UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE AGRONOMIA

GABRIEL SILVA DOS SANTOS

INFLUÊNCIA DO RESÍDUO VEGETAL NA UMIDADE E TEMPERATURA DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DO MILHO

CERRO LARGO
2025

GABRIEL SILVA DOS SANTOS

INFLUÊNCIA DO RESÍDUO VEGETAL NA UMIDADE E TEMPERATURA DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DO 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 Grau de Bacharel de Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

CERRO LARGO

2025

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Santos, Gabriel Silva dos
INFLUÊNCIA DO REÍDUO VEGETAL NA UMIDADE E TEMPERATURA DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DO MILHO / Gabriel Silva dos Santos. -- 2025.
45 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, 2025.

1. Umidade do solo. 2. Manejo do Solo. 3. Cobertura Vegetal. 4. Temperatura. I. Kaiser, Douglas Rodrigo, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

GABRIEL SILVA DOS SANTOS

INFLUÊNCIA DO RESÍDUO VEGETAL NA UMIDADE E TEMPERATURA DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DO 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 Grau de Bacharel em Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 19/11/2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
DOUGLAS RODRIGO KAISER
Data: 15/12/2025 09:55:14-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser – UFFS

Orientador

Documento assinado digitalmente
gov.br
JORDANA CAROLINE NAGEL
Data: 12/12/2025 10:21:54-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profª. Dra. Jordana Caroline Nagel – UFFS

Avaliadora

Documento assinado digitalmente
gov.br
JANDREI FACCIO
Data: 11/12/2025 10:48:00-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Eng. Agrônomo Jandrei Faccio – UFFS

Avaliador

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida.

À Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Cerro Largo, pela oportunidade de cursar a graduação na minha cidade natal, também, pelo desenvolvimento da ciência e tecnologia nessa região.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser, pela orientação na condução desse trabalho. Obrigado por estar sempre disponível para solucionar quaisquer dúvidas, pela atenção e paciência e pelos conhecimentos compartilhados.

Á banca examinadora pelas contribuições que fortaleceram este trabalho.

Aos professores que participaram da minha jornada acadêmica.

A minha mãe, Beatriz Silva dos Santos e meu pai, Evaristo Santiago dos Santos que sempre estiveram ao meu lado me apoiando nos momentos mais difíceis, e me guiando sempre a seguir no caminho correto.

A meu irmão, Odair José Silva dos Santos, que nunca me deixou desistir dos meus sonhos e principalmente sempre me apoiando nos meus estudos.

Aos meus colegas e amigos que estiveram ao meu lado nessa jornada acadêmica.

Muito obrigado!

RESUMO

A permanência do resíduo vegetal sobre o solo é um dos pilares essências do sistema plantio direto, influenciando diretamente a temperatura do solo e, consequentemente, o desenvolvimento das culturas. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de diferentes quantidades de resíduo vegetal de aveia branca sobre a umidade e a temperatura do solo, bem como o efeito na produtividade da cultura do milho. O estudo foi realizado na área experimental da Universidade da Fronteira Sul (UFFS), em Cerro Largo – RS, sobre um Latossolo Vermelho. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com cinco diferentes tratamentos de cobertura vegetal distribuídos sobre o solo, onde os tratamentos foram: Testemunha (T1) com 0 Mg ha $^{-}$1; 2 Mg ha^{-1} (T2); 4 Mg ha^{-1} (T3); 8 Mg ha^{-1} (T4) e 12 Mg ha^{-1} (T5). A cultivar utilizada foi o híbrido P3016VYHR, com densidade de semeadura de 80.000 plantas ha^{-1}. As principais variáveis avaliadas foram: temperatura do solo, medida na entrelinha nas camadas de 0-5 cm e 0-10 cm, umidade do solo na camada de 0-20 cm, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e grau de compactação e produtividade do milho. Os resultados demonstraram que os atributos físicos do solo, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e grau de compactação, não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. No entanto, a disponibilidade hídrica apresentou incrementos nos tratamentos com maior quantidade de palhada, favorecendo maior retenção e menor perda de água por evaporação. De forma semelhante, a temperatura do solo apresentou valores significativamente menores nos tratamentos com 8 e 12 Mg ha^{-1} de cobertura vegetal. A produtividade do milho e a produção de massa seca não houve diferença significativa entre os tratamentos. Portanto, conclui-se que o uso de cobertura vegetal contribui para a manutenção da umidade, reduz a temperatura do solo e oferece melhores condições para o desenvolvimento da cultura do milho.

Palavras-chave: armazenamento de água, sistema plantio direto, propriedades físicas, solo.

ABSTRACT

The permanence of plant residue on the soil is one of the essential pillars of the no-till farming system, directly influencing soil temperature and, consequently, crop development. This study aimed to evaluate the influence of different amounts of white oat plant residue on soil moisture and temperature, as well as the effect on corn crop productivity. The study was conducted in the experimental area of the Federal University of Fronteira Sul (UFFS), in Cerro Largo, Rio Grande do Sul, on a Oxisol (Ferralsols). The experimental design used was randomized blocks, with five different treatments of plant cover distributed over the soil, where the treatments were: Control (T1) with 0 Mg ha^{-1}; 2 Mg ha^{-1} (T2); 4 Mg ha^{-1} (T3); 8 Mg ha^{-1} (T4) and 12 Mg ha^{-1} (T5). The cultivar used was the hybrid P3016VYHR, with a sowing density of 80,000 plants ha-1. The main variables evaluated were: soil temperature, measured between rows at depths of 0-5 cm and 0-10 cm; soil moisture at a depth of 0-20 cm; soil density; total porosity; macroporosity; microporosity; degree of compaction; and corn yield. The results showed that the physical attributes of the soil, soil density, total porosity, macroporosity, microporosity, and degree of compaction did not show significant differences between treatments. However, water availability increased in treatments with greater amounts of mulch, favoring greater retention and less water loss through evaporation. Similarly, soil temperature was significantly lower in treatments with 8 and 12 Mg ha^{-1} of vegetation cover. There was no significant difference in corn productivity and dry matter production between treatments. Therefore, it is concluded that the use of vegetation cover contributes to moisture retention, reduces soil temperature, and provides better conditions for corn crop development.

Palavras-chave: water storage, direct planting system, physical properties; soil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Croqui da área do experimento, Cerro Largo, 2025.....22

Figura 2 - Equipamento Termopar Tipo K (Portable Temperarure Meters – N305) e TDR (Time-domain reflectometer), Cerro Largo, 2025.....23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise química do solo do experimento, Cerro Largo – RS, 2025. 20

Tabela 2 - Atributos físicos do solo sob diferentes quantidades de resíduo vegetal, Cerro Largo - RS, 2025. 26

Tabela 3 - Massa seca média da parte aérea das plantas de milho sob diferentes quantidades de cobertura vegetal, Cerro Largo - RS, 2025. 35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Precipitação registrada ao longo do período de condução do experimento, dados da estação meteorológica da Universidade da Fronteira Sul - Campus Cerro Largo-RS, Cerro Largo - RS, 2025. 28

Gráfico 2 - Umidade do solo dias após a semeadura da cultura do milho, sob diferentes quantidades de palhada, na área do experimento, Cerro Largo - RS, 2025. 29

Gráfico 3 – Valores médios do armazenamento total de água (mm) ao longo dos dias após a semeadura do milho, na área do experimento, Cerro Largo - RS, 2025. 30

Gráfico 4 - Valores médios da capacidade de água disponível (mm) ao longo dos dias após a semeadura do milho, na área do experimento, Cerro Largo - RS, 2025. 31

Gráfico 5 - Temperaturas médias, máximas e mínimas do ar, durante o ciclo da cultura do milho, na área do experimento, Cerro Largo - RS, 2025. 32

Gráfico 6 - Temperatura do solo na cama de 0-5 cm em função de diferentes quantidade de cobertura vegetal, na área do experimento, Cerro Largo - RS, 2025. 33

Gráfico 7 - Temperatura do solo na cama de 10 cm em função de diferentes quantidades de cobertura vegetal, na área do experimento, Cerro Largo - RS, 2025. 34

Gráfico 8 - Produtividade do milho em sacos por hectare, sob diferentes quantidades de palhada, na área do experimento, Cerro Largo - RS, 2025. 36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 13
2.1 O SISTEMA PLANTIO DIRETO 13
2.2 IMPORTÂNCIA DAS RAÍZES NO SISTEMA 14
2.3 PLANTAS DE COBERTURA 15
2.4 EFEITO DA TEMPERATURA DO SOLO E DA UMIDADE DISPONÍVEL 16
2.5 FATORES DETERMINANTES PARA O DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS 17
2.6 CULTURA DO MILHO 18
3 MATERIAL E MÉTODOS 20
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO 20
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 21
3.3 AVALIAÇÕES REALIZADAS 23
3.3.1 Temperatura e umidade do solo 23
3.3.2 Avaliação física do solo 24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 25
4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO 25
4.2 DISPONIBILIDADE HÍDRICA E POROSIDADE DE AERAÇÃO DO SOLO 28
4.3 TEMPERATURA DO SOLO 32
4.4 MASSA SECA DA PARTE AÉREA DO MILHO 34
4.5 PRODUTIVIDADE DO MILHO 36
5 CONCLUSÕES 38
REFERÊNCIAS 39

1 INTRODUÇÃO

O Sistema Plantio Direto (SPD) chegou no Brasil trazendo uma nova ideia de como melhorar o manejo do solo, utilizando de práticas onde a manutenção do resíduo vegetal permanece plenamente sobre o solo, sem que haja a sua incorporação (Carvalho; Freitas, 2008). Assim, o SPD teve uma grande ênfase, pois o seu propósito é utilizar práticas conservacionistas, como o revolvimento do solo somente na linha de semeadura e cobertura permanente do solo (Cruz *et al*., 2008).

No contexto do Sistema Plantio Direto (SPD), a manutenção da cobertura vegetal configura-se como um dos pilares fundamentais para a conservação do solo. Essa camada superficial atua na proteção contra o impacto das gotas de chuva, reduzindo a desagregação das partículas, o escoamento superficial e, consequentemente, os processos erosivos. Além disso, o uso contínuo da cobertura contribui para o aumento da matéria orgânica, favorecendo a atividade biológica e elevando a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo (Cruz *et al*., 2008).

Outro aspecto relevante está relacionado ao efeito da cobertura na modulação das condições microclimáticas do solo, especialmente na umidade e temperatura, fatores que influenciam diretamente o desempenho das culturas. Brevilieri *et al*. (2010) verificaram que nos primeiros 5 cm de profundidade houve variação significativa da temperatura, enquanto a manutenção da umidade permaneceu mais estável até os 20 cm.

Sob a perspectiva das propriedades edáficas, as plantas de cobertura exercem papel estratégico na melhoria da estrutura física, química e biológica do solo. O uso de espécies com sistemas radiculares profundos e elevada produção de biomassa favorece a descompactação natural e o incremento de matéria orgânica. Biologicamente, a fitomassa incorporada serve como fonte de nutrientes aos organismos do solo, que, ao decompor esse material, promovem a liberação gradual de nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas.

O uso de diversificação e rotação de culturas no sistema faz com que ocorra a melhoria do uso do solo, promovendo incrementos na produtividade e intensifica a atividade biológica. Com esse sistema de rotação, mais práticas complementares é possível estruturar de forma eficiente o solo.

As raízes desempenham um papel fundamental na formação e na estabilização dos agregados do solo, sendo que as gramíneas exercem grande influência nessa

estabilidade. A diversificação do sistema radicular é imprescindível para promover melhorias ou garantir a continuidade do processo de agregação do solo. Dessa forma, a cultura implantada na sequência poderá ser beneficiada por essas condições estruturais mais favoráveis.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes quantidades de cobertura vegetal na umidade e a temperatura do solo, assim como na produtividade do milho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O SISTEMA PLANTIO DIRETO

O sistema plantio direto (SPD) surgiu no Brasil na década de 1970, com pesquisas nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná. O SPD compõe um conjunto de tecnologias com potencial para alavancar a agricultura brasileira, com o intuito de aumentar as produtividades das principais culturas de grãos e melhorar o manejo do solo. Há inúmeros benefícios que o SPD trouxe consigo, como a melhor agregação do solo, melhorando atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Salton; Hernani; Fontes, 1998).

As práticas conservacionistas, cuja adoção vem sendo discutida para o Rio Grande do Sul, pois segundo Denardin (2018) em uma pesquisa que buscou avaliar as produções médias anuais de soja e milho nos últimos 41 anos (1977- 2017) nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, mostrou que o sistema de produção tanto do milho quanto da soja apresenta um sistema de manejo ineficiente, ocasionando degradações no solo, com baixas produtividades em quaisquer adversidades climáticas que ocorra. Vale salientar que o estado de Santa Catarina mesmo estando em mesma região climática do RS (subtropical), apresenta níveis de sistemas de manejos mais eficientes.

O SPD por ser uma técnica conservacionista onde a semeadura é feita de forma diferente do sistema de cultivo convencional, não utiliza de implementos que irão revolver o solo. Deste modo, esse sistema é importante que o solo esteja sempre coberto, seja ele com plantas em crescimento e/ou com cobertura de restos culturais. A cobertura vegetal não só traz a finalidade de proteger o solo contra o impacto das gotas de chuva, incidência de plantas espontâneas, mas também faz com que o solo possa perder menos umidade por evaporação e manter a temperatura mais estável (Cruz *et al*., 2008).

Nesse sentido, é importante destacar os seis princípios fundamentais do SPD: mobilização do solo exclusivamente na linha de semeadura; manutenção dos resíduos culturais sobre o solo; diversificação e rotação de culturas; cobertura permanente do solo; implantação do processo colher–semear; e adição de material vegetal de forma contínua e em quantidades adequadas. (Denardin *et al*., 2012).

Dentre todos os propósitos que constituem o Sistema Plantio Direto (SPD), a palha foi o principal fator que embasou sua origem, pois representa uma das formas

mais eficientes de amenizar o processo erosivo, tanto pelo vento quanto pela chuva. A cobertura formada pelos restos culturais ou por plantas vivas atua como barreira protetora do solo. Para garantir esse efeito, torna-se essencial a rotatividade de culturas, visando à produção máxima de palhada sobre a superfície do solo. Segundo Denardin e Faganello (2016), em regiões de clima subtropical e tropical do Brasil, é necessária a produção anual de aproximadamente 8 a 12 t/ha de matéria seca, a fim de atender à atividade biológica do solo e manter sua fertilidade.

A atividade biológica do solo é intensificada quando há produção de 8–12 t ha^{-1} de palha, sobretudo em sistemas que empregam espécies com elevada relação C/N, como aveia e braquiárias. Esse material vegetal apresenta decomposição mais lenta, liberando carbono gradualmente e proporcionando melhores condições para a comunidade microbiana do solo (Calegari, 2020)

Diante da premissa conservacionista do SPD, estudos corroboram que no RS esse sistema ainda necessita de melhorias. Há ainda muitas perdas de produtividades e erosões de solo, por falta de um sistema produtivo mais eficiente (Denardin, 2018).

2.2 IMPORTÂNCIA DAS RAÍZES NO SISTEMA

A formação da estrutura do solo tem grande influência das raízes das plantas, pois é através delas que ocorrerá a formação de canais no perfil, fazendo com que haja aeração, equilíbrio de temperatura e umidade, e facilite a interação entre os microrganismos (Peche Filho, 2020).

O desenvolvimento radicular e sua presença promovem a formação de agregados mais estáveis, aumentando a porosidade do solo e resultando em uma estrutura física mais adequada ao crescimento das plantas. Dessa forma, esse processo contribui para um ambiente físico mais resiliente, dificultando a compactação do solo (Dos Santos, 2025).

As plantas de cobertura, geralmente implantadas no período de entressafra, têm como finalidade proteger o solo contra a erosão, reduzir a incidência de plantas daninhas e preservar a umidade e a temperatura do solo. Além da produção de massa seca, algumas espécies são selecionadas também por sua capacidade de desenvolver sistemas radiculares aprofundados e vigorosos, contribuindo para a melhoria da estrutura do solo. Para esse propósito, são recomendadas plantas de crescimento rápido e contínuo, capazes de integrar ambas as funções: fornecer

cobertura vegetal eficiente e promover um desenvolvimento radicular expressivo, conforme destacado por Salton & Tomazi (2014).

O sistema radicular das gramíneas é bastante robustos e pode chegar em diversas profundidades ao longo do perfil do solo, facilitando o acesso por água e nutrientes ajudando a amenizar a compactação do solo. Suas raízes formam canais ao longo do solo, contribuindo para a infiltração da água e o crescimento da cultura em sequência. Em estudo, Seidel, (2014) no Estado do Paraná com um latossolo vermelho, em um consorcio de milho com braquiária teve resultados positivos na melhoria da estrutura do solo, evidenciando o benefício das raízes para o solo.

As raízes das leguminosas também tem suas características, podendo atingir profundidades maiores, tendo uma raiz principal robusta, seguida de ramificações que podem percorrer vastas profundidades quando se tem um solo bem manejado. Um fator importante sobre as leguminosas é a sua eficiência em fixar nitrogênio no solo, através da simbiose entre bactérias (*Rhizobium*) que estão presentes no solo ou através da inoculação via semente. Vale ressaltar que nem todas as plantas conseguem fazer esse processo de fixação de forma eficiente (Fontaneli; Dos Santos; Baier, 2009).

2.3 PLANTAS DE COBERTURA

As plantas de cobertura têm como finalidade proteger o solo e ajudar a melhorar a estrutura do solo, reciclar nutrientes e promover atividade biológica no solo, no entanto, a sua função não se limita somente a esses processos, de outra forma, as mesmas podem ser usadas para fins de alimentação animal, produção de grãos, sementes e no sistema plantio direto usada para fornecer palhada. Vale ressaltar que não é somente sua parte aérea tem importância, mas também suas raízes, que por sua vez tem função muito importante na estruturação do solo (Lima Filho *et al.*, 2023).

Segundo Calegari (2020), antes mesmo da escolha das plantas de serviço a ser usada, é necessário fazer um diagnóstico geral da área que irá ocorrer a implantação, essa análise deve ser levada em consideração quais manejos eram usados, estado físico e químico do solo, presença de nematoides e plantas daninhas. A escolha das plantas de cobertura é extremamente importante, pois é necessário escolher aquelas que tem melhor adaptabilidade a região a ser implantada e aquelas que irão ter um rápido estabelecimento e com alto aporte de massa seca. Há grandes

benefícios com o seu rápido estabelecimento, pois irá proteger o solo conta fatores externos, e contra o crescimento de plantas daninhas (Alvarenga *et al*., 2001).

Um fator a ser levado em consideração é saber qual cultura que irá ser implantada na sequência, pois há plantas de cobertura que podem ser hospedeiras de doenças e pragas, então é necessário evitar esses tipos de plantas (Alvarenga *et al*., 2001). Diante dessas ideias é importante que haja critérios mais cuidadosos não somente na escolha das plantas de serviço, mas também na avaliação da área.

Existem inúmeras culturas que podem ser usadas como plantas de cobertura, umas com aporte mais elevado de massa seca, outras menores, com isso é necessário fazer uso da rotação e diversificação das culturas, ou a implantação de um conjunto de plantas, para que haja as quantidades necessárias de fitomassa sobre o solo (Conceição; Calegari; Hojo, 2017).

As plantas de cobertura podem ser de distintas famílias, mas vale salientar a Fabaceae conhecida como leguminosas e Poaceae conhecida como gramíneas. O manejo e a relação carbono nitrogênio (C/N) irá interferir na taxa de decomposição dessa palhada, o clima e pluviosidade da região em questão também é levado em consideração. Plantas como as gramíneas tem uma relação C/N mais alta, ou seja, estas iram ter o seu processo de decomposição mais acelerado, ao contrário acontece com as leguminosas (Alvarenga; Cruz; Viana, 2007). O estágio de desenvolvimento da cultura é essencial, pois quanto mais avançado é o estágio mais lignina é metabolizado em suas estruturas, tornando-a rígida. Por esses e outros fatores, é importante que haja uma “mistura” dessas famílias em uma mesma semeadura, para que haja a liberação dos nutrientes de forma gradual e não ocorra a exposição do solo de forma rápida (Calegari, 2020)

2.4 EFEITO DA TEMPERATURA DO SOLO E DA UMIDADE DISPONÍVEL

A temperatura e a disponibilidade de água são fatores ambientais determinantes para o desenvolvimento das plantas, uma vez que variações térmicas e a deficiência hídrica prejudicam diretamente a germinação das sementes e, posteriormente, o desenvolvimento radicular. Segundo a Embrapa (2021), em condições de temperatura abaixo de 10 °C por períodos prolongados, o crescimento do milho é paralisado ou drasticamente reduzido. Por outro lado, temperaturas superiores a 30 °C, especialmente durante a noite, diminuem a produtividade, pois

promovem o consumo dos produtos metabólicos acumulados durante o dia, devido ao aumento da respiração celular induzido pelo excesso de calor.

Rodrigues et al. (2013), ao avaliar a influência de distintas quantidades de palha sobre a temperatura do solo na profundidade de 10 cm, verificaram que a aplicação de 5, 10 e 15 Mg ha^{-1} de resíduos vegetais promoveu a redução mínima de 3 °C na temperatura do solo. Esses resultados demonstram a elevada eficiência da cobertura vegetal na redução e estabilização térmica do solo.

A retenção de umidade do solo está correlacionada à granulometria, a mineralogia, à estrutura do solo e ao teor de matéria orgânica, atributos que influenciam a capilaridade e a adsorção (Kaiser; Da Silva, 2023). Juntamente a esses fatores, manter o solo coberto com plantas contribui para uma melhor retenção da umidade e para a redução das variações térmicas no solo. Solos compactados sofrem alterações da estrutura física, com redução da macroporosidade e predomínio de microporos, o que dificulta a movimentação da água no perfil, afetando a infiltração e aumentando a resistência a penetração (Libardi, 2005).

Diante disso, a escolha de práticas de manejo adequadas torna-se essencial para garantir a estabilidade dos processos físicos, químicos e biológicos no solo. Ao proporcionar um ambiente adequado para a estabilização térmica e hídrica no solo, irá diretamente favorecer o desenvolvimento das culturas (Alvarenga *et al.* 2001)

2.5 FATORES DETERMINANTES PARA O DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS

A compactação do solo constitui um fator diretamente relacionado ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas. Em condições de compactação, ocorre a redução dos macroporos e o adensamento das partículas, o que dificulta a infiltração e o movimento da água no perfil do solo. Nessa situação, o sistema radicular apresenta seu crescimento limitado às camadas superficiais, devido à maior resistência mecânica do solo compactado. Como consequência, as plantas tornam-se mais suscetíveis ao déficit hídrico, uma vez que suas raízes não conseguem explorar camadas mais profundas, onde a água permanece retida e disponível por períodos mais longo (Zucuni Pes; Arenhardt, 2015).

Os fatores determinantes para o crescimento das plantas podem ser citados de dois tipos, fatores diretos e indiretos. Dessa forma, os fatores que afetam diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, é a falta de água, falta de oxigênio, temperatura. Os fatores indiretos, são aqueles que iram interferir ou dificultar a

absorção dos nutrientes pelas plantas, como o adensamento do solo, que irá suprimir o crescimento das raízes em profundidade, limitando-as no acesso de água e nutrientes (Sá & Santos Júnior, 2005).

O pH do solo interfere diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, devido ao aumento de cargas positivas no solo e assim adsorvendo nutrientes essenciais para as plantas, esse fator se dá pela limitação da disponibilidade de nutrientes que esses solos ácidos promovem. Os principais nutrientes a terem a sua disponibilidade diminuída é o fosforo, magnésio, cálcio e potássio, nutrientes esses que são essenciais para o desenvolvimento da planta. Solos com altos teores de alumínio e ferro, tendem a ser ácidos (ph abaixo de 5,5), com isso há a necessidade de fazer a correção do mesmo.

A densidade de semeadura é importante se manter de acordo com a recomendação da cultura. A alta densidade de plantas pode ser um fator prejudicial para as culturas, pois as mesmas irão competir por espaço, água, luminosidade e nutrientes. Com isso, em casos de altas precipitações pode ocorrer doenças, como exemplo podridões de colmo no milho, por receber pouca incidência solar, ocasionando o tombamento da planta (Cruz; Filho, P.; Filho, A., 2021).

2.6 CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays)* é da família das Poaceae (gramínea), com altura de planta entre 1,5 a 3 m dependendo da cultivar. Seu sistema radicular do milho é bastante robusto, podendo atingir grandes profundidade, quando se tem um solo bem estruturado (Magalhães & Durães, 2008).

O milho é uma cultura com grande importância econômica, tendo sua origem supostamente em três regiões, sendo o México, América Central e Sudoeste do Estados Unidos (Duarte; Mattoso; Garcia, 2021). Sua importância vai desde alimentação humana, a alimentação animal, que por sua vez representa mais de 70% da produção mundial usada para alimentação animal. O Rio Grande do Sul teve uma produção média de 8823 Kg/há na safra 2024/2025, produtividade essa 27,8% maior em relação à safra anterior (Conab, 2025).

A produção de milho está lincada em ter durante o seu desenvolvimento precipitação pluviométrica mínima, fotoperíodo e temperatura. A temperatura ótima pode variar de acordo com o estágio fenológico da cultura, estando entre 10 e 30°C. O fotoperíodo influencia no crescimento, pois o milho é indicado como uma planta de

dia curto, sendo assim, um aumento no fotoperíodo irá instigar a planta a vegetar por mais tempo (Cruz *et al*., 2006).

A cultura do milho é bastante exigente de água, sendo um fator limitante para a produtividade, onde a exigência depende do estágio fenológico que se encontra. Nos estágios iniciais a demanda hídrica da planta é menor, sendo de aproximadamente de 2,5 mm/dia, já nos estágios reprodutivos a planta tem uma demanda maior, necessitando aproximadamente de 5 a 7,5 mm/dia (Landau; Magalhães; Guimarães, 2021). Em estudo Bergamaschi *et al*. (2004), objetivou que independente da região, a produtividade do milho está inteiramente ligada as condições hídricas no período crítico (estágio reprodutivo), afetando diretamente os componentes de rendimento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Cerro Largo – RS, localizado na região das missões (-28.141183, -54,760799). O solo da área é caracterizado como um Latossolo Vermelho, pertencente a Unidade de mapeamento Santo Ângelo, tendo em sua constituição granulométrica 583,2 g kg^{-1} de argila, 92,7 g kg^{-1} de areia e 324,02 g kg^{-1} de silte na camada de 0-30 cm. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, úmido e com verões quentes.

A área experimental apresentou, conforme os resultados da análise química do solo (Tabela 1), a necessidade de correção da acidez. Diante disso, no ano de 2023, foi realizada a calagem com base nas recomendações do Manual de Adubação e Calagem, visando elevar o pH do solo para 6,5. Utilizou-se o corretivo FortCálcio (Poder de Neutralização – PN 100), sendo determinada a aplicação de 4,9 t ha^{-1} para atingir as condições químicas adequadas ao desenvolvimento da cultura.

Tabela 1 – Análise química do solo do experimento, Cerro Largo – RS, 2025.

Prof. (cm)	pH água 1:1	Al	Ca	Mg	Al	H + Al	CTC pH 7	V
		%	Cmolcdm³					%
0-20 cm	5,4	0,0	4,9	2,4	0,0	4,4	12,5	69,4

Prof. (cm)	Argila	M.O	Índice SMP	S	P-Mehlich	K	Cu	Zn	B
	%	%		mg/dm³					
0-20 cm	63,0	2,9	6,0	5,2	12,2	308,0	8,1	4,1	0,7

Fonte: Laboratório de análise Química do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, 2023.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

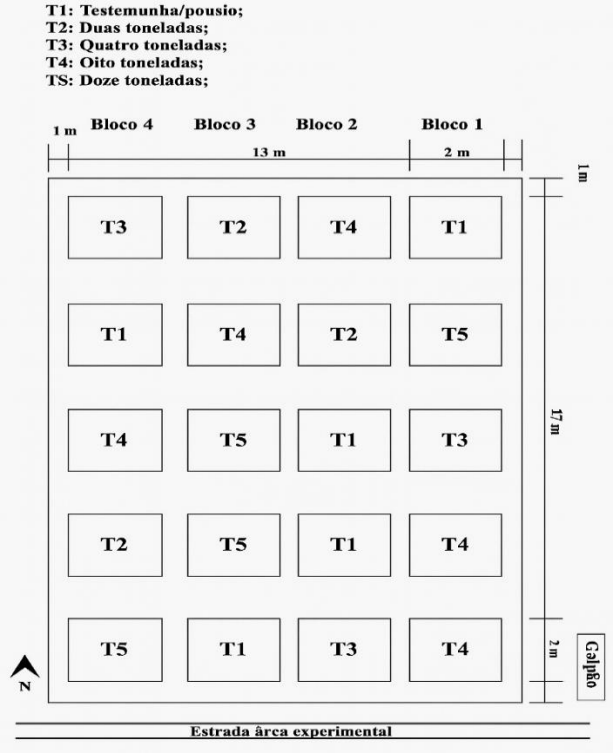
O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos e quatro repetições, onde cada parcela possui 4 m^2 (2m x 2m), possuindo 20 Unidades experimentais, mantendo um distanciamento entre blocos e parcelas de 1 m (Figura 1).

A semeadura do milho foi realizada no dia 01 de outubro de 2024 utilizando o híbrido P3016VYHR, de ciclo precoce. O espaçamento utilizado foi de 0,5m entre linhas, com 4 plantas por metro linear, totalizando uma população de 80.000 plantas ha^{-1}, e a população de cada parcela foi de 32 plantas. Vale ressaltar que antes da semeadura foi feito o controle de plantas daninhas utilizando o herbicida glifosato.

A palha de aveia-branca foi submetida à secagem em estufa de circulação de ar forçado a 60 °C até atingir peso constante. Posteriormente, procedeu-se à pesagem de 800 g de palha, que foram acondicionados em sacos plásticos, constituindo uma porção padrão. Essa massa corresponde à quantidade necessária para representar 2 Mg ha^{-1} de cobertura vegetal em uma parcela de 2 m^2. Dessa forma, o tratamento equivalente a 2 Mg ha^{-1} recebeu uma porção; o tratamento de 4 Mg ha^{-1} recebeu duas porções; o de 8 Mg ha^{-1}, quatro porções; e o de 12 Mg ha^{-1}, seis porções.

A distribuição da cobertura vegetal, foi realizada dois dias após a semeadura do milho, onde ficou disposta nos tratamentos da seguinte forma: Testemunha 0 Mg ha^{-1} de cobertura vegetal; e com cobertura vegetal em diferentes dosagens (T2) 2 Mg ha^{-1}; (T3) 4 Mg ha^{-1}; (T4) 8 Mg ha^{-1}; (T5) 12 Mg ha^{-1} (Figura 1).

Figura 1 - Croqui da área do experimento, Cerro Largo, 2025.



Fonte: Autor, 2025.

3.3 AVALIAÇÕES REALIZADAS

3.3.1 Temperatura e umidade do solo

A temperatura do solo foi medida com o aparelho Termopar Tipo K (Portable Temperarure Meters – N305), fazendo a medição em duas profundidades (0-5cm e 0-10cm), nas entre linhas da parcela. O monitoramento da umidade do solo foi feito com o equipamento TDR (Time-domain reflectometer) (Figura 2), onde em cada parcela sera instalado sondas com 20 cm de profundidade.

A produtividade foi avaliada por meio da coleta de um metro linear de plantas em cada parcela, seguida da retirada das espigas, debulha e determinação da produtividade média, posteriormente extrapolada para a escala de hectares. A produção de massa seca foi obtida de forma semelhante, por meio da coleta de um metro linear de plantas. O material colhido foi submetido à secagem em estufa de circulação de ar forçado a 60 °C até atingir peso constante e, em seguida, procedeu-se à pesagem para quantificação da massa seca produzida.

Figura 2 - Equipamento Termopar Tipo K (Portable Temperarure Meters – N305) e TDR (Time-domain reflectometer), Cerro Largo, 2025.



Fonte: Autor, 2025.

Os dados coletados durante as avaliações, foram colocados em uma planilha de Excel, para então realizar os cálculos da umidade volumétrica do solo (θ) (Eq. 1), capacidade total de água no solo (CAT) (Eq. 2), capacidade de água disponível (CAD) (Eq. 3) e porosidade de aeração (Par) (Eq. 4).

Equação 1 – Umidade volumétrica do solo (θ) ($cm^3\ cm^{-3}$), expressa pela relação da leitura do TDR (%Mstr) dividido por 100.

$$\mathbf{(\theta)} = \%Mstr / 100$$

Equação 2 – A capacidade total de água (CAT), em milímetro (mm) no solo, é calculada pela Umidade volumétrica do solo (θ), em cm^3/cm^3, multiplicada pela profundidade da sonda TDR (Pe) e, em seguida, multiplicada por 10.

$$\mathbf{CAT} = \theta \times Pe \times 10$$

Equação 3 - Capacidade de água disponível (CAD) (mm), expressa pela Umidade volumétrica do solo (θ) ($cm^3\ cm^{-3}$) menos a umidade no ponto de murcha permanente (θPMP) (mm), multiplicado pela profundidade da sonda TDR (Pe) e multiplicado por 10.

$$\mathbf{CAD} = (\theta - \theta_{PMP}) * Pe * 10$$

Equação 4 - Porosidade de aeração (Par) ($cm^3\ cm^{-3}$), expressa pela porosidade total (Pt) ($cm^3\ cm^{-3}$) menos a Umidade volumétrica do solo (θ) ($cm^3\ cm^{-3}$).

$$\mathbf{Par} = Pt - \theta$$

3.3.2 Avaliação física do solo

A avaliação física do solo foi realizada por meio da coleta de amostras indeformadas com auxílio de anéis volumétricos. Também foi feito a avaliação da densidade do solo, onde se realizou a coleta de amostras indeformadas de 0-10 cm e a-20 cm, com auxílio de anéis volumétricos. Posteriormente, em laboratório, serão determinados parâmetros como a capacidade de água disponível (CAD), a capacidade de campo (CC), a porosidade de aeração, a porosidade total, bem como a distribuição entre macro, microporosidade e o grau de compactação (GC).

.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

Os resultados indicam que, nas duas camadas avaliadas do solo (0–10 e 10–20 cm), a densidade apresentou comportamento semelhante, sem diferenças expressivas entre elas. Na camada de 0–10 cm, o tratamento com 4 Mg ha^{-1} de cobertura vegetal (Tab. 2) mesmo registrando a menor densidade do solo ainda vale salientar que não houve diferença significativa com os demais. De modo geral, os dados demonstram que a camada superficial (0–10 cm) não atingiu níveis críticos de densidade que pudessem comprometer o desenvolvimento das plantas, pois segundo Reichert et al. (2003) o nível crítico fica entre 1,30 a 1,40 Mg m^{-3} para solos com textura argilosa.

Tabela 2 - Atributos físicos do solo sob diferentes quantidades de resíduo vegetal, Cerro Largo - RS, 2025.

Camada (cm)	Tratamentos					CV (%)
	0 Mg ha^{-1}	2 Mg ha^{-1}	4 Mg ha^{-1}	8 Mg ha^{-1}	12 Mg ha^{-1}	
	Densidade do solo (Mg m^{-3})					
00 – 10	1,13 a*	1,18 a	1,10 a	1,14 a	1,19 a	9,03
10 - 20	1,32 a	1,32 a	1,30 a	1,28 a	1,25 a	5,13
	Porosidade Total (m^3 m^{-3})					
00 – 10	0,61 a	0,59 a	0,61 a	0,60 a	0,59 a	6,08
10 - 20	0,54 a	0,54 a	0,55 a	0,55 a	0,57 a	4,28
	Microporosidade (m^3 m^{-3})					
00 – 10	0,34 a	0,35 a	0,35 a	0,36 a	0,37 a	6,91
10 - 20	0,39 a	0,38 a	0,39 a	0,39 a	0,38 a	4,26
	Macroporosidade (m^3 m^{-3})					
00 – 10	0,26 a	0,23 a	0,26 a	0,24 a	0,21 a	24,60
10 - 20	0,14 a	0,15 a	0,15 a	0,16 a	0,18 a	24,14
	Grau de compactação (%)					
00 – 10	77,50 a	81,50 a	75,40 a	78,00 a	81,25 a	9,10
10 - 20	90,50 a	90,75 a	89,00 a	88,25 a	85,50 a	5,52

*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Seguindo a premissa de Reichert et al. (2003), os tratamentos com 0, 2 e 4 Mg ha^{-1} de resíduo vegetal (Tab. 2), na camada de 10–20 cm, apresentaram valores de

densidade acima do nível crítico para o desenvolvimento das plantas, sinalizando um alerta quanto às condições físicas do solo nessa profundidade.

A porosidade total entre as duas camadas analisadas não apresentou diferença significativa. Na camada de 0–10 cm, os valores variaram de 0,59 a 0,61 $m^3\ m^{-3}$, enquanto na camada de 10–20 cm a variação foi de 0,54 a 0,57 $m^3\ m^{-3}$ (Tab. 2). Observa-se que, à medida que a densidade do solo aumenta, ocorre um decréscimo na porosidade total, o que reduz a permeabilidade e limita a movimentação de água no perfil do solo.

Para que haja um aumento na porosidade total do solo são necessários vários anos de manejo, havendo incremento de matéria orgânica e estabilização dos agregados do solo ao longo deste tempo. Em experimento na mesma área em estudo, Mucha (2023) teve resultados na porosidade total na camada de 0-10 cm entre 0,59 a 0,61 $m^3\ m^{-3}$ e na camada de 10-20 cm entre 0,53 a 0,55 $m^3\ m^{-3}$. Os resultados médios da camada de 0-10 cm são praticamente iguais ao que está em questão, diferindo minimamente somente na camada de 10-20 cm que teve um incremento de um ano para o outro de 0,01 $m^3\ m^{-3}$ no tratamento com 4 Mg m^{-3} de palhada e 0,02 $m^3\ m^{-3}$ no tratamento com 12 Mg m^{-3} de palhada.

A microporosidade na camada de 0–10 cm, no tratamento com 0 Mg ha^{-1} de cobertura vegetal (Tab. 2), apresentou a menor média, evidenciando uma diminuição dos microporos e consequentemente menos espaços para retenção de água. Observa-se uma pequena variação entre os tratamentos na camada superficial (0–10 cm), de cerca de 0,03 $m^3\ m^{-3}$, enquanto na camada de 10–20 cm a variação foi ainda menor, atingindo apenas 0,01 $m^3\ m^{-3}$. A macroporosidade teve médias superiores na camada de 0-5cm (Tab. 2), tendo uma variabilidade de 0,05 $m^3\ m^{-3}$ entre os tratamentos, já na camada inferior os resultados das médias ficaram entre 0,24 a 0,28 $m^3\ m^{-3}$.

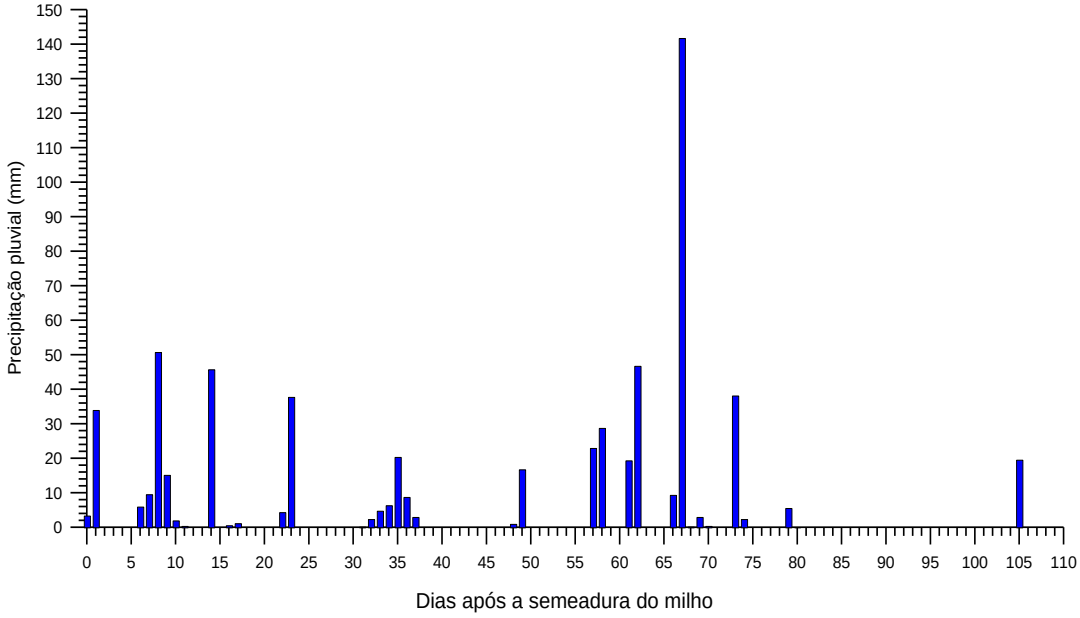
Os resultados da macroporosidade não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tab. 2), embora na camada superior (0-10 cm) mostrou-se baixo e pouco responsivo, na camada inferior (10-20 cm) é ainda mais reduzida. É importante correlacionar a densidade do solo com o teor de macroporosidade, pois no momento em que há elevação na densidade do solo ocorre diminuição na macroporosidade e aumenta a microporosidade. A alteração nesses componentes físicos do solo (sistema poroso) pode afetar no fluxo de água e oxigênio ao longo do perfil do solo.

O grau de compactação (GP) teve variação entre as camadas (Tab. 2), onde na camada superficial (0-10) obteve as menores média entre si. É visível que conforme há um aumento na porosidade total, a percentagem do GP é menor, principalmente na camada de 10-20 cm. Na segunda camada (10–20 cm), observou-se um aumento no grau de compactação, o que está associado à redução da macroporosidade, conforme evidenciado na Tabela 2. Segundo Drescher et al. (2023), existe uma relação direta entre o avanço da compactação e a diminuição dos espaços porosos do solo, especialmente dos macroporos.

4.2 DISPONIBILIDADE HÍDRICA E POROSIDADE DE AERAÇÃO DO SOLO

O gráfico 1 mostra a distribuição pluviométrica durante o ciclo da cultura em dias após a semeadura até a maturação fisiológica.

Gráfico 1 - Precipitação registrada ao longo do período de condução do experimento, dados da estação meteorológica da Universidade da Fronteira Sul - Campus Cerro Largo-RS, Cerro Largo - RS, 2025.

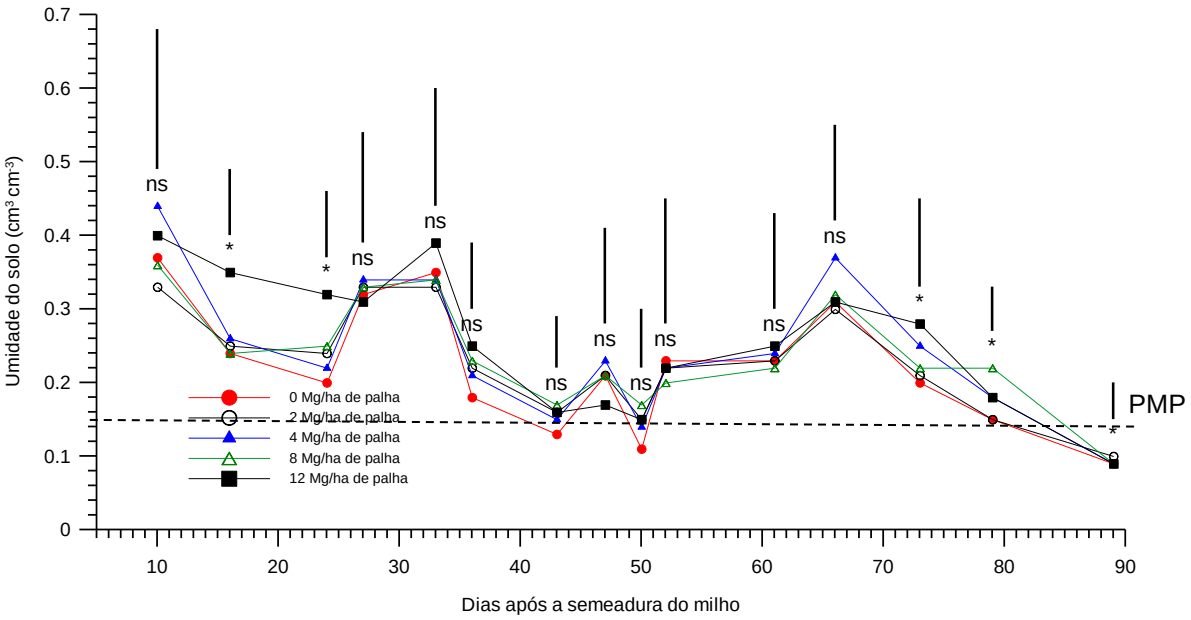


Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O ciclo da cultura do milho teve duração de 90 dias, desde a semeadura até a maturidade fisiológica. Nesse período, registrou-se uma precipitação total de 631,8 mm de chuva (Gráf. 1). A necessidade hídrica para o desenvolvimento do milho está entre 500 a 700 mm de lâmina de água, respectivamente distribuídas, desde a semeadura até a maturação fisiológica (Cruz *et al.* 2006). Com base nessas

informações, é possível observar e analisar a distribuição pluviométrica ao longo do ciclo da cultura.

Gráfico 2 - Umidade do solo dias após a semeadura da cultura do milho, sob diferentes quantidades de palhada, na área do experimento, Cerro Largo - RS, 2025.



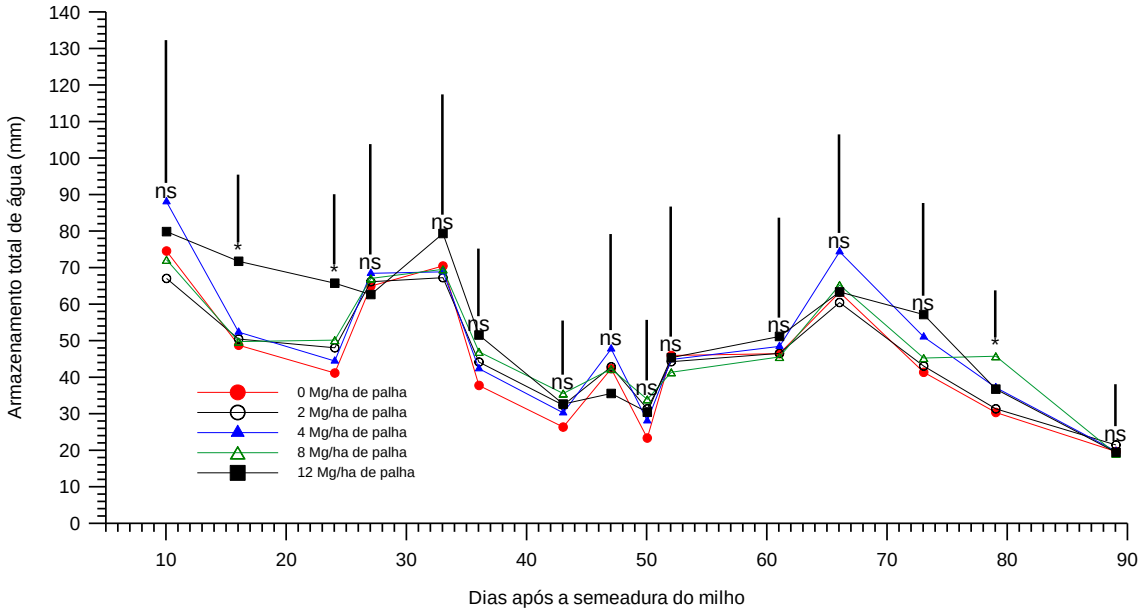
* Linhas verticais diferem entre si significativamente pelo teste de Tukey com 5% de significância.
ns Não diferem significativamente pelo teste de Tukey com 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A umidade do solo, em determinados dias ao longo do ciclo da cultura do milho, apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. O tratamento com 12 Mg ha^{-1} de cobertura vegetal (Gráf. 2) destacou-se positivamente em relação aos demais. O Gráfico 1 mostra que, no 14° dia após a semeadura, ocorreu uma precipitação de aproximadamente 45 mm, o que se relaciona com os valores de umidade do solo apresentados no Gráfico 2, mesmo nos outros dias após essa chuva volumosa, observou-se elevação da umidade volumétrica em todos os tratamentos, principalmente no que havia 12 Mg ha^{-1} de palhada, obtendo os valores mais altos e regulares.

Em estudo semelhante, Vieira *et al*. (2020) constataram que, ao utilizar maior quantidade de cobertura vegetal com 8 t ha^{-1} de braquiária, a umidade do solo permaneceu acima dos demais tratamentos. Esse resultado corrobora com o presente estudo, evidenciando a importância da cobertura vegetal na manutenção da umidade do solo.

Gráfico 3 – Valores médios do armazenamento total de água (mm) ao longo dos dias após a semeadura do milho, na área do experimento, Cerro Largo - RS, 2025.



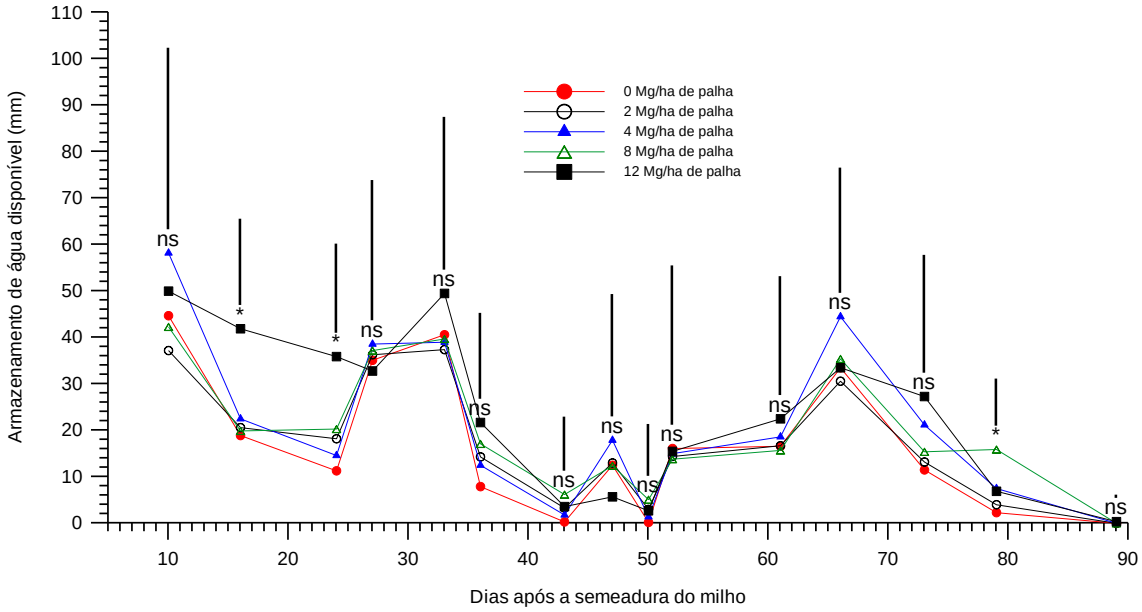
* Linhas verticais diferem entre si significativamente pelo teste de Tukey com 5% de significância.
ns Não diferem significativamente pelo teste de Tukey com 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O armazenamento total de água (Gráf. 3) seguiu a mesma tendência da umidade volumétrica, respondendo significativamente ao evento pluviométrico ocorrido no dia 14. Assim, após a chuva, observa-se um aumento no volume total de água retido no solo, especialmente nos tratamentos que receberam maiores quantidades de palhada (8 e 12 Mg ha^{-1}).

Esse comportamento reforça que manter o solo coberto aumenta a capacidade de reter a água, uma vez que a palhada reduz o impacto das gotas de chuva, minimizando a formação de crostas e, consequentemente, favorecendo a infiltração da água no solo.

Gráfico 4 - Valores médios da capacidade de água disponível (mm) ao longo dos dias após a semeadura do milho, na área do experimento, Cerro Largo - RS, 2025.



* Linhas verticais diferem entre si significativamente pelo teste de Tukey com 5% de significância.
ns Não diferem significativamente pelo teste de Tukey com 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A capacidade de água disponível (Gráf. 4), quando apresentou diferença significativa, evidenciou que os tratamentos com maiores quantidades de cobertura vegetal (8 e 12 Mg ha^{-1}) obtiveram as melhores médias, tendo mais água disponível para as plantas. Assim, os valores superiores variaram de 20,8 mm a 23,3 mm de água disponível (4 e 12 Mg ha^{-1}), enquanto as menores médias foram observadas nos tratamentos com menor quantidade de palhada, variando de 16,7 mm a 17,4 mm (0 e 2 Mg ha^{-1}).

O armazenamento de água disponível é aquela faixa que fica entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), intervalo onde a água fica disponível e de fácil retirada pelas plantas (Kaiser; Da Silva, 2023). Os fatores físicos, químicos e biológicos do solo influenciam diretamente a disponibilidade e o armazenamento de água, afetando o crescimento radicular das plantas e, consequentemente, o acesso a água e nutrientes (Sá & Santos Junior, 2005).

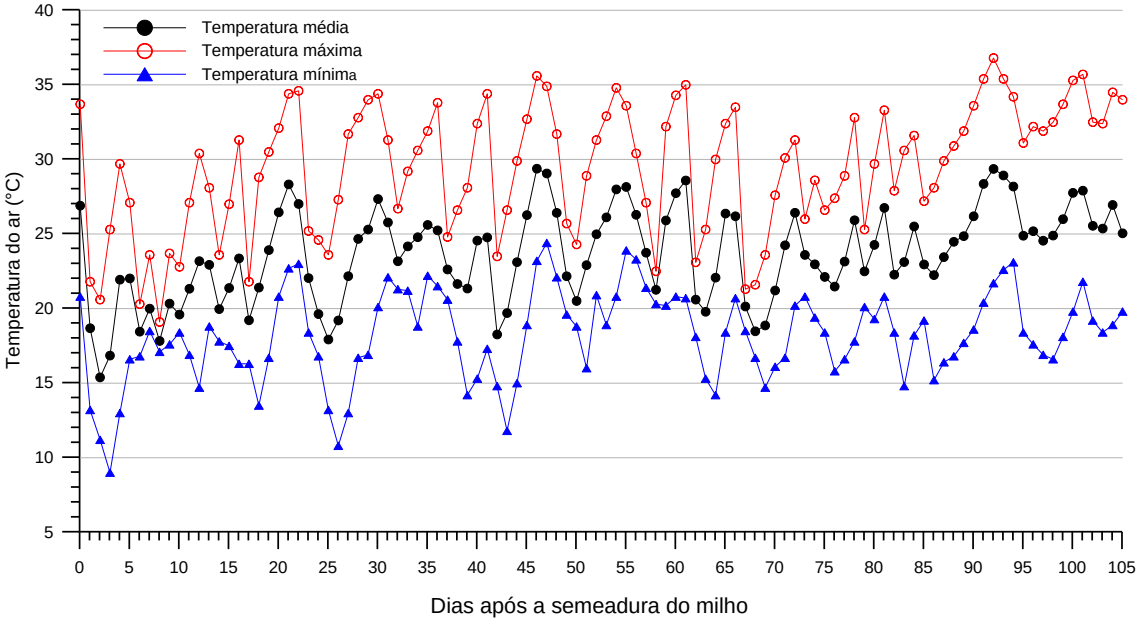
Em dois momentos ao longo do ciclo da cultura, o armazenamento de água disponível foi zero no tratamento com 0 t ha^{-1} de palhada. Nessa condição, não havia água acessível às plantas, o que as levou ao ponto de murcha permanente e, consequentemente, ao estresse hídrico na profundidade avaliada.

Os resultados indicam uma relação direta entre os teores de precipitação pluviométrica com o incremento da umidade volumétrica e em consequência aumento no armazenamento total de água, junto com a água disponível para as plantas. Quando ocorreu diferença significativa entre os tratamentos, onde obteve a presença de cobertura vegetal proporcionou maior umidade do solo, cobertura essa que ajuda a reduzir a evaporação e transformar mais estável o conteúdo de água no solo.

4.3 TEMPERATURA DO SOLO

O Gráfico 5 mostra a variação da temperatura do ar desde a semeadura até a maturidade fisiológica do milho. A temperatura do ar apresentou oscilações entre valores mínimos e máximos. Assim, embora fosse esperado que, nos períodos mais quentes, ocorresse redução da umidade, essa tendência não se confirmou nos tratamentos com maior quantidade de palhada.

Gráfico 5 - Temperaturas médias, máximas e mínimas do ar, durante o ciclo da cultura do milho, na área do experimento, Cerro Largo - RS, 2025.

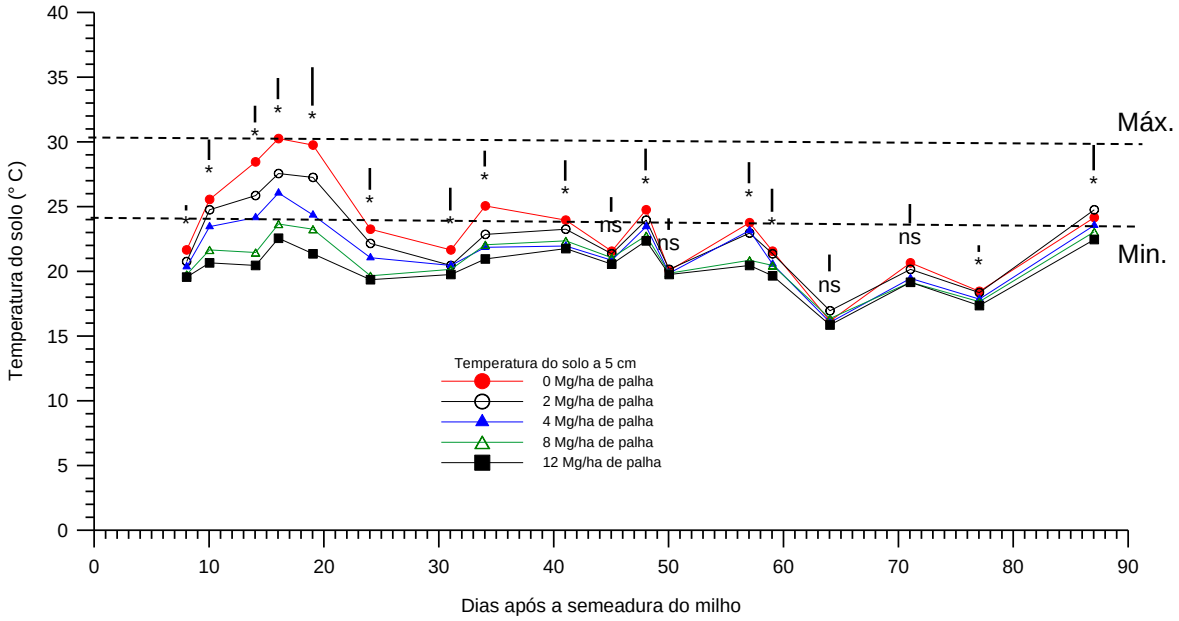


Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A temperatura do solo apresentou variação significativa ao longo do ciclo da cultura, tanto na camada de 5 cm quanto na camada de 10 cm (Gráf. 6 e Gráf. 7). Os tratamentos com menor quantidade de cobertura vegetal foram os que registraram as maiores temperaturas do solo, o que explica a queda mais acentuada da umidade e a maior instabilidade hídrica nesses tratamentos.

A partir dos tratamentos com 8 e 12 Mg ha^{-1} de palhada, observou-se um comportamento semelhante ao de um isolante térmico, reduzindo a amplitude térmica diária e resultando em temperaturas mais estáveis. Isso contribuiu para diminuir as perdas excessivas por evaporação, retendo água por períodos mais longos, aumentando o armazenamento total de água e, consequentemente, garantindo maior disponibilidade hídrica após os eventos de chuva.

Gráfico 6 - Temperatura do solo na cama de 0-5 cm em função de diferentes quantidade de cobertura vegetal, na área do experimento, Cerro Largo - RS, 2025.



* Linhas verticais diferem entre si significativamente pelo teste de Tukey com 5% de significância.
ns Não diferem significativamente pelo teste de Tukey com 5% de significância.

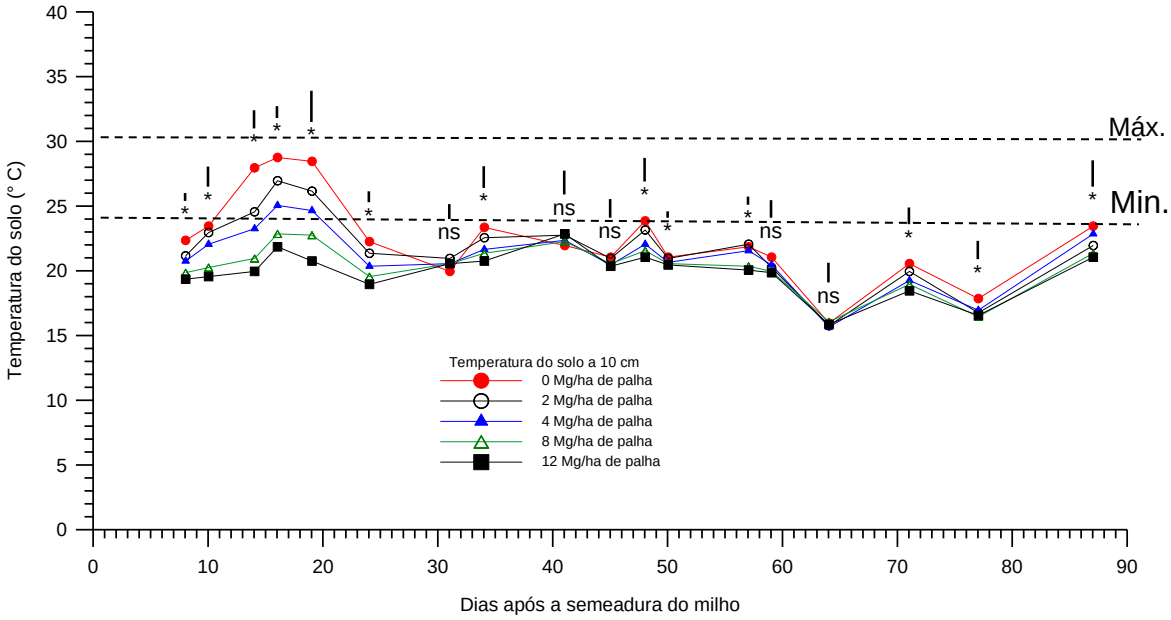
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O Gráfico 6 apresenta duas linhas que delimitam o intervalo de temperatura ideal para o desenvolvimento do milho. Cruz et al. (2006) indicam que essa faixa varia de 24 °C a 30 °C. Temperaturas superiores a 30 °C, quando persistentes por períodos prolongados, especialmente durante a noite, tendem a reduzir o rendimento de grãos em razão do aumento do consumo dos compostos metabólicos acumulados ao longo do dia. Em contraste, temperaturas demasiadamente baixas (inferiores a 10 °C) comprometem o crescimento vegetativo da cultura. Na camada de 5 cm, observou-se uma amplitude térmica variando entre 30,3 °C (máxima) e 15,9 °C (mínima).

A retenção da umidade e a estabilidade da temperatura do solo foram evidenciadas por Brevilieri *et al.* (2010), que obtiveram resultados semelhantes, demonstrando que a cobertura vegetal influenciou diretamente na manutenção da

umidade do solo nas camadas de 5 cm e 10 cm, além de afetar a variação da temperatura do solo na profundidade de 5 cm. Oliveira et al. (2005) também reforçam essa premissa, mostrando que, em solo desprotegido, houve maior variação de temperatura, especialmente na camada superficial (2,5 cm).

Gráfico 7 - Temperatura do solo na cama de 10 cm em função de diferentes quantidades de cobertura vegetal, na área do experimento, Cerro Largo - RS, 2025.



* Linhas verticais diferem entre si significativamente pelo teste de Tukey com 5% de significância.
ns Não diferem significativamente pelo teste de Tukey com 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A amplitude térmica registrada na camada de 10 cm apresentou variação entre 38,5 °C (máxima) e 15,7 °C (mínima). Ressalta-se que o efeito da cobertura vegetal sobre a dinâmica térmica e hídrica do solo é de caráter fundamental, uma vez que sua presença favorece a manutenção da saturação dos microporos por períodos mais prolongados, resultando em maior disponibilidade hídrica às plantas e contribuindo para a estabilidade físico-hídrica do sistema. Além disso, reduz a evaporação, contribuindo para um sistema hídrico mais estável.

4.4 MASSA SECA DA PARTE AÉREA DO MILHO

A tabela 3 mostra a média da produção de massa seca produzida pelo milho sob diferentes quantidades de resíduos vegetais. A tabela mostra que não houve diferença significativa entre as amostras, onde o tratamento com 8 Mg ha^{-1} obteve a maior média com 8,5 Mg ha^{-1} de massa seca, já a menor média obtida foi no tratamento com 4 Mg ha^{-1} produzindo 7,2 Mg ha^{-1} de massa seca.

Citado anteriormente, Denardin e Faganello (2016) enfatizam que, em regiões de clima subtropical e tropical do Brasil, para que haja um adequado acúmulo de matéria orgânica, o atendimento à atividade biológica do solo e maior estabilidade da fertilidade, estima-se a necessidade de produzir entre 8 e 12 t ha^{-1} ano^{-1} de matéria seca.

Ao analisar os resultados da Tabela 3, observa-se que a produção de massa seca está muito próxima do valor proposto pelos autores. Dessa forma, para alcançar níveis de matéria seca mais elevado, uma opção viável é introduzir a cultura do milho no sistema de rotação, pois essa espécie proporciona elevado aporte de matéria seca ao solo, com um manejo contínuo.

Tabela 3 - Massa seca média da parte aérea das plantas de milho sob diferentes quantidades de cobertura vegetal, Cerro Largo - RS, 2025.

	0 Mg ha^{-1}	**2 Mg ha^{-1}**	**4 Mg ha^{-1}**	**8 Mg ha^{-1}**	**12 Mg ha^{-1}**	**CV (%)**
Massa seca (Mg ha^{-1})	7,5 a*	7,8 a	7,2 a	8,5 a	7,5 a	16,41

*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

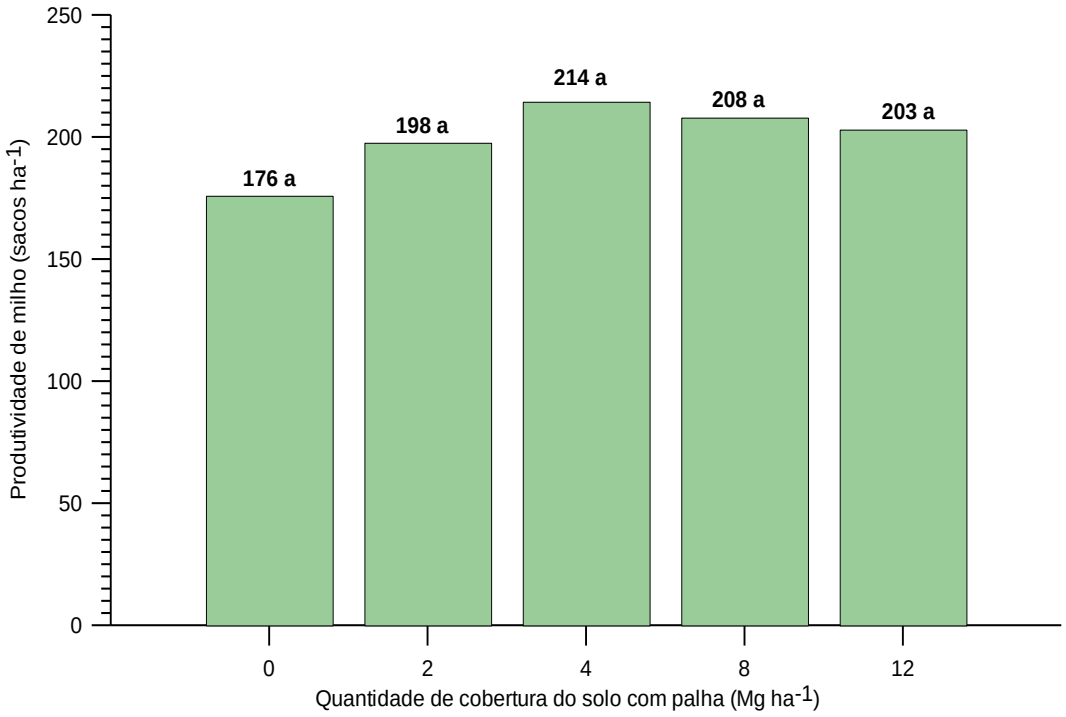
A distribuição da palhada ao longo das parcelas, não serviu somente para atuar como barreira física, mas também como um bom agente de ciclagem de nutrientes. A aveia branca, utilizada como cobertura vegetal nesse estudo, tem a relação C:N mais alta, ou seja, a taxa de decomposição dos seus restos culturais é mais lenta, contribuindo assim com a liberação dos nutrientes de forma gradativa (médio e longo prazos) (Alvarenga; Cruz; Novotny, 2015).

Um fator importante é o aporte de matéria orgânica, que por sua vez será responsável de forma direta ou indireta pelas interações químicas, físicas e biológicas no sistema solo-água-planta (Conceição; Calegari; Hojo, 2017).

4.5 PRODUTIVIDADE DO MILHO

O gráfico 2 mostra a produtividade do milho em relação a diferentes quantidades de cobertura vegetal, não teve diferença significativa entre os tratamentos. Pode-se observar que a maior média produtiva foi o tratamento com 4 Mg ha^{-1} de palhada, resultou em 2014 sacos por hectare, seguido do tratamento com 8 e 12 Mg ha^{-1} (208 e 203 sacos ha^{-1}). A diferença da maior produção (214 sacos ha^{-1}) para a menor (176 sacos ha^{-1}) (sem palhada) foi de 38 saco ha^{-1}, diferença essa expressiva apenas em termos quantitativos, mas sem relevância estatística, pois não há diferença significativa entre os tratamentos.

Gráfico 8 - Produtividade do milho em sacos por hectare, sob diferentes quantidades de palhada, na área do experimento, Cerro Largo - RS, 2025.



*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey 5% de significância.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O milho é uma cultura exigente em água e em temperaturas mais elevadas, entre 24 e 30°C, além de necessitar de uma disponibilidade hídrica entre 500 e 700 mm ao longo do seu ciclo (Cruz *et al*., 2010). Esses fatores podem ser diretamente relacionados à semelhança de produtividade entre os tratamentos, pois, como mencionado anteriormente, a precipitação total registrada durante o ciclo esteve

dentro do intervalo adequado, limitando o efeito da cobertura vegetal sobre a produtividade.

5 CONCLUSÕES

Os resultados referentes às propriedades físicas do solo — densidade, porosidade total, microporosidade e macroporosidade — não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos avaliados, o que pode estar associado ao curto período de adoção do manejo, insuficiente para promover alterações expressivas nessas variáveis.

O armazenamento de água disponível apresentou diferença significativa em alguns dias ao longo do ciclo. Sempre que houve diferenças, os tratamentos com maior quantidade de palhada registraram as maiores médias. O tratamento sem cobertura vegetal apresentou a menor média de disponibilidade de água, com uma diferença de 6,6 mm em relação ao tratamento com maior quantidade de palhada.

A temperatura do solo variou nas duas camadas avaliadas (0–5 e 0–10 cm), havendo diferenças significativas nos tratamentos com menor cobertura vegetal, que apresentaram as maiores médias de temperatura. Na camada de 5 cm, observou-se uma diferença de 3,2°C entre o tratamento sem cobertura e aquele com 12 Mg ha^{-1} de palhada. Já na camada de 10 cm, a diferença foi de 2,6°C.

Em relação a produtividade e a produção de massa seca, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Esses resultados permitem concluir que a cobertura vegetal sobre o solo contribui para a redução da temperatura e, consequentemente, para a manutenção da água no perfil do solo, mantendo-a disponível às plantas por um período mais prolongado. Assim, evidencia-se o benefício da manutenção de palhada na superfície do solo como estratégia para a conservação hídrica e a estabilidade térmica.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R. C. **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: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/485005/plantas-de-cobertura-de-solo-para-sistema-plantio-direto. Acesso em: 22 abr. 2025.

ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; NOVOTNY, E. H. Manejo de solos. **Embrapa milho e sorgo.** Sistema de produção, 1, 2015. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27351/1/Manejo-de-solos-Plantas-cobertura.pdf. Acesso em: 15 de nov. 2025.

ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; VIANA, J. H. M. Manejo de solo: plantas de cobertura. **Embrapa Milho e Sorgo.** Sistema de produção, 2. ISSN 1679-012X, ed. 3, 2007. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/69859/1/Manejo-solos.pdf. Acesso em: 23 abr. 2025.

BREVILIERI, R. C. *et al*. **Efeito do uso de plantas de cobertura na entressafra na temperatura e umidade do solo e na produtividade da soja em Dourados, MS.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais. [Uberlândia]: SBCS: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/897940. Acesso em: 16 de nov. 2025.

CALEGARI, A. **Diversificação de sistemas produtivos através do uso adequado de plantas de cobertura, rotação de culturas no sistema plantio direto.** Londrina – PR. p. 1-15, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341193469_Diversificacao_-----_Texto_-_por_Calegari_SPD_janeiro_1. Acesso em: 27 nov. 2025.

CARVALHO, E. J. M., FREITAS, P. L. **Plantio direto:** Caminho para a agricultura sustentável. 2008. Disponível em:

https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/573572/1/Agriculturasustentavel.pdf. Acesso em: Acesso em: 17 abr. 2025.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira – grãos: Sétimo levantamento, abril 2025 – safra 2024/2025.: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2025. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/7o-levantamento-safra-2024-25/boletim-da-safra-de-graos. Acesso em: 28 de abr. 2025.

CONCEIÇÃO, C. P.; CALEGARI, A.; HOJO, R. H. **Plantas de cobertura e rotação de culturas.** Cap. 7, UTFRPR, Dois Vizinhos, PR. Editora cinco continentes Ltda, Porto Alegre, RS. 2017. p. 129-166. Disponível em: https://(PDF) Plantas de cobertura e rotação de culturas. Paulo Cesar Conceição, Ademir Calegari, Ronaldo Hissayuki Hojo. p. 129-166. In " Livro Sistema de produção: Soja Orgânica / Organização de Sergio Miguel Mazaro et al., UTFPR, Dois Vizinhos, PR. editora Cinco Continentes Ltda, Porto Alegre, RS. 2017. 244p. ISBN 9788586466595 CDD 633. Acesso em: 16 de nov. 2025.

CONCEIÇÃO, P. C.; CALEGARI, A.; HOJO, R. H. Plantas de cobertura e rotação de culturas. *In:* MAZARO, S. M. (Org). **Sistemas de produção:** soja orgânica. Porto Alegre – RS. Cinco Continentes LTDA, 2017. p. 129-166. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341610968_Plantas_de_cobertura_e_rotacao_de_culturas_Paulo_Cesar_Conceicao_Ademir_Calegari_Ronaldo_Hissayuki_Hojo_p_129-166_In_Livro_Sistema_de_producao_Soja_Organica_Organizacao_de_Sergio_Miguel_Mazaro_et_al_U. Acesso em: 10 abr. 2025.

CRUZ, J. C. *et al*. Manejo da cultura do milho. **Embrapa**, [*s.l*], 2006. Disponível em: https://core.ac.uk/download/pdf/15429281.pdf. Acesso em: 07 de maio 2025.

CRUZ, J. C., *et al*. Cultivo do milho. **Embrapa milho e sorgo**. Sistemas de produção, 2. ed. 6, set./2010. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27037/1/Plantio.pdf. Acesso em: Acesso em: 22 abr. 2025.

CRUZ, J. C., *et al.* **Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte. v. 22, n. 208, p. 13-24, jan./fev. 2001. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=+Plantio+direto+e+sustentabilidade+do+sistema+agr%C3%ADcola&btnG=. Acesso em: Acesso em: 14 abr. 2025.

DE ALCANTRA, R. M. C. *et al*. Fixação Biológica de Nitrogênio. **Embrapa.** cap. 8, [s.d]. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1085761/1/FixacaobiologicadeNitrogenio0001.pdf. Acesso em: 22 abr. 2025.

DE OLIVEIRA, M. L. *et al*. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 535-539, 2005. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Ymr9zy5DY4hMjYLhryPL7jM/. Acesso em: 16 de nov. 2025.

DENARDIN, E. J. Alternativa para aumento da produtividade da lavoura de grãos no Rio Grande do Sul. **CADERNOS PARA O FUTURO 4**, p. 66, 2018.

DENARDIN, J. E. *et al*. Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista. **Embrapa trigo**. dez. 2012. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/969148/diretrizes-do-sistema-plantio-direto-no-contexto-da-agricultura-conservacionista. Acesso em: 23 abr. 2025.

DENARDIN, J. E., FAGANELLO, A. Manejo do Solo e Sistema Plantio Direto. **Embrapa**, p. 59, 2016. Disponível em: https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/culturas_anuais/livros/500%20PERGUNTAS%20E%20RESPOSTAS%20SOBRE%20TRIGO%20EMBRAPA.pdf#page=60. Acesso em: 25 abr. 2025.

DOS SANTOS, J. K. **Parametrização do impacto da estrutura do solo em sistema plantio direto no crescimento radicular de soja e milho.** 2025. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo (USP). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALA/BC). Disponível em:

https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-13032025-161312/publico/John_Kennedy_dos_Santos_versao_revisada.pdf. Acesso em: 05 dez. 2025.

DRESCHER, M. S. *et al.* VI – Compactação do solo. In: DE LIMA, C. L. R. et al. **Física do solo**. 1ª Ed. Santa Maria – RS, 2023. p. 145-178.

DUARTE, J. O., MATTOSO, M. J., GARCIA, J. C. Milho: importância socioeconômica. **Embrapa**, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica. Acesso em: 24 abr. 2025.

Filho, A. P. Manejo de enraizamento no sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**. Ed. 174, p. 30-33, 30 mar. 2020. Disponível em: https://plantiodireto.com.br/artigos/68. Acesso em: 23 abr. 2025.

FONTANELI, R. S.; DOS SANTOS, H. P.; BAIER, A. C. Morfologia de leguminosas. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo**, 2009. Disponível em: https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/zootecnia/anaclaudiaruggieri/livrofonta-cap12.pdf. Acesso em: 07 de maio 2025.

Kaiser, D. R.; DA SILVA, V. R. IX – Água no solo. *In:* DE LIMA, C. L. R. et al. **Física do solo.** 1ª Ed. Santa Maria – RS, 2023. p. 221-274.

LANDAU, E. C., MAGALHÃES, P. C., GUIMARÃES, D. P. Relações com o clima. **Embrapa**, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/relacoes-com-o-clima. Acesso em: 06 de jul. 2025.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica de água no solo.** Editora Edusp. ed. 1, n. 344, 2005. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=qdZyHlGaXGsC&oi=fnd&pg=PA7&dq=din%C3%A2mica+de+agua+no+solo&ots=_5YaBlY2U1&sig=vxZiS5XdKM96I6w98cftjQBffyY. Acesso: 02 dez. 2025.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Fisiologia da produção. *In:* CRUZ, J. C. *et al.* A cultura do milho. **Embrapa.**1ª Ed. Sete Lagos – MG, 2008. p. 64-89. Disponível em:

https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/491689/1/A-cultura-do-milho.pdf. Acesso em: 02 dez. 2025.

MARCOLINI, Livia Weyand. **Produção e decomposição de coberturas vegetais de inverno e sua influência na infestação e fitossociologia de plantas daninhas.** 2009. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. Disponível em: https://repositorio.usp.br/item/001775123. Acesso em: 24 abr. 2025.

MUCHA, P. M. **Efeito da cobertura com resíduos vegetais na umidade e temperatura do solo.** Orientador: Douglas Rodrigo Kaiser. 2023.pg. 43. Trabalho de conclusão de curso – Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro largo – RS, 2023.

PES, L. Z.; ARENHARDT, M. H. **Solos.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Colégio Politécnico; Rede e-Tec Brasil, 2015. 90 p. ISBN 978-85-63573-78-0. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/04_solos.pdf. Acesso em: 05 dez. 2025.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Ciência & Ambiente, v.27, p.29-48, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/274250019_Qualidade_dos_solos_e_sustentabilidade_de_sistemas_agricolas. Acesso em: 14 de nov. 2025.

RODRIGUES, G. A. *et al.* Oscilações da temperatura do solo em função de quantidades de palha e horários ao longo do dia. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n.1, p. 293-304, 2018. Disponível em: https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/pt_BR/article/view/353/233. Acesso em: 10 dez. 2025.

SÁ, M. A. C., SANTOS JUNIOR, J. D. G. Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal. **Embrapa cerrados**, Planaltina, DF, ISSN 1517 – 5111, 2005. Disponível em:

https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/569996/1/doc136.pdf. Acesso em: 23 abr. 2025.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. Sistema radicular de plantas e qualidade do solo. Dourados – MS. **Embrapa Agropecuária Oeste**, p. 6, (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 198).

SALTON, J. C; HERNANI, L. C; FONTES, C. Z. 500 Perguntas 500 Respostas – Sistema Plantio Direto: conceitos. **Embrapa Agropecuária Oeste**, [*s.l],* 1988. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/98258/1/500perguntassistemaplantiodireto.pdf. Acesso em: 17 abr. 2025.

SEIDEL, E. P. *et al*. Efeito da época e sistema de semeadura da Brachiaria brizantha em consórcio com o milho, sobre os componentes de produção e propriedades físicas do solo. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 35, n.1, p. 55-66, 2014. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/items/7566fed9-e017-460f-94c0-b7ffe58bb9b8. Acesso em: 07 de maio 2025.

VIEIRA, F.F. *et al*. **Temperatura e umidade do solo em função do uso de cobertura marta no cultivo de milho.** Científica, Jaboticabal, v.48, n.3, p. 188-199, 2020. Disponível em: https://cientifica.dracena.unesp.br/index.php/cientifica/article/view/1264. Acesso em: 15 de nov. 2025.