

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE AGRONOMIA**

LARISSA WERLE

**IMPACTO DE DIFERENTES INTENSIDADES DE PERDA DE SOLO SOBRE
A PRODUTIVIDADE DE CANOLA E MILHO**

CERRO LARGO

2022

LARISSA WERLE

**IMPACTO DE DIFERENTES INTENSIDADES DE PERDA DE SOLO SOBRE
A PRODUTIVIDADE DE CANOLA E MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

CERRO LARGO

2022

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Werle, Larissa
Impacto de diferentes intensidades de perda de solo
sobre a produtividade de canola e milho / Larissa Werle.
-- 2022.
47 f.:il.

Orientador: Doutor em Ciência do Solo Douglas Rodrigo
Kaiser

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, Cerro Largo, RS, 2022.

1. Nutrientes. 2. Erosão. 3. Degradação do solo. I.
Kaiser, Douglas Rodrigo, orient. II. Universidade
Federal da Fronteira Sul. III. Título.

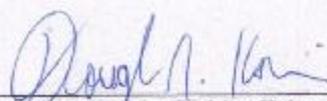
LARISSA WERLE

**IMPACTO DE DIFERENTES INTENSIDADES DE PERDA DE SOLO SOBRE
A PRODUTIVIDADE DE CANOLA E MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Agronomia da Universidade
Federal da Fronteira Sul (UFFS) como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 08 / 03 / 2022

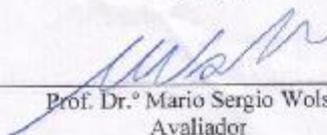
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr.º Douglas Rodrigo Kaiser – UFFS
Orientador



Prof. Dr.º Renan Costa Beber Vicira
Avaliador



Prof. Dr.º Mario Sergio Wolski
Avaliador

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida e por me ajudar a ultrapassar todos obstáculos ao longo do curso.

Aos meus maiores incentivadores, meus pais Marla e Carmo e irmão Djonatan pela excelente educação que me foi repassada, pelo carinho, paciência e todo apoio financeiro e emocional.

A minha madrinha e segunda mãe Cenira, pela acolhida em Cerro Largo e todo apoio ao longo da minha trajetória acadêmica.

Ao meu orientador, prof. Douglas Kaiser, pela paciência, ensinamentos, incentivo e amizade construída durante o curso e também, pela oportunidade em participar de projetos de pesquisa, o meu muito obrigado.

Agradecimento especial também aos colegas do Laboratório de Física do Solo pelo auxílio na execução do experimento.

Aos meus amigos e colegas, minha gratidão aos ensinamentos e ajuda mútua durante esses cinco anos.

RESUMO

A erosão é uma das principais causas da degradação dos solos agrícolas. Ela ocasiona o empobrecimento do solo, os nutrientes e matéria orgânica predominantes na camada superficial deixam o sistema e migram para as áreas mais baixas da lavoura, para as estradas ou para rios, provocando assoreamento. Desta forma, o objetivo do trabalho foi analisar como o efeito de diferentes intensidades de perdas de solo impactam a produtividade da canola e milho. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Os tratamentos correspondem a: sulco de 2cm – T1; sulco de 3cm – T2; sulco de 7cm – T3 e um tratamento onde não houve erosão – T4. O tratamento onde houve a remoção de 2cm de solo caracteriza uma perda de solo de 186.359,7 kg/ha, enquanto o tratamento de 4cm e 7cm representam 350.943,5 e 803.493,6 kg/ha respectivamente. A produtividade da canola e milho foi avaliada colhendo-se 1m² de cada parcela. Foram realizadas coletas de amostras de solo para quantificação dos nutrientes e avaliação química da camada de 0-0,1m, além da avaliação de propriedades físicas como a densidade do solo, porosidade e grau de compactação. Os dados obtidos foram submetidos a análise da variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Os sulcos formados reduziram a produtividade da cultura da canola e milho. Não há diferença significativa na produtividade da canola e do milho nos sulcos de 2, 4 ou 7cm, o que demonstra que a perda da camada superficial do solo (2 cm) tem um grande impacto sobre a produtividade, pois é onde se concentram os nutrientes e a matéria orgânica do solo em áreas sob plantio direto.

Palavras-chave: Erosão; degradação do solo; Nutrientes.

ABSTRACT

Erosion is one of the main causes of agricultural land degradation. It causes soil impoverishment, nutrients and organic matter predominant in the surface layer leave the system and migrate to the lower areas of the crop, to roads or rivers, causing silting. In this way, the objective of the work was to analyze how the effect of different intensities of soil loss impact the productivity of canola and corn. The experimental design used was randomized blocks with four treatments and five replications, totaling 20 experimental units. The treatments correspond to: 2cm furrow – T1; 3cm furrow – T2; 7cm furrow – T3 and a treatment where there was no erosion – T4. The treatment where 2cm of soil was removed characterizes a soil loss of 186,359.7 kg/ha, while the 4cm and 7cm treatments represent 350,943.5 and 803,493.6 kg/ha respectively. The yield of canola and corn was evaluated by harvesting 1m² from each plot. Soil samples were collected for the nutrient quantification and chemical evaluation of the 0-0.1m layer, in addition, physical properties, such as soil density, porosity and degree of compaction were evaluated. Obtained data were submitted to the analysis of variance and the means were compared by the Tukey test, at 5% of error probability. The formed furrows reduced the productivity of the canola and corn crops. There is no significant difference in the productivity of canola and corn in the furrows of 2, 4 or 7 cm, which demonstrates that the loss of the topsoil layer (2 cm) has a great impact on productivity, as this is where the nutrients and soil organic matter are concentrated in no-tillage areas.

Keywords: Erosion, Soil degradation; Nutrients.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Erosão laminar.....	13
Figura 2 - Erosão em sulco.....	13
Figura 3 - Erosão em voçoroca.	14
Figura 4 - Croqui do experimento.	25
Figura 5 - Implantação dos tratamentos: retirada de 0,25m ² de solo para quantificação (a); raspagem artificial das camadas (b) e tratamentos implantados (c)	26
Figura 6 - Semeadura manual da canola (<i>Brassica napus</i>).	27
Figura 7 - Semeadura da cultura (<i>Zea mays</i>) com a semeadora adubadora.	28
Figura 8 - Coleta da camada 0-0,1m para análise química (a) e preparo das amostras (b).	29
Figura 9 - Colheita da cultura (<i>Brassica napus</i>) (a) e (<i>Zea mays</i>) (b).	29
Figura 10 - Coleta de amostras de solo com estrutura preservada.	30
Figura 11 - Produtividade da cultura da canola (Mg ha ⁻¹) nos tratamentos.	36
Figura 12 - Número de plantas de canola emergidas e estabelecidas em 0,25m ²	37
Figura 13 - Precipitação pluviométrica durante o período de cultivo da cultura da canola. ...	37
Figura 14 - Produtividade da cultura do milho (Mg ha ⁻¹) nos tratamentos.	38
Figura 15 - Número de plantas emergidas e estabelecidas em 0,25m ²	39
Figura 16 - Precipitação pluviométrica durante o período de cultivo da cultura do milho.	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVO GERAL	10
1.1.1	Objetivos específicos	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1	EROSÃO HÍDRICA DO SOLO.....	11
2.1.1	Fases e formas da erosão hídrica	12
2.1.2	Fatores que afetam a erosão	14
2.1.2.1	<i>Erodibilidade dos solos</i>	14
2.1.2.2	<i>Erosividade das chuvas</i>	15
2.1.2.3	<i>Cobertura vegetal e relevo do terreno.....</i>	16
2.2	PERDAS DE NUTRIENTES E MATÉRIA ORGÂNICA PELO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	17
2.3	IMPACTO DA EROSÃO SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO.....	18
2.4	IMPACTO DA EROSÃO SOBRE A PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA	20
2.5	ADOÇÃO DE PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS PARA O CONTROLE DA EROSÃO.....	21
3	METODOLOGIA.....	24
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	24
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E IMPLANTAÇÃO DOS TRATAMENTOS	24
3.3	PREPARO DA ÁREA E SEMEADURA.....	26
3.4	AVALIAÇÃO DOS INDICADORES QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO, POPULAÇÃO DE PLANTAS E PRODUTIVIDADE	28
3.5	ANÁLISE DOS DADOS	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

A erosão é uma das principais causas da degradação dos solos agrícolas. Só a erosão condiciona a perda de 25 a 40 bilhões de toneladas de solo por ano no mundo (FAO, 2015), enquanto que, segundo a EMBRAPA (2015) “são necessários cerca de 400 anos para se formar 1 cm (um centímetro) de solo”. Alguns indicadores como a baixa taxa de cobertura vegetal, compactação do solo, presença de processos erosivos e baixa taxa de infiltração de água caracterizam solos depauperados.

Conforme o relatório, publicado pela FAO (2015, p.19) estima-se que “33% do solo a nível mundial é moderadamente a altamente degradado devido a erosão, salinização, compactação, acidificação e poluição química dos solos”. A adoção de práticas de recuperação e conservação podem atenuar e, inserir esses solos novamente na cadeia produtiva, o que contribuiria na redução do avanço de áreas degradadas (BOLFE, 2018).

A degradação do solo pela erosão afeta significativamente as funções que o solo desempenha no ambiente, onde uma delas é a sustentação e fornecimento de água e nutrientes para as plantas. A camada superficial do solo é considerada a mais importante, devido a alguns processos que nela ocorre. Podemos citar a decomposição dos restos culturais pelos organismos, fazendo com que a matéria orgânica que é mantida sobre a superfície possua papel fundamental na estruturação do solo, retenção de água e ciclagem dos nutrientes. Essa camada também é rica em organismos que ao decompor e transportar o material vegetal, criam poros ao longo do perfil, responsáveis pelo fluxo de água e ar no solo (SAMPAIO, 2004).

A erosão hídrica se intensifica quando o solo está exposto, ou seja, sem ou com pouca cobertura vegetal. Conforme Wadt (2003, p.11) “o impacto direto das gotas de chuva no solo causa a desagregação das suas partículas, tornando-as mais vulneráveis ao arraste mecânico causado pelo escoamento superficial das águas”.

Deste modo, a erosão ocasiona o empobrecimento do solo, os nutrientes e matéria orgânica predominantes na camada superficial deixam o sistema e migram para as áreas mais baixas da lavoura, para as estradas ou para rios, provocando assoreamento. Os fluxos de ar e de água são notoriamente afetados, uma vez que, ocorre entupimento dos poros do solo com as partículas desagregadas, facilitando o processo de enxurrada (WADT, 2003).

O Sistema Plantio Direto (SPD) prevê um conjunto de técnicas que visam a recuperação e conservação dos solos. Porém, muitos agricultores dispensam esse conjunto de métodos criando um cenário onde o plantio direto é predominante. Estudos apontam que a probabilidade das áreas agrícolas no Brasil estarem sendo manejados sob “sistema plantio

direto”, analisando a ocorrência de diversificação de culturas e pelo menos, duas safras por ano agrícola é em torno de 10,7 milhões de hectares, isto significa que 27,7 milhões de hectares permanecem em pousio na época fria do ano (DENARDIN, 2017).

Nesse sentido, na região Sul do Brasil mais especificamente na região das Missões do Rio Grande no Sul, no qual abrange 25 municípios e há o predomínio da atividade agropecuária, o SPD não vem sendo empregado em sua totalidade. Assim, práticas como monocultivo soja-trigo, intenso tráfego de máquinas agrícolas e pousio no período de outono/inverno do ano são recorrentes para os agricultores desta região, provocando e agravando os processos erosivos.

Há escassez de pesquisas que mostram o efeito da erosão sobre a produtividade de culturas agrícolas, evidenciando a importância do estudo dessas relações, principalmente para regiões com predomínio de cultivo de grãos.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar como as diferentes intensidades de perda de solo impactam a produtividade da canola e milho.

1.1.1 Objetivos específicos

- Quantificar os nutrientes perdidos nas diferentes intensidades de perda de solo;
- Avaliar a densidade, porosidade e grau de compactação nos diferentes tratamentos;

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 EROSIÃO HÍDRICA DO SOLO

Em meados do século 20 com o advento da Revolução Verde houve uma ascensão na produtividade agrícola com a introdução do pacote tecnológico. Esse pacote contemplou diversas técnicas para maximizar a produção, entre elas, pode-se citar: o melhoramento genético, o uso intensivo de equipamentos agrícolas e utilização de fertilizantes industrializados e agrotóxicos. Apesar dos variados benefícios desse processo, houve uma acentuada degradação ambiental (KAMIYAMA, 2011).

A erosão é a principal forma de degradação do solo no mundo. A erosão oriunda dos ventos, denomina-se eólica enquanto que, a erosão hídrica pluvial é desencadeada através da água das chuvas (BERTOL; CASSOL; MERTEN, 2018). A erosão hídrica é a forma de erosão predominante no Brasil e segundo dados obtidos pela Embrapa (2019) “estima-se um potencial de perdas anuais de solo de 1,18 bilhão de toneladas devido a erosão hídrica no Brasil, totalizando um custo anual de US\$ 5,2 bilhões apenas com a reposição de nutrientes perdidos em áreas agrícolas.

O fator responsável por esses dados é principalmente a ocupação das terras de maneira inadequada, a ausência de práticas que visam a conservação do solo e precipitações torrenciais. Além de afetar demasiadamente a produtividade das culturas, diminuindo a taxa de infiltração de água no solo e aumentando os custos de produção, a erosão hídrica é a principal forma de poluição de rios, causando assoreamento dos mesmos e reduzindo a qualidade da água (MINELLA, *et al.* 2015). Juntamente com as partículas de solo, escoam superficialmente da área agrícola para os recursos hídricos elementos como moléculas de defensivos, metais pesados, nutrientes e demais sedimentos que estão na superfície do solo e assim, promovem a poluição das águas (RESENDE, 2002).

2.1.1 Fases e formas da erosão hídrica

A erosão acelerada é proveniente da interferência antrópica causando um desequilíbrio, ou seja, a formação dos solos ocorre em um ritmo menor que as forças que desgastam e removem o solo. Assim, o processo erosivo se dá em três fases denominadas desagregação, transporte e deposição (BERTOL; CASSOL; BARBOSA, 2018). A primeira fase corresponde a desagregação, onde o impacto direto das gotas da chuva sobre o solo e o movimento da água na superfície desagregam as partículas de solo (LEPSCH, 2011).

Segundo Cardoso *et al.* (p.633, 2012) “espera-se que espécies com alto índice de cobertura e elevada produtividade de fitomassa propiciem maior proteção ao solo, reduzindo o impacto da gota de chuva sobre a superfície do solo e, em consequência, a erosão hídrica”. Ainda, ele destaca que quando empregados espaçamentos menores, ou seja, quando a parte aérea das plantas se encontram entrelaçadas ocorre uma menor perda de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. Isso se deve principalmente pela proteção que as copas das plantas proporcionam, uma vez que, não há o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo.

Porém, segundo outro autor, a cobertura do solo pelos resíduos acaba sendo mais eficiente na proteção do solo quando comparado a copa das plantas, pois nesse último caso as gotas de chuva ao interceptarem a copa ainda podem adquirir energia cinética suficiente para desencadear a erosão quando os solos estão sem cobertura vegetal (MIRANDA *et al.*, 2010).

A partir do momento em que a intensidade da precipitação excede a taxa de infiltração, ocorre a fase de transporte. As partículas que foram desagregadas ficam em suspensão na enxurrada e escoam a jusante, caracterizando o escoamento superficial (HERNANI, *et al.* 2002). O aumento na declividade do terreno proporciona perdas de solo e água maiores, devido ao aumento na velocidade da enxurrada (COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003). A terceira e última fase ocorre quando os sedimentos transportados são depositados fora do local de origem. Esses sedimentos podem ser depositados no decorrer do declive ou ao final dele e ainda, nos cursos de água.

As formas mais reconhecidas de erosão hídrica é a erosão laminar, em sulcos e voçorocas. A erosão laminar é a mais difícil de ser visualizada (**Figura 1**), as partículas de solo desagregadas e transportadas retiram uma lâmina uniforme da superfície (SILVA, 1995). Já a erosão em sulcos acontece de forma mais pronunciada (**Figura 2**), segundo Lepsch (2011, p.710) “os sulcos resultam de irregularidades na superfície do solo pela concentração da enxurrada em determinados locais”. As voçorocas são formadas por um movimento de grande quantidade de solo, formando sulcos imensos (**Figura 3**) (SILVA, 1995).

Figura 1 - Erosão laminar.



Fonte: ADAPAR/Toledo (2015).

Figura 2 - Erosão em sulco.



Fonte: Henrique Debiasi, Embrapa (2018).

Figura 3 - Erosão em voçoroca.



Fonte: Embrapa (2012).

2.1.2 Fatores que afetam a erosão

2.1.2.1 Erodibilidade dos solos

O solo é o agente que sofre ação das gotas da chuva, desencadeando o processo de desagregação e escoamento superficial. As interações entre clima, terreno e tipo de solo caracterizam a suscetibilidade do solo a erosão, que pode ser intensificado por processos antrópicos. Conforme indicado abaixo por Coelho *et. al* (2002, p.11):

As terras brasileiras situam-se, em sua maior porção, nas classes de baixa a alta suscetibilidade à erosão (84% das terras). [...] Para a região Sul, observa-se a predominância de solos com alta e muito alta suscetibilidade à erosão, condicionados pela presença significativa de solos rasos, como os Cambissolos e Neossolos Litólicos, ou mesmo mais profundos, como os Argissolos, todos localizados em relevos acidentados das serras e planaltos sulinos. Os solos com suscetibilidade muito baixa e baixa perfazem 29% da região, geralmente associados aos planaltos e planícies sedimentares de relevos aplainados, onde ocorrem Latossolos e Planossolos respectivamente (COELHO *et. al*, 2002, p.11).

A resistência do solo ao processo erosivo irá depender do teor de matéria orgânica, constituintes químicos, textura e estrutura dos agregados. Assim, tem-se como principais agentes cimentantes das partículas de solo os óxidos de ferro e alumínio, matéria orgânica e argila (BERTOL; CASSOL; BARBOSA, 2018).

Desta forma, solos com menores concentrações de elementos cimentantes serão mais suscetíveis a erosão. Solos arenosos possuem baixos teores de argila e matéria orgânica apresentando assim, baixa capacidade de retenção de água e por isso, estão mais expostos a degradação (TORDIN, 2015). Corroborando com dados obtidos por Zhao *et al.* (p.2143, 2011) onde revela que “há um aumento na erodibilidade de solos com altas frações de areia e baixos conteúdos de argila e silte”.

A estabilidade dos agregados é um indicativo da suscetibilidade do solo a erosão sendo que, agregados mais estáveis resistem mais a desagregação da chuva e enxurrada. Segundo Albuquerque, Cassol e Reinert (2000) “os solos mais intemperizados são os mais estáveis e resultam em menor erodibilidade do solo em entressulcos”.

A matéria orgânica também é um fator importante na agregação dos solos. O conteúdo de resíduos vegetais na superfície dos solos, proporcionada pelo sistema plantio direto favorece a agregação do solo, pois há o incremento de carbono orgânico principalmente na camada de 0-10cm (CASTRO FILHO; MUZILLI; PODANOSCH, 1998). Enquanto que, em sistemas de cultivo convencional, segundo Ribon (p. 1070, 2014) “a aplicação da grade nas camadas superficiais proporcionou, no Latossolo Vermelho, valores superiores de agregados de tamanho pequeno, indicando que a movimentação intensiva do solo reduziu o tamanho dos agregados”.

2.1.2.2 Erosividade das chuvas

O clima do Rio Grande do Sul diferente de outras regiões do Brasil é temperado do tipo Subtropical e por isso, apresenta uma precipitação bem distribuída durante o ano. Ainda segundo o Atlas (2020) “ao sul a precipitação média situa-se entre 1.299 e 1.500mm e, ao norte a média está entre 1.500 e 1.800mm ao ano, com intensidade maior de chuvas ao nordeste do Estado”.

A erosividade das chuvas caracteriza a capacidade da chuva causar erosão e isso dependerá de fatores como intensidade, duração e frequência (ALVARENGA, 1998). Quando a precipitação excede a taxa de infiltração do solo, ocorre o escoamento superficial. Desse modo, precipitações pluviométricas de altas intensidades, duração e frequência resultam em maiores escoamentos superficiais. Associado a esses aspectos, uso e manejo inadequado, relevo e características do solo podem intensificar esse processo (SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010).

A água pode agir tanto na forma de chuva, como também, enxurrada, desagregando e transportando as partículas de solo, caracterizando grandes perdas de solo, água e nutrientes (BERTOL; CASSOL; BARBOSA, 2018). O impacto das gotas de chuva provoca a desestruturação e reorganização das partículas do solo fazendo com que ocorra o entupimento dos poros e a redução significativa da infiltração de água. Com isso, durante a precipitação é formado um selamento da camada superficial e quando seco, dá origem a uma crosta na superfície do solo. Normalmente, chuvas de maior duração proporcionaram selamentos mais espessos (ARMENISE, *et al.* 2018).

2.1.2.3 Cobertura vegetal e relevo do terreno

As plantas protegem o solo da incidência de raios solares e a ação direta das gotas da chuva. A copa, caule e os restos culturais funcionam como dissipadores de energia, fazendo com que a água ao adentrar o dossel encontre barreiras e incide sobre o solo de uma forma mais suave. O tipo de cultura, o estágio de desenvolvimento e o manejo adotado vão definir a capacidade das plantas em atenuar e evitar o processo erosivo (BERTOL; CASSOL; BARBOSA, 2018).

O solo mais exposto as condições de clima, devido a redução ou ausência da cobertura vegetal seja por preparos de solo mais intensos ou a ausência de rotação de culturas possui uma degradação mais acelerada. Esses aspectos acarretam em desestruturação do solo e baixa infiltração de água, favorecendo o escoamento superficial (BERTOL; CASSOL; BARBOSA, 2018). A ausência de cobertura vegetal também promove a redução na ciclagem de nutrientes e a baixa produtividade das culturas agrícolas.

Um dos fundamentos do sistema plantio direto é a semeadura direta sobre os restos culturais da cultura antecessora fazendo com que haja a manutenção da matéria orgânica no solo (CRUZ, 2007). Segundo Campos *et al.* (1994) “a cobertura vegetal do solo favorece a infiltração da água da chuva e/ou irrigação e diminui as perdas por evaporação, mantendo a umidade em valores mais elevados, principalmente, na camada superficial”.

O efeito do relevo sobre a erosão pode ser expresso pela declividade do terreno e comprimento da rampa. A capacidade erosiva da enxurrada aumenta em declives mais acentuados, devido ao aumento da velocidade. Há um agravamento desse aspecto, quando o terreno se encontra sem cobertura vegetal e em preparos intensos do solo. O aumento na

declividade do terreno proporciona perdas de solo e água maiores no preparo convencional em relação ao preparo reduzido e semeadura direta (COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003).

Outro fator que compõe o relevo do terreno é o comprimento da rampa. Ela inicia no início do fluxo da água e encerra onde ocorre a sedimentação, fazendo com que a erosão aumente conforme o aumento do comprimento do declive (BERTOL; CASSOL; BARBOSA, 2018). Dessa maneira, ressalta ainda Cogo, Levien e Schwarz *et al* (p.750, 2003) “ficando sujeito à formação de sulcos, selos e, ou, crostas, os quais dificultam a infiltração de água no solo e favorecem o escoamento superficial. ”

2.2 PERDAS DE NUTRIENTES E MATÉRIA ORGÂNICA PELO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A demanda por alimentos tornou necessário a expansão da produtividade, com propriedades maiores e produção intensiva. Entretanto para sustentar essa demanda agrícola, houve um crescimento no uso de fertilizantes e agrotóxicos. A adequação para uma produção intensiva não levou em consideração princípios sustentáveis, acarretando em perdas de solo, água e enriquecimentos dos cursos de água com principalmente nitrogênio (N) e o fósforo (P) (MANSOR, 2005).

O sistema de manejo utilizado influencia na concentração de nutrientes na enxurrada. A mobilização do solo somente na linha de semeadura resulta no acúmulo de matéria orgânica e nutrientes na camada superficial. Isso acontece pois há a decomposição dos resíduos vegetais que estão na superfície e também pela aplicação de corretivos e fertilizantes que são realizados em sua maioria a lanço e no sulco de semeadura (GILLES *et al.*, 2009). No sistema de semeadura direta, as perdas de nutrientes na água e nos sedimentos da enxurrada são maiores quando comparado com o preparo convencional do solo (BERTOL *et al.*, 2004).

Os manejos conservacionistas do solo proporcionam uma maior concentração de P e K na água e no sedimento da enxurrada. No caso do potássio (K), as concentrações na água da enxurrada foram em média 18 vezes maiores que o P. Esse fenômeno é resultado do caráter mais solúvel e móvel do K, além das maiores concentrações desse nutriente no solo. Já nos sedimentos da enxurrada, o P apresentou valores superiores em relação as concentrações obtidas na água da enxurrada, em virtude da maior adsorção que esse nutriente possui ao solo. (BERTOL *et al.*, 2004).

Segundo Bertol (p.43, 2005) “o intervalo de tempo entre a aplicação do adubo no solo e a incidência das chuvas, bem como a sequência de chuvas exercem influência nos resultados de perdas de nutrientes”. Alguns estudos indicam que as maiores perdas de nutrientes e matéria orgânica (MO) foram obtidas na primeira aplicação de chuva simulada (CASSOL *et al.*, 2002).

Analisando a perda de N durante o ciclo da aveia e ervilhaca, observou-se que os teores de NH_4 e NO_3^- na água da enxurrada foram maiores no primeiro teste de chuva. A cultura da aveia por receber anteriormente a aplicação da primeira chuva simulada N na forma de ureia, apresentou teores de NH_4 na água de enxurrada 3,7 vezes maior do que a ervilhaca. Esses valores quando superam o aceitável, tornam-se altamente prejudiciais ao encontrar os cursos de água (BARBOSA *et al.*, 2009). Altas perdas de nitrogênio logo após a primeira chuva acabam sendo um problema, uma vez que, a prática de aplicação de N a lanço antes das chuvas é muito comum entre os agricultores. A perda de N também pode ocorrer pela lixiviação ao longo do perfil. (PRIMAVESI *et al.*, 2006).

O processo erosivo possui seletividade e com isso, transporta primeiro as partículas de menor diâmetro e menor densidade. Por esse motivo, a matéria orgânica e as argilas ficam em suspensão na enxurrada sendo mais expostas as reações e enriquecidas com nutrientes (BERTOL *et al.*, 2007). Da mesma forma que os nutrientes, o acúmulo de matéria orgânica na camada superficial proporciona um aumento de material decomposto na água e no sedimento da enxurrada (BERTOL *et al.*, 2004).

2.3 IMPACTO DA EROSÃO SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

A estrutura do solo é a combinação de propriedades físicas que fundamentam a qualidade do solo. Conforme Volk, Cogo e Streck (2004) “um solo com estrutura de boa qualidade apresenta boa capacidade de retenção, infiltração, permeabilidade e armazenamento de água no seu interior, o que, no conjunto, irá refletir-se em menor erodibilidade”. Os efeitos do uso e manejo do solo sobre a estrutura podem ser quantificados através de propriedades físicas como por exemplo a densidade, compactação, resistência do solo a penetração das raízes e porosidade total (RICHART, 2005).

A densidade do solo compreende o arranjo das partículas do solo que define o sistema poroso. A compactação provoca a destruição e a descontinuidade dos poros.

Valores de densidade altos, podem comprometer o desenvolvimento do sistema radicular, infiltração de água e aeração do solo (CARDOSO, *et al.* 2009). Os valores críticos de densidade obtidos por Reichert, Reinert e Braida (2003) variam em torno de 1,30 a 1,40 Mg m⁻³ para solos argilosos.

O impacto das gotas de chuva diretamente sobre o solo proporciona inicialmente a fragmentação das partículas de solo. As partículas sofrem uma dispersão e migram para a regiões de 0,1 a 0,5 mm de profundidade onde se assentam e obstruem os poros. Esse processo da origem ao encrostamento superficial que por sua vez eleva a densidade do solo (RICHART, 2005). Aliado a isso, no sistema plantio direto a presença de camadas compactadas ocorre principalmente na profundidade de 8 e 15 cm, favorecendo o acumulo de água na camada sobrejacente e a formação da enxurrada (REICHERT, *et al.* 2007).

Embora o selamento superficial seja de pequena espessura, as taxas de infiltração de água são significativamente afetadas. A água infiltra no solo até exceder a sua capacidade de infiltração, ou seja, a partir do momento em que os poros estão preenchidos de água, inicia o escoamento superficial. Estudos apontam uma redução de 40 a 73% na infiltração acumulada, em uma área cultivada com milho e sem cobertura do solo. As diferenças foram provenientes do impacto direto das gotas de chuva sobre o solo descoberto, formando o selamento superficial e impedindo a penetração da água no solo (RICHART, 2005).

A distribuição e tamanho dos poros são significativamente afetados pela compactação do solo. O sistema de semeadura direta provoca uma consolidação do solo que pode ocorrer por processos físicos naturais ou operações de preparo. Segundo Volk, Cogo e Streck (2004) “elevada consolidação e mínima rugosidade superficial do solo reduzem a infiltração de água da chuva e aumentam o escoamento superficial e, com isto, a perda de água da lavoura”. Isso se deve em virtude da consolidação do solo proporcionar a diminuição dos macroporos, responsáveis principalmente pela infiltração de água e um aumento na microporosidade, que está atrelada a retenção de água no solo (REICHERT, *et al.* 2007).

A diminuição do teor de matéria orgânica dos solos causa mudanças em várias propriedades físicas do solo. Em regiões onde a umidade do solo é um dos aspectos limitantes para a produtividade, a matéria orgânica pode ser fundamental para a eficiência do sistema produtivo. A ausência de matéria orgânica implica na exposição do solo aos raios solares, favorecendo a evaporação da umidade do solo. Ainda, estudos realizados por Grohmann e Medina (1962) indicaram que a retenção de água aumentou em camadas superficiais, onde há a maior concentração de matéria orgânica.

Além da densidade, a resistência do solo a penetração também é um indicador da qualidade estrutural do solo. Ela corresponde as condições encontradas pelas raízes no seu desenvolvimento e quando correlacionado com outros fatores, como a umidade e densidade, pode indicar a compactação do solo. Valores altos de resistência a penetração podem limitar o desenvolvimento das plantas, fazendo com que as raízes encontrem dificuldades em explorar o perfil do solo (TORMENA *et al.* 2002). A medição da resistência do solo a penetração pode ser feita com penetrometros manuais, no qual o operador aplica uma força constante permitindo que o equipamento faça a leitura até a profundidade desejada.

A resistência do solo a penetração é influenciada pela densidade e umidade do solo, conforme Reichert, *et al.* (2007) “um solo seco ou mais denso apresenta maior resistência se comparado a um solo úmido ou menos denso, enquanto, para uma mesma umidade, um solo argiloso apresenta maior resistência que um solo arenoso”. De um modo geral, tem-se considerado um valor de 2,0 Mpa como limitante ao crescimento radicular, no entanto, estudos apontam que o limite crítico de resistência a penetração para solos argilosos deve ser aumentado de 2,0 MPa para 3,5 Mpa em plantio direto (MORAES, *et al.* 2014).

2.4 IMPACTO DA EROSÃO SOBRE A PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA

O efeito da erosão sobre o local em que ela ocorre podem resultar em prejuízos. Esses prejuízos se resumem em perda de potencial produtivo, como deterioração das propriedades físicas, perdas da camada fértil e nutrientes (AL-KAISI, 2001). O impacto da erosão sobre a produtividade pode variar conforme o solo, culturas e o sistema de manejo empregado.

Os solos rasos erodidos podem provocar perdas de produtividade mais acentuadas quando comparados a solos profundos e férteis em mesmas condições. Isso acontece em virtude de a concentração de nutrientes estar restrito aos primeiros centímetros do solo e enraizamento limitado para explorar os nutrientes e água.

Em geral, o declínio na produtividade em consequência da erosão pode ser mais expressivo em épocas com baixa precipitação pluvial ou em ambientes desfavoráveis ao desenvolvimento das culturas. Lal e Moldenhauer (1987) indica que “o declínio no rendimento por erosão é frequentemente significativo para cereais com raízes rasas com altas necessidades

de nutrientes e água”. No mesmo sentido, as leguminosas por possuírem raízes mais profundas conseguem buscar água e nutrientes em profundidades maiores. Conforme descrito por Al-Kaisi (2001) a perda do horizonte A está relacionada com perda de produtividade, destacando que “o subsolo não absorve a chuva tão rapidamente, levando a mais escoamento de água superficial e menos água disponível para a produção agrícola”.

Em um estudo onde foi avaliado a relação de um solo com gradiente textural, com a espessura do horizonte A e a produtividade do milho verificou-se interação entre os fatores. Nas porções mais baixas do terreno foram encontradas maiores espessuras do horizonte A, indicando que houve erosão hídrica no sentido morro-abaxo. Os locais com maior espessura do horizonte A apresentaram maiores produtividades de milho. Ainda, destaca Albuquerque, Reinert e Fiorin (p. 156, 1996) “cada centímetro de camada superficial de solo, a menos, representou um decréscimo na produtividade de grãos de milho equivalente a 42,9 kg ha ao ano”.

No entanto, ainda há questionamentos acerca do efeito da erosão sobre os rendimentos das culturas. Desde questões do quanto o solo pode ser erodido até se observar um declínio na produção e quanto isso corresponde em kg/ha, assim como, situações onde a erosão pode estar sendo mascarada pela inserção de tecnologias no meio agrícola. Segundo Lal e Moldenhauer (1987) “é importante que a informação sobre as alterações induzidas pela erosão no rendimento das culturas seja apoiada com dados sobre as condições climáticas e características fisiológicas das culturas e do perfil do solo”, para que assim, se forneça dados relevantes e confiáveis.

2.5 ADOÇÃO DE PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS PARA O CONTROLE DA EROSÃO

Os agricultores por volta de 1970 iniciaram a substituição do preparo primário com arações e gradagens para um sistema de semeadura direta. As perdas de solo foram expressivamente diminuídas, no entanto, o solo permanecia degradado em virtude dos intensos preparos mecânicos e muitas vezes, sem a presença da camada superficial do solo.

Assim, muitos agricultores acreditavam que a erosão havia sido controlada e que a fitomassa que permanecia na superfície era suficiente para manutenção do sistema produtivo. Foi então que muitos produtores removeram de suas áreas práticas importantes para

o controle da erosão, como os terraços e a semeadura em contorno, intensificando os problemas da semeadura direta no Brasil (BERTOL; CASSOL; MERTEN, 2018).

Alguns autores apontam que o plantio direto é eficiente no controle de perdas do solo na erosão hídrica, no entanto, para o controle da água e nutrientes tem se mostrado variável. Evidenciando a necessidade de implantação do SPD e práticas conservacionistas complementares para o controle de água e nutrientes (OLIVEIRA, *et al.* 2012).

O sistema plantio direto (SPD) é um conjunto de métodos que busca um modelo produtivo mais sustentável. Esse sistema inclui os aspectos do plantio direto e ainda, técnicas de rotação e diversificação de culturas, manutenção da cobertura permanente do solo e o sistema colher-semear. No entanto, vale destacar que a agricultura conservacionista abrange ainda mais preceitos (DENARDIN, *et al.* 2012). Nesse trabalho, abordaremos alguns dos métodos conservacionistas para o controle das perdas de solo, água e nutrientes.

Estudos indicam que as palhadas remanescentes das culturas comerciais não são suficientes para manter a qualidade do solo, desta forma, demonstrando a necessidade de rotação e diversificação de culturas na área. A camada de palha possui decomposição lenta, aumentando o teor de matéria orgânica no solo, além de proteger os agregados do solo dos impactos diretos da água da chuva (ALVARENGA, *et al.* 2001).

A recuperação de áreas degradadas assim como a manutenção de áreas agrícolas pode ser feita utilizando as plantas de cobertura. As escolhas das espécies de cobertura irão depender da região e do objetivo do produtor. Destaca Denardin *et al.* (2012):

Para as regiões subtropical e tropical do Brasil, são requeridos cerca de 8.000 a 12.000 kg/ha de matéria seca por ano agrícola para atender a demanda da atividade biológica do solo na manutenção e/ou construção de solo biológica, física e quimicamente fértil. (DENARDIN, *et al.* 2012).

Essas espécies possuem sistemas radiculares diversificados e vigorosos, que podem auxiliar na descompactação de camadas, aumentando a porosidade do solo. A qualidade e quantidade de fitomassa que serão adicionados no sistema são aspectos importantes que devem ser considerados, cultivares de ciclos mais longos geralmente possuem uma maior produção de fitomassa (KOCHHANN; DENARDIN; BERTON, 2000).

Um método complementar, para conservação de solo e água é a construção de terraços na lavoura. Essa prática consiste segundo Resck (2002) “na locação e na construção de estruturas no sentido transversal a declividade do terreno com os objetivos de reduzir a velocidade da enxurrada e seu potencial de destruição dos agregados”. A eficácia desse sistema dimensionado de forma adequada, pode chegar a 100% em virtude de a água ser absorvida e

armazenada no local, não havendo perdas de solo e água para fora da lavoura (BERTOL; CASSOL; MERTEN, 2018).

Uma prática antiga, mas muito importante é o cultivo em contorno. A semeadura, assim como todas as operações de preparo, quando realizadas no sentido perpendicular a declividade do terreno permitem controlar a enxurrada. As linhas de cultivo funcionam como barreiras, fazendo com que a água das chuvas perca intensidade ao longo do declive, favorecendo sua infiltração e diminuindo a erosão (PES; GIACOMINI, 2017).

3 METODOLOGIA

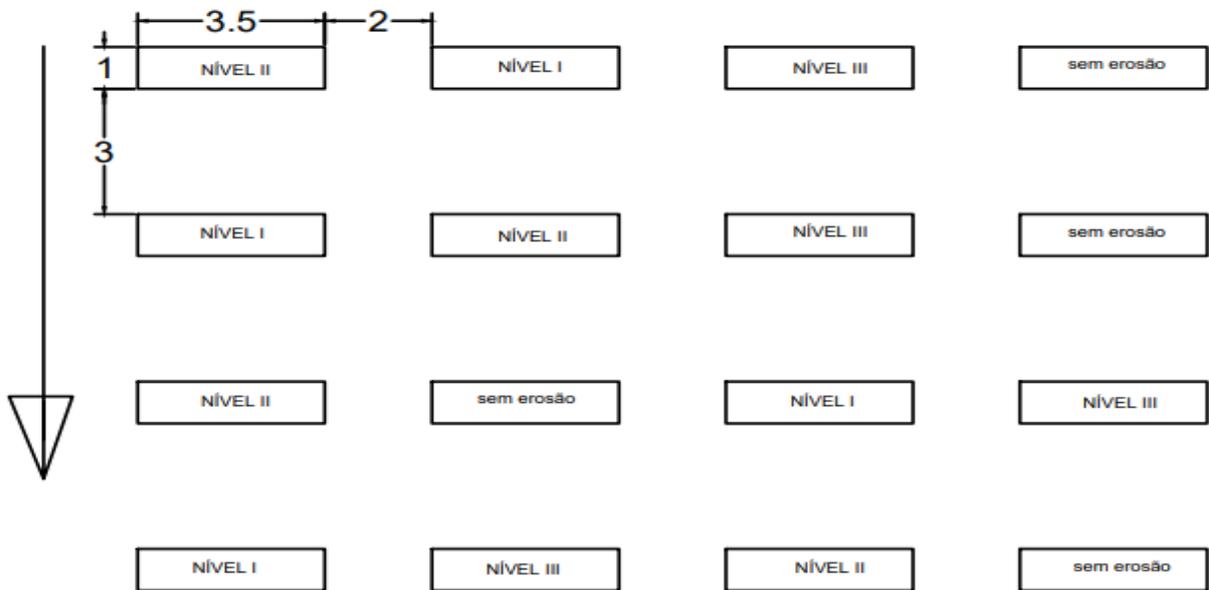
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O experimento foi instalado na região noroeste do Rio Grande do Sul, no município de Cerro Largo que possui, longitude: 54°45'36" O e latitude 28° 8'77" S. A área utilizada é conduzida em Sistema Plantio Direto consolidado, onde o solo está a mais de 20 anos sem revolvimento e sendo cultivado com culturais anuais em sistema de rotação de culturas. O clima da região é classificado como Cfa (úmido em todas as estações do ano, verão quente e moderadamente quente) (KÖPPEN,1931). O solo da área é classificado como um Latossolo Vermelho com composição granulométrica de 604,1 g kg de argila; 129,6 g kg de areia e 266,2 g kg de silte na camada de 0 a 20 cm.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E IMPLANTAÇÃO DOS TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Os tratamentos correspondem a: sulco de 2cm (nível de perda I) – T1; sulco de 4cm (nível de perda II) – T2; sulco de 7cm (nível de perda III) – T3 e um tratamento onde não houve remoção do solo (sem erosão) – T4. Assim, representando os sulcos mais comuns formados pelo processo erosivo em lavouras de culturas anuais na região missioneira do RS. O tratamento onde houve a remoção de 2cm de solo caracteriza uma perda de solo de 186.359,7 kg/ha, enquanto o tratamento de 4cm e 7cm representam 350.943,5 e 803.493,6 kg/ha respectivamente. Os tratamentos estão distribuídos em parcelas de 3,5x1m com uma distância entre parcelas de 2m e entre os blocos de 3m, conforme indica a (**Figura 4**). Desta forma, o experimento compreende uma área total de 280m².

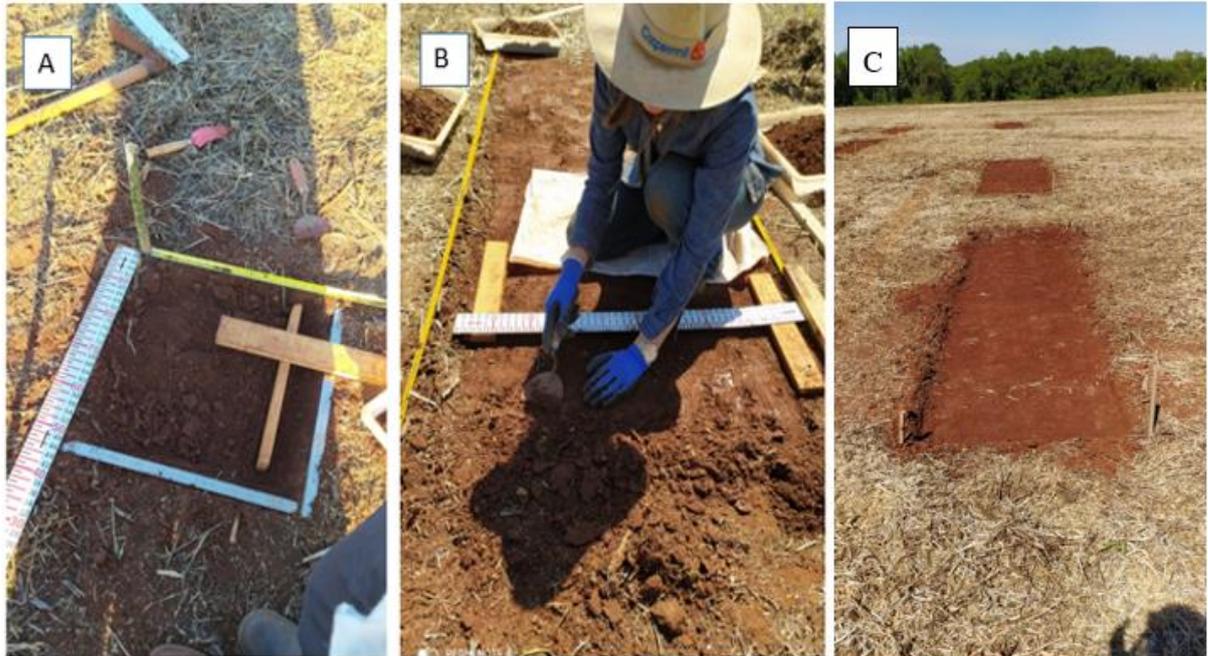
Figura 4 - Croqui do experimento.



Fonte: A Autora (2021).

A remoção do solo das parcelas foi realizada através de uma raspagem artificial das camadas, nos dias 2 e 3 de abril de 2021. Para retirar a camada de solo correspondente de cada tratamento, utilizou-se réguas e gabaritos de madeira. Dessa forma, as camadas foram sendo removidas a cada 10 cm de largura, para manter uma remoção homogênea em cada parcela. Para quantificar a massa de solo total removida, coletou-se o solo em uma área de 0,25 m² de cada parcela (**Figura 5**). Essas amostras de solo foram ensacadas, identificadas e, posteriormente levadas ao laboratório de Pedologia e Física do Solo da Universidade Federal da Fronteira Sul – *campus* Cerro Largo para análise. No laboratório essas amostras foram pesadas para determinação da quantidade de solo em 0,25m². Após isso, as amostras de cada tratamento foram homogeneizadas, totalizando 3 amostras que foram enviadas para o laboratório de solos da Universidade Federal de Santa Maria para determinação da quantidade de nutrientes.

Figura 5 - Implantação dos tratamentos: retirada de 0,25m² de solo para quantificação (a); raspagem artificial das camadas (b) e tratamentos implantados (c).



Fonte: A Autora (2021).

3.3 PREPARO DA ÁREA E SEMEADURA

No dia 6 de abril de 2021 foi realizada a semeadura da canola. A cultivar utilizada na área foi a DIAMOND de ciclo precoce e originária dos Estados Unidos. A implantação da cultura foi realizada com uma semeadora modelo KF e com um espaçamento entre linhas de 0,34 m. Devido a desuniformidade na germinação, foi realizada no dia 17 de abril uma semeadura manual (**Figura 6**). A cultivar utilizada foi a mesma, no entanto, com o espaçamento entre linhas de 0,17 m e densidade de semeadura de 72 sementes/m². Devido à escassez de chuva, entre o dia 17 e 26 de abril foi realizada a irrigação das parcelas com o auxílio de um regador, totalizando 50 litros/parcela.

Figura 6 - Semeadura manual da canola (*Brassica napus*).



Fonte: A Autora (2021).

A recomendação de adubação para as culturas foi baseada nos resultados da análise de solo. Para determinação da quantidade de nutrientes necessários foi utilizado o Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016).

A adubação para a cultura da canola foi realizada em dois períodos, o primeiro com a semeadora adubadora KF no dia 6 de abril utilizando o adubo Superstart da Yara com a formulação 13-33-08, sendo a dose recomendada 250 kg/ha. De segundo momento, foi realizada adubação de cobertura com 160 kg/ha de ureia cloretada 30-00-20 no dia 20 de maio, quando a cultura estava no estágio fenológico de quatro folhas desenvolvidas, de acordo com indicações técnicas para a cultura da canola (TOMM et al., 2007).

A dessecação da área foi realizada no dia 8 de abril utilizando Glifosato (Crucial) na dose 2L/ha e Cipermetrina (Cyprtrin250CE) na dose 200ml/ha. O controle pós emergente foi realizado no 25 de maio utilizando os produtos fitossanitários Cletodim + Triflururon (Mirza) + Carbendazim nas doses 400ml/ha, 80ml/ha e 1L/ha, respectivamente. Já no dia 7 de julho foi realizado um tratamento para o controle de mofo branco utilizando Carbendazim na dose de 1 L/ha. A dessecação da canola foi realizada no dia 28 de agosto com a utilização do herbicida não seletivo Spraykill na dose de 2 L/há.

Anteriormente a implantação do milho foi feita a dessecação da área com o herbicida Spraykill na dose de 2 L/ha. A semeadura do milho ocorreu no dia 12 de setembro e a cultivar utilizada foi a DKB 230 VTPRO3 (**Figura 7**). A implantação foi realizada com uma semeadora adubadora modelo Victória 3150 da Stara. O espaçamento utilizado foi de 0,5 m e a densidade de semeadura 8 sementes/m². A adubação do milho foi realizada em três momentos, o primeiro ocorreu no dia 12 de setembro em conjunto com a semeadura na formulação de 12-32-17 e na dose de 290 kg/ha e posteriormente em doses de 200 e 150 kg/ha.

Figura 7 - Semeadura da cultura (*Zea mays*) com a semeadora adubadora.



Fonte: A Autora (2021).

3.4 AVALIAÇÃO DOS INDICADORES QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO, POPULAÇÃO DE PLANTAS E PRODUTIVIDADE

A coleta de solo para a análise química dos tratamentos foi realizada no dia 3 de julho com o auxílio de uma pá de corte na camada 0 - 0,1 m. O solo foi colocado sob bandejas e homogeneizado em peneiras de 2 mm para posterior envio ao laboratório de análise (**Figura 8**).

Figura 8 - Coleta da camada 0-0,1m para análise química (a) e preparo das amostras (b).



Fonte: A Autora (2021).

A contagem de plantas emergidas e estabelecidas da canola e milho foi realizado com um quadro de dimensões 50x50 cm para delimitar a área em cada parcela. A produtividade das culturas foi avaliada na maturação fisiológica, colhendo-se 1m² de cada parcela, onde as plantas foram ensacadas, identificadas e levadas para o laboratório para debulha manual e posterior pesagem em balança analítica 0,0001 g (**Figura 9**).

Figura 9 - Colheita da cultura (*Brassica napus*) (a) e (*Zea mays*) (b).



Fonte: A Autora (2021).

A densidade e a distribuição de poros foram avaliadas nas camadas de 0 – 0,05, 0,05 – 0,1, 0,1 – 0,15 e 0,15 – 0,2 m de profundidade por meio da coleta de amostras de solo com estrutura preservada com anéis de aço inox (**Figura 10**). Em laboratório as amostras foram preparadas e saturadas para a determinação de macroporos, microporos e porosidade total conforme metodologia descrita em Reinert e Reichert (2006) e densidade do solo conforme metodologia descrita em Teixeira *et al.* (2017).

Figura 10 - Coleta de amostras de solo com estrutura preservada.



Fonte: A Autora (2021).

3.5 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados obtidos foram submetidos a análise da variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os dados foram analisados com auxílio do software SAS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação para densidade, porosidade, macroporosidade, microporosidade e grau de compactação foi realizada em quatro camadas de solo: 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm de profundidade (**Tabela 1**). A densidade apresentou diferença significativa apenas na camada de 10-15cm entre o tratamento sem erosão e os sulcos de 2, 4 e 7 cm. Devido ao intenso tráfego de máquinas agrícolas é comum observar a presença de compactação principalmente na camada de 8-15cm no sistema plantio direto (STRECK *et al.*, 2004). Quando os valores de densidade ficam acima de $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$ e a MAC abaixo de $0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$, os níveis de compactação do solo já atingem valores que podem ser restritivos ao crescimento das raízes das plantas, principalmente em anos mais secos (REICHERT *et al.*, 2007). O grau de compactação apresentou diferença significativa na camada de 5-10 e 10-15 entre o tratamento onde não houve erosão e os tratamentos sulco de 2 e 4cm. Desta forma, destacando a influência do intenso tráfego de máquinas nesta camada.

As médias para porosidade total, macroporosidade e microporosidade não apresentaram diferença significativa entre as camadas e nem entre os tratamentos.

Tabela 1 - Médias para densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade e grau de compactação.

Camada (cm)	Sem erosão	Sulco de 2cm	Sulco de 4cm	Sulco de 7cm
Densidade (g/cm ³)				
0-5	1,24 A	1,25 A	1,26 A	1,32 A
5-10	1,44 A	1,39 A	1,37 A	1,39 A
10-15	1,45 A	1,38 B	1,36 B	1,38 B
15-20	1,37 A	1,32 A	1,38 A	1,36 A
Porosidade Total (cm ³ /cm ³)				
0-5	0,55 A	0,57 A	0,56 A	0,53 A
5-10	0,51 A	0,51 A	0,52 A	0,52 A
10-15	0,52 A	0,53 A	0,51 A	0,52 A
15-20	0,53 A	0,53 A	0,52 A	0,53 A
Macroporosidade (cm ³ /cm ³)				
0-5	0,12 A	0,17 A	0,16 A	0,13 A
5-10	0,09 A	0,10 A	0,11 A	0,11 A
10-15	0,09 A	0,11 A	0,09 A	0,10 A
15-20	0,10 A	0,10 A	0,08 A	0,10 A
Microporosidade (cm ³ /cm ³)				
0-5	0,43 A	0,40 A	0,41 A	0,40 A
5-10	0,42 A	0,41 A	0,41 A	0,41 A
10-15	0,43 A	0,42 A	0,42 A	0,42 A
-15-20	0,43 A	0,43 A	0,45 A	0,43 A
Grau de Compactação (%)				
0-5	79,80 AB	74,36 B	70,54 B	88,46 A
5-10	92,58 A	82,74 B	76,40 C	93,56 A
10-15	93,22 A	82,32 B	76,16 C	92,66 A
15-20	88,14 A	78,96 B	77,20 A	91,12 A

*Médias seguidas de letra distintas diferem entre si significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

A quantificação dos nutrientes que podem ser removidos pelo escoamento superficial está representada no **(Quadro 1)**. Observa-se que o tratamento onde houve a remoção de solo de 2cm possui os maiores valores para P, K, Ca e Mg como também os maiores teores de MO e saturação de bases, quando comparado aos tratamentos com sulco de 4cm e 7cm. A decomposição da matéria orgânica e o acúmulo de nutrientes tornam a camada superficial do solo fundamental para as plantas (SAMPAIO, 2004). Desta forma, a erosão da camada superficial do solo pode provocar prejuízos no desenvolvimento adequada das culturas. E assim, os nutrientes e matéria orgânica podem ser removidos do local de origem através da água e sedimentos da enxurrada (BERTOL *et al.*, 2004). É possível observar também que há

uma diminuição nos teores de nutrientes e matéria orgânica conforme o aumento da profundidade.

Quadro 1 - Resultado da análise química do solo removido nos tratamentos.

Tratamento	pH água 1:1	Ca	Mg	H+Al	CTC efet.	Saturação (%)	
		cmolc dm ³					Al
Sulco 2cm	5,2	8,3	3,2	3,5	12,7	0,5	78,2
Sulco 4cm	5,2	7,6	2,8	4,4	11,3	0,6	71,8
Sulco 7cm	5,1	6,7	2,5	6,9	10	1	59,1

Tratamento	%MO	%ARGILA	P-Mehlich	K	CTC pH7	K	Índice SMP
	m/v		mg/dm ³	cmolc/dm ³		mg/dm ³	
Sulco 2cm	5,1	27	38,6	1,125	16,2	440	6,2
Sulco 4cm	4,8	24	33,9	0,839	15,6	328	6
Sulco 7cm	4	27	33,4	0,716	16,8	280	5,6

A avaliação da análise química do solo nos tratamentos foi realizada na camada de 0-0,1m, conforme indica o (**Quadro 2**). O tratamento sem erosão apresentou os maiores teores de nutrientes e matéria orgânica, com uma classificação muito alto para valores de P e K, alto para valores de Mg e Ca e teores médios de matéria orgânica. Os tratamentos com sulco de 2cm e sulco de 4cm apresentaram valores de P médio, valores de K, Mg e Ca altos e teor de matéria orgânica médio. O tratamento com sulco de 7cm apresentou teores altos para todos os nutrientes (P, K, Mg e Ca) e teores baixos para matéria orgânica.

O valor de pH de referência para culturas de grãos é 6, enquanto que, os apresentados na análise química são inferiores para todos os tratamentos. A saturação por bases (V%) está ≥ 50 para todos os tratamentos sendo assim classificado como um solo eutrófico (fértil). No entanto segundo a Ronquim (2010) “a maioria das culturas apresenta boa produtividade quando no solo é obtido valor V% entre 50 e 80% e valor de pH entre 6,0 e 6,5”. Desta forma, os valores de pH apresentados pela análise já podem comprometer a disponibilidade de nutrientes.

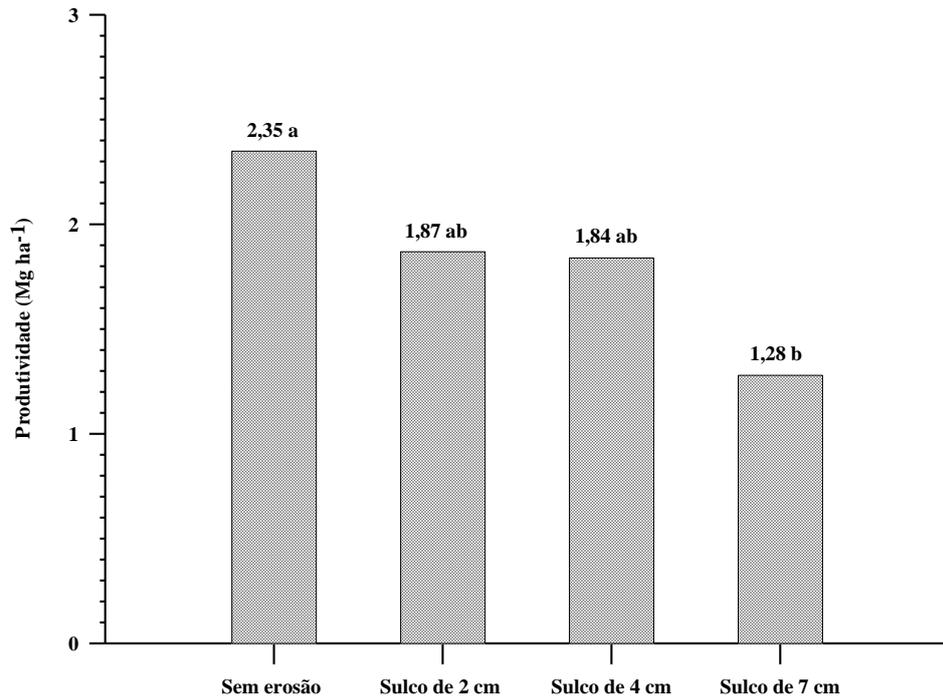
Quadro 2 - Resultado da análise química do solo na camada de 0-0,1m.

Tratamento	pH água 1:1	Ca	Mg	H+Al	CTC efet.	Saturação (%)	
		cmolc dm ³					Al
Sem erosão	5,1	6	2,3	5,5	9,1	1,6	61,9
Sulco 2cm	4,7	4,8	1,7	5,5	7,3	5,9	55,7
Sulco 4cm	5	4,6	1,7	6,2	7,2	7,4	51,7
Sulco 7cm	4,7	4,6	1,7	5,5	7,4	11,5	54,6

Tratamento	%MO	%ARGILA	P-Mehlich	K	CTC pH7	K	Índice SMP
	m/v		mg/dm ³	cmolc/dm ³		mg/dm ³	
Sem erosão	4,2	44	25	0,645	14,4	252	5,8
Sulco 2cm	2,8	35	14,7	0,348	12,4	136	5,8
Sulco 4cm	2,6	21	15,1	0,338	12,9	132	5,7
Sulco 7cm	2,3	62	9,3	0,307	12	120	5,8

A produtividade da cultura da canola diferiu significativamente entre o tratamento sem erosão e o tratamento com sulco de 7cm (**Figura 11**). Em um estudo realizado em Latossolo Vermelho verificou-se perdas significativas na produtividade de soja na retirada artificial de 14cm de solo, resultando em uma perda de aproximadamente 100 kg ha⁻¹ por cm do solo removido (GAERTNER; DEDECEK; BISCAIA, 2006). Os menores teores de nutrientes (Ca, Mg, K e P), matéria orgânica e pH foram observados no tratamento de sulco de 7cm na análise química do solo (**Quadro 2**), o que pode ter contribuído na redução da produtividade da cultura. Evidenciando, desta forma, que a erosão da camada de 7cm solo proporciona o arraste dos nutrientes na enxurrada, principalmente em sistema onde há a mobilização do solo somente na linha de semeadura, proporcionando a concentração dos nutrientes na superfície e no sulco de semeadura (GILLES et al., 2009).

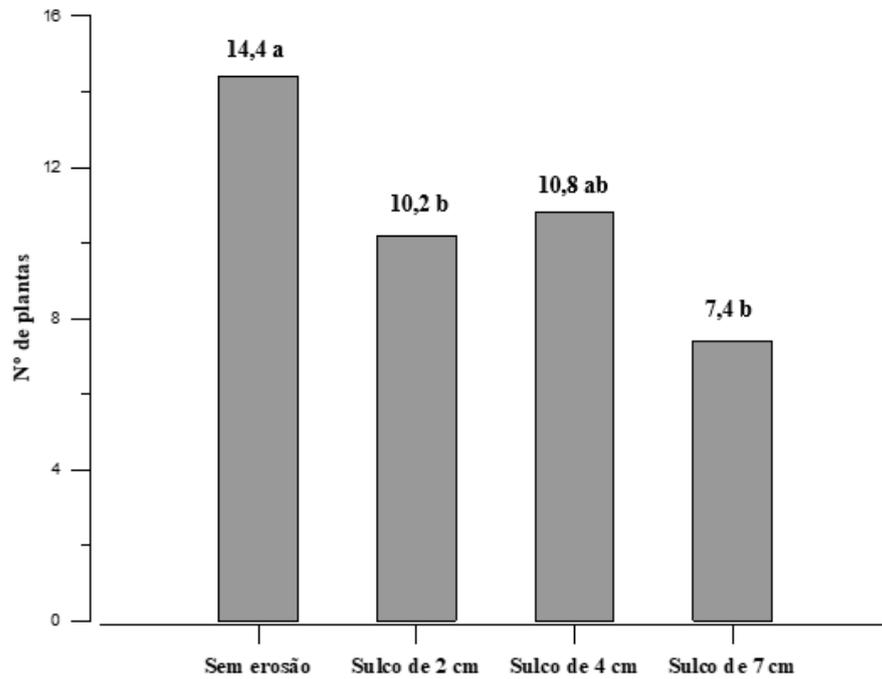
No entanto, os tratamentos com sulcos (2, 4 e 7cm) não apresentaram diferença significativa. Esse resultado mostra a importância da camada superficial do solo pois é rica em nutrientes, material orgânico e atividade biológica. As interações que ocorrem nessa camada tornam ela essencial para o crescimento e desenvolvimento adequado das culturas (LIMA; LIMA; MELO, 2007). Assim, a remoção de 2cm de solo proporciona os mesmos efeitos em termos de produtividade que a remoção de 4 ou 7cm de solo.

Figura 11 - Produtividade da cultura da canola (Mg ha^{-1}) nos tratamentos.

*Médias seguidas de letra distintas diferem entre si significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

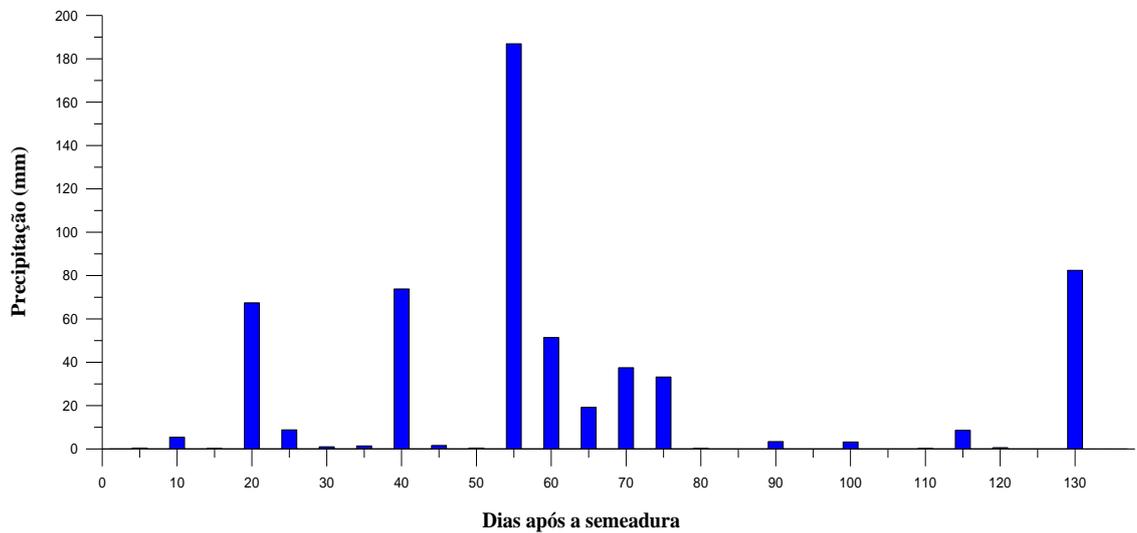
Nesse sentido, o número de plantas emergidas e estabelecidas no sulco de 7cm também foi prejudicado, diferindo significativamente do tratamento sem erosão (**Figura 12**). O número de plantas emergidas e estabelecidas não diferiu significativamente entre os tratamentos onde houve remoção do solo (sulco de 2, 4 e 7cm). A precipitação acumulada no ciclo da canola foi de 580 mm, sendo que o recomendado para a cultura é de 300 a 500mm de acordo com o ZARC (2021) (**Figura 13**). A precipitação pluviométrica no início do ciclo da cultura da canola foi baixa e por isso, foi realizado em alguns momentos a irrigação manual.

Figura 12 - Número de plantas de canola emergidas e estabelecidas em 0,25m².



*Médias seguidas de letra distintas diferem entre si significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

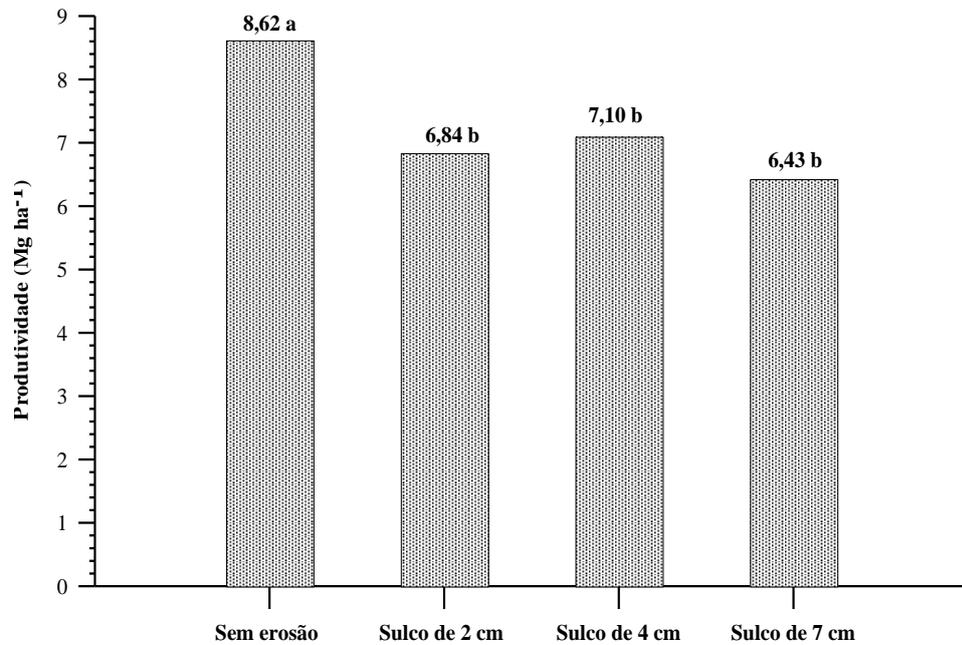
Figura 13 - Precipitação pluviométrica durante o período de cultivo da cultura da canola.



A produtividade da cultura do milho diferenciou significativamente entre o tratamento onde não houve remoção do solo (sem erosão) e os tratamentos onde o solo foi removido (sulco de 2cm, 4cm e 7cm) (**Figura 14**). No entanto, não houve diferença significativa entre os tratamentos onde a camada de solo foi removida, corroborando com os

resultados de produtividade obtidos na cultura da canola. Esse resultado reforça a importância da camada superficial para o adequado desenvolvimento das culturas.

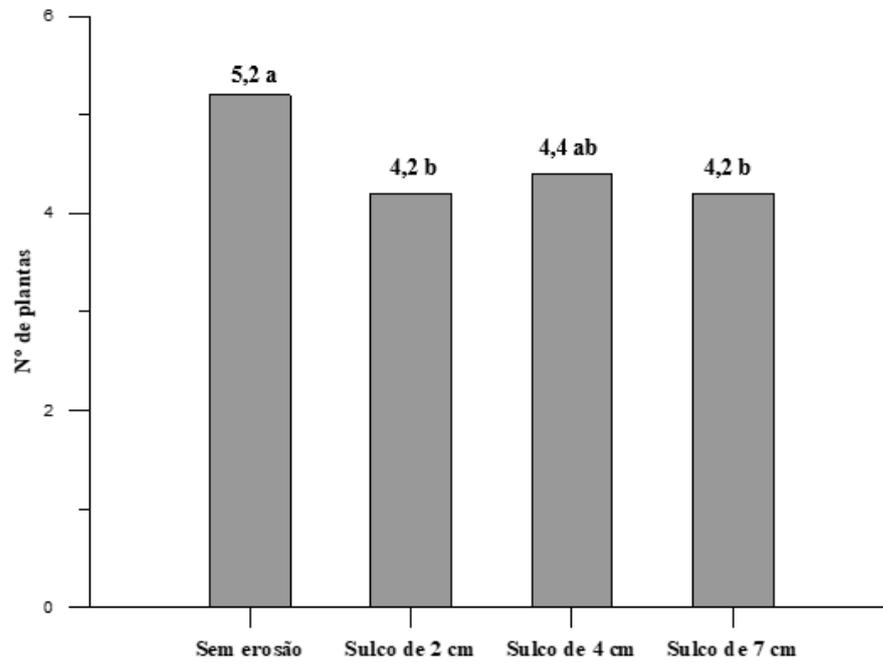
Figura 14 - Produtividade da cultura do milho (Mg ha^{-1}) nos tratamentos.



*Médias seguidas de letra distintas diferem entre si significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

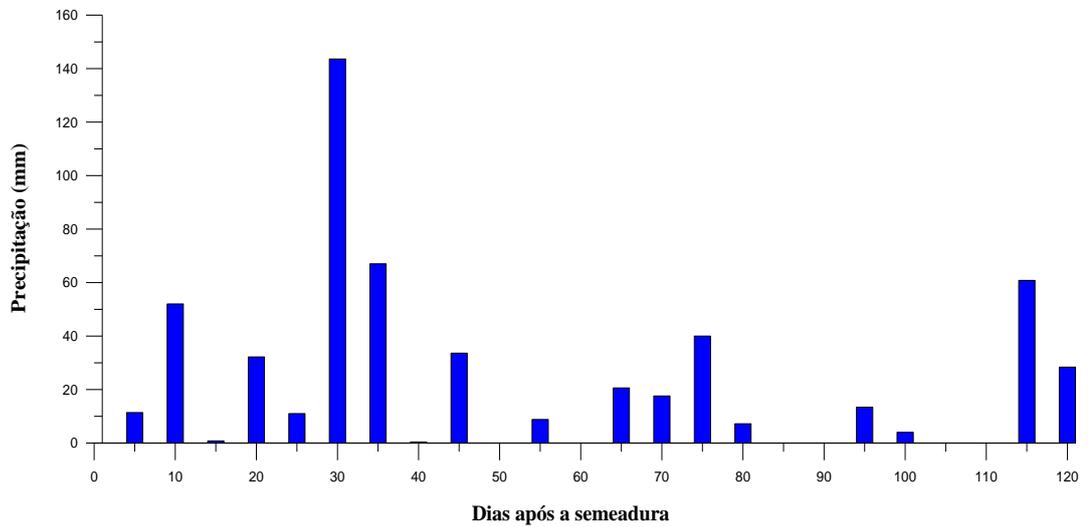
O número de plantas emergidas e estabelecidas diferenciou significativamente entre o tratamento sem erosão e os tratamentos de sulco de 2 e 7cm. Não houve diferença significativa entre os tratamentos onde houve remoção de solo (sulco de 2, 4 e 7cm) (**Figura 15**). O milho obteve uma precipitação pluviométrica acumulada de 550mm durante o ciclo, dentro do recomendado que é de 400 a 600mm para a cultura. (EMBRAPA, 2011) (**Figura 16**).

Figura 15 - Número de plantas emergidas e estabelecidas em 0,25m².



*Médias seguidas de letra distintas diferem entre si significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 16 - Precipitação pluviométrica durante o período de cultivo da cultura do milho.



5 CONCLUSÃO

Não há diferença significativa na remoção de 2, 4 ou 7cm de solo na produtividade da cultura da canola e milho.

A produtividade do milho e da canola foi menor nos sulcos, mas não teve diferença entre os sulcos, o que demonstra que a remoção dos 2 primeiros cm da camada superficial do solo já tem um impacto significativo na produtividade.

Os maiores valores de nutrientes e matéria orgânica removidos pelo escoamento superficial foram observados na camada de 2cm de solo.

A maior concentração de nutrientes e matéria orgânica ocorrem nos 2 primeiros cm de solo.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; CASSOL, E. A.; REINERT, D. J.. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e estabilidade dos agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2000.

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E. Variabilidade de solo e planta em podzólico vermelho amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas – SP, p. 152-157, 1996.

AL-KAISI, Mahdi. Soil erosion and crop productivity: topsoil thickness. Iowa State University, extension and outreach, 2001. Disponível em: <https://crops.extension.iastate.edu/encyclopedia/soil-erosion-and-crop-productivity-topsoil-thickness>. Acesso em: 22 agosto 2021.

ALVARENGA, R. C. *et al.* Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.25-36, jan/fev. 2001. Disponível em: [file:///C:/Users/USER/Downloads/Plantas%20de%20cobertura%20de%20solo%20para%20sistema%20plantio%20direto-min%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/Plantas%20de%20cobertura%20de%20solo%20para%20sistema%20plantio%20direto-min%20(2).pdf). Acesso em: 16 julho 2021.

ALVARENGA, Ramon Costa. Índices da erosividade das chuvas, perda de solo e fator erodibilidade para dois solos da região de sete lagoas. **Embrapa**. Sete Lagos, mar. 1998.

ARMENISE, E. *et al.* Soil seal development under simulated rainfall: structural, physical and hydrological dynamics. **Journal of Hydrology, 90 Colloquium Agrariae**, v. 15, n.3, Mai-Jun, 2019, p. 79-93. v.556, p. 211-219, 2018.

ATLAS, Socioeconômico do Rio Grande do Sul. Clima, temperatura e precipitação. 5ª ed. jul. 2020. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/clima-temperatura-e-precipitacao>. Acesso em: 23 junho 2021.

BARBOSA, Fabrício Tondello *et al.* Teor de nitrogênio solúvel na água de erosão hídrica em cultura de aveia e ervilhaca em três formas de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l], p. 439-446, jan. 2009.

BERTOL, I. *et al.* Erosão hídrica em um nitossolo háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. ii - perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. p. 1045-1054, 2004.

BERTOL, I. *et al.* Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l], p. 485-494, jan. 2004.

BERTOL, I.; CASSOL, E. A.; BARBOSA, F. T. Erosão do Solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 2018.

BERTOL, I.; CASSOL, E. A.; MERTEN, G. H. Modelagem e modelos utilizados para estimar a erosão do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 2018.

BERTOL, O. J. *et al.* Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l], p. 791-792, 2007.

BERTOL, Oromar João. **Contaminação da água de escoamento superficial e da água percolada pelo efeito de adubação mineral e adubação orgânica em sistema de semeadura direta**. 2005. 209 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Florestais do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, A Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, 2005.

BOLFE, Édson Luis. Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. **Embrapa**, Brasília, p. 70-71. 2018.

CAMPOS, Ben-Hur Costa de *et al.* Avaliação temporal da umidade do solo como consequência do tipo e percentagem de cobertura vegetal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 459-463, dez. 1994.

CARDOSO, Luís Carlos Mendes et al. Avaliação da densidade do solo, densidade de partículas e porosidade de um latossolo sob diferentes coberturas vegetais. XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2009. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2008/anais/arquivos/INIC/INIC1056_03_O.pdf. Acesso em: 17 agosto 21.

CASSOL, E. A. *et al.* Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no rio grande do sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l], p. 705-712, 2002.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCH, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 1998.

COELHO, M. R. *et al.* O Recurso Natural Solo. In: MANZATTO, Celso Vainer; FREITAS JUNIOR, Elias de; PERES, José Roberto Rodrigues (Ed). **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2002. P. 10-11.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l], v. 2, n. 2, p. 747-752, fev. 2003.

CRUZ, José Carlos. Sistemas de Produção. Embrapa Milho e Sorgo, [s. l], nov. 2007. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_sisal/arvore/CONT000fckl80cd02wx5eo0a2ndxy9o28e5x.html. Acesso em: 15 julho 2021.

DENARDIN, J. E. *et al.* **Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 15 p. (Embrapa Trigo. Documentos

Online, 141). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/91357/1/2012-documentosonline-141.pdf> . Acesso em: 16 julho 2021.

DENARDIN, José Eloir. Sistema Plantio Direto. [s.i]. **Comitê Gestor Estadual da Agricultura de Baixa Emissão de Carbono**, 2017.

EMBRAPA. **O que é e como se forma o solo**. Brasília, 2015. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/contando-ciencia/solos/-/asset_publisher/1ZCT5VQ5Hj1S/content/o-que-e-e-como-se-forma-o-solo-1355746?inheritRedirect=false. Acesso em: 15 junho 2021.

EMBRAPA. **Pesquisa gera mapas de áreas suscetíveis e vulneráveis a erosão hídrica em Alagoas**, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/52750822/pesquisa-gera-mapas-de-areas-suscetiveis-e-vulneraveis-a-erosao-hidrica-em-alagoas>. Acesso em: 15 junho 2021.

EMBRAPA. Milho, Brasília, 2011. Disponível em: [file:///C:/Users/User/Downloads/500perguntasmilho%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/500perguntasmilho%20(2).pdf). Acesso em: 03 de março de 2022.

FAO. **Status of the World's Soil Resources**, 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i5199e/i5199e.pdf> . Acesso em: 15 junho 2021.

GAERTNER, C.; DEDECEK, R. A.; BISCAIA, R. M. Produtividade do trigo e da soja em latossolo vermelho distrófico com diferentes níveis de erosão hídrica. *Scientia Agraria*, v.7, n.1-2, p.27-34, 2006.

GILLES, L. *et al.* Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l], p. 1427-1440, 2009.

GROHMANN, F. & MEDINA, H.P. Características de umidade dos principais solos do estado de São Paulo. *Bragantia*, 21:285-295, 1962.

HERNANI, L. C. *et al.* A Erosão e seu Impacto. In: MANZATTO, Celso Vainer; FREITAS JUNIOR, Elias de; PERES, José Roberto Rodrigues (Ed). **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**, Rio de Janeiro: Embrapa, 2002. P. 47-60.

HERNANI, Luís Carlos. Perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Embrapa Agropecuária Oeste**, Dourados, 1999.

KAMIYAMA, Araci. **Agricultura Sustentável**: cadernos de educação ambiental. São Paulo, 2011.

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E.; BERTON, A.L. **Compactação e descompactação de solos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 20p. (Embrapa Trigo. Documentos, 19). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84191/1/CNPT-DOC.-19-00.pdf>. Acesso em: 16 julho 2021.

KÖPPEN, William. 1931. *Climatologia*. México, Fundo de Cultura Econômica.

LAL, R.; MOLDENHAUER, W. C. Effects of soil erosion on crop productivity. **Critical Reviews in Plant Sciences**, 303-367, v.5, 1987.

LEPSCH, Igo F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LIMA, V. C; LIMA, M. R; MELO, V.F. O solo no meio ambiente, Curitiba, 2017.

MANSOR, M.T.C. Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, Campinas-SP. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal de Campinas. Campinas, mar. 2005.

MINELLA, J. P. G. *et al.* Dinâmica da erosão na escala de bacia hidrográfica: Uma experiência de pesquisa no Estado do Rio Grande do Sul. **In: Manejo da Conservação do Solo e da Água em pequenas propriedades rurais no Sul do Brasil**, Frederico Westphalen, p. 70-121, 2015.

MIRANDA, G. A. *et al.* Utilização de um Simulador de Erosão como Ferramenta de Educação Ambiental. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas – Mg, p. 22-23, 2010.

MORAES, M. T. *et al.* Critical limits of soil penetration resistance in a rhodic eutradox. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 288-298, 2014.

OLIVEIRA, J. G. L. *et al.* Erosão no plantio direto: perda de solo, água e nutrientes. **Bol. geogr.**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 91-98, 2012.

PES, L. Z.; GIACOMINI, D. A. **Conservação do Solo**. Colégio Politécnico: Santa Maria, 2017. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/342/2020/04/CONSERVA%C3%87%C3%83O-DO-SOLO.pdf>. Acesso em: 29 de julho 2021.

PRIMAVESI, O. *et al.* Lixiviação de nitrato em pastagem de coastcross adubada com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s. l], v. 35, n. 3, p. 683-690, 2006.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ci. Amb**, 27:29-48, 2003.

REICHERT, José Miguel *et al.* Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos Ci. Solo**, 5:49-134, 2007.

REINERT D.J.; REICHERT J.M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo - protótipos e teste. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1931-1935, dez., 2006.

RESCK, D. V. S. **A conservação da água via terraceamento em sistemas de plantio direto e convencional no cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 8p (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 22). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/24563/1/cirtec_22.pdf. Acesso em: 19 julho 2021.

RESENDE, Álvaro Vilela de. Agricultura e Qualidade da Água: Contaminação da água por nitrato. **Embrapa**, Planaltina, v. 1, p. 10-14, dez. 2002.

RIBON, A. A. *et al.* Alterações na estabilidade de agregados de latossolo e argissolo em função do manejo, na entrelinha da seringueira (*Hevea brasiliensis*). **Revista Árvore**, Viçosa, v.38, n.6, p.1065-1071, 2014.

RICHART, Alfredo. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, jul. 2005.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. EMBRAPA, Campinas, 2010.

SAMPAIO, Elsa. O solo e suas funções. Departamento de Geociências, Universidade de Évora, 2004). Disponível em: <http://home.uevora.pt/~ems/files/Anexo%20B-07.pdf>. Acesso em: 01 agosto 2021.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, Luiz F. C. de. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l], v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010.

STRECK, C. A. *et al.* Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.3, p.755-760, mai-jun, 2004.

SILVA, Maria Sonia Lopes da. Estudos da Erosão. **Embrapa**, Petrolina, p. 1-22, jun. 1995.

TEIXEIRA P.C.; DONAGEMMA G.K.; FONTANA A.; TEIXEIRA W.G. **Manual de métodos de análise de solos**. 3 ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2017.

TOMM, G.O. Indicativos tecnológicos para produção de canola no Rio Grande do Sul. Embrapa Trigo, Passo Fundo, set. 2007.

TORDIN, Cristina. Equipe avalia uso sustentável de solos arenosos. **Embrapa Meio Ambiente**, Brasília, jun. 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/3444909/equipe-avalia-uso-sustentavel-de-solos-arenosos>. Acesso em: 22 junho 2021.

TORMENA, C. A. *et al.* Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Scientia Agricola*, v.59, n.4, p.795-801, out./dez. 2002.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l], v. 1, n. 1, p. 763-774, 2004.

WADT, Paulo Guilherme Salvador. Práticas de Conservação do Solo e Recuperação de Áreas Degradadas. **Embrapa**, Rio Branco, p. 10-12, dez. 2003.

ZARC, Zoneamento de Risco Climático para a cultura da canola, 2021. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-spa/mapa-n-490-de-9-de-novembro-de-2021->

