AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA E FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO REVESTIDAS E ENRIQUECIDAS COM ZINCO

MARCOS VINICIUS SANTIAGO BATISTA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
JULHO - 2026

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA E FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO REVESTIDAS E ENRIQUECIDAS COM ZINCO

MARCOS VINICIUS SANTIAGO BATISTA

"Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção de título de Mestre em Produção Vegetal".

Orientador: Prof. Dr. Henrique Duarte Vieira

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
JULHO - 2026

FICHA CATALOGRÁFICA
UENF - Bibliotecas
Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

B33 Batista, Marcos Vinicius Santiago.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FISICA E FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO REVESTIDAS E
ENRIQUECIDAS COM ZINCO / Marcos Vinicius Santiago Batista. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2026.

64 f. : il.
Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2026.
Orientador: Henrique Duarte Vieira.

CDD -

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FISICA E FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO REVESTIDAS E ENRIQUECIDAS COM ZINCO

MARCOS VINICIUS SANTIAGO BATISTA

"Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção de título de Mestre em Produção Vegetal"

Aprovada em 23 de julho de 2026.

Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br
ROSENILDA DE SOUZA
Data: 24/08/2026 11:21:00-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dra. Rosenilda de Souza – INCAPER

Documento assinado digitalmente
gov.br
SILVIO DE JESUS FREITAS
Data: 21/08/2026 07:02:19-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Silvio de Jesus Freitas – UENF

Documento assinado digitalmente
gov.br
FERNANDA SCHMITT GREGOLIN
Data: 21/08/2026 16:57:34-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dra. Fernanda Schmitt Gregolin – UENF

Documento assinado digitalmente
gov.br
HENRIQUE DUARTE VIEIRA
Data: 19/08/2026 11:06:08-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Henrique Duarte Vieira – UENF (Orientador)

AGRADECIMENTOS

À Deus por proporcionar tantas oportunidades e realizações na minha vida.
Aos meus pais pelo apoio e incentivo.
Ao Prof. Henrique Duarte Vieira.
À UENF pela oportunidade de cursar o mestrado.
Aos amigos de laboratório.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

RESUMO ..... **vi**

ABSTRACT ..... **vii**

1. INTRODUÇÃO **1**

2. OBJETIVOS **2**

2.1 Objetivo geral 2

2.2 Objetivos específicos 2

2.2.1 Experimento 1 2

2.2.2 Experimento 2 2

3. REVISÃO DE LITERATURA **3**

3.1 A cultura do Milho 3

3.2 Milho no Brasil 3

3.3 Classificação da semente de milho 4

3.4 Exigências nutricionais do milho 5

3.5 Zinco 6

3.6 Revestimentos de sementes 7

4. MATERIAIS E MÉTODOS **9**

4.1 Experimento 1 9

4.2 Experimento 2 13

4.3 Delineamentos experimentais e estatística. 15

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO **17**

5.1 Experimento 1: Sementes de milho revestidas com diferentes proporções de material cimentante (cola) 17

5.1.1 Biometria das sementes 17

5.1.2 Umidade das sementes revestidas (%U) 21

5.1.3 Peso de mil sementes (PMS) 22

5.1.4 Características fisiológicas em laboratório 24

5.1.5 Teste de Vigor: Comprimento de plântulas 28

5.1.6 Massa seca da parte aérea, raiz e total (g. planta^{-1}) 30

5.2 Experimentos 2 - Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco 31

5.2.1 Biometria das sementes 31

5.2.2 Determinação de umidade (%U) 34
5.2.3 Peso de mil sementes (PMS) 36
5.2.4 Características fisiológicas em laboratório 38
5.2.5 Teste de Vigor: Comprimento de plântulas 41
5.2.6 Massa seca da parte aérea, raiz e total (g, planta^{-1}) 43
5.2.7 Características fisiológicas em casa de vegetação 44
6. CONCLUSÃO 48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tratamentos realizados no experimento 1. 10
Tabela 2: Tratamentos do experimento 2.....14
Tabela 3: Resumo da análise de variância da biometria das Sementes de milho revestidas com diferentes proporções de material cimentante (cola).....17
Tabela 4: Análise de variância da variável - Peso de Mil Sementes (PMS). 23
Tabela 5: Análise de variância dados fisiológicos experimento 1.....25
Tabela 6: Análise de variância dos comprimentos das partes aérea, raiz e total. 28
Tabela 7*:* Variância dados fisiológicos: massa seca da parte aérea, raiz e total (g. planta-1). 30
Tabela 8*:* Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco. 32
Tabela 9: Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco. 36
Tabela 10: Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco. 38
Tabela 11: Análise de variância do comprimento da parte aérea, raiz e total Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco.....41
Tabela 12: Análise de variância dados fisiológicos- Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco. 43
Tabela 13: Análise de variância - Porcentagem de emergência- Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco. 45
Tabela 14: Analise de variância – Índice de velocidade de emergência (IVE)- Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco.....45

RESUMO

BATISTA, Marcos V. Santiago; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; julho de 2026; Avaliação da qualidade física e fisiológica de sementes de milho revestidas e enriquecidas com zinco; Orientador: D.Sc. Henrique Duarte Vieira.

A produtividade agrícola pode ser mantida com o uso de práticas tecnológicas avançadas, o revestimento de sementes evidencia-se entre as tecnologias disponíveis no mercado devido seus vários benefícios, dentre estes uma que se destaca é a capacidade de atuar como uma via para o fornecimento nutrientes de forma eficiente. O objetivo do presente trabalho foi avaliar e verificar a influência do revestimento nas qualidades física e fisiológica das sementes de milho revestidas utilizando diferentes proporções de material cimentante e doses de sulfato de zinco. Para tanto, foram utilizadas sementes de milho e os materiais: areia, silicato de cálcio, calcário dolomítico como materiais de enchimento, cola Cascorez extra à base de polivinila (PVA) nas diferentes proporções: 3:1, 2:1 e 1:1 água/cola (v/v) como material cimentante e as doses de 0,5g, 1,0g, 1,5g, 2,0g de Sulfato de Zinco como fonte do micronutriente, a deposição do material de revestimento na superfície das sementes foi conduzida com utilização de uma drageadora. No primeiro experimento, dez tratamentos com diferentes materiais de enchimento e três proporções de cola foram realizados com 4 repetições contendo 100 g de sementes cada. No segundo experimento dezesseis tratamentos foram realizados onde apenas doze receberam as diferentes doses de zinco aplicando-se as doses de Sulfato de Zinco. Como resultado, observou-se que: No experimento 1, as diferentes proporções de cola proporcionaram às sementes revestidas umidade menor que o controle, as proporções de cola mais concentradas 2:1 e 1:1 em conjunto com areia e calcário (T3 e T4) e areia, silicato de cálcio e calcário (T10), promoveram maior peso às sementes, a cola 3:1 proporcionou porcentagens de germinação equivalentes ao controle independente do material de enchimento utilizado. A proporção de cola 1:1 com areia e calcário reduziu o desenvolvimento do comprimento das plântulas, tanto parte aérea, raiz e total, as diferentes proporções de cola 2:1 e 1:1, ambas aplicadas nos tratamentos com areia e silicato de cálcio, proporcionaram maiores massa seca das raízes e total que o controle. No experimento 2, as diferentes doses de sulfato de zinco proporcionaram às sementes revestidas umidade menor que o controle, as doses de sulfato de zinco combinadas aos materiais de enchimento areia e calcário e as doses 2,0g e 0,5g de sulfato de zinco combinadas aos materiais de enchimento: areia e silicato de cálcio e areia, silicato de cálcio e calcário, respectivamente, geraram ganhos significativos no peso das sementes. A porcentagem de germinação e índice de velocidade de germinação (IVG) dos tratamentos não foram afetadas pelas doses de sulfato de zinco, o revestimento obteve efeito significativo para comprimento da raiz e total nos tratamentos, e que as doses de zinco aplicadas influenciam o rendimento da produção de massa seca total das plântulas, mas não de forma significativa. Conclui-se que a aplicação do revestimento nas sementes apresentou benefícios às plântulas e que afim de encontrar melhores resultados novos estudos e experimentos com a aplicação de sulfato de zinco em diferentes camadas de revestimento em sementes de milho devem ser realizados.

Palavras-chave: Aplicação; Micronutrientes; Benefícios.

ABSTRACT

BATISTA, Marcos V. Santiago; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; July 2026; Evaluation of the physical and physiological quality of corn seeds coated and enriched with zinc; Advisor: D.Sc. Henrique Duarte Vieira.

Agricultural productivity can be maintained through the use of advanced technological practices; seed coating stands out among the technologies available on the market due to its various benefits, one of which is its ability to serve as a means of efficiently delivering nutrients. The objective of this study was to evaluate and verify the influence of coating on the physical and physiological qualities of coated corn seeds using different proportions of binding material and doses of zinc sulfate. To this end, corn seeds were used, along with the following materials: sand, calcium silicate, and dolomitic limestone as fillers; Cascorez Extra polyvinyl alcohol (PVA)-based adhesive in the following ratios: 3:1, 2:1, and 1:1 water/adhesive (v/v) as the binding agent; and doses of 0.5 g, 1.0 g, 1.5 g, and 2.0 g of zinc sulfate as the source of the micronutrient. The coating material was applied to the seed surface using a coating machine. In the first experiment, ten treatments with different filler materials and three adhesive ratios were conducted, each with four replicates containing 100 g of seeds. In the second experiment, sixteen treatments were conducted, of which only twelve received the different zinc doses by applying zinc sulfate. As a result, it was observed that: In Experiment 1, the different glue ratios resulted in coated seeds with lower moisture content than the control; the more concentrated glue ratios of 2:1 and 1:1, combined with sand and limestone (T3 and T4) and sand, calcium silicate, and limestone (T10), resulted in higher seed weight; the 3:1 glue ratio yielded germination percentages equivalent to the control, regardless of the filler material used. The 1:1 glue ratio with sand and limestone reduced seedling length development—including shoot, root, and total length—while the different glue ratios of 2:1 and 1:1, both applied in treatments with sand and calcium silicate, resulted in higher root dry weight and total dry weight than the control. In Experiment 2, the different doses of zinc sulfate resulted in lower moisture content in the coated seeds compared to the control. The doses of zinc sulfate combined with the filler materials sand and limestone, and the doses of 2.0 g and 0.5 g of zinc sulfate combined with the filler materials: sand and calcium silicate, and sand, calcium silicate, and limestone, respectively, resulted in significant increases in seed weight. The germination percentage and germination rate index (GRI) of the treatments were not affected by the zinc sulfate doses; the coating had a significant effect on root length and total length in the treatments; and the applied zinc doses influence maize yield. But not to a significant extent. It can be concluded that coating the seeds provided benefits to the seedlings and that, in order to achieve better results, further studies and experiments involving the application of zinc sulfate in different coating layers on corn seeds should be conducted.

Keywords: Application; Micronutrients; Benefits

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de grãos desempenha papel estratégico em diversos segmentos da economia. Pesquisas do International Grains Council (IGC) projetaram um aumento produção mundial de grãos que era de 2,430 bilhões toneladas para uma estimativa que varia de 2,425 bilhões de toneladas a 2,461 bilhões de toneladas em 2025/26, apresentando assim um novo recorde, refletindo ganhos esperados para culturas como milho e trigo (IGC, 2026).

O milho é utilizado na alimentação animal e humana ou mesmo para a fabricação de etanol, sendo um dos cerais mais cultivados no mundo, apresentando grande importância social e econômica, sua produção requer insumos de qualidade como sementes classificadas e certificadas que atendam a demanda dos produtores.

A classificação de sementes possibilita a comercialização de um produto homogêneo, o que facilita a regulagem das semeadoras e assegura uma distribuição mais uniforme ao longo do sulco de semeadura (Vazquez et al., 2012). Nesse contexto, novas tecnologias são essenciais para aumentar a rentabilidade de forma sustentável. O revestimento de sementes surge como ferramenta para padronizar tamanho e formato.

O revestimento possui a capacidade atuar como um veículo para o fornecimento de nutrientes, a disponibilidade desses nutrientes nos estágios inicial das plântulas é importante para o crescimento das raízes, formação das folhas e energia, promovendo assim maior eficiência na absorção de nutrientes minerais do solo pelas plantas (Javed et al., 2022) e o estabelecimento das plântulas.

Segundo Zhang et al. (2022) a tecnologia de revestimento de sementes avançou rapidamente, oferecendo um método eficiente para melhorar as sementes e aumentar a produtividade das culturas destacando-se como uma ferramenta bastante eficiente.

Dentre os nutrientes essenciais, o zinco se destaca, pois sua deficiência é mais comum em condições de pH elevado, baixo teor de matéria orgânica, solos calcários, leves e arenosos. Em cereais, a carência severa de zinco leva ao amarelecimento das folhas e ao nanismo das plantas, sendo que tanto deficiências leves quanto severas reduzem a produtividade de grãos (Adhikari et al., 2016).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Determinar as proporções e os materiais de enchimento que promovam uma maior uniformidade no revestimento das sementes de milho híbrido UENF 506 – 11, e avaliar a qualidade física e fisiológica das sementes revestidas e enriquecidas com zinco.

2.2 Objetivos específicos

2.2.1 Experimento 1

- Avaliar a qualidade física de sementes de milho híbrido UENF 506-11 Peneira 15 revestidas com areia, calcário dolomítico e silicato de cálcio.
- Estabelecer a melhor proporção de material cimentante (cola) aplicada nos revestimentos das sementes de milho.

2.2.2 Experimento 2

- Avaliar as qualidades física e fisiológica de sementes de milho híbrido UENF 506-11 peneira 15 revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco.
- Verificar a influência das doses de sulfato de zinco sobre a qualidade física e fisiológica das sementes revestidas de milho.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A cultura do Milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie pertencente à família Gramineae/Poaceae, com origem na América Central, no México possui a capacidade de ser cultivada em ampla variedade de altitudes e latitudes, é uma planta de grande importância comercial, sendo de fácil cultivo devido a sua ampla variabilidade genética e capacidade de adaptação as diferentes condições ambientais (Pinheiro et al., 2021).

Segundo Barros e Calado (2014), essa cultura é utilizada principalmente para alimentação humana e animal, pois possui alto valor nutricional. Sua proteína contém quase todos os aminoácidos essenciais, com exceção da lisina e do triptofano. Essa falha não a torna inviável, mas exige que seja combinada com outros alimentos para suprir essa lacuna. Assim, embora não seja completa, essa cultura continua sendo fundamental para a dieta, especialmente em populações com pouco acesso a fontes proteicas variadas.

Além disso, segundo Galvão, Borém e Pimentel (2017), na alimentação humana, embora apenas 15% da produção mundial seja consumida in natura, o grão está presente em diversos produtos industrializados, o que torna o milho indispensável para a humanidade.

3.2 Milho no Brasil

A produtividade do milho dentro do cenário nacional desempenha papel fulcral na produção de grãos e na economia sendo um dos seus pilares mais importantes, segundo o CEPEA/CNA, o PIB do agronegócio alcançou R$ 3,20 trilhões, sendo aproximadamente R$ 2,06 trilhões no ramo agrícola e R$ 1,14 trilhão no ramo pecuário, a preços do quarto trimestre. Com esse resultado, a participação do agronegócio na economia brasileira foi de 25,13% em 2025, acima dos 22,9% registrados em 2024 (CEPEA, 2026).

Para Contini et al. (2019) o milho na agricultura brasileira é um produto de extrema importância, com o seu cultivo em todo o território nacional consegue atingir mais de dois milhões de estabelecimentos agropecuários, essa cultura depois de ter passado por transformações nas últimas décadas se consolidou como cultivo de

sobrevivência para pequenos produtores rurais. Este novo panorama oferece uma combinação de desafios e oportunidades para produtores rurais e empresas do setor, que devem se adaptar às novas demandas do mercado.

Portanto, o uso do revestimento de sementes representa uma inovação significativa no setor de insumos. Essa técnica, associada a outras tecnologias como sementes geneticamente modificadas e resistentes a pragas, tende a ganhar ainda mais espaço, contribuindo para o aumento da produtividade no campo.

3.3 Classificação da semente de milho

A uniformidade das sementes de milho é fundamental para facilitar a semeadura mecanizada, garantir um estande adequado e assegurar a alta produtividade da cultura. As unidades de beneficiamento de sementes (UBS) são responsáveis por classificar os lotes por tamanho e formato, removendo impurezas e garantindo a homogeneidade do produto final, o que aperfeiçoa o processo de semeadura. Nesse contexto, o beneficiamento do milho é uma etapa altamente especializada, necessária devido à grande variação em tamanho, forma e qualidade das sementes, que é influenciada pela sua posição na espiga (Ferreira e Sa, 2010).

A heterogeneidade no tamanho e na forma das sementes na espiga está relacionada com a distribuição de fotossintetizados, as formadas na porção central são as primeiras a receberem, seguidas pelas posicionadas na base e por último, as do ápice resultando em desenvolvimento diferenciado. A forma das sementes de milho é influenciada pela pressão exercida pelo pericarpo sobre as sementes adjacentes durante a fase de enchimento, fazendo com que se formem as achatadas. As sementes desenvolvidas na base e na ponta da espiga por sofrerem menor pressão do pericarpo sobre as sementes adjacentes permanecem arredondadas após a maturação (Vazquez et al., 2012).

Com as diferentes formas de sementes fornecidas, achatas ou esféricas, as semeadoras que possuem sistema mecânico do tipo disco alveolado horizontal perdem seu caráter de precisão quando as sementes apresentam grande variações tanto na forma quanto no tamanho das sementes, pois esses atributos influenciam diretamente na performance do mecanismo dosador (Zardo et al., 2016). A classificação das sementes permite a venda de um produto homogêneo, o que facilita

a regulagem das semeadoras e proporciona a distribuição mais uniforme no sulco de semeadura (Vazquez et al., 2012).

3.4 Exigências nutricionais do milho

Segundo Coelho (2006), pesquisas da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas-MG, demonstram que a extração de nutrientes pelo milho para produção de grãos e silagem aumenta linearmente com a produtividade. A maior exigência da cultura é por nitrogênio e potássio, seguidos por cálcio, magnésio e fósforo. Com relação aos micronutrientes, as quantidades requeridas pelas plantas de milho são muito pequenas. Para uma produtividade de 9 t de grãos/ha, são extraídos: 2100 g de ferro, 340 g de manganês, 400 g de zinco, 170 g de boro, 110 g de cobre e, 9 g de molibdênio.

Segundo Malavolta (2006), um elemento é considerado essencial ao crescimento vegetal, quando atende critérios específicos, seja um componente intrínseco na estrutura ou no metabolismo da planta; ou que sua ausência cause anormalidades graves no crescimento, desenvolvimento ou reprodução, podendo até impedir a conclusão do ciclo de vida. Quando as plantas dispõem desses elementos, juntamente com água e energia solar, elas tornam-se capazes de sintetizar todos os compostos necessários ao seu desenvolvimento normal.

Segundo Büll (1993), o zinco é o micronutriente mais limitante à produtividade da cultura do milho no Brasil, especialmente em solos profundos, bem drenados, pobres em nutrientes naturais e altamente intemperizados. A eficiência agronômica exige alguns componentes importantes, como fertilidade do solo, nutrição e adubação. Os nutrientes devem estar prontamente disponíveis, em doses suficientes e sincronizadas com a necessidade da cultura.

Segundo Silva e Baldicera (2024), o fornecimento eficiente de nutrientes, alinhado à real necessidade das culturas, é um dos pilares para uma produção agrícola lucrativa e com reduzidos impactos ambientais.

De acordo com Resende et al. (2016) o conhecimento dos padrões de extração e exportação de nutrientes precisa fazer parte do plano de manejo das áreas de cultivo. A associação destes padrões com os dados de análise de solo e de expectativa de produtividade permite dimensionar, com mais critério, as quantidades de fertilizantes a serem aplicadas para manutenção da fertilidade do solo.

Quando se refere às quantidades de nutrientes que uma planta absorve, existem alguns fatores que podem ser determinantes, como a cultivar, as condições climáticas, o manejo e tecnologia adotados, e o nível de fertilidade que se encontra no solo (Büll, 1993; Resende et al., 2012). No entanto, quanto maior a produtividade, maiores são os requerimentos por nutrientes (Pinho et al., 2009; Bender et al., 2013).

Conforme aponta Ferreira (2012), a deficiência de macro e micronutriente mostra relações imediatas com os outros nutrientes no desempenho no metabolismo vegetal. Em que a deficiência de um macro ou micronutriente afeta diretamente no desenvolvimento do milho, sendo comprovado pela diminuição do porte da planta.

3.5 Zinco

De acordo com Taiz et al. (2017), muitas enzimas requerem íons zinco (Zn^{2+}) para suas atividades, exemplos delas são: álcool desidrogenase e a anidrase carbônica além de ser requerido para a síntese de triptofano, seu papel na integridade das membranas celulares, estabilização hormonal, síntese proteica, proteção antioxidante e no metabolismo do carbono revelam sua necessidade de estar sempre disponível para as plântulas, pois sua deficiência provoca distúrbios fisiológicos que resultam em redução do crescimento dos entrenós, hábito de crescimento em roseta, além de folhas pequenas e retorcidas, com margens de aparência enrugada.

De acordo com Malavolta (2006) embora o zinco seja exigido em pequenas quantidades pelas plantas, trata-se de nutriente essencial, indispensável para a conclusão do ciclo de vida. No entanto, quando fornecido em doses insuficientes, pode comprometer tanto o crescimento quanto a produtividade das culturas. Esses sintomas estão diretamente relacionados à perda da capacidade de produzir quantidades suficientes de ácido 3-indolacético (AIA). Essa auxina tem sua síntese interrompida na falta de zinco, uma vez que o micronutriente é essencial para a formação do triptofano, aminoácido precursor da biossíntese do AIA.

Segundo Ribeiro e Santos (1996) a disponibilidade do zinco para as plantas depende de sua dinâmica no solo, sua baixa mobilidade em solos alcalinos, com altos teores de Fósforo e pouca matéria orgânica fazem com que haja a necessita de estratégias para sua aplicação, uma alternativa é o tratamento de Sementes**,** altamente eficiente e de baixo custo, utilizado para garantir o suprimento inicial de zinco logo na germinação e no estabelecimento das plântulas.

A forma mais comum desse elemento em solução é o cátion Zn^{2+}, cujo movimento ocorre por difusão, ou seja, das regiões de maior concentração para as de menor concentração (Lopes, 1999). Assim, a deficiência de zinco torna-se recorrente em uma ampla variedade de solos, especialmente em razão da agricultura intensiva praticada ao longo do tempo, que esgota gradativamente esse micronutriente (Lopes, 1999; Malavolta, 2006).

Estudos realizados por Acha et al. (2016), com a aplicação de B (Boro) e Zn (zinco) no revestimento de sementes de soja perene em casa de vegetação, verificaram que houve eficiência na aplicação de zinco via revestimento de sementes, foi constatado um acumulo adicional dos micronutrientes tanto na parte aérea quanto nas raízes quando adicionados aos revestimentos das sementes.

3.6 Revestimentos de sementes

O revestimento de sementes é uma técnica agrícola que aplica camadas protetoras e materiais inertes sobre a superfície das sementes, esta técnica possui o objetivo principal de modificar o tamanho, peso e formato das sementes, podendo também atuar como veículo para a aplicação de defensivos e nutrientes (Quadros, 2013).

Segundo Pedrini et al. (2017) o mercado global de revestimento de sementes ultrapassa 1 bilhão de dólares por ano e tal tecnologia é predominantemente dominada pelas indústrias de iniciativa privada. As técnicas de revestimento por película, incrustação e a pelotização são utilizadas principalmente para sementes pequenas, leves ou de formas irregulares (como hortaliças, flores e algumas forrageiras), com objetivo de melhorar a capacidade de tratamento, melhorar as características físicas e químicas, microrganismos simbióticos como, *Rhizobium* e *Trichoderma*, reguladores de crescimento, promotores de germinação (Pedrini et al., 2017).

Acha et al. (2016) citam a principal vantagem do processo de revestir sementes está na alteração de tamanho e formato das sementes, além da possibilidade de incorporação de nutrientes, reguladores de crescimento, inseticidas e fungicidas, visto que as quantidades requeridas desses produtos pelas plantas são pequenas e essa técnica permite a aplicação dos mesmos de maneira eficaz e segura.

Pabodha (2022) por sua vez, desenvolveu um revestimento de sementes composto por um compósito nanoestruturado de hidroxiapatita (fosfato de cálcio) modificado com ureia, com o objetivo de fornecer nitrogênio (N) e fósforo (P) de forma controlada para plântulas de milho durante a fase inicial de crescimento. Encontrou resultados demonstraram que o revestimento contendo hidroxiapatita e ureia na proporção de 1:0,3 proporcionou, após 21 dias de plantio, aumentos significativos em relação ao tratamento controle: 124,6% na biomassa média, 147,6% no comprimento da raiz, 100% no número de raízes e 166,7% na largura máxima das folhas, reforçando assim o benefício do uso da técnica de revestir sementes.

Similarmente, Abeywardana (2023) aplicou a técnica de revestimento de sementes de milho utilizando nanopartículas (partículas ultrafinas) de hidroxiapatita como sistema para incorporar nutrientes e melhorar o crescimento das plantas. O estudo constatou que o procedimento adotado favoreceu o crescimento vegetal, o rendimento da cultura e o teor de nutrientes tanto na raiz quanto na parte aérea das plantas de milho (*Zea mays*).

Apesar dos avanços no desenvolvimento de tecnologias de revestimento de sementes, ainda são escassos estudos que avaliam simultaneamente a influência de diferentes materiais de enchimento, proporção de material cimentante e doses de zinco sobre a qualidade física e fisiológica de sementes de milho. Além disso, não existem informações específicas para o hibrido UENF 506-11.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Experimento 1

Sementes de milho revestidas com diferentes proporções de material cimentante (cola) aplicadas nos revestimentos das sementes de milho

O experimento foi realizado na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), localizada em Campos dos Goytacazes – RJ, no Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA), especificamente no Setor de Produção e Tecnologia de Sementes do Laboratório de Fitotecnia. Foram utilizadas sementes comerciais do híbrido de milho UENF 506-11, classificadas na peneira 15, fornecidas pela empresa Rio Norte Sementes.

O revestimento das sementes empregou como materiais de enchimento areia, silicato de cálcio e calcário dolomítico, e como material cimentante a cola Cascorez extra à base de PVA, conforme adaptado de Silva (2021). Os materiais de enchimento foram peneirados (malha de 0,250 mm) para homogeneização do tamanho das partículas e esterilizados em estufa a 105 °C por 4 horas.

Para o preparo do cimentante, a cola foi diluída em água nas proporções de água/cola 3:1 (v/v), 2:1 (v/v) e 1:1 (v/v), após aquecimento da água a 70 °C conforme Pires (2019). Após a preparação da solução de material cimentante, a mesma foi armazenada e mantida em repouso por 24 horas, período necessário para homogeneização e ajuste à temperatura ambiente.

Foram realizados dez tratamentos com quatro repetições cada: T1 (controle, sementes não recobertas); T2 a T4 (areia + calcário) 1:2 (p/p); T5 a T7 (areia + silicato de cálcio) 1:2 (p/p); T8 a T10 (areia + silicato + calcário) 1:1:1 (p/p). As proporções de cola 3:1, 2:1 e 1:1 (v/v) foram aplicadas, respectivamente, em cada combinação de material de enchimento (Tabela 1).

Para cada tratamento, realizou-se a mistura prévia de 250 g dos materiais de revestimento, respeitando a proporção 1:2 (p/p) utilizando os materiais: (areia + calcário) e (areia + silicato de cálcio); e a proporção 1:1:1 (p/p) com os materiais: (areia + silicato + calcário), essa mistura foi fracionada em 20 porções de 12,5 g para 100g de semente.

Tabela 1: Tratamentos realizados no experimento 1.

Tratamentos	Materiais de Enchimento	Proporção água/cola (v/v)
T1	Controle - Sementes não revestidas	-
T2	Areia + Calcário dolomítico	3:1
T3	Areia + Calcário dolomítico	2:1
T4	Areia + Calcário dolomítico	1:1
T5	Areia + Silicato de cálcio	3:1
T6	Areia + Silicato de cálcio	2:1
T7	Areia + Silicato de cálcio	1:1
T8	Areia + Calcário dolomítico + Silicato de cálcio	3:1
T9	Areia + Calcário dolomítico + Silicato de cálcio	2:1
T10	Areia + Calcário dolomítico + Silicato de cálcio	1:1

O recobrimento foi conduzido de forma parcelada, sendo cada camada composta por 25 g de material, correspondentes a duas porções da mistura, totalizando 10 camadas ao final do processo.

O procedimento de recobrimento das sementes foi realizado em um protótipo de drageadora de bancada, que possui regulagem de velocidade da cuba, controle da pressão da pistola (*spray*), e sistema de secagem de ar com controle de temperatura (20 - 130 °C). O ajuste das regulagens do equipamento e a metodologia de recobrimento foram adaptados de Silva (2021) e Acha et al*.* (2016). A drageadora foi regulada com as seguintes características: velocidade de rotação da cuba de 65 rpm, pressão do sistema de ar comprimido de 4 bar e temperatura de secagem com ar quente de 50 °C.

O experimento foi conduzido com quatro repetições de 100 g de sementes. As sementes foram depositadas na cuba da drageadora, mantida em rotação de 65 rpm. Em seguida, aspergiu-se o material cimentante sobre a massa de sementes por 3 segundos, utilizando o sistema de ar comprimido e uma pistola.

Uma porção de 12,5 g de material de enchimento foi adicionada sobre as sementes; após alguns segundos, aplicou-se novamente a cola, seguida de outra porção de 12,5 g de enchimento.

Para concluir a camada, realizou-se mais uma aspersão de cimentante por 3 segundos, totalizando três aplicações de cola por camada. Após a aplicação completa dos materiais de cada camada, o sistema de secagem foi acionado por 90 segundos, formando uma camada de revestimento.

Esse procedimento foi repetido até atingir 10 camadas, o que correspondeu ao consumo total de 250 g de material de enchimento por tratamento. Ao final, foram retirados os péletes duplos, as sobras de material não aderido e as sementes mal revestidas.

Avaliação da qualidade física e fisiológica das sementes

As sementes foram avaliadas quanto às suas características físicas e fisiológicas. A biometria das sementes foi determinada com o equipamento Groundeye, utilizando quatro repetições de 25 sementes por tratamento. As variáveis foram: área (cm^2), circularidade, diâmetro máximo (cm), diâmetro mínimo (cm) e perímetro (cm).

A determinação da umidade (%U) seguiu o método da estufa a 105 °C, conforme as Regras para Análises de Sementes (Brasil, 2025). A porcentagem de umidade foi calculada pela seguinte fórmula:

$$\%\ \text{de umidade}\ (U) = \frac{100\ (P-p)}{P-t} \quad \text{(Eq. 1)}$$

Onde: P = peso inicial (recipiente + tampa + semente úmida); p = peso final (recipiente + tampa + semente seca); t = tara (peso do recipiente com tampa).

O peso de mil sementes (PMS) foi obtido a partir de oito repetições de 100 sementes, pesadas em balança de precisão (0,0001 g). O resultado foi expresso em gramas para sementes recobertas e não recobertas (Brasil, 2025), conforme a fórmula:

$$PMS = \frac{\text{peso da amostra x 1.000}}{\text{nº total de sementes}} \quad \text{(Eq. 2)}$$

O teste de germinação (TG) foi conduzido de acordo com as Regras para Análises de Sementes (Brasil, 2025) com adaptações, onde foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes formando um total de 100 sementes.

Com o auxílio de um contador, as sementes foram dispostas entre duas folhas de papel germiteste, umedecidas com água na proporção de duas vezes e meia o peso do papel. Os rolos foram cobertos por sacos de polietileno transparente para manter a umidade. Os germinadores foram ajustados para a temperatura alternada

de 20-30ºC (16h de escuro e 8h de luz, respectivamente). Ao sétimo dia foi realizada a avaliação final do teste, a porcentagem de plântulas normais, plântulas anormais e sementes não germinadas (Brasil, 2025).

A primeira contagem de germinação foi efetuada quatro dias após o início do teste de germinação, realizando-se a contagem do número de plântulas normais e, os resultados expressos em porcentagem obedecendo às Regras para análise de sementes (Brasil, 2025). Índice de velocidade de germinação foi efetuado em conjunto com o teste de germinação, o critério para as avaliações foi a protrusão da radícula. As análises foram feitas diariamente até o sétimo dia. O IVG foi calculado de acordo com a metodologia proposta por Maguire (1962).

$$IVG = \frac{G1}{N1} + \frac{G2}{N2} + \ldots + \frac{Gn}{Nn} \quad \text{(Eq. 3)}$$

Onde: IVG = índice de velocidade de germinação; G_1 a G_n = é o número de plântulas germinadas a cada dia; N_1 a N_n = Número de dias de cada contagem.

O Teste de vigor comprimento de plântulas foi realizado com os mesmos tratamentos do teste de germinação, 10 sementes foram postas no terço superior do papel em uma fileira simples espaçadas entre si, onde se aguardou a protrusão radícula (visível na superfície da semente) para posicioná-la em direção a parte inferior do papel, para dessa forma permitir o desenvolvimento uniforme e retilíneo da raiz e da parte aérea. Com a utilização de uma régua graduada os seguintes dados foram determinados: comprimentos da parte aérea, raiz e total em centímetros.

Foram realizadas medidas de massa seca (g. planta^{-1}) da parte aérea (MSPA) da raiz (MSR) e total. Para a determinação da massa seca da parte aérea (MSPA), da raiz (MSR) e total (g.planta^{-1}), foram utilizadas as mesmas plântulas do teste de vigor. A separação entre o sistema radicular e a parte aérea foi realizada na altura do colo das plântulas.

Após a separação, cada parte da plântula foi acondicionada individualmente em sacos de papel e submetido à secagem em estufa com ventilação forçada a 65 °C por 72 horas. Concluída a secagem, os materiais foram postos em dessecador e, em seguida, pesados para obtenção da massa seca.

4.2 Experimento 2

Sementes dos tratamentos T2, T5 e T8, cola 3:1 (v/v), do experimento 1 com adição de sulfato de zinco ($ZnSO_4$ - 20% de Zn) ao revestimento.

As sementes de milho híbrido foram revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco. Os materiais e métodos empregados no experimento 2 foram os mesmos utilizados no experimento 1, ou seja: areia, silicato de cálcio e calcário dolomítico como materiais de enchimento, e cola Cascorez extra à base de PVA como material cimentante, acrescentando-se o sulfato de zinco.

Adicionou-se sulfato de zinco ($ZnSO_4$ - 20% de Zn) às sementes revestidas foi realizada com base no trabalho de Acha (2018), no qual o autor utilizou combinações de doses elevadas de boro (B) e zinco (Zn) no revestimento de sementes de soja perene com o objetivo de fornecer esses nutrientes às plantas.

Uma vez identificado que os tratamentos com a proporção de cola 3:1 apresentaram a porcentagem de germinação equivalente ao tratamento controle, selecionou-se para o experimento 2 os seguintes tratamentos do experimento 1: T2 (cola 3:1 com areia e calcário dolomítico), T5 (cola 3:1 com areia e silicato de cálcio) e T8 (cola 3:1 com areia, silicato de cálcio e calcário dolomítico). Os tratamentos propostos estão descritos na Tabela 2.

O sulfato de zinco (ZnSO4 - 20% de Zn) foi previamente macerado para posteriormente ser pesado em balança de precisão de 0,0001g e adicionado entre as porções do material de enchimento. Seguindo a metodologia de recobrimento foram formadas 10 camadas de revestimento.

O processo de recobrimento ocorreu de forma parcelada, foi adicionado em cada camada do revestimento de 25g de material de enchimento, com exceção da 6ª camada que possui 25g de material de enchimento mais uma parcela de Sulfato de zinco, nesta camada ocorreu a adição de (ZnSO4 - 20% de Zn) entre as duas porções de 12,5 g do material enchimento adicionados na camada do revestimento.

Tabela 2: Tratamentos do experimento 2.

Tratamentos	Descrição
T1	Controle (sementes não revestidas).
T2	Sementes revestidas com areia e calcário dolomítico (sem sulfato de zinco)
T3	Sementes revestidas conforme T2 + 0,5 g de $ZnSO_4$ por 100 g de sementes.
T4	Sementes revestidas conforme T2 + 1,0 g de $ZnSO_4$ por 100 g de sementes.
T5	Sementes revestidas conforme T2 + 1,5 g de $ZnSO_4$ por 100 g de sementes.
T6	Sementes revestidas conforme T2 + 2,0 g de $ZnSO_4$ por 100 g de sementes.
T7	Sementes revestidas com areia e silicato de cálcio (sem sulfato de zinco)
T8	Sementes revestidas conforme T7 + 0,5 g de $ZnSO_4$ por 100 g de sementes.
T9	Sementes revestidas conforme T7 + 1,0 g de $ZnSO_4$ por 100 g de sementes.
T10	Sementes revestidas conforme T7 + 1,5 g de $ZnSO_4$ por 100 g de sementes.
T11	Sementes revestidas conforme T7 + 2,0 g de $ZnSO_4$ por 100 g de sementes.
T12	Sementes revestidas com areia, silicato de cálcio e calcário (sem sulfato de zinco)
T13	Sementes revestidas conforme T12 + 0,5 g de $ZnSO_4$ por 100 g de sementes.
T14	Sementes revestidas conforme T12 + 1,0 g de $ZnSO_4$ por 100 g de sementes.
T15	Sementes revestidas conforme T12 + 1,5 g de $ZnSO_4$ por 100 g de sementes.
T16	Sementes revestidas conforme T12 + 2,0 g de $ZnSO_4$ por 100 g de sementes.

Obs.: Todos os tratamentos do experimento 2 foram revestidos com cola 3:1.

A partir da 6ª camada o procedimento normal, sem adição de sulfato de zinco, se repetiu até conferir ao revestimento um número total de 10 camadas, ou seja, 250g de material de enchimento mais a porção de Sulfato de Zinco adicionada ao revestimento. Após a aplicação das camadas foram retiradas as sementes com péletes duplos, sobras de material que não aderiram e as sementes mal recobertas.

Características avaliadas em laboratório

As sementes foram submetidas às mesmas avaliações de qualidade física e fisiológica adotadas no experimento 1. As características físicas analisadas foram: biometria das sementes, umidade (%U) e peso de mil sementes (PMS). Já as características fisiológicas incluíram: porcentagem de germinação (PG), primeira contagem de germinação (PCG), índice de velocidade de germinação (IVG), teste de

vigor (comprimento de plântulas) e massa seca da parte aérea (MSPA), da raiz (MSR) e total (g.planta^{-1}).

Características fisiológicas em casa de vegetação

O teste de emergência foi realizado utilizando uma amostra de 25 sementes para cada repetição, sendo cada tratamento representado por 04 repetições. A semeadura foi efetuada em bandejas plásticas, contendo areia lavada, irrigadas diariamente em dois turnos (manhã e tarde).

A contagem de plântulas normais emergidas foi realizada diariamente, até 10º dia após a semeadura, e o resultado expresso em porcentagem de plântulas normais emergidas (PE).

O Índice de velocidade de emergência (IVE), foi conduzido juntamente com o teste de emergência efetuando-se as contagens diárias do número de plântulas emergidas caracterizado por coleóptilos acima do substrato (visível na superfície, aproximadamente 5 mm, (Figura 1) desde o início até o 10° dia após a semeadura. Para o cálculo do IVE foi utilizada a fórmula proposta por Maguire, (1962).



Figura 1: Referência para o teste de Emergência

4.3 Delineamentos experimentais e estatística.

O experimento 1 foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em laboratório. Para o experimento I, com tratamentos distribuídos, foram

avaliados os materiais de enchimento aplicados e três proporções de material cimentante 3:1, 2:1 e 1:1 mais um controle (semente não revestida), com quatro repetições. Após a coleta dos dados foram realizados testes da análise de variância, testes de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O experimento 2 foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em laboratório e em blocos ao acaso (DBC) na casa de vegetação (Figura 2). Para o experimento 2, foram avaliadas as sementes revestidas com as combinações de materiais de enchimento que mais se destacaram entre os revestimentos no experimento 1 com a adição na sexta camada de material de revestimento de sulfato de Zinco (ZnSO4), além dos tratamentos adicionais, como de sementes revestidas sem adição de micronutrientes e o controle (semente não revestida), com quatro repetições. Após a coleta dos dados foram realizados testes da análise de variância, testes de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Figura 2: Delineamento em Blocos ao acaso (DBC).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Experimento 1: **Sementes de milho revestidas com diferentes proporções de material cimentante (cola)**

5.1.1 Biometria das sementes

A análise de variância dos parâmetros biométricos como área em cm², circularidade (CIR), diâmetro máximo, diâmetro mínimo e perímetro em cm, revelou efeito significativo dos tratamentos sobre todas as variáveis biométricas avaliadas (Tabela 3). Os coeficientes de variação indicam precisão experimental e homogeneidade entre as unidades experimentais, conferindo confiabilidade às comparações entre tratamentos com os dados concentrados próximos à média e baixa dispersão relativa, demonstrando pouca oscilação entre os valores observados.

Tabela 3: Resumo da análise de variância da biometria das Sementes de milho revestidas com diferentes proporções de material cimentante (cola).

Variável	Quadrado Médio		Média	CV (%)
	Tratamento	Resíduo		
Área (cm^2)	0,0032 **	0,0004	0,5768	3,45
Circularidade	0,0010 **	0,0002	0,8508	1,74
ø máximo (cm)	0,0011 **	0,0003	0,9298	1,88
ø mínimo (cm)	0,0030 **	0,0003	0,7798	2,22
Perímetro (cm)	0,0948 **	0,0052	3,0360	2,38

**Significativo a 1% de probabilidade; CV (%) coeficiente de variação, em porcentagem

Em relação à área da semente ao aplicar o teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 3), constatou-se que apenas os tratamentos T6, T7 e T9 nas combinações de materiais de revestimento aplicados, não diferiram significativamente a área das sementes quando comparados ao T1 (controle).

Os tratamentos (T6 e T9) com cola PVA diluída na proporção 2:1 e T7 (1:1) apresentaram um desfecho oposto aos estudos realizados por Baroni et al. (2020) trabalhando com sementes de *Stylosanthes* Campo Grande e areia como material de enchimento, onde testaram diferentes concentrações de cola PVA, diluída em água, 3:1, 2:1 e 1:1 e constataram que o uso dessas proporções causou às sementes revestidas maior área superficial, diâmetro máximo, diâmetro mínimo e circularidade em relação aos controles.

Os tratamentos T2 (3:1), T3 (2:1) e T4 (1:1) compostos por areia e calcário, mas com diferentes proporções de material cimentante, apresentaram médias estatisticamente semelhantes referentes ao tamanho da área das sementes, ou seja, independente da proporção de cola aplicada ao revestimento não houve diferença significativa entre esses revestimentos.

Os tratamentos formados com areia e silicato de cálcio e as três proporções de cola T5 (3:1), T6 (2:1) e T7 (1:1) também apresentaram médias estatisticamente semelhantes, isso demonstra que as diferentes proporções de cola não alteraram significativamente os resultados entre esses tratamentos, uma vez que uma cola PVA (acetato de polivinila) mais concentrada aumenta o poder de adesão e a resistência mecânica da colagem, se observa que apenas T5 (3:1) foi superior ao controle.

Analogamente, os tratamentos que possuem o mesmo revestimento com os materiais de enchimento areia, calcário e silicato de cálcio, mostraram-se estatisticamente iguais, destacando o tratamento T9 cola 2:1, que mesmo apresentando área similar ao controle mostrou-se equivalente aos tratamentos T8 (3:1) e T10 (1:1) evidenciando que mesmo utilizando essa combinação de material de enchimento a proporção de cola não alterou de forma significativa o poder de adesão da cola e consequentemente a área das sementes entre esses tratamentos.

Em relação à circularidade (Figura 8), é possível verificar que as sementes recobertas adquiriram formato bem próximo em todos tratamentos, contudo em comparação ao tratamento controle, apenas os tratamentos T3, T4 e T10 foram significativamente mais circulares.

Segundo Baroni et al. (2020) a circularidade das sementes é mensurada no intervalo de 0 a 1, sendo 0 menos circular e 1 mais circular, em seu estudo foi observado ganhos de circularidade com a utilização de diferentes tipos e proporções de material adesivo, corroborando com os resultados dos tratamentos T3, T4 e T10 apresentados neste trabalho (Figura 3).

No entanto, Pires (2019), observou maior circularidade em sementes de sorgo granífero com a proporção de 25% de silicato e 75% de areia em relação ao controle e à areia pura, o presente estudo não registrou ganhos significativos para essa variável. Os tratamentos que associaram areia e silicato de cálcio (T5, T6 e T7) mantiveram-se estatisticamente semelhantes, independentemente das diferentes proporções de cola utilizadas.

Como citado anteriormente, o tratamento T10 apresentou diferença estatisticamente quando comparado ao grupo controle, porém seu aumento não foi consideravelmente superior aos tratamentos que possuem o mesmo material de enchimento (T8, T9) tanto na área quanto na circularidade, verifica-se então que não houve influência da proporção de cola 1:1 sobre sua biometria.

Silva et al. (2021) reforçam que a circularidade das sementes pode ser melhorada pelo recobrimento com silicato de cálcio combinado com areia. Os tratamentos T5 a T7, que utilizaram essa mistura, obtiveram resultados positivos. No entanto, a análise estatística aponta que os efeitos foram inexpressivos em comparação aos demais tratamentos.

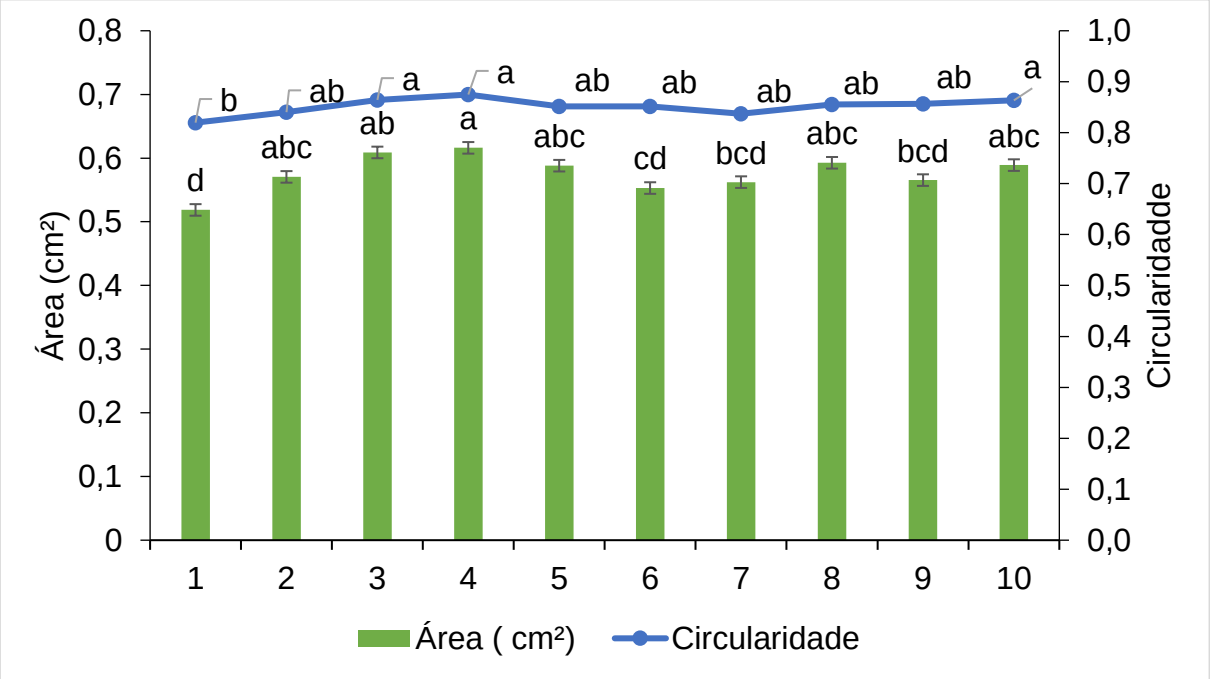


Figura 3: Área e Circularidade- Sementes de milho revestidas com diferentes proporções de material cimentante (cola) - T1 (controle), T2 (cola 3:1), T3 (cola 2:1) e T4 (cola 1:1) todos com areia e calcário dolomítico; T5 (cola 3:1), T6 (cola 2:1) e T7 (cola 1:1) formados com areia e silicato de cálcio e os tratamentos T8 (cola 3:1), T9 (cola 2:1) e T10 (cola 1:1) com areia, silicato e calcário dolomítico. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto ao parâmetro diâmetro máximo (cm) (Figura 4) verificou se que apenas os tratamentos T3, T4 e T5 são superiores ao tratamento T1 (controle), no entanto igualam-se estatisticamente aos outros tratamentos, demonstrando que as diferentes proporções de cola e materiais de enchimento não geraram diferença significativa para diâmetro máximo (cm) entre as sementes revestidas.

Em relação ao diâmetro mínimo (Figura 4), observa-se que apenas os tratamentos T6 (cola 2:1) e T7 (cola 1:1) assemelharam-se estatisticamente ao grupo controle. Estes tratamentos não diferiram da maioria das parcelas, mostrando-se inferiores apenas ao tratamento T4 (cola 1:1).

O último parâmetro biométrico avaliado foi o perímetro (cm) (Figura 4), onde observa-se que apenas os tratamentos T4 e T5 apresentaram-se estatisticamente superiores ao tratamento do controle, resultado consoante com os parâmetros: área (cm2), diâmetro máximo(cm), diâmetro mínimo (cm) apresentados anteriormente.

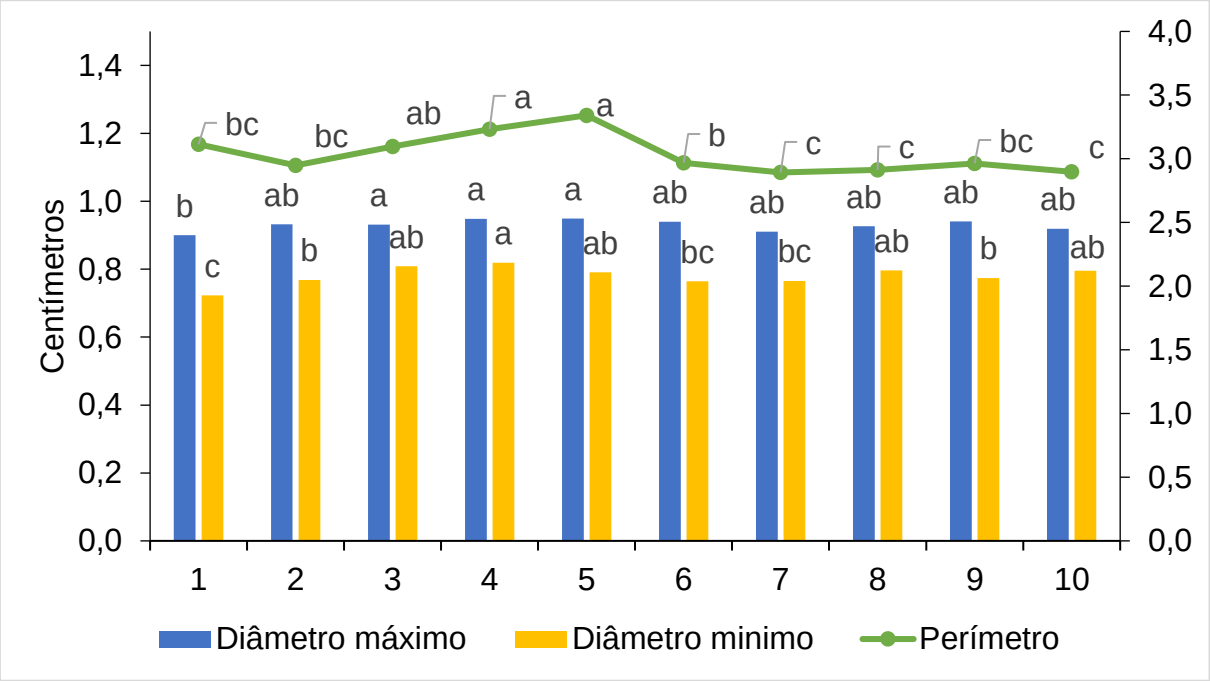


Figura 4: Diâmetro máximo, Diâmetro mínimo, e Perímetro - Sementes de milho revestidas com diferentes proporções de material cimentante (cola) - T1 (Controle), T2 (cola 3:1), T3 (cola 2:1) e T4 (cola 1:1) todos com areia e calcário dolomítico; T5 (cola 3:1), T6 (cola 2:1) e T7 (cola 1:1) formados com areia e silicato de cálcio e os tratamentos T8 (cola 3:1), T9 (cola 2:1) e T10 (cola 1:1) com areia, silicato e calcário dolomítico. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Os tratamentos T6, T7 e T9 não apresentaram ganhos significativos de área. No entanto, a padronização da área superficial das sementes é essencial para garantir a sua distribuição homogênea no campo. A relevância da uniformidade do revestimento é destacada por Pedrini et al. (2017), os quais explicam que, no processo de recobrimento em sistemas rotativos, o movimento faz com que as sementes colidam e deslizem umas sobre as outras. O atrito gerado atua diretamente na suavização da superfície externa do revestimento. Essa tecnologia é fundamental, pois tais parâmetros asseguram a uniformidade do recobrimento, além de otimizar a

adesão e a distribuição de polímeros, micronutrientes e fungicidas sobre as sementes, como observado nos referidos tratamentos.

5.1.2 Umidade das sementes revestidas (%U)

Os resultados referentes à umidade das sementes revestidas do experimento 1 (Figura 5) demonstram que a utilização da tecnologia de revestimento de sementes aplicada com a combinação de areia e calcário (T2, T3, T4); areia e silicato de cálcio (T5, T6, T7) ; areia, silicato de cálcio e calcário (T8, T9, T10) com cola nas proporções (3:1, 2:1,1:1) não proporcionam acúmulo de umidade nas sementes revestidas, indicando que nesses tratamentos a temperatura de 50 º C na regulagem da drageadora foi eficaz para a secagem das sementes, uma vez que todos os tratamentos revestidos obtiveram resultados, numericamente, inferiores ao controle.

Segundo Silva (2021), para a secagem de sementes de milho, temperaturas acima de 40 a 50 °C são prejudiciais às características fisiológicas, podendo inviabilizar o embrião. Nesse contexto, os tratamentos com areia e silicato de cálcio (T6 e T7) apresentaram maior umidade em comparação aos demais, sugerindo que as sementes revestidas com areia, silicato de cálcio e cola nas proporções 2:1 e 1:1 necessitam de tempo superior a 90 segundos ou temperatura acima de 50 °C para secagem. No entanto, esse ajuste deve ser realizado de forma controlada para não comprometer a qualidade fisiológica das sementes (Silva, 2021).

A maioria das sementes comerciais de grandes culturas, possui como valor de referência de umidade em torno de 12% a 13% de umidade (Brasil, 2025), e todos os tratamentos se encontram abaixo desse intervalo.

Nas novas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2025) publicadas pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), a determinação do grau de umidade deve ser realizada com duas repetições, essas são avaliadas por tolerância direta entre os resultados, onde a diferença entre ambas não pode passar de 0,5%.

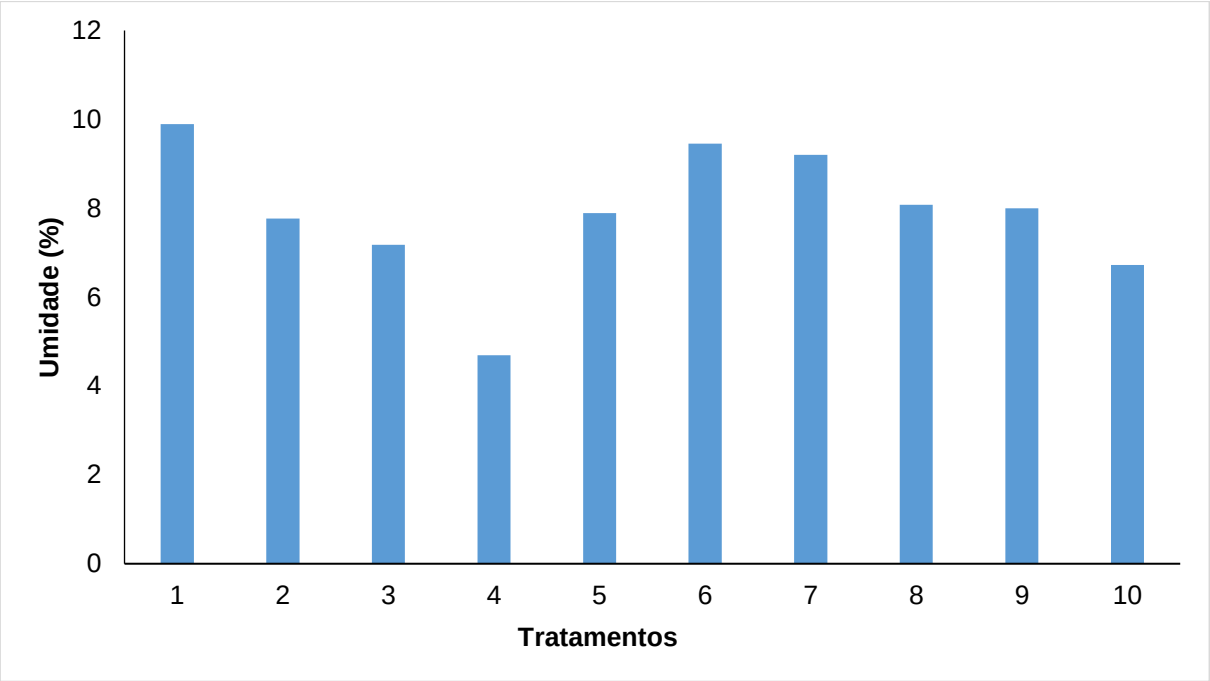


Figura 5: Umidade (%) - Sementes de milho revestidas com diferentes proporções de material cimentante (cola) - T1 (controle), T2 (cola 3:1), T3 (cola 2:1) e T4 (cola 1:1) todos com areia e calcário dolomítico; T5 (cola 3:1), T6 (cola 2:1) e T7 (cola 1:1) formados com areia e silicato de cálcio e os tratamentos T8 (cola 3:1), T9 (cola 2:1) e T10 (cola 1:1) com areia, silicato e calcário dolomítico.

Mendonça et al. (2007) explica que o teor de água é afetado diretamente pela adição de material de revestimento que aumenta o peso seco total das sementes que aparentemente reduz o teor de água. Entre todos os tratamentos do experimento 1, T4 (cola 1:1) com areia e calcário apresentou o menor teor de água, muito provável que o uso de uma cola mais concentrada tenha gerado maior poder de adesão reduzindo assim o teor de água das sementes.

5.1.3 Peso de mil sementes (PMS)

A análise de variância do peso de mil sementes (PMS) indicou significância ao nível de 1% do experimento 1 (Tabela 4), verificando-se um coeficiente de variação de: 7,54%, ou seja, uma alta precisão.

Os resultados do peso de mil sementes (PMS) apontam indiretamente que o material aplicado foi perdido, pois, com 100 g de semente e 250g de material de enchimentos a diferença entre os tratamentos e o controle deveria ser no mínimo 250g. Nesta perspectiva, com exceção do T3, 4 e 10 os demais quase não aderiram material, apesar de serem superiores. Essa variação entre os tratamentos pode estar

associada à algumas características dos materiais de enchimento, pois características físicas como a densidade e umidade dos materiais de enchimento são diferentes.

Tabela 4: Análise de variância da variável - Peso de Mil Sementes (PMS).

FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade (%)
Tratamentos	9	291808,3	32423,1	36,4	**
Resíduo	70	62318,9	890,271		
Total	79	354127			
Média		395,4			
CV (%)		7,54			

**Significativo a 1% de probabilidade; CV (%) coeficiente de variação, em porcentagem

Observou-se no experimento 1, que os materiais de revestimento incrementaram peso às sementes em todos os tratamentos. Os tratamentos apresentaram uma média superior ao controle (Figura 6), com destaque para os tratamentos T3, T4 e T10, onde se observou que foram superiores ao controle e aos demais tratamentos. Os revestimentos T2, T3 e T4, são compostos pelo mesmo material de enchimento, diferenciando-se apenas pela proporção de cola, T3 e T4 foram estatisticamente iguais entre si, ou seja, as diferentes proporções de cola aplicadas não proporcionaram diferença significativa nos resultados entre os tratamentos, contudo a cola 3:1 proporcionou menor Peso de Mil Sementes (PMS) ao tratamento T2.

Nos tratamentos T5 (3:1), T6 (2:1) e T7 (1:1), com areia e Silicato de cálcio constata-se igualdade estatística entre as proporções de cola T6 (2:1) e T7 (1:1) ou seja as colas mais concentradas atreladas ao uso de areia mais silicato de cálcio como material de enchimento não apresentaram diferença estatística nos resultados e ressalta-se que a cola 3:1 (T5), cola mais diluída, obteve significância apenas sobre a cola 2:1 (T6).

Pires (2019) ao avaliar o peso de mil sementes (PMS) de sorgo granífero revestidas com areia, calcário e silicato de cálcio e cola 2:1, verificou que o revestimento das sementes proporcionou ganhos ao peso das sementes não revestidas.

O tratamento T10 preenchido com cola 1:1 apresentou diferença positiva em relação aos tratamentos T8 e T9 que possuem proporção de cola 3:1 e 2:1, respectivamente, ambos possuem o mesmo material de enchimento do tratamento

T10: areia, silicato e calcário dolomítico (Figura 6), verifica-se então que a cola mais concentrada 1:1, possibilitou maior poder adesivo ao material cimentante, pois se destacou positivamente em comparação as outras proporções utilizadas com os mesmos materiais de enchimento aplicados.

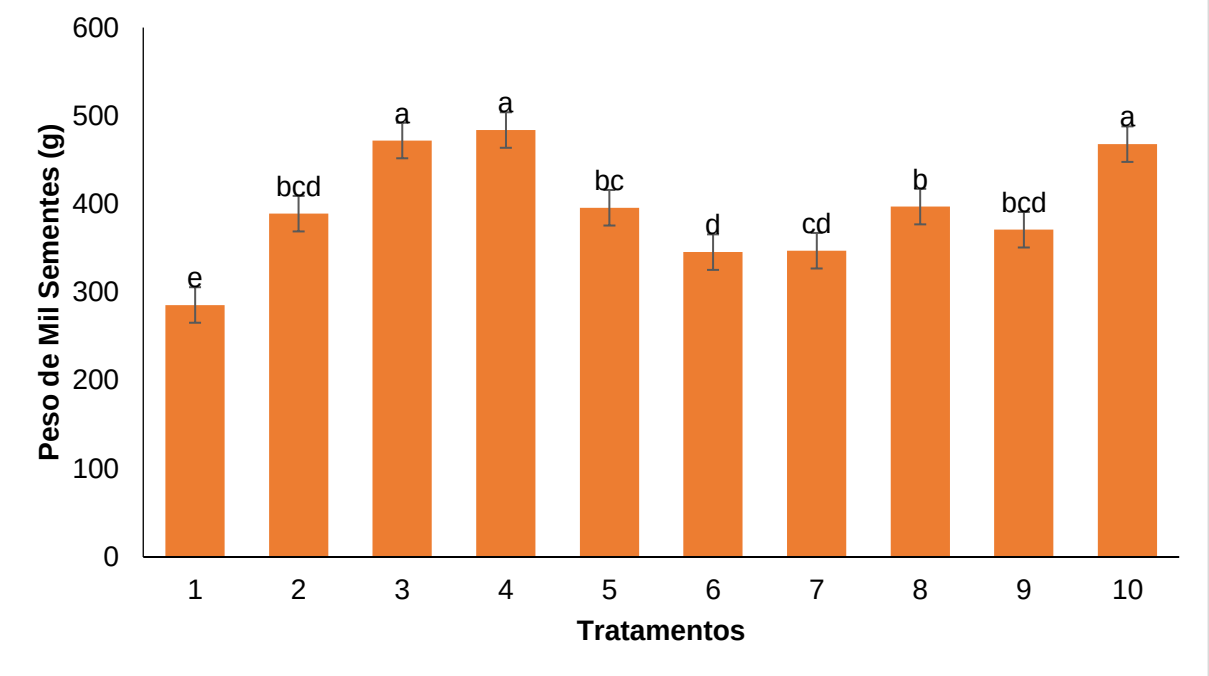


Figura 6: Peso de Mil Sementes (PMS) - Sementes de milho revestidas com diferentes proporções de material cimentante (cola) - T1 (controle), T2 (cola 3:1), T3 (cola 2:1) e T4 (cola 1:1) todos com areia e calcário dolomítico; T5 (cola 3:1), T6 (cola 2:1) e T7 (cola 1:1) formados com areia e silicato de cálcio e os tratamentos T8 (cola 3:1), T9 (cola 2:1) e T10 (cola 1:1) com areia, silicato e calcário dolomítico. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.1.4 Características fisiológicas em laboratório

De acordo com a Tabela 5, as variáveis demonstram efeitos significativos a (P<0,01), com apenas a variável porcentagem de germinação sendo significativa a (P<0,05). Os maiores coeficientes de variação foram encontrados nos parâmetros plantas anormais e sementes não germinadas, 56,49% e 36,70% (Tabela 5), respectivamente, evidenciando que ocorreu uma alta dispersão desses dados em relação à média.

A porcentagem de plântulas anormais apresentou uma média de 9,3 plantas, esse valor foi significativo embora seu coeficiente de variação representa uma alta dispersão dos resultados. Segundo Xavier (2015), a má formação de plântulas

anormais pode estar relacionada à disposição das partículas dos agentes de enchimento e da solução adesiva, que dificultam as trocas gasosas entre as sementes e o ambiente externo.

Silva (2021) trabalhando com sementes revestidas de milho constatou um aumento na porcentagem de plântulas anormais em função do acréscimo de camadas de recobrimento, esse aumento nas percentagens de plântulas anormais pode estar relacionado ao arranjo das partículas finas do material de enchimento e da ocupação dos espaços porosos pela solução adesiva.

Outros parâmetros como índice de velocidade de germinação (IVG), primeira contagem de germinação (PCG) e porcentagem de germinação apresentaram valores médios em seus coeficientes de variação, ou seja, não houve dispersão muito elevada em relação à média apurada nos tratamentos.

A primeira contagem de germinação (PCG) foi realizada indicando o vigor das sementes, e resultou no valor de 54,5% com um coeficiente de variação: 10,9%, médio ao nível de 5% significância (Tabela 5), onde, apenas o tratamento T3 obteve um resultado significativamente menor comparado ao controle (Figura 7). Conforme já observado por Xavier e Vieira (2015), materiais de revestimento associados à cola podem influenciar a absorção de água pelas sementes, retardando a primeira fase do padrão trifásico de absorção e reduzindo os valores das variáveis analisadas.

Tabela 5: Análise de variância dados fisiológicos experimento 1.

Variável	Quadrado Médio			Média	CV (%)
	Tratamento		Resíduo		
Índice de velocidade de germinação	0,956	**	0,242	4,3	11,34
Porcentagem Germinação	245,511	*	66,666	66,6	12,25
Primeira Contagem Germinação	154,888	**	35,333	54,5	10,90
Plântulas Anormais	48,044	**	27,6	9,3	56,49
Sementes Não Germinadas	224,4	**	78,266	24,1	36,70

*Significante a 5% de probabilidade; **Significante a 1% de probabilidade; CV (%) Coeficiente de Variação, em porcentagem

Dentre as características avaliadas no teste de germinação (Figura 7), nota se que as variáveis, porcentagem de plântulas normais do tratamento T3 e a porcentagem de plântulas normais do tratamento T4 foram significativamente inferiores ao controle, destaca-se que ambos os tratamentos possuem areia e calcário em seus revestimentos combinados às diferentes proporções de cola 2:1 (T3) e 1:1

(T4). De forma similar, o IVG (índice de velocidade de germinação) apenas dos tratamentos T3 e T4, apresentaram-se inferiores ao controle (Figura 8).

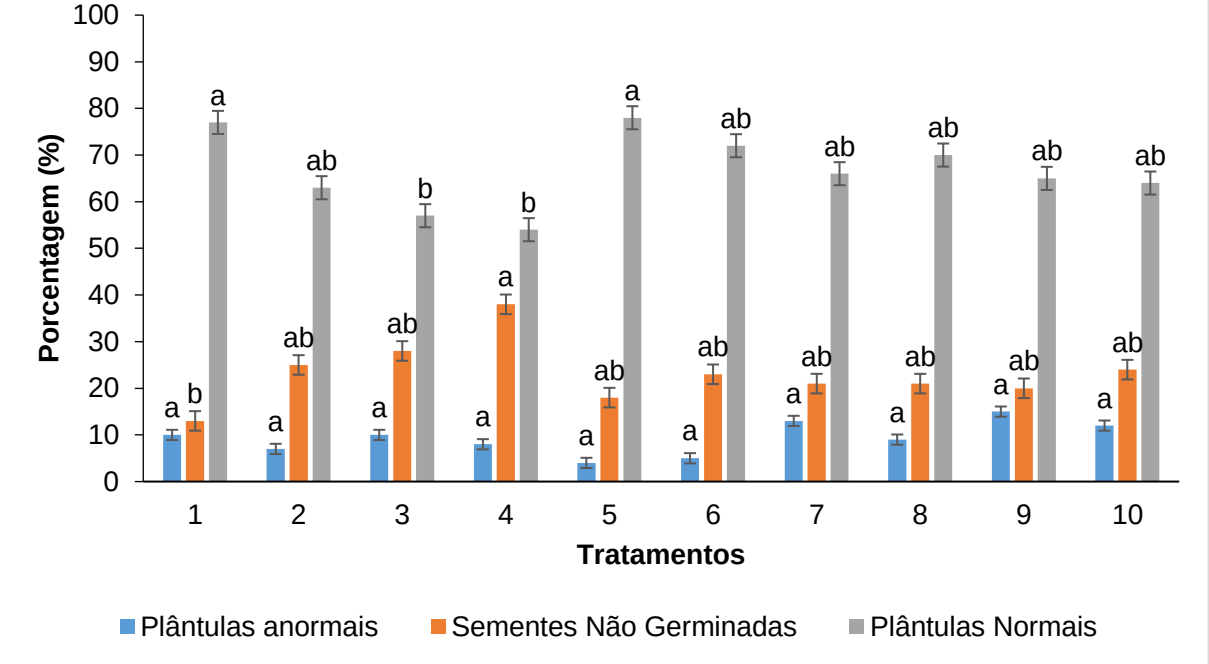


Figura 7: Teste de germinação- Sementes de milho revestidas com diferentes proporções de material cimentante (cola) - T1 (controle), T2 (cola 3:1), T3 (cola 2:1) e T4 (cola 1:1) todos com areia e calcário dolomítico; T5 (cola 3:1), T6 (cola 2:1) e T7 (cola 1:1) formados com areia e silicato de cálcio e os tratamentos T8 (cola 3:1), T9 (cola 2:1) e T10 (cola 1:1) com areia, silicato e calcário dolomítico. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Silva et al. (2021) ao avaliar características fisiológicas de sementes revestidas de estilosantes, discorrem que o processo de recobrimento das sementes pode resultar em alterações fisiológicas como alteração na porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação e presença de plântulas anormais, o que pode ter ocorrido nos tratamentos anteriormente mencionados pois a solução adesiva preenche os espaços porosos entre os materiais de enchimento, criando uma barreira física contínua.

Em contrapartida, Baroni et al. (2020) testaram diferentes concentrações de cola PVA, diluída em água, 3:1, 2:1 e 1:1, e verificaram que os tipos de cola nas diferentes proporções não apresentaram efeito danoso nas características fisiológicas das sementes.

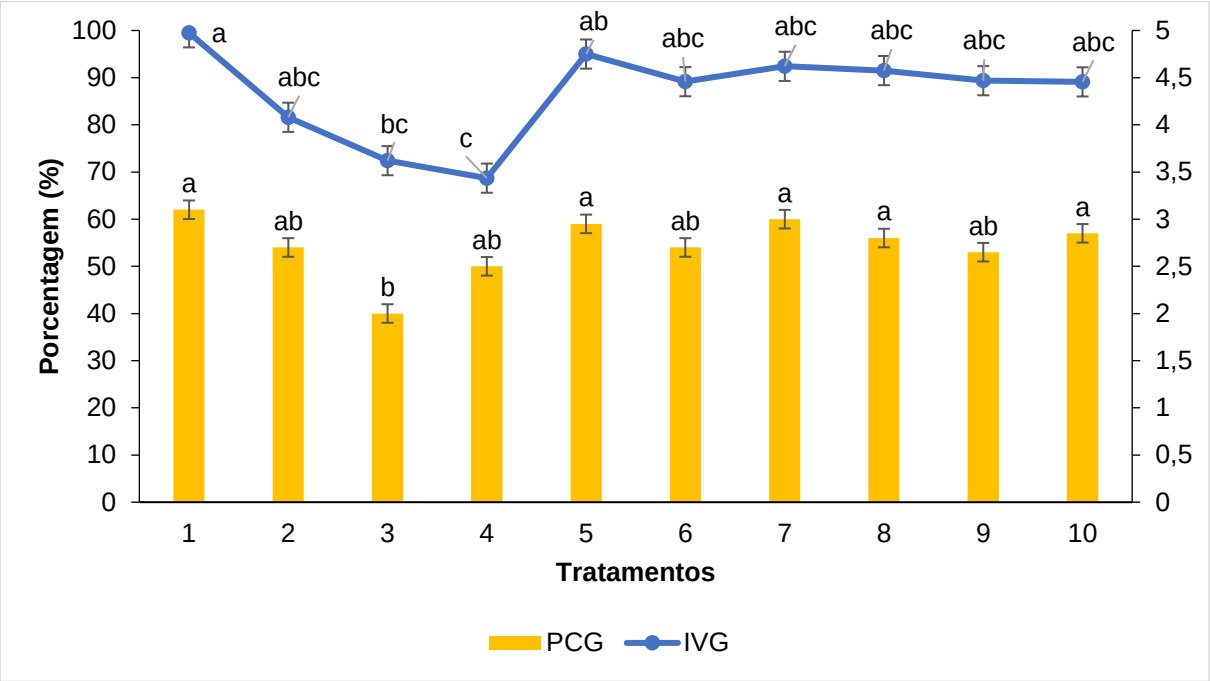


Figura 8: Porcentagem da primeira contagem de germinação (PCG) e o Índice de velocidade de germinação.

Em relação aos materiais de enchimento aplicados no experimento 1 (Figura 9), o resultado da porcentagem de germinação, independente da proporção de cola aplicada, não foi significativo quando comparamos com os que possuem os mesmos materiais de enchimento aplicados: Areia e calcário dolomítico (T2, T3, T4); Areia e silicato de cálcio (T5, T6, T7) e Areia, silicato e calcário dolomítico (T8, T9, T10).

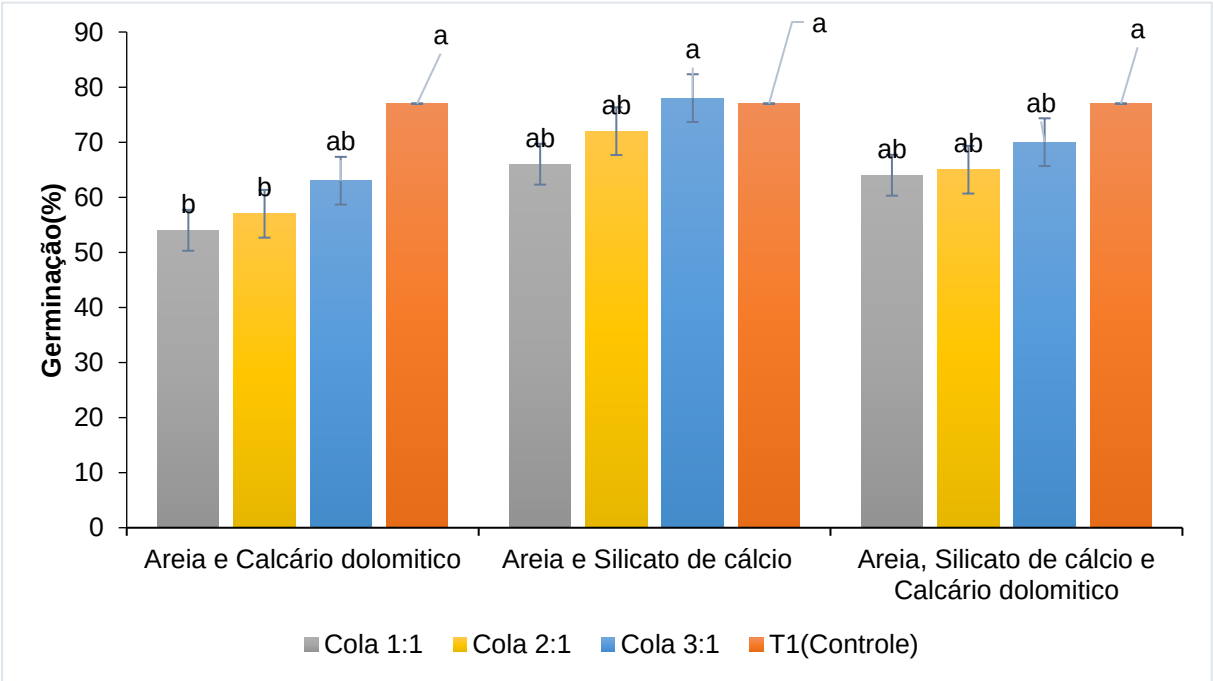


Figura 9: Porcentagem de germinação em função do material de enchimento utilizado.

Houve uma diferença significativa na porcentagem de germinação das sementes revestidas com o uso da cola menos diluída (2:1 e 1:1) em relação ao controle (figura 9), verifica-se que a associação dessas proporções de cola com os materiais de enchimento areia e calcário foram prejudiciais às sementes, no entanto a proporção de cola 3:1, independente dos materiais de enchimento utilizados, obteve a porcentagem de germinação equivalente ao controle (Figura 10).

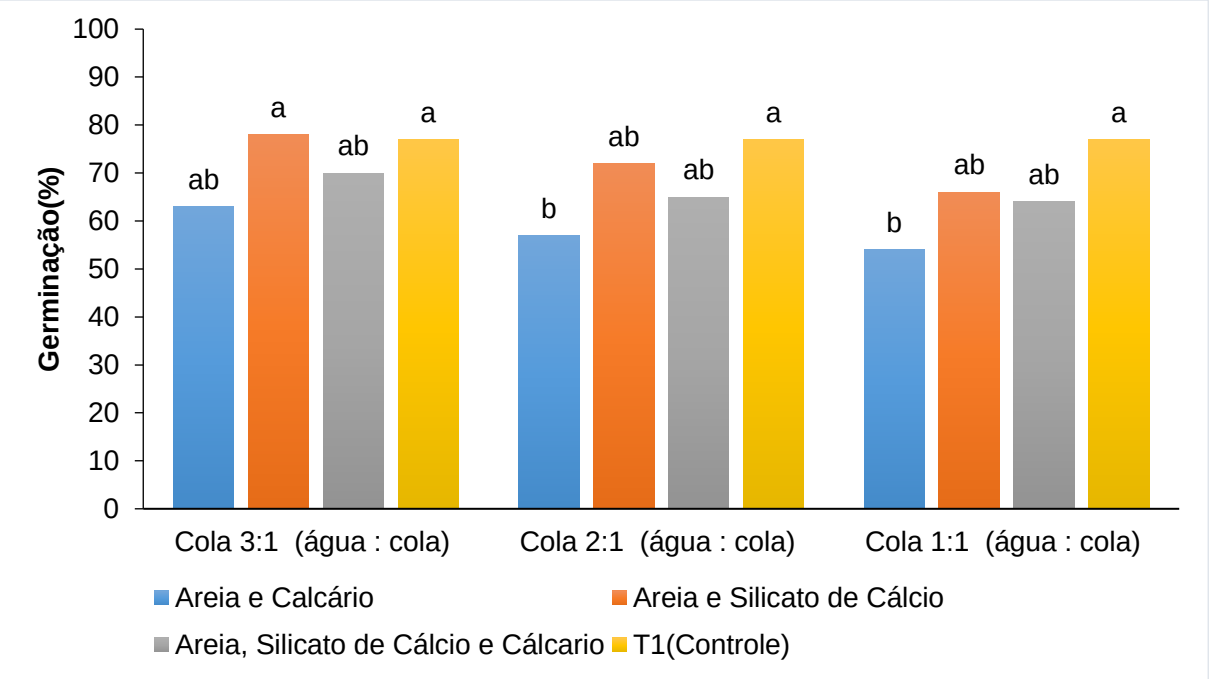


Figura 10: Porcentagem de germinação em função da proporção de cola utilizada

5.1.5 Teste de Vigor: Comprimento de plântulas

A análise de variância dos comprimentos das partes aérea, raiz e total indicam resultados significativos para a parte aérea, raiz e total, os baixos coeficientes de variação refletem uma boa precisão da análise (Tabela 6).

Tabela 6: Análise de variância dos comprimentos das partes aérea, raiz e total.

Variável	Quadrado Médio			Média	CV (%)
	Tratamento		Resíduo		
Comprimento da Parte aérea	3,1001	*	0,8669	7,0206	13,26
Comprimento da raiz primária	10,3952	*	0,7878	8,9839	9,88
Comprimento total	21,1287	*	1,5876	16,2023	7,78

* Significativo a 5% de probabilidade; CV (%) coeficiente de Variação, em porcentagem.

Com a análise estatística foi possível verificar que, em relação ao comprimento das plântulas obtidos no experimento 1, apenas o tratamento T4 foi inferior ao controle (Figura 11). Os menores comprimentos de parte aérea, raiz e total foram referentes ao tratamento T4 (cola 1:1), a combinação da proporção de cola 1:1 com os materiais areia e calcário do tratamento T4 afetaram negativamente os resultados no teste, provavelmente a cola mais concentrada preencheu os poros do revestimento dificultando o crescimento das partes essenciais das plântulas.

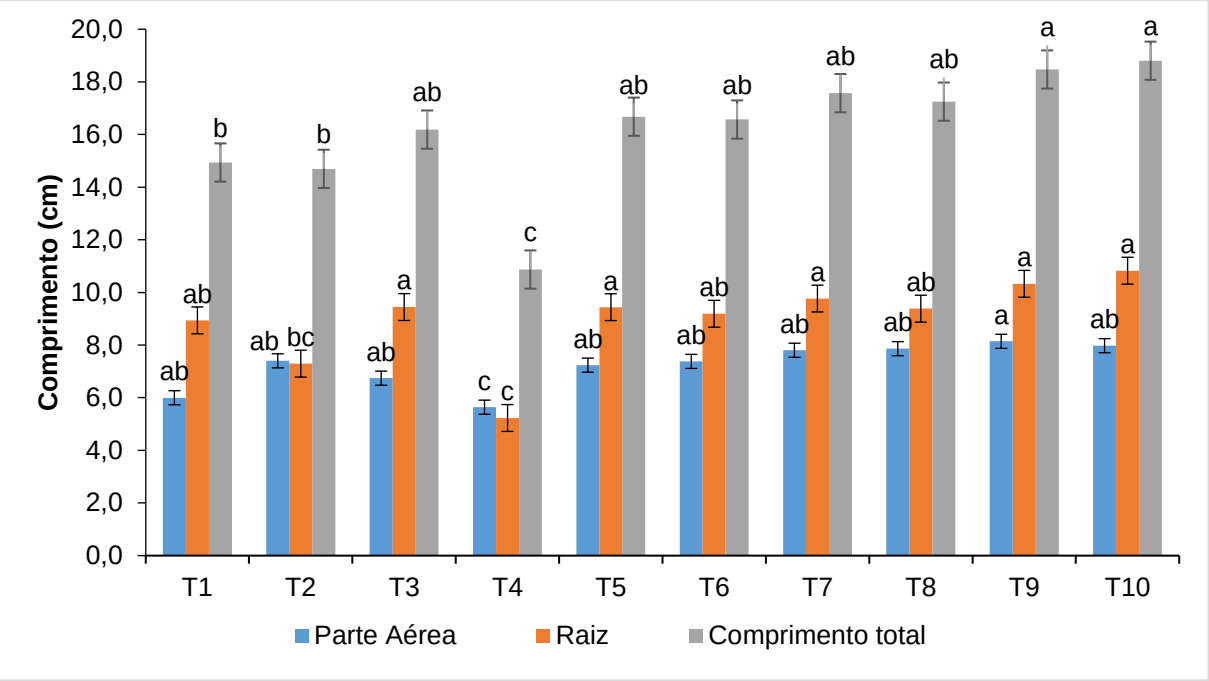


Figura 11*:* Teste de vigor - Sementes de milho revestidas com diferentes proporções de material cimentante (cola) - Comprimento (cm) parte Área, raiz e total. T1 (controle), T2 (cola 3:1), T3 (cola 2:1) e T4 (cola 1:1) todos com areia e calcário dolomítico; T2 (cola 3:1), T3 (cola 2:1) e T4 (cola 1:1) formados com areia e silicato de cálcio e os tratamentos T8 (cola 3:1), T9 (cola 2:1) e T10 (cola 1:1) com areia, silicato e calcário dolomítico. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Baroni (2020) que revestiu sementes de estilosantes com diferentes materiais cimentante em três proporções (3:1; 2:1; e 1:1 de água para cola), diluídas em água aquecida a 70 °C não encontrou diferença significativa entre os tratamentos para as variáveis comprimento da parte aérea e raiz, diferente dos dados encontrados neste trabalho, isso demostra que a proporção de cola 1:1 combinada aos materiais areia e calcário proporcionou uma adesão mais forte de materiais e rígida sobre as sementes.

Para o comprimento total, apenas os tratamentos com a combinação dos materiais: areia, silicato e calcário dolomítico, T9 (2:1) e T10 (1:1), se destacaram de

positivamente em relação ao controle, os demais tratamentos com exceção do T4 que foi menor, apresentaram-se estatisticamente iguais ao controle.

Nakagawa (1999) verificou que o uso da cola 1:1 combinada com areia e calcário (T4) prejudicou o crescimento das plântulas. Lima (2022) também observou efeitos negativos ao utilizar cola PVA como material cimentante, relatando redução no comprimento da raiz primária e da parte aérea de plântulas de milho crioulo. O autor associou os menores comprimentos de raiz ao uso de cola PVA com água, e o menor comprimento da parte aérea ao uso da cola PVA isoladamente.

5.1.6 Massa seca da parte aérea, raiz e total (g. planta^{-1})

Considerando um nível de significância para cada teste independente α = 1%, a análise de variância (Tabelas 7) apresenta coeficientes de variação para os parâmetros massa seca parte aérea e raiz com os valores de 20,84%, 21,38% e médio de 19,75% para a massa seca total.

Tabela 7*:* Variância dados fisiológicos: massa seca da parte aérea, raiz e total (g. planta-1).

Variável	Quadrado Médio			Média	CV (%)
	Tratamento		Resíduo		
Massa seca aérea	0,008104	**	0,001735	0,199875	20,84
Massa seca raiz	0,013043	**	0,00346	0,27505	21,38
Massa seca total	0,034035	**	0,008805	0,474925	19,75

**Significativo a 1% de probabilidade; CV (%) coeficiente de variação, em porcentagem

Com os resultados apresentados do teste de Tukey ao nível de significância de 5%, verificou-se que ao realizar a comparação das médias, a massa seca da parte aérea entre todos os tratamentos resultaram em valores estatisticamente iguais ao controle. Também é possível constatar que os tratamentos com diferentes proporções de cola 2:1 e 1:1, T6 e T7 (areia e silicato de cálcio), respectivamente, se destacam positivamente na massa seca das raízes e total em comparação ao controle, mas não se diferenciaram estatisticamente dos demais tratamentos (Figura 12).

Baroni et al*.* (2020) ao trabalhar com *Stylosanthes* Campo Grande e diferentes proporções de cola PVA, verificaram que não houve diferença significativa entre os tratamentos e o controle no que diz respeito a massa seca da parte aérea e da raiz nas proporções de cola 3:1, 2:1 e 1:1, isso demonstra um efeito positivo na produção

de massa seca com o uso da mistura de areia com silicato de cálcio como material de enchimento em comparação aos demais materiais.

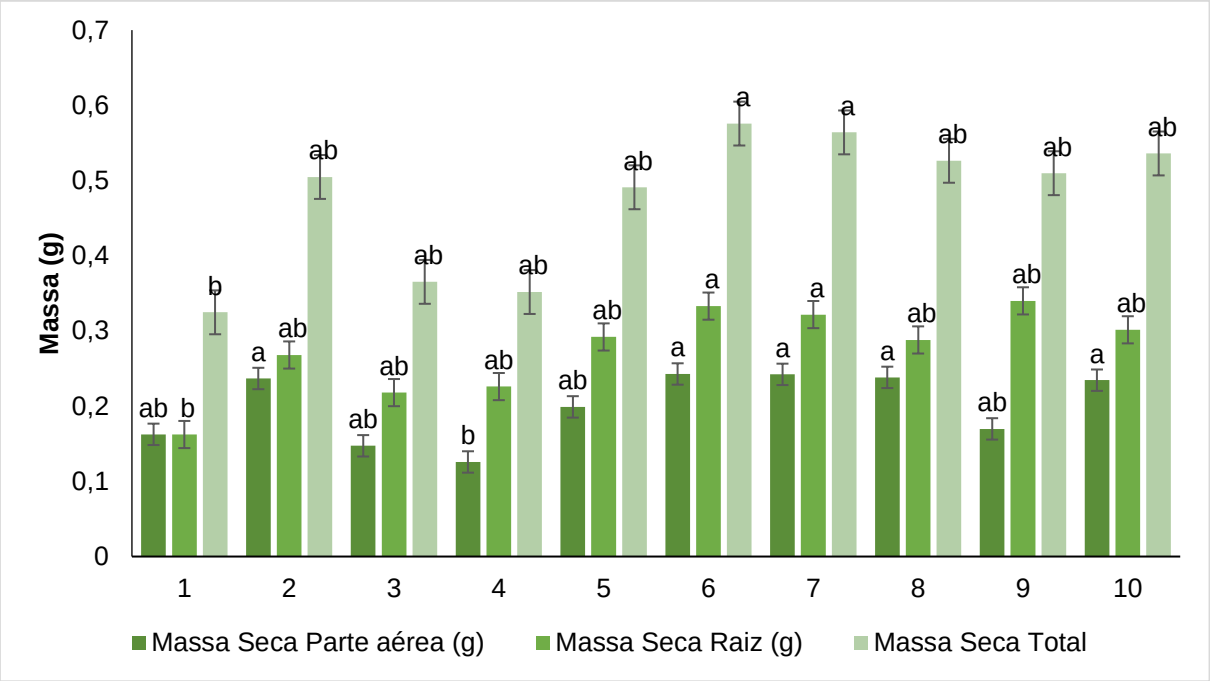


Figura 12: Massa Seca (g) parte aérea, raiz e Total - Sementes de milho revestidas com diferentes proporções de material cimentante (cola) - T1 (controle), T2 (cola 3:1), T3 (cola 2:1) e T4 (cola 1:1) todos com areia e calcário dolomítico; T5 (cola 3:1), T6 (cola 2:1) e T7 (cola 1:1) formados com areia e silicato de cálcio e os tratamentos T8 (cola 3:1), T9 (cola 2:1) e T10 (cola 1:1) com areia, silicato e calcário dolomítico. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

5.2 Experimentos 2 - Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco

5.2.1 Biometria das sementes

Os resultados indicaram baixa dispersão dos dados em relação às respectivas médias, evidenciando boa precisão experimental (tabela 8). Além disso, observou-se que as variáveis demonstraram significância ao nível de 1% de probabilidade, apontando que os diferentes revestimentos e doses de sulfato de zinco influenciaram nas características biométricas das sementes.

Tabela 8*:* Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco.

Variável	Quadrado Médio			Média	CV (%)
	Tratamento		Resíduo		
Área (cm^2)	0,0032	**	0,0004	0,5768	3,45
Circularidade	0,0010	**	0,0002	0,8508	1,74
Diâmetro máximo (cm)	0,0011	**	0,0003	0,9298	1,88
Diâmetro mínimo (cm)	0,0030	**	0,0003	0,7798	2,22
Perímetro (cm)	0,0948	**	0,0052	3,0360	2,38

**Significativo a 1% de probabilidade; CV (%) coeficiente de variação, em porcentagem.

O teste de comparação de médias foi realizado e verificou-se que apenas o tratamento T6, correspondente à aplicação de 2,0 g de $ZnSO_4$ por 100 g de sementes revestidas com areia e calcário dolomítico (cola 3:1), apresentou médias estatisticamente superiores às dos demais tratamentos para as variáveis área, diâmetro máximo, diâmetro mínimo e perímetro.

Segundo Acha et al. (2016), o sulfato de zinco apresenta partículas relativamente maiores e mais densas quando comparado a outros micronutrientes utilizados em revestimentos. O autor ainda ressalta que, durante o processo de recobrimento, materiais de granulometria mais fina devem ser preferencialmente posicionados nas camadas mais próximas ao núcleo do pélete, visando maior uniformidade do revestimento. A incorporação de doses elevadas de $ZnSO_4$ pode ter contribuído para o aumento das dimensões observadas no tratamento T6, uma vez que o sulfato de zinco após ser macerado não passou pelo processo de peneiração (abertura de 0,250 mm) como os demais materiais.

Embora a maior dose de sulfato de zinco possa ter aumentado as dimensões físicas das sementes no tratamento T6, o efeito não se repetiu nos tratamentos T11 e T16, que continham a mesma dosagem. Essa divergência demonstra que as doses de zinco não influenciaram significativamente o formato das sementes, sugerindo que o comportamento observado no T6 decorra de um eventual erro experimental (Figuras 13 e 14).

Em relação à circularidade (CIR), conforme observado na Figura 13, os tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre si, permanecendo semelhantes ao tratamento controle. Esses resultados indicam que, embora os revestimentos tenham promovido alterações nas dimensões das sementes, sua forma geral permaneceu relativamente uniforme, sem modificações expressivas na sua circularidade.

Acha et al. (2018) utilizando diferentes metodologias para a aplicação de doses de sulfato de zinco ao revestimento, observaram ganhos em diâmetro máximo, mínimo e redução nos contornos da semente, tornando-as maiores e uniformes e melhorando dessa forma sua distribuição no campo, esse comportamento pode estar relacionado às características físicas do próprio sulfato de zinco, que contribui para a formação de camadas mais espessas durante o processo de peletização, aumentando o volume e as dimensões externas das sementes.

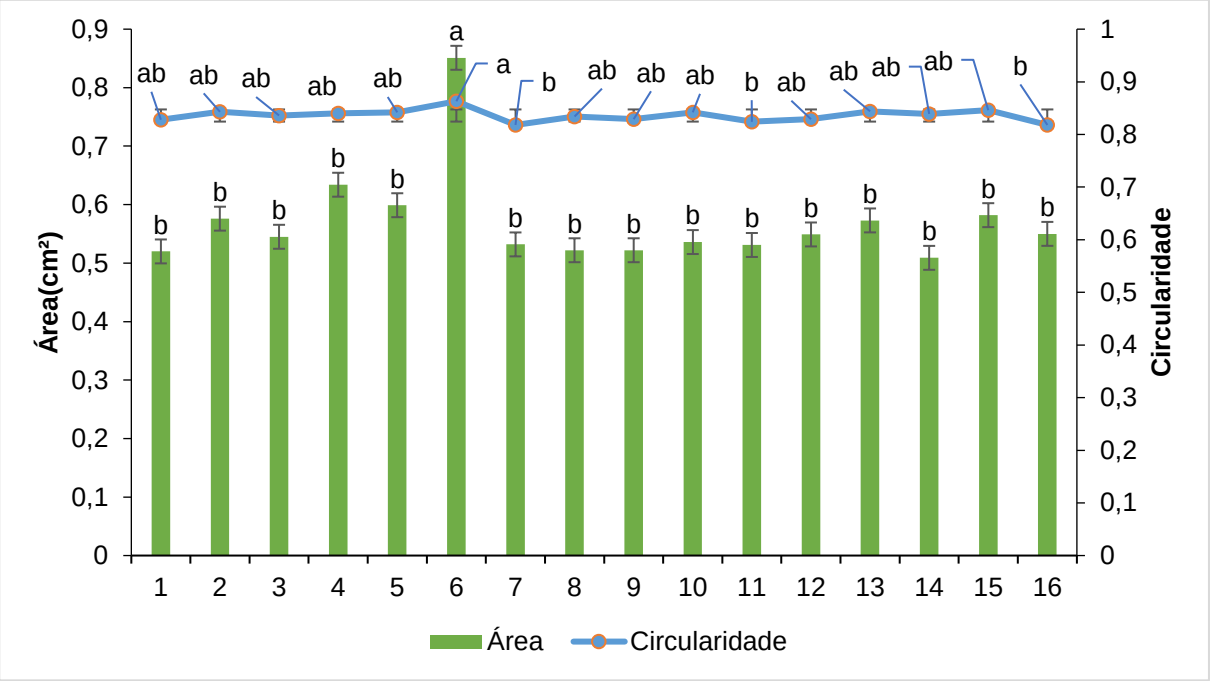


Figura 13*:* Área e Circularidade - Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco - T1 (controle, sementes sem revestimento), T2: (sementes revestidas sem micronutrientes), T3: 0,5g de ZnSO4, T4: 1,0g de ZnSO4, T5: 1,5g de ZnSO4, T6: 2,0g de ZnSO4, T7: (sementes revestidas sem micronutrientes); T8: 0,5g de ZnSO4, T9: 1,0g de ZnSO4, T10: 1,5g de ZnSO4, T11: 2,0g de ZnSO4, T12: (sementes revestidas sem micronutrientes), T13: 0,5g de ZnSO4, T14: 1,0g de ZnSO4 T15: 1,5g de ZnSO4, T16: 2,0g de ZnSO4. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

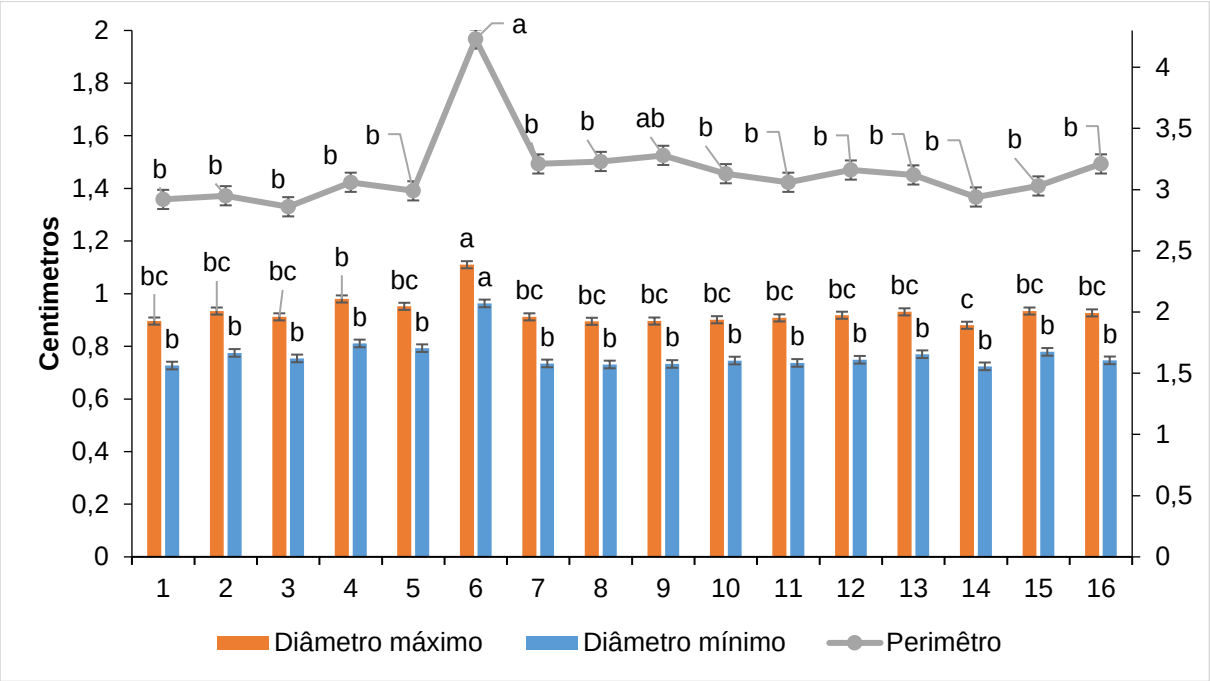


Figura 14*:* Diâmetro máximo, diâmetro mínimo e Perímetro - Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco - T1 (controle, sementes sem revestimento), T2: (sementes revestidas sem micronutrientes), T3: 0,5g de ZnSO4, T4: 1,0g de ZnSO4, T5: 1,5g de ZnSO4, T6: 2,0g de ZnSO4, T7: (sementes revestidas sem micronutrientes); T8: 0,5g de ZnSO4, T9: 1,0g de ZnSO4, T10: 1,5g de ZnSO4, T11: 2,0g de ZnSO4, T12: (sementes revestidas sem micronutrientes), T13: 0,5g de ZnSO4, T14: 1,0g de ZnSO4 T15: 1,5g de ZnSO4, T16: 2,0g de ZnSO4. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

5.2.2 Determinação de umidade (%U)

Apesar da adição de sulfato de zinco que é um sal altamente higroscópico, absorve a umidade do ambiente, os revestimentos com e sem micronutrientes adicionados em sua composição não ultrapassaram a umidade do tratamento controle (Figura 15).

A umidade das sementes se alterou de acordo com os tratamentos revestidos, todavia sempre com percentual menor que o tratamento controle. Os tratamentos com areia e calcário, T2 (sem zinco), T3, T4 apresentaram um padrão homogêneo de umidade, em torno de 10%, no entanto, os tratamentos com maiores doses de zinco e mesmo material de revestimento (T5, T6) apresentaram valores inferiores. Os tratamentos com areia e silicato de cálcio T7 (sem zinco), T8, T9, T10, T11 variaram seus graus de umidade, exibindo variações acima de 10%, com o tratamento T9 apresentando valores próximos ao tratamento controle.

Segundo Silva (2021), usando sementes de milho híbrido recobertas com calcário dolomítico e silicato de cálcio observaram valores inferiores de umidade em comparação ao tratamento controle, o que está de acordo com os resultados obtidos neste estudo.

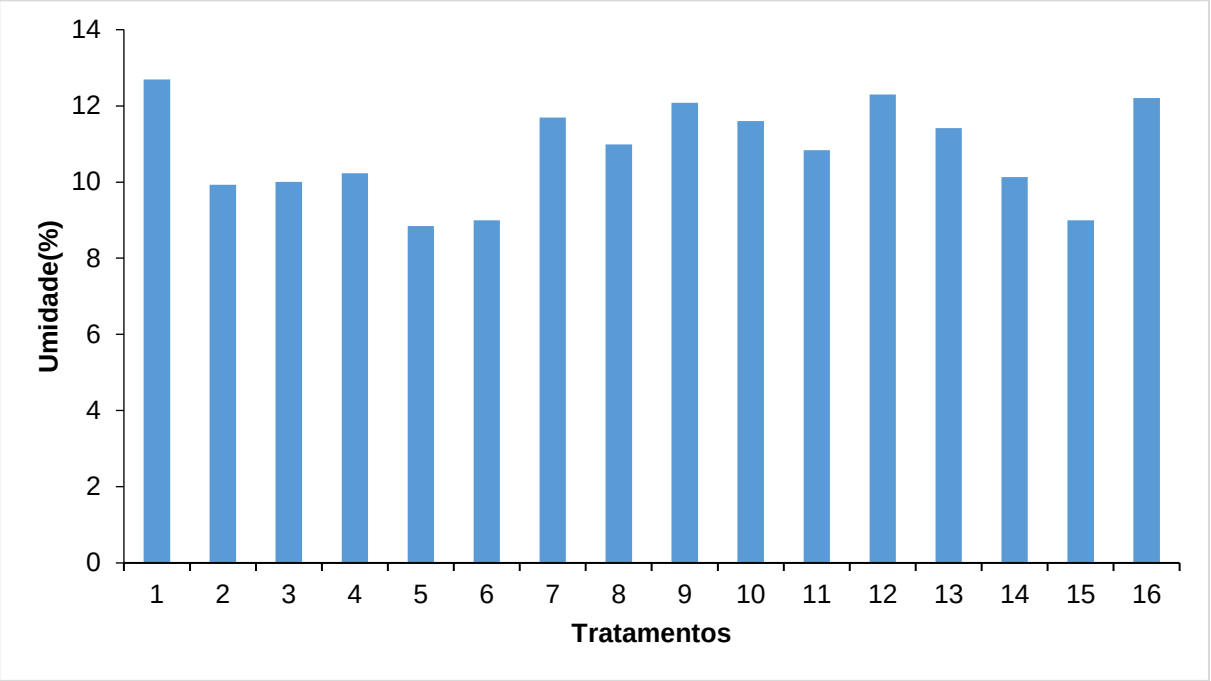


Figura 15*:* Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco - T1 (controle, sementes sem revestimento), T2: (sementes revestidas sem micronutrientes), T3: 0,5g de ZnSO4, T4: 1,0g de ZnSO4, T5: 1,5g de ZnSO4, T6: 2,0g de ZnSO4, T7: (sementes revestidas sem micronutrientes); T8: 0,5g de ZnSO4, T9: 1,0g de ZnSO4, T10: 1,5g de ZnSO4, T11: 2,0g de ZnSO4, T12: (sementes revestidas sem micronutrientes), T13: 0,5g de ZnSO4, T14: 1,0g de ZnSO4 T15: 1,5g de ZnSO4, T16: 2,0g de ZnSO4. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

.

A porcentagem de umidade das sementes revestidas com areia, calcário e silicato de cálcio, tratamentos T12, T13, T14, T15 e T16, registraram as maiores variações de umidade, de valores variando entre 9% até acima 12%, contudo, não ultrapassaram o percentual de umidade do tratamento controle.

Constatou-se pelos resultados dos tratamentos sem adição de micronutriente (T2, T7 e T12) que a umidade das sementes não foi afetada pelas doses de zinco, mas sim pelos materiais de enchimento aplicados, já que o material cimentante é o mesmo para todos os tratamentos revestidos.

Conforme Acha (2016), o revestimento reduz a umidade das sementes devido ao acréscimo de material durante o processo de recobrimento. Guimarães (2015), em

estudos com sementes de Braquiária e silicato de cálcio, verificou amplitude de 11,1% a 4,8% de umidade entre sementes revestidas e não revestidas, evidenciando o efeito do revestimento sobre esse parâmetro.

5.2.3 Peso de mil sementes (PMS)

A Tabela 9 apresenta o resultado da análise de variância do peso de mil sementes (PMS) do experimento 2 ao nível de significância de 1%, e verificou-se um coeficiente de variação de 8,13%.

Tabela 9: Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco.

FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade (%)
Tratamentos	15	413643,2	27576,2	28,3	**
Resíduo	112	108787,3	971,3		
Total	127	522430,6			
Média		383			
CV (%)		8,13			

**Significativo a 1% de probabilidade; CV (%) Coeficiente de Variação, em porcentagem.

A análise revela a influência direta da composição dos materiais do revestimento sobre o peso de mil sementes (PMS), observa-se que algumas combinações de material de enchimento e proporção de cola geraram diferenças significativas no peso das sementes em alguns tratamentos, especialmente os que utilizaram calcário dolomítico como material de enchimento (T2, T3, T4, T5, T6).

Da mesma forma Lima (2022) observou que o recobrimento propiciou incrementos no peso das sementes, utilizando cola à base de acetato de polivinila (PVA) como agente cimentante e pó de rocha como material enchimento em sementes de milho.

Nos tratamentos T3, T4, T5, T6 revestidos com areia e calcário, T11 com areia e silicato de cálcio e T12, T13 com areia mais silicato de cálcio e calcário as doses de zinco influenciaram significativamente o peso de das sementes em relação ao controle, a Figura 16 demonstra que o tratamento T6, com a dose de 2,0g de sulfato de zinco por 100g de sementes se destacou significativamente em relação a todos os demais tratamentos.

O efeito do revestimento de sementes sobre o peso das sementes, nos tratamentos citados anteriormente, está de acordo com os resultados encontrados por

Silva (2017) que ao trabalhar com sementes revestidas de estilosantes Campo Grande e avaliar suas características físicas e fisiológicas cita que o recobrimento das sementes proporciona incrementos ao peso das sementes e que os valores relacionados à densidade do calcário e silicatos de 2,86 g.cm-3 e 2,66 g.cm-3 possuem diferentes comportamentos durante o processo de recobrimento, atribuindo mudanças significativas nas características físicas das sementes, uma vez que a técnica de revestimento proporciona às sementes ganho em seu peso, devido à adesão de material de enchimento à superfície das sementes.

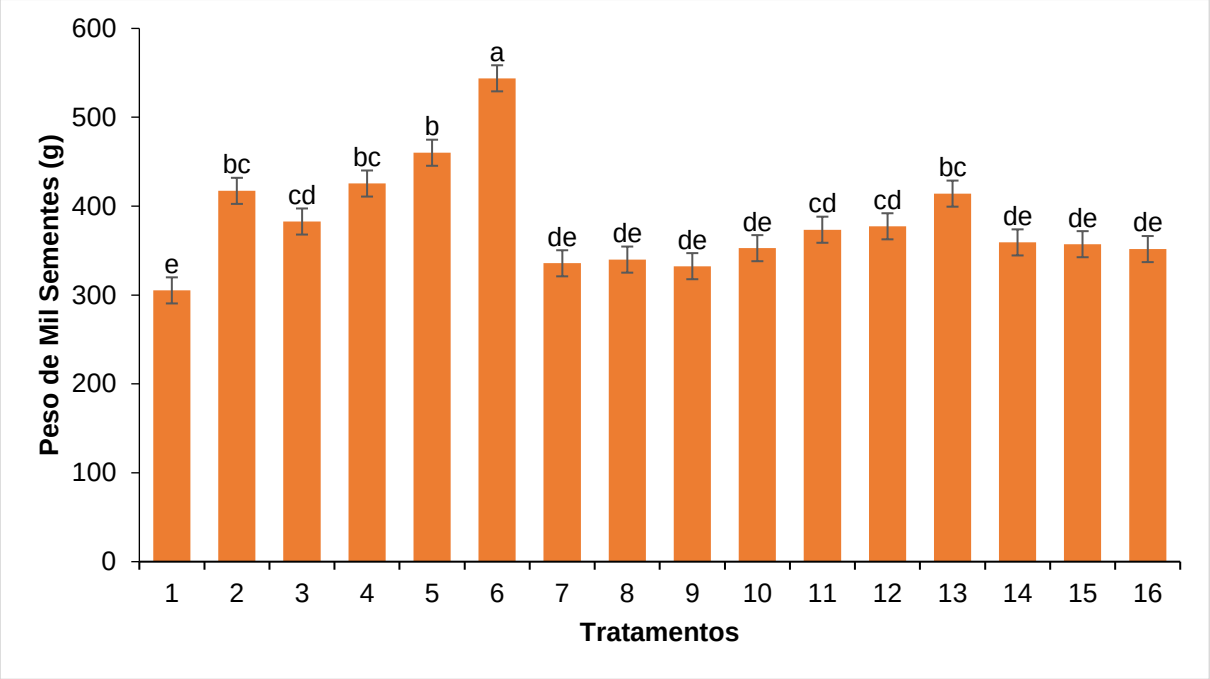


Figura 16: Peso de Mil Sementes (PMS) - Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco - T1 (controle, sementes sem revestimento), T2: (sementes revestidas sem micronutrientes), T3: 0,5g de ZnSO4, T4: 1,0g de ZnSO4, T5: 1,5g de ZnSO4, T6: 2,0g de ZnSO4, T7: (sementes revestidas sem micronutrientes); T8: 0,5g de ZnSO4, T9: 1,0g de ZnSO4, T10: 1,5g de ZnSO4, T11: 2,0g de ZnSO4, T12: (sementes revestidas sem micronutrientes), T13: 0,5g de ZnSO4, T14: 1,0g de ZnSO4 T15: 1,5g de ZnSO4, T16: 2,0g de ZnSO4. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

O aumento no PMS utilizando a técnica de revestimento para a aplicação de micronutrientes pode ser verificado no trabalho de Acha (2016) onde encontrou o maior diâmetro máximo e peso de mil sementes (PMS) em sementes de soja perene revestidas com a combinação de altas doses de sulfato de zinco (ZnSO4) e ácido bórico (H3BO3).

O tratamento T11 apresentou-se significativamente maior que o tratamento controle, mas não diferente dos demais (T7 até T10) que possuem o mesmo material de enchimento e se igualaram estatisticamente ao controle (T1) (Figura 13),

Nos tratamentos que possuem os três materiais de enchimento, areia, calcário e silicato de cálcio (T12, T13, T14, T15 e T16) destacam-se os tratamentos T12 e T13 que apresentaram resultados significativamente maiores que o tratamento controle (T1) ou seja, mesmo com os materiais de revestimento associados às maiores doses de sulfato de zinco (T14, T15 e T16) não houve incremento significativo nos pesos das sementes, indicando que apenas a dose 0,5g de ZnSO4 (T13) apresentou efeitos da aplicação do revestimento, uma vez que o tratamento T12 não possui micronutrientes em sua composição.

O efeito ocorrido com a utilização da técnica de revestimento de sementes no tratamento T13 é verificado por Acha et al. (2016) que ao utilizar diferentes metodologias para aplicação de micronutrientes às sementes de soja perene observou ganho em massa e melhoria física e fisiológica das sementes, quando comparadas às sementes dos tratamentos de controle sem revestimento.

.

5.2.4 Características fisiológicas em laboratório

A análise de variância das sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco revelou efeitos significativos (P<0,01) apenas para as variáveis primeira contagem de germinação (PCG) e plântulas anormais (PA) (Tabela 10).

Tabela 10: Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco.

Variável	Quadrado Médio			Média	CV (%)
	Tratamento		Resíduo		
Índice de velocidade de germinação (IVG)	0,95358	ns	,837721	3,86	23,69
Porcentagem Germinação	101,58	ns	115,41	67,06	16,01
Primeira Contagem Germinação (PCG)	303,18	**	89,58	56,06	16,88
Plântulas Anormais	87,93	**	29,16	8,12	66,46
Sementes Não Germinadas (SNG)	144,8	ns	108,0	24,75	41,98

(ns) não significativo **Significativo a 1% de probabilidade; CV (%) coeficiente de variação, em porcentagem

Nota-se que a porcentagem de germinação (Figura 17) e o índice de velocidade de germinação (IVG) (Figura 18) dos tratamentos foram estatisticamente

iguais entre si, com isso reforça-se que as doses de zinco não apresentaram efeito significativo nesses parâmetros quando comparados ao controle T1, Corroborando com os resultados de Adhikari et al. (2016) que trabalhando com nanopartículas de óxido de zinco em revestimentos de sementes de milho (*Zea mays* L.), soja (*Glycine max* L.), feijão-guandu (*Cajanas cajan* L.) e quiabo (*Abelmoschus esculentus* L.) verificou que revestimento de sementes com ZnO não exerce nenhum potencial osmótico no momento da germinação da semente e não influencia a germinação. No entanto, resultados encontrados por Acha (2018) descrevem uma redução na taxa de germinação com o aumento das doses de boro e zinco que atingiram níveis de fitotoxidez nas sementes.

O elevado Coeficiente de Variação (66,46 %) das plântulas anormais, tabela 9, indica que houve grande variabilidade nos resultados. Os tratamentos T10 e T13 com as doses de zinco 1,5g de ZnSO4 e 0,5g de ZnSO4, respectivamente, afetaram de forma significativa os resultados na avaliação da anormalidade das plântulas em relação ao controle (Figura 17). Acha et al. (2018) observou uma redução na taxa de germinação com o aumento das doses de boro e zinco no revestimento.

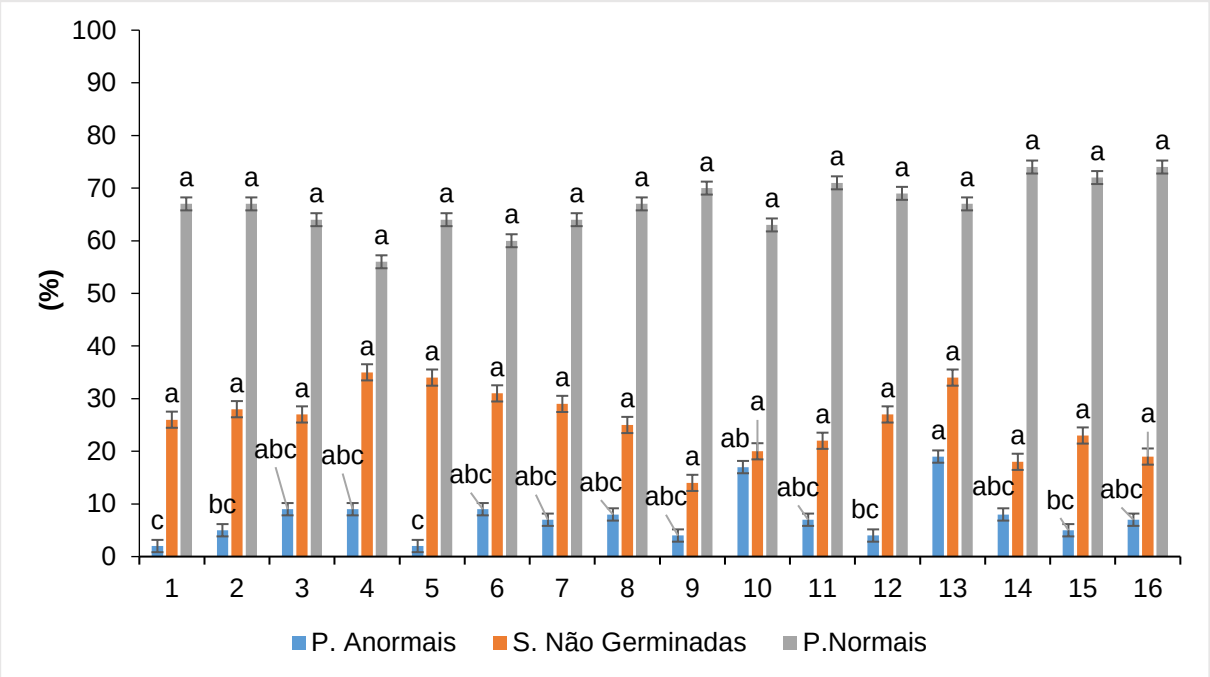


Figura 17: Teste de Germinação - Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco - T1 (controle, sementes sem revestimento), T2: (sementes revestidas sem micronutrientes), T3: 0,5g de ZnSO4, T4: 1,0g de ZnSO4, T5: 1,5g de ZnSO4, T6: 2,0g de ZnSO4, T7: (sementes revestidas sem micronutrientes); T8: 0,5g de ZnSO4, T9: 1,0g de ZnSO4, T10: 1,5g de ZnSO4, T11: 2,0g de ZnSO4, T12: (sementes revestidas sem micronutrientes), T13: 0,5g de ZnSO4, T14: 1,0g de ZnSO4 T15: 1,5g de ZnSO4, T16: 2,0g de ZnSO4. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Lima (2022) observou que a peletização de sementes de milho com pó de rocha pode atrasar a emissão da radícula, aumentando a anormalidade das plântulas. Segundo o autor, o revestimento cria uma barreira física relacionada à granulometria dos materiais, dificultando a permeabilidade e reduzindo o tempo disponível para o desenvolvimento das plântulas. Assim, o número de plântulas anormais está associado a essas diferenças de permeabilidade entre os tratamentos.

O resultado da porcentagem de sementes não germinadas do experimento 2 (Figura 17) mostra um comportamento padrão entre os tratamentos e o controle, contudo o alto valor do coeficiente variação 41,98% indica uma alta dispersão entre os resultados.

A primeira contagem de germinação (PCG) foi realizada no 4º dia e verificou-se que todos tratamentos obtiveram resultados equivalentes ao controle, constatando que a cola 3:1 e as doses de zinco aplicadas nos tratamentos não afetaram a germinação das sementes (Figura 18).

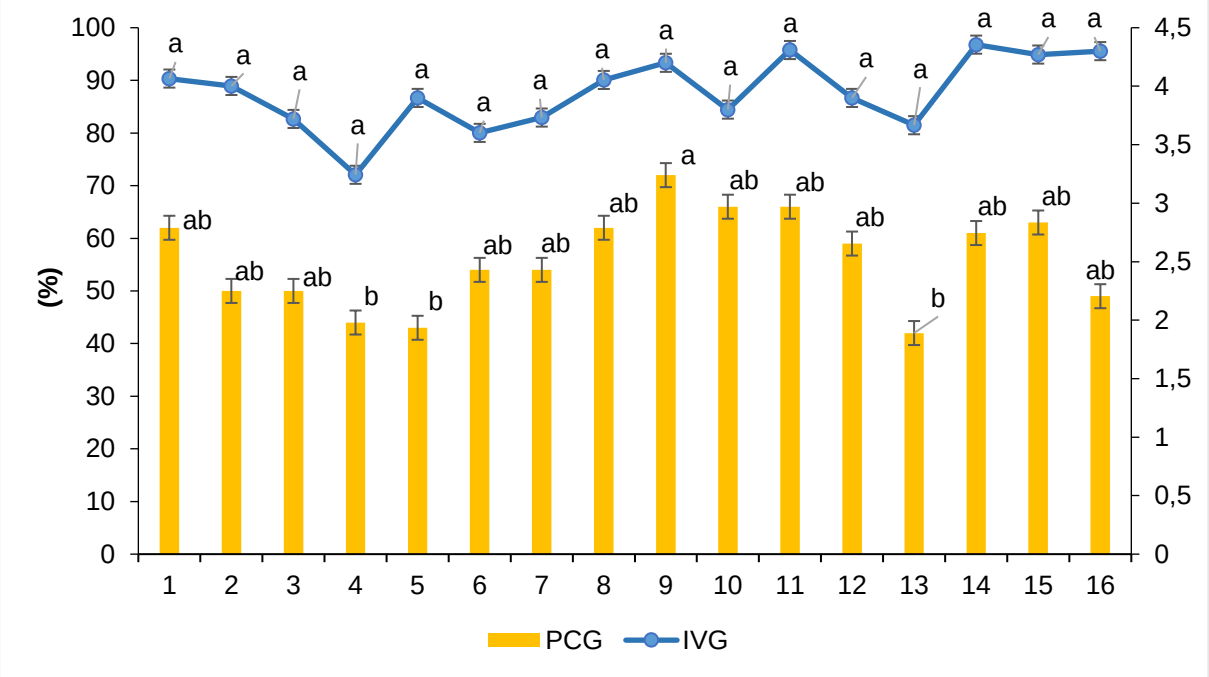


Figura 18: Teste de Germinação - Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco - T1 (controle, sementes sem revestimento), T2: (sementes revestidas sem micronutrientes), T3: 0,5g de ZnSO4, T4: 1,0g de ZnSO4, T5: 1,5g de ZnSO4, T6: 2,0g de ZnSO4, T7: (sementes revestidas sem micronutrientes); T8: 0,5g de ZnSO4, T9: 1,0g de ZnSO4, T10: 1,5g de ZnSO4, T11: 2,0g de ZnSO4, T12: (sementes revestidas sem micronutrientes), T13: 0,5g de ZnSO4, T14: 1,0g de ZnSO4 T15: 1,5g de ZnSO4, T16: 2,0g de ZnSO4. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Numericamente, os tratamentos T4, T5 e T13 apresentaram os menores resultados, segundo Silva (2017) esses menores valores de PCG podem estar relacionados ao tamanho das partículas dos materiais de recobrimento do silicato e calcário dessa forma criando um revestimento com menor porosidade e dificultando o processo de germinação, reduzindo sua velocidade.

5.2.5 Teste de Vigor: Comprimento de plântulas

Com os resultados do teste de comprimento de plântulas, foi realizada a análise de variância para comprimentos da parte aérea, raiz e total (Tabela 11).

Tabela 11: Análise de variância do comprimento da parte aérea, raiz e total Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco.

Variável	Quadrado Médio			Média	CV (%)
	Tratamento		Resíduo		
Tamanho da Parte aérea	2,495	**	0,9057	9,1897	10,35
Tamanho da raiz primária	8,4563	**	2,315	13,2341	11,49
Tamanho total	20,7346	**	4,979	22,569	9,88

**Significativo a 1% de probabilidade; CV (%) coeficiente de variação, em porcentagem

Averígua-se que o revestimento obteve efeito significativo para comprimento da raiz nos tratamentos T2, T14 e T16 e no comprimento total dos tratamentos T2, T12 e T14. Ao comparar o comprimento da raiz dos tratamentos, o T2 (areia e calcário, sem micronutrientes) e os com areia, silicato de cálcio e calcário (T14 e T16) com as doses de 1,5g, 2,0g de ZnSO4, respectivamente, destacaram-se em relação ao controle. (Figura 19).

Verifica-se então que os resultados não estão relacionados às doses de zinco aplicadas e sim ao uso da tecnologia de revestimento, pois os tratamentos T2 e T12 estão sem adição do sulfato de zinco. Os resultados encontrados nos tratamentos T14 e T16 poderiam estar atribuídos ao sulfato de zinco, pois o zinco promove maior a expansão e alongamento das raízes e segundo Ohse et al, (2021) é necessário à síntese do aminoácido triptofano, responsável pela síntese do ácido indolacético (AIA), principal auxina produzida endogenamente.

Adhikari et al. (2016) destacam o papel essencial do zinco para a síntese do triptofano nas plantas, que é um precursor do ácido indolacético (AIA), responsável pela expansão celular e estimulando a divisão e nas regiões meristemáticas (como o

ápice da raiz), promovendo assim maior alongamento e desenvolvimento do sistema radicular.

Enquanto Santos e Ohse (2020), observam que o AIA induz alongamento celular, tanto pelo aumento da atividade das proteínas, como pela indução de sua síntese, em adição, o AIA atua conjuntamente com a citocinina no processo de divisão celular, por meio da ativação das ciclinas dependentes de quinases.

Estudos de Adhikari et al. (2016) corroboram os encontrados nos tratamentos T14 e T16 pois demostraram que a aplicação de zinco por meio do revestimento de sementes melhorou o crescimento das culturas, observou que a aplicação de Zn por meio de diferentes fontes aumentou o teor total de clorofila nas folhas e a produção de auxina nas raízes, ele cita que a aplicação do revestimento de sementes teve um efeito notável no aumento do rendimento das culturas e que Isso foi atribuído à produção de auxina e a um melhor desenvolvimento radicular no solo.

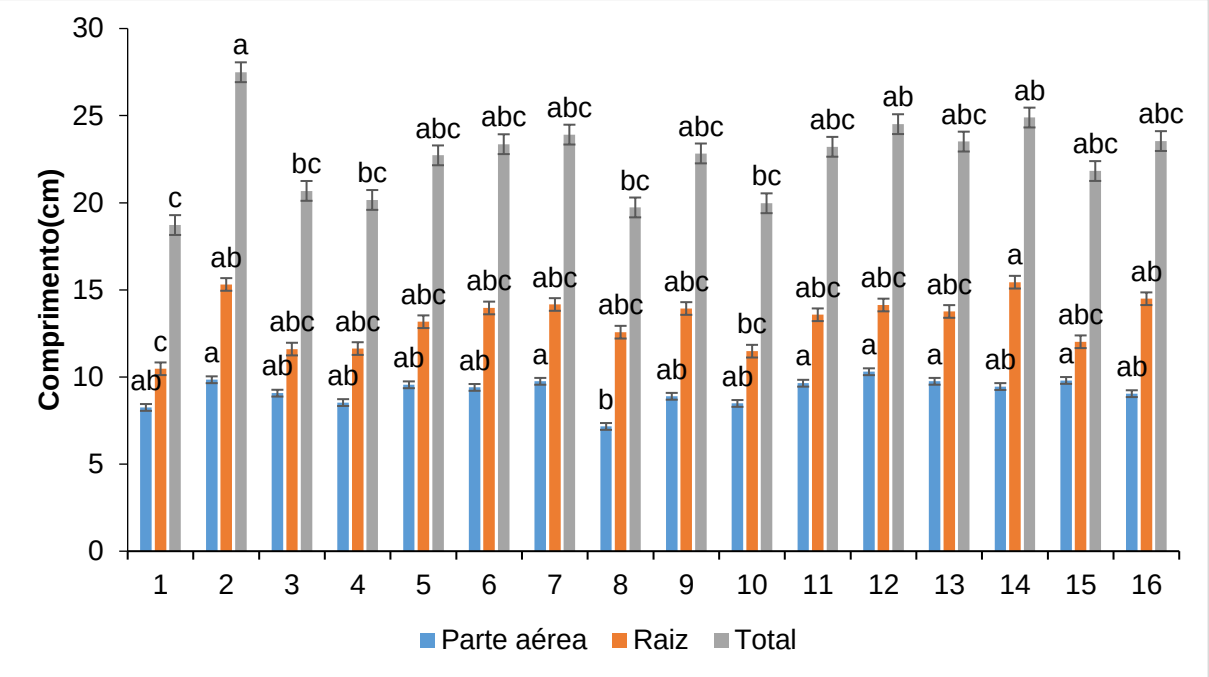


Figura 19: Parte aérea, raiz e total das plântulas - Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco - T1 (controle, sementes sem revestimento), T2: (sementes revestidas sem micronutrientes), T3: 0,5g de ZnSO4, T4: 1,0g de ZnSO4, T5: 1,5g de ZnSO4, T6: 2,0g de ZnSO4, T7: (sementes revestidas sem micronutrientes); T8: 0,5g de ZnSO4, T9: 1,0g de ZnSO4, T10: 1,5g de ZnSO4, T11: 2,0g de ZnSO4, T12: (sementes revestidas sem micronutrientes), T13: 0,5g de ZnSO4, T14: 1,0g de ZnSO4 T15: 1,5g de ZnSO4, T16: 2,0g de ZnSO4. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Abeywardana (2021) trabalhando com recobrimento de sementes, formados com hidroxiapatita e com doses de zinco adicionadas às partículas observou um

desenvolvimento eficiente do sistema radicular nas plântulas oriundas de sementes revestidas com zinco-hidroxiapatita/ureia que receberam N e Zn simultaneamente, em comparação com as demais.

5.2.6 Massa seca da parte aérea, raiz e total (g, planta^{-1})

Identifica-se que os fatores estudados não tiveram efeito significativo nas características avaliadas (Tabela 12), o resultado apresentou coeficientes de variação altos para os parâmetros massa seca da parte aérea, raiz e total, mostrando que houve uma alta dispersão entre os resultados.

Tabela 12: Análise de variância dados fisiológicos- Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco.

Variável	Quadrado Médio			Média	CV (%)
	Tratamento		Resíduo		
M, Seca Aérea	0,002675	ns	0,002415	0,2187	22,46
M, Seca Raiz	0,00503	ns	0,00361	0,2553	23,53
M, Seca Total	0,013571	ns	0,010815	0,474	21,93

(ns) não significativo, CV (%) Coeficiente de Variação, em porcentagem.

De acordo com os resultados (Figura 20), as doses de zinco aplicadas influenciam o rendimento da produção de massa seca total das plântulas, mas não de forma significativa, uma vez que o tratamento T16, com a dose 2,0g de ZnSO4, apresentou resultado numericamente maior que todos os tratamentos, em torno de 62% em relação ao controle.

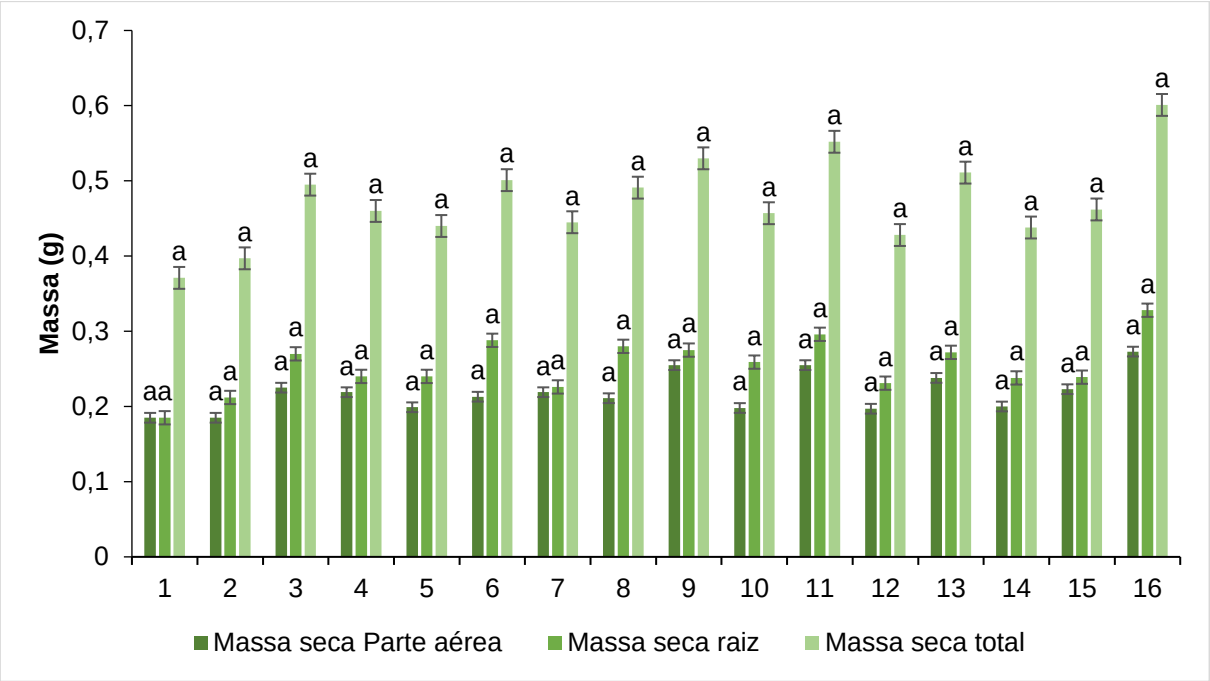


Figura 20: Massas seca das plântulas (g) - Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco - T1 (controle, sementes sem revestimento), T2: (sementes revestidas sem micronutrientes), T3: 0,5g de ZnSO4, T4: 1,0g de ZnSO4, T5: 1,5g de ZnSO4, T6: 2,0g de ZnSO4, T7: (sementes revestidas sem micronutrientes); T8: 0,5g de ZnSO4, T9: 1,0g de ZnSO4, T10: 1,5g de ZnSO4, T11: 2,0g de ZnSO4, T12: (sementes revestidas sem micronutrientes), T13: 0,5g de ZnSO4, T14: 1,0g de ZnSO4 T15: 1,5g de ZnSO4, T16: 2,0g de ZnSO4. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

De maneira oposta, Acha et al. (2016) constataram queda na produção de massa seca com a combinação de altas doses de zinco e boro no revestimento das sementes. Por outro lado, Melo et al. (2020) observaram que o recobrimento favoreceu o desenvolvimento das radículas, especialmente quando os materiais estimulam a degradação mais eficiente das reservas. No experimento, o tratamento 16 apresentou crescimento de 77% da raiz em relação ao controle.

5.2.7 Características fisiológicas em casa de vegetação

Os resultados da análise de variância porcentagem de emergência e do índice de velocidade de emergência (IVG) demonstram uma alta variação em ambos os coeficientes 33,9% e 43,4%, respectivamente, indicando que os dados possuem alta dispersão em relação à média (Tabelas 13 e 14).

Tabela 13: Análise de variância - Porcentagem de emergência- Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco.

FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade (%)
Blocos	3	530	176,666	5,7548	**
Tratamentos	15	7792	519,466		
Resíduo	45	4062	90,2666		
Total	63	12384			
Média	28				
CV (%)	33,931				

**Significativo a 1% de probabilidade; CV (%) coeficiente de variação, em porcentagem.

Tabela 14: Analise de variância – Índice de velocidade de emergência (IVE)- Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco.

FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade (%)
Blocos	3	16,015	5,338	4,538	**
Tratamentos	15	246,918	16,461		
Resíduo	45	163,216	3,627		
Total	63	426,15			
Média	4,386				
CV (%)	43,419				

**Significativo a 1% de probabilidade; CV (%) coeficiente de variação, em porcentagem.

Os tratamentos T10 e T15 (Figura 21) apresentaram resultados semelhantes aos do trabalho realizado por Pires (2019), que aplicando revestimento em sementes de sorgo granífero verificou que tanto na variável emergência quanto no índice de velocidade de germinação (IVE) não houve efeito significativo dos tratamentos, entretanto, o revestimento que utilizou 100% silicato como material de enchimento obteve o maior valor observado, mostrando potencial para utilização desse tipo de revestimento para sementes de sorgo.

Amorim (2018) observaram o benefício do uso de silicato de cálcio como material de revestimento, avaliando a resposta de sementes *Brachiaria brizantha* revestidas com silicato de cálcio constatou que esse tipo de revestimento apresentou o maior percentual de emergência quando submetida a estresse hídrico, dito isto verificou-se que apenas o tratamento T12, dos tratamentos que possuem silicato de cálcio como material de enchimento, não apresentou emergência igual ao controle no experimento.

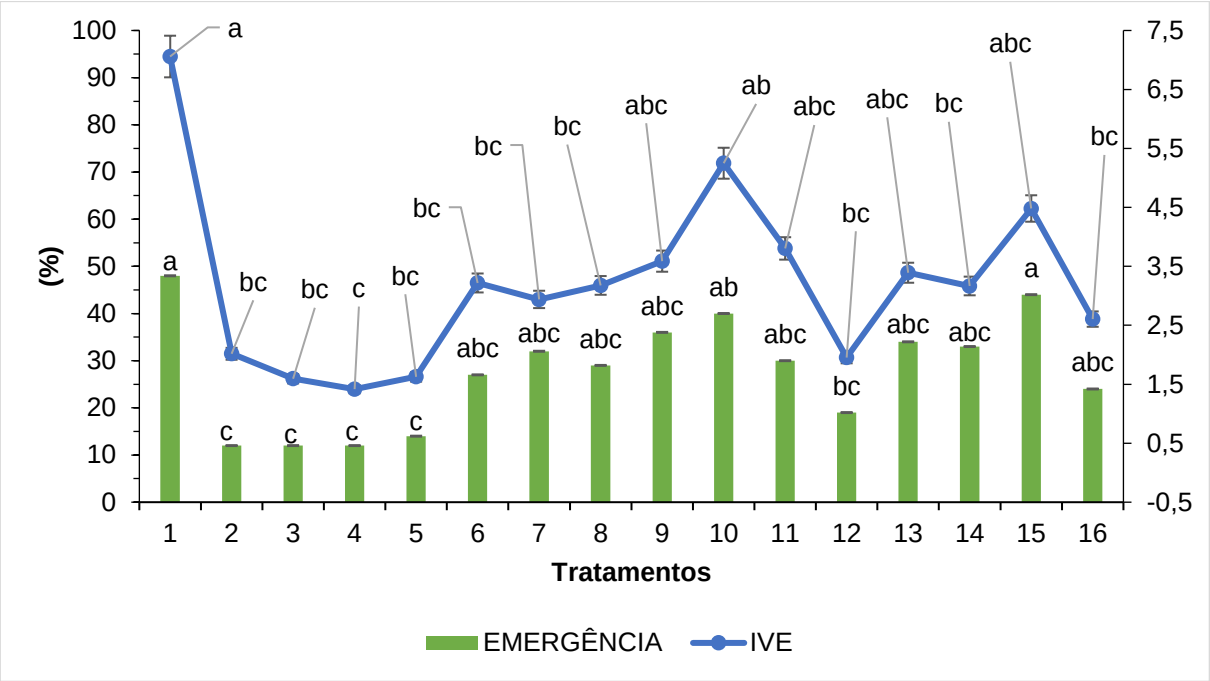


Figura 21: Teste de Emergência - Sementes de milho híbrido revestidas e enriquecidas com sulfato de zinco - T1 (controle, sementes sem revestimento), T2: (sementes revestidas sem micronutrientes), T3: 0,5g de ZnSO4, T4: 1,0g de ZnSO4, T5: 1,5g de ZnSO4, T6: 2,0g de ZnSO4, T7: (sementes revestidas sem micronutrientes); T8: 0,5g de ZnSO4, T9: 1,0g de ZnSO4, T10: 1,5g de ZnSO4, T11: 2,0g de ZnSO4, T12: (sementes revestidas sem micronutrientes), T13: 0,5g de ZnSO4, T14: 1,0g de ZnSO4 T15: 1,5g de ZnSO4, T16: 2,0g de ZnSO4. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Aplicando-se o teste de tukey a 5% de significância (Figura 21), observou-se pelos resultados que os tratamentos com material de enchimento: areia e calcário T2 (sem zinco) e com doses de sulfato de zinco aplicados (T3, T4, T5) apresentaram resultados de emergência inferiores ao tratamento controle, mostrando que houve efeito negativo das doses de zinco aplicadas (0,5g, 1,0g e 1,5g) no revestimento dessas sementes, diferentemente do T6 (2,0g) que se igualou ao tratamento controle e aos demais.

Os tratamentos revestidos com areia e silicato de cálcio (T8 a T11) e areia, silicato e calcário (T13 a T16), independente do material e das diferentes doses de sulfato de zinco aplicadas nesses tratamentos apresentaram emergência igual ao tratamento controle.

Os tratamentos T12, recoberto com areia, silicato e calcário (sem zinco), T2 (sem zinco) e T3, T4, T5 (com doses zinco) com areia e calcário resultaram em uma porcentagem de emergência significativamente menor que o tratamento controle, esses tratamentos apresentaram resultados contrários aos obtidos por Acha (2018) que comparando os resultados obtidos em laboratório com os da estufa, pode

observar que os tratamentos com a menor porcentagem de germinação em laboratório se destacaram positivamente no teste de emergência na estufa. O teste de emergência das plântulas em casa de vegetação permite que as sementes fiquem sujeitas a fatores extremos do clima como altas temperaturas.

Juntamente com o teste de emergência foi avaliado o índice de velocidade de emergência (IVE) (Figura 21). Verificou-se Índices de Velocidade de emergência (IVE's) equivalentes ao controle nos tratamentos com areia e silicato de cálcio, T9 (1,0g de ZnSO4), T10 (1,5g de ZnSO4) e T11 (2,0g de ZnSO4) e nos tratamentos com areia, calcário e silicato de cálcio T13 (0,5g de ZnSO4) e T15 (1,5g de ZnSO4).

A menor média da porcentagem de plântulas normais encontrada no teste de germinação do experimento 2 (Figura 18) foi referente aos tratamentos revestidos com areia e calcário (T2, T3, T4, T5, T6), com o tratamento T4 apresentando apenas 56% de porcentagem de plântulas normais, o mesmo comportamento foi observado no teste de emergência no qual a menor média da porcentagem de emergência foi registrada nos tratamentos revestidos com areia e calcário (T2, T3, T4, T5, T6) apresentaram, em comparação aos outros tratamentos revestidos areia e silicato (T7, T8, T9, T10, T11) e areia, silicato e calcário (T12, T13, T14, T15, T16), logo observa-se que o revestimento com areia e calcário influenciou negativamente na velocidade e na porcentagem de emergência uma vez que todos foram expostos ao mesmo substrato (areia).

Os valores do IVE e emergência certamente estão relacionados à espessura do recobrimento que acaba sendo mais uma barreira física que deve ser superada e os tratamentos revestidos com areia e calcário (T2, T3, T4, T5, T6) apresentaram a maior média de peso de mil sementes (figura 13) sugerindo maior quantidade de material aderido ao revestimento, o efeito do revestimento sobre a fisiologia das sementes conforme por Silva (2021) que encontrou do efeito deletério da utilização de calcário dolomítico constatando redução significativa no percentual de emergência uma em relação ao controle.

Costa et al. (2001) cita que em sementes recobertas ocorre a redução nas porcentagens finais de emergência, devido ao maior tempo de absorção de umidade do solo que diminui o IVE, contudo as respostas fisiológicas das sementes com a utilização da tecnologia de revestimento dependem de vários fatores como os materiais de enchimento, material cimentante e a metodologia utilizada para a aplicação do revestimento.

6. CONCLUSÃO

Baseado nos resultados obtidos nesta pesquisa e com as discussões apresentadas, conclui-se que:

No experimento 1, as diferentes proporções de cola proporcionaram às sementes revestidas umidade menor que o controle. As combinações de cola 2:1 e 1:1 com areia e calcário e cola 1:1 com areia, silicato de cálcio e calcário aumentaram o peso das sementes de forma significativa, a proporção de cola 3:1 independente dos três tipos de materiais de enchimento apresentou porcentagens de germinação e índice de velocidade de germinação (IVG) equivalente ao controle.

Apenas a proporção de cola 1:1 com areia e calcário reduziu o desenvolvimento do comprimento das plântulas, tanto parte aérea, raiz e total, as diferentes proporções de cola 2:1 e 1:1, ambas aplicadas nos tratamentos com areia e silicato de cálcio, proporcionaram maiores massa seca das raízes e total que o controle.

No experimento 2, as diferentes doses de sulfato de zinco proporcionaram às sementes revestidas umidade menor que o controle, as doses de sulfato de zinco combinadas aos materiais de enchimento areia e calcário e as doses 2,0g e 0,5g de sulfato de zinco combinadas aos materiais de enchimento: areia e silicato de cálcio e areia, silicato de cálcio e calcário, respectivamente, geraram ganhos significativos no peso das sementes.

A porcentagem de germinação e índice de velocidade de germinação (IVG) dos tratamentos não foram afetados pelas doses de sulfato de zinco, conclui-se que o revestimento obteve efeito significativo para comprimento da raiz e total nos tratamentos, e que as doses de zinco aplicadas influenciam o rendimento da produção de massa seca total das plântulas, mas não de forma significativa.

A aplicação do revestimento nas sementes apresentou alguns resultados relevantes na fisiologia das plântulas, sendo assim, recomenda-se que estudos e experimentos com a aplicação de sulfato de zinco em diferentes camadas de revestimento em sementes de milho sejam futuramente realizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abeywardana, L., Sandaruwan, C., Chathurika, S., Karunaratne, V., Kottegoda, N. (2021) Zinc-doped hydroxyapatite–urea nanoseed coating as an efficient macro–micro plant nutrient delivery agent. ACS Agricultural Science & Technology, 1(3):230-239. DOI doi.org/10.1021/acsagscitech.1c000.

Abeywardana, L., Sandaruwan, C., Chathurika, S., Karunaratne, V., Kottegoda, N. (2023) Advanced coating on *Zea mays* seeds using modified hydroxyapatite nanoparticles as a plant nutrient delivery system for enhanced plant growth. *Current Science*, 124:599-606.

Acha, A.J., Vieira, H.D., Freitas, M.S.M. (2016) Perennial soybean seeds coated with high doses of boron and zinc. African Journal of Biotechnology, 15:1998-2005.

Acha, A.J., Vieira, H.D., Souza, C.L.M., Silva, F.W.A. (2018) Methodology of applying different doses of boron and zinc in the coating of perennial soybean seeds. Journal of Experimental Agriculture International, 26:1-9.

Adhikari, T., Kundu, S., Subba Rao, A. (2016) Zinc delivery to plants through seed coating with nano-zinc oxide particles. Journal of Plant Nutrition, 39(1):136-146. DOI 10.1080/01904167.2015.1087562.

Amorim, I.M. (2018) Efeito do recobrimento com silicato de cálcio em sementes de *Brachiaria brizantha* cv. MG5 submetidas a estresse hídrico. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Campos dos Goytacazes/RJ, 66p.

Baroni, D.F., Vieira, H.D., Silva, F.W.A., Acha, A.J., Pires, J.I.C. (2020) Physical and physiological quality of seeds of Campo Grande *Stylosanthes* coated with different binder materials. Ciência Rural, 50:1-8.

Barros, J.F.C., Calado, J.G. (2014) A Cultura do Milho. Évora: Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Fitotecnia, 52p.

Bender, R.R., Haegele, J.W., Ruffo, M.L., Below, F.E. (2013) Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. Agronomy Journal, 105:161-170.

Brasil. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). (2024a*)* Acompanhamento de safra brasileira: grãos – primeiro levantamento – safra 2024/25. Conab, Brasília, v.9. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos. Acesso em: 3 abr. 2025.

Brasil. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). (2024b) Primeira estimativa para safra de grãos 2024/25 indica produção de 322,47 milhões de toneladas. Conab, Brasília*.* Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/primeira-estimativa-para-safra-de-graos-2024-25-indica-producao-de-322-47-milhoes-de-toneladas. Acesso em: 14 jun. 2026.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2011) Instrução Normativa nº 60, de 2011*.* Diário Oficial da União, Brasília.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2025). Regras para Análise de Sementes (RAS). Brasília.

Büll, L.T. (1993) Nutrição mineral do milho. In: Büll, L.T., Cantarella, H. (Ed.), Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*.* Piracicaba: Potafos, p.63-145*.*

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. (2026) PIB do Agronegócio Brasileiro. Piracicaba: Cepea/Esalq-USP. Disponível em: https://cepea.org.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx. Acesso em: 4 mai. 2026.

Coelho, A.M. (2006) Nutrição e adubação do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, p. 26.

Conselho Internacional de Grãos (IGC). (2026a) IGC: global grain output projected to fall in 2026-27. London, 23 apr. 2026. Disponível em: https://www.world-grain.com/articles/22673-igc-global-grain-output-projected-to-fall-in-2026-27. Acesso em: 14 jun. 2026.

Contini, E., Mota, M. M., Marra, R., Borghi, E., Miranda, R. A. De, Silva, A. F. Da, Silva, D. D. Da, Machado, J. R. De A., Cota, L. V., Costa, R. V. Da, Mendes, S. M. (2019) Milho: caracterização e desafios tecnológicos*.* Brasília, DF: Embrapa; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 45p.

Cruz, J.C., Pereira Filho, I. A., Alvarenga, R. C., Gontijo Neto, M., Viana, J. H. M., Oliveira, M. F. De., Matrangolo, W. J. R., Albuquerque Filho, M. R. de. (2010) Cultivo do Milho. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 453p.

Ferreira, M.M.M. (2012) Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. Revista Agro@mbiente on-line, 6(1):74-83, jan./abr.

Ferreira, R.L., Sá, M.E. (2010) Contribuição de etapas do beneficiamento na qualidade fisiológica de sementes de dois híbridos de milho. Revista Brasileira de Sementes, 32(4):99-110.

Galvão, J.C.C., Borém, A., Pimentel, M.A. (2017) Milho: do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 9p.

Gomes, F.P. (2009) Curso de Estatística Experimental. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 451p.

Guimarães, C.P. (2015) Recobrimento de sementes de *Brachiaria brizantha* com silicato de cálcio. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Campos dos Goytacazes, 46p.

Javed, T., Afzal, I., Shabbir, R., Ikram, K., Saqlain Zaheer, M., Faheem, M., Haider Ali, H., Iqbal, J. (2022) Seed coating technology: an innovative and sustainable approach for improving seed quality and crop performance. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 21(8):536-545. DOI:10.1016/j.jssas.2022.03.003.

Lima, E.S. (2022) Agentes aderentes na peletização de sementes de milho com pó de rocha. Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo. 45p.

Lopes, A.S. (1999) Filosofias de aplicação e eficiência agronômica. In: Simpósio sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira, 1999, Brasília. Anais. Brasília: ANDA, p.1-58.

Maguire, J.D. (1962) Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science, 2(2):176-177.

Malavolta, E. (2006) Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 631p.

Mendonça, E.A.F., Carvalho, N.M., Ramos, N.P. (2007) Revestimento de sementes de milho super doce (Sh2). Revista Brasileira de Sementes, 29:68-79.

Nakagawa, J. (1999) Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: Krzyzanowski, F.C., Vieira, R.D., França-Neto, J.B. (Ed*.),* Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, p.1-24.

Ohse, S., Mello, W. M., & Santos, J. O. dos. (2021). Vigor de sementes de milho tratadas com bioestimulantes. Visão Acadêmica, 16p. Disponível em: https://doi.org/10.5380/acd.v22i1.78887. Acesso em: 14 jun. 2026.

Ohse, S., Santos, O.M., Morodim, V., Manfron, P.A. (1999) Efeito do tratamento de sementes de arroz irrigado com zinco em relação à aplicação no substrato. Revista FZVA*,* Uruguaiana, 5/6(1):35-41.

Pabodha, D., Abeywardana, L., Sandaruwan, C., Herath, L., Priyadarshana, G. (2022) Urea-Hydroxyapatite-Polymer Nanohybrids as Seed Coatings for Enhanced Germination. Current Scientia, Nugegoda, 25(1):1-12.

Pedrini, S., Merritt, D.J., Stevens, J., Dixon, K. (2017) Seed coating: science or marketing spin? Trends in Plant Science, 22(2):106-116.

Pinheiro, L. S., Gatti, V. C. M., Oliveira, J. T., Silva, J. N., Silva, V. F. A., Silva, P. A. (2021). Características agro econômicas do milho: uma revisão. Natural Resources, 11 (2): 13-21. DOI doi: 10.6008/CBPC2237-9290.2021.002.0003.

Pinho, R.G.V., Borges, I.D., Pereira, J.L.A.R., Reis, M.C. (2009) Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, 8(2):157-173. DOI:10.18512/1980-6477/rbms.v8n2p157-173.

Pires, J. I. C. (2019) Revestimento em sementes de sorgo granífero. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes/RJ. 90p.

Quadros, B.R. de, Rossi, R.F., Cavariani, C. (2013) Tecnologia do revestimento de sementes. Revista Cultura Agronômica, Ilha Solteira, 22(2):1-12.

Resende, A. V. De, Silva, C. G. M., Gutiérrez, A. M., Simão, E. De P., Guimaraes, L. J. M., Moreira, S. G., Borghi, E. (2016) Indicadores de demanda de macro e

micronutrientes por híbridos modernos de milho. *S*ete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 220, 9p

Resende, A.V., Coelho, A.M., Santos, F.C., Lacerda, J.J.J. (2012) Fertilidade do solo e manejo da adubação NPK para alta produtividade de milho no Brasil Central. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 181, 12p.

Resta, V. G., Oliveira, S. M. de R., Elisete, P., Ivano, L. R. P. F. M. Oliveira, A. L. M. de. (2021) Desenvolvimento de revestimento biodegradável para peletização sementes de tomate / Vitoria Gouveia Resta. - Londrina, 64 f.: il.

Ribeiro, N. D., Santos, O. S (1996). Aproveitamento do zinco aplicado na semente na nutrição da planta. Ciência Rural, Santa Maria, 26 (1): 155-160.

Ruffo, M., Olson, R., Daverede, I. (2016) Maize yield response to zinc sources and effectiveness of diagnostic indicators. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 47(2):137-141. DOI doi:10.1080/00103624.2015.1108433.

Silva, C.G.M., Resende, Á.V., Gutiérrez, A.M., Moreira, S.G., Borghi, E., Almeida, G.O. (2018) Macronutrient uptake and export in transgenic corn under two levels of fertilization. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 53(12):1363-1371.

Silva, F.W.A. da (2021) Desenvolvimento de protótipo para recobrimento de sementes. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes/RJ.

Silva, F.W.A. da., Vieira, H. D. (2021) Quality of Stylosanthes Campo Grande seeds coated with different materials. Revista Ceres, 68(4), 353–359. Disponível em: https://ojs.ceres.ufv.br/ceres/article/view/7894. Acesso em: 25 jun. 2026.

Silva, G. C. F., Baldicera, A. K. (2024) A importância da agricultura sustentável na preservação do meio ambiente. Revista Unicrea, Florianópolis – SC.

Silveira, D.C., Bonetti, L.P., Tragnago, J.L., Neto, N., Monteiro, V. (2015) Caracterização agromorfológica de variedades de milho crioulo (*Zea mays* L.) na região noroeste do Rio Grande do Sul. Revista Ciência e Tecnologia, 1:1-11.

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M., Murphy, A. (2017) Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, p.171.

USDA. (s.d.) Production, Supply and Distribution (PSD). Disponível em: http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome?navid=DATA_STATISTICS. Acesso em: 16 dez. 2024.

Xavier, P.B., Vieira, H.D., Guimarães, C.P. (2015) Physiological potential of Stylosanthes cv. Campo Grande seeds coated with different materials. Journal of Seed Science, 37 (2): 117-124. DOI doi:10.1590/2317-1545v37n2145982.

Zardo, L., Nogarolli, E.L. (2016) Plantabilidade de diferentes tecnologias de disco para semeadura sob duas velocidades. Revista Cultivando o Saber, Cascavel, edição especial, p.92-101.

Zhang, K., Khan, Z., Yu, Q., Qu, Z., Liu, J., Luo, T., Zhu, K., Bi, J., Hu, L., Luo, L. (2022) Biochar coating is a sustainable and economical approach to promote seed coating technology, seed germination, plant performance, and soil health. Plants, 11(21):2864. DOI doi:10.3390/plants11212864.