

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ALINNE BISOLO

**PERDAS DE SOLO E ÁGUA EM LAVOURAS SOB PLANTIO DIRETO COM E
SEM TERRACEAMENTO AGRÍCOLA**

DOIS VIZINHOS

2025

ALINNE BISOLO

**PERDAS DE SOLO E ÁGUA EM LAVOURAS SOB PLANTIO DIRETO COM E
SEM TERRACEAMENTO AGRÍCOLA**

**Soil And Water Losses In Crops Under No-Tillage With And Without
Agricultural Terraces**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias do Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr.º André Pellegrini

Coorientador: Prof. Dr.º Paulo Cesar Conceição

DOIS VIZINHOS

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Dois Vizinhos



ALINNE BISOLO

PERDAS DE SOLO E ÁGUA EM LAVOURAS SOB PLANTIO DIRETO COM E SEM TERRACEAMENTO AGRÍCOLA

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ciências Agrárias da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Agroecossistemas.

Data de aprovação: 07 de Fevereiro de 2025

Dr. Andre Pellegrini, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Adalberto Luiz De Paula, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Graziela Moraes De Cesare Barbosa, Doutorado - Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (Idr-Paraná)

Dra. Miriam Fernanda Rodrigues, Doutorado - Universidade Federal de Santa Maria (Ufsm)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 07/02/2025.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Ediana e Arlindo Bisolo, pelo apoio e por me manterem calma quando as coisas não saiam conforme o esperado.

Ao meu companheiro, Luiz Prado, por acreditar em mim quando as esperanças me fugiam e pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador, André Pellegrini, pela oportunidade e por todo o conhecimento repassado.

Ao meu coorientador, Paulo Cesar Conceição, pelos seus ensinamentos e acolhimento.

Aos membros do grupo de pesquisa que contribuíram com cada tijolinho na construção dos trabalhos da Rede de Agropesquisa, em especial à Tais Joanazzi, pela companhia e auxílio nos dias de chuva e desenvolvimento deste experimento, e à Miriam Rodrigues e Fabiana Paula, por me fornecerem a luz para chegar até a conclusão deste trabalho.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná por se tornar meu segundo lar e por todas as experiências e oportunidades vividas.

E à Rede Paranaense de Agropesquisa e demais envolvidos neste grande projeto por acreditarem na causa, na constante busca pelo conhecimento da ciência do solo e pelo fomento a todos os trabalhos que foram e ainda serão desenvolvidos.

“Estudamos o que vemos e nem sempre o que
vemos é o que existe.”

Paulo Coelho, 1990

RESUMO

A intensificação das práticas agrícolas e as mudanças na forma de manejar o solo traz a necessidade de compreender e quantificar os impactos gerados pelas interações antrópicas para contribuir com o conhecimento hidrossedimentológico em áreas rurais. Esse trabalho tem como objetivo quantificar as perdas de solo e água em lavoura sob sistema plantio direto, com e sem a presença de terraços agrícolas. O estudo foi realizado em lavouras de 1,92 ha cada, na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos, no Sudoeste do Paraná. Foram avaliadas as variáveis de precipitação, vazão e produção de sedimentos de um total de 20 eventos na lavoura com terraços e 28 eventos na lavoura sem terraços durante o período de agosto de 2022 a dezembro de 2023, com ocorrência do fenômeno meteorológico El Niño a partir de junho de 2023, onde as maiores precipitações foram registradas nos meses de outubro de 2022, com 516,4 mm mensal e outubro e novembro de 2023, com precipitações mensais de 631,8 e 309,6 mm, respectivamente. O maior evento em termos de tempo de duração ocorreu em 28 e 29 de outubro de 2023, com duração de 36 horas e o maior volume perdido de água e solo ocorreu em 03 de novembro de mesmo ano, com 179,96 m³ de água e 8,36 kg de solo perdidos na lavoura com terraços e 339,94 m³ e 34,29 kg na lavoura sem terraços, respectivamente. Os resultados mostraram que a lavoura sem terraços tendeu a ter maiores proporções de perda de água e solo em comparação a lavoura com terraços. A perda total de solo durante o período deste estudo foi de 20,30 kg na lavoura com terraços e de 119,08 kg na sem terraços. A perda total de água foi de 467,70 m³ na área com terraços e de 1.186,47 m³ na sem terraços, o que representa uma redução de 82,9% das perdas de solo e de 60,7% das perdas de água no sistema com terraços agrícolas. Os eventos de alta magnitude foram responsáveis pela maior fração das perdas de solo e água ocorridos durante o período de estudo, considerando o total de eventos monitorados, o que reforça a necessidade das práticas mecânicas de controle do escoamento superficial nas áreas de plantio direto.

Palavras-chave: hidrossedimentologia; monitoramento hidrossedimentométrico; escoamento superficial; erosão.

ABSTRACT

The intensification of agricultural practices and changes in soil management methods have led to the need to understand and quantify the impacts generated by anthropogenic interactions in order to contribute to hydrosedimentological knowledge in rural areas. This study aims to quantify soil and water losses in crops under a no-tillage system, with and without the presence of agricultural terraces. The study was carried out in 1.92 ha of farmland in the experimental area of the Federal Technological University of Paraná – Dois Vizinhos Campus, in the southwest of Paraná. The variables of precipitation, flow and sediment production were evaluated from a total of 20 events in terraced crops and 28 events in non-terraced crops during the period from August 2022 to December 2023, with the occurrence of the El Niño meteorological phenomenon from June 2023, where the highest precipitations were recorded in the months of October 2022, with 516.4 mm per month and October and November 2023, with monthly precipitations of 631.8 and 309.6 mm, respectively. The largest event in terms of duration occurred on October 28 and 29, 2023, lasting 36 hours, and the largest volume of water and soil lost occurred on November 3 of the same year, with 179.96 m³ of water and 8.36 kg of soil lost in the terraced crop and 339.94 m³ and 34.29 kg in the non-terraced crop, respectively. The results showed that the non-terraced crop tended to have higher proportions of water and soil loss compared to the terraced crop. The total soil loss during the period of this study was 20.30 kg in the terraced crop and 119.08 kg in the non-terraced crop. The total water loss was 467.70 m³ in the area with terraces and 1,186.47 m³ in the area without terraces, which represents a reduction of 82.9% in soil losses and 60.7% in water losses in the system with agricultural terraces. High magnitude events were responsible for the largest fraction of soil and water losses that occurred during the study period, considering the total number of monitored events, which reinforces the need for mechanical practices to control surface runoff in direct planting areas.

Keywords: hydrosedimentology ; hydrosedimentometric monitoring ; surface runoff; erosion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo da água da chuva e formação de escoamento.....	16
Figura 2 – Anomalia da temperatura superficial do mar e índice de oscilação sul durante o período de julho de 2022 a junho de 2024	18
Figura 3 – Anomalia de precipitação (mm) do último trimestre de 2023	18
Figura 4 – Mapa das linhas isoerodentes médias anuais para o estado do Paraná, período de 1996 a 2008, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ano⁻¹	24
Figura 5 – Localização da bacia hidrográfica rural da UTFPR-DV	29
Figura 6 – Foto aérea da área de estudo, à esquerda lavoura com terraços e à direita lavoura em que os terraços foram removidos	31
Figura 7 – Estação meteorológica automática com pluviógrafo de balança (A) e pluviômetro tipo Ville de Paris (B)	32
Figura 8 – Localização das lavouras e dos equipamentos de monitoramento na Bacia Hidrográfica Rural da UTFPR-DV	33
Figura 9 – Visão frontal (A) e posterior (B) da calha H na lavoura sem terraços	34
Figura 10 – Amostragem do escoado (A e B) e recipientes com amostras do escoado (C) na lavoura sem terraços.....	35
Figura 11 – Béqueres e recipientes de vidro secando em estufa (A) e amostras do escoado após transferência para béqueres de 250 ml	36
Figura 12 – Palhada de centeio e aveia, à esquerda lavoura sem terraços e à direita lavoura com terraços	39
Figura 13 – Cultura do trigo em fase inicial de perfilhamento na lavoura sem terraços	46
Figura 14 – Palhada de trigo pós colheita, à esquerda lavoura sem terraços e à direita lavoura com terraços	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do potencial erosivo anual da chuva conforme o índice de erosividade.....	24
Tabela 2 – Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica da UTFPR-DV.....	30
Tabela 3 – Variáveis de precipitação dos eventos monitorados.....	39
Tabela 4 – Variáveis de escoamento dos eventos monitorados.....	42
Tabela 5 – Variáveis de sedimento dos eventos monitorados.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição diária das precipitações de agosto de 2022 a dezembro de 2023	38
Gráfico 2 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma da lavoura sem terraços durante o evento de precipitação do dia 18/08/2022- evento 1	51
Gráfico 3 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma da lavoura sem terraços durante o evento de precipitação do dia 18/08/2022 – evento 2	51
Gráfico 4 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma da lavoura sem terraços durante o evento de precipitação do dia 10/10/2022 – evento 1	52
Gráfico 5 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 10/10/2022 – eventos 2, 3 e 4.....	53
Gráfico 6 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma da lavoura sem terraços durante o evento de precipitação do dia 11/10/2022 – evento 1	54
Gráfico 7 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 11/10/2022 – evento 2.....	55
Gráfico 8 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 10/07/2023 – evento 1.....	56
Gráfico 9 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 10/07/2023 – evento 2.....	57
Gráfico 10 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 10/07/2023 – evento 3.....	58
Gráfico 11 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 10/07/2023 – evento 4.....	60
Gráfico 12 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 11/10/2023 ..	61
Gráfico 13 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 12/10/2023 ..	62
Gráfico 14 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação dos dias 28 e 29/10/2023	64

Gráfico 15 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 03/11/2023 ..65

Gráfico 16 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraço durante o evento de precipitação do dia 10/12/2023.....66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SPD	Sistema Plantio Direto
PS	Produção de sedimentos
RS	Rio Grande do Sul
ENOS	El Niño Oscilação Sul
IOS	Índice de Oscilação Sul
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
PR	Paraná
EI30	Índice de Erosividade
C	Coeficiente de escoamento
CSS	Concentração de sedimentos em suspensão
UTFPR-DV	Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos
CT	Área com terraços
ST	Área sem terraços
P	Precipitação
Q	Vazão
$I_{méd}$	Intensidade média da chuva
$I_{30máx}$	Intensidade máxima da chuva em 30 minutos
V	Volume total
$Q_{máx}$	Vazão máxima
$Q_{méd}$	Vazão média
$CSS_{máx}$	Concentração de sedimentos em suspensão máxima
$CSS_{méd}$	Concentração de sedimentos em suspensão média
PS_{esp}	Produção de sedimentos específica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Precipitação e Escoamento Superficial.....	15
2.2	Erosão do Solo	19
2.2.1	Terraceamento Agrícola	20
2.3	Sistema Plantio Direto	20
2.4	Otimização das Operações Agrícolas	21
2.5	Dinâmica Hidrossedimentológica	22
2.5.1	Monitoramento Hidrossedimentométrico	26
3	MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1	Área experimental	28
3.1.1	Megaparcelas	30
3.2	Monitoramento Hidrossedimentométrico	31
3.2.1	Precipitação.....	32
3.2.2	Vazão	33
3.2.3	Perda de Solo.....	34
3.2.4	Análise de Dados	36
4	RESULTADOS.....	38
5	DISCUSSÃO	67
6	CONCLUSÃO	75
	REFERÊNCIAS.....	76

1 INTRODUÇÃO

O manejo conservacionista busca minimizar os impactos negativos oriundos das atividades antrópicas. Para isso, leva-se em consideração o equilíbrio ambiental e necessita da ressignificação de um comportamento humano ambicioso, em que se acredita, equivocadamente, que a máxima exploração e intensificação dos cultivos levará ao máximo econômico-produtivo.

Em contrapartida, o mais adequado é considerar que um agroecossistema equilibrado necessita que se reproduza nas áreas de cultivo o que ocorre naturalmente no ecossistema. Deste modo, obtém-se uma melhor resposta a longo prazo em relação à interação entre os fatores ambientais e de produção.

A conservação de solo não significa cessar completamente a erosão, mas reduzi-la ao mais próximo do que ocorre naturalmente no ambiente quando não há intervenções antrópicas.

Contudo, até onde a humanidade gera influência ao ponto de interferir na dinâmica da água e suas interações com o solo? De modo a se tornar prejudicial, ou antinatural, e gerar mudanças de efeito degradante nas áreas que compõem uma bacia hidrográfica? E afinal, o que se espera do comportamento erosivo e de perdas de água dessas áreas?

Desse modo, se faz necessário o estudo e monitoramento do comportamento hidrossedimentológico de bacias hidrográficas e também das áreas agricultáveis que compõem a bacia, o que possibilita compreender a influência das variáveis envolvidas no processo erosivo e de perdas de solo e água.

As mudanças e a intensificação no modo de cultivar e manejar o solo fornece a necessidade de quantificar estas perdas de água e solo causadas pelas práticas agrícolas de forma constante em diferentes condições de uso e manejo. Em razão disso, este estudo monitorou o comportamento hidrossedimentológico de duas lavouras pareadas sob sistema plantio direto, uma com a presença de terraços agrícolas e outra na qual os terraços foram removidos.

Ambas as áreas de lavoura são cultivadas do mesmo modo, seguindo o que é comumente realizado na região. Ou seja, como safra principal se tem o cultivo de soja no verão, seguido por feijão ou milho safrinha e gramíneas como aveia, trigo, centeio e/ou azevém no período de inverno para cobertura verde ou produção de grãos. Considerando os terraços uma forma de barreira mecânica no controle e

redução das perdas de água e solo, tem-se como hipótese que a lavoura sem terraços agrícolas irá apresentar maior quantidade de água escoada para fora do sistema, bem como maior concentração de sedimentos em suspensão e perda de solo.

Esse estudo faz parte da Rede Paranaense de Agropesquisa e formação aplicada, que visa contribuir com a construção do conhecimento da dinâmica hidrossedimentológica de bacias hidrográficas em áreas cultivadas. Esse trabalho tem como objetivo compreender e avaliar a magnitude do comportamento das variáveis hidrossedimentológicas frente a diferentes eventos de precipitação em lavoura sob sistema plantio direto, com e sem a presença de terraços agrícolas, a qual faz parte da composição de uma bacia hidrográfica rural no Sudoeste do Paraná.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

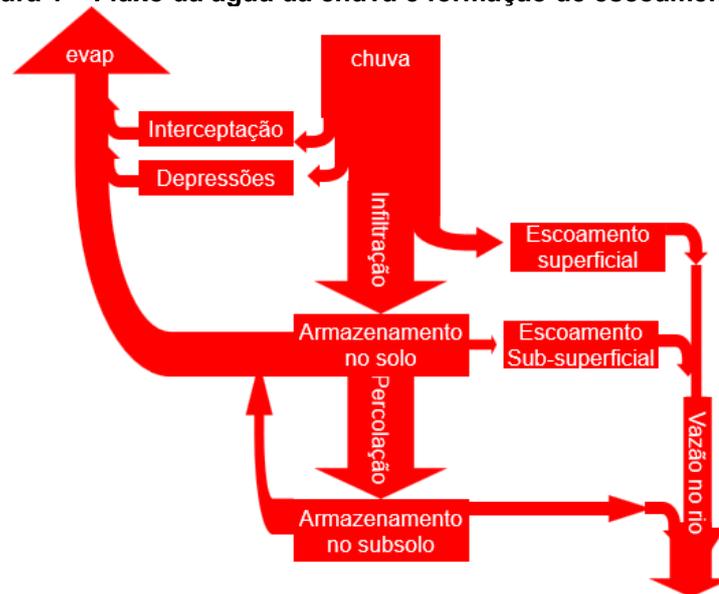
A necessidade de suprimentos para manutenção da população humana e demais insumos necessários à nossa sobrevivência faz parte do que nos motiva na busca por recursos e tecnologias investidas em sua produção (HELD, CLAWON, 1965). O solo e a água são recursos essenciais ao nosso desenvolvimento, porém o uso e manejo do solo passou a interferir em sua dinâmica físico-hídrica (LEPSCH, 2012), bem como no comportamento hidrossedimentológico das bacias hidrográficas.

O uso do solo de forma inadequada favorece a transferência de sedimentos à rede de drenagem de uma bacia hidrográfica, o que impacta nos serviços ecossistêmicos do local (KITCHENER, WAINWRIGTH, PARSONS, 2017). Deste modo, faz-se necessário compreender a dinâmica hidrológica e de perdas de água e solo para melhor gestão dos recursos naturais.

2.1 Precipitação e Escoamento Superficial

A água precipitada, na forma de chuva, neve ou granizo, entra no sistema e a partir daí é distribuída em frações (Figura 1) (DINGMAN, 2008). Parte da água da chuva é interceptada por diferentes obstáculos (Figura 1), como copa das árvores e edificações, impedindo-a de chegar diretamente ao solo, ou se acumula em depressões impermeáveis e por tanto, sofrerá o efeito da evaporação.

Figura 1 – Fluxo da água da chuva e formação de escoamento



Fonte: Minella (2020).

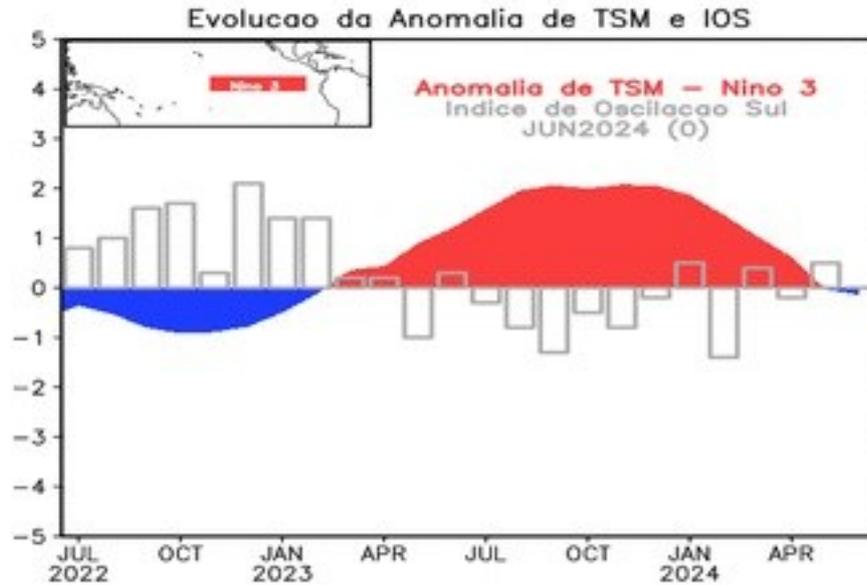
Outra fração da água precipitada, ao atingir o solo, é infiltrada e armazenada, de forma que uma porção irá percolar para o subsolo e outra será conduzida através do escoamento subsuperficial até o leito do rio ou pontos de exfiltração. Uma terceira parte da precipitação que não é infiltrada e nem interceptada, se desloca sobre a superfície do solo formando o escoamento superficial (Figura 1) (DINGMAN, 2008; USDA, 2010).

Considerando isso, é possível destacar a importância da água das chuvas no solo. O solo age como um reservatório que abastece e regula os níveis de água da bacia hidrográfica para disponibilidade às culturas implantadas, às demais formas de vegetação e à rede de drenagem da bacia, uma vez que a água que não infiltra é perdida do sistema por meio do escoamento superficial (CASSOL, DENARDIN, KOCHHANN, 2007; DE MARIA, PECHE FILHO, 2009).

O escoamento superficial responde de diferentes maneiras em relação ao comportamento das chuvas. As mudanças de comportamento nos regimes de chuva ao longo dos anos sofrem influência de fenômenos meteorológicos como o El Niño Oscilação Sul (ENOS), caracterizado por mudanças na temperatura média das águas do Oceano Pacífico equatorial por meio do aquecimento (El Niño) ou resfriamento (La Niña) da temperatura da superfície do mar em interação com as alterações de pressão atmosférica definida pelo Índice de Oscilação Sul (IOS) (INPE *et al.*, 2024; INMET, 2024).

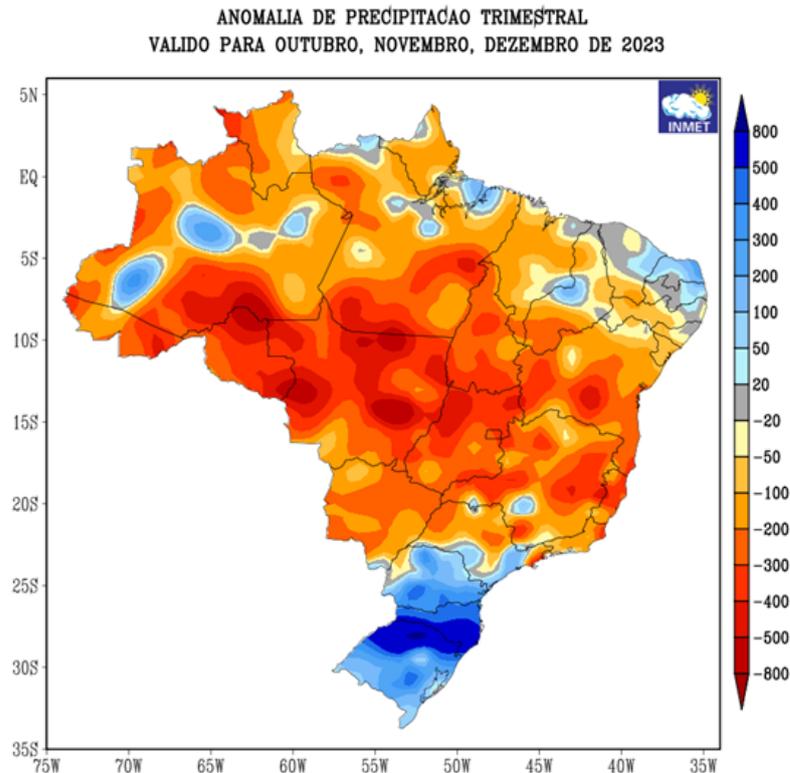
Durante a fase de El Niño há um aumento da probabilidade de formação de eventos de chuva extremos no Sul do Brasil (INPE *et al.*, 2024). O fenômeno El Niño esteve em atuação a partir de junho de 2023 até abril de 2024 (Figura 2) (INPE *et al.*, 2024) com altos volumes de chuva na região sul do Estado (Figura 3), principalmente nos últimos três meses do ano de 2023 (INMET, 2024).

Figura 2 – Anomalia da temperatura superficial do mar e índice de oscilação sul durante o período de julho de 2022 a junho de 2024



Fonte: Centro de Previsão do Tempo e Recursos Climáticos (2024).

Figura 3 – Anomalia de precipitação (mm) do último trimestre de 2023



Fonte: INMET (2024).

A presença do fenômeno El Niño pode proporcionar o aumento do escoamento superficial em bacias hidrográficas rurais, sendo intensificado pela presença de áreas de lavoura sob práticas de manejo prejudiciais ao solo

(PELLEGRINI, 2013). A ocorrência de alagamentos nos períodos de altas precipitações, como ocorrido no fim de outubro e início de novembro de 2023 no município de Dois Vizinhos e região, com mais de 31 mil pessoas afetadas em áreas rurais e urbanas (PEREIRA, 2023), é reflexo de um manejo de uso do solo deficiente do ponto de vista conservacionista.

O processo de escoamento superficial, além de causar perdas de água que não poderá ser utilizada pelos componentes do agroecossistema, atua sobre as partículas de solo, desencadeando o processo erosivo. Parte dessas partículas de solo são carregadas em sua solução até o canal de drenagem e parte pode ser depositada em outros locais ao longo do perímetro da bacia (EBLING *et al.*, 2022).

Faz-se necessário considerar que períodos com poucos anos de monitoramento não são suficientes para compreender as variáveis climáticas envolvidas no regime de chuvas e no processo de erosão hídrica do solo, sendo necessário estudos em todos os âmbitos da conservação do solo (DELGADO *et al.*, 2011).

2.2 Erosão do Solo

A erosão acelerada é a principal causa da degradação dos solos (PRUSKI, 2009). A erosão geológica é um processo natural de desgaste da superfície terrestre ocasionada, principalmente, pela ação da água e do vento (PRUSKI, 2009). Contudo, o uso e manejo inconsequente acelerou este processo, principalmente devido a forma de cultivo destes solos por meio do revolvimento intenso (BERTOL, COGO, CASSOL, 2000).

O revolvimento intensivo dos solos era uma prática muito comum no Estado do Paraná até a década de 1970 e 1980 (DEBIASI *et al.*, 2013; GRIMM *et al.*, 2023). O manejo convencional, como é comumente chamado, é caracterizado por atividades de aração e gradagem, o que tornam o solo mais susceptível a ação das chuvas (MINELLA *et al.*, 2009; BONUMÁ *et al.*, 2013).

A ocorrência de chuvas intensas são frequentes nos períodos do ano de maior exposição do solo (DIECKOW *et al.*, 2019), com destaque ao mês de outubro, o qual possui a maior média pluviométrica para o município de Dois Vizinhos, no Sudoeste do Estado (VIEIRA *et al.*, 2018), período que coincide com as atividades de colheita das culturas de inverno e semeadura da safra de verão.

Com o passar da conscientização social em relação às consequências da degradação do solo, práticas conservacionistas passaram a ser implementadas no Estado, como a construção de terraços nas áreas agricultáveis (BERTOL, COGO E CASSOL., 2000; BERTOL E BARBOSA., 2019).

2.2.1 Terraceamento Agrícola

Os terraços são barreiras mecânicas transversais ao declive do terreno, que reduzem o comprimento de rampa e, conseqüentemente, a velocidade da enxurrada durante a ocorrência do escoamento superficial (PIRES E SOUZA, 2013). O processo de escoamento superficial ocorre durante eventos de chuva em que a intensidade da precipitação ultrapassa a taxa de infiltração de água no solo e sua capacidade de armazenamento superficial pela rugosidade do solo (PRUSKI, 2009).

Os terraços atuam na retenção da água da enxurrada e contribuem com a posterior infiltração de água no solo (terraços de infiltração), na sua drenagem para fora da área (terraços de drenagem) ou podem atuar de ambas as formas (terraços mistos) (PASINI *et al.*, 2017; MERTEN, MINELLA E BARBOSA, 2023).

A implementação do uso dos terraços no plantio convencional apesar de contribuir muito para o controle do escoamento superficial (DE MARIA, PECHE FILHO, 2009; CARVALHO *et al.*, 2012), ainda não era suficiente no controle da erosão. Deste modo, com o início da adoção do Sistema Plantio Direto (SPD) no Paraná, foi possível desenvolver um manejo com foco mais conservacionista do solo (LLANILLO *et al.*, 2021).

2.3 Sistema Plantio Direto

O Sistema Plantio Direto, também chamado inicialmente de “plantio direto na palha”, surgiu a partir de 1970 e 1980 no estado do Paraná (DEBIASI *et al.*, 2013) e consiste na prática do não revolvimento do solo, da rotação de culturas e da manutenção da cobertura do solo (CASÃO JUNIOR, ARAÚJO; LLANILLO, 2012). O SPD foi impulsionado principalmente pelo desenvolvimento de herbicidas eficientes, o que dispensa o revolvimento do solo para o controle mecânico de plantas daninhas (GILLER *et al.*, 2015).

O uso do plantio direto associado ao uso dos terraços proporcionou uma redução de 70% da erosão no Paraná no final no século XX (MICHELLON, REYDON

CHICATI, 2014). Além da prática de terraceamento reduzir a erosão e as perdas de água, os terraços em lavouras de plantio direto aumentam a retenção e disponibilidade de água no solo, principalmente em períodos de menor precipitação (SILVA; RIOS, 2020; HÖRBE *et al.*, 2021).

A maior disponibilidade de água para as plantas em lavoura de plantio direto com terraceamento é ainda mais evidente nas áreas mais altas do terreno quando comparado a lavouras sem a presença de terraços (FREITAS *et al.*, 2021). Além disso, o uso de terraços proporciona maior produtividade das principais culturas, como soja e milho (HÖRBE *et al.*, 2021) e podem gerar efeito positivo sob as propriedades físico-hídricas do solo (SILVA; RIOS, 2020), como por exemplo a condutividade hidráulica saturada (BISOLO *et al.*, 2024), utilizada na geração de modelos de previsão dos processos hidrológicos e de erosão (CENTENO *et al.*, 2020; HU *et al.*, 2015).

Contudo, em razão da própria natureza comportamental ambiciosa do ser humano (D'AGOSTINI, 1999) e em vista da possibilidade de cultivar até três safras por ano, da otimização das práticas de cultivo, como plantio, colheita e pulverização de produtos fitossanitários, e uso de maquinários agrícolas de maior porte, os terraços passaram a ser considerados obstáculos que atrapalham as práticas de cultivo.

2.4 Otimização das Operações Agrícolas

A ambição e busca pela otimização das práticas de cultivo agrícola levou muitos produtores da região a retirarem, total ou parcialmente, os terraços (LEVIEN *et al.*, 2011) e também por acreditarem que apenas o SPD seria suficiente para conter o escoamento e a erosão do solo (PRUSKI, 2009; CAVIGLIONE *et al.*, 2010).

A mudança nas práticas de manejo do solo, principalmente em relação à retirada dos terraços (CAVIGLIONE *et al.*, 2010), tem impactado de diferentes formas no sistema, com o aumento do escoamento superficial e da erosão (LONDERO *et al.*, 2021a; LONDERO *et al.*, 2021b). Dados referentes a Bacia Hidrográfica do Paraná 3, no Oeste do Estado, indicam que entre as principais práticas conservacionistas, o terraceamento é a menos utilizada nas áreas de plantio direto (TELLES *et al.*, 2019).

Outro fator agravante nesta busca por otimizar as operações agrícolas é que parte dos produtores tem realizado a semeadura das culturas no sentido do maior comprimento da gleba, o que muitas vezes, significa semear no sentido do declive e aclave do terreno. Deste modo, essa prática favorece a erosão, com formação de sulcos durante eventos pluviométricos em que há formação de escoamento superficial

(LEVIEN *et al.*, 2011). Estes sulcos, quando negligenciados, podem ao longo dos eventos pluviométricos criarem canais de fluxos preferenciais com a formação de ravinas ou até de voçorocas.

As voçorocas são canais profundos muito comuns em divisas de terrenos, inclusive em áreas com terraços. Em alguns casos, os terraços conduzem, equivocadamente, a água para esses canais preferenciais. Isso destaca que o manejo conservacionista do solo e da água não se limita às porteiras ou divisas da propriedade rural e deve ser aplicado de forma integrada na bacia hidrográfica rural a qual fazem parte (PRUSKI, 2009; PELLEGRINI, 2019)

A formação de diferentes canais preferenciais como sulcos e voçorocas, conforme observado por Mahoney, Fox e Aamery (2018), são responsáveis pela desconexão das áreas de drenagem, uma vez que parte do fluxo de água ocorre por meio de canais efêmeros. O efeito de conectividade hidrossedimentológica pode ser definido como a transferência integrada de sedimentos produzidos em determinadas áreas e transportados por meio da água (PRINGLE, 2001; ZANANDREA *et al.*, 2020). Apesar da conectividade hidrossedimentológica ser muito complexa para se estabelecer formas de medidas precisas (BRACKEN, 2013), podemos definir sessões de monitoramento hidrossedimentológico para melhor compreensão dessa dinâmica.

O problema gerado pelo escoamento superficial em áreas de plantio direto sem práticas eficientes de conservação, não se limita apenas a aceleração do processo erosivo, mas também com a perda de nutrientes (TIECHER *et al.*, 2014), baixa qualidade da água potável (KITCHENER, WAINWRIGTH, PARSONS, 2017) e transporte de resíduos de agrotóxicos presentes na água e nos sedimentos (DIDONÉ *et al.*, 2021).

2.5 Dinâmica Hidrossedimentológica

Para compreender melhor o comportamento hidrossedimentológico é necessário estudos que identifiquem a influência das práticas de manejo agrícola no balanço hídrico e de produção de sedimentos nas áreas agrícolas. É possível monitorar o comportamento hidrossedimentológico em locais onde há uma direção de fluxo da enxurrada que converge para um determinado ponto de controle, como o exutório do rio, no caso de uma bacia hidrográfica, ou em um ponto mais baixo da paisagem, como uma encosta ocupada por lavoura, em que se delimita o perímetro (lavoura).

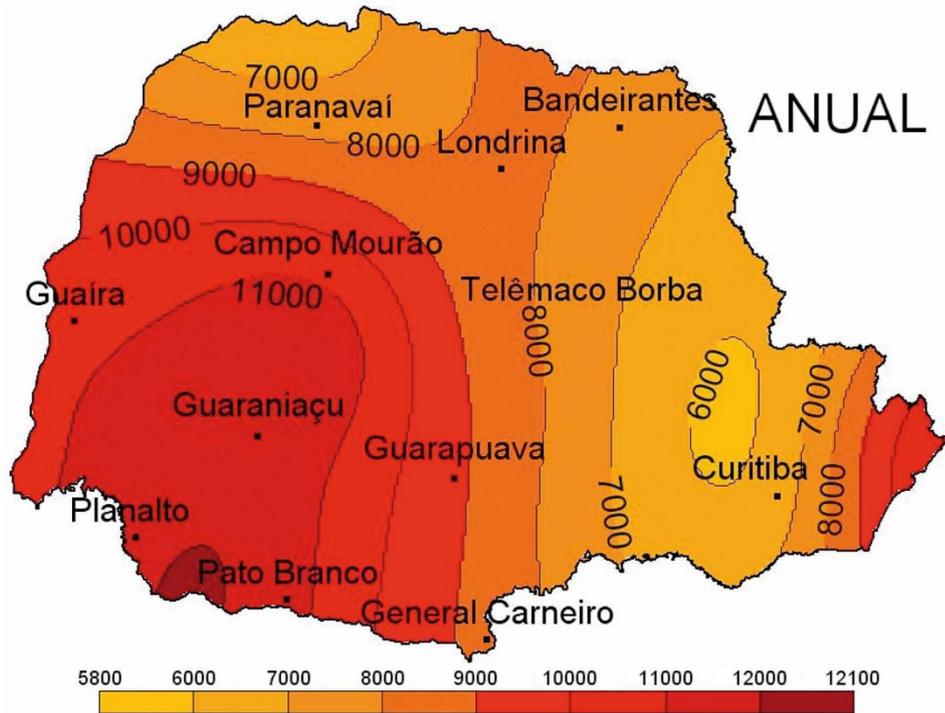
Em estudo realizado por Deuschle (2016) no Rio Grande do Sul, ao observar as perdas de água e solo em parcelas com alta adição de fitomassa em comparação a parcelas com pouca fitomassa verificou-se que houve uma menor produção de sedimentos (PS) na parcela com alta fitomassa. Porém este mesmo estudo verificou também que houve um grande volume de água perdido por escoamento superficial, de modo que a cobertura do solo exerce efeito positivo na redução das perdas de solo, mas são necessárias práticas complementares, como os terraços, para controle do escoamento superficial (DEUSCHLE, 2016).

Esse efeito de menor produção de sedimentos em áreas com cobertura vegetal ocorreu também em estudo realizado em parcelas com chuva simulada, de forma que a menor perda de solo em parcelas com cobertura vegetal comparadas às parcelas sem cobertura é explicada devido a proteção que esta fitomassa promove ao solo e também às microdepressões formadas pela palhada, o que aumenta a rugosidade superficial do solo e atua na retenção de sedimentos (CASTRO, COGO, VOLK, 2006).

A palhada atua como forma de proteção do solo por meio da dispersão da energia cinética gerada pela chuva, ou seja, a capacidade da chuva de causar erosão (DIECKOW *et al.*, 2019). A energia cinética associada a intensidade da chuva durante 30 minutos permite calcular o índice de erosividade (EI_{30}) (WALTRICK *et al.*, 2015).

A erosividade da chuva varia ao longo do território de ação, como observado no Estado do Paraná (Figura 4), a qual a região Sudoeste do Estado tende a ter maior erosividade em comparação às demais regiões, com valores acima de $10.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo o verão o período mais erosivo do ano, com média próxima a $2.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ para o mês de outubro e agosto sendo o mês de menor erosividade, com valores de $400 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ para o município de Pato Branco (WALTRICK *et al.*, 2011; WALTRICK *et al.*, 2015).

Figura 4 – Mapa das linhas isoerodentes médias anuais para o estado do Paraná, período de 1996 a 2008, em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$



Fonte: Waltrick et al. (2011).

Ampére, no sudoeste do estado, é o município com maior Erosividade média anual ($12.581 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) do Estado e o município de Dois Vizinhos, também no sudoeste do Paraná, apresentou Erosividade média anual de $11.864 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (WALTRICK *et al.*, 2015). Segundo a classificação de Carvalho (2008) pode-se dizer que o sudoeste do Paraná apresenta uma erosividade muito alta (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação do potencial erosivo anual da chuva conforme o índice de erosividade

Erosividade ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	Classe de erosividade
≤ 2.451	Muito baixa
2.452 a 4.905	Baixa
4.906 a 7.357	Média
7.358 a 9.810	Alta
≥ 9.811	Muito alta

Fonte: Embrapa (2023).

Silva *et al.*, (2020) observou a erosividade média em três locais de uma bacia hidrográfica no Oeste do Rio Grande do Norte, com valores anuais entre 5.868 a $7.743 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo as regiões de menor precipitação com menor Erosividade.

Em um estudo realizado no município de Arvorezinha – RS verificou-se uma variação da Erosividade ao longo de 15 anos de 6.746 a $12.550 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$

¹, sendo a média anual considerada alta para o local, com valor de 9.344 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (RAMON, 2017). Mello *et al.* (2007) ressalta que o aumento ou redução do índice de erosividade não depende apenas do volume precipitado, mas também da concentração das chuvas no período.

Somado a isso, temos a ocorrência de eventos pluviométricos extremos devido mudanças climáticas, as quais podem reduzir, em média, de 10% a 20% da produtividade agrícola (DELGADO *et al.*, 2011). Além disso, essas mudanças podem provocar enchentes em períodos de alto volume precipitado e escassez de água em períodos de seca, bem como o assoreamento de rios e contaminação das águas destinadas ao abastecimento urbano (PORTELA *et al.*, 2011).

A forma de erosão e perda de solo também são variáveis de acordo com o tamanho da área de estudo. Segundo Merten *et al.* (2011), áreas pequenas, como é o caso de megaparcelas, apresentam uma tendência de mobilização e transporte de sedimentos por meio da erosão entre sulcos e em sulcos e uma baixa produção de sedimentos. Áreas entre 0,03 a 10 km², como são as bacias hidrográficas de pequena escala, a produção de sedimentos aumenta devido a diversificação das fontes de mobilização e transporte de sedimentos e do efeito de conectividade (MERTEN *et al.*, 2011; MINELLA; MERTEN, 2011).

Dessa forma, cada situação se comporta de uma maneira, necessitando de estudos para cada uma delas, uma vez que não se deve extrapolar os dados hidrológicos e sedimentológicos de uma pequena bacia para uma bacia de área maior (MERTEN *et al.*, 2011). Além disso, os autores também destacam que mesmo em períodos em que não há escoamento superficial, parte dos sedimentos transportados durante os eventos fica depositada nos fundos de vales, formando fontes de sedimentos para o canal.

Além da perda de solo, ou seja, partículas de solo que são removidas para fora da área da bacia ou de uma área delimitada, um estudo que comparou duas bacias de ordem zero pareadas com presença de Nitossolo Vermelho, com e sem a terraceamento em sistema plantio direto, mostrou que os terraços reduziram em média 56% do escoamento superficial e a parcela sem terraços apresentou um coeficiente de escoamento superficial acima de 10% em 45% dos eventos monitorados (LONDERO *et al.*, 2021a).

O coeficiente de escoamento superficial (C) se refere a fração da água precipitada que é perdida por meio do escoamento superficial, geralmente expresso

em percentual (POTT *et al.*, 2023). Em estudo realizado em megaparcelas pareadas em uma encosta com presença de Latossolo Vermelho e Nitossolo Vermelho sob manejo de plantio direto no município de Cambé – PR, verificou-se um C médio de 3% na lavoura com uso de terraços e de 9% na lavoura sem os terraços (DIDONÉ *et al.*, 2020).

Deuschle (2016) ao monitorar macroparcelas sob manejo de plantio direto ou com escarificação sob diferentes condições de biomassa em resposta a uma chuva de 82 mm e solo em condição e alta umidade obteve coeficientes de escoamento que variaram de 40 a 55% para as parcelas escarificadas sob baixa e média adição de fitomassa, respectivamente.

Os altos coeficientes de escoamento encontrados divergem de outros materiais da literatura em experimentos com chuva natural analisados por Merten *et al.* (2011) em que o volume escoado dificilmente ultrapassa 10% da precipitação, independente do manejo do solo. Isso reforça a necessidade de estudos específicos para cada situação para permitir a melhor compreensão do comportamento hidrológico.

Considerando isso e com a criação da Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada no Paraná em 2017, vem sendo desenvolvidas inúmeras pesquisas regionais sobre o tema (PELLEGRINI E BARBOSA, 2023). A Rede de Agropesquisa inicialmente priorizou o estudo em manejo e conservação de solos. Como destaque, tem-se o monitoramento hidrossedimentológico em bacias hidrográficas rurais e em áreas de encosta.

Esse estudo está presente em sete bacias hidrográficas de primeira ordem localizadas em seis mesorregiões do Estado do Paraná Além do estudo em bacias hidrográficas, o monitoramento hidrossedimentológico é também realizado em megaparcelas pareadas em áreas de lavoura que fazem parte da composição dessas bacias.

2.5.1 Monitoramento Hidrossedimentométrico

O monitoramento hidrossedimentológico é essencial para compreender a dinâmica de uma bacia hidrográfica (DEUSCHLE *et al.*, 2019). Esse monitoramento considera as variáveis de entrada e saída da água no sistema e sua interação com o solo (MERTEN *et al.*, 2011).

A obtenção das variáveis hidrossedimentológicas é possível por meio da construção de vertedouros ou a instalação de calhas com dimensões conhecidas no exutório da bacia ou da sessão de monitoramento de áreas com perímetro definido. Como exemplo dessas outras áreas passíveis de serem monitoradas estão as megaparcelsas. O uso de equipamentos e sensores na área monitorada, vinculados à uma base de armazenamento de dados, auxilia na determinação do nível e turbidez da água e da precipitação do local (MINELLA; MERTEN, 2011).

O linígrafo é um sensor que realiza leituras do nível da água em intervalos de tempo fixo (CABRAL *et al.*, 2002). Esse sensor permite determinar a vazão da água durante os eventos de chuva monitorados. Geralmente, esses dados são associados a leituras manuais por meio do uso de régua linimétrica para aferição direta da lâmina na sessão de monitoramento.

O uso de pluviógrafos e pluviômetros instalados na área de monitoramento permite obter dados de precipitação. O pluviógrafo realiza a leitura do volume precipitado em intervalos fixos de tempo e o pluviômetro fornece a medida do volume precipitado acumulado em 24 horas, o que permite realizar a correção da frequência pluviométrica e determinar a intensidade da chuva (NASCIMENTO *et al.*, 2017)

A produção de sedimentos pode ser obtida por meio da determinação da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) com auxílio de turbidímetro para obtenção leituras da turbidez da água causada pela presença de materiais em suspensão na água (KITCHENER, WAINWRIGTH, PARSONS, 2017). Esses materiais podem ser de origem orgânica, mineral e/ou biológica.

A partir da turbidez da água, desde que associadas a coletas manuais, é possível determinar, de forma indireta, a concentração de sedimentos em suspensão (MINELLA *et al.*, 2008). A CSS pode ser obtida de maneira direta através da coleta de amostras manuais analisadas laboratorialmente por meio de métodos de evaporação ou filtragem para determinação da quantidade de sedimentos (CARVALHO *et al.*, 2000; SHREVE E DOWNS, 2005).

Faz-se necessário a medida dos sólidos dissolvidos na água para efeito de correção na determinação da CSS devido a característica de predominância de materiais finos (MINELLA *et al.*, 2008), como em locais de solo argiloso. É evidente que as amostragens e leituras manuais em conjunto com o uso de sensores é essencial para maior precisão na determinação das variáveis hidrossedimentométricas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo faz parte da Rede Paranaense de Agropesquisa, com foco no manejo e conservação de solos, com áreas de estudo em seis mesorregiões do Paraná. As sete bacias hidrográficas monitoradas foram definidas de maneira que representem a composição dos agroecossistemas de cada mesorregião do Estado.

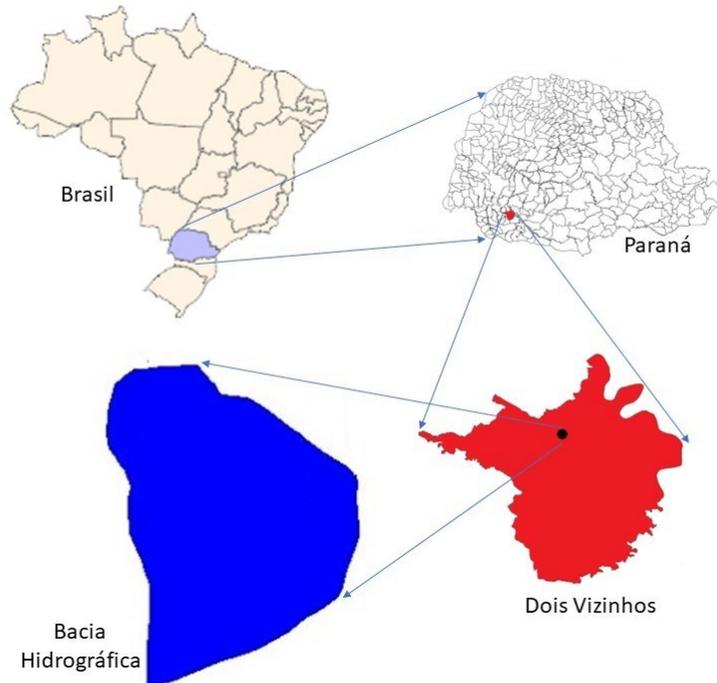
As lavouras monitoradas estão localizadas dentro ou próximo do perímetro das respectivas bacias hidrográficas. Essas áreas de lavoura (megaparcelas) foram definidas de maneira que o manejo realizado fosse representativo do cenário de produção agrícola nas mesorregiões paranaenses.

O local de estudo desse trabalho foram as megaparcelas da bacia hidrográfica rural da mesorregião 4 (Sudoeste), caracterizado e descrito por Battisti (2020) onde é possível encontrar mais informações sobre a área de estudo.

3.1 Área experimental

A área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Dois Vizinhos (UTFPR-DV) está localizada na região Sudoeste do Estado (Figura 5). Essa se encontra no Terceiro Planalto, sobre rochas basálticas da formação Serra Geral (MANASSES *et al.*, 2011), Latitude 25°42' S, Longitude 53°06' O e Altitude de 509 m.

Figura 5 – Localização da bacia hidrográfica rural da UTFPR-DV



Fonte: Autoria própria (2025).

O clima da região é classificado de acordo com a classificação climática de Köppen (ALVAREZ *et al.*, 2014) como Cfa, subtropical úmido, sem estação seca definida. A temperatura média nos meses mais quentes é acima de 22° C e nos meses mais frios abaixo de 18° C (ALVARES *et al.*, 2014). A precipitação média anual para o município de Dois Vizinhos é de 2.010,60 mm (VIEIRA *et al.*, 2018). O mês de outubro tem o maior volume precipitado (243 mm) e o mês de agosto com menor precipitação acumulada mensal (113 mm) (VIEIRA *et al.*, 2018).

A bacia hidrográfica é predominantemente composta por áreas de lavouras de cultivos anuais, como soja, milho, feijão e cereais de inverno, e representam 49% da área total (Tabela 2), sendo nesse fragmento em que se encontram as megaparcelas. A bacia é composta também por áreas de pastagens (19,5%), de mata (16,5%), de grama e/ou vegetação arbustiva (8,1%) o restante dos fragmentos com demais usos, como estradas e edificações (Tabela 2).

Tabela 2 – Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica da UTFPR-DV

Uso do solo	Área ocupada (m ²)	Área (%)
Lavoura	302.979,00	49,01
Pastagem	120.515,00	19,50
Mata	102.419,00	16,57
Vegetação arbustiva	50.336,00	8,14
Estradas	19.955,00	3,23
Edificações	12.661,00	2,05
Pomar	6.400,00	1,04
Açude	2.852,00	0,46

Fonte: Adaptado de Battisti (2020).

O relevo predominante da bacia é suave ondulado (50,50%), seguido por relevo ondulado (33,96%) e plano (12,91%), com menores percentuais de classificação de relevo forte-ondulado (2,15%), montanhoso (0,10%) e forte-montanhoso (0,02%) (BATTISTI, 2020).

O solo da bacia é classificado, majoritariamente como Nitossolo Vermelho e Latossolo Vermelho (CABREIRA, 2015), com presença de áreas de Neossolo, Antropossolo, Gleissolo e Cambissolo em menores proporções.

3.1.1 Megaparcelsas

As megaparcelsas foram definidas e instaladas em maio de 2019 (Figura 6) sobre uma área de lavoura de plantio direto na fazenda da universidade. Ambas as áreas são similares em formato e topografia, além de representativas em relação ao manejo praticado na região.

As megaparcelsas possuem área de 1,923 ha cada. Uma das lavouras possui a presença de terraços agrícolas de infiltração (CT) e na outra os terraços foram retirados (ST). Os terraços foram construídos em 1997, juntamente com a implementação do plantio direto, logo após a aquisição da área para a instalação do antigo colégio agrícola. O perímetro da área de estudo foi delimitado por camalhões em todo seu entorno e na divisão das áreas monitoradas (Figura 6).

O solo da área é classificado como Nitossolo Vermelho (BHERING E SANTOS, 2008; CABREIRA, 2015), de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2018). O percentual médio das frações granulométricas é de 70,6% de argila, 27,4% de silte e 2% de areia na lavoura CT e

de 68,6%; 29,4%; e 2,0%, respectivamente, na lavoura ST, sendo considerado o solo da área como muito argiloso (BACKES, 2023).

Figura 6 – Foto aérea da área de estudo, à esquerda lavoura com terraços e à direita lavoura em que os terraços foram removidos



Fonte: Fernando Battisti (2019).

Os camalhões tem por objetivo isolar ao máximo a área monitorada, de modo que não haja entrada de água superficial de outras fontes. De mesmo modo, faz com que a saída da água superficial escoada ocorra exclusivamente por um único ponto ao final do comprimento de rampa, em uma calha H.

O comprimento de rampa na lavoura CT é de 203,60 m e de 206,50 m na ST. A declividade média é de 8,98% na CT e de 8,62% na ST. Desse modo, a maior declividade está na lavoura com a presença de terraços para evitar tendenciosidade no estudo.

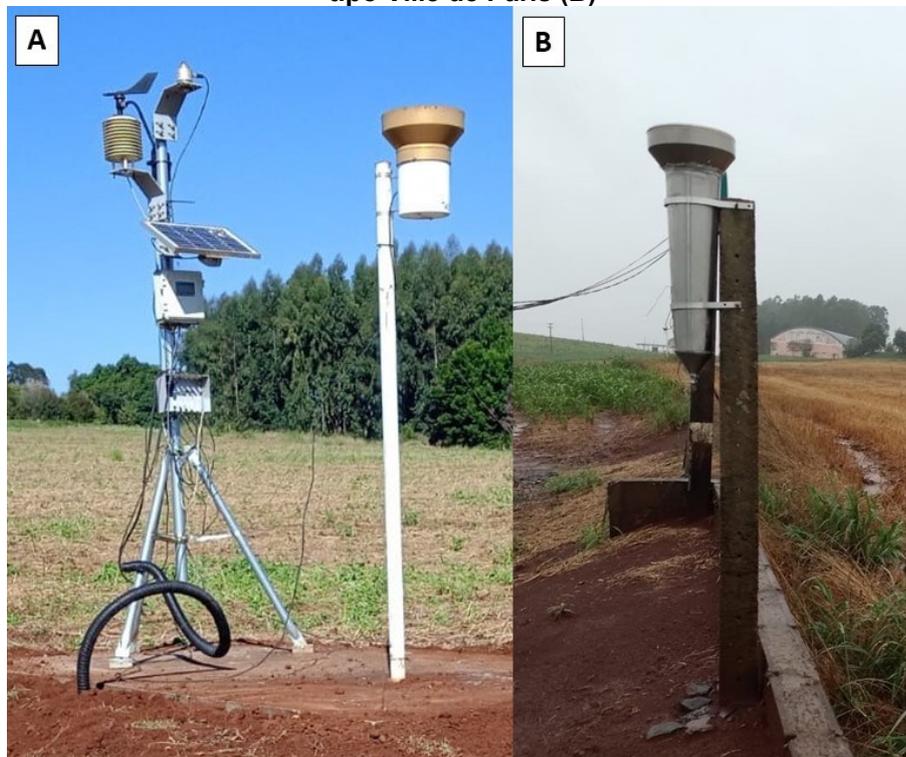
3.2 Monitoramento Hidrossedimentométrico

O estudo considerou um período de monitoramento de 17 meses, entre 01/08/2022 a 31/12/2023. As variáveis monitoradas foram precipitação (mm), vazão ($L s^{-1}$) e produção de sedimentos (kg). O monitoramento hidrossedimentométrico foi realizado por meio de sensores automáticos ligados a dataloggers para armazenamento dos dados e também através de leituras e amostragens manuais.

3.2.1 Precipitação

A precipitação (P) foi monitorada por meio de uma estação meteorológica automática, três pluviômetros padrão Ville de Paris e dois pluviógrafos de báscula distribuídos na bacia (Figura 7). A estação meteorológica, um pluviógrafo e um pluviômetro foram instalados próximo às seções de monitoramento. Um pluviógrafo e um pluviômetro encontram-se localizados próximo ao exutório da bacia e o terceiro pluviômetro está localizado próximo às áreas com edificações da bacia (Figura 8).

Figura 7 – Estação meteorológica automática com pluviógrafo de báscula (A) e pluviômetro tipo Ville de Paris (B)



Fonte: Gabriel Michalichen (2023).

Figura 8 – Localização das lavouras e dos equipamentos de monitoramento na Bacia Hidrográfica Rural da UTFPR-DV



Fonte: Autoria própria (2025).

Os pluviógrafos foram programados para realizar leituras a cada 5 minutos no exutório da bacia e a cada 2 minutos nas lavouras. A partir dos dados coletados do conjunto de equipamentos foi possível definir a precipitação diária da bacia e a correção da precipitação temporal. Os dados coletados pelo pluviógrafo e do pluviômetro localizados próximos às seções de monitoramento das lavouras foram utilizados para definir as variáveis de precipitação dos eventos.

O monitoramento da precipitação permitiu determinar a energia cinética da chuva, conforme descrito por Ramon *et al.* (2017) e então calculado a Erosividade (EI_{30}) da chuva através da Equação 1:

$$EI_{30} = E_c * I_{30} \quad (1)$$

Onde EI_{30} : índice de Erosividade ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$); E_c : energia cinética da chuva ($MJ \text{ ha}^{-1}$); e I_{30} : intensidade da chuva em 30 minutos (mm h^{-1}).

3.2.2 Vazão

A vazão (Q) foi monitorada durante os eventos de chuva-vazão por meio de leituras da lâmina de escoamento em calhas tipo H de 1 pé na lavoura CT e de 2 pés na lavoura ST (BARBOSA *et al.*, 2023) as quais encontram-se instaladas ao final de cada lavoura (Figura 9).

Figura 9 – Visão frontal (A) e posterior (B) da calha H na lavoura sem terraços



Fonte: Autoria própria (2023).

A leitura da lâmina de água foi realizada durante os períodos de escoamento superficial por meio de um linígrafo de pressão instalado no poço estabilizador da calha com intervalo de 2 minutos entre as leituras e uso de régua linimétrica para leituras manuais. As calhas possuem dimensões conhecidas, sendo possível determinar a vazão das CT e ST por meio das respectivas Equações 2 e 3:

$$Q = 0,0008 * h^3 + 0,0355 * h^2 + 0,0149 * h + 0,0208 \quad (2)$$

$$Q = 0,0006 * h^3 + 0,0504 * h^2 + 0,0348 * h + 0,1639 \quad (3)$$

Onde Q: vazão ($L s^{-1}$); e h: altura da lâmina (cm).

3.2.3 Perda de Solo

A produção de sedimentos foi determinada por meio do monitoramento da concentração de sedimentos em suspensão e calculada conforme Equação 4:

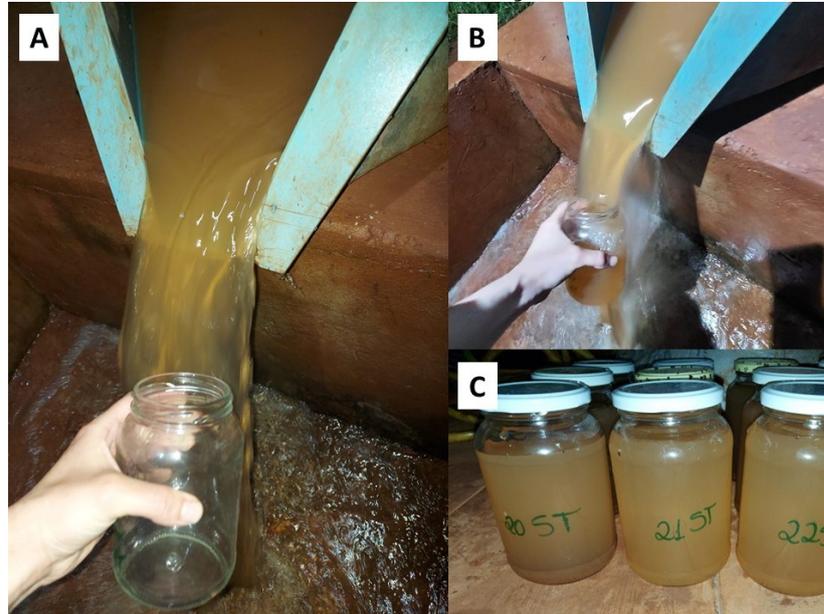
$$PS = k \Sigma(CSS * Q) \quad (4)$$

Onde PS: produção de sedimentos (kg); k: fator de conversão das unidades e de tempo; CSS: concentração de sedimentos ($g L^{-1}$); Q: vazão ($L s^{-1}$).

A CSS foi determinada por meio da amostragem manual do escoado nas calhas com o uso de recipientes de vidro para a coleta (Figura 10). Logo após os

eventos, as amostras foram levadas para análise no Laboratório de Manejo e Conservação de Solos e Água da UTFPR-DV.

Figura 10 – Amostragem do escoado (A e B) e recipientes com amostras do escoado (C) na lavoura sem terraços

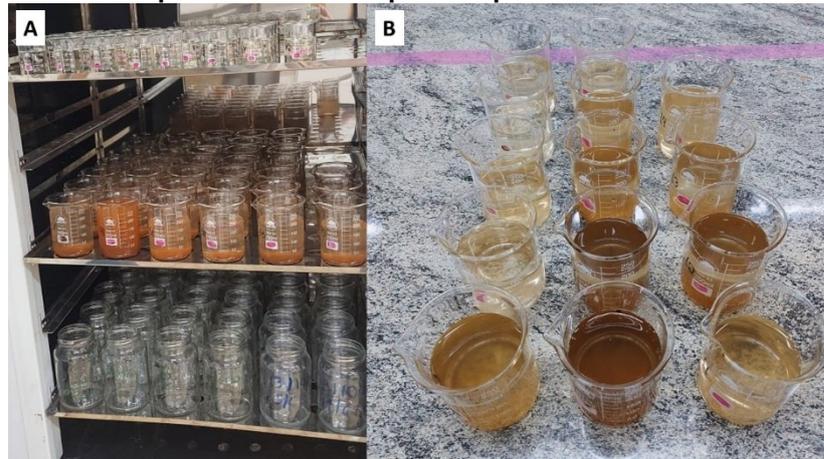


Fonte: Autoria própria (2022).

A determinação da CSS das amostras do escoado foi realizada por meio do método da evaporação descrito por Shreve e Downs (2005) e adaptado pela Rede de Agropesquisa (POTT *et al.*, 2023). Os recipientes com as amostras foram pesados sem as tampas em balança de duas casas decimais e então submetidos a um período de decantação de 15 dias. Esse intervalo de tempo permite a sedimentação do material no fundo do recipiente.

A concentração de sólidos dissolvidos para correção da CSS foi determinada mediante coleta de uma alíquota de 50 ml do sobrenadante, com auxílio de pipeta volumétrica. A alíquota foi transferida para béqueres de vidro com massa conhecida e levados para secar em estufa a 105° C por aproximadamente 24 horas (Figura 11).

Figura 11 – Béqueres e recipientes de vidro secando em estufa (A) e amostras do escoado após transferência para béqueres de 250 ml



Fonte: Autoria própria (2023).

Posteriormente, os béqueres com o material sólido coletado foram resfriados em dessecadores de vidro por 3 horas e então pesados em balança analítica de precisão com quatro casas decimais. Para maior precisão na determinação da CSS das amostras, o sobrenadante da solução foi parcialmente sifonado e então pesados novamente os recipientes de vidro.

O volume restante das amostras foi transferido para béqueres com capacidade de 250 ml, de massa conhecida e levados para secar em estufa por 105° C por aproximadamente 48 horas (Figura 11). Após secagem, as amostras foram resfriadas em dessecadores de vidro por 3 horas e pesadas em balança analítica de quatro casas decimais.

Os recipientes de vidro usados inicialmente, foram limpos e secos em estufa a 105° C até peso constante. Após resfriados em dessecadores de vidro por 2 horas, foram pesados para determinação da sua massa.

3.2.4 Análise de Dados

A partir do monitoramento das variáveis de precipitação, vazão e produção de sedimentos foram determinadas as demais variáveis hidrossedimentológicas de caracterização dos eventos:

- Intensidade média da chuva ($I_{med} - \text{mm h}^{-1}$);
- Intensidade máxima em 30 minutos ($I_{30max} - \text{mm h}^{-1}$);
- Índice de erosividade ($EI_{30} - \text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$);
- Volume total do evento ($V - \text{m}^3$);

- Coeficiente de escoamento superficial (C - %);
- Vazão máxima ($Q_{\max} - L s^{-1}$);
- Vazão média ($Q_{\text{med}} - L s^{-1}$);
- Concentração de sedimentos em suspensão máxima ($CSS_{\max} - g L^{-1}$);
- Concentração de sedimentos em suspensão média ($CSS_{\text{med}} - g L^{-1}$);
- Produção de sedimentos (PS – kg);
- Produção de sedimentos específica ($PS_{\text{esp}} - Mg ha^{-1}$)

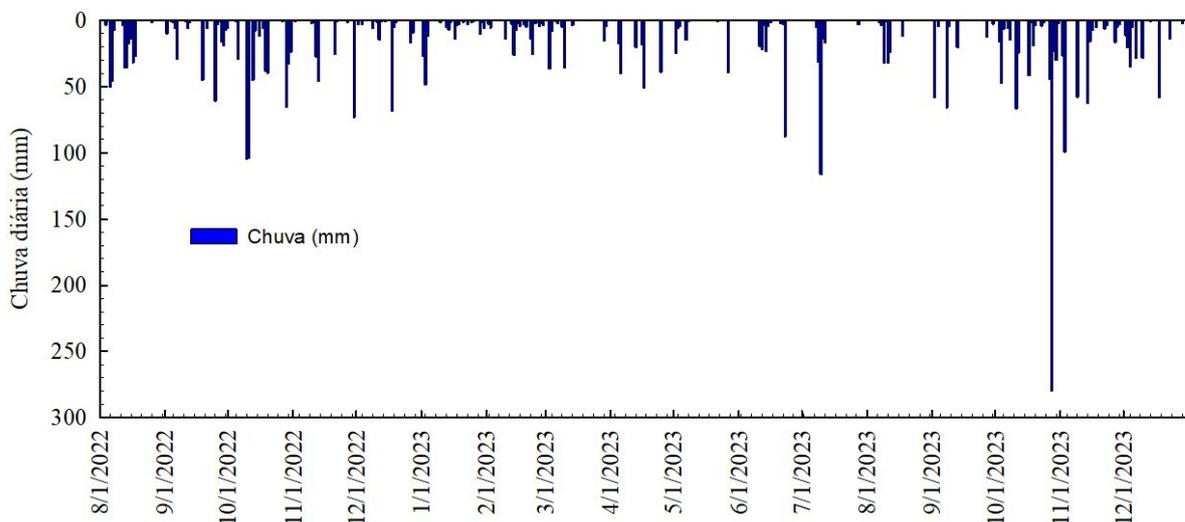
A análise hidrossedimentológica foi realizado por meio da geração de gráficos de comportamento das variáveis de chuva, de escoamento e de sedimentos na forma de hietogramas, hidrogramas e sedimentogramas, o que permitiu a análise do comportamento hidrossedimentométrico comparativo dos eventos monitorados.

4 RESULTADOS

O monitoramento hidrossedimentométrico da bacia hidrográfica e das áreas de lavoura está sendo realizado desde a conclusão da instalação de suas estruturas, em maio de 2019, como parte do projeto da Rede Paranaense de Agropesquisa. Este trabalho, como continuidade à estudos anteriores, abrangeu um período de monitoramento de 17 meses, de agosto de 2022 a dezembro de 2023.

Ao longo do período de monitoramento os meses com maior índice pluviométrico foram outubro de 2022 (516,4 mm) e outubro e novembro de 2023 (631,8 e 309,6 mm, respectivamente) (Gráfico 1), o que condiz com o comportamento do fenômeno de El Niño, uma vez que partir de junho de 2023 o período de monitoramento esteve sob influência deste fenômeno meteorológico, o qual se estendeu até o ano de 2024, com ocorrência de altos volumes precipitados e geração de eventos de alta magnitude no segundo semestre de 2023.

Gráfico 1 – Distribuição diária das precipitações de agosto de 2022 a dezembro de 2023



Fonte: Autoria própria (2025).

Foram monitorados todos os eventos com formação de escoamento superficial durante o período deste estudo, com um total de 20 e 28 eventos nas áreas com e sem terraços, respectivamente. Considera-se evento o período em que houve formação de escoamento superficial na área monitorada, de forma que uma mesma

chuva pode gerar um ou mais eventos de escoamento superficial ao longo de um mesmo dia ou por um maior período de tempo.

O mês de outubro de 2022 teve uma precipitação total de 516,6 mm, nesse mês ocorreu uma sequência de altas precipitações, o que gerou sucessivos eventos, sendo 7 na CT e 9 na ST. Durante o mês de outubro de 2022 o solo da área de estudo estava com cobertura de centeio e aveia, a qual havia sido recentemente dessecada e rolada com auxílio de rolo faca (Figura 12).

Figura 12 – Palhada de centeio e aveia, à esquerda lavoura sem terraços e à direita lavoura com terraços



Fonte: Dinéia Tessaro (2022).

Na Tabela 3 estão apresentadas a precipitação efetiva dos eventos, ou seja, a precipitação correspondente a formação de escoamento, e demais variáveis de precipitação dos eventos ocorridos durante o período de estudo. Em destaque (negrito) têm-se os eventos de 10 e 11/10/2022, em que houve uma precipitação total de 104,5 mm no dia 10/10/2022 com formação de 3 momentos de escoamento superficial na CT e 4 momentos na ST (Tabela 3).

Tabela 3 – Variáveis de precipitação pluvial dos eventos monitorados

Evento	Área	P (mm)	$I_{méd}$ (mm h ⁻¹)	I_{30max} (mm h ⁻¹)	EI_{30} ((MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
18/Ago/2022-1	CT	-	-	-	-
	ST	7,0	9,3	12,1	1,064
18/Ago/2022-2	CT	-	-	-	-
	ST	9,9	8,5	11,3	1,348
10/Out/2022-1	CT	-	-	-	-
	ST	37,4	12,8	32,3	86,710
10/Out/2022-2	CT	19,6	19,6	29,5	8,543

Evento	Área	P (mm)	I _{méd} (mm h ⁻¹)	I _{30max} (mm h ⁻¹)	El ₃₀ ((MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
	ST	56,7	56,7	29,5	8,543
10/Out/2022-3	CT	9,9	13,2	17,4	2,287
	ST	9,9	13,2	17,4	2,287
10/Out/2022-4	CT	27,4	19,4	32,3	12,678
	ST	27,4	19,4	32,3	12,678
11/Out/2022-1	CT	-	-	-	-
	ST	8,9	8,3	15,6	1,829
11/Out/2022-2	CT	56,8	19,5	32,3	26,157
	ST	56,8	19,5	32,3	26,157
13/Out/2022	CT	17,2	9,8	16,9	3,653
	ST	17,2	9,8	16,9	3,653
30/Out/2022	CT	6,3	15,2	12,7	1,096
	ST	6,3	15,2	12,7	1,096
31/Out/2022	CT	18,9	9,1	24,1	5,956
	ST	18,9	9,1	24,1	5,956
10/Jul/2023-1	CT	22,5	10,4	22,5	6,139
	ST	22,5	10,4	22,5	6,719
10/Jul/2023-2	CT	31,8	12,3	24,9	10,731
	ST	31,8	12,3	24,9	10,731
10/Jul/2023-3	CT	21,1	14,1	16,5	4,603
	ST	21,1	14,1	16,5	4,603
10/Jul/2023-4	CT	40,0	17,2	41,0	24,106
	ST	40,0	17,2	41,0	24,106
11/Ago/2023-1	CT	-	-	-	-
	ST	5,9	14,2	11,8	0,944
11/Ago/2023-2	CT	-	-	-	-
	ST	2,6	7,9	-	-
11/Ago/2023-3	CT	-	-	-	-
	ST	11,5	17,3	21,0	4,353
12/Ago/2023	CT	13,8	41,4	-	-
	ST	13,8	41,4	-	-
11/Out/2023	CT	57,8	38,5	72,1	100,689
	ST	57,8	38,5	72,1	100,689
12/Out/2023	CT	30,1	16,4	72,1	100,689
	ST	30,1	16,4	72,1	100,689
28 e 29/Out/2023	CT	296,0	15,0	45,4	191,268
	ST	296,0	15,0	45,4	191,268
03/Nov/2023	CT	146,4	14,2	45,4	99,772
	ST	146,4	14,2	45,4	99,772
09/Nov/2023	CT	15,9	2,1	30,9	7,557
	ST	15,9	2,1	30,9	7,557
14/Nov/2023	CT	23,7	2,3	32,1	10,857
	ST	23,7	2,3	32,1	10,857
04/Dez/2023	CT	22,0	5,5	41,8	16,216

Evento	Área	P (mm)	$I_{méd}$ (mm h ⁻¹)	I_{30max} (mm h ⁻¹)	EI_{30} ((MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹);
	ST	22,0	5,5	41,8	16,216
10/Dez/2023	CT	-	-	-	-
	ST	9,7	1,2	13,6	1,636
18/Dez/2023	CT	44,6	6,2	54,3	37,037
	ST	44,6	6,2	54,3	37,037
Total	CT	922,1	-	-	670,035
	ST	1.052,2	-	-	768,499

Nota: P: precipitação efetiva do evento (mm); $I_{méd}$: intensidade média da chuva (mm h⁻¹); $I_{30máx}$: intensidade máxima em 30 minutos (mm h⁻¹); EI_{30} : índice de erosividade (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹);
Negrito: séries de eventos de maior magnitude; não determinado (-).

Fonte: Autoria própria (2025).

O Evento 1 do dia 10/10/2022 (Tabela 3), o qual ocorreu apenas na ST, com uma precipitação de 37,4 mm, intensidade média de 12,8 mm h⁻¹ e intensidade máxima em 30 minutos de 32,3 mm h⁻¹, a qual resultou em uma Erosividade de 86,710 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, sendo este o maior valor observado durante o período monitorado do ano de 2022.

A formação de escoamento superficial na CT no dia 10/10/2022 só ocorreu em um segundo momento (Evento 2), por um período de tempo de 26 minutos e volume precipitado do evento de 19,6 mm, com I_{med} de 19,6 mm h⁻¹. Na ST o escoamento superficial ocorreu por um período de tempo maior, de 66 minutos, em razão de um volume precipitado do evento de 56,7 mm. A I_{30max} deste evento foi de 29,5 mm h⁻¹, correspondendo a uma EI_{30} de 8,543 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ (Tabela 3).

Outros 2 eventos do dia 10/10/2022 ocorreram em ambas as áreas com precipitação de 9,9 mm e 27,4 mm, gerando um índice de Erosividade de 2,287 e 12,676 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ respectivamente aos eventos 3 e 4 de 10/10/2022 (Tabela 3).

No dia seguinte (11/10/2022) somados mais 103,5 mm diários, em contribuição a alta umidade do solo devido as precipitações antecedentes, ocorreu mais 1 evento na CT e 2 eventos na ST.

O evento 1 do dia 11/10/2022, ocorrido apenas na ST, foi resultado de uma precipitação de 8,9 mm, com I_{med} de 8,3 mm h⁻¹ e I_{30max} de 15,6 mm h⁻¹, o que corresponde a um índice de Erosividade de 1,829 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ (Tabela 3). O escoamento do evento 11/10/2022 – evento 1 na ST teve uma duração de 24 minutos, com vazão máxima de 1,04 L s⁻¹, o que gerou um volume escoado de 0,86 m³ (Tabela 4).

O monitoramento da enxurrada neste evento (11/10/2022 – evento 1) foi realizado somente por meio do sensor de nível (linígrafo) e leitura da cota máxima de

acordo com a marca da água na calha formada pela enxurrada, tendo-se deste modo somente as variáveis de escoamento do evento.

O evento 2 do dia 11/10/2022 ocorreu nas duas lavouras, com precipitação de 56,8 mm, I_{med} de 19,5 mm e I_{30max} de 32,3 mm h^{-1} para ambas as lavouras, correspondendo a um EI_{30} de 26,157 MJ mm $ha^{-1} h^{-1}$ (Tabela 3).

O volume escoado nos eventos de 10 e 11 de outubro de 2022 apresentaram menores valores de volume escoado nos primeiros eventos (Tabela 4), contudo no último momento de escoamento superficial ocorrido nesta série de eventos (11/10/2022 – evento 2) gerou um maior volume total escoado de 43,54 m^3 na CT e 163,77 m^3 de água na ST. Cabe ressaltar que o volume escoado na CT refere-se a área entre o último terraço e a calha H e que este volume seria retido se houvesse outro terraço ao final lavoura.

Esta diferença de 120,23 m^3 a menos escoados na CT representa maior capacidade do uso do terraceamento em manter esta água no sistema. A CT apresentou um coeficiente de escoamento de 3,98%, enquanto que na ST 14,98% do total precipitado durante o evento foi perdido por meio do escoamento superficial.

Tabela 4 – Variáveis de escoamento dos eventos monitorados

Evento	Área	V (m^3)	C (%)	$Q_{máx}$ (L s^{-1})	$Q_{méd}$ (L s^{-1})
18/Ago/2022-1	CT	-	-	-	-
	ST	1,44	1,076	1,59	0,55
18/Ago/2022-2	CT	-	-	-	-
	ST	2,93	1,535	2,29	0,81
10/Out/2022-1	CT	-	-	-	-
	ST	3,77	0,524	4,14	1,02
10/Out/2022-2	CT	1,12	0,297	1,56	0,53
	ST	3,60	0,330	3,51	0,82
10/Out/2022-3	CT	0,02	0,008	0,13	0,02
	ST	0,63	0,332	0,74	0,30
10/Out/2022-4	CT	1,55	0,293	3,61	0,92
	ST	5,31	1,007	5,00	1,73
11/Out/2022-1	CT	-	-	-	-
	ST	0,86	0,498	1,04	0,40
11/Out/2022-2	CT	43,54	3,985	26,05	5,09
	ST	163,77	14,989	72,55	16,60
13/Out/2022	CT	1,91	0,577	3,61	0,93
	ST	6,66	2,013	5,33	2,03
30/Out/2022	CT	0,26	0,211	0,70	0,17
	ST	1,73	1,421	1,98	0,65

Evento	Área	V (m ³)	C (%)	Q _{máx} (L s ⁻¹)	Q _{méd} (L s ⁻¹)
31/Out/2022	CT	0,70	0,193	1,08	0,29
	ST	4,84	1,333	5,00	1,56
10/Jul/2023-1	CT	0,98	0,226	0,70	0,21
	ST	1,34	0,310	1,15	0,46
10/Jul/2023-2	CT	12,66	2,071	6,69	2,43
	ST	19,99	3,270	10,45	3,64
10/Jul/2023-3	CT	5,93	1,460	3,20	1,10
	ST	6,41	1,579	3,08	1,18
10/Jul/2023-4	CT	23,59	3,064	20,92	4,80
	ST	58,17	7,556	38,32	9,07
11/Ago/2023-1	CT	-	-	-	-
	ST	0,17	0,151	0,37	0,12
11/Ago/2023-2	CT	-	-	-	-
	ST	0,16	0,317	0,28	0,08
11/Ago/2023-3	CT	-	-	-	-
	ST	0,18	0,083	0,33	0,10
12/Ago/2023	CT	0,43	0,163	0,70	0,17
	ST	3,07	1,157	6,15	1,77
11/Out/2023	CT	0,99	0,089	1,56	0,31
	ST	0,49	0,044	0,44	0,13
12/Out/2023	CT	40,68	7,021	54,02	9,72
	ST	185,11	31,953	120,60	21,38
28 e 29/Out/2023	CT	140,14	2,462	14,46	2,86
	ST	344,83	6,058	34,93	7,42
03/Nov/2023	CT	179,96	6,391	78,33	15,75
	ST	339,94	12,072	127,67	36,54
09/Nov/2023	CT	9,54	3,112	16,46	4,34
	ST	14,96	4,882	16,08	5,45
14/Nov/2023	CT	1,37	0,301	1,46	0,36
	ST	8,93	1,959	6,15	1,41
04/Dez/2023	CT	2,29	0,541	2,82	0,63
	ST	10,37	2,449	10,45	2,29
10/Dez/2023	CT	-	-	-	-
	ST	0,81	0,431	0,74	0,28
18/Dez/2023	CT	0,06	0,007	0,20	0,06
	ST	0,64	0,075	1,15	0,30
Total	CT	467,70	-	-	-
	ST	1.191,13	-	-	-

Nota: V: volume total escoado (m³); L: lâmina total do evento (mm); C: coeficiente de escoamento (%); Q_{máx}: vazão máxima do evento (L s⁻¹); Q_{méd}: vazão média do evento (L s⁻¹); Negrito: séries de eventos de maior magnitude; não determinado (-).

Fonte: Autoria própria (2025).

A produção de sedimentos ao longo de eventos sequenciais também apresentou aumento, assim como a vazão. O primeiro evento monitorado (10/10/2022

- evento 1), ocorrido apenas na ST, resultou em uma menor produção de sedimento (0,185 kg) em relação aos eventos posteriores da série, com CSS máxima de 0,25 g L⁻¹ (Tabela 5). Ao considerarmos a CSS observada no evento de 10/10/2022-2, este atingiu máximas de 0,92 g L⁻¹ na CT e 0,46 g L⁻¹ na ST, os maiores valores observados da série, o que correspondem a uma PS de 0,633 kg e 0,405 kg, respectivamente (Tabela 5).

O evento de 11/10/2022 – evento 2, último evento desta série, gerou maiores valores de produção de sedimento em comparação aos eventos anteriores. A PS foi de 2,50 kg na CT e 24,41 kg na ST, o que representa uma produção de sedimentos específica de 0,001300 e 0,012695 Mg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5 – Variáveis de sedimento dos eventos monitorados

Evento	Área	PS (kg)	PS _{esp} (Mg ha ⁻¹)	CSS _{max} (g L ⁻¹)	CSS _{méd} (g L ⁻¹)
18/Ago/2022-1	CT	-	-	-	-
	ST	0,179	0,000093	0,3134	0,0887
18/Ago/2022-2	CT	-	-	-	-
	ST	0,156	0,000081	0,0908	0,0344
10/Out/2022-1	CT	-	-	-	-
	ST	0,185	0,000096	0,2542	0,0425
10/Out/2022-2	CT	0,633	0,000329	0,9224	0,2784
	ST	0,405	0,000211	0,4665	0,0945
10/Out/2022-3	CT	0,003	0,000001	0,1792	0,0256
	ST	0,029	0,000015	0,0683	0,0324
10/Out/2022-4	CT	0,127	0,000066	0,2685	0,0847
	ST	0,585	0,000304	0,4561	0,0905
11/Out/2022-1	CT	-	-	-	-
	ST	-	-	-	-
11/Out/2022-2	CT	2,500	0,001300	0,3908	0,0901
	ST	24,413	0,012695	0,5922	0,1100
13/Out/2022	CT	0,221	0,000115	0,2074	0,0761
	ST	0,619	0,000322	0,3018	0,0853
30/Out/2022	CT	0,014	0,000007	0,1419	0,0375
	ST	0,100	0,000052	0,1479	0,0502
31/Out/2022	CT	0,052	0,000027	0,1127	0,0330
	ST	0,348	0,000181	0,1818	0,0580
10/Jul/2023-1	CT	0,037	0,000019	0,0568	0,0166
	ST	0,083	0,000043	0,0905	0,0408
10/Jul/2023-2	CT	0,409	0,000213	0,1190	0,0339
	ST	1,635	0,000850	0,3858	0,0851
10/Jul/2023-3	CT	0,250	0,000130	0,1123	0,0374
	ST	0,720	0,000375	0,5968	0,0871
10/Jul/2023-4	CT	0,918	0,000477	0,1304	0,0387

Evento	Área	PS (kg)	PS _{esp} (Mg ha ⁻¹)	CSS _{máx} (g L ⁻¹)	CSS _{méd} (g L ⁻¹)
	ST	5,139	0,002673	0,2254	0,0738
11/Ago/2023-1	CT	-	-	-	-
	ST	-	-	-	-
11/Ago/2023-2	CT	-	-	-	-
	ST	-	-	-	-
11/Ago/2023-3	CT	-	-	-	-
	ST	-	-	-	-
12/Ago/2023	CT	-	-	-	-
	ST	-	-	-	-
11/Out/2023	CT	0,029	0,000015	0,0627	0,0277
	ST	0,037	0,000019	0,0842	0,0339
12/Out/2023	CT	2,297	0,001195	0,0835	0,0395
	ST	14,461	0,007520	0,3535	0,0807
28 e 29/Out/2023	CT	3,351	0,001743	0,1534	0,0446
	ST	8,706	0,004527	0,4673	0,0549
03/Nov/2023	CT	8,364	0,004350	0,0845	0,0496
	ST	34,297	0,017835	1,3885	0,1228
09/Nov/2023	CT	0,553	0,000288	0,0880	0,0388
	ST	0,663	0,000345	0,3824	0,0613
14/Nov/2023	CT	0,263	0,000137	0,2370	0,1193
	ST	16,835	0,008754	4,8439	1,1292
04/Dez/2023	CT	0,278	0,000145	0,2003	0,0880
	ST	9,070	0,004716	0,8334	0,2845
10/Dez/2023	CT	-	-	-	-
	ST	0,145	0,000075	0,4866	0,1317
18/Dez/2023	CT	0,003	0,000002	0,0608	0,0227
	ST	0,271	0,000141	1,0325	0,2857
Total	CT	20,302	0,010557	-	-
	ST	119,080	0,061924	-	-

Nota: PS: produção de sedimentos (kg); PS_{esp}: produção de sedimentos específica (Mg ha⁻¹); CSS_{máx}: concentração de sedimentos em suspensão máxima do evento (g L⁻¹); CSS_{méd}: concentração de sedimentos em suspensão média do evento (g L⁻¹); Negrito: séries de eventos de maior magnitude; não determinado (-).

Fonte: Autoria própria (2025).

Posteriormente ao mês de outubro de 2022, teve-se um período com chuvas mais espaçadas e, em geral, de menor volume precipitado acumulado, sem formação de escoamento superficial.

Maiores volumes de chuva foram registrados a partir de junho de 2023, já sob influência do fenômeno El Niño. O mês de julho apresentou P de 187,11 mm e agosto a P acumulada mensal foi de 105,92 mm, com ocorrência de 4 eventos de escoamento superficial em um único dia no mês de julho em ambas as áreas de lavoura.

A P do mês de julho se concentrou principalmente entre os dias 8 a 12 do mês,

com 182,78 mm precipitados nesse intervalo de tempo. A cobertura do solo neste período estava com a cultura do trigo em sua fase inicial de perfilhamento (Figura 13). No dia 10/07/2023 teve-se uma precipitação de 116,28 mm e formação de 4 eventos consecutivos de escoamento superficial nas duas áreas monitoradas.

Figura 13 – Cultura do trigo em fase inicial de perfilhamento na lavoura sem terraços



Fonte: Autoria própria (2023).

Em um primeiro momento (10/07/2023 – evento 1), teve-se uma P de 22,5 mm (Tabela 3) e volume escoado de apenas 0,98 m³ de água na CT e 1,34 m³ na ST, com uma intensidade média de 0,21 e 0,46 L s⁻¹, respectivamente, atingindo vazões máximas de 0,7 L s⁻¹ na CT e 1,15 L s⁻¹ na ST (Tabela 4).

O último evento da série (10/07/2023 - evento 4) apresentou maior magnitude em termos de variáveis de chuva, com precipitação do evento de 40 mm, I_{med} de 17,2 mm e I_{30max} de 41,0 mm h⁻¹, resultando em um índice de Erosividade de 24,106 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ (Tabela 3).

Considerando este comportamento crescente em termos de escoamento, o último evento da série (10/07/2022 – evento 4) gerou um volume de 23,59 m³ de água escoada na CT e 58,17 m³ na ST. A vazão máxima monitorada chegou a 20,92 e 38,32 L s⁻¹ e a vazão média foi de 4,80 e 9,07 L s⁻¹ nas megas com e sem terraço, respectivamente (Tabela 4).

A série de eventos de 10 de julho de 2023 também apresentou maior PS no último evento (10/07/2023- evento 4). A CSS média foi de 0,04 e 0,26 g L s⁻¹ na CT e ST, respectivamente. Isso gerou uma perda de solo de 0,918 kg na CT e 5,129 kg na ST, ou seja, houve um aumento de 0,881 kg de solo perdido em comparação ao

primeiro evento na CT e de 5,056 kg na ST (Tabela 5).

No mês de setembro não houve a ocorrência de eventos de vazão. A precipitação acumulada foi de 169,3 mm no mês. Essa precipitação mensal ocorreu em dias isolados e espaçados durante o mês sem a ocorrência de formação de enxurradas.

O mês de outubro de 2023 teve um total mensal de 631,8 mm precipitados. A alta precipitação resultou na formação de outra sequência de eventos de alta magnitude evidenciada durante o período de outubro e novembro de 2023, com 4 eventos de escoamento superficial, nos dias 11, 12 e 28 de outubro e 3 de novembro (Tabela 3), em ambas as áreas monitoradas.

Durante o mês de outubro e início de novembro de 2023 a área de estudo encontravam-se sob a palhada de trigo (Figura 14), que havia sido colhido ao final do mês de setembro e que devido as condições de alta precipitação e umidade do solo, não foi possível realizar a semeadura da cultura de verão.

Figura 14 – Palhada de trigo pós colheita, à esquerda lavoura sem terraços e à direita lavoura com terraços



Fonte: Autoria própria (2023).

A perda de solo total gerada no mês de outubro foi de 5,68 kg na lavoura CT e 23,20 kg na lavoura ST. O mês de novembro gerou valores maiores de perda de solo, sendo 9,19 kg perdidos na CT e 51,80 kg na ST, representando uma redução da perda de solo de 82,26% na CT em comparação a lavoura ST.

O evento de 11/10/2023 foi resultado de uma precipitação de 57,8 mm, com I_{med} de $38,5 \text{ mm h}^{-1}$ e I_{30max} de $72,1 \text{ mm h}^{-1}$, o que corresponde a um EI_{30} de $100,689 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Tabela 3). O volume escoado neste evento foi de 0,99 e $0,49 \text{ m}^3$ na CT e ST, respectivamente, com baixo coeficiente de escoamento, o que representou um coeficiente de escoamento de 0,089% e 0,04% do precipitado durante o evento,

respectivamente (Tabela 4).

No dia seguinte, 12/10/2023, ocorreu o segundo evento, com precipitação de 30,1 mm, I_{med} de 16,4 mm h⁻¹ e I_{30max} , assim como o evento anterior, de 72,1 mm h⁻¹, e índice de Erosividade de 100,689 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ (Tabela 3).

O volume escoado no evento de 12/10/2023 (Tabela 4) atingiu maiores proporções em relação aos eventos do dia anterior, com Q_{max} de 54,02 L s⁻¹ na CT e de 120,60 L s⁻¹ na ST de um total escoado de 40,68 e 185,11 m³, respectivamente, sendo o valor escoado 55,21% inferior na CT. O evento de 12/10/2023 teve maiores coeficientes de escoamento observados durante o período de monitoramento deste estudo (7,02% na CT e 31,95% na ST).

O evento do dia 11/10/2023 apresentou menor perda de solo (0,029 kg na CT e 0,037 kg na ST) comparado aos eventos posteriores. A CSS máxima foi de 0,0627 e 0,0842 g L⁻¹ nas megas CT e ST, respectivamente. O segundo evento (12/10/2023) gerou uma perda de solo de 2,297 kg na lavoura CT e de 14,461 kg na lavoura ST. A CSS máxima observada durante o segundo evento (12/10/2023) na CT foi de 0,0835 g L⁻¹ e na ST foi de 0,3535 g L⁻¹ (Tabela 5).

Nos dias posteriores aos eventos de 11 e 12/10/2023 não houve formação de escoamento superficial até o dia 28 do mês de outubro, porém ocorreram várias chuvas ao longo destes dias, o que auxiliou na manutenção da umidade do solo, de modo que os eventos de 28 e 29/10/2023 e de 03/10/2023 atingiram maiores proporções.

O evento de 28 e 29/10/2023 foi o maior evento em termos de volume precipitado de todo o período de monitoramento deste trabalho, com uma precipitação de 296,0 mm, com I_{med} de 15,0 mm h⁻¹, o qual atingiu uma I_{30max} de 45,4 mm h⁻¹, o que resultou no maior índice de Erosividade calculado para os eventos monitorados, no valor de 191,268 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ (Tabela 3).

No evento de 28/10/2023 o volume escoado foi de 140,14 m³ de água na CT e de 344,83 m³ na ST (Tabela 4). A vazão média do evento foi 2,86 L s⁻¹ na CT e 7,42 L s⁻¹ na ST, menores que os valores obtidos no evento de 12/10/2023 (9,72 L s⁻¹ na CT e 21,38 L s⁻¹ na ST).

A CSS_{max} observada em 28/10/2023 foi de 0,1534 e 0,4673 g L⁻¹ nas megas CT e ST, respectivamente (Tabela 5), valores estes maiores do que as CSS registradas nos eventos anteriores deste mês.

Posteriormente, em 03/11/2023, ocorreu um novo evento de escoamento

superficial, resultado de uma precipitação de 146,4 mm, com I_{med} de 14,2 mm h⁻¹, I_{30max} de 45,4 mm h⁻¹ e valor de EI_{30} de 99,772 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ (Tabela 3).

O evento de 03/11/2023 foi o maior evento monitorado em termos de volume de água escoada, com coeficiente de escoamento de 6,39% na CT e de 12,07% na ST (Tabela 4).

No evento de 03/11/2023 a vazão média foi de 15,75 L s⁻¹ e 36,54 L s⁻¹, com máximas de 78,33 e 127,67 L s⁻¹ nas megas CT e ST, respectivamente (Tabela 4). Estes valores observados de vazão máxima superaram os do evento de 12/10/2023, que haviam sido os maiores monitorados até o momento.

Contudo, apesar do evento de 28/10/2023 ter apresentado alta CSS em relação aos eventos anteriores deste período, o evento de 03/11/2023, gerou valores ainda maiores na lavoura ST, com valores de CSS_{max} de 1,3885 g L⁻¹ na ST e na CT a CSS_{max} foi de 0,0845 g L⁻¹, menor que o observado no evento anterior (Tabela 5).

O evento de 03 de novembro de 2023 também foi o maior em quantidade de solo perdido, com valores de PS na CT de 8,364 kg e na ST de 34,297 kg de solo perdido para fora do sistema, o que representa uma produção de sedimentos específica de 0,004350 e 0,017835 Mg ha⁻¹, respectivamente, superando os valores de perda de solo ocorridas no evento de 11/10/2022 – evento 2, que haviam sido os maiores registrados até então durante o período de monitoramento (Tabela 5). Isso representa para este evento (03/11/2023) uma redução de 75,62% da perda de solo na CT em comparação a ST.

Ao considerar a perda de solo total dos eventos monitorados em 2023 (16,75 kg na CT e 92,06 Kg na ST), isto representa uma produção de sedimentos específica total de 0,008712 Mg ha⁻¹ na CT e 0,047874 Mg ha⁻¹ na ST, sendo a perda de solo na CT 81,81% menor em comparação a ST no ano de 2023. O evento de 03/11/2023 foi responsável por 37,6% do solo perdido no ano na ST e 49,9% na CT. Essa concentração da perda de solo em poucos eventos é ainda mais expressiva quando se observa a perda de solo da sequência de eventos entre 11/10/2023 até 03/11/2023, em que a soma da perda de solo nesse período de 23 dias representa 62,5% da perda anual ocorrida na ST e 83% na CT no ano de 2023.

Ocorreram também eventos de menor magnitude, como os do dia 18/08/2022, com precipitação diária de 26,8 mm após uma sequência de chuvas diárias que vinham ocorrendo desde o início do mês, sob alta condição de cobertura do solo com gramíneas de inverno em fase de pré-florescimento. Neste dia houve dois eventos de

formação de escoamento superficial na ST, sendo que este mesmo comportamento não ocorreu na CT.

A sequência de eventos de 18/08/2022 teve o maior volume escoado no segundo evento da série, com 2,93 m³ de água (Tabela 4). O coeficiente de escoamento neste evento foi de 1,535%. A PS foi de 0,179 kg no evento 1 e 0,156 kg no segundo evento do dia 18/08/2022 (Tabela 5).

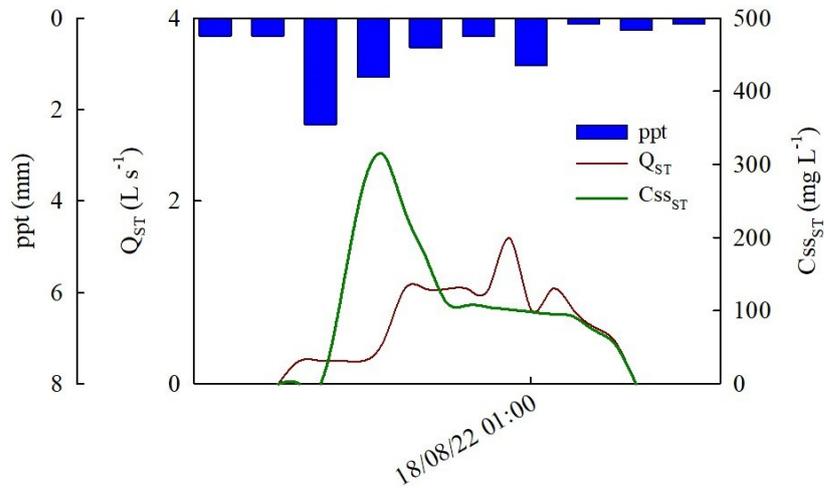
Este mesmo comportamento de formação de escoamento somente na ST foi observado na data de 10/12/2023, com uma chuva diária similar em volume (28,1 mm) ao ocorrido no evento de 18/08/2022 (26,8 mm). No dia 10/12/2023 a área estava sob cultivo da soja em fase inicial de desenvolvimento (V3 – V4) e condição de alta umidade do solo devido um regime regular de chuvas no período (Gráfico 1), a qual gerou escoamento superficial somente na ST, com volume escoado de 0,81 m³ de água, isso representa um coeficiente de escoamento de 0,431% do volume precipitado (Tabela 4), com perda de solo gerada no evento foi de 0,145 kg (Tabela 5).

Observa-se que o comportamento do primeiro evento ocorrido durante o período de monitoramento deste trabalho, em 18/08/2022 (evento 1) na ST, o pico da CSS (0,313 g L⁻¹) ocorre logo após o início do processo de formação do escoamento superficial e no momento de maior intensidade de precipitação (Gráfico 2).

O evento 18/08/2022 – evento 2 foi resultado de uma precipitação mais constante ao longo do período, gerando um aumento da vazão que atinge seu pico (2,29 L s⁻¹) próximo ao momento de recessão da precipitação. A partir do momento em que a precipitação diminuiu, a enxurrada também diminuiu (Gráfico 3).

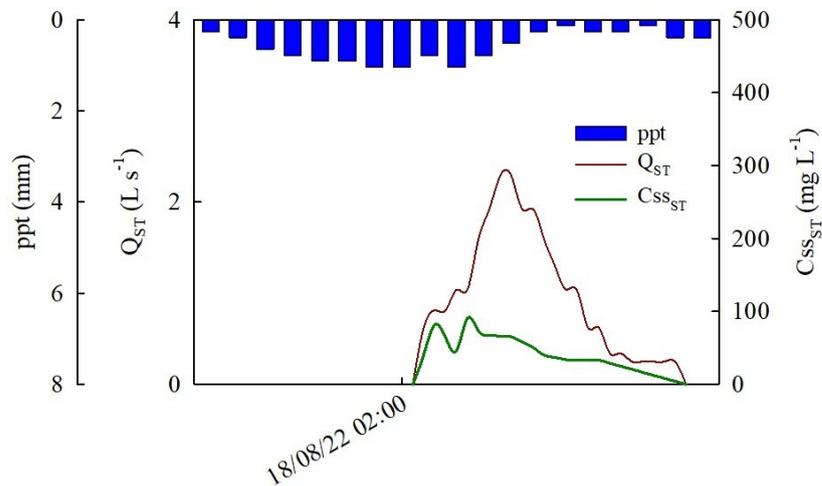
Neste evento (18/08/2022 – evento 2) a CSS também atinge sua máxima (0,090 g L⁻¹) no início do processo de escoamento (Gráfico 3). Contudo, a CSS não atinge picos muito expressivos. Isso se deve a maior parte do material erodido ter sido perdido durante o primeiro evento.

Gráfico 2 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma da lavoura sem terraços durante o evento de precipitação do dia 18/08/2022- evento 1



Fonte: Aatoria própria (2025).

Gráfico 3 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma da lavoura sem terraços durante o evento de precipitação do dia 18/08/2022 – evento 2



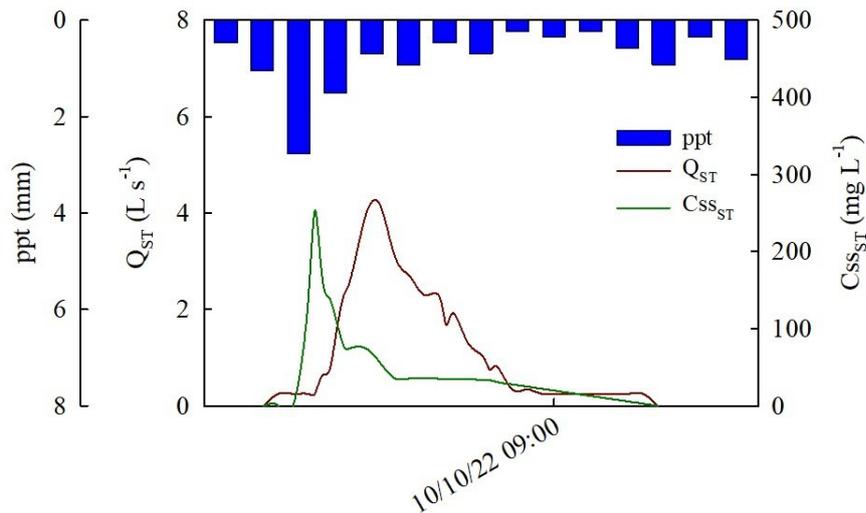
Fonte: Aatoria própria (2025).

O evento de 10/10/2022 – evento 1, ocorrido somente na ST iniciou a formação de escoamento superficial logo após o início da chuva (Gráfico 4). A CSS sobe abruptamente com o aumento da P, de modo que a CSS máxima ($0,042 \text{ g L}^{-1}$) ocorre imediatamente após o pico da chuva.

Com a redução na intensidade da P, a CSS diminuiu até se manter praticamente constante até o final do escoamento. Observa-se que, assim como nos

eventos monitorados anteriormente, a máxima Q ($4,14 \text{ L s}^{-1}$) ocorre após o pico de chuva (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma da lavoura sem terraços durante o evento de precipitação do dia 10/10/2022 – evento 1

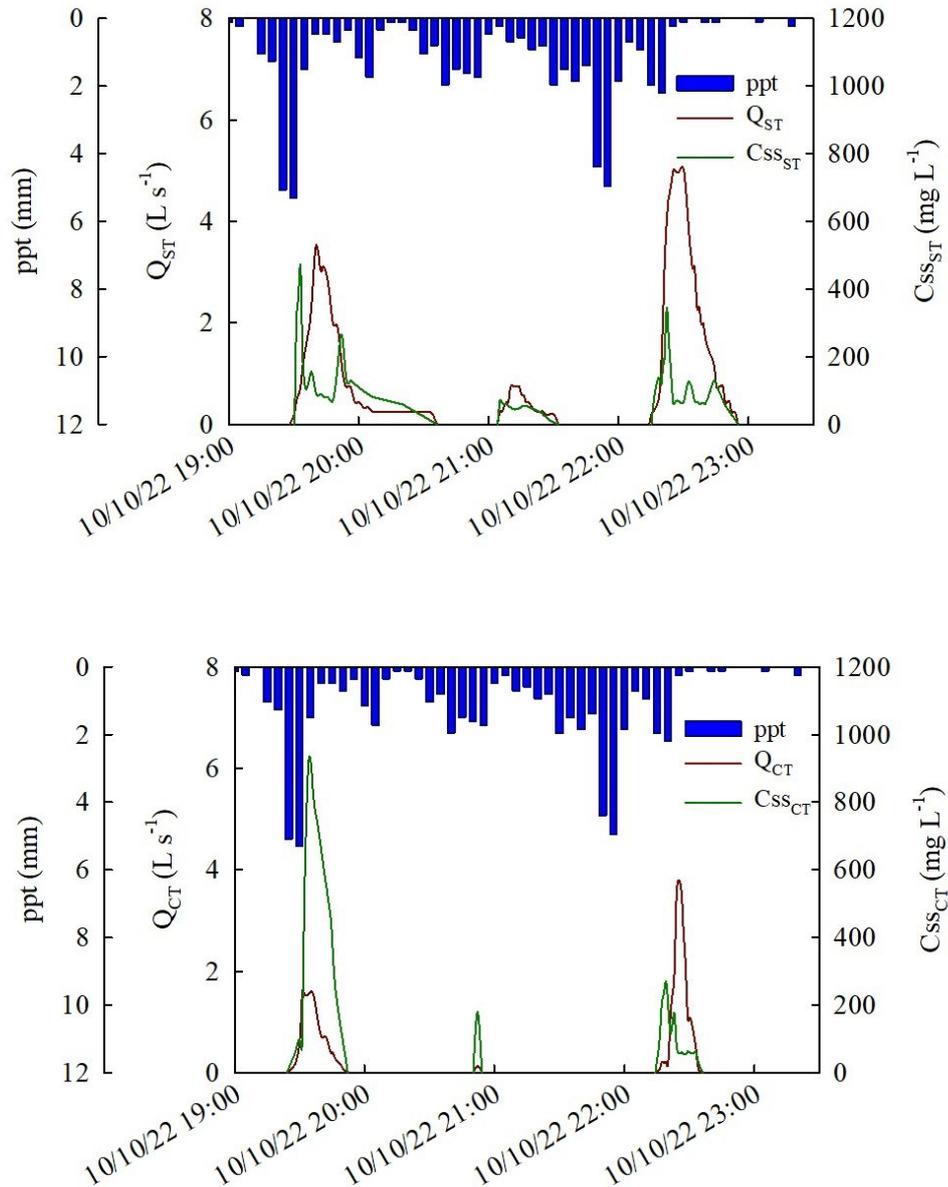


Fonte: Autoria própria (2025).

Este intervalo de tempo entre o pico da chuva e pico da Q é mais claramente observado nos 3 eventos seguintes desta série (Gráfico 5). Contudo, apesar do momento de pico da vazão ser similar nas duas áreas, na ST a vazão perdura por mais tempo após a redução da precipitação.

O escoamento na CT é oriundo da área entre o último terraço e a calha de monitoramento. Enquanto no evento 10/10/2022 - evento 4 houve uma alta vazão de água na ST mesmo após a chuva ter praticamente parado. Além disso, a CSS máxima no evento 10/10/2022- evento 2 é maior do que no evento 10/10/2022 – evento 4 para ambas as lavouras. No evento 10/10/2022 – evento 2 foi observado maior pico de CSS na CT ($0,1792 \text{ g L}^{-1}$) do que na ST ($0,0683 \text{ g L}^{-1}$). Nos dois eventos seguintes (10/10/2022 – eventos 3 e 4) a CSS máxima na CT foi visivelmente menor em relação a lavoura ST (Gráfico 5).

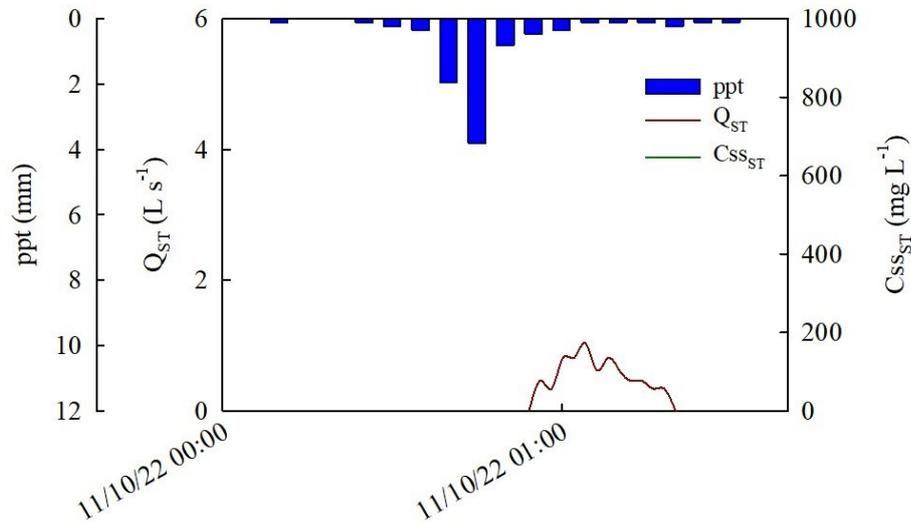
Gráfico 5 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 10/10/2022 – eventos 2, 3 e 4



Fonte: Autoria própria (2025).

Na madrugada do dia 11/10/2022, duas horas após o fim do último evento, ocorre um novo evento de formação de escoamento superficial na ST. Apesar da intensidade da chuva deste evento ter sido baixa, foi o suficiente para gerar escoamento por um período aproximado de 30 minutos, com máxima de $1,03 \text{ L s}^{-1}$ (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma da lavoura sem terraços durante o evento de precipitação do dia 11/10/2022 – evento 1



Fonte: Autoria própria (2025).

Contudo, algumas horas depois (6 h 40 min) do fim do escoamento na ST, a chuva que até então se apresentava com baixa frequência e intensidade, teve um aumento do volume precipitado, desta vez com formação de escoamento nas duas lavouras (11/10/2022 – evento 2). Os picos de CSS ocorridos no evento de 11/10/2022 – evento 2, tenderam a ocorrer antes dos picos de vazão, tanto na CT quanto na ST (Gráfico 7).

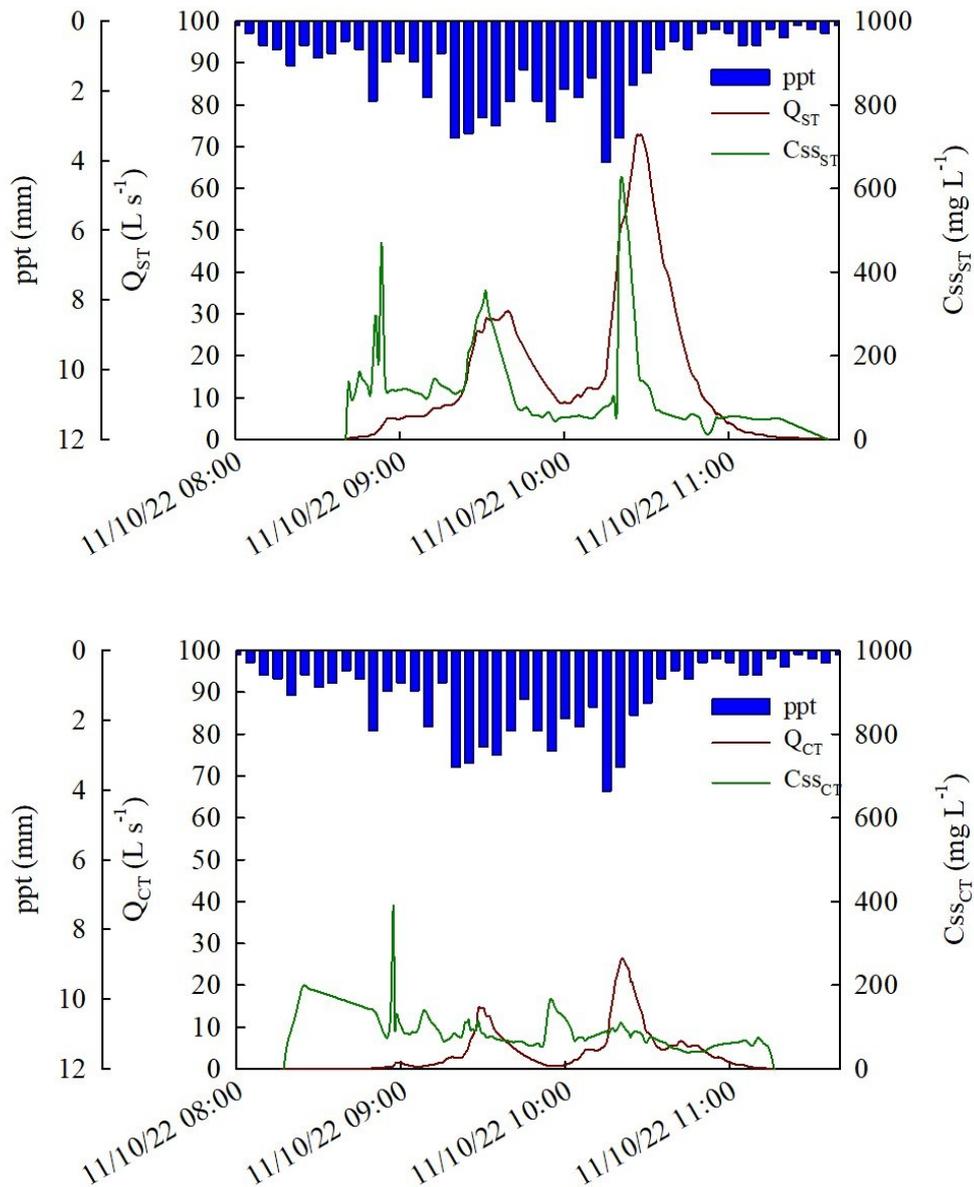
A CT apresentou alta CSS no início do escoamento do dia 11/10/2022 – evento 2 (Gráfico 7), com um primeiro pico oito minutos após o início do escoamento ($0,197 \text{ g L}^{-1}$), apesar da baixa vazão neste momento ($0,072 \text{ L s}^{-1}$).

O maior pico de CSS na CT no evento de 11/10/2022- evento 2 ($0,390 \text{ g L}^{-1}$) ocorre imediatamente após o aumento da precipitação, enquanto a vazão não sofreu grande aumento ($0,699 \text{ L s}^{-1}$), atingindo um primeiro pico ($14,464 \text{ L s}^{-1}$) somente 73 minutos após o início do escoamento (Gráfico 7).

Deste modo, quando ocorre o maior pico de vazão na CT ($26,049 \text{ L s}^{-1}$) neste evento (11/10/2022 – evento 2), a CSS não sofre grandes alterações, com valores entre $0,080$ a $0,110 \text{ g L}^{-1}$. Diferente da ST que mesmo com alta CSS no início do evento, com um primeiro pico de $0,470 \text{ g L}^{-1}$ após 12 minutos do início do escoamento e um segundo pico de CSS ($0,355 \text{ g L}^{-1}$) 50 minutos após o início do escoamento, o ponto máximo de CSS ($0,592 \text{ g L}^{-1}$) ocorre apenas mais tarde, após 79 minutos do

início do escoamento e imediatamente após o pico da chuva (Gráfico 7). Logo em seguida, com 85 minutos do início do escoamento, tem-se o pico da vazão em resposta à precipitação.

Gráfico 7 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 11/10/2022 – evento 2



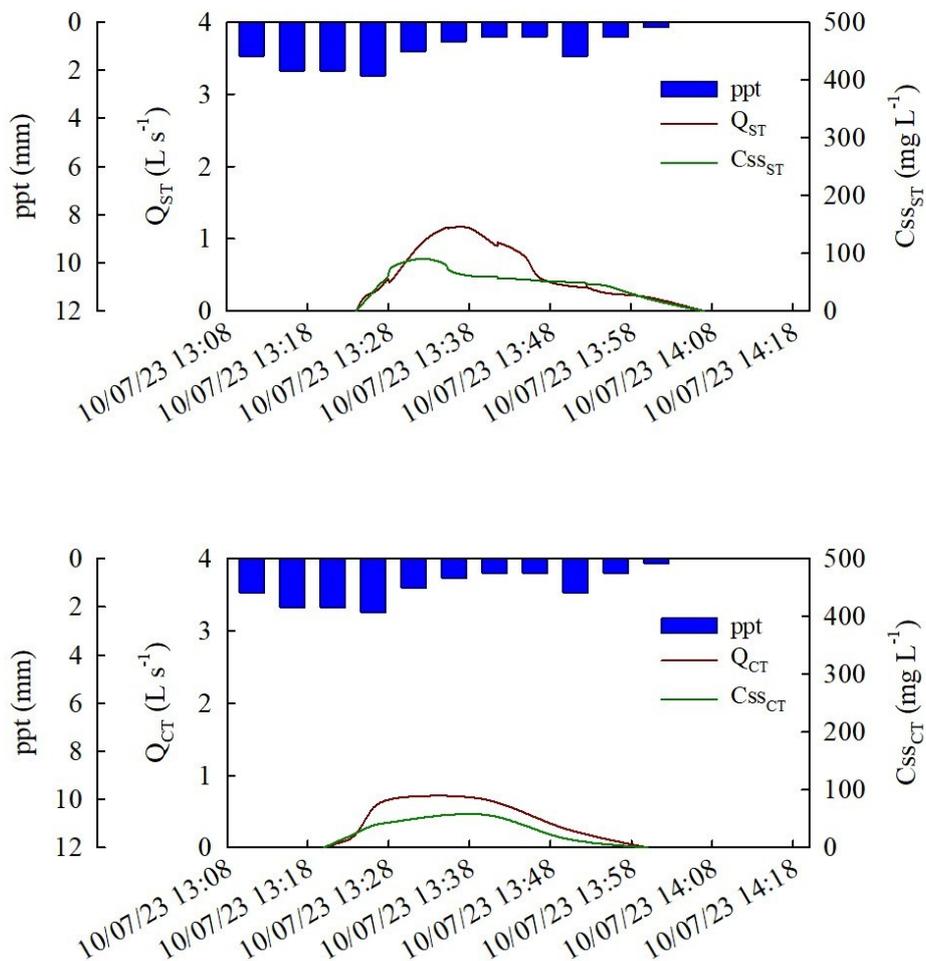
Fonte: Autoria própria (2025).

Observa-se que na série de eventos ocorrida em 10/07/2023, o primeiro evento apresenta um comportamento similar nas duas áreas. Em ambas, conforme há um aumento da P, ocorre um aumento da vazão e da CSS, com o pico da vazão aproximadamente no mesmo momento (Gráfico 8). Após o pico, com a contínua

redução do volume precipitado, há a redução do escoamento e da CSS.

Além do maior volume escoado na lavoura ST em comparação a CT no evento de 10/07/2023 – evento 1, o pico da vazão é maior na ST ($1,147 \text{ L s}^{-1}$) do que na CT ($0,699 \text{ L s}^{-1}$) e percebe-se que o escoamento perdura por mais tempo na ST (42 min) do que na lavoura CT (38 min) (Gráfico 8).

Gráfico 8 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 10/07/2023 – evento 1

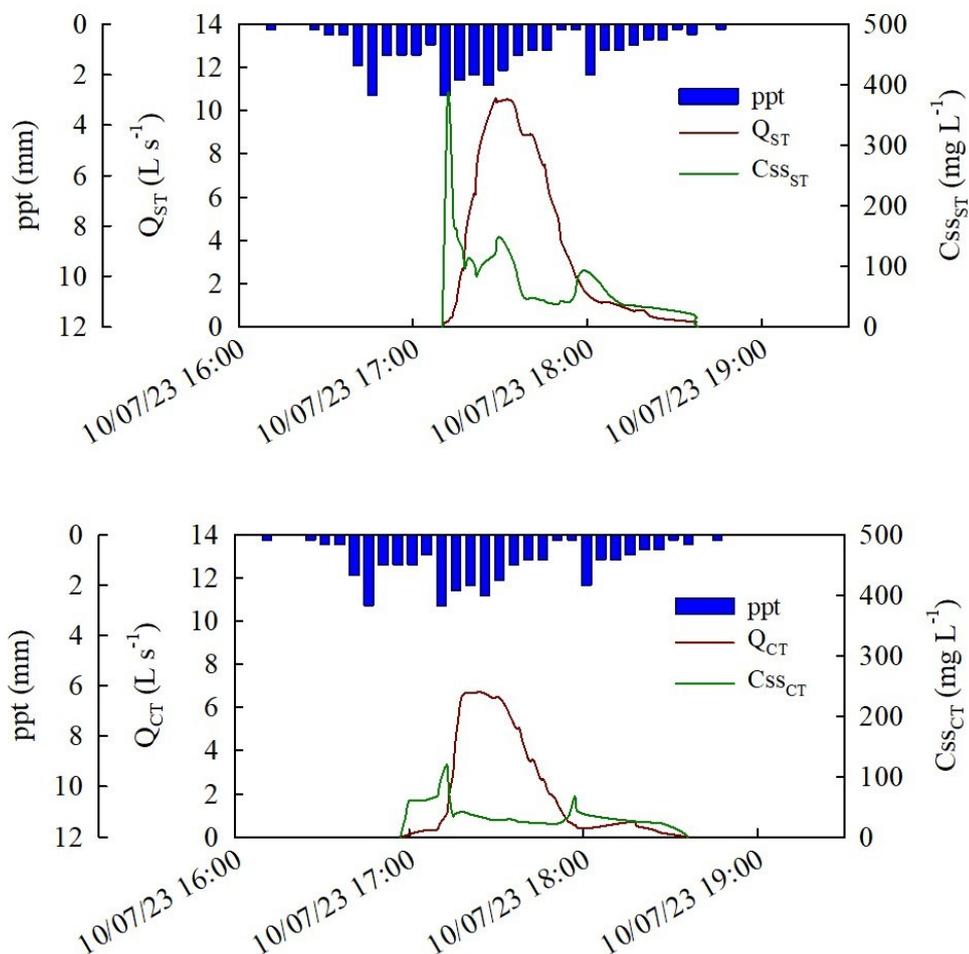


Fonte: Autoria própria (2025).

Contudo, no segundo evento da série (10/07/2023 - evento 2) o comportamento da CSS é bastante distinto entre as áreas monitoradas (Gráfico 9). Temos na ST uma maior CSS, que atinge seu pico ($0,386 \text{ g L}^{-1}$) no segundo minuto do início do escoamento, enquanto a CT, a qual iniciou o escoamento 13 minutos antes da ST, tem seu pico de CSS ($0,119 \text{ g L}^{-1}$) após 15 minutos do início do escoamento, ou seja, o pico de CSS ocorre em momentos próximos nas duas lavouras.

Apesar da CSS na CT ser menor, também há a predominância de uma maior CSS no início do evento de 10/07/2023 – evento 2. Neste segundo evento (10/07/2023 – evento 2) o volume total escoado e a vazão máxima na CT ($6,694 \text{ L s}^{-1}$) é menor, de modo que o pico da vazão na CT ocorre juntamente com o aumento da precipitação, diferente da ST que a vazão máxima ($10,452 \text{ L s}^{-1}$) é atingida 7 minutos após este pico da chuva (Gráfico 9).

Gráfico 9 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 10/07/2023 – evento 2



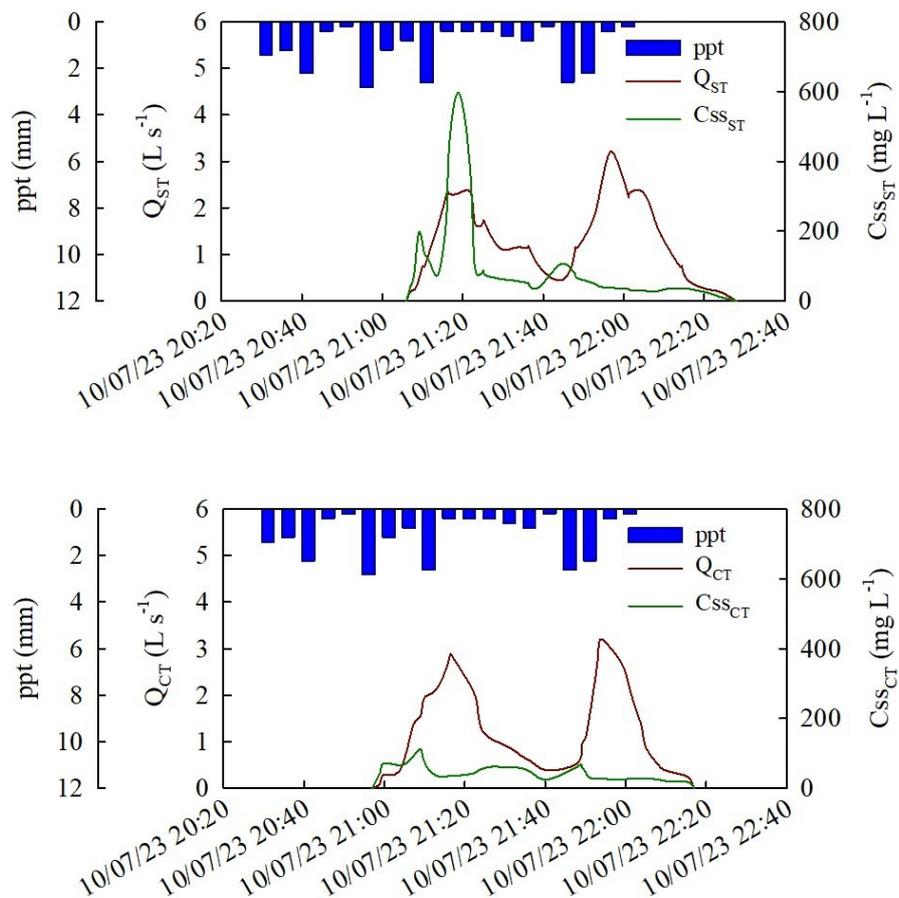
Fonte: Autoria própria (2025).

Este mesmo comportamento de alta CSS no início do evento foi observado na ST no terceiro evento desta série de julho de 2023 (Gráfico 10). No evento 10/07/2023-evento 3 também há uma chuva que precede o início do escoamento, o que contribui com a manutenção da umidade do solo e favorece a erosão.

A alta CSS na ST, com valor de pico de $0,386 \text{ g L}^{-1}$, acontece apenas no primeiro

pico da vazão do evento 3 do dia 10/07/2023 (Gráfico 10). No segundo pico de vazão ocorrido neste evento na ST não há aumento da CSS. Diferentemente da CT, que a CSS apresenta picos pouco expressivos, com poucas variações ao longo de todo o período escoamento, com máxima de $0,119 \text{ g L}^{-1}$.

Gráfico 10 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 10/07/2023 – evento 3



Fonte: Autoria própria (2025).

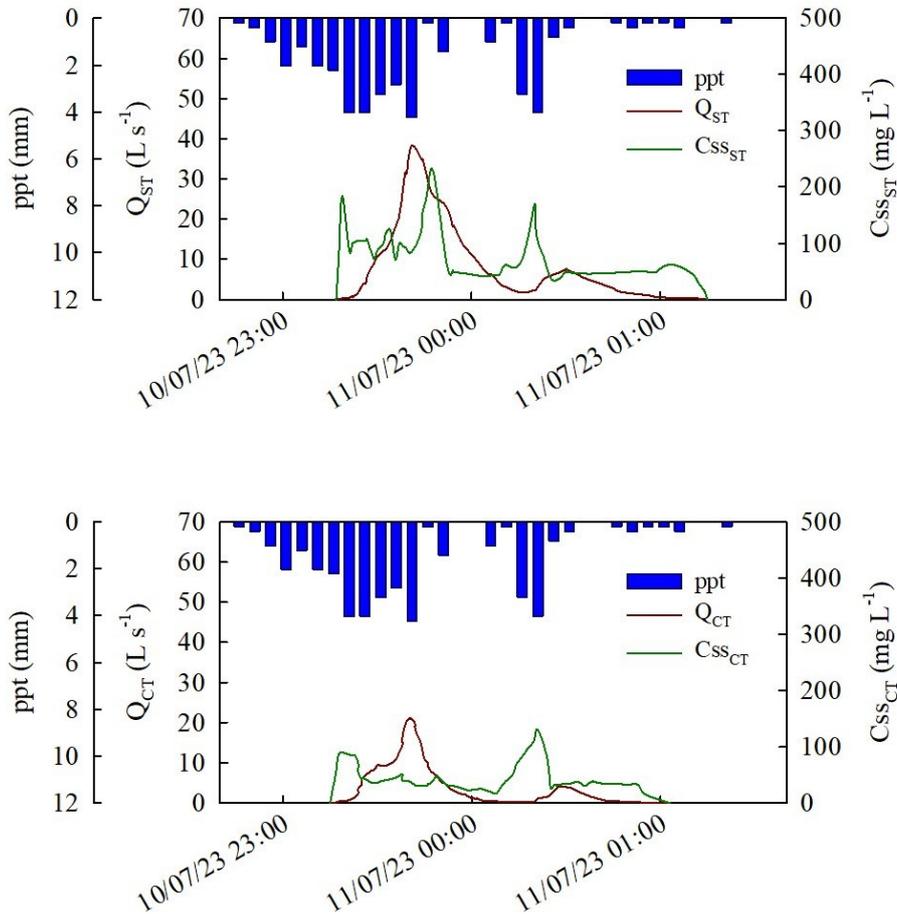
Apesar da menor CSS ao final do evento 10/07/2023 - evento 3 é possível observar, assim como nos eventos anteriores, que houve um maior transporte de sedimentos com a continuidade da chuva e formação do escoamento seguinte. Deste modo, com o início do escoamento no evento 4 do dia 10/07/2023 há um primeiro pico de CSS em ambas as lavouras (Gráfico 11).

Com o aumento da precipitação no evento 10/07/2023 – evento 4, há o aumento da vazão, que atinge seu pico nas duas lavouras, com máxima de $20,919 \text{ L s}^{-1}$ na CT

e $38,324 \text{ L s}^{-1}$ na ST (Gráfico 11). A CSS na ST, que havia diminuído mesmo com o aumento da chuva, atinge um segundo pico logo após o pico da vazão. Diferente da CT, onde a CSS não apresenta grandes variações neste período.

Posteriormente, com a diminuição da precipitação do evento (10/07/2023 – evento 4), a vazão responde da mesma forma nas duas áreas, com a recessão da vazão. Ambas também apresentam resposta similar a um novo pico de chuva, que gera um rápido aumento da CSS, com formação de um novo pico ($130,38 \text{ g L}^{-1}$ na CT e $168,77 \text{ g L}^{-1}$ na ST) apesar da vazão não sofrer grande aumento, com máximas de $4,052 \text{ L s}^{-1}$ na CT e $7,443 \text{ L s}^{-1}$ na ST neste segundo momento (Gráfico 11).

Gráfico 11 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavours sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 10/07/2023 – evento 4



Fonte: Autoria própria (2025).

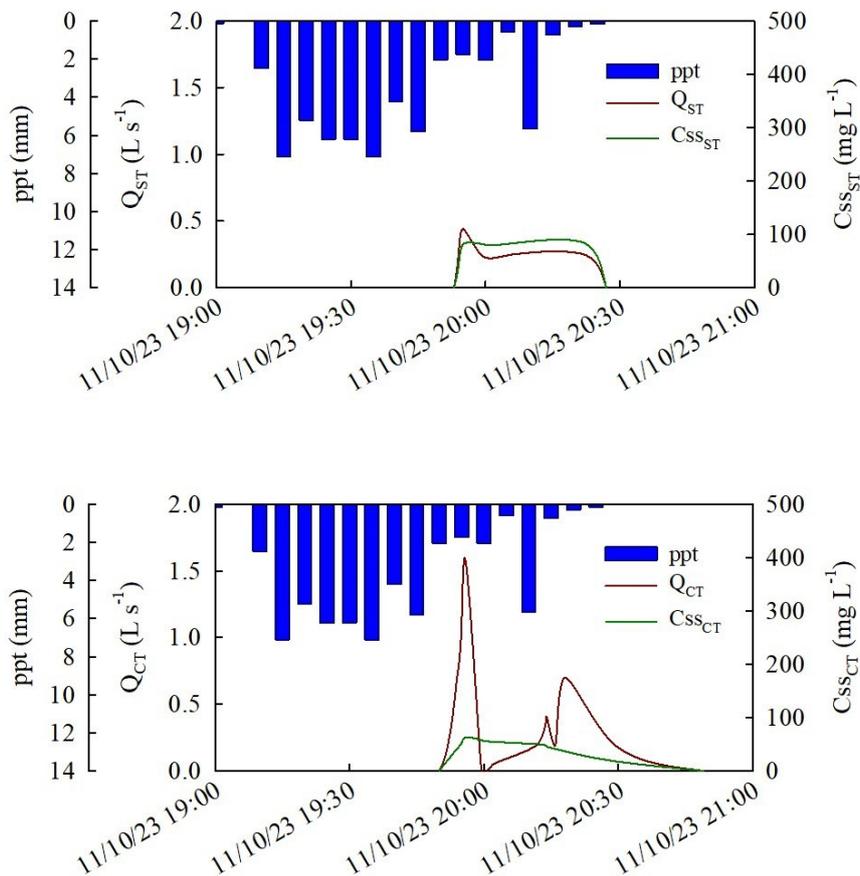
Em outubro de 2023, inclusive em dias similares ao evento destacado no ano anterior (2022), ocorreu o primeiro evento do mês em 11/10/2023 após vários dias de chuvas sequenciais. Neste evento houve formação de escoamento superficial em ambas as áreas monitoradas. Observa-se neste evento (11/10/2023) que houve uma alta precipitação em um curto período de tempo (Gráfico 12), sendo suficiente para formação de escoamento, apesar do baixo volume total escoado ($0,99 \text{ m}^3$ na CT e $0,49 \text{ m}^3$ na ST). Deste modo, quando se inicia o processo de escoamento superficial há um pico da vazão nas duas áreas, a CT gera um maior pico de vazão comparado a ST, com valores máximos de $1,561 \text{ L s}^{-1}$ e $0,439 \text{ L s}^{-1}$ na CT e ST, respectivamente.

Contudo, com a diminuição da precipitação nesta pequena área de contribuição da CT entre o último terraço e a seção de monitoramento, este pico da vazão do

evento 11/10/2023 não perdura por muito tempo (Gráfico 12). Em seguida, com um novo pico de chuva, ocorre novamente este comportamento de formação de pico da vazão na CT ($0,699 \text{ L s}^{-1}$), embora menor que no primeiro momento, pois a intensidade da P também foi menor (Gráfico 12).

Embora a CT tenha gerado maiores valores de vazão do que na ST, conforme citados anteriormente, a máxima CSS é menor na CT ($0,062 \text{ g L}^{-1}$) em comparação a ST ($0,084 \text{ g L}^{-1}$). Na ST há uma ascensão da CSS no início do escoamento e se mantém constante até o final do escoamento, com sua recessão junto com a da vazão (Gráfico 12).

Gráfico 12 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 11/10/2023



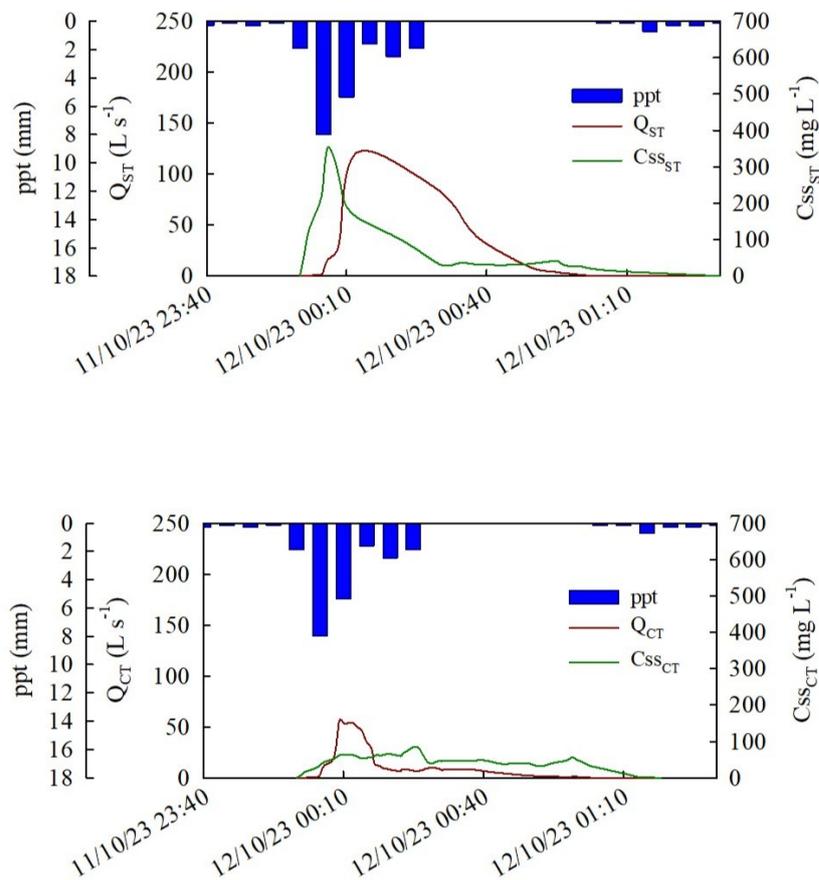
Fonte: Autoria própria (2025).

No dia seguinte, em 12/10/2023, poucas horas após o fim do escoamento do evento anterior (3 h 30 min), ocorre um novo evento. Neste evento tem-se uma resposta mais rápida do início da vazão em relação ao aumento da precipitação

(Gráfico 13). Assim como observado em outros eventos monitorados ocorridos em sequência, este também apresenta um pico da CSS na ST ($0,353 \text{ g L}^{-1}$) logo no início do evento, após 5 minutos do início do escoamento. Diferente da CT que não tem grandes variações da CSS ao longo o evento, com máxima de $0,083 \text{ g L}^{-1}$.

Em relação a vazão, ambas têm uma formação de pico logo após o pico da P, com valores de $54,01 \text{ L s}^{-1}$ e $120,59 \text{ L s}^{-1}$ na CT e ST, respectivamente. Contudo, na CT esta vazão diminui rapidamente com a diminuição da P e se mantém constante até o final do escoamento (Gráfico 13).

Gráfico 13 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 12/10/2023



Fonte: Autoria própria (2025).

Em 28 e 29/10/2023 houve o maior evento em termos de duração do escoamento. O escoamento superficial de 28 e 29/10/2023 teve uma duração de aproximadamente 20 horas. A vazão deste evento teve um comportamento similar nas duas lavouras, com vários picos ao longo do período (Gráfico 14).

Observa-se que a CSS tem um pico logo no início do evento nas duas lavouras

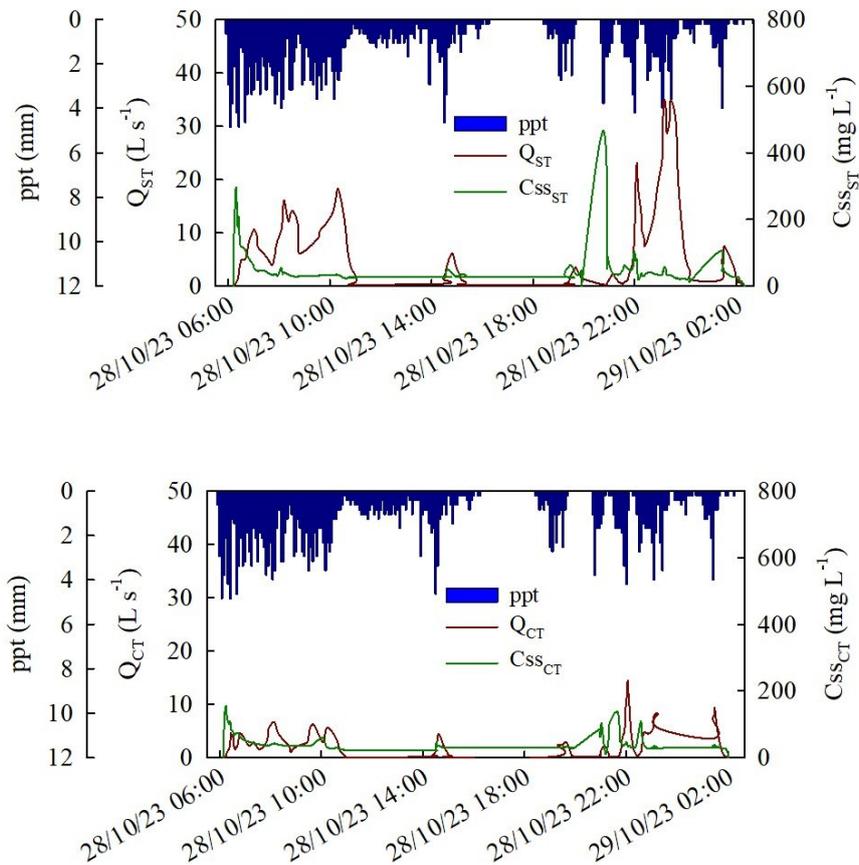
(Gráfico 14). Contudo, esse pico de CSS é menor na CT ($0,153 \text{ g L}^{-1}$) comparado com a ST ($0,292 \text{ g L}^{-1}$), comportamento observado também em eventos anteriores.

Percebe-se que o escoamento superficial perdura mesmo durante um período de duas horas sem chuva ao final da tarde do dia 28/10/2023 (Gráfico 14). Deste modo, quando volta a chover, tem-se um rápido aumento da vazão nas duas áreas, que após um segundo intervalo sem chuva, reduz a novamente a vazão em ambas as lavouras.

A maior CSS observada no evento de 28 e 29/10/2023 na ST ($0,467 \text{ g L}^{-1}$) ocorre após este segundo intervalo de 50 minutos sem precipitação, este comportamento de formação de um segundo pico da CSS também foi observado na CT (Gráfico 14), contudo a máxima CSS foi menor do que a observada no início do evento ($0,136 \text{ g L}^{-1}$). Contudo, quando inicia novamente a chuva, com alta intensidade, a vazão apresenta um comportamento crescente e atinge sua máxima, tanto na CT ($14,46 \text{ L s}^{-1}$) quanto na ST ($34,93 \text{ L s}^{-1}$).

Posteriormente, com a redução da P, ocorre a redução da vazão até $3,613 \text{ L s}^{-1}$ na CT e $1,147 \text{ L s}^{-1}$ na ST, a qual tem um pequeno aumento em razão de um novo estímulo da precipitação, elevando a vazão até $9,382 \text{ L s}^{-1}$ na CT e $1,147 \text{ L s}^{-1}$ na ST. Apesar do comportamento da vazão e da CSS serem similares entre as megasparcelas ao longo do evento (28 e 29/10/2023), a ST teve picos máximos de vazão ($34,93 \text{ L s}^{-1}$) e CSS ($0,467 \text{ g L}^{-1}$) mais elevados em relação a CT ($14,26 \text{ L s}^{-1}$ e $0,153 \text{ g L}^{-1}$, respectivamente) (Gráfico 14).

Gráfico 14 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação dos dias 28 e 29/10/2023



Fonte: Autorial própria (2025).

No dia 03 de novembro de 2023, cinco dias após o evento de 28 e 29 de novembro de mesmo ano, tem-se um novo evento. Apesar da duração do evento de 03/11/2023 (1h 30 min) ser muito menor que a do evento anterior (20 h), proporcionou alto volume escoado (179,96 m³ na CT e 339,94 m³ na ST).

Ao comparar a vazão das duas lavouras, temos que na CT não houve um grande pico da enxurrada (26,04 L s⁻¹) em resposta ao primeiro pico de chuva (Gráfico 15), apenas no segundo momento de aumento da P observa-se a máxima vazão (78,33 L s⁻¹).

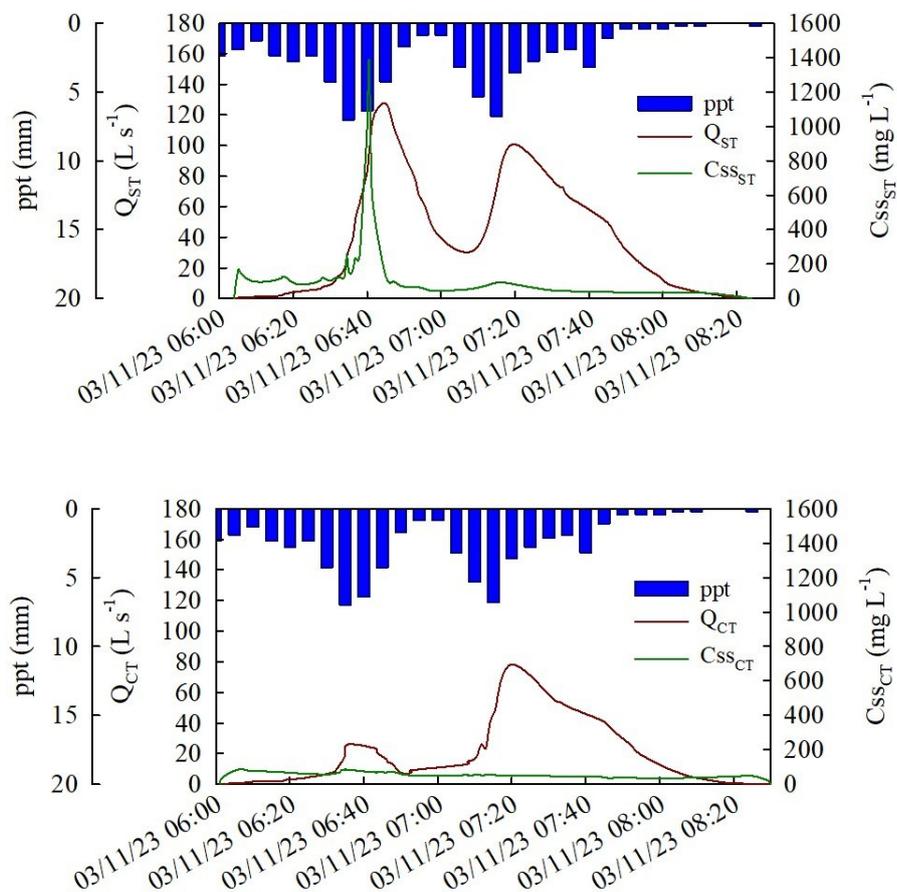
Diferentemente da ST em que sua máxima vazão (127,67 L s⁻¹) neste evento (03/11/2023) ocorre logo após o primeiro pico de chuva, apesar de também ter atingido alta vazão (100,84 L s⁻¹) neste segundo momento de aumento da P (Gráfico 15).

Estes valores de vazão máxima do evento de 03/11/2023 foram os maiores observados durante todo o período de monitoramento do estudo para ambas as áreas.

Assim como a vazão, a CSS na ST também atingiu seu valor máximo (1,388 g

L^{-1}) imediatamente após o primeiro pico de chuva (Gráfico 15). Posteriormente, a CSS apresenta um comportamento decrescente, mantendo-se baixa até o fim do escoamento, sem grandes alterações com o aumento da chuva e da vazão que ocorrem posteriormente. Na CT a CSS se mantém próximo à constância ao longo de todo o evento, sem formação de picos, com máxima de $0,0845 g L^{-1}$ e mínima de $0,024 g L^{-1}$.

Gráfico 15 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraços e com terraços durante o evento de precipitação do dia 03/11/2023



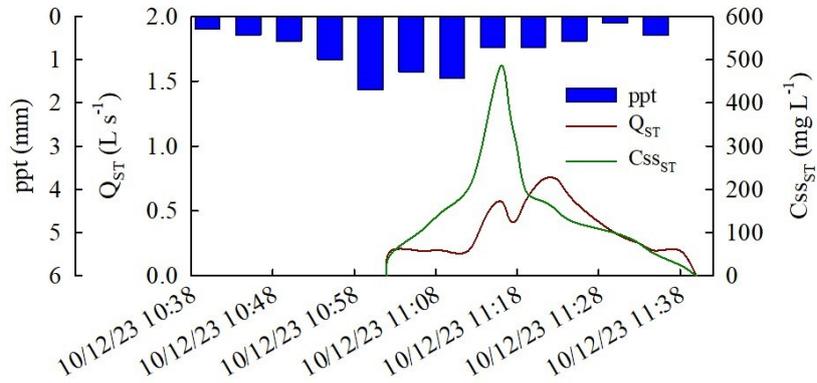
Fonte: Autoria própria (2025).

Após os eventos de alta magnitude ocorridos em outubro e novembro de 2023, outros eventos menores ocorreram no mês de dezembro. No dia 10/12/2023 ocorreu uma chuva de 28,1 mm, mas que foi suficiente para gerar escoamento na lavoura ST, enquanto na CT não houve formação de escoamento.

Neste evento (10/12/2023) temos a formação de escoamento por um curto período de tempo (38 min), com o pico de vazão ($0,738 L s^{-1}$) após 23 minutos do pico da chuva (Gráfico 16). A CSS atinge seu pico ($0,486 g L^{-1}$) antes do pico da vazão,

após 16 minutos do pico da chuva. A vazão e a CSS têm sua recessão com a redução da precipitação.

Gráfico 16 – Hidrograma, hietograma e sedimentograma das lavouras sem terraço durante o evento de precipitação do dia 10/12/2023



Fonte: Autoria própria (2025).

5 DISCUSSÃO

Ao avaliar o comportamento das variáveis hidrossedimentométricas foi possível observar alguns padrões de resposta da área monitorada. Desse modo pode-se compreender minimamente o modo como o comportamento hídrico e sedimentométrico responde às influências antrópicas (PELLEGRINI, 2013). A partir dos eventos monitorados tem-se que uma mesma chuva pode gerar um ou mais momentos de escoamento superficial. Dessa maneira, pode ocorrer vários eventos de erosão em um mesmo dia ou uma sequência de eventos em um período de poucos dias, principalmente na condição de alta umidade do solo.

A umidade antecedente do solo gera uma alta influência para a formação de escoamento, pois reduz a capacidade de infiltração de água no solo. Londero (2015) observou uma forte influência da umidade antecedente na geração do escoamento superficial ao estudar o comportamento hídrico e sedimentológico em bacias de ordem zero, no Rio Grande do Sul.

A influência gerada pela umidade antecedente do solo também foi observada por Barros (2016). O autor descreve a ocorrência de dois eventos consecutivos como resposta ao alto volume precipitado, o que aumenta a umidade do solo e o torna mais propenso à formação de escoamento superficial.

É notável que todos os eventos monitorados ocorreram após uma precipitação anterior ou de um conjunto de dias chuvosos. Essas chuvas antecedentes auxiliam na manutenção da umidade do solo e favorece a formação de escoamento (LONDERO, 2015; BARROS, 2016; MEYER, 2021). Meyer (2021) observou em seus estudos em lavouras pareadas sob plantio direto em Latossolos de textura média, na região de Ponta Grossa – PR que a umidade antecedente dos cinco dias anteriores foi uma das principais causas da formação de escoamento ao longo do período de estudo.

A influência da umidade antecedente foi perceptível quando se observa as séries de eventos monitoradas, como ocorreu em 10 e 11 de outubro de 2022, 10 de julho de 2023 e nos meses de outubro e novembro de 2023. Nessas séries de eventos observou-se um aumento progressivo da vazão média e também do volume total escoado ao longo dos eventos.

Essa progressão da vazão se deve a elevação da umidade do solo, o que o torna mais susceptível à formação de escoamento e à energia gerada pela enxurrada, o que favorece o desprendimento de partículas (BARROS, 2016; HAN et al., 2021).

O aumento da umidade do solo resulta na redução das forças de coesão, assim ficando susceptíveis a desagregação e ao transporte pela enxurrada formada pela chuva seguinte (BELTRAME, GONDIM E TAYLOR, 1981; SILVA E CABEDA, 2005). Além do solo estar mais vulnerável à erosão, a energia da enxurrada tem potencial de desagregar partículas de solo nos sulcos de fluxo da água (CUNHA *et al.*, 2016).

Além da umidade antecedente do solo favorecer o escoamento superficial, Londero (2015) também notou uma ascensão mais rápida da vazão em condições de alta umidade do solo. Essa rápida resposta da vazão em condição de alta umidade do solo ocorre no evento de 28 e 29/10/2023, nesse evento o início da vazão ocorre logo após o início da chuva. Como este foi o maior evento em tempo de duração do escoamento superficial, houve um alto volume de água escoada.

A longa duração do evento de 28 e 29 de outubro de 2023 foi possível devido o escoamento superficial perdurar mesmo durante um intervalo de duas horas sem chuva ao final da tarde do dia 28 e um segundo intervalo de 50 minutos na noite do mesmo dia. A manutenção da enxurrada em períodos de ausência de precipitação ocorre devido à alta lâmina de enxurrada formada pela chuva e a menor capacidade dessa água infiltrar no solo (PRUSKI, 2009), uma vez que a área se encontrava em condição de saturação em decorrência das sucessivas chuvas no mês de outubro de 2023.

Em vários dos eventos monitorados a máxima Q ocorre após o pico de chuva. Este comportamento de diminuição da chuva e aumento da lâmina de escoamento pode estar relacionado ao tempo que a enxurrada formada nos pontos mais distantes do comprimento de rampa leva para chegar até a calha (MINELLA E MERTEN, 2012).

A duração do escoamento superficial na CT tendeu a ser menor do que a na ST, esse comportamento se deve a menor área de contribuição para formação da enxurrada, uma vez que o escoamento é resultado da área entre o último terraços e a sessão de monitoramento. Deste modo, devido a menor distância dos pontos de formação de enxurrada até a calha na CT, a vazão cessa mais rapidamente.

Na ST, em resposta ao alto volume precipitado e aumento da lâmina de escoamento, enxurradas formadas em pontos mais distantes da área de contribuição levam mais tempo para chegar ao ponto mais baixo da parcela. Desse modo, o escoamento superficial na sem terraços tendeu a perdurar por mais tempo.

A tendência do sistema sem terraceamento agrícola gerar maior tempo de escoamento superficial em comparação ao sistema com terraceamento também foi

observada por Spliethoff (2023) em lavouras pareadas da mesorregião 3 (Centro Sul) da Rede de Agropesquisa Paranaense.

Como mencionado anteriormente, assim como a perda de água, a produção de sedimentos também tendeu a aumentar a partir do segundo evento de uma série. Lanza (2015) observou ao estudar a hidrologia e as perdas de solo em bacias hidrográficas rurais no Rio Grande do Sul que com o aumento das perdas de água ocorre um aumento proporcional das perdas de solo.

O aumento da perda de solo em eventos sequenciais pode ser explicado pelo contínuo processo erosivo de desprendimento de partículas e remoção de solo por meio do escoamento superficial em altas vazões. Desse modo, um evento pode gerar grande impacto erosivo e favorecer a perda de solo no evento seguinte (HAN *et al.*, 2021; MEYER, 2021).

As partículas de solo transportadas pela enxurrada, com a redução da velocidade da água, há uma menor capacidade de manter as partículas de solo em suspensão e ocorre sua deposição (PRUSKI, 2009; CARNEIRO E ANDRADE, 2023). Essas partículas ao serem depositadas nas áreas mais baixas do comprimento de rampa, ficam facilmente disponíveis para serem transportadas logo que se reinicia o escoamento superficial (DIDONÉ *et al.*, 2021).

A ascensão da CSS geralmente ocorre no momento de maior intensidade da chuva. A CSS, nesses casos, tende a ocorrer imediatamente após o pico da chuva, o que sugere que as fontes de sedimento estão próximas à calha. Percebe-se que na ocorrência de eventos antecedentes ou de sucessivas chuvas que precedem o início do escoamento ocorre uma antecipação do pico da CSS em relação ao pico da vazão. Essa antecipação do pico de CSS também foi observada por Londero (2015) no monitoramento de bacias de ordem zero de solo argiloso sob plantio direto no RS.

Ao considerar o impacto erosivo gerado pelos eventos antecedentes (CUNHA *et al.*, 2016; DIDONÉ *et al.*, 2021), é possível que haja um transporte de sedimentos oriundos de locais mais altos da parcela sentido o vertedor, de modo a gerar uma alta CSS mesmo sem atingir máximas vazões.

Diferentemente do estudo realizado por Meyer (2021) em lavouras pareadas com e sem terraços agrícolas da Mesorregião 2 (Ponta Grossa) da Rede de Agropesquisa, com solo predominantemente arenoso, onde pico da CSS tendeu a ocorrer depois da máxima vazão nos eventos monitorados. O pico da CSS ocorrer antes do pico da vazão tende a acontecer em razão de que partículas mais leves,

como a argila, são mais facilmente transportadas em suspensão na água (CARVALHO, 2008; MALUTTA, 2012; CARNEIRO E ANDRADE, 2023).

Ao considerar a CSS observada, o evento de 10/10/2022 - evento 2 atingiu os maiores valores observados da série de 10 e 11 de outubro de 2022. Este comportamento se deve ao grande desprendimento inicial de partículas de solo pela chuva do evento anterior (10/10/2022- evento1).

A rápida ascensão da CSS com formação de pico é evidente no evento de 10/07/2023 – evento 2. Além da disponibilidade de partículas gerada pelo evento anterior, há uma maior intensidade pluviométrica que impulsiona o aumento da CSS.

O comportamento do fluxo de perda de solo observado na sequência de eventos de 10/07/2023 reforça o efeito de disponibilidade de sedimentos proporcionada pela precipitação antecedente e pela geração e transporte de sedimentos nos eventos anteriores, mas que com a redução da lâmina e perda da força de transporte (PRUSKI, 2009) ficam facilmente disponíveis para serem transportados e perdidos na próxima enxurrada (10/07/2023 - eventos 3 e 4).

A influência da intensidade da precipitação na CSS também é perceptível no evento de longa duração de 28 e 29/10/2023. Nesse evento tem-se a rápida resposta da CSS ao longo do evento nos momentos de maior intensidade da chuva. Na ST o primeiro pico da CSS ocorre assim que se inicia o escoamento, porém a maior CSS ocorre após um período sem chuva. Desta forma, com o reinício da P bastou um pequeno estímulo para transportar esse solo para fora da área. Barros (2016) ao estudar a dinâmica hidrossedimentológica em uma pequena bacia hidrográfica rural no Rio Grande do Sul observou que com o retorno da chuva a CSS foi altamente responsiva aos primeiros estímulos da precipitação.

Deve-se considerar que a rápida resposta da CSS dentro da dinâmica hidrossedimentológica depende também da quantidade de sedimentos facilmente disponíveis (MINELLA, MERTEN E MAGNAGO, 2011; BARROS, 2012). Desse modo, apesar do evento 10/07/2023 – evento 2 ter essa característica de pico da CSS em ambas as áreas, no evento que o sucede (10/07/2023- evento 3) o expressivo aumento da CSS ocorre somente na lavoura ST.

Na lavoura ST a antecipação do pico da CSS ocorre no primeiro pico de vazão do evento de 10/07/2023 – evento 3. Porém, no segundo grande pico da vazão, a CSS não sofre grandes alterações. De mesmo modo, na lavoura CT não há formação de picos expressivos da CSS, se mantendo próximo a constância ao longo desse terceiro

evento da série.

A ausência de formação de picos de CSS após sucessivos eventos, mesmo em condição de alta vazão sugere uma possível exaustão de sedimentos nos momentos de escoamento anteriores. Tiecher *et al.* (2014) observaram em uma bacia hidrográfica rural predominantemente composta por lavouras de plantio direto que eventos de alta magnitude forneceram grandes quantidades de sedimentos oriundos das áreas de cultivo para o evento seguinte, mas em período posterior o fornecimento de sedimento oriundo das áreas de lavouras tende a ser reduzido.

Essa exaustão de sedimentos foi observada também no evento de 03/11/2023. Assim como o evento citado anteriormente (10/07/2023 - evento 3), na lavoura ST não há grandes alterações na CSS após o primeiro pico da vazão. Na lavoura CT ocorre novamente um comportamento constante da CSS durante o evento.

Desse modo, pode-se dizer que o evento de 28 e 29 de outubro de 2023, juntamente com as sucessivas chuvas que ocorreram nos dias seguintes, foram responsáveis por grande parte da disponibilidade de sedimentos perdidos na ST em 03/11/2023. Apesar da exaustão de sedimentos a partir da segunda onda da vazão, o evento de 03/11/2024 representou de aumento da perda de solo de 150% na CT e 310% na ST em comparação à perda ocorrida em 28 e 29/10/2023.

O mês de outubro apresenta a maior Erosividade para a região sudoeste do Paraná, com média próxima a $2.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ (WALTRICK *et al.*, 2015). Os eventos de escoamento superficial ocorridos em 11, 12 e 28 e 29 de outubro de 2023 apresentaram os maiores valores de erosividade entre os eventos monitorados neste estudo. Isso se deve, possivelmente, em razão da influência do El Niño no período, uma vez que a região sudoeste do estado é uma das mais afetadas pela erosividade nos períodos de atuação desse fenômeno meteorológico (WALTRICK *et al.*, 2011).

O alto percentual de solo perdido em poucos eventos ocorridos no ano demonstra o impacto dos eventos de alta magnitude na perda de solo anual. Ao compararmos a perda de solo ocorrida nos meses de outubro e novembro de 2023 ao mesmo período do ano anterior, os valores representam um acréscimo de 11,31 kg e 48,31 kg de solo perdido na CT e ST, respectivamente.

O mês de novembro de 2023 gerou perdas de 51,80 kg de solo na lavoura sem terraços, o que representa duas vezes mais que o mês de outubro de 2023. Além disso, comparado ao ano anterior, esses valores de perda de solo na ST foram muito

expressivos, pois não houve formação de escoamento em novembro de 2022, conseqüentemente não houve perdas de solo no período.

A produção de sedimento dos eventos monitorados gerou perdas de 0,003 kg a 8,364 kg na CT e de 0,029 kg a 34,297 kg na ST, o que pode ser considerada baixa quando comparada a outros estudos em escala de lavoura, como o monitoramento realizado por Didoné *et al.* (2020) em solo muito argiloso no município de Cambé - PR, na mesorregião 5 (Norte) da Rede de Agropesquisa Paranaense, em áreas de plantio direto com e sem terraceamento de 2,6 ha cada, em que a PS dos eventos variou de 2,4 a 174 kg na área com terraços e de 2,0 a 522 kg na área sem terraços.

Londero (2019) realizou estudos em áreas de lavoura de plantio direto no Rio Grande do Sul, com solo de textura muito argilosa, em que no ano com eventos de alta magnitude a PS_{esp} foi de 0,15 Mg ha⁻¹ e 0,79 Mg ha⁻¹ nas áreas com e sem terraceamento, respectivamente. Comparado aos valores encontrados para o ano de 2023 (0,008712 Mg ha⁻¹ na CT e 0,047874 na ST Mg ha⁻¹), em que também houve a ocorrência de eventos de alta magnitude, a PS_{esp} encontrada neste estudo neste ano foi menor do que a registrada por Londero (2019).

Ao considerar todos os eventos monitorados durante o período desse estudo, o sistema com terraços gerou uma perda de solo de 20,30 kg, o que representa uma redução de 82,95% em comparação a perda de 119,08 kg de solo perdidos no sistema sem terraços. Michellon, Reynon e Chicati (2014) ao estudar as perdas de solo no estado do Paraná observaram uma redução de 70% da erosão pelo uso dos terraços em áreas de plantio direto.

Além do impacto erosivo observado em 03/11/2023, em termos sociais para o município de Dois Vizinhos, nesta data os alagamentos foram ainda mais prejudiciais do que a enchente de 28 e 29 de outubro de 2023 na região, atingindo áreas que não haviam sido afetadas na primeira enchente (PEREIRA, 2023). Apesar dos impactos sociais gerados pelos alagamentos não serem o foco do estudo, eles refletem um dos impactos de um manejo de uso e conservação do solo incompleto.

A ocorrência de eventos de alta magnitude tende a ser mais frequente em anos de El Niño devido as altas precipitações na região (INMET, 2024). O mês de julho apresentou P (187 mm) um pouco acima da média histórica de 129 mm para o município, enquanto agosto a P acumulada mensal (106 mm) foi próxima da média mensal de 113 mm (VIEIRA *et al.*, 2018.) Esses meses são considerados os mais secos do ano (VIEIRA *et al.*, 2018) e com os menores índices de Erosividade

(WALTRICK *et al.*, 2015; DIECKOW *et al.*, 2019).

O mês de setembro de 2023 apresentou uma precipitação de 169 mm, o que está próximo à média histórica mensal de 170 mm, enquanto a precipitação ocorrida em outubro de 2023 gerou uma diferença de 288 mm acima da média histórica para o município de 343 mm mensal (VIEIRA *et al.*, 2018). O volume precipitado no mês de novembro e dezembro também apresentaram valores 75% e 20% acima da média histórica, respectivamente (VIEIRA *et al.*, 2018).

É importante considerar que a perda de solo e água ocorrida na lavoura CT é equivalente a área entre o último terraço até a sessão de monitoramento e que não houve transbordamento dos terraços em nenhum dos eventos monitorados ao longo do período de estudo, estas perdas poderiam ser evitadas com a construção de um novo terraço ao final do comprimento de rampa,

O transbordamento dos terraços ocorre geralmente por erro no seu dimensionamento (FRANCO, 2018), uma vez que deve ser levado em consideração variáveis de topográfica, fases de uso do solo, textura e demais condições edafoclimáticas (OLIVEIRA, CAMPOS E SILVA, 2024). Além disso, Miranda *et al.* (2012) e Magalhães (2013) ressaltam a importância da uniformidade da altura dos terraços de retenção na eficiência do armazenamento de água nas áreas de lavoura. Desse modo, é possível afirmar que os terraços da área de estudo foram eficientes no controle do escoamento superficial, inclusive em eventos de alta magnitude

Deuschle (2016) aponta que em decorrência da saturação do perfil de solo durante os eventos de alta magnitude os terraços são a forma mais adequada de controle das perdas de água. Desse modo, a retirada dos terraços e o uso inadequado do solo podem contribuir na formação desses eventos de escoamento de grande magnitude (DIDONÉ, 2014).

Além disso, houve uma grande perda de água e solo na lavoura ST mesmo em condições de alta biomassa. A presença de palhada em cobertura, apesar de ser eficiente na redução da erosão (DEUSCHLE, 2016) não é suficiente para dissipar a energia e matéria gerada durante os eventos hidrossedimentométricos (DENARDIN *et al.*, 2005).

Ao considerar todos os eventos monitorados neste estudo, o sistema com terraços gerou um volume de escoamento superficial de 467,70 m³ de água, o que representou uma redução de 60,73% das perdas de água em relação ao volume de 1.186,75 m³ perdidos no sistema sem terraços. Isso demonstra a necessidade de

práticas conservacionistas complementares, como os terraços, no controle das perdas de água e solo em lavouras de plantio direto, o que corrobora com o estudo de Didoné *et al.*, 2020 em que foi constatado que o plantio direto sozinho não é suficiente no controle da erosão hídrica.

Com a redução da velocidade da enxurrada promovida pelos terraços é possível diminuir a ação erosiva da água sobre o solo (CALEGARI E COSTA, 2010). Além disso, os terraços favorecem a infiltração e geram o incremento na retenção da água no solo (SILVA E RIOS, 2020; FREITAS *et al.*, 2021; HÖRBE *et al.*, 2021).

6 CONCLUSÃO

A presença de terraços agrícolas na lavoura de plantio direto apresentou eficiência no controle e/ou redução das perdas de água e solo para as condições deste estudo. Durante o período de 17 meses deste estudo a lavoura com terraços gerou uma perda de 20,30 kg de solo e a lavoura sem terraços perdeu 119,08 kg de solo. Deste modo, o sistema com terraços reduziu em 82,9% as perdas de solo e 60,7% as perdas de água em comparação ao sistema de plantio sem terraços.

Os eventos de alta magnitude representaram a maior fração da água e solo perdidos pelo escoamento superficial do total dos eventos pluviométricos monitorados, o que reafirma a necessidade de práticas conservacionistas complementares, como o terraceamento, no controle do escoamento superficial e da erosão do solo, uma vez que os terraços foram eficientes inclusive em eventos extremos.

A análise hidrossedimentométrica permitiu concluir que o escoamento superficial e a perda de solo nos sistemas de lavoura sob plantio direto com e sem a presença de terraços agrícolas foram muito responsivos à precipitação, com alta influência da umidade antecedente do solo na formação do escoamento superficial e tendência de aumento da concentração de sedimentos em suspensão e da vazão em resposta ao aumento da precipitação.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ C. A. et al. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. **Meteoro Z**, v. 22, p. 711-728, 2014.
- BACKES, E. D. **Propriedades físico-hídricas do solo e produtividade de culturas em áreas com e sem terraço**. Dissertação (mestrado em ciências agrárias) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2023.
- BARBOSA, G. M. C. et al. Monitoramento hidrossedimentométrico em megaparcelas experimentais. *In*: PELLEGRINI, A.; BARBOSA, M. C. (ed.) **Manejo e conservação de solo e água**: volume 1 – formação, implantação e metodologias. Rede paranaense de agropesquisa e formação aplicada. 1 ed. Curitiba: SENAR AR/PR, 2023. Cap. 5, 155 - 186. *E-book*.
- BARROS, C. A. P. **Comportamento hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica rural utilizando técnicas de monitoramento e modelagem**. Dissertação (mestrado em ciência do solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- BARROS, C. A. P. **Dinâmica dos escoamentos na modelagem da produção de sedimentos em uma pequena bacia rural**. Tese (doutorado em ciência do solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- BATTISTI, F. **Implantação e monitoramento preliminar de microbacia hidrográfica rural no Sudoeste do Paraná**. Dissertação (mestrado em ciências agrárias) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2020.
- BERTOL .I.; COGO N. P.; CASSOL E. A. Distance between terraces using critical slope length in two soil conservation tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 417-125, 2000;
- BERTOL, O. J.; BARBOSA, G. M. C. Manejo e conservação do solo e da água em microbacia hidrográfica: estratégia técnica e operacional. *In*: BERTOL, O. J. et al. (ed.). **Manual de manejo e conservação do solo e da água para o Estado do Paraná**. 1 ed. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. Pt. XII, cap. 2.
- BELTRAME, L. F. S.; GONDIM, L. A. P.; TAYLOR, J. C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 5, p. 145-191, 1981.
- BHERING S. B.; SANTOS H. G. **Mapa de solos do Estado do Paraná**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa/lapar, 2008.
- BISOLO, A. et al. Spatial variability and correlation between soil physical properties under no-tillage with and without agricultural terraces. **Brazilian archives of biology and technology**, v. 67, 2024.

BONUMÁ N.B. et al. Hydrology evaluation of the soil and water assessment tool considering measurement uncertainty for a small watershed in southern Brazil. **Ap Eng Agriculture**, v. 29, p. 189-200, 2013.

BRACKEN, L. J. et al. Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, pathways and future agendas. **Earth-science reviews**, v. 119, p. 17–34, 2013.

CABREIRA, M. A. F. **Levantamento de solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2015.

CARNEIRO, M. H.; ANDRADE, L. N. P. S. Hidrossedimentologia, ocupação/uso da terra no córrego Mineiro, Jauru – Mato Grosso. **Revista Georaguia**, Barra do Garças, v. 13, p. 185-205, 2023.

CARVALHO, M. A. R. et al. Escoamento superficial na interação: cobertura vegetal e práticas de controle de erosão. **Engenharia Agrícola de Jaboticabal**, v. 32, n. 6, p. 1116-1125, 2012.

CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 339-352, 2006.

CABRAL J. J. S. P. et al. Desenvolvimento de uma ferramenta multimídia e interativa para o ensaio de hidrologia e recursos hídricos. **Universidade Federal de Pernambuco**, 2002.

CALEGARI, A.; COSTA, A. Sistemas conservacionistas de uso do solo. *In*: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. Parte IV, cap. 3, p. 279-308.

CARVALHO, N. O. et al. **Guia de práticas sedimentológicas**. Brasília: ANEEL, 2000.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia na Prática**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; LLANILLO, R. F. **Plantio direto no sul do Brasil**: Fatores que facilitam a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista. Londrina: IAPAR, 2012.

CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Sistema plantio direto: evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água. *In*: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. V. 5, p. 333-370.

CAVIGLIONE, J. H. et al. **Espaçamentos entre terraços em plantio direto**. Londrina: IAPAR, 2010.

CENTENO, L. N. et al. Identifying regionalized co-variate driving factors to assess spatial distributions of saturated soil hydraulic conductivity using multivariate and state-space analyses. **Catena**, v. 191, n. 104583, p. 104583, 2020.

CUNHA, J. E. et al. Escoamento superficial e perdas de solos por erosão hídrica em uma toposequência sobre o Arenito Caiuá no Noroeste do Estado de Paraná. **Boletim Geográfico de Maringá**, v. 34, n.1, p.141-153, 2016.

D'AGOSTINI, L. R. **Erosão: o problema mais que o processo**. 1 ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina 1999.

DE MARIA I.C., PECHE FILHO A. Terracing complements surface protection. **Visão Agrícola**, v. 9, p. 140-143, 2009.

DEBIASI, H. et al. **Sistemas de preparo do solo: trinta anos de pesquisas na Embrapa Soja**. Embrapa Soja, n. 342, 2013.

DELGADO, J. A. et al. Conservation practices to mitigate and adapt to climate change. **Journal of soil and water conservation**, v. 66, n. 4, p. 118A-129A, 2011.

DENARDIN, J. E. et al. **Manejo de enxurrada em sistema plantio direto**. Porto Alegre: Fórum Estadual de Solo e Água, 2005.

DEUSCHLE, D. **Controle do escoamento superficial e das perdas de solo em sistema plantio direto na escala de lavoura**. Dissertação (mestrado em ciência do solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

DEUSCHLE, D. et al. Erosion and hydrological response in no-tillage subjected to crop rotation intensification in southern Brazil. **Geoderma**, v. 340, p. 157–163, 2019.

DIDONÉ, E. J. et al. Impact of no-tillage agricultural systems on sediment yield in two large catchments in Southern Brazil. **Journal of soils and sediments**, 2014.

DIDONÉ, E. J. et al. Mobilization and transport of pesticides with runoff and suspended sediment during flooding events in an agricultural catchment of Southern Brazil. **Environmental science and pollution research international**, v. 28, n. 29, p. 39370–39386, 2021.

DIDONÉ, E. J. et al. Monitoramento do impacto da agricultura conservacionista no comportamento hidrossedimentológico em uma encosta agrícola. *In: XIV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos*. Transporte de sedimentos: da bacia hidrográfica até a foz, Campinas, 2020.

DIECKOW, J. et al. Chuvas no Paraná e a imprescindível cobertura do solo. *In: BERTOL, O. J. et al. (ed.). Manual de manejo e conservação do solo e da água para o Estado do Paraná*. 1 ed. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. Pt. II, cap. 1.

DINGMAN, S. L. **Physical Hydrology**. 2 ed. Long Grove, Illinois: Waveland Press, Inc, 2008.

EBLING, É. D. et al. Rainfall event-based surface runoff and erosion in small watersheds under dairy and direct-seeding grain production. **Hydrological processes**, v. 36, n. 9, 2022.

FRANCO, A. P. B. **Percepção, recomendação e adoção do terraceamento agrícola comparadas ao seu funcionamento**. Tese (doutorado em ciências) – Escola Superior de Agriculatura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

FREITAS, L. R. et al. Terracing increases soil available water to plants in no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, 2021.

GILLER, K. E. et al. Beyond conservation agriculture. **Frontiers in plant science**, v. 6, p. 870, 2015.

GRIMM, D. et al. Rede paranaense de agropesquisa e formação aplicada. *In*: PELLEGRINI, A.; BARBOSA, M. C. (ed.) **Manejo e conservação de solo e água**: volume 1 – formação, implantação e metodologias. Rede paranaense de agropesquisa e formação aplicada. 1 ed. Curitiba: SENAR AR/PR, 2023. Cap. 1, 25 - 48. *E-book*.

HAN, Z. et al. Estimating rill erosion and sediment transport processes along a saturated purple soil slope. **Canadian journal of soil science**, v. 101, n. 3, p. 507–516, 2021.

HELD, R. B.; CLAWSON M. **Conservação do solo**: passado, presente e futuro. 1 ed. Rio de Janeiro: O Cruzeiro, 1965.

HÖRBE, T. et al. Managing runoff in rainfed agriculture under no-till system: potential for improving crop production. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 45, 2021.

HU, W. et al. Effects of initial soil water content and saturated hydraulic conductivity variability on small watershed runoff simulation using LISEM. **Journal des sciences hydrologiques** [Hydrological sciences journal], v. 60, n. 6, p. 1137–1154, 2015.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **El Niño**: saiba como foi a atuação do fenômeno no Brasil. Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2024.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) et al. **Painel El Niño 2023-2014**. Boletim mensal, n.8, 2024.

KITCHENER, B. G. B.; WAINWRIGHT, J.; PARSONS, A. J. A review of the principles of turbidity measurement. **Progress in physical geography**, v. 41, n. 5, p. 620–642, 2017.

LANZA, R. **Hidrologia comparativa e perda de solo e água em bacias hidrográficas cultivadas com eucalipto e campo nativo com pastagem manejada**. Dissertação (mestrado em ciência do solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

LEVIEN, R. et al. Semeadura direta de milho com dois tipos de sulcadores de adubo, em nível e no sentido do declive do terreno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 6, p. 1003-1010, 2011.

LLANILLO, R. F. et al. Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 208, 2021.

LONDERO A. L. et al. Quantifying the impact of no-till on runoff in southern Brazil at hillslope and catchment scales. **Hydrological Processes**, v. 35, 2021a.

LONDERO A. L. et al. Quantifying the impact of no-till on sediment yield in southern Brazil at the hillslope and catchment scales. **Hydrological Processes**, v.35, 2021b.

LONDERO, A. L. **Dinâmica do escoamento superficial e da erosão em encostas sob plantio direto**. Tese (doutorado em ciência do solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

LONDERO, A. L. **Perdas de água e sedimento de bacias pareadas de ordem zero sob plantio direto com e sem terraço**. Dissertação (mestrado em ciência do solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

MAGALHÃES, G. M. F. Análise da eficiência de terraços de retenção em sub-bacias hidrográficas do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1109-1115, 2013.

MAHONEY, D. T.; FOX, J. F.; AL AAMERY, N. Watershed erosion modeling using the probability of sediment connectivity in a gently rolling system. **Journal of hydrology**, v. 561, p. 862–883, 2018.

MALUTTA, S. **Estudo hidrossedimentológico da bacia hidrográfica de Rio Negrinho – SC com o modelo Swat**. Dissertação (mestrado em engenharia ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MANASSES, F. et al. Estudo hidrogeológico da Formação Serra Geral na região sudoeste do estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 64-65, p. 59-67, 2011.

MELLO, C. R. et al. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 537-545, 2007.

MERTEN, G. H. et al. Implicações do uso e manejo do solo e das variações climáticas sobre os recursos hídricos. **Tópicos de Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. V. 7, p. 307-366.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G.; BARBOSA, G. M. C. Uso de terraços para o controle do escoamento superficial. *In*: PELLEGRINI, A.; BARBOSA, M. C. (ed.) **Manejo e conservação de solo e água: volume 1 – formação, implantação e metodologias**. Rede paranaense de agropesquisa e formação aplicada. 1 ed. Curitiba: SENAR AR/PR, 2023. Cap. 3, 49 - 86. *E-book*.

MEYER, C. L. **Capacidade de armazenamento e controle da erosão e do escoamento superficial de terraços em nível em sistema plantio direto**.

Dissertação (mestrado em agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2021.

MICHELLON, E.; REYDON, B. P.; CHICATI, M.L. Impacto econômico do manejo de solo e água em microbacias hidrográficas paranaenses. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 35, p.54-61, 2014.

MINELLA J. P. G. et al. Changing sediment yield as an indicator of improved soil management practices in Southern Brazil. **Catena**, v. 79, p. 228-236, 2009.

MINELLA, J. P. G. et al. Estimating suspended sediment concentrations from turbidity measurements and the calibration problem. **Hydrological processes**, v. 22, n. 12, p. 1819–1830, 2008.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Índices topográficos aplicados à modelagem agrícola e ambiental. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1575-1582, 2012.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 3, p. 424-432, 2011.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; MAGNAGO, P. F. Análise qualitativa e quantitativa da histerese entre vazão e concentração de sedimentos durante eventos hidrológicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 12, p. 1306-1313, 2011.

MIRANDA, A. C. R. et al. Assessment of efficiency and adequacy of retention terraces. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 577-586, 2012.

NASCIMENTO, D. A. et al. Análise comparativa de dados pluviométricos com pluviômetro e pluviógrafo de balança. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Florianópolis: **Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, 2017.

OLIVEIRA, C. A. B.; CAMPOS, T. S.; SILVA, D. V. Práticas edáficas, vegetativas e mecânicas para controle de erosão. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, Guaraí, v. 2024.

PASINI, F. et al. Sistema de terraceamento para manejo agrícola. **Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 76, 2017.

PELLEGRINI, A. **Índices de desempenho ambiental e comportamento hidrossedimentológico em duas bacias hidrográficas rurais**. Tese (doutorado em ciência do solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

PELLEGRINI, A. Monitoramento hidrossedimentológico de bacias hidrográficas. *In*: BERTOL, O. J. et al. (ed.). **Manual de manejo e conservação do solo e da água para o Estado do Paraná**. 1 ed. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. Pt. XII, cap. 1.

PELLEGRINI, A.; BARBOSA, M. C. (ed.) **Manejo e conservação de solo e água: volume 1 – formação, implantação e metodologias**. Rede paranaense de agropesquisa e formação aplicada. 1 ed. Curitiba: SENAR AR/PR, 2023. *E-book*.

PEREIRA, N. Cidades do Sudoeste registram novos alagamentos. **Jornal de Beltrão**, Francisco Beltrão, 04 nov. 2023.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M. **Práticas mecânicas de conservação do solo e da água**. 3 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2013.

PORTELA, J. C. et al. Hidrogramas e sedimentogramas associados à erosão hídrica em solo cultivado com diferentes sequências culturais, com diferentes condições físicas na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 225-240, 2011.

POTT, C. A. et al. Monitoramento hidrossedimentométrico em bacias hidrográficas. *In*: PELLEGRINI, A.; BARBOSA, M. C. (ed.) **Manejo e conservação de solo e água: volume 1 – formação, implantação e metodologias**. Rede paranaense de agropesquisa e formação aplicada. 1 ed. Curitiba: SENAR AR/PR, 2023. Cap. 4, 114 - 154. *E-book*.

PRINGLE, C. M. Hydrologic connectivity and the management of biological reserves: A global perspective. **Ecological applications: a publication of the Ecological Society of America**, v. 11, n. 4, p. 981–998, 2001.

PRUSKI, F. F. (ed.). **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para controle da erosão hídrica**. 2 ed. Viçosa, MG: UFV, 2009.

RAMON, R. et al. Kinetic energy estimation by rainfall intensity and its usefulness in predicting hydrosedimentological variables in a small rural catchment in southern Brazil. **Catena**, v. 148, p. 176–184, 2017.

RAMON, R. **Medição da energia cinética das chuvas e definição de um índice pluviométrico para estimativa da Erosividade em Arvorezinha/RS**. Dissertação (mestrado em ciência do solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. 5 ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SHREVE, E. A.; DOWNS, A. C. **Quality-assurance plan for the analysis of fluvial sediment by the U.S.** Geological Survey Kentucky Water Science Center Sediment Laboratory. Denver: USGS, 2005.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si e Al em solo de tabuleiro de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 447-457, 2005.

SILVA, A. J. P. DA; RIOS, M. L. Terracing recovers the quality of a riverbank soil degraded by water erosion in Brazilian semiarid. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 1, 2020.

SILVA, B. K. DA N. et al. Avaliação de Extremos de Erosividade Causados pela Precipitação na Bacia do Rio Apodi/Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 871–879, 2020.

SPLIETHOFF, J. **Sistema plantio direto com adoção de práticas conservacionistas**. Tese (doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2023.

TELLES, T. S. et al. Soil conservation practices in a watershed in Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 3, 2019.

TIECHER, T. et al. Contribuição das fontes de sedimentos em uma bacia hidrográfica agrícola sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 639-649, 2014.

USDA (U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE). **Hydrology National Engineering Handbook**. Washington: USDA – Natural Resources Conservation Service, 2010.

VIEIRA, F. M. C. et al. Distribuições de probabilidade para análise de frequência de chuva no sudoeste do Paraná. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 2, p. 260–266, 2018.

WALTRICK, P. C. et al. **Erosividade de chuvas no Estado do Paraná**: atualização e influência dos eventos “El Nino” e “La Nina”. Curitiba: DSEA, 2011. 20p. (SBCS-NEP. Boletim técnico, 01).

WALTRICK, P. C. et al. Estimativa da Erosividade de chuvas no Estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 256-267, 2015.

ZANANDREA, F. et al. Conectividade dos sedimentos: conceitos, princípios e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 21, n. 2, p. 435-459, 2020.