *Biosystems Engineering*, v. 105, n. 3, p. 411–422, mar. 2010.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para milho e aveia em rotação com outras culturas em três sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 545-552, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000200029>. Acesso em: 6 jul. 2023.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6. ed. São Paulo: Editora Ícone. 2008.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7. ed. São Paulo: Editora Ícone. 2010.

Chaves, H.M.L., Braga, B., Domingues, A.F. & Santos, D.G. **Quantificação dos benefícios ambientais e compensações financeiras do “Programa do Produtor de Água” (ANA): I. Teoria.** *Brazilian Journal of Water Research*, 9, 5–14, 2004.

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, n. 4, p. 1469–1477, ago. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400043>. Acesso em: 6 jul. 2023.

CHAVES, H. M. L.; PIAU, L. P. Efeito da variabilidade da precipitação pluvial e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimento de uma bacia hidrográfica do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 333-

343, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100031>. Acesso em: 6 jul. 2023.

CHAVES, H. M.; CONCHA LOZADA, C. M.; GASPAR, R. O. Soil quality index of an Oxisol under different land uses in the Brazilian savannah. **Geoderma Regional**, v. 10, p. 183–190, set. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.07.007>. Acesso em: 6 jul. 2023.

COSTA, A. A; BORGES, V. C. Brincar, criar e aprender: a Geografia e o ensino de solos em cores, textura e arte. *In*: MORAIS, E. M. B de; MORAES, L. B. **Formação de professores: conteúdos e metodologias no ensino de Geografia**. Goiânia: NEPEG, 2010. p. 137-154.

DEMARCHI, J.; PIROLI, E.; ZIMBACK, C. Estimativa de perda de solos por erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão das Perobas (SP) nos anos 1962 e 2011. **Ra'eGa: O Espaço Geográfico em Análise**, v. 46, p. 110, 21 mar. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v46i1.56746>. Acesso em: 6 jul. 2023.

DIAZ, R. A.; QUERNER, E. P. Estimating the climate change effect upon flood risk reduction by afforestation. *In*: WAGENER, T. *et al.* (ed.). **Regional hydrological impacts of climate change: impact assessment and decision-making**. Wallingford/UK: IAHS, 2005. p. 248-253.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999. 412 p.

GLOBAL Soil Partnership endorses guidelines on sustainable soil management. **FAO**, 27 maio 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/highlights/detail/en/c/416516/>. Acesso em: 6 jul. 2023.

FEBLES-GONZÁLEZ, J. M. *et al.* Assessment of soil erosion in karst regions of Havana, Cuba. **Land Degradation & Developmen**, v. 23, i. 5, p. 465–474, jan. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.1089>. Acesso em: 6 jul. 2023.

FONSECA, M. R. S.; CHAVES, H. M. L.; UAGODA, R. E. S. On-and off-site erosion impacts of restoration measures in a tropical karst watershed. **Earth Surface Processes and Landforms**, p. 1–11, mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.5580>. Acesso em: 6 jul. 2023.

FONSECA, M. R. S.; UAGODA, R.; CHAVES, H. M. L. 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, i. 2, p. 582–595, oct. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.5273>. Acesso em: 6 jul. 2023.

FORD, D. C.; WILLIAMS, P. W. **Karst geomorphology and hydrology**. London: Unwin Hyman, 1989. 601 p.

GARDNER, W. H. **Methods of soil analysis: part 1: physical and mineralogical methods**. Madison, WI, USA: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, 1986.

GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G. O sistema aquífero Urucuia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, p. 216–226, 1 jan. 2007. Disponível em: <https://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/9236>. Acesso em: 6 jul. 2023.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. DA. **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

HAWKINS, R. H. Asymptotic determination of curve numbers from data. **Journal of Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers**, v. 119, n. 2, p. 334-345, 1993.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL (INMET). Mapa de estações. Leaflet, 2023c. Disponível: <https://mapas.inmet.gov.br/>. Acesso em: 6 jul. 2023.

LAFLEN, J.M. *et al.* Soil and Water Loss from Conservation Tillage Systems. **Transactions of the ASAE**, v. 21, i. 5, p. 881–885. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.35407>. Acesso em: 6 jul. 2023.

LOBO, H. A. S. *et al.* Caracterização ambiental preliminar e proposta de conservação do sistema cárstico da Gruna da Tarimba – Mambaí, GO. *In*: RASTEIRO, M. A.; SALLUN FILHO, W. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33, 2015. Eldorado. **Anais...** Campinas: SBE, 2015. p.281-290. Disponível: http://cavernas.org.br/wp-content/uploads/2021/07/33cbe_281-290.pdf. Acesso em: 6 jul. 2023.

MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H. & CLARKE, R.T. **Método *fingerprinting* para identificação de fontes de sedimentos em bacia rural**. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 13:633-638, 2009

MERTEN, G.H.; MINELLA, J.P.G. The expansion of Brazilian agriculture: Soil erosion scenarios. **International Soil and Water Conservation Research**, Amsterdam, v. 1, p. 37- 48, 2013. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30029-0](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30029-0). Acesso em: 6 jul. 2023.

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

NASCIMENTO, D.; NOVAIS, G. Clima do cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Élisée - Revista de Geografia da UEG**, v. 9, n. 2, 8 set. 2020. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/elisee/article/view/10854>. Acesso em: 6 jul. 2023.

NRCS. Orders of magnitude increase in soil erosion associated with land use change from

native to cultivated vegetation in a Brazilian savannah environment: Soil Erosion Associated With Land use Change for a Brazilian Savannah. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 40, n. 11, p. 1524–1532, 2004.

OLIVEIRA, P. C. A.; RODRIGUES, G. S. S. C.; RODRIGUES, S. C. Fragilidade Ambiental e uso do solo da bacia hidrográfica do Córrego Pindaíba, Uberlândia, MG, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 3, n. 1, p. 112-125, 2008.

PALMA, V. H. et al. Efeito do tipo de vegetação e comprimento de rampa em enxurrada simulada no Bioma Cerrado, Distrito Federal e Goiás. Monografia (Mestrando em Engenharia Florestal) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 12 p.2015.

PANDEY, A. *et al.* Physically based soil erosion and sediment yield models revisited. **Catena**, Amsterdam, v. 147, p. 595-620, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.08.002>. Acesso em: 6 jul. 2023.

PARISE, M.; DE WAELE, J.; GUTIERREZ, F., Current perspectives on the environmental impacts and hazards in karst. *Environmental Geology*, n. 58, p. 235–237, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1608-2>. Acesso em: 6 jul. 2023.

PEREIRA, J. L. S. *et al.* Erosão hídrica em sistemas de preparo do solo sob chuva simulada no Cerrado Piauiense. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 2342-2356, jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-160>. Acesso em: 6 jul. 2023.

POSTHUMUS, H. *et al.* Costs and benefits of erosion control measures in the UK. **Soil Use and Management**, London, v. 31, p. 16-33, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12057>. Acesso em: 6 jul. 2023.

RENFRO, G.W. **Use of erosion equations and sediment delivery ratios for predicting sediment yields.** In Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources: Proceedings of the Sediment Yield Workshop. USDA Sedimentation Laboratory: Oxford, MI, pp. 33–45, 1975.

SANTOS, Glenio G.; GRIEBELER, Nori P.; OLIVEIRA, Luiz F. C. de. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000200001>. Acesso em: 6 jul. 2023.

SANTOS, J. P. C.; CALDAS, V. I. S. P.; SILVA, A. S. Suscetibilidade a erosão dos solos da bacia hidrográfica Lagos – São João, no Estado do Rio de Janeiro – Brasil, a partir do Método AHP e Análise Multicritério. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 4, p. 1415, 11 nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.4.p1415-1430>. Acesso em: 6 jul. 2023.

SANTOS, S. A. dos. Análise de suscetibilidade e potencial á erosão laminar da Área de Preservação Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*, 17. **Anais...**, João Pessoa: INPE, 2015.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G. Influência da cobertura vegetal nos processos hidrossedimentológicos no semiárido do Nordeste, Brasil. **Perspectiva Geográfica**, v. 4, n. 5, p. 113-125, 2009.

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

SILVA, A. M. *et al.* Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 1223-1230, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005001200010>. Acesso em: 6 jul. 2023.

SOUZA, C. K. **Relação solo-paisagem-erosão e variabilidade espacial de Latossolos em áreas sob cultivo de cana-de-açúcar no município de Jaboticabal (SP)**. 186 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

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. Disponível em: <https://repositorio.icmbio.gov.br/handle/cecav/1222>. Acesso em: 6 jul. 2023.

TOLEDO, A. C. **Perda de água e solo em zona de carste restaurada nos cerrados**. 2022. 40 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 40 p. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/33462/1/2022_AlexandreCamposDeToledo_tcc.pdf. Acesso em: 6 jul. 2023.

VERDUM, R.; VIEIRA, C. L.; CANEPPELE, J. C. G. **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016. 50 f.

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

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 26. p. 189-193, 1971. Disponível em: <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF/>. Acesso em: 6 jul. 2023.

ZENG, F. *et al.* Assessment of multiple and interacting modes of soil loss in the karst critical zone, Southwest China (SWC). **Geomorphology**, v. 322, p. 97–106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.08.043>. Acesso em: 6 jul. 2023.

ZUAZO, V. H. D.; PLEGUEZUELO, C. R. R. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 28, p. 65-86, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1051/agro:2007062>. Acesso em: 6 jul. 2023.