

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

RAFAEL KIELING JUNG

**PERDA DE SOLO E PRODUTIVIDADE DO TRIGO EM TRÊS INTENSIDADES DE
EROSÃO SIMULADA**

**CERRO LARGO
2023**

RAFAEL KIELING JUNG

**PERDA DE SOLO E PRODUTIVIDADE DO TRIGO EM TRÊS INTENSIDADES DE
EROSÃO SIMULADA**

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

2023

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Jung, Rafael Kieling
PERDA DE SOLO E PRODUTIVIDADE DO TRIGO EM TRÊS
INTENSIDADES DE EROÇÃO SIMULADA / Rafael Kieling Jung.
-- 2023.
42 f.

Orientador: Doutor Douglas Rodrigo Kaiser

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, Cerro Largo,RS, 2023.

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

RAFAEL KIELING JUNG

**PERDA DE SOLO E PRODUTIVIDADE DO TRIGO EM TRÊS
INTENSIDADES DE EROÇÃO SIMULADA**

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.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 10/02/2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser – UFFS
Orientador



Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira – UFFS
Avaliador



Eng. Agrônoma Larissa Werle – UFSM
Avaliadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, em especialmente aos meus pais Darceli e Maria Isabel, que sempre foram os maiores incentivadores e nunca mediram esforços para que eu tivesse acesso à educação e ao conhecimento.

Agradeço a minha namorada, Thaíse, que sempre esteve comigo nos momentos mais difíceis e nunca deixou de me incentivar para que desse o meu melhor neste trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Douglas Kaiser, que confiou em mim e deu a oportunidade de ingressar na iniciação científica e posteriormente orientou este trabalho, sempre prezando para que tudo fosse realizado da forma mais correta, levando a sério a ciência. Agradeço a ele pelos conhecimentos, pelas experiências compartilhadas e pela amizade criada ao longo desta caminhada da graduação.

Agradeço aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, incentivando e ajudando no que fosse necessário, inclusive com a implantação deste experimento;

Por fim, agradeço a UFFS, pela oportunidade que me foi dada de adquirir conhecimento junto a grandes profissionais, estendendo esse agradecimento a todos os profissionais que de alguma maneira fizeram parte da minha jornada ao longo deste tempo.

RESUMO

A erosão hídrica é um dos principais fatores que degrada os solos no mundo. Em solos agrícolas mal manejados os processos erosivos tendem a ser mais acentuados, aumentando as perdas de nutrientes e matéria orgânica e gerando muitos problemas ambientais como a contaminação e assoreamento de corpos d'água. Este trabalho teve como objetivo avaliar como diferentes intensidades de erosão simulada são capazes de influenciar na produtividade da cultura do trigo. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso contando com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram realizados simulando erosão em sulcos, sendo dispostos da seguinte maneira: T1: sem remoção de solo; T2: sulcos de 2 cm; T3: sulcos de 4 cm e T4: sulcos de 7 cm. Os tratamentos 2, 3 e 4 representaram perdas de 149,5, 395,1 e 742,7 Mg ha⁻¹ de solo respectivamente. Foram realizadas avaliações dos atributos físicos quantitativos do solo e análises químicas para determinação da quantidade de nutrientes perdida. As avaliações dos componentes de rendimento da cultura foram realizadas por meio da colheita de 10 espigas representativas e a avaliação da produtividade foi realizada pela colheita de 1,275m² de área da parcela. Os dados foram submetidos a análise de variância e a teste de tukey a 5%. Não houve diferença significativa nos componentes de rendimento e nos atributos físicos do solo avaliados. Houve diferença significativa na produtividade em três níveis, sendo o tratamento sem remoção de solo o de maior produtividade (5,3 Mg ha⁻¹) e o tratamento de maior intensidade de remoção o menos produtivo (3,8 Mg ha⁻¹), demonstrando a influência negativa da erosão sobre a cultura do trigo.

Palavras chaves: Erosão; trigo; perda de solo; perda de nutrientes.

ABSTRACT

Hydric erosion is one of the main factors that degrade soils in the world. In poorly managed agricultural soils, erosion processes tend to be more pronounced, increasing losses of nutrients and organic matter and generating many environmental problems such as contamination and silting of water bodies. This work aimed to evaluate how different intensities of simulated erosion are able to influence wheat culture productivity. The experimental design used was a randomized block design with four treatments and five replicates. The treatments were performed simulating erosion in furrows, arranged as follows: T1: without soil removal; T2: 2 cm furrows; T3: 4 cm furrows and T4: 7 cm furrows. Treatments 2, 3 and 4 represented losses of 149.5, 395.1 and 742.7 Mg ha⁻¹ of soil, respectively. Evaluations of the soil's quantitative physical attributes and chemical analyses were performed to determine the amount of lost nutrients. The yield components of the culture were evaluated by harvesting 10 representative spikes and the productivity was evaluated by harvesting 1,275m² of the plot area. The data were subjected to analysis of variance and Tukey test at 5%. There was no significant difference in the yield components and physical soil attributes evaluated. There was a significant difference in productivity at three levels, with the treatment without soil removal having the highest productivity (5.3 Mg ha⁻¹) and the treatment with the highest intensity of removal being the least productive (3.8 Mg ha⁻¹), demonstrating the negative influence of erosion on the wheat culture.

Keywords: Erosion; wheat; soil loss; loss of nutrients.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Croqui da disposição das parcelas do experimento.....	22
Figura 2– Implantação dos tratamentos junto as parcelas.	23
Figura 3– Semeadura do trigo com semeadora adubadora de fluxo contínuo.	24
Figura 4– Coleta de subamostras nas parcelas para formação das amostras dos tratamentos.	25
Figura 5 - Colheita das plantas para determinação da produtividade.	26
Figura 6 - Colheita das espigas para avaliação dos componentes de rendimento....	27
Figura 7- Medição do peso hectolítrico.....	28
Figura 8 – Coleta das amostras de solo com uso dos anéis.	28

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Resultados da análise química estratificada realizada inicialmente.	23
Quadro 2– Resultado das análises químicas das parcelas após a aplicação dos tratamentos.	33
Quadro 3– Resultado das análises químicas dos solos que foram removidos na aplicação dos tratamentos.....	34
Quadro 4– Quantidade de solo, macro e micronutrientes perdidos em cada tratamento.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias da densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade das camadas dentro de cada tratamento.....	31
Tabela 2 – Componentes de rendimento avaliados e peso hectolitrico em função dos tratamentos.	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

cm	Centímetros
ha	hectares
Mg	Megagrama
mg	miligrama
mm	Milímetros
MMG	Massa de Mil Grãos
NEE	Número de Espiguetas por Espiga
NGE	Número de Grãos por Espiga
PG	Produtividade de Grãos
PH	Peso Hectolitrico
pH	Potencial hidrogênio iônico
PMS	Peso de Mil Sementes
UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul
ZARC	Zoneamento Agrícola de Risco Climático

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS GERAIS	13
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	EROSÃO HÍDRICA	14
2.2	FATORES DETERMINANTES AOS PROCESSOS EROSIVOS.....	15
2.3	PERDA DE NUTRIENTES DO SOLO	16
2.4	A EROSÃO E OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	17
2.5	IMPACTOS AMBIENTAIS DEVIDO A EROSÃO	18
2.6	CONTROLE DA EROSÃO HÍDRICA	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	DESCRIÇÃO AMBIENTAL DO LOCAL DO EXPERIMENTO	21
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	21
3.3	PERDAS DE SOLO E NUTRIENTES	24
3.4	COMPONENTES DE RENDIMENTO DA CULTURA	26
3.5	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO.....	28
3.6	PRECIPITAÇÃO DURANTE O CICLO DA CULTURA.....	29
3.7	ANÁLISE DOS DADOS	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	31
4.2	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	32
4.3	RENDIMENTO DA CULTURA	36
4.3.1	Componentes de rendimento	36
4.3.2	Produtividade	37
5	CONCLUSÕES	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A erosão é considerada um processo natural em que o solo perde sua camada superficial em razão de agentes, na maioria das vezes naturais, como vento e água. Muitos fatores podem influenciar na ocorrência e intensidade desse fenômeno, sendo um dos principais a ação do ser humano com atividades agrícolas realizadas sob manejo inadequado.

Há muitas décadas a erosão é considerada um grande problema em razão dos grandes prejuízos causados, um exemplo passível de ser citado é o fenômeno conhecido como “Dust Bowl” que ocorreu nos Estados Unidos por volta 1930, neste caso, em razão de climas secos e o avanço da agricultura ocorriam eventos severos de erosão eólica, esse fenômeno assolou parte do país durante aproximadamente uma década.

No Brasil, em razão de condições edafoclimáticas distintas, os problemas mais comuns estão ligados principalmente a erosão hídrica, esta tornou-se um problema muito grave no período pós-revolução verde em razão da intensa mecanização do solo e ausência de mecanismos para reduzir o escoamento superficial.

Nesse período a agricultura brasileira era majoritariamente realizada de forma convencional com a aração e gradagem do solo, sendo assim, ocorreram muitos problemas, principalmente ligados a perda de camadas de solo e conseqüente perdas nutricionais, além disso, problemas ambientais também foram gerados, onde moléculas de defensivos agrícolas e os próprios fertilizantes eram carregados para cursos de água causando sua contaminação.

Em busca de uma solução, em meados da década de 70 começou a se difundir a semeadura sem o preparo do solo, desta forma, os resíduos culturais permaneciam na superfície tornando-se impeditivos principalmente a ação de desagregação causada pelas grotas de chuva e ao escoamento superficial. Logo, este método começou a difundir-se tanto na pesquisa quanto nas próprias propriedades agrícolas em razão da sua boa capacidade de minimizar a erosão do solo.

Posteriormente, através da pesquisa, foi observado que apenas a semeadura sobre os restos culturais não era suficiente para que o sistema funcionasse de maneira adequada. Dessa forma, buscando principalmente a rentabilidade e sustentabilidade a longo prazo foi proposto o sistema plantio direto (SPD), este trazia uma série de

recomendações indo desde o manejo físico e químico, como práticas complementares buscando tornar o sistema ainda mais eficiente.

Atualmente nota-se a ocorrência de uma simplificação do sistema plantio direto pois muitos agricultores acreditam que apenas a semeadura sobre a palhada tem a capacidade de reduzir os processos erosivos, deixando de lado as premissas fundamentais do sistema. Dessa forma, percebe-se a ocorrência de erosão em várias áreas agrícolas que acabam sendo ignoradas por não serem consideradas expressivas pelos produtores, que não tem ideia da dimensão de seu impacto na produção final.

Por fim, apesar de conhecidos, os prejuízos causados pela erosão carecem de quantificação, principalmente quanto a considerar a quantidade de nutrientes e solo que estão sendo perdidos e os seus efeitos no desenvolvimento das culturas, dessa forma, o presente trabalho irá buscar fazer uma relação entre o desenvolvimento da cultura do trigo sob plantio direto e sob três intensidade de erosão simulada, quantificando perdas nutricionais e de rendimento em cada situação.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o efeito de três intensidades de erosão simulada sob o os componentes de rendimento da cultura do trigo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Estimar a quantidade de solo e nutrientes perdida em cada intensidade de erosão.
- b) Avaliar os componentes de produtividade e a produção da cultura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EROSÃO HÍDRICA

Em todo o mundo, os solos estão propensos a processos de degradação, estes ocorrem tanto em locais onde há interferência do ser humano como em locais onde os ambientes estão sob vegetação natural, em áreas não antropizadas. Segundo Hernani *et al.* (2002), podem ser caracterizados cinco principais tipos de degradação do solo, sendo eles:

Os tipos de degradação dos solos podem ser: 1. Erosão hídrica: perda de horizontes superficiais; deformação do terreno; movimentos de massa; deposição. 2. Erosão eólica: perda de horizontes superficiais; deformação do terreno; movimentos de massa; deposição. 3. Química: perda de nutrientes e/ou matéria orgânica; desbalanço de nutrientes; salinização; acidificação; poluição. 4. Física: compactação; selamento, encrostamento; inundação; aeração deficiente, excesso ou falta de água. 5. Biológica: redução da biomassa, redução da biodiversidade.

É possível observar que grande parte dos fenômenos que causam a degradação são de natureza física, compreendendo principalmente as perdas de solo por erosão hídrica. Para Silva *et al.* (1999) a erosão hídrica é considerada parte do dos ecossistemas, estando relacionada com o escoamento superficial, este, fazendo parte do ciclo hidrológico.

Os principais problemas de degradação do solo em ambientes tropicais e subtropicais úmidos são causados pela ação da erosão hídrica e por algumas atividades que contribuem para o aumento das perdas de solo (HERNANI *et al.*, 2002). Considerando o cenário mundial, os problemas mais intensos e que abrangem a maior quantidade de áreas degradadas com uso agrícola são geradas em razão da erosão hídrica pluvial. No Brasil esse caso se repete, sendo ela o tipo de degradação do solo mais comum (BERTOL; CASSOL; MERTEN, 2019).

O decréscimo de produção de culturas agrícolas tem como principais fatores as perdas de solo, água e nutrientes causados pela erosão (SCHAEFER *et al.*, 2002). Além disso, Gaertner, Dedeczek e Biscaia (2003) ressaltam que a erosão que ocorre naturalmente é seletiva, tendo a capacidade de remover partículas mais finas que

mais contribuem para a fertilidade do solo, dessa forma, apesar de serem válidos, modelos onde a erosão é simulada acabam subestimando as reais perdas.

Por fim, Merten e Minella (2013), ressaltam que é necessário que haja uma conciliação entre a preservação ambiental e o crescimento econômico, principalmente através de políticas públicas visando planejamento e adoção de práticas conservacionistas para o uso de recursos naturais, que já ocorrem em alguns estados do Brasil onde práticas consideradas degradantes ao solo podem ser punidas por lei.

2.2 FATORES DETERMINANTES AOS PROCESSOS EROSIVOS

Apesar de ser comum em ambientes onde a ação do ser humano é intensa, a erosão é um processo natural e ocorre mesmo em ecossistemas em equilíbrio, porém a intervenção humana eleva consideravelmente a taxa de incidência desse processo gerando a “erosão acelerada” (HERNANI *et al.*, 2002).

Alguns fatores, sejam intrínsecos ou não, são capazes de determinar quanto a possibilidade de determinado solo ser mais ou menos suscetível ao processo de erosão. A habilidade do solo de resistir à ação da chuva é determinada por vários fatores, mas, principalmente, pela sua erodibilidade intrínseca, pela topografia do terreno e pelas práticas de manejo usadas no processo de produção vegetal. (VOLK; COGO, 2008).

Em caso de solos onde não ocorre a mobilização superficial e baixa quantidade de resíduos, o escoamento superficial tende a ocorrer com maior facilidade, e conseqüentemente a erosão (PORTELA *et al.*, 2010). Além da quantidade de resíduos vegetais presentes na superfície do solo, o declive do terreno também tem um impacto considerável sobre a ocorrência de erosão hídrica. (CÂNDIDO *et al.*, 2014).

Hernani *et al.* (2002) ressaltam que “o preparo intensivo do solo com grades de discos tem sido uma das principais causas da degradação das terras nos ambientes subtropicais e tropicais brasileiros.”.

Candido *et al* (2014) ainda nos diz que em casos em que o solo está menos protegido por resíduos naturais, o impacto das gotas das chuvas gera o salpicamento do solo e conseqüente selamento, reduzindo a infiltração de água, favorecendo o escoamento superficial. Dessa forma, é possível concluir que grande parte dos

problemas de erosão em solos cultivados estão relacionados a formas de manejo inadequadas.

Outro fenômeno que faz com que o escoamento superficial ocorra com maior facilidade é o chamado selamento superficial que ocorre devido a desagregação das partículas de solo pelas gotas da chuva, formando o chamado selo. Com a evaporação da água que permanece na superfície as partículas em suspensão, se reorganizam na superfície do solo provocando a ocorrência de uma camada encrostada que causa o entupimento dos poros. Neste caso, os eventos de chuva subsequentes tendem a ter uma menor taxa de infiltração e conseqüentemente mais facilidade de escoamento superficial.

Esta camada encrostada consiste em uma camada superficial ao solo de maior densidade, causada pelo impacto das gotas de chuva que destroem os agregados, os dispersam fazendo com que ocorram o entupimento dos poros do solo (SCHAEFER *et al.*, 2002). As maiores causas do entupimento dos macroporos são as chuvas de maior intensidade de ocorrência comum na primavera em ano sob influência do fenômeno climático “El Niño” (AMADO; PROCHNOW; ELTZ, 2002).

2.3 PERDA DE NUTRIENTES DO SOLO POR EROSÃO

“A causa maior da perda e deterioração da camada superficial do solo é a erosão hídrica, que por sua vez causa um decréscimo na produtividade dos solos, uma vez que afeta a camada mais favorável ao crescimento das plantas cultivadas, rica em nutrientes, em detrimento de subsolos não férteis.” (HERNANI *et al.*, 2002, p. 48).

Segundo Hernani *et al.* 2002 essas perdas têm uma tendência de elevar os custos de produção, uma vez que os nutrientes são perdidos, logo, é necessário que sejam colocados novamente aumentando principalmente os custos com corretivos e fertilizantes.

Quando nos referimos as perdas de nutrientes do solo devido a erosão hídrica, é importante ressaltar que elas podem ocorrer majoritariamente de duas formas: através da remoção das partículas do solo onde os nutrientes encontram-se adsorvidos, e as perdas junto a solução do escoamento superficial (GILLES *et al.*, 2009).

Também, precisamos considerar que a matéria orgânica do solo está concentrada principalmente nas camadas mais superficiais do solo, dessa forma, seu carregamento é muito fácil através do escoamento superficial (CÂNDIDO *et al.*, 2014). Sendo as perdas de matéria orgânicas mais comuns nas formas solúveis e reativas como os ácidos fúlvicos (SCHAEFER *et al.*, 2002).

Em solos conduzidos sob plantio direto, a fertilidade tende a concentrar-se próxima a superfície, dessa forma, os teores de nutrientes e matéria orgânica na enxurrada tendem a ser maiores do que em casos onde é realizado o plantio convencional, porém, considerando a longo prazo, solos conduzidos sob plantio direto proporcionam maiores índices de infiltração e conseqüentemente menores perdas nutricionais, isso reflete a importância de se manter um sistema bem manejado, uma vez que caso ocorra erosão, as perdas podem ser elevadas (HERNANI, 1999).

A forma como os nutrientes são adicionados ao solo é um fator que deve ser considerado ao manejar perdas de nutrientes por escoamento superficial e o seu potencial de contaminação, uma vez que fertilizantes e corretivos dispostos sobre o solo ficam diretamente passíveis de dissolução a partir da água da chuva, podendo ser imediatamente carregados caso ocorra escoamento superficial, ao contrário do que se estivessem incorporados ao solo (GILLES *et al.*, 2009).

2.4 A EROSÃO E OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Algumas características físicas intrínsecas ao solo podem ser fatores determinantes para a ocorrência do escoamento superficial e conseqüente erosão, para Silva *et al.* (1999, p. 300) “Em solo arenoso, onde predominam macroporos, durante uma chuva de baixa intensidade, a água pode ser toda absorvida, não havendo, portanto, grandes problemas relacionados com a erosão”.

Nessa mesma linha de pensamento Candido *et al.* (2014) concluiu que solos com maiores teores de argila tiveram menores perdas em razão da erosão hídrica. Dessa forma é possível concluir que apesar de terem uma maior capacidade de infiltração, solos com textura arenosa são mais suscetíveis a erosão hídrica em razão de sua frágil agregação.

Outro ponto que precisa ser discutido é quanto a capacidade de retenção de água, que em solos erodidos é consideravelmente afetada, sendo uma das principais

causas da queda da capacidade produtiva. (GAERTNER; DEDECEK; BISCAIA, 2003).

Métodos de preparo do solo convencionais podem intensificar ainda mais os problemas ligados a retenção de água, uma vez que estes realizam uma grande modificação na superfície do solo com uma profundidade considerável, causando-lhes a desagregação e diminuindo sua capacidade de retenção de água e lhes tornando mais suscetíveis ao processo erosivo (GILLES *et al.*, 2009).

2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS DEVIDO A EROSÃO

“Além das partículas de solo em suspensão, o escoamento superficial transporta nutrientes, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que, além de causarem prejuízos à produção agropecuária, causam a poluição dos recursos hídricos” (HERNANI *et al.*, 2002, p. 52)

Ayer *et al.* (2015) ressaltam que muito além dos efeitos diretos da erosão ao solo, existem impactos indiretos que também devem ser considerados, destacando o assoreamento e conseqüente diminuição da capacidade de reservatórios hídricos, junto a eutrofização e contaminação de corpos d'água com contaminantes.

Considerando a adubação nitrogenada em culturas gramíneas, em geral há um grande risco a vida aquática, em especial à dos peixes, uma vez que a fertilização na maioria das vezes é realizada em grandes doses antecedendo chuvas, podendo o nitrogênio ser carregado através do escoamento superficial (BARBOSA *et al.*, 2009).

O nitrogênio é um dos principais contaminantes que é facilmente carregado pela água da enxurrada, isso acontece pela interação com a água da enxurrada e a camada superficial do solo, que tende a ter teores elevados do nutriente, sendo facilmente removidos pelo processo erosivo (BARBOSA *et al.*, 2009).

Para Hernani *et al* (2002, p. 52) “O escoamento superficial constitui o principal meio de contaminação dos mananciais de água de superfície, devido ao arraste de sedimentos e produtos químicos. ”

Ainda, é preciso considerar as perdas de matéria orgânica em razão da erosão, com alto potencial de gerar eutrofização de corpos da água, ao passo que a degradação dos compostos orgânicos eleva a demanda por oxigênio, diminuindo sua disponibilidade a vida aquática (HERNANI; KURIHARA; SILVA, 1999).

2.6 CONTROLE DA EROSÃO HÍDRICA

O uso de sistemas conservacionistas baseados em Plantio Direto, nos anos noventa, expandiu-se numa escala territorial mais ampla trazendo grandes mudanças no controle dos processos erosivos e na sustentabilidade da atividade agrícola (HERNANI *et al.*, 2002). Tiecher *et al.* (2014) considera que o surgimento do sistema plantio direto foi uma das evoluções mais consideráveis da agricultura brasileira desde a revolução verde.

A região sul apresenta um crescimento do uso de sistemas conservacionistas de manejo do solo com base no Plantio Direto a partir dos anos 80. Também, de programas de manejo integrado em bacias hidrográficas, alterando o paradigma do uso de sistema com agricultura sustentável (HERNANI *et al.*, 2002).

A cobertura do solo por resíduos culturais foi a principal responsável pela diminuição, tanto da velocidade da enxurrada, quanto do tamanho dos sedimentos erodidos na condição de solo não-mobilizado e totalmente coberto (VOLK *et al.*, 2009). Dessa forma o autor nos diz que para que a presença de resíduos culturais e a consolidação da superfície do solo em razão da ausência de preparo foram fundamentais para o aumento da resistência do solo a erosão.

Ramos *et al.* (2014) ressaltam que a cobertura de solo por resíduos culturais tem um papel fundamental no controle da erosão hídrica, uma vez que as gotas da chuva dissipam sua energia sobre a palhada, evitando o impacto direto com o solo que pode gerar sua desagregação.

Dessa forma, aumentar a cobertura do solo com vegetação torna-se uma estratégia muito eficaz para reduzir a erosão do solo, pois a vegetação aumenta a infiltração e reduz o escoamento superficial (CÂNDIDO *et al.*, 2014).

Volk *et al.* (2008), diz que é necessário que haja infiltração de água, sendo importantes a mobilização moderada do solo com o objetivo de aumentar a rugosidade do solo, e ainda pode haver uma maior redução das perdas de solo e água com o uso de faixas vegetadas permanentes com o objetivo de barrar o escoamento da água (SILVA *et al.*, 1999).

O planejamento conservacionista deve ser baseado em três premissas fundamentais: o aumento da cobertura do solo, através do uso de culturas de cobertura, manutenção de florestas e pastagens; controle do escoamento superficial

da água por meio de práticas complementares como uso de terraços, faixas vegetadas; diminuição do uso de defensivos químicos através de práticas de manejo integradas de doenças, pragas e planta invasoras (MERTEN; MINELLA, 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO AMBIENTAL DO LOCAL DO EXPERIMENTO

O trabalho foi realizado no município de Caibaté na localidade do Rincão do Pesqueiro sob as coordenadas aproximadas 28°18'38,5" S 54°35'36,5" O e altitude de 190m. O clima da região é caracterizado a partir da classificação climática de Köppen como Cfa, sendo este, subtropical úmido que possui precipitação bem distribuída ao longo de todas as estações.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho, pertencente a unidade de mapeamento Santo Ângelo (STRECK *et al.*, 2018). Encontrando-se sob planto direto consolidado a aproximadamente 20 anos.

A cultura antecessora ao experimento foi a cultura da soja (*Glycine max*), onde obteve-se produtividade de aproximadamente 500 kg/ha em razão de condições meteorológicas severas que ocorreram na safra de verão de 2021/2022, esta produção ficou muito abaixo das produtividades médias anteriores da área.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O experimento foi implantado no dia no segundo decêndio de mês de junho, previamente a semeadura cultura do trigo que foi realizada no dia 20 de junho. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro tratamentos e cinco repetições (Figura 1), contando com parcelas de 1,5 x 3,0 metros que foram demarcadas com o uso de estacas de fibra e bandeirinhas.

Os tratamentos consistiram em diferentes intensidades de erosão simulada, sendo eles:

T1: sem remoção de solo;

T2: remoção de dois centímetros da camada superficial do solo;

T3: remoção de quatro centímetros da camada superficial do solo;

T4: remoção de sete centímetros da camada superficial do solo.

Figura 1- Croqui da disposição das parcelas do experimento.



Fonte: elaborada pelo autor (2022).

Os tratamentos foram dispostos no terreno de acordo com o croqui apresentado na Figura 1, sendo o bloqueamento realizado de acordo com a declividade natural do terreno.

Cada bloco contou com um comprimento total de 19,50 metros e uma largura de 1,5 metros, sendo as parcelas com 3 metros de comprimento e o espaço entre elas de 2,5 metros. O distanciamento entre os blocos foi de 5 metros.

A implantação do experimento foi realizada a partir da raspagem manual do solo com auxílio de espátulas, pás, enxadas e réguas (Figura 2). Foram abertos sulcos no solo para que as réguas responsáveis por delimitar a profundidade fossem alocadas, dessa forma, sua face superior ficou ao nível do solo, assim, o solo foi removido possibilitando a aferição da camada.

Figura 2– Implantação dos tratamentos junto as parcelas.



Fonte: fotografia registrada pelo autor (2022).

Foram utilizadas sementes certificadas da empresa “Sementes Coopatrigo”, sendo escolhida a cultivar TBIO Audaz, que possui ciclo precoce de desenvolvimento. A semente possuía índice de germinação de 96%, pureza de 98% e um PMS de 30,8 gramas.

A adubação da cultura foi realizada com fertilizante NPK, tomando como parâmetro de cálculo a análise de solo estratificada inicial (Quadro 1), representando o solo onde não ocorreu a remoção.

Quadro 1- Resultados da análise química estratificada realizada inicialmente.

Camada	pH água 1:1	Ca	Mg	H + Al	CTC efet.	Saturação %	
		cmolc dm ³				Al	Bases
0-10	5,9	7,2	3,2	3,9	10,9	0,0	73,9
10-20	5,0	3,8	1,9	8,7	7,2	17,2	40,8
Camada	% MO	% Argila	P- Mehlich	K	CTC pH 7	K	Índice SMP
	m/v		mg dm ³	cmolc dm ³		mg dm ³	
0-10	3,6	65,0	14,3	0,481	14,8	188,0	6,1
10-20	2,3	75,0	10,4	0,205	14,7	80,0	5,4
Camada	S	Cu	Zn	B	Relações molares		
	mg dm ³				Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	K/(Ca+Mg) ^{1/2}
0-10	5,2	9,4	3,4	0,9	2,3	21,7	0,149
10-20	21,5	14,2	1,5	0,9	2,0	28,3	0,085

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Em razão dos níveis de disponibilidade de nutrientes encontrarem-se altos, tanto para o fósforo como potássio, foi realizada apenas a adubação de reposição para cultura recomenda pelo Manual de Calagem e Adubação (2016).

Os cálculos de adubação foram realizados considerando o histórico produtivo da área, desta forma, foi considerado o rendimento esperado de 5000 kg ha⁻¹, sendo a dose recomendada por hectare de 75 kg de P₂O₅ e 50 kg de K₂O.

A semeadora adubadora foi regulada de forma com que as sementes fossem distribuídas a uma taxa de 180 kg ha⁻¹ e 250 kg ha⁻¹ do fertilizante NPK de formula 11.30.20. A semeadura foi realizada no dia 20/06/22, no período da tarde.

Figura 3– Semeadura do trigo com semeadora adubadora de fluxo contínuo.



Fonte: fotografia registrada por Henrique Sá (2022).

De forma geral, a cultura apresentou um desenvolvimento

3.3 PERDAS DE SOLO E NUTRIENTES

Durante a implantação dos tratamentos foram realizadas coletas de solo para determinação da massa de solo perdida (em Mg ha⁻¹) em cada tratamento. A coleta de solo foi realizada com o auxílio de réguas, espátulas e um quadrado de ferro com área de 0,25 metros quadrados, o solo da área representada pelo quadrado foi

raspado e acondicionado em sacos que posteriormente foram levados ao laboratório de física do solo da UFFS.

Em laboratório, o solo coletado foi pesado, homogeneizado e foi retirada uma amostra de cada saco de solo para determinação da umidade gravimétrica através de secagem em estufa. Por meio da pesagem das amostras coletadas e a correção de sua umidade, foi obtido o valor das perdas de solo aproximadas de cada tratamento.

No campo, após a realização dos tratamentos foram realizadas as amostragens na camada de 0-10. Em cada parcela foi retirada uma sub amostra para formar uma amostra final referente a cada tratamento, dessa forma, foi possível quantificar os nutrientes tanto nas parcelas onde não houve remoção, quanto nas demais onde a remoção teve níveis de intensidade. Essas análises foram feitas objetivando demonstrar como o solo se apresentaria após um caso de erosão.

Figura 4– Coleta de subamostras nas parcelas para formação das amostras dos tratamentos.



Fonte: fotografia registrada por Thaise Vechietti (2022).

A quantificação dos nutrientes perdidos foi feita através das análises químicas realizadas a partir de amostras dos solos removidos, sendo que do solo removido na

aplicação dos tratamentos foram geradas amostras, que posteriormente foram encaminhadas para análise química completa.

Desta forma, foi realizada uma relação entre a quantidade estimada de solo perdida em cada tratamento com o teor de cada nutriente na amostra.

3.4 COMPONENTES DE RENDIMENTO DA CULTURA

A colheita foi realizada no dia 02/11/22, quando as plantas se encontravam em ponto de maturação fisiológica sendo realizada de forma manual com o uso de uma foice (). Foram colhidas 5 linhas com 150 cm de comprimento na área central da parcela, representando uma área de 1,275 m².

Figura 5 - Colheita das plantas para determinação da produtividade.



Fonte: fotografia registrada pelo autor (2022).

Foram avaliados alguns dos principais componentes de rendimentos responsáveis por interferir de forma direta na produtividade de grãos (PG). Os componentes que foram avaliados: a massa de mil grãos (MMG), essa avaliação foi realizada de forma manual a partir da contagem de cem grãos secos das amostras de cada parcela, estes foram pesados com o uso de balança de precisão, seu valor foi multiplicado por dez para obter-se a massa de mil grãos e posteriormente teve seu teor de umidade corrigida para a massa de mil grãos com umidade a 13%.

Também foi realizada a colheita nas parcelas de 10 espigas representativas () as quais serviram para a avaliação do número médio de espiguetas por espiga e o número médio de grãos por espiga.

Figura 6 - Colheita das espigas para avaliação dos componentes de rendimento.



Fonte: fotografia registrada pelo autor (2022).

As avaliações foram realizadas de forma manual. Para determinação do NEE foi realizada a contagem das espiguetas e realização e um cálculo de média. Para a avaliação NGE, as espigas foram debulhadas manualmente e seus grãos foram contados e submetidos ao cálculo de média. Todas estas avaliações foram realizadas a partir da metodologia descrita por Vesohoski *et al.* (2011).

Por fim, considerando que são perdidas as camadas superficiais do solo que em geral são ricas em nutrientes e matéria orgânica, ainda foi avaliado o peso hectolitrico (), buscando encontrar dados sobre a perda de qualidade comercial dos grãos em consequência da erosão.

Figura 7- Medição do peso hectolitrico.



Fonte: fotografia registrada pelo autor (2022).

Esta avaliação foi realizada em laboratório a partir das amostras provenientes da avaliação de produtividade, com o uso do equipamento para medição do peso do hectolitro e uma balança de precisão.

3.5 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

Foram realizadas análises dos atributos físicos quantitativos nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade onde foram avaliados os seguintes atributos: porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo por meio da coleta de amostras de solo com estrutura preservada com o uso de anéis volumétricos de aço inox (Figura 8, imagem A).

As amostras foram coletadas após um período de precipitação, com o solo friável. Posteriormente a coleta, os anéis foram acondicionados em recipientes e levados ao laboratório de física do solo da UFFS.

Figura 8 – Coleta das amostras de solo com uso dos anéis.



Fonte: fotografia registrada pelo autor (2022).

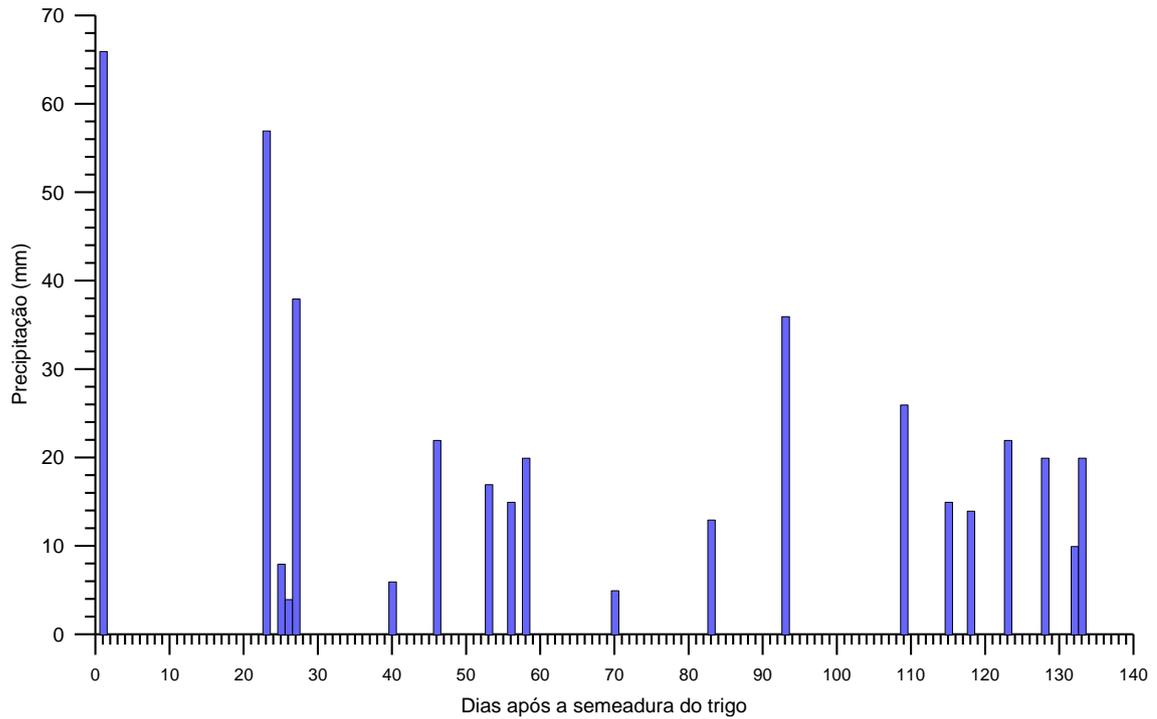
Em laboratório, as amostras foram preparadas para avaliações, que foram realizadas de acordo as metodologias propostas por Almeida *et al.* (2017) no Manual de Métodos de Análises de solo. Durante as avaliações, as amostras foram levadas a mesa de tensão para determinação da macro e microporosidade (Figura 8, imagem B)

Ainda, durante a realização do experimento foram realizadas análises granulométricas, onde o resultado apontou que solo da área se apresenta frações argila, silte e areia da seguinte forma: 474, 406 e 120 g kg⁻¹ respectivamente.

3.6 PRECIPITAÇÃO DURANTE O CICLO DA CULTURA

A cultura não teve limitações de desenvolvimento referentes condições hídricas do solo, tendo uma precipitação pluviométrica acumulada de 434 mm durante o desenvolvimento da cultura. Em geral as precipitações foram bem distribuídas ao longo de todo o ciclo, tendo apenas algumas chuvas de maior volume no início de seu desenvolvimento, sendo assim, ao considerarmos que a indicação de acordo com o ZARC 2022 e de 400 a 600 mm para o ciclo do trigo sequeiro, é possível afirmar que a demanda hídrica da cultura foi atendida.

Gráfico 1 - Precipitação (mm) em razão dos dias após a semeadura da cultura.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

3.7 ANÁLISE DOS DADOS

Posteriormente ao término do experimento, os dados produzidos foram submetidos a análises de variância e teste de comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%, como o auxílio do software SAS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Foram realizadas as avaliações quantitativas do solo em três camadas, sendo de 0-5, de 5-10 e de 10-20 centímetros de profundidade. Foram avaliados densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e a porosidade total (Tabela 1).

Tabela 1 - Médias da densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade das camadas dentro de cada tratamento.

Camada (cm)	Sem erosão	Sulco de 2 cm	Sulco de 4 cm	Sulco de 7 cm
Densidade (g/cm ³)				
0-5	1,18 a	1,27 a	1,29 a	1,33 a*
5-10	1,45 a	1,43 a	1,48 a	1,33 a
10-20	1,44 a	1,41 a	1,47 a	1,39 a
Porosidade total (cm ³ /cm ³)				
0-5	0,59 a	0,55 a	0,55 a	0,53 a
5-10	0,49 a	0,50 a	0,48 a	0,54 a
10-20	0,49 a	0,51 a	0,48 a	0,51 a
Microporosidade (cm ³ /cm ³)				
0-5	0,25 a	0,25 a	0,22 a	0,23 a
5-10	0,32 a	0,28 a	0,25 a	0,31 a
10-20	0,29 a	0,32 a	0,30 a	0,28 a
Macroporosidade (cm ³ /cm ³)				
0-5	0,34 a	0,31 a	0,32 a	0,31 a
5-10	0,17 a	0,22 a	0,23 a	0,23 a
10-20	0,21 a	0,18 a	0,19 a	0,22 a

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

Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Ao avaliarmos a densidade do solo, é possível observar que os valores da camada superficial ficaram abaixo do limite proposto por Reichert *et al.* (2003) de 1,40 g cm³ para solos de classe argilosa. Nos tratamentos sem remoção, sulcos de 2 cm e sulcos de 4 cm foi possível observar um aumento expressivo da densidade nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, já alcançando um nível capaz de torna-se impeditivo ao

desenvolvimento radicular da cultura. Nas demais camadas, a densidade se apresentou abaixo do nível crítico.

Porém, esse aumento sutil da densidade não é prejudicial, em razão da maior continuidade de poros, que por sua vez possibilita uma melhor aeração, infiltração de água e penetração das raízes (REICHERT *et al.* 2003). Logo, é preciso considerar os valores da macroporosidade, que em nenhum momento foram inferiores ao limite proposto por Ribeiro *et al.* (2007) de 10 cm³/cm³, sendo este, um limite considerado impeditivo principalmente ao desenvolvimento radicular das plantas em razão da limitação da aeração e infiltração de água.

Ainda, Gaertner, Dedecek e Biscaia (2003) destacam a capacidade da cultura do trigo de adaptação às condições onde o solo foi removido, tendo a habilidade de aumentar sua massa de raízes, explorando uma maior massa de solo, minimizando assim as consequências da erosão.

Os valores de microporosidade não demonstraram diferença estatística, evidenciando que a esse atributo é fortemente influenciado pela granulometria e teor de carbono orgânico de solo e pouco influenciado pelo aumento de sua densidade decorrente de manejo (MARQUES *et al.*, 2010).

Por fim, não foi observada diferença significativa em nenhum dos tratamentos nas camadas avaliadas, segundo Reichert *et al.* (2007), em geral, a porosidade e a densidade do solo tendem a ser menos influenciadas pelos diferentes sistemas de manejo que predominam plantio direto.

4.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

As análises químicas do solo após os tratamentos (Quadro 2) demonstram uma piora em alguns aspectos, a começar pelo pH, que no tratamento onde não houve remoção do solo é de 5,9 e posteriormente apresenta uma tendência de queda em razão do aumento da camada removida, chegando ao pH de 5,2 onde a remoção foi de 7 centímetros, sendo esse um valor abaixo do valor de 5,5 que já é considerado limitante para o cultivo de grãos pois já possibilita o reaparecimento de alumínio trocável de acordo com o Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Em consonância, é possível observar, neste mesmo

tratamento, a saturação de alumínio atinge 9,7%, enquanto nos demais (onde o pH é maior que 5,5) não há a ocorrência de alumínio trocável.

Quadro 2– Resultado das análises químicas das parcelas após a aplicação dos tratamentos.

Tratamento	pH água 1:1	Ca	Mg	H + Al	CTC efet.	Saturação %	
		cmolc dm ³				Al	Bases
Sem remoção	5,9	7,2	3,2	3,9	10,9	0,0	73,9
Sulco 2 cm	5,7	6,7	3,0	4,9	10,3	0,0	67,8
Sulco 4 cm	5,6	6,1	2,8	5,5	9,3	0,0	62,8
Sulco 7 cm	5,2	4,4	2,0	8,7	7,5	9,7	43,9
Tratamento	% MO	% Argila	P-Mehlich	k	CTC pH 7	k	Índice SMP
	m/v		mg dm ³	cmolc dm ³		mgdm ³	
Sem remoção	3,6	65,0	14,3	0,5	14,8	188,0	6,1
Sulco 2 cm	3,3	60,0	15,0	0,6	15,2	220,0	5,9
Sulco 4 cm	2,9	67,0	12,4	0,5	14,8	176,0	5,8
Sulco 7 cm	2,4	70,0	6,5	0,4	15,5	164,0	5,4
Tratamento	S	Cu	Zn	B	Relações molares		
	mg dm ³				Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	K/(Ca+Mg) ^{1/2}
Sem remoção	5,2	9,4	3,4	0,9	2,3	21,7	0,149
Sulco 2 cm	6,4	10,2	3,1	0,9	2,2	17,3	0,180
Sulco 4 cm	7,0	9,9	2,6	0,7	2,2	19,7	0,151
Sulco 7 cm	14,2	11,1	1,8	0,4	2,1	15,3	0,166

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A saturação de bases apresenta um comportamento muito semelhante, com uma queda 30% quando comparados o tratamento onde o solo não foi removido com o tratamento onde a remoção teve maior intensidade, sendo possível observar uma relação inversamente direta, onde quanto maior a remoção do solo, menor se apresenta a saturação por bases.

Ao avaliarmos todos os nutrientes que são compreendidos através da análise de solo, é possível observar que grande parte apresentou um comportamento negativo em razão do aumento da intensidade de remoção de solo, porém, apenas alguns tiveram alterações quanto suas faixas de teores de acordo com o manual de adubação e calagem.

O fósforo apresentou-se na maioria dos tratamentos na faixa de disponibilidade considerada baixa, apenas no tratamento onde a remoção foi de 7 centímetros que a disponibilidade foi considerada muito baixa, já o potássio, teve sua maior disponibilidade no tratamento onde não houve remoção de solo, sendo enquadrado na faixa de disponibilidade muito alta, já os demais tratamentos, por conta de seus teores

de sua CTC $pH\ 7,0$ foram classificados como pertencentes da classe de disponibilidade alta, essa tendência de concentração em superfície em geral ocorre em sistema de plantio direto consolidado atrelado a grande mineralização de nutrientes que ocorre na superfície a partir da decomposição dos restos culturais e ausência revolvimento (SCHICK *et al.*, 2000).

Os demais nutrientes e micronutrientes avaliados por meio das análises químicas não tiveram alterações quanto as suas faixas de disponibilidade, estando todos situados na faixa de disponibilidade alta, acreditando-se então ser fruto dos processos de calagem sucessivos e do uso de fertilizantes com a presença de micronutrientes comuns na área onde foi realizado o experimento.

Por fim, é possível observar a redução no teor de matéria orgânica das análises, onde é enquadrada na faixa de disponibilidade baixa onde a remoção de solo foi mais intensa e classificada como média nos demais tratamentos, isso se dá principalmente ao fato que em sistemas de plantio direto a matéria orgânica tende a se concentrar nas camadas superficiais do solo e ser a mais facilmente removida em caso de erosão (SCHICK *et al.*, 2000).

As análises feitas a partir da amostragem dos solos que foram removidos demonstrou o quão problemático são os processos erosivos quando são consideradas as perdas de nutrientes, pois ao observar os dados (Quadro 3) é possível concluir que os solos removidos em todos os tratamentos possuem uma grande quantidade de nutrientes, sendo superior inclusive ao tratamento onde não houve remoção do solo, constatando mais uma vez o que foi verificado por Hernani *et al.* (1999) e falado anteriormente de que os nutrientes, junto a matéria orgânica, tendem a concentrar-se nas camadas mais superficiais do solo.

Quadro 3– Resultado das análises químicas dos solos que foram removidos na aplicação dos tratamentos.

Tratamento	pH água 1:1	Ca	Mg	H + Al	CTC efet.	Saturação %	
		cmolc dm ³				Al	Bases
Sulco 2 cm	6,4	9,8	4,2	3,5	14,7	0,0	80,8
Sulco 4 cm	6,4	10,9	4,6	3,5	16,3	0,0	82,3
Sulco 7 cm	6,0	10,7	4,6	4,4	16,1	0,0	78,7
Tratamento	% MO	% Argila	P-Mehlich	k	CTC pH 7	k	Índice SMP
	m/v		mg dm ³	cmolc dm ³		mg dm ³	
Sulco 2 cm	4,6	40,0	21,3	0,7	18,2	276,0	6,2
Sulco 4 cm	4,5	36,0	21,3	0,8	19,8	300,0	6,2
Sulco 7 cm	4,6	50,0	17,6	0,8	20,5	324,0	6,0

Tratamento	S	Cu	Zn	B	Relações molares		
	mg dm ³				Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	K/(Ca+Mg) ^{1/2}
Sulco 2 cm	9,5	6,9	6,6	0,9	2,3	19,8	0,189
Sulco 4 cm	7,8	6,9	6,6	1,1	2,4	20,2	0,195
Sulco 7 cm	8,2	8,4	5,8	1,0	2,3	18,5	0,212

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

As perdas estimadas de nutrientes por meio da remoção do solo (Quadro 4) também são preocupantes, uma vez que estas já a apresentam valores muito elevados mesmo sem que tenha sido realizada a conversão para suas formas comerciais.

Quadro 4– Quantidade de solo, macro e micronutrientes perdidos em cada tratamento.

Trat.	Solo perdido	MO	CO	Ca	Mg	S	P	K	Cu	Zn	B
	Mg ha ⁻¹			Kg ha ⁻¹							
2 cm	149,5	6,88	4,0	293,0	76,3	1,42	3,18	41,25	1,03	0,99	0,13
4 cm	395,1	17,78	10,3	861,5	220,9	3,08	8,42	118,53	2,71	2,60	0,44
7 cm	742,7	34,16	19,8	1589,7	415,3	6,09	13,07	240,63	6,27	4,27	0,73

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Para exemplificar, converteu-se as quantidades de fósforo para sua forma em óxido, e posteriormente para a forma de superfosfato simples (fertilizante comumente usado) chega-se a valores de 40,5, 107,1 e 166,3 kg por hectare, respectivamente para cada tratamento. Para potássio os valores são de 85,7, 246,6 e 500,0 kg de cloreto de potássio por hectare respectivamente.

Se considerarmos as necessidades nutricionais da cultura do trigo propostas por Raji *et al* (1996) de 29, 6 e 23 de NPK respectivamente, para cada tonelada produzida, é possível fazer uma relação onde a perda de nutrientes exemplificada acima representa a quantidade necessária para produzir aproximadamente 1300 quilogramas de trigo (considerando N como o primeiro nutriente limitante e desconsiderando adubações realizadas durante o ciclo da cultura), desta forma, apesar de subestimado, já é possível perceber o quão negativa a remoção de nutrientes por conta da erosão pode ser para a cultura.

4.3 RENDIMENTO DA CULTURA

4.3.1 Componentes de rendimento

Dentre os componentes de produtividade que foram avaliados, não houve diferença estatística, também não foi possível observar diferença no peso hectolitrico. Gaertner, Dedecek e Biscaia (2003) em trabalho conduzido com erosão simulada em trigo obtiverem aumento de parâmetros como altura de plantas e matéria seca de raízes, mostrando de certa forma, uma capacidade de resiliência e adaptação da cultura em razão de condições em que o solo tecnicamente tende a apresentar uma quantidade menor de nutrientes.

Tabela 2 – Componentes de rendimento avaliados e peso hectolitrico em função dos tratamentos.

Tratamento	Componentes de rendimento			
	NEE	NGE	MMG	PH
Sem remoção	14,3 a	37,1 a	33,9 a	81,7 a*
Sulco de 2 cm	13,6 a	37,8 a	33,8 a	81,4 a
Sulco de 4 cm	13,3 a	37,1 a	34,5 a	81,1 a
Sulco de 7 cm	13,3 a	39,2 a	32,8 a	81,0 a

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

Fonte: elaborada pelo autor (2023).

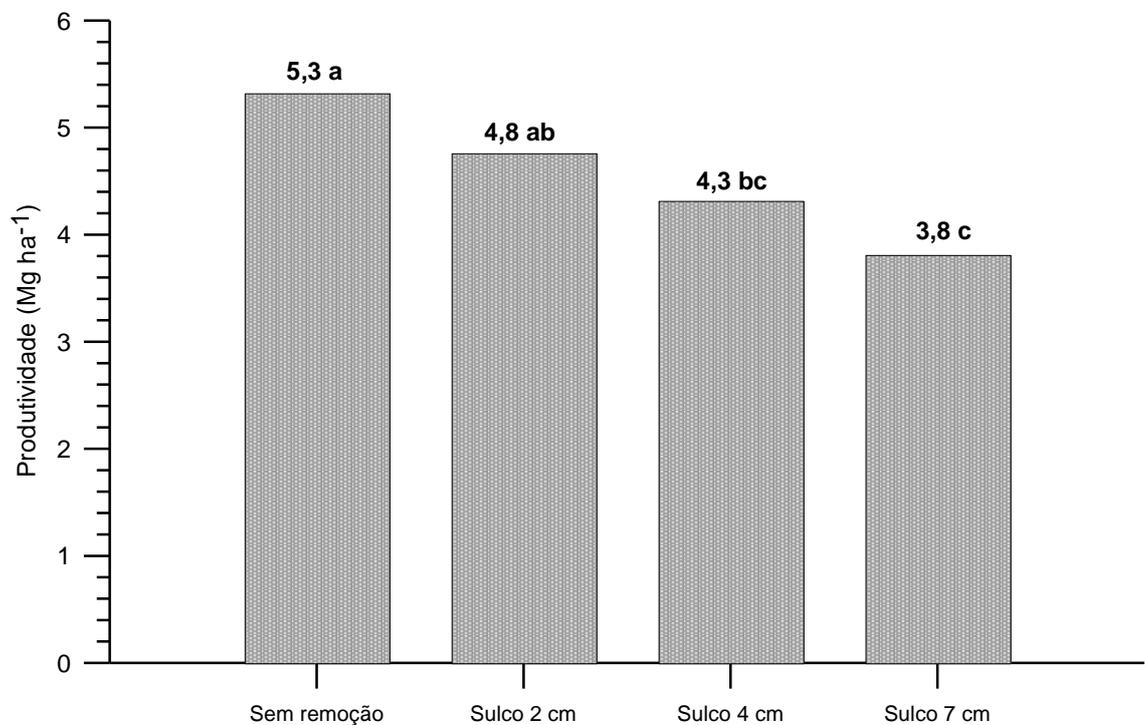
Apesar de não haver diferença estatística significativa, ao observar os números da Tabela 2, é possível identificar um certo padrão pronunciado no número médio espiguetas e no peso hectolitrico, onde os valores tendem a decrescer em razão do aumento da intensidade do tratamento.

4.3.2 Produtividade

A produtividade do trigo diferiu significativamente em três níveis, sendo que o tratamento sem remoção obteve a maior produtividade, porém, sem diferir do tratamento onde a remoção foi de 2 centímetros.

O tratamento onde a remoção foi de 7 centímetros obteve a menor produtividade, não diferindo do tratamento com remoção de 4 centímetros. Os tratamentos de 2 e 4 centímetros de remoção não diferiram entre si.

Gráfico 2 - Produtividade do trigo (Mg ha^{-1}) em função dos tratamentos.



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Em experimento conduzido com a cultura da soja e trigo em erosão simulada, Gaertner, Dedecek e Biscaia (2003) não obtiveram diferença estatística na produtividade do trigo, porém, na soja, o tratamento sem remoção produziu duas vezes mais que o tratamento onde foi simulada uma erosão de 14 cm.

Apesar de não haver diferença estatística, se forem considerados os tratamentos sem remoção e com sulcos de 2 cm, pode-se observar que houve uma diferença de médias de produtividade na grandeza de 500 quilos, valor muito expressivo quando convertido ao atual preço de mercado do cereal nos mostra um

decréscimo de mais de R\$ 600,00 por hectare, logo, vale ressaltar, que por menor que seja o processo erosivo, seu potencial de gerar perdas é muito alto. Este cenário fica ainda mais preocupante caso seja extrapolado para o estado do Rio Grande do Sul, que no ano de 2022, teve o cultivo de 1.413.763 ha de trigo, segundo a Emater Ascar (2022).

Em resumo, existe uma carência de literatura que trate do potencial dos danos causados pela erosão de reduzir o potencial produtivo das culturas agrícolas.

5 CONCLUSÕES

Os atributos físicos não tiveram alteração significativa em razão das intensidades de remoção de solo.

Os macronutrientes fósforo e potássio, junto a matéria orgânica e ao pH tiveram uma relação negativa em razão da intensidade da remoção de solo, tendo seus menores níveis no tratamento onde houve a maior remoção (7 cm).

A maior quantidade absoluta de nutrientes foi perdida no tratamento de 7 centímetros.

Não houve diferença significativa no peso hectolitrico e nos componentes de rendimento avaliados.

A maior produtividade foi encontrada no tratamento onde não houve remoção de solo alcançando $5,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ e a menor foi encontrada onde a remoção foi mais intensa com $3,8 \text{ Mg há}^{-1}$, representando uma redução de 28,3% na produtividade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Brivaldo Gomes de *et al.* Densidade do solo. In: TEIXEIRA, Paulo César *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. Cap. 7. p. 65-75.

ALMEIDA, Brivaldo Gomes de *et al.* Densidade do solo. In: TEIXEIRA, Paulo César *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. Cap. 9. p. 82-94.

AMADO, T. J. C.; PROCHNOW, D.; ELTZ, F. L. F.. Perdas de solo e água em períodos de anomalias climáticas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 819-827, set. 2002.

AYER, Joaquim Ernesto Bernardes *et al.* Erosão hídrica em Latossolos Vermelhos distróficos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.L.], v. 45, n. 2, p. 180-191, jun. 2015.

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.], v. 33, n. 2, p. 439-446, abr. 2009.

BERTOL, Ildgardis; CASSOL, Elemar Antonino; MERTEN, Gustavo Henrique. MODELAGEM E MODELOS UTILIZADOS PARA ESTIMAR A EROSÃO DOSOLO. In: BERTOL, Ildgardis; MARIA, Isabela Clereci de; SOUZA, Luciano da Silva. **Manejo e conservação do solo e da água**. : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. p. 461-497.

CÂNDIDO, Bernardo Moreira *et al.* Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 38, n. 5, p. 1565-1575, out. 2014.

EMATER ASCAR (Rio Grande do Sul). **Informativo conjuntural**. 1724. ed. Porto Alegre: Emater, 2022. 32 p.

GAERTNER, Carlos; DEDECEK, Renato Antonio; BISCAIA, Rui Maranhão. Produtividade de trigo e soja em Latossolo Vermelho distrófico sob erosão simulada e causada pela chuva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 38, n. 12, p. 1443-1449, dez. 2003.

GILLES, Luciléia *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.], v. 33, n. 5, p. 1427-1440, out. 2009.

HERNANI, Luís Carlos *et al.* A Erosão e seu Impacto. In: MANZATTO, Celso Vainer *et al.* **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 47-60.

HERNANI, Luís Carlos. **Perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão: dez anos de pesquisa.** 2. ed. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1999. 14 p.

HERNANI, L. C. *et al.* Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 145-154, mar. 1999.

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

MARQUES, Sebastião Rovilson *et al.* Qualidade física de um latossolo vermelho, perdas por erosão e desenvolvimento do milho em dois sistemas de manejo. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.L.], v. 34, n. 4, p. 967-974, ago. 2010.

MERTEN, Gustavo H.; MINELLA, Jean P.G.. The expansion of Brazilian agriculture: soil erosion scenarios. **International Soil And Water Conservation Research**, [S.L.], v. 1, n. 3, p. 37-48, dez. 2013.

PORTELA, Jeane Cruz *et al.* Restauração da estrutura do solo por sequências culturais implantadas em semeadura direta, e sua relação com a erosão hídrica em distintas condições físicas de superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 34, n. 4, p. 1353-1364, ago. 2010.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100)

RAMOS, Júlio César *et al.* Influência das condições de superfície e do cultivo do solo na erosão hídrica em um cambissolo húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 38, n. 5, p. 1587-1600, out. 2014.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, jul./dez. 2003.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, Carlos Alberto; SILVA, Leandro Souza da; REICHERT, José Miguel (Org.). **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa, v. 4, p.40-134, 2007

RIBEIRO, Kátia Daniela *et al.* Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.L.], v. 31, n. 4, p. 1167-1175, ago. 2007.

SCHAEFER, Carlos Ernesto Reynaud *et al.* Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 37, n. 5, p. 669-678, maio 2002.

SCHICK, J. *et al.* Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: ii. perdas de nutrientes e carbono

orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 437-447, jun. 2000.

SILVA, Ademar Barros da *et al.* Mobilização do solo, erosão e produtividade de milho e feijão em um regossolo no agreste pernambucano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 34, n. 2, p. 299-307, fev. 1999.

SILVA, Renato L. e; MARIA, Isabella C. de. Erosão em sistema plantio direto: influência do comprimento de rampa e da direção de semeadura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 15, n. 6, p. 554-561, jun. 2011.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11 ed. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016.

STRECK, Edemar Valdir *et al.*; FLORES, Carlos Alberto; SCHNEIDER, Paulo (Clbs.). **Solos do Rio Grande do Sul**. 3. ed., rev e ampl. Porto Alegre: Emater /RS-Ascar, 2018. 252 p. il. color. ISBN 978-85-98842-20-2.

TIECHER, Tales *et al.* Contribuição das fontes de sedimentos em uma bacia hidrográfica agrícola sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 639-649, abr. 2014.

VESOHOSKI, Fernando *et al.* Componentes do rendimento de grãos em trigo e seus efeitos diretos e indiretos na produtividade. **Revista Ceres**, [S.L.], v. 58, n. 3, p. 337-341, jun. 2011.

VOLK, Leandro Bochi da Silva; COGO, Neroli Pedro. Inter-relação biomassa vegetal subterrânea-estabilidade de agregados-erosão hídrica em solo submetid. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 32, n. 4, p. 1713-1722, ago. 2008.

VOLK, Leandro Bochi da Silva; COGO, Neroli Pedro. Relações entre tamanho de sedimentos erodidos, velocidade da enxurrada, rugosidade superficial criad. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 33, n. 5, p. 1459-1471, out. 2009.

ZARC, Zoneamento de Risco Climático para a cultura do trigo sequeiro, 2022.