

**FACULDADE PATOS DE MINAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

**LUCAS MATIAS DA SILVA**

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES SUBSTRATOS NA RESPOSTA MORFOLÓGICA  
INICIAL DO MILHO (*Zea mays*)**

**PATOS DE MINAS - MG  
2023**

**LUCAS MATIAS DA SILVA**

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES SUBSTRATOS NA RESPOSTA MORFOLÓGICA  
INICIAL DO MILHO (*Zea mays*)**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade Cidade de João  
Pinheiro, como requisito parcial para a  
conclusão de Graduação em Engenharia  
Agrônoma

Orientador: M.e. Wilyder Leandro Rocha  
Peres

**PATOS DE MINAS - MG  
2023**



**ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CURSO, APRESENTADO POR  
Lucas Matias da Silva  
COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ENGENHEIRO  
AGRÔNOMO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA**

Aos dias do mês e ano abaixo datado, reuniu-se, na Unidade JK da FPM, a Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia Agrônômica da Faculdade Patos de Minas, constituída pelos professores abaixo assinados, na prova de defesa de seu trabalho de curso intitulado:

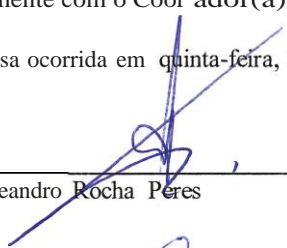
**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES SUBSTRATOS NA RESPOSTA MORFOLÓGICA INICIAL DO  
MILHO (Zea mays)**


Concluída a exposição, os examinadores arguíram alternadamente o graduando(a) sobre diversos aspectos da pesquisa e do trabalho, como REQUISITO PARCIAL DE CONCLUSÃO DE CURSO. Após a arguição, a comissão reuniu-se para avaliar o desempenho do(a) graduando(a), tendo chegado ao resultado, o(a) graduando(a)

Lucas Matias da Silva


foi considerado(a) **Aprovado(a)**. Sendo verdade eu, Prq.v.fjr. Saulo Gonçalves Pereira, Docente Responsável pela Disciplina de TC do Curso de Graduação em Engenharia Agrônômica, confirmo e lavro a presente ata, que assmo Juntamente com o Coordenador(a) do Curso e os demais Membros da Banca Examinadora.

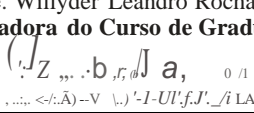
Patos de Minas - Defesa ocorrida em quinta-feira, 16 de novembro de 2023

  
\_\_\_\_\_  
Prof. M.e. Willyder Leandro Rocha Peres  
**Orientador(a)**

X  
  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Guilherme dos Reis Vasconcelos  
**Examinador(a) 1**

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Pedro Henrique de Castro Borges  
**Examinador(a) 2**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. M.e. Willyder Leandro Rocha Peres  
**Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Agrônômica**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Saulo Gonçalves Pereira

**Docente Responsável pela Disciplina de TC do Curso de Graduação em Eng. Agro.**

## INFLUÊNCIA DE DIFERENTES SUBSTRATOS NA RESPOSTA MORFOLÓGICA INICIAL DO MILHO (*Zea mays*)

## INFLUENCE OF DIFFERENT SUBSTRATES ON THE INITIAL MORPHOLOGICAL RESPONSE OF MAIZE (*Zea mays*)

Lucas Matias da Silva<sup>1</sup>

Willyder Leandro Rocha Peres<sup>2</sup>

### RESUMO

A cultura do milho é de grande importância social e econômica, sendo utilizada na alimentação humana e animal, além de ser uma matéria-prima crucial para diversas indústrias. A escolha do substrato adequado desempenha um papel fundamental no desenvolvimento inicial das plantas de milho, influenciando o crescimento da parte aérea e das raízes. Substratos que incluem solo de barranco e fibra de coco demonstraram proporcionar um crescimento mais robusto das plantas, destacando a relevância da composição do substrato na agricultura. O presente estudo avaliou a influência de diferentes substratos no desenvolvimento morfológico inicial do milho, testando cinco tratamentos que variaram desde solo de areia até a combinação de solo de barranco, areia e fibra de coco. Os resultados indicaram diferenças significativas entre os tratamentos, com os substratos contendo solo de barranco e fibra de coco promovendo o melhor desenvolvimento da parte aérea e das raízes das plantas de milho. Essas descobertas fornecem informações valiosas para otimizar o cultivo de milho e contribuir para a segurança alimentar e econômica. Concluiu-se, que o estudo destaca a relevância da escolha do substrato adequado no cultivo de milho. Os substratos que incorporam solo de barranco e fibra de coco mostraram-se mais eficazes no desenvolvimento inicial das plantas, o que tem implicações significativas para a agricultura, visando alcançar melhores rendimentos e promover a sustentabilidade na produção de milho.

**Palavras chave:** Cultivo, Desenvolvimento, Agricultura, Substratos.

### ABSTRACT

Maize cultivation holds significant social and economic importance as it is used in both human and animal nutrition and serves as a crucial raw material for various industries. The selection of the appropriate substrate plays a fundamental role in the initial development of maize plants, influencing the growth of both the aboveground and root parts. Substrates incorporating hillside soil and coconut fiber have shown to promote more robust plant growth, underscoring the relevance of substrate composition in agriculture. This study assessed the influence of different substrates on the initial morphological development of maize by testing five treatments ranging from sandy soil to a combination of hillside soil, sand, and coconut fiber. The results revealed

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrônoma, FPM, 2023. E-mail: [Lucasmatias2023@hotmail.com](mailto:Lucasmatias2023@hotmail.com)

<sup>2</sup> Professor Orientador da Pesquisa, FPM, 2023. Email [Willyderleandro@fpm.edu.br](mailto:Willyderleandro@fpm.edu.br)

significant differences among treatments, with substrates containing hillside soil and coconut fiber yielding the most favorable development of both the aboveground and root parts of maize plants. These findings provide valuable insights for optimizing maize cultivation practices and contributing to food and economic security. In conclusion, this study highlights the importance of selecting the appropriate substrate in maize cultivation. Substrates incorporating hillside soil and coconut fiber demonstrated superior effectiveness in the initial plant development, which carries significant implications for agriculture, aiming to achieve higher yields and promote sustainability in maize production.

**Keywords:** Cultivation, Development, Agriculture, Substrates.

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays L.*) possui uma significativa importância tanto social quanto econômica, devido ao seu valor nutricional e seu papel como matéria-prima para diversas indústrias. Os grãos de milho são utilizados tanto na alimentação humana quanto animal, e seu baixo custo de produção e facilidade de cultivo em diferentes escalas contribuem para sua importância social. Além disso, o milho desempenha um papel fundamental em várias cadeias agroindustriais, como a produção de carne (GALVÃO *et al.*, 2014).

Do ponto de vista econômico, o milho é utilizado de diversas formas, desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Na verdade, a maior parte do consumo de milho está relacionada à alimentação animal. Nos Estados Unidos, por exemplo, cerca de 50% da produção de milho é destinada a esse fim, enquanto no Brasil essa proporção varia entre 60% e 80%, dependendo das estimativas e do ano (CONAB, 2022).

O substrato desempenha funções importantes no cultivo do milho, como fornecer suporte para o desenvolvimento da parte aérea da planta e condições adequadas para o crescimento e funcionamento do sistema radicular. Além disso, o substrato protege as raízes contra danos mecânicos e desidratação, além de fornecer os nutrientes necessários para o crescimento das plantas (LISBOA *et al.*, 2012). Os substratos utilizados no cultivo do milho podem ser compostos por um único material ou pela combinação de diferentes tipos, como terra de subsolo, composto orgânico, moinha de carvão, casca de arroz carbonizada, vermiculita, areia, cama de aviário, esterco de curral curtido, lodo de esgoto, húmus de minhoca, entre outros (WEDLING, 2002).

De acordo com Ernani e Gianello (1983), algumas características desejáveis em um substrato incluem a capacidade de fornecer nutrientes de forma inerte, pH próximo à neutralidade, boa retenção de água, porosidade para permitir a oxigenação das raízes e proteção contra danos físicos às raízes (ERNANI; GIANELLO, 1983).

O desenvolvimento inicial da cultura do milho é uma fase crucial para alcançar altos rendimentos. A nutrição adequada da cultura e o uso de um substrato de cultivo apropriado são fatores essenciais para garantir uma boa adaptação e desenvolvimento morfológico da cultura (BARROS, 1997).

As respostas da cultura do milho aos diferentes substratos são variadas. Sabe-se que os substratos arenosos apresentam maior macroporosidade, permitindo uma melhor aeração do sistema radicular e trocas gasosas mais eficientes com o meio ambiente. No entanto, esses substratos possuem baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. Por outro lado, substratos com características argilosas possuem poros menores e alta capacidade de retenção de água e nutrientes, mas limitam a aeração do sistema radicular e a infiltração de água. Além disso, existem solos com uma textura intermediária entre arenosa e argilosa, frequentemente utilizados em proporções equilibradas, que apresentam características intermediárias desses dois tipos de solo (ERNANI; GIANELLO, 1983).

Se espera a partir do presente estudo, definir e exemplificar qual melhor substrato proporciona uma melhor performance do desenvolvimento morfológico inicial do milho.

A cultura do milho é bastante exigente no que se diz respeito ao seu desenvolvimento inicial, sabe-se ainda que o substrato ou solo onde a cultura está disposta tem influência direta no desenvolvimento. Sendo assim, o presente estudo se justifica pela extrema necessidade de se definir e exemplificar qual substrato proporciona um melhor desenvolvimento morfológico inicial para a cultura do milho.

O presente estudo tem como objetivo principal avaliar substratos no desenvolvimento morfológico inicial da cultura do milho, testando diferentes substratos, a fim de se obter um bom desenvolvimento inicial tanto em parâmetros morfológicos quanto fisiológicos da cultura estudada. Especificamente: I - Mensurar comprimento de parte aérea; II – Mensurar comprimento total de raiz; III - Mensurar massa fresca de parte aérea; IV – Mensurar massa fresca de sistema radicular; V – Avaliar germinação de sementes; VI – Mensurar diâmetro de colmo. Discutir os dados à luz da literatura.

## 2 METODOLOGIA

O experimento será conduzido em fazenda, localizada no município de Patos de Minas, no estado de Minas Gerais. A cultivar estudada no presente estudo será o híbrido de milho MG593 PWU. O município tem altitude média de 832 m, e o clima da região classificado segundo Koppen e Geiger como Aw (tropical, estação chuvosa de novembro a abril e nítida estação de seca no inverno, o mês mais frio do ano tem temperatura média superior a 18°C e o índice de pluviosidade anual superior a 750mm, atingindo até 1800mm (CPTEC, 2022).

Será utilizado o experimento em DIC (Delineamento inteiramente casualizado), sendo realizados cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando, assim, 20 parcelas no experimento. Os tratamentos serão definidos em areia (T1), solo barranco (T2), solo barranco com associação de areia na proporção (2:1) (T3), solo barranco com associação de areia na proporção 1:1 (T4) e, por fim, solo barranco + areia + fibra de coco na proporção (3:1:1) (T5).

**Tabela 1.** Descrição dos tratamentos no experimento em fazenda no município de Patos de Minas, Minas Gerais.

Tratamentos	Descrição	Volume (litros)
T <sub>1</sub>	Areia	8
T <sub>2</sub>	Solo barranco	8
T <sub>3</sub>	Solo barranco + areia (2:1)	8
T <sub>4</sub>	Solo barranco + areia (1:1)	8
T <sub>5</sub>	Solo barranco + areia + fibra de coco (3:1:1)	8

Fonte: Autor próprio, 2022.

Aos 20 dias será avaliada a morfologia do sistema radicular. As plantas serão retiradas dos substratos e colocadas sobre bancadas, as raízes, por sua vez, serão submetidas à lavagem em água corrente, em peneiras de malha inferior a 1 mm, até a total retirada do solo. As raízes serão colocadas em uma folha de papel branca tipo A4, para produzir um contraste de fundo, e todo o conjunto ser avaliado em fotos.

Dois parâmetros relacionados à morfologia do sistema radicular serão estimados: comprimento total de raízes e volume total delas. Após a separação morfológica do material, será pesado em balança de bancada de precisão para aferição de massa de matéria fresca. Foram realizadas as avaliações de altura da parte aérea, com o auxílio de régua graduada e, também, foi avaliado o diâmetro

médio do caule (2 cm acima do solo), com paquímetro digital, além destas avaliações ainda será mensurada a germinação de sementes.

As médias serão submetidas a análise de variância (ANOVA), e posteriormente as médias dos tratamentos serão submetidas à análise de comparação múltipla pelo teste de Tukey e, diferenças em  $p < 0,05$  serão consideradas significativas. Para as análises dos dados será utilizado o software estatístico SISVAR.

O modelo matemático utilizado será:  $\hat{y}_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$ , onde:  $\hat{y}_{ij}$  é o efeito do tratamento  $i$  na repetição  $j$ ,  $\mu$  é a constante associada a todas as observações;  $\tau_i$  = o efeito do tratamento, com  $i = 1, 2, 3$  e  $4$ ; e  $e_{ij}$  corresponde ao erro experimental associado a  $Y$ , independente, que por hipótese, apresenta distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$ .

### 3 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO MILHO

O milho (*Zea mays L.*) apresenta uma grande importância econômica em diversas áreas, sendo uma matéria-prima fundamental para indústrias e desempenhando um papel crucial na alimentação humana e animal (SMITH *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2018). Sua alta qualidade nutricional, especialmente em termos de valor proteico, o torna amplamente utilizado na alimentação animal, com uma significativa parcela do consumo destinada a essa finalidade nos Estados Unidos e no Brasil (ALVES *et al.*, 2019; LADEIRA *et al.*, 2021).

Além disso, o milho é um alimento de baixo custo e possui um fácil cultivo, tanto em grande como em pequena escala, o que o torna acessível para diferentes segmentos da população (SOUZA *et al.*, 2018). Essa acessibilidade contribui para a segurança alimentar e para a oferta de alimentos nutritivos a preços acessíveis, desempenhando um papel importante na redução da fome e da desnutrição (ALVES *et al.*, 2019).

Do ponto de vista econômico, o milho desempenha um papel crucial em diversas cadeias agroindustriais, como a indústria de carnes, na qual é utilizado como ração para a produção de animais, como aves, suínos e bovinos (MARTINS *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2017). Essa interação entre a cultura do milho e a indústria agropecuária é essencial para o desenvolvimento econômico e a geração de empregos em diferentes regiões (ALVES *et al.*, 2019).



Portanto, a importância econômica do milho se manifesta tanto na sua produção e comercialização como na sua participação em diversas cadeias produtivas. É uma cultura versátil, com ampla aplicação em diferentes setores da economia, desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia, e desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico e social de diversos países (PEREIRA *et al.*, 2017; SMITH *et al.*, 2020).

#### **4 IMPORTÂNCIA DO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO MILHO**

O desenvolvimento inicial do milho desempenha um papel fundamental para alcançar altos rendimentos na produção dessa cultura. A nutrição adequada da planta durante essa fase é essencial para promover um crescimento saudável e vigoroso (BARROS, 1997; MALAVOLTA *et al.*, 2017).

Durante o estágio inicial, a planta de milho passa por uma série de processos morfológicos e fisiológicos importantes, incluindo a formação das raízes e do sistema radicular, o desenvolvimento das folhas e da parte aérea, além da absorção de nutrientes e água do solo (SILVA *et al.*, 2019; BARBOSA *et al.*, 2020).

Uma nutrição adequada, em conjunto com a utilização de substratos de cultivo apropriados, desempenha um papel essencial para assegurar a adaptação e o desenvolvimento adequado da cultura do milho (BARROS, 1997). Diferentes substratos podem influenciar a resposta morfológica inicial do milho, afetando o desenvolvimento radicular, a absorção de nutrientes, a aeração do sistema radicular e a disponibilidade de água (ERNANI; GIANELLO, 1983; SILVA *et al.*, 2019).

É importante compreender os efeitos dos substratos utilizados no desenvolvimento inicial do milho, pois isso pode auxiliar na seleção e utilização de substratos adequados para promover um crescimento ótimo das plântulas de milho. A escolha correta dos substratos pode influenciar diretamente o estabelecimento inicial da cultura, afetando seu potencial produtivo ao longo do ciclo de crescimento (BARBOSA *et al.*, 2020).

Portanto, a compreensão da importância do desenvolvimento inicial do milho e dos efeitos dos diferentes substratos utilizados nessa fase é crucial para otimizar a produção e obter melhores resultados no cultivo dessa cultura (MALAVOLTA *et al.*, 2017).

## 5 INFLUÊNCIA DAS DIFERENTES TEXTURAS DE SOLO NO CULTIVO DE CEREAIS

A textura do solo exerce uma influência significativa no cultivo de cereais, incluindo o milho. Os diferentes tipos de texturas, como solo arenoso, solo argiloso e solo argilo-arenoso, apresentam características distintas que podem afetar o desenvolvimento e a produtividade das plantas de milho (SOUZA *et al.*, 2018; GOMES *et al.*, 2021).

Os solos arenosos são caracterizados por uma maior macroporosidade, o que permite uma melhor aeração do sistema radicular e trocas gasosas mais eficientes com o meio ambiente. No entanto, esses solos têm baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, o que pode resultar em menor disponibilidade desses recursos para as plantas (SOUZA *et al.*, 2018; GOMES *et al.*, 2021).

Por outro lado, os solos argilosos possuem menor porosidade e alta capacidade de retenção de água e nutrientes. Isso pode favorecer o suprimento hídrico e nutricional para as plantas, porém, a baixa aeração do sistema radicular pode limitar o crescimento e o desenvolvimento do milho (SOUZA *et al.*, 2018; GOMES *et al.*, 2021).

Já os solos argilo-arenosos, que são uma mistura de areia e argila, apresentam características intermediárias entre os solos arenosos e argilosos. Essa textura equilibrada permite uma retenção moderada de água e nutrientes, além de uma aeração adequada do sistema radicular (SOUZA *et al.*, 2018; GOMES *et al.*, 2021).

A compreensão da influência das diferentes texturas de solo no cultivo de cereais, como o milho, é importante para a adoção de práticas de manejo adequadas. Isso inclui a seleção de cultivares adaptadas às características do solo, a implementação de técnicas de manejo da água e dos nutrientes, bem como o uso de práticas de conservação do solo para melhorar sua estrutura e fertilidade (GOMES *et al.*, 2021).

Dessa forma, o conhecimento sobre a influência das diferentes texturas de solo no cultivo de cereais, como o milho, contribui para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes e sustentáveis de manejo agrícola, visando a maximização da produtividade e a otimização do uso dos recursos naturais.

## 5.1 Substratos no cultivo de milho

O uso de substratos no cultivo de milho desempenha um papel importante para promover o desenvolvimento inicial da cultura. Diferentes tipos de substratos podem influenciar diretamente a resposta morfológica e fisiológica das plantas de milho, afetando seu crescimento, absorção de nutrientes e disponibilidade de água (ERNANI; GIANELLO, 1983; LISBOA *et al.*, 2012).

Os substratos utilizados podem ser compostos por um único material ou pela combinação de diferentes componentes, como terra de subsolo, composto orgânico, casca de arroz carbonizada, vermiculita, areia, entre outros (WEDLING, 2002). Cada tipo de substrato apresenta características distintas que podem influenciar o desenvolvimento inicial do milho.

Por exemplo, substratos arenosos são conhecidos por possuir maior macroporosidade, permitindo uma melhor aeração do sistema radicular e trocas gasosas mais eficientes. No entanto, eles possuem baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, o que pode demandar uma maior frequência de irrigação e adubação para suprir as necessidades da cultura (ERNANI; GIANELLO, 1983).

Já os substratos argilosos apresentam menor porosidade, o que pode limitar a aeração do sistema radicular. No entanto, eles possuem alta capacidade de retenção de água e nutrientes, garantindo um suprimento adequado para as plantas. Esses substratos podem ser vantajosos em regiões com menor disponibilidade hídrica, pois reduzem a frequência de irrigação necessária (LISBOA *et al.*, 2012; ERNANI; GIANELLO, 1983).

Além disso, existem substratos compostos por uma combinação de materiais, como a mistura de solo arenoso e argiloso em proporções equilibradas. Esses substratos oferecem características intermediárias, proporcionando uma aeração adequada do sistema radicular, retenção moderada de água e nutrientes, e um ambiente favorável para o desenvolvimento inicial do milho (ERNANI; GIANELLO, 1983).

Portanto, a escolha adequada do substrato no cultivo de milho é essencial para proporcionar as condições ideais para o desenvolvimento inicial da cultura. A seleção do substrato adequado pode auxiliar no estabelecimento saudável das plantas, promovendo um crescimento vigoroso, uma melhor absorção de nutrientes e água, e,

conseqüentemente, contribuindo para a obtenção de maiores rendimentos na produção de milho.

## 5.2 Substratos na Germinação de Sementes

A germinação de sementes de milho é um processo crucial para a produção agrícola, e a escolha do substrato adequado desempenha um papel fundamental nesse processo. Diversos estudos têm explorado como diferentes tipos de substratos podem afetar a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas de milho.

Em um estudo realizado por Silva *et al.*, (2018), foram comparados diferentes substratos, incluindo solo, substrato comercial à base de turfa e substrato à base de fibra de coco, quanto à sua influência na germinação de sementes de milho. Os resultados demonstraram que o substrato à base de fibra de coco apresentou uma taxa de germinação significativamente superior em comparação com os outros substratos testados. Isso pode ser atribuído às propriedades físicas desse substrato, como boa retenção de água e aeração adequada, que proporcionam condições ideais para a germinação das sementes de milho (Silva *et al.*, 2018).

Além disso, a pesquisa conduzida por Souza *et al.*, (2020) investigou a influência da adição de diferentes proporções de perlita, um substrato inerte e leve, em misturas de solo para a germinação de sementes de milho. Os resultados indicaram que a adição de perlita promoveu uma melhoria na aeração do substrato, resultando em um aumento na taxa de germinação e no desenvolvimento inicial das plântulas de milho (SOUZA *et al.*, 2020).

Contudo, é importante considerar que as características específicas das sementes de milho, como tamanho e sensibilidade à umidade, também podem influenciar a escolha do substrato. Sementes de milho são sensíveis à compactação do solo, o que pode dificultar a emergência das plântulas. Portanto, substratos que ofereçam uma estrutura solta e porosa são mais adequados para a germinação bem-sucedida do milho (GRIS, 2005).

Sendo assim, a escolha do substrato desempenha um papel crítico na germinação de sementes de milho. A seleção de substratos que proporcionam aeração adequada, retenção de água equilibrada e boa estrutura é essencial para promover a taxa de germinação e o desenvolvimento saudável das plântulas de milho.

### 5.3 Características nutricionais e físicas dos substratos

O processo de germinação de sementes é influenciado de forma crítica pelas características nutricionais e físicas dos substratos nos quais as sementes são plantadas. A composição nutricional dos substratos desempenha um papel crucial na germinação e no crescimento inicial das plântulas. Conforme indicado por Kramer *et al.*, (2019), nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio são fundamentais para o desenvolvimento das primeiras raízes e folhas das plântulas.

Para além desses macronutrientes, a presença adequada de micronutrientes também é vital para o sucesso da germinação. Conforme observado por Maguire (1962), elementos como ferro, zinco e cobre têm um impacto significativo no desenvolvimento saudável das plântulas. A ausência ou deficiência desses micronutrientes pode prejudicar o crescimento inicial das plantas.

A manutenção de concentrações adequadas de nutrientes no substrato é essencial para garantir a germinação bem-sucedida. Concentrações excessivamente altas podem levar a problemas de salinidade, como mencionado por Kramer *et al.*, (2019), enquanto concentrações muito baixas podem resultar em deficiências nutricionais prejudiciais. O equilíbrio na composição nutricional é um fator determinante para o desenvolvimento inicial saudável.

No contexto das características físicas do substrato, a estrutura e a composição também desempenham um papel fundamental. A adequada drenagem do substrato é vital para evitar o encharcamento das raízes e garantir a disponibilidade de oxigênio, como discutido por Kubota *et al.*, (2008). Ao mesmo tempo, a capacidade de retenção de água é crucial para manter as sementes hidratadas durante a germinação.

Uma estrutura física apropriada do substrato é um pré-requisito para o crescimento bem-sucedido das plântulas. Kubota *et al.*, (2008) observam que um substrato bem aerado, com partículas de tamanho adequado, facilita a penetração das raízes e proporciona um ambiente propício para o desenvolvimento inicial das plântulas. Por outro lado, substratos excessivamente compactados podem prejudicar a emergência das plântulas.

### 5.4 Aplicações práticas de diferentes substratos na cultura do milho

Na cultura do milho (*Zea mays*), a escolha do substrato adequado desempenha um papel crucial para otimizar o crescimento das plantas e a produtividade. Diferentes tipos de substratos têm sido explorados em aplicações práticas para influenciar diversos aspectos do cultivo do milho.

Uma abordagem comum é o uso de substratos à base de solo enriquecidos com materiais orgânicos e minerais. A adição de matéria orgânica, como composto ou húmus, melhora a estrutura do solo, aumenta a retenção de água e fornece nutrientes essenciais para o crescimento das plantas de milho (Vieira *et al.*, 2015). Essa prática pode resultar em um aumento na produtividade e qualidade das espigas de milho.

Além disso, a utilização de substratos à base de fibra de coco tem se mostrado promissora na cultura do milho. A fibra de coco possui boa capacidade de retenção de água e aeração, o que proporciona um ambiente favorável para o desenvolvimento radicular das plantas de milho (Hossain *et al.*, 2019). Estudos têm demonstrado que o uso de substratos de fibra de coco pode resultar em melhorias no crescimento das plantas, bem como na absorção eficiente de nutrientes.

Outra alternativa é a utilização de substratos à base de vermiculita ou perlita, que são materiais leves e inorgânicos. Esses substratos oferecem excelente aeração e drenagem, reduzindo o risco de compactação do solo e melhorando o desenvolvimento das raízes de milho (García-Orellana *et al.*, 2018). Esses substratos são particularmente úteis em ambientes onde o solo nativo possui baixa porosidade.

Além disso, a prática de cultivo hidropônico utilizando substratos inertes, como argila expandida, tem ganhado atenção na produção de milho. Nesse sistema, as plantas crescem em substratos que fornecem suporte mecânico, enquanto os nutrientes são fornecidos através de soluções nutritivas. O cultivo hidropônico pode resultar em um crescimento mais rápido e uma utilização eficiente de água e nutrientes (Li *et al.*, 2019).

## **6 MECANISMOS DE INTERAÇÃO PLANTA-SUBSTRATO**

Os mecanismos de interação entre as plantas e o substrato desempenham um papel central na germinação de sementes e no subsequente desenvolvimento das plântulas. Essa relação complexa envolve uma série de processos físicos, químicos e biológicos que afetam o crescimento das plantas desde os estágios iniciais.

Em termos físicos, a interação planta-substrato começa com a capacidade do substrato de fornecer um suporte adequado para as raízes em crescimento. A estrutura do substrato influencia a penetração das raízes, a ancoragem das plantas e a disponibilidade de oxigênio. Substratos bem aerados, como substratos à base de perlita ou vermiculita, promovem o desenvolvimento radicular saudável ao permitir a circulação eficiente de ar e água (Moral *et al.*, 2020).

Além disso, a interação planta-substrato envolve trocas químicas essenciais. A disponibilidade de nutrientes no substrato afeta diretamente a nutrição das plantas. Mecanismos de adsorção e troca iônica no substrato influenciam a absorção de nutrientes pelas raízes. Por exemplo, substratos enriquecidos com nutrientes, como substratos à base de matéria orgânica, fornecem uma fonte constante de nutrientes essenciais para as plântulas (Ngo *et al.*, 2019).

Outra interação relevante é a capacidade do substrato de reter água. A germinação e o crescimento inicial das plântulas dependem da disponibilidade constante de água. Substratos com boa capacidade de retenção de água, como substratos à base de fibra de coco, fornecem um suprimento estável de água para as plântulas durante a fase inicial de crescimento (Yildiz *et al.*, 2021).

Os mecanismos biológicos também desempenham um papel nessa interação. A presença de microrganismos benéficos no substrato pode promover o desenvolvimento de simbiose entre as raízes das plantas e os microrganismos. Isso pode melhorar a absorção de nutrientes, auxiliar na resistência a patógenos e contribuir para a saúde geral das plantas (Moral *et al.*, 2020).

## **7 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados apresentados na Tabela 2 fornecem uma visão detalhada do desenvolvimento morfológico inicial de plantas de milho submetidas a diferentes substratos. Neste estudo, foram analisados quatro parâmetros-chave: o comprimento da parte aérea (CPA), o comprimento das raízes (CTR), a massa fresca da parte aérea (MFPA) e a massa fresca das raízes (MFR). Os resultados revelam diferenças significativas entre os tratamentos, com letras diferentes indicando níveis de significância estatística. Essas descobertas são de grande relevância para a compreensão do impacto dos substratos na fase inicial de crescimento do milho,

forneendo informações valiosas para a otimização de práticas de cultivo e o desenvolvimento de estratégias agrícolas mais eficazes.

**Tabela 2.** Comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CTR), massa fresca de parte aérea (MFPA), massa fresca de raiz (MFR) no desenvolvimento morfológico inicial de milho a partir de diferentes substratos.

Tratamento	CPA (cm)	CTR (cm)	MFPA (g)	MFR (g)
T1 - Areia	43,50c	47,20c	27,50d	29,80e
T2 - Solo barranco	44,25c	49,43c	28,35d	32,40d
T3 - Solo barranco + areia (2:1)	49,00b	55,25b	35,60c	39,54c
T4 - Solo barranco + areia (1:1)	52,40a	55,00b	48,36b	45,45b
T5 - Solo barranco + areia + fibra de coco (3:1:1)	52,30a	59,00a	55,75a	49,78a

\*Médias seguidas pelas mesmas letras não apresentam diferenças estatísticas significativas conforme o teste de Tuckey, ao nível de 5% de probabilidade ( $p>0,05$ ).

Os resultados da análise do comprimento da parte aérea (CPA) das plantas de milho submetidas a diferentes tratamentos de substrato revelam variações notáveis no desenvolvimento inicial das plantas. Inicialmente, observamos que as plantas cultivadas no tratamento T1, que consiste em solo de areia, apresentaram um CPA médio de 43,50 cm. Isso sugere que a areia como substrato pode não ser ideal para promover um rápido crescimento da parte aérea das plantas de milho. No entanto, quando o solo de barranco (T2) foi utilizado, houve um aumento no CPA médio para 44,25 cm, embora ainda não tenha atingido diferenças estatísticas significativas em relação ao tratamento com areia. Essa discrepância pode ser atribuída às propriedades nutricionais e de retenção de água do solo de barranco em comparação com a areia.

O grande destaque surge quando consideramos os tratamentos T3, T4 e T5, que incorporam diferentes proporções de solo de barranco, areia e fibra de coco. Nesses casos, observamos um notável aumento no CPA médio à medida que a proporção de solo de barranco e fibra de coco aumenta. Especificamente, os tratamentos T4 e T5, que têm uma alta proporção de solo de barranco, demonstraram os maiores valores de CPA (52,40 cm e 52,30 cm, respectivamente), e essas médias foram estatisticamente diferentes dos tratamentos anteriores. Isso sugere que a presença de solo de barranco, com sua maior capacidade de retenção de água e nutrientes em comparação com a areia, pode promover um crescimento mais vigoroso da parte aérea das plantas de milho.



Essas descobertas estão em consonância com estudos anteriores que enfatizam a importância da composição do substrato na germinação e no crescimento inicial de plantas (WEDLING, 2019). A retenção de água, a disponibilidade de nutrientes e a aeração do solo desempenham papéis cruciais nesse processo, influenciando diretamente o desenvolvimento da parte aérea das plantas. Portanto, a escolha do substrato adequado desempenha um papel fundamental no estabelecimento bem-sucedido das culturas de milho e, conseqüentemente, na produção agrícola.

A análise do comprimento das raízes (CTR) nas plantas de milho sujeitas a diferentes tratamentos de substrato também revela insights interessantes sobre o desenvolvimento inicial das raízes. Inicialmente, observamos que as plantas cultivadas no tratamento T1, que consiste em solo de areia, apresentaram um CTR médio de 47,20 cm. Isso sugere que a areia, embora tenha mostrado resultados menos favoráveis para o comprimento da parte aérea, ainda permitiu um desenvolvimento razoável das raízes.

No entanto, quando o solo de barranco foi usado (T2), houve um aumento significativo no CTR médio para 49,43 cm. Esse resultado indica que o solo de barranco, com suas características de retenção de água e textura, pode ser mais adequado para o crescimento inicial das raízes das plantas de milho em comparação com a areia.

Os tratamentos T3, T4 e T5, que incorporam diferentes proporções de solo de barranco, areia e fibra de coco, mostraram um aumento progressivo no CTR médio à medida que a proporção de solo de barranco e fibra de coco aumentou. Especificamente, os tratamentos T4 e T5, com uma alta proporção de solo de barranco, demonstraram os maiores valores de CTR (55,00 cm e 59,00 cm, respectivamente). Essas médias foram estatisticamente diferentes dos tratamentos anteriores, indicando que a presença de solo de barranco e fibra de coco na composição do substrato promoveu um crescimento mais vigoroso das raízes das plantas de milho.

Essas descobertas estão em conformidade com estudos anteriores que destacaram a importância do substrato na influência do desenvolvimento radicular das plantas (GRIS, 2021). A retenção de água, a estrutura do solo e a disponibilidade de nutrientes desempenham um papel crucial no estabelecimento das raízes e, portanto, na saúde geral da planta.

A análise da massa fresca da parte aérea (MFPA) nas plantas de milho submetidas a diferentes tratamentos de substrato também apresenta descobertas notáveis no que diz respeito ao desenvolvimento inicial das plantas. Inicialmente, observamos que as plantas cultivadas no tratamento T1, que consiste em solo de areia, apresentaram uma média de MFPA de 27,50 g. Isso sugere que a areia como substrato pode não ser ideal para promover uma acumulação significativa de massa fresca na parte aérea das plantas de milho em suas fases iniciais.

Quando o solo de barranco (T2) foi utilizado, houve um aumento no MFPA médio para 28,35 g, embora ainda não tenha atingido diferenças estatísticas significativas em relação ao tratamento com areia. No entanto, o resultado mais notável surge quando consideramos os tratamentos T3, T4 e T5, que incorporam diferentes proporções de solo de barranco, areia e fibra de coco. Nesses casos, observamos um crescimento significativo no MFPA à medida que a proporção de solo de barranco e fibra de coco aumenta. Especificamente, os tratamentos T4 e T5, com uma alta proporção de solo de barranco, demonstraram os maiores valores de MFPA (48,36 g e 55,75 g, respectivamente), e essas médias foram estatisticamente diferentes dos tratamentos anteriores. Isso sugere que a presença de solo de barranco e fibra de coco na composição do substrato promoveu uma acumulação mais substancial de massa fresca na parte aérea das plantas de milho em comparação com os substratos anteriores.

Essas descobertas estão em consonância com pesquisas anteriores que destacaram a influência crítica da composição do substrato na nutrição e crescimento das plantas (GOMES, 2021). A retenção de água, a disponibilidade de nutrientes e a estrutura do solo são fatores que desempenham papéis essenciais na acumulação de massa fresca na parte aérea das plantas e, portanto, na produção agrícola.

A análise da massa fresca das raízes (MFR) nas plantas de milho submetidas a diferentes tratamentos de substrato também fornece insights valiosos sobre o desenvolvimento inicial das raízes. Inicialmente, observamos que as plantas cultivadas no tratamento T1, que consiste em solo de areia, apresentaram uma média de MFR de 29,80 g. Isso sugere que a areia como substrato resultou em um acúmulo relativamente baixo de massa fresca nas raízes das plantas de milho em suas fases iniciais.

Quando o solo de barranco (T2) foi utilizado, houve um aumento no MFR médio para 32,40 g, embora ainda não tenha atingido diferenças estatísticas significativas

em relação ao tratamento com areia. Entretanto, os resultados mais notáveis surgem quando consideramos os tratamentos T3, T4 e T5, que incorporam diferentes proporções de solo de barranco, areia e fibra de coco. Nesses casos, observamos um aumento progressivo no MFR à medida que a proporção de solo de barranco e fibra de coco aumenta. Especificamente, os tratamentos T4 e T5, com uma alta proporção de solo de barranco, demonstraram os maiores valores de MFR (45,45 g e 49,78 g, respectivamente), e essas médias foram estatisticamente diferentes dos tratamentos anteriores. Isso sugere que a presença de solo de barranco e fibra de coco na composição do substrato promoveu um acúmulo mais substancial de massa fresca nas raízes das plantas de milho em comparação com os substratos anteriores.

Essas descobertas corroboram com pesquisas anteriores que destacaram a importância da composição do substrato na nutrição e crescimento das raízes das plantas (WEDLING, 2002). A capacidade de retenção de água, a disponibilidade de nutrientes e a estrutura do solo são fatores críticos que influenciam a acumulação de massa fresca nas raízes, afetando assim o desenvolvimento e a saúde geral das plantas.

## 8 CONCLUSÃO

Os resultados desta análise destacam a influência significativa da composição do substrato no desenvolvimento morfológico inicial das plantas de milho. Foi evidenciado que a escolha do substrato adequado desempenha um papel crucial no crescimento da parte aérea, no desenvolvimento das raízes e na acumulação de massa fresca das plantas. Os tratamentos que incluíram solo de barranco e fibra de coco mostraram resultados superiores, promovendo um crescimento mais vigoroso tanto da parte aérea quanto das raízes. Essas descobertas são essenciais para orientar práticas agrícolas mais eficazes e maximizar a produção de milho nas fases iniciais de crescimento.

## REFERÊNCIAS

ALVES, E. U.; FERREIRA, E. B.; ANDRADE, E. M.; MARTINS, G. C. **Importância do milho para a segurança alimentar e nutricional**. Embrapa Milho e Sorgo, 2019.

BARBOSA, C. F.; OLIVEIRA, C. M.; ROCHA, J. D.; ALMEIDA, C. C. Influência da nutrição mineral e da adubação foliar no desenvolvimento inicial do milho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, [s. /], v. 19, n. 2, p. 158-168, 2020.

BARROS, N. F. **O papel dos nutrientes na nutrição das plantas**. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 9-31.

BARROS, N.F. **Nutrição e adubação de milho**. Belo Horizonte: EPAMIG, v.18, p.70-75, 1997 (Informe Agropecuário, 186).Anual. 2002.

CONAB, **Companhia Nacional de Abastecimento. Produção de grãos chega a 251,9 milhões de toneladas e matem recorde de safra**. Glossário. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3282-producao-de-graos-chega-a-251-9-milhoesde-toneladas-e-mantem-recorde-da-safra-brasileira>. Acesso em: 10 de março de 2023.

ERNANI, P.R.; GIANELLO, C. Diminuição do alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e camas de aviário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.2, p.161-165, 1983.

GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; TROGELLO, E. FRITSCHÉ-NETO, R. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. **Revista Ceres**, v. 61, p. 819-828, 2014.

GARCÍA-ORELLANA, Y., ARELLANO-TORRES, J. R., RAMÍREZ-VALLEJO, P., MONTAÑO-MATA, N. J., & PIMENTEL-GONZÁLEZ, D. J. (2018). Evaluación de dos sustratos y tres variedades de maíz (*Zea mays* L.) en el valle de San Luis Potosí, México. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, 9(5), 1081-1091.

GOMES, M. F.; SILVA, R. L. B.; COSTA, M. A. S.; SILVA, D. V. Textura do solo e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 10, p. 784-789, 2021.

GRIS, C. F. (2005). *Sistemas de produção de milho*. Londrina: **Embrapa Soja**.

HOSSAIN, M. M., HOQUE, M. A., & HANNAN, M. M. (2019). Effect of coconut coir dust on the growth and yield performance of maize (*Zea mays* L.). **Asian Journal of Advances in Agricultural Research**, 11(3), 1-7.

KRAMER, A., SCHREINER, M., MASCHER, F., SEREK, M., THIEM, D., 2019. Sustainable and organic growing media in horticulture. *Front. Plant Science*. 10, 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00235>.

KUBOTA, M., MCGOVERN, R.J., JAVOT, H., WONG, J.C., TYERMAN, S.D., 2008. Enhanced Na<sup>+</sup> exclusion traits, and Mg<sup>2+</sup> and Ca<sup>2+</sup> selective cation channels in salinized diploid wheat roots. **Plant and Soil**, 302(1-2), 249-262. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9487-x>.

LADEIRA, M. M.; GONÇALVES, B. L. S.; RIBEIRO, M. L. Uso de milho em dietas de suínos. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 18, n. 3, p. 1150-1162, 2021.

LI, S., XUE, L., XU, L., LI, S., ZHANG, L., LI, Y.; SHAO, L. (2019). Effects of Different Cultivation Substrates on Growth, Physiology, and Nutrient Uptake of Maize (*Zea mays* L.) in Hydroponics. **Agronomy**, 9(7), 354.

LISBOA, AC, SANTOS, PS DOS; OLIVEIRA NETO, SN DE; CASTRO, DN DE; ABREU, AHM DE. Efeito do Volume de Tubetes na Produção de Mudanças de *Calophyllum brasiliense* e *Toonaciliata*. **Revista Árvore**, 2012; 36(4): 603-609.

MAGUIRE, J.D., 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, 2(1), 176-177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Nutrição e adubação do milho**. 11. ed. Piracicaba: IPNI, 2017.

MARTINS, E. N.; SOUZA, L. H. P.; GUIMARÃES, R. G.; FERNANDES, M. H. N. Produção de carne de frangos de corte com diferentes níveis de substituição do milho por sorgo. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 72, n. 2, p. 528-534, 2020.

MORAL, R., PAREDES, C., BUSTAMANTE, M. A., MARHUENDA-EGEA, F. C., BERNAL, M. P., & PASCUAL, J. A. (2020). The use of different biostimulants as supplements for peat and coconut coir based growing media for lettuce. **Scientia Horticulturae**, 265, 109233.

NGO, H. T., DUPONNOIS, R., BA, A. M., OUMBE, T. E., EDOUKOU, A. M. N., & THIOULOUSE, J. (2019). Organic amendment and plant growth stage induce soil bacterial community shifts and stimulate root colonization by native mycorrhizal fungi in a shrub agroecosystem. **Applied Soil Ecology**, 135, 126-133.

PEREIRA, F. M.; SILVA, A. S.; SANTOS, F. S.; MARTINS, T. M. Importância do milho na produção de carne de frango e suína. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 14, n. 4, p. 3972-3984, 2017.

SILVA, A. A.; OLIVEIRA, F. T. A.; GOMES, D. P. F.; LIMA, A. M. Desenvolvimento inicial do milho em diferentes substratos e doses de adubação nitrogenada. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 31, p. 680-690, 2019.

SILVA, L. S. DA, CARVALHO, L. M. DE, MOURA, W. M. DE, MOTA, T. R. DE O.; MACIEL, T. DE O. (2018). Germinação de sementes de milho em diferentes substratos. **Revista Agro@ambiente On-line**, 12(3), 253-259.

SMITH, J. S. C.; SILVA, P. S.; BARROS, A. A.; OLIVEIRA, C. P. **Milho para a alimentação humana: o milho como alimento de base**. Embrapa Milho e Sorgo, 2020.

SOUZA, D. M.; QUEIROZ, R. P.; VIANA, P. A. **Relação solo-planta no cultivo do milho**. Embrapa Milho e Sorgo, 2018.

SOUZA, L. M. DE, LANA, R. M. Q., MARTINS, C. G., CARDOSO, M. DE M., LANA, A. M. Q., & MELO, P. C. T. DE. (2020). Desempenho agrônômico inicial de milho em substrato com perlita. **Research, Society and Development**, 9(8), e224985370.

VIEIRA, L. M., OLIVEIRA, M. C., & VIEIRA, R. F. (2015). Crescimento e nutrição mineral de milho cultivado em solo tratado com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39(1), 172-182.

WEDLING, D. **Substratos para a produção de mudas**. In: WENDLING, I.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; GUEDES, R. S.; STUEPP, C. A. (Ed.). Produção de mudas de espécies florestais. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. p. 163-192.

WENDLING, I. Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas. Viçosa: **UFV**, p.4, 2002.

YILDIZ, H., TÜZEL, Y.; GÜNGÖR, M. (2021). Effect of Different Growing Media on Germination of Ornamental Pepper (*Capsicum annuum* L. cv. 'Kriket'). **Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences**, 8(3), 501-507.