

REVESTIMENTO DE SEMENTES DE SORGO GRANÍFERO COM
ZINCO E BORO

VANESSA APARECIDA PEREIRA BATISTA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
AGOSTO - 2021

REVESTIMENTO DE SEMENTES DE SORGO GRANÍFERO COM
ZINCO E BORO

VANESSA APARECIDA PEREIRA BATISTA

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutora em Produção Vegetal”

Orientador: Prof. Henrique Duarte Vieira

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
AGOSTO - 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

B333 Batista, Vanessa Aparecida Pereira.

REVESTIMENTO DE SEMENTES DE SORGO GRANÍFERO COM ZINCO E BORO / Vanessa Aparecida Pereira Batista. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.

131 f. : il.

Inclui bibliografia.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2021.

Orientador: Henrique Duarte Vieira.

1. Recobrimento. 2. Micronutrientes. 3. *Sorghum bicolor*. 4. Cereal. 5. Qualidade fisiológica. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

REVESTIMENTO DE SEMENTES DE SORGO GRANÍFERO COM ZINCO E BORO

VANESSA APARECIDA PEREIRA BATISTA

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutora em Produção Vegetal”

Aprovada em 03 de Agosto de 2021

Comissão Examinadora:

Prof^a Angélica Fátima de Barros (D.Sc., Fitotecnia) – FATEC - MT

Dr^a Amanda Justino Acha (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

Prof. Geraldo de Amaral Gravina (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

Prof. Henrique Duarte Vieira (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF
(Orientador)

Dedico

A minha filha Maria Cecília.

Aos meus pais Ricardo e Rosangela.

*“O bom Deus não me inspiraria desejos irrealizáveis, portanto, posso apesar de
minha pequenez aspirar à santidade.” (Santa Teresinha)*

AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as bênçãos a mim concedidas e por me sustentar a todo momento;

Aos meus pais Ricardo e Rosangela por serem meu porto seguro e sonharem comigo este sonho;

Aos meus irmãos Vanucci e Ricardo Jr. por serem meus companheiros de vida e por todo amor em forma de irmandade, amizade e apoio;

Ao Wallace, meu esposo, por toda ajuda, compreensão, companheirismo, amor, por sempre me incentivar e por estar ao meu lado a cada momento;

À minha filha Maria Cecília por ser presença viva de Deus em minha vida e me mostrar quão forte eu posso ser;

Ao professor Henrique pela excelente orientação, pela confiança depositada, pela paciência, pela compreensão, pela disponibilidade em me ajudar, por não desistir de mim e por todos os ensinamentos que ultrapassam a vida acadêmica;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro pela oportunidade de realizar o doutorado, por me receber de “portas abertas” e por toda estrutura disponibilizada. Estendo meus agradecimentos aos professores do curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal por todo aprendizado e aos funcionários por toda ajuda na condução dos trabalhos;

Ao técnico Antônio Carlos, por toda ajuda na condução dos experimentos, pela amizade e pelos ensinamentos;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior – Brasil (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos. Código de Financiamento: 88882.449528/2019-01;

Aos amigos do laboratório de sementes por toda ajuda nos experimentos, pelos conhecimentos compartilhados, pela amizade, pelos momentos de descontração, em especial a Amanda e a Laísa. Todos vocês foram muito importantes nesta etapa;

Ao José Inácio, amigo que a UENF me deu, por toda ajuda na condução dos experimentos e pela amizade tão forte e sincera;

À Carla e o Zé pela ótima convivência em nossa república, pela parceria do dia a dia e pela amizade;

Aos colegas da pós-graduação pelos diversos aprendizados e bons momentos compartilhados;

Aos membros da banca de defesa pela disponibilidade e pelas contribuições neste trabalho;

A todos os meus familiares e amigos de Viçosa que mesmo de longe se fizeram presente;

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste sonho.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. A cultura do sorgo	4
2.2. Sorgo granífero no Brasil	6
2.3. Exigências nutricionais do sorgo	8
2.3.1. Micronutrientes	8
2.3.2. Zinco	10
2.3.3. Boro	11
2.4. Revestimento de Sementes	12
3. TRABALHOS	15
3.1. Qualidade de sementes de sorgo granífero revestidas com diferentes combinações de materiais	15
Resumo	15
Abstract	16
Introduction	17
Material and methods	18
Results and discussion	21
Conclusions	35
References	36

3.2. Revestimento de sementes de sorgo com zinco: qualidade fisiológica e desempenho inicial de plantas	39
Resumo.....	39
Abstract.....	40
Introduction	41
Material and methods.....	42
Results and discussion	45
Conclusion	57
References.....	57
3.3. Germinação e desenvolvimento inicial de plantas de sorgo, em resposta ao tratamento de sementes com boro.....	61
Resumo.....	61
Abstract.....	62
Introdução	63
Material e métodos.....	64
Resultados e discussão	67
Conclusão	79
Referências bibliográficas	79
3.4. Qualidade física e fisiológica de sementes de sorgo granífero revestidas com boro e zinco.....	83
Resumo.....	83
Abstract.....	84
Introdução	85
Material e métodos.....	86
Resultados e discussão	89
Conclusão	100
Referências bibliográficas	101
4. RESUMO E CONCLUSÕES	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108

RESUMO

BATISTA, Vanessa Aparecida Pereira; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Agosto de 2021. Revestimento de sementes de sorgo granífero com zinco e boro. Professor Orientador: Henrique Duarte Vieira.

O sorgo granífero é uma cultura de grande importância no setor agropecuário nacional. Este cereal apresenta alta liquidez no mercado por possuir praticamente as mesmas propriedades nutricionais que o milho sendo utilizado para os mesmos fins com a vantagem do menor custo de produção, entretanto, os índices atuais de produtividade do sorgo estão abaixo do potencial de produção da cultura. Isto acontece devido, principalmente, ao sistema de produção da cultura que se dá sob condições de estresse, com baixa aplicação de tecnologia e relegado a terras pouco férteis aproveitando a fertilidade residual dos solos. Este trabalho foi realizado para adequar a técnica de revestimento de sementes a fim de melhorar as qualidades físicas e fisiológicas das sementes de sorgo granífero em campo. Primeiro passo para melhorar a produtividade do sorgo. Este trabalho foi dividido em quatro experimentos. Para todos os experimentos foi utilizada a mesma metodologia de revestimento utilizando uma drageadora de bancada e posteriormente, foi realizada as avaliações físicas e fisiológicas das sementes. No primeiro experimento o objetivo foi analisar a qualidade de sementes de sorgo granífero revestidas com diferentes materiais de enchimento e proporções de material cimentante. Todos os materiais testados proporcionaram incrementos

nas características físicas das sementes que foram avaliadas. O revestimento com silicato de cálcio proporcionou os maiores valores de área total, diâmetro máximo e mínimo às sementes. O revestimento com calcário dolomítico e calcário dolomítico + areia proporcionaram o melhor desempenho fisiológico das sementes em ambas as condições testadas. O material cimentante na proporção 3:1 (entre água e cola, respectivamente) proporcionou resultados esperados com a técnica de revestimento, além de ser mais econômico por utilizar menor quantidade de cola. No segundo experimento, as sementes de sorgo granífero foram revestidas com calcário dolomítico e diferentes doses de sulfato de zinco (ZnSO_4). As doses de sulfato de zinco testadas não afetaram as características físicas, a germinação e a emergência das sementes revestidas. Entretanto, a aplicação de sulfato de zinco proporcionou incrementos no comprimento e acúmulo de matéria seca, tanto da parte aérea como da raiz. No terceiro experimento, as sementes de sorgo granífero foram revestidas com diferentes doses de ácido bórico (H_3BO_3). As doses de ácido bórico testadas não afetaram significativamente as características físicas das sementes, porém proporcionaram incrementos nas características geométricas das sementes revestidas. A partir da dose de 2,5 g/kg de ácido bórico houve redução do vigor das sementes de sorgo granífero. No quarto experimento, as sementes de sorgo granífero foram revestidas com calcário dolomítico e diferentes doses de ácido bórico e sulfato de zinco. As doses testadas não interferiram significativamente na germinação e emergência das sementes. O revestimento promoveu aumentos significativos às variáveis físicas analisadas nas sementes. As combinações de 1,0 g H_3BO_3 + 30 g ZnSO_4 , 2,0 g H_3BO_3 + 30 g ZnSO_4 e 3,0 g H_3BO_3 + 30 g ZnSO_4 foram benéficas ao revestimento das sementes de sorgo granífero, pois favoreceram a emergência e crescimento das plantas. Já a combinação 3,0 g H_3BO_3 + 40 g ZnSO_4 reduziu significativamente o vigor das sementes de sorgo granífero, não sendo indicada para o revestimento dessas sementes. Pode-se concluir que o revestimento das sementes de sorgo granífero interfere na qualidade física e fisiológica das sementes revestidas e a utilização de doses de micronutrientes adequadas conferem efeito benéfico no crescimento e desenvolvimento inicial das mesmas.

ABSTRACT

BATISTA, Vanessa Aparecida Pereira; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. August 2021. Coating of grain sorghum seeds with zinc and boron. Advisor: Henrique Duarte Vieira.

Graniferus sorghum is a crop of great importance in the national agricultural sector. This cereal is highly liquid in the market as it has practically the same nutritional properties as corn being used for the same purposes with the advantage of lower production cost, however, current sorghum productivity rates are below the crop's production potential. This is mainly due to the crop production system that takes place under stressful conditions, with low application of technology and relegated to infertile lands, taking advantage of the residual fertility of the soils. This work was carried out to adapt the seed coating technique in order to improve the physical and physiological qualities of grain sorghum seeds in the field. First step to improve sorghum productivity. This work was divided into four experiments. For all experiments, the same coating methodology was used, using a bench dredge and later, performing the physical and physiological evaluations of the seeds. In the first experiment, the objective was to analyze the quality of grain sorghum seeds coated with different filling materials and proportions of cementing material. All materials tested provided increments in the physical characteristics of the seeds that were evaluated. The coating with calcium silicate provided the highest values of total area, maximum and minimum diameter to the seeds. The

coating with dolomitic limestone and dolomitic limestone + sand provided the best physiological performance of the seeds in both tested conditions. The cementing material in a 3:1 ratio (between water and glue, respectively) provided the expected results with the coating technique, in addition to being more economical because it used less glue. In the second experiment, grain sorghum seeds were coated with dolomitic limestone and different doses of zinc sulfate (ZnSO_4). The doses of zinc sulfate tested did not affect the physical characteristics, germination and emergence of coated seeds. However, the application of zinc sulfate provided increases in length and dry matter accumulation, both in the shoot and in the root. In the third experiment, grain sorghum seeds were coated with different doses of boric acid (H_3BO_3). The doses of boric acid tested did not significantly affect the physical characteristics of the seeds but provided an increase in the geometric characteristics of the coated seeds. From the dose of 2.5 g/kg of boric acid, there was a reduction in the vigor of grain sorghum seeds. In the fourth experiment, grain sorghum seeds were coated with dolomitic limestone and different doses of boric acid and zinc sulfate. The doses tested did not significantly interfere with seed germination and emergence. The coating promoted significant increases to the physical variables analyzed in the seeds. The combinations of 1.0 g H_3BO_3 + 30 g ZnSO_4 , 2.0 g H_3BO_3 + 30 g ZnSO_4 and 3.0 g H_3BO_3 + 30 g ZnSO_4 were beneficial to the coating of grain sorghum seeds as they favored plant emergence and growth. The combination 3.0 g H_3BO_3 + 40 g ZnSO_4 significantly reduced the vigor of grain sorghum seeds, not being indicated for coating these seeds. It can be concluded that the coating of grain sorghum seeds interferes with the physical and physiological quality of the coated seeds and the use of appropriate doses of micronutrients confer a beneficial effect on their initial growth and development.

1. INTRODUÇÃO

No decorrer dos últimos anos o sorgo tem se apresentado como uma cultura de grande importância no setor agropecuário internacional, sendo o quinto cereal mais cultivado no mundo com produção média de 60 milhões de toneladas ao ano (FAOST, 2018). Isto ocorre devido às características agronômicas do sorgo e por ser, dentre as culturas alimentares, uma das mais versáteis e eficientes tanto do ponto de vista fotossintético como em velocidade de maturação, atingindo a maturidade fisiológica dos grãos aos 90 dias (Diniz et al., 2016).

No Brasil, a área cultivada com sorgo tem se expandido significativamente consolidando-o como cultura rentável, principalmente, em épocas de safrinha (Parrella et. al., 2014). Como cereal, o grão de sorgo granífero apresenta praticamente as mesmas propriedades nutricionais que o do milho e é utilizado para os mesmos fins, na alimentação humana e animal, porém o milho possui maior potencial produtivo comparado ao sorgo em condições hídricas favoráveis. Entretanto, quando se trata de segunda safra, de maior risco climático, o potencial de ambas as culturas se equipara, principalmente em semeaduras tardias, tornando o cultivo do sorgo mais atrativo devido a maior tolerância ao déficit hídrico e menor custo de produção (Ribas, 2014).

Apesar dos aumentos observados na produtividade das lavouras brasileiras, a média nacional de produção de sorgo está muito abaixo do potencial de rendimento dos híbridos encontrados no mercado (Parrella et al., 2014). Esta

realidade, em parte, se deve ao sistema de produção de grãos das regiões produtoras do país que cultivam o sorgo normalmente num período tardio de safreinha em condições marginais com baixa aplicação de tecnologia e relegado a terras pouco férteis utilizando da fertilidade residual das culturas de verão, ou seja, não se sabe se a provável redução da produtividade se deve ao efeito de extração de nutrientes pela cultura anterior culminando na redução da disponibilidade ou pelas condições edafoclimáticas limitantes (Magalhães et al., 2014).

Do ponto de vista nutricional, observa-se que a maioria dos solos brasileiros é deficiente em micronutrientes devido a fatores naturais e modificações do meio pelo homem. Dentre os micronutrientes, o boro e o zinco são os que mais frequentemente promovem deficiência nas culturas, sendo o zinco o micronutriente mais limitante à produção do sorgo no Brasil (Coelho, 2015).

Outro entrave relevante ao cultivo do sorgo é o tamanho reduzido da semente que reflete na pouca reserva disponível. Essa característica influencia no crescimento inicial lento da cultura que agrava a competição com plantas daninhas, além da dificuldade de acertar a profundidade no semeio mecanizado (Barros, 2016). Contudo, à semelhança de outras culturas anuais, o sorgo é uma cultura responsiva às boas práticas agrícolas e de manejo, sobretudo quando se buscam altos índices de produtividade e, portanto, é passível de inovação tecnológica competitiva para a sua utilização (Coelho, et al., 2002; Borges et al., 2016).

Desta forma, a técnica de recobrimento de sementes surge como alternativa para otimizar o cultivo de sorgo, a fim de melhorar o desempenho e contribuir para o arranque inicial das plantas no solo e, conseqüentemente, no aumento da produção e melhorias no manejo da lavoura. Com o revestimento há o preenchimento das irregularidades das sementes, assim se ganha na velocidade e distribuição uniforme na linha de semeadura, além de ser possível melhorar os fatores operacionais relacionados a seu tamanho (profundidade e densidade de plantas/ha) e de reduzir a quantidade de fertilizante a ser aplicada, uma vez que o próprio fertilizante pode ser utilizado na dose exata no recobrimento da semente influenciando diretamente para que se obtenha boa

produtividade agregando valor às sementes (Coelho et al., 2002; Mendonça et al., 2007).

Entretanto, existem poucas informações referentes à composição dos materiais empregados e à confecção dos péletes para possibilitar a consolidação da produção de sementes de sorgo granífero revestidas.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi definir uma metodologia adequada para o recobrimento de sementes de sorgo granífero visando à escolha correta dos materiais empregados no recobrimento, das doses de fertilizantes utilizadas e avaliar as possíveis alterações na qualidade física e fisiológica das sementes de sorgo e do crescimento inicial das plantas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do sorgo

Originário do continente africano, o *Sorghum bicolor* (L.) Moench provavelmente foi domesticado na região nordeste do continente há cerca de 5000 anos (Ribas, 2014). O cultivo do sorgo nas Américas é recente, possivelmente as primeiras sementes foram introduzidas durante os séculos XVII e XVIII por escravos africanos levados para trabalhar nas plantações de cana-de-açúcar da região (Ribas, 2014).

O sorgo é o quinto cereal mais importante do mundo em área cultivada com cerca de 40 milhões de hectares e produção de 60 milhões de toneladas, superado apenas pelo trigo, milho, arroz e cevada. Os Estados Unidos lideram a produção mundial de sorgo, seguido por Nigéria e Etiópia, e o Brasil ocupa a nona posição (FAOST, 2018).

A utilização do sorgo é multivariada, desde a alimentação animal até a produção de outros produtos utilizados largamente na alimentação humana. Todos os sorgos de interesse comercial, independentemente de sua morfologia ou finalidade, pertencem ao gênero *Sorghum* e agronomicamente são classificados em cinco grupos distintos: granífero, forrageiro, sacarino, biomassa e vassoura (Ribas, 2014).

O sorgo granífero apresenta grãos relativamente grandes, em relação aos outros tipos agrônômicos de sorgo, e de cores variadas sendo destinado

principalmente, à produção de ração animal. O sorgo forrageiro é destinado para a produção de silagem e para corte verde. O sorgo sacarino possui colmos suculentos com elevada produção de açúcares, similar à cana-de-açúcar, sendo muito utilizado como fonte alternativa para produção de energia com destaque para produção de bioetanol. O sorgo biomassa apresenta colmos grossos e fibrosos e tem sido utilizado na geração de energia devido ao alto poder calorífico e elevada produtividade de biomassa. Existe ainda o sorgo vassoura, que é utilizado para produção de vassouras artesanais, principalmente no âmbito da agricultura familiar (Foltran, 2012; Barros, 2016). Contudo, sua maior importância é como sorgo granífero, considerando a produção mundial dos principais cereais cultivados.

Pertencente ao grupo das gramíneas, o sorgo é uma planta autógama de metabolismo C₄, que apresenta elevadas taxas fotossintéticas sendo considerada uma das plantas mais fotossinteticamente eficiente do mundo. O sorgo é uma planta típica de clima tropical, de dias curtos, com temperatura ótima para o seu desenvolvimento oscilando entre 16 e 38°C. É cultivado principalmente em locais onde a precipitação anual ocorre entre 375 e 625 mm (Ribas, 2009).

O ciclo do sorgo pode ser dividido em três fases: vegetativa, reprodutiva e período de maturação do grão. A etapa de crescimento 1 (EC1) têm duração de 30 dias e caracteriza-se pela germinação, aparecimento da plântula, crescimento das folhas e estabelecimento do sistema radicular fasciculado. A etapa de crescimento 2 (EC2) inicia-se quando o meristema apical se diferencia em um meristema floral e vai até a antese, sendo este período compreendido entre 30 e 59 dias. A etapa de crescimento 3 (EC3) caracteriza-se pela maturação dos grãos e senescência das folhas, esta etapa inicia-se 61 dias após a germinação e têm duração de aproximadamente 60 dias, dependendo do tipo de sorgo (Pinho et al., 2014).

Morfologicamente, possui características, de planta ereta e altura variando de 1,20 m (granífero) até 5,30 m (biomassa). O sistema radicular é ramificado e profundo. O caule é do tipo colmo, dividido em nós, que podem variar entre 7 e 24. As folhas são largas e possuem depósito de substância cerosa na junção da bainha com o limbo, que reduz a perda de água na transpiração. A panícula é ereta, compacta e multiflora. O fruto do sorgo é do tipo cariopse ou grão seco que é constituído principalmente de amido (65%) e seu teor de açúcar

é formado principalmente de sacarose e a quantidade de proteína varia de acordo com o cultivar, podendo atingir até 18% em alguns deles (Pinho et al., 2014).

A planta de sorgo se adapta a uma gama de ambientes, principalmente sob condições de deficiência hídrica, desfavoráveis à maioria dos outros cereais. A tolerância ao déficit hídrico da cultura está relacionada à estratégia de escape, através de um sistema radicular profundo e ramificado de alta eficiência na extração de água do solo. Outra estratégia é a tolerância relacionada ao nível bioquímico, onde a planta é capaz de reduzir o metabolismo, murchar e recuperar-se quando o estresse é interrompido (Magalhães et al., 2014).

A planta de sorgo possui baixa exigência hídrica para se desenvolver, sendo que, seu período mais crítico à falta de água é o florescimento. Esta característica permite que a cultura seja apta para desenvolvimento e expansão em regiões de cultivo com distribuição irregular de chuvas e em sucessão a culturas de verão. Quando comparado ao milho, o sorgo consome 30-50% menos água, significativamente menos pesticidas e outros insumos químicos, além de otimizar o uso da terra por ser possível sua implantação em terras marginais (Castro, 2014).

Outra característica inerente ao desenvolvimento desta cultura é a sensibilidade ao fotoperíodo, ou seja, o desenvolvimento da cultura se dá em resposta à duração dos períodos de luz e escuro. Sendo o sorgo uma planta de dias curtos, tem indução do florescimento por noites longas. O fotoperíodo crítico do sorgo varia de acordo com os diferentes materiais genéticos, onde variedades tropicais tem fotoperíodo crítico em torno de 12 horas e os materiais temperados apresentam um valor crítico em torno de 13,5 horas, porém a maioria dos sorgos comerciais é melhorado geneticamente para insensibilidade ao fotoperíodo (Magalhães et al., 2014).

2.2. Sorgo granífero no Brasil

O sorgo granífero foi introduzido no Brasil no início do século XX onde a cultura ficou conhecida como “Milho d’ Angola” e “Milho – da – Guiné”, mas desde então nunca se firmou como uma cultura com características comerciais marcantes (Ribas, 2014). Por ser identificado como substituto do milho em vários usos, houve limitações à sua aceitação por produtores e consumidores

ocasionando na dificuldade de sua comercialização e armazenamento, tornando-se um produto marginal (Silva et. al., 2010).

A área cultivada de sorgo granífero no Brasil tem se expandido significativamente nos últimos anos, consolidando-o como cultura rentável em épocas de safrinha, por ser tolerante à seca, pouco exigente em nutrientes e de baixo custo de produção (Conab, 2020). O plantio da cultura tem-se concentrado no Brasil Central em sucessão a plantios de verão (safrinha), no Sul (região de fronteira) em plantios de verão e no Nordeste em plantios nas condições do semiárido, com altas temperaturas e precipitação inferior a 600 mm anuais (Parrella et al., 2014).

Atualmente a área total de cultivo da cultura é estimada em 835,2 mil hectares com uma produção média de 2.991 kg/ha na safra de 2020 (Conab, 2020). A região Centro-Oeste participa com mais da metade da produção nacional de sorgo onde se destacam os estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Oeste da Bahia, seguida pela região Sudeste com o Triângulo Mineiro e São Paulo (Conab, 2020).

Este tipo agrônômico de sorgo é caracterizado por cultivares de porte baixo, de 1,00 até 1,50 m, aptos à colheita mecanizada dos grãos. Possuem inflorescências ou panículas de formas variadas comumente cilíndricas ou elípticas, semicompactadas e semiabertas. Os grãos são de cores variadas (branco, creme, amarelo, vermelho, marrons) e se desprendem facilmente das glumas protetoras. Os colmos são suculentos, não doces ou ligeiramente doces, porém raramente secos. Alguns cultivares apresentam grãos com tanino e são chamados de antipássaros (Ribas, 2014).

O produto principal do sorgo granífero é o grão que é produzido na extremidade superior do vegetal em formato de cacho (panícula). O grão de sorgo possui alta liquidez no mercado, pois conta com qualidade nutricional muito semelhante à do milho. Além disso, possui menor porcentagem de micotoxinas e menor custo de produção (Silva et. al., 2010).

Após a colheita o restante do sorgo, ainda verde, pode ser utilizado também como feno ou pastejo. Sua ingestão em forma de silagem de grão úmido tem atraído mais interesse atualmente. Entre as vantagens da silagem do grão úmido, estão: melhor digestibilidade; custo mais baixo no armazenamento; perdas

qualitativas e quantitativas inferiores quando comparadas às de outros grãos (Menezes, 2015).

2.3. Exigências nutricionais do sorgo

A fertilidade dos solos, a nutrição e a adubação são componentes essenciais para a construção de um sistema de produção eficiente. A disponibilidade de nutrientes deve estar sincronizada com a necessidade da cultura em quantidade, forma e tempo. Os elementos minerais considerados essenciais ao desenvolvimento e crescimento das plantas são divididos em dois grupos, em função das quantidades exigidas pelas plantas, sendo eles os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e os micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) (Faquin, 2005).

O sorgo apresenta períodos diferentes de intensa absorção, com o primeiro ocorrendo durante a fase de desenvolvimento vegetativo (V7 – V12), quando o número potencial de grãos está sendo definido, e o segundo, durante a fase reprodutiva ou formação dos grãos, quando o potencial produtivo é atingido. Até a época do florescimento a planta absorve 65%, 60% e 80% de seu requerimento em N, P e K, respectivamente (Coelho, 2015).

Deste modo, deve-se ressaltar que é imprescindível a garantia do suprimento dos nutrientes essenciais às fases de desenvolvimento das plantas, desde a germinação da semente, contribuindo assim para o melhor estabelecimento das mesmas em campo.

2.3.1. Micronutrientes

Os micronutrientes são requeridos em pequenas quantidades pelas plantas, porém na sua ausência ou com baixa disponibilidade no solo/solução nutritiva acarreta distúrbios fisiológicos, com baixo desenvolvimento da cultura e em estágios mais avançados de deficiência, levam à morte da planta (Abreu et al., 2007). Em contrapartida há aumento da produtividade da cultura e da sua qualidade, quando o suprimento de micronutrientes é fornecido a um nível adequado e pelo uso eficiente de fertilizantes contendo nitrogênio e fósforo (Kirkby e Romheld, 2007).

O consumo de fertilizantes na agricultura brasileira passou de 2,0 milhões de toneladas em 1975 para 15 milhões em 2016, sendo observado um aumento considerável do consumo de micronutrientes, principalmente de boro e zinco que mais frequentemente promovem deficiência nas culturas de solos tropicais (Gasques et al., 2018).

Segundo Lopes (1999), os principais motivos que despertaram o maior interesse pela utilização de fertilizantes contendo micronutrientes no Brasil foram: a) o início da ocupação da região dos cerrados, formada por solos deficientes em micronutrientes, por natureza; b) o aumento da produtividade de inúmeras culturas com maior remoção e exportação de todos os nutrientes; c) a incorporação inadequada de calcário ou a utilização de doses elevadas acelerando o aparecimento de deficiências induzidas; d) o aumento na proporção de produção e utilização de fertilizantes NPK de alta concentração, reduzindo o conteúdo de micronutrientes nesses produtos; e, e) o aprimoramento da análise de solos e análise foliar como instrumentos de diagnose de deficiências de micronutrientes, levando à necessidade do fornecimento de nutrientes, via fertilizantes, para suprir adequadamente a exigência nutricional das culturas.

Por isso a técnica de revestimento de sementes surge como uma excelente estratégia de fertilização, pois proporciona uniformidade de distribuição do nutriente e redução de gastos pela minimização da quantidade aplicada quando comparada com a adubação via solo ou foliar (Farooq et al., 2012). No entanto, deve-se atentar às doses utilizadas para evitar causar incorreções, pois há uma pequena amplitude de variação entre a dose recomendada e o aparecimento de deficiência ou toxicidade (Faquin, 2005).

Trabalhos utilizando o boro e o zinco mostraram que há interação entre esses nutrientes, comprovada através da ação desses elementos em numerosos processos bioquímicos e fisiológicos da planta. As interações nutricionais interferem na composição mineral da planta podendo um elemento estimular ou inibir a absorção de outros elementos. Essas relações são muito variáveis podendo ocorrer no interior das células ou na rizosfera (Mengel e Kirkby, 2001). Assim o tratamento de sementes com os micronutrientes Zn e B, é uma maneira viável de fornecê-los às plantas e poderá garantir melhor uniformidade de aplicação e possibilitar que o nutriente esteja próximo ao sistema radicular das plântulas e, conseqüentemente, promover maior absorção.

2.3.2. Zinco

O sorgo é classificado como cultura de alta capacidade de resposta ao zinco e, no Brasil, este é o micronutriente mais limitante à produção da cultura sendo a sua deficiência muito comum na região central do país, onde predominam os solos originalmente sob vegetação de cerrado (Coelho, 2015). A adubação com zinco na cultura do sorgo, em áreas com baixo teor de Zn, torna-se prática agrícola importante para garantir a máxima produção da cultura. Como as quantidades de micronutrientes exigidas pelo sorgo são baixas, isso dificulta sua aplicação uniforme no campo.

O zinco é absorvido pelas plantas na forma de Zn^{2+} , este se apresenta em baixa concentração no solo, e sua disponibilidade é muito influenciada por diversos fatores como: pH do solo sendo que quanto mais alto menor será a sua disponibilidade na solução do solo, altas doses de fertilizantes fosfatados podem induzir problemas de deficiência de Zn, solos com alto teor de matéria orgânica podem “fixar” o Zn ou a microbiota pode imobilizá-lo temporariamente; solos com alta umidade associados à baixa temperatura também podem diminuir temporariamente a sua disponibilidade, além disso, muitas vezes o Zn está adsorvido a argilas, como a goeta (Fe_2O_3 hidratado), representando 30-60% do total.

O zinco é um micronutriente essencial para o crescimento e reprodução normal e saudável das plantas. É um elemento com papéis importantes na regulação do crescimento, ativação enzimática, expressão gênica e regulação, atividade de fitohormônios, síntese de proteínas, fotossíntese, metabolismo de carboidratos, fertilidade, produção de sementes e defesa contra doenças. A deficiência de Zn prejudicará essas funções fisiológicas e comprometerá a saúde e a produtividade das plantas, levando a uma redução severa no crescimento, menores produtividades (ou mesmo fracasso na colheita) e produtos agrícolas de baixa qualidade (Sadeghzadeh, 2013).

As plantas de sorgo com deficiência de zinco caracterizam-se por apresentar pequeno porte e internódios curtos, as folhas superiores apresentam-se com listras amareladas entre as nervuras, enquanto as mais novas tornam-se praticamente brancas (Coelho, 2015).

A toxidez de Zn manifesta-se pela diminuição da área foliar, seguida de clorose, podendo aparecer na planta toda um pigmento pardo-avermelhado,

talvez um fenol. Além disso, faz diminuir a absorção de K. No xilema de algumas plantas intoxicadas por Zn acumulam-se tampões “plugs”, contendo o elemento, os quais dificultam a ascensão da seiva bruta (Malavolta, 2006).

Foi observado por Cunha et al. (2015) que a qualidade fisiológica das sementes é influenciada positivamente pela aplicação de fertilizante composto de zinco e molibdênio. Segundo Prado e Mouro (2007) a aplicação de doses de zinco, em sementes de sorgo proporcionou maior incremento de massa seca nas plantas além de maior eficiência de utilização do micronutriente zinco, promovendo maior absorção dos macronutrientes potássio, magnésio, cobre e ferro.

Porém deve-se ressaltar que a aplicação de Zn via sementes de sorgo deve ser realizada em quantidades relativamente pequenas, tal como tem sido estudado para outras gramíneas, como o milho e o arroz (Ribeiro e Santos, 1996). Yagi et al (2006), trabalhando com aplicação de zinco em sementes de sorgo, observaram diminuição na massa seca das raízes (MSR) e da planta inteira, onde possivelmente esse nutriente em excesso tenha causado toxidez nas plantas, pois a toxicidade de zinco se caracteriza por uma inibição do alongamento radicular.

2.3.3. Boro

O sorgo apresenta média sensibilidade às deficiências de boro sendo este micronutriente um dos que mais limitam as culturas nas regiões tropicais. É um elemento que apresenta um limite estreito entre o teor adequado e o nível tóxico nas plantas o que exige, portanto, uma adubação cautelosa (Faquin, 2005). A deficiência de B e os sintomas aparecem rapidamente, junto com mudanças distintas na atividade metabólica.

No solo o B se encontra na forma de ácido bórico não dissociado (H_3BO_3), que é a forma solúvel disponível para a planta. O boro atua no crescimento celular, da biossíntese de componentes da parede celular, do metabolismo de fenóis, dos ácidos nucleicos, dos carboidratos e do AIA, além de conferir estabilidade e estrutura à parede celular (Marschner, 2012), plantas com deficiência de boro apresentam paredes celulares menos resistentes que aquelas sem deficiência deste micronutriente. Além disto, o boro apresenta uma importante função na translocação de açúcares e participa do florescimento e

crescimento do tubo polínico, ambos os processos são severamente inibidos pela deficiência deste micronutriente, o que evidencia a sua importância para a produção das culturas (Kirkby e Romheld, 2007).

As espécies de plantas variam em termos de requerimento de B, essas diferenças provavelmente decorrem de diferenças na composição da parede celular pelo fato da habilidade das plantas em acumular boro nas paredes celulares. A concentração de boro nos tecidos das liliópsidas varia de 6 a 18 mg kg^{-1} , enquanto nas magnoliópsidas varia de 20 a 60 mg kg^{-1} , assim a deficiência no grupo das liliópsidas apresenta menor incidência no campo.

Como o B é imóvel no floema, os sintomas de deficiência ocorrem nos órgãos novos. O principal sintoma é a inibição do crescimento da parte aérea e das raízes e até morte das gemas terminais (podendo estimular brotações laterais); encurtamento dos internódios, folhas/frutas pequenas e deformadas; folhas engrossadas (acúmulo de carboidratos) duras e até quebradiças; pequena produção de sementes. Os sintomas de toxidez podem ocorrer com alto teor do elemento, dependendo da espécie, normalmente, os sintomas caracterizam-se como clorose malhada (200 mg kg^{-1}) e depois manchas necróticas ($>1500 \text{ mg kg}^{-1}$) nas bordas das folhas mais velhas (regiões de acúmulo de B), devido à maior taxa de transpiração nestes locais.

Segundo Assmann (2009), a utilização de adubação boratada em trevo branco influenciou na melhoria da produção de forragem, produção e qualidade de sementes. Além disso, a aplicação de boro teve efeito significativo na germinação de sementes, visto que a deficiência deste pode causar defeitos no embrião.

2.4. Revestimento de Sementes

O uso de sementes com elevado potencial fisiológico, livre de pragas e doenças traz benefícios que incluem uma melhor germinação, plântulas que suportam uma gama variada de adversidades ambientais e uma maturidade mais uniforme da colheita, o que pode resultar em um aumento de até 30% no rendimento das colheitas, entretanto, somente semear sementes de qualidade não garante o sucesso do estabelecimento de estandes (Afzal et al., 2020).

Diversas inovações tecnológicas têm contribuído para incrementos constantes na produtividade agrícola a cada ano, nesse sentido, o revestimento

de sementes é uma tecnologia promissora que vem se consolidando, pois, apesar de adicionar custos às sementes comercializadas, é uma tecnologia que confere proteção ao desenvolvimento das sementes em termos de germinação, crescimento e desenvolvimento (Baudet e Peres, 2004).

O revestimento de sementes é uma técnica usada há bastante tempo, principalmente, em hortaliças, leguminosas, florestais e ornamentais, que consiste em um mecanismo de aplicação de materiais secos, inertes, de granulometria fina e adesivos à superfície das sementes, objetivando aumentar o tamanho e proporcionando um formato mais arredondado, liso e maior massa às sementes (Santos et al., 2010; Xavier et al., 2015). Dentre as diversas vantagens desta técnica estão: o aumento da precisão no manuseio e na distribuição das sementes durante a semeadura, a diminuição de impactos causados durante a semeadura, a redução dos custos com fertilização e a formação de um microambiente mais uniforme ao redor das sementes no solo. Além de permitir a incorporação de nutrientes, fungicidas, inseticidas, herbicidas e microrganismos benéficos, sempre com objetivo de favorecer a germinação das sementes, crescimento e desenvolvimento das plantas (Mendonça et al., 2007).

A formação dos péletes se dá com um conjunto de camadas finas e uniformes em torno da semente, proporcionando a elas um formato mais arredondado e que, geralmente, representa um terço de cobertura e a semente dois terços (Baudet e Peres, 2004). O material utilizado para o recobrimento deve conferir aos péletes, certa resistência ao esmagamento e firmeza, entretanto o recobrimento não deve oferecer resistência ao desenvolvimento radicular e nem da parte aérea da planta, devendo este ser solúvel em água e permitir a passagem de oxigênio, que é necessário para a germinação das sementes (Silva e Nakagawa 1998; Santos et al., 2009).

Contudo, as informações referentes aos materiais e metodologia empregada, se tornam segredos das empresas de sementes, pesquisadores buscam em diferentes espécies vegetais uma metodologia de recobrimento que seja capaz de promover aumento no tamanho das sementes, alterando sua forma e textura, que seja capaz de fornecer proteção às sementes e nutrientes às plantas em fase inicial de crescimento (Xavier et al., 2015; Acha et al., 2016; Silva et al., 2017; Acha et al., 2018). Desta forma, a escolha correta dos materiais empregados no recobrimento é de fundamental importância para o sucesso do

revestimento que influencia diretamente a germinação das sementes e posterior estabelecimento das plantas (Silva e Nakagawa, 1998).

Os principais materiais que compõem as camadas do revestimento são:

- Material de enchimento

Os materiais de enchimento, denominados também de materiais inertes, necessitam apresentar algumas características básicas como: grânulos esféricos e uniformes; sem tensão superficial; tamanho entre 100 e 200 μm ; não higroscópicos; hidrofílicos, não corrosivos, estéreis e não tóxicos; não devem favorecer o desenvolvimento de microrganismos; possuir densidade em torno de um; ser de fácil aquisição e apresentar custos compatíveis (Lopes e Nascimento, 2012). Dentre os materiais de enchimento mais estudados têm-se: microcelulose, areia, calcário dolomítico, caulim, carvão vegetal ativado, vermiculita, fubá de milho, farinha de trigo, polvilho de mandioca, amido de milho, celite e terra de diatomáceas (Mendonça et al., 2007).

- Material cimentante ou adesivo

Os materiais cimentantes devem apresentar algumas características importantes para a eficiência do processo, tais como ter afinidade com os demais ingredientes utilizados no recobrimento, ser prontamente solúveis em água; atuar em baixa concentração; se tornar seco e não pegajoso quando desidratado; formar solução de baixa viscosidade ao ser reidratado e; não ser higroscópico, corrosivo e nem tóxico (Nascimento et al., 2009). Os materiais mais utilizados são: polímeros orgânicos, resinas naturais, açúcares, amidos e cola, que são dissolvidos em água para a utilização durante o processo de revestimento.

3. TRABALHOS

3.1. QUALIDADE DE SEMENTES DE SORGO GRANÍFERO REVESTIDAS COM DIFERENTES COMBINAÇÕES DE MATERIAIS¹

RESUMO

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é o quinto cereal mais cultivado no mundo, tem alta liquidez no mercado devido suas características nutricionais e edafoclimáticas, entretanto por ser cultivado em condições marginais apresenta produtividade abaixo de seu potencial. A técnica de recobrimento de sementes surge para otimizar o cultivo de sorgo. Objetivou-se com este trabalho analisar a qualidade de sementes de sorgo granífero revestidas com diferentes materiais de enchimento e proporções de cola como material cimentante. Após o recobrimento avaliou-se as características físicas e fisiológicas das sementes e o desenvolvimento inicial de plantas em casa de vegetação. Verificou-se que o revestimento com silicato de cálcio proporcionou as melhores características físicas às sementes com maiores taxas de aderência, área total, diâmetro máximo e mínimo. Já os revestimentos com calcário dolomítico e calcário dolomítico +

¹ Artigo publicado no periódico “*Journal of Experimental Agriculture International*” em Dezembro de 2020.

areia proporcionaram o melhor desempenho fisiológico das sementes com os maiores valores de germinação e massa seca de raiz. A proporção de material cimentante 3:1 proporcionou bons resultados além de ser mais econômico. Conclui-se que a combinação do material de enchimento com o material cimentante utilizado no revestimento das sementes de sorgo granífero interfere no desempenho fisiológico e no aspecto físico das mesmas.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, péletes, drageadora, Groundeyes®

3.1 QUALITY OF GRAIN SORGHUM SEEDS COATED WITH DIFFERENT COMBINATIONS OF MATERIALS

ABSTRACT

Sorghum (*Sorghum bicolor*) is the fifth most cultivated cereal in the world, has high liquidity in the market due to its nutritional and edaphoclimatic characteristics, however, because it is cultivated in marginal conditions, it presents productivity below its potential. The seed coating technique appears to optimize the cultivation of sorghum. The objective of this work was to analyze the quality of graniferous sorghum seeds coated with different filling materials and proportions of glue as a cementing material. After covering, the physical and physiological characteristics of the seeds and the initial development of plants in the greenhouse were evaluated. It was found that the coating with calcium silicate provided the best physical characteristics to the seeds with the highest adherence rates, total area, maximum and minimum diameter. The coatings with dolomitic limestone and dolomitic limestone + sand provided the best physiological performance of the seeds with the highest germination values and root dry matter. The proportion of cementitious material 3: 1 provided good results in addition to being more economical. It is concluded that the combination of the filling material and the cementing material used in the coating of graniferous sorghum seeds interferes with their physiological performance and physical aspect.

Key words: *Sorghum bicolor*, cereal, productivity, covering.

INTRODUCTION

Sorghum is the fifth most cultivated cereal in the world, with annual productivity estimated at 60 million tons. In Brazil, the area cultivated with sorghum is significant, reaching in the 2018 harvest a planted area of 782.2 thousand hectares with an average production of 2731 kg ha⁻¹ [1].

The grain of the sorghum has high liquidity in the market because it has the same nutritional quality as corn, lower percentage of mycotoxins in the grain and lower production cost. In addition, this cereal is one of the most drought-tolerant and is considered a safety crop for the production of grains and forage in late rain plantations or seasons with erratic and poorly distributed rains [2].

Despite the increases observed in the production of sorghum from Brazilian crops, the productivity rates of this cereal are still below the potential for grain and dry matter production of hybrids found in the market [3]. This reality, in part, is due to the country's grain production system that cultivates grain sorghum normally in a late off-season period in marginal conditions and with low use of technology, taking advantage of the residual fertility of summer crops, of Brazilian soils presents an acid reaction with toxic levels of aluminum or manganese and with low levels of calcium and magnesium, thus decreasing the use of fertilizers in the soil and the productivity of explored crops [4, 5].

Another relevant obstacle to the productivity of the sorghum crop is the small size of the seed, which reflects in the little available reserve, directly influencing the slow initial growth of the crop, aggravating the competition with weeds, in addition to the difficulty of adjusting the density and depth in the sowing. mechanized [6].

Thus, the seed covering technique appears as an alternative to optimize the sowing of graniferous sorghum, in order to improve performance and contribute to the best initial development of plants in the soil and, consequently, in increasing productivity. With the coating there is the possibility of adhering a material that provides the filling of the irregularities of the seeds thus gaining in the speed and uniform distribution of the seed in the sowing line, besides allowing the application of nutrients, fungicides and insecticides always with the objective of improving the performance of the seed, both physiologically and economically, which represents improvements in seed health and seedling establishment [7].

However, to form a good coating it is essential to find the ideal proportions between the materials that will compose the pellet so that it does not impair gas exchange with the external environment, the absorption of water during the process of soaking the seed and neither the integrity of the coating formed. In this way, the objective of this work was to analyze the quality of grain sorghum seeds coated with different filling materials and proportions of glue as a cementing material.

MATERIAL AND METHODS

The experiment was developed during the months of June to September 2018. Commercial seeds of *Sorghum bicolor* of the agronomic type were used (hybrid PR40G34). To coat the seeds, the methodology used by [8] was adapted in a bench dredge N10 Newpack, equipped with stainless steel bowl with speed regulation, pressure control of the spray that sprays the cement material and drying system. The dredger was adjusted so that the steel vat rotated at a speed of 86 rpm and a pressure of 4 bar in the compressed air that activates the cement solution for 3 s, then the hot air fan was turned on at a temperature of 50 °C for 90 s.

The filling materials used for the coating were: sand (0.25 mm), calcium silicate (<0.20 mm), dolomitic limestone (0.25 mm), calcium silicate + sand and dolomitic limestone + sand in proportion 2: 1 (w / w) in relation to the seeds. For the preparation of the cementing material, glue based on polyvinyl acetate (PVA) diluted in water previously heated to 70 ° C was used, in three proportions (3: 1, 2: 1 and 1: 1 between water and glue, respectively).

The coating process was carried out with four repetitions per treatment with portions of 100 g of seeds each, these portions were placed in the dredger tank, then the adhesive solution spray was applied for 3 seconds and then a portion of filling material (initially 10 g of material) was added to the vat. Soon after another spray of adhesive solution (3s) was applied followed by another portion of the filling material (10 g of material) that was added on the seeds with another application of adhesive solution (3s). Right after the air blower (50°C) was activated for 90 s. This procedure resulted in the first coating layer. For the next

layer, another jet of adhesive solution was applied followed by another portion of filler material, then another jet of adhesive solution, accompanied by the second portion of filler material. Finally, another jet of adhesive solution was applied, before triggering the final hot air, which lasted another 90 s. This procedure was repeated until the 200g of filling material was completed, totaling 10 layers of coating at the end of this process.

After coating, the seeds were evaluated for physical and physiological characteristics, in the laboratory and in a greenhouse.

1) Characteristics evaluated in the laboratory:

The physical evaluations were: 1) Water Content (WC): determined by the greenhouse method, at $105 \pm 3^\circ \text{C}$, for 24 hours, with two repetitions of approximately 4.5 g (Brazil, 2009), the results were expressed in percentage (wet basis); 2) Seed biometry: determined in the Seed Analysis System (Groundeye®) using four replications of 50 seeds for each treatment. The extracted variables were: maximum diameter (MAD), minimum diameter (MID) and total seed area (TSA), with the results expressed in centimeters (cm); 3) Percentage of Adhered Material (AM) that was determined using formula (I):

- I) $AM = PF \times 100 / PI$, where: PF is the final weight of the sample after coating and PI is the initial weight of the sample where the weight of the seeds and the weight of the filler material used are considered.

The physiological evaluations were: 1) Germination Test (G): conducted with four repetitions of 50 seeds, a germ-paper roll moistened with a volume of water equivalent to 2.5 times the weight of the dry substrate was used as substrate. After sowing, the rolls were kept in a germinator at $20\text{-}30^\circ \text{C}$ submitted to a photoperiod of 16 hours of darkness and 8 hours of light, respectively. The evaluations were made on the 10th day after sowing, with the registration of the percentage of normal seedlings [9]; 2) Germination Speed Index (GSI): conducted together with the germination test, with daily counts being performed after the test starts. The seedlings that presented normal characteristics according to [9] were considered to be germinated, for the calculation of the GSI the formula proposed by [10] was used.

2) Characteristics evaluated in a greenhouse:

The following were evaluated: 1) Emergency (E): conducted in 7 liters plastic trays containing previously washed sand. Four replications of 50 seeds per tray were used, distributed in furrows 3 cm deep and 2 cm apart. The substrate was moistened whenever necessary and the final evaluation of the seedlings was carried out at 30 days after sowing; 2) Emergency Speed Index (ESI): it was conducted together with the emergency test. The emergence speed was determined by daily recording the number of seedlings emerged with the coleoptiles above the substrate, from the beginning until 30^o day after sowing. To calculate the ESI, the formula proposed by [10] was used. At the end of the test, 10 plants from each experimental unit were selected and the aerial part was separated from the root, later they were stored in paper bags, then they were placed in an air circulation oven at 65 ° C for 72 hours to determine the mass. dry on both sides.

3) Statistical analysis:

For the variables evaluated in the laboratory, the completely randomized design model was designated and for the variables evaluated in the greenhouse, a randomized block design was used, both with treatments distributed in a 5x3 + 1 factorial scheme, with five types of materials being evaluated. fillers (sand, dolomitic limestone, calcium silicate, dolomitic limestone + sand and calcium silicate + sand) applied with three proportions of glue in the cementing material (1: 1, 2: 1 and 3: 1) plus the additional treatment as a control (uncoated seed), with four replications.

The data were subjected to analysis of variance by Test F at the level of 5% probability and for the variables that showed significance, Tukey's test at 5% probability was used for qualitative data. To compare the averages of the combinations of filler materials with the proportions of glue (treatments) with the control, the Dunnett test at 5% probability was used. Pearson's correlation coefficient was determined for the physical variables (MAD, MID, TSA and AM), at 5% significance.

RESULTS AND DISCUSSION

1) Laboratory analysis:

Through a descriptive analysis of the images of the coated seeds, it was observed, in figure 1, that all the materials used in the coating modified the shape and size of the seeds.

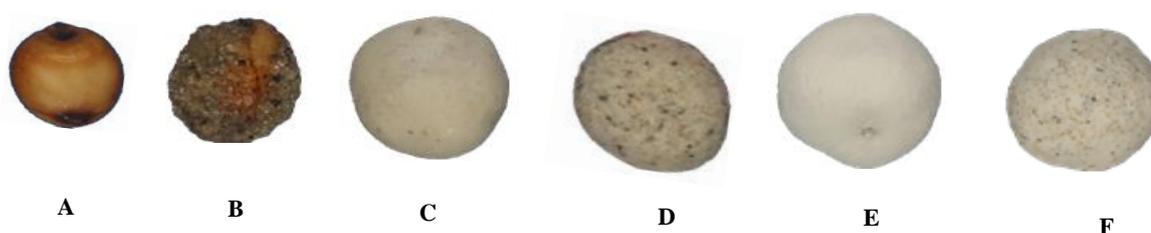


Figure 1. Grainiferus sorghum seed: A) Intact seed B) Sand Coating; C) Dolomitic limestone coating; D) Dolomitic limestone + sand coating; E) Calcium silicate coating; F) Calcium silicate coating + sand.

The addition of materials through the coating technique aims to increase the size of the seeds eliminating the roughness and deformations, so the coated seeds can be distributed with greater precision and uniformity facilitating manual and mechanized sowing [11]. The use of seed coating has several advantages, as it allows to increase the size of the seeds and to change their shape and texture, it helps the handling and distribution of the seeds, especially the smaller, hairy and rough ones. In addition to allowing the application of nutrients, fungicides, insecticides, herbicides and beneficial microorganisms, always with the objective of improving the performance of the seed, both physiologically and economically, which represents improvements in the health of the seeds and in the establishment of the seedlings [12].

A significant effect of the filling material ($P \leq 0.05$) was observed in the variables: total area (TSA), maximum diameter (MAD), minimum diameter (MID) and germination (G). There was a significant interaction effect between the filling material and proportion of glue ($P \leq 0.05$) in the variables: percentage of adhered material (AM), water content (WC) and germination speed index (GSI).

In assessing the physical quality of the coating, it was observed in Table 1 that in relation to the AM variable, only the calcium silicate and dolomitic limestone filler materials did not show significant difference between the averages obtained in relation to the proportions of glue used, these results indicate the affinity between the coating formed and the surface of the seeds may vary according to the filling material and the concentration of cement used, since the adhesives are generally viscous products and the viscosity of the solution as well as its adhesion power depends on the its concentration [11, 13].

It was observed, in Table 1, that in relation to the proportion of glue only in 2: 1 there was a statistical difference between the filling materials. In this proportion of glue, the coating with calcium silicate obtained the highest average with 95.60% of adhered material, differing statistically from the materials sand and limestone + sand with 51.68%, and 63.05%, respectively.

The results regarding the proportion of glue 2: 1 may be related to the granulometry and density of the materials. The sand has the highest density, with 2.91g cm^{-3} , ahead of dolomitic limestone and calcium silicate with 2.86 and 2.66g cm^{-3} , respectively. The higher densities of sand and dolomitic limestone favored the formation of the coating layers due to the greater mass of the materials and also the greater granulometry, because when using materials with larger particles it is more difficult to promote their adhesion to the surface of the seeds due to their weight and greater friction with moving material.

These materials must be applied in more external layers since, as the pellets are formed, the area and the weight of the seeds increase, thus allowing the use of material with heavier particles [14]. The higher rate of adherence of calcium silicate to the seeds is due to its lower density and granulometry, among the tested materials, as it has lighter and smaller particles with larger specific surfaces that adhered more easily to the seeds.

Table 1. Percentage of material adhered to the coated seeds, according to the filling material and the proportion of glue used in the cementing material. S: Sand, CS: Calcium silicate, CS + S: Calcium silicate + sand, DL: Dolomitic limestone, DL + S: Dolomitic limestone + Sand

Filling material	Proportion of glue		
	1:1	2:1	3:1
S	65.29 ABa	51.68 Bc	76.74 Aa
CS	89.52 Aa	95.60 Aa	91.40 Aa
CS + S	72.38 Ba	86.90 ABab	94.59 Aa
DL	78.68 Aa	76.55 Aab	85.90 Aa
DL + S	87.07 Aa	63.05 Bbc	69.86 ABa

Means followed by the same uppercase letters in the row and lowercase in the column, do not differ by Tukey's test at 5% probability.

Evaluating the effect of treatments on the physical quality of the coated seeds, it was observed, in figure 2, that the control treatment obtained the lowest values in all the analyzed physical variables (MAD, MID and TSA) due to the non-coating of these seeds, however it did not differ from the sand treatment in the TSA variable and limestone, limestone + sand and sand treatments in the MID variable. In general, the treatments with silicate and silicate + sand differed from the control in all the physical variables evaluated, demonstrating that these treatments effectively increased the size of the coated seeds.

Among the treatments used in the coating, it was observed that silicate and silicate + sand obtained the highest averages of MAD, MID and TSA, differing statistically from the others. The sand treatment showed the lowest averages in the MAD and TSA variables, but it did not differ statistically from the limestone + sand treatment in the MAD variable (Figure 2). These results are directly related to the AM variable (Table 1) due to the significant positive correlation between physical characteristics: total area, maximum diameter and minimum diameter (0.673; 0.678 and 0.553; respectively) and the percentage of material adhered to by the Pearson test, so it can be said that the treatments that obtained the highest total adherence averages of material (silicate and silicate + sand) resulted in a greater change in the shape of the seeds, justifying the higher values in the physical variables. In this way, the first objective of the coating process was

reached, which consists of improving and modifying the shape and size of the seed, which should provide greater precision in sowing and in the application of chemicals [12].

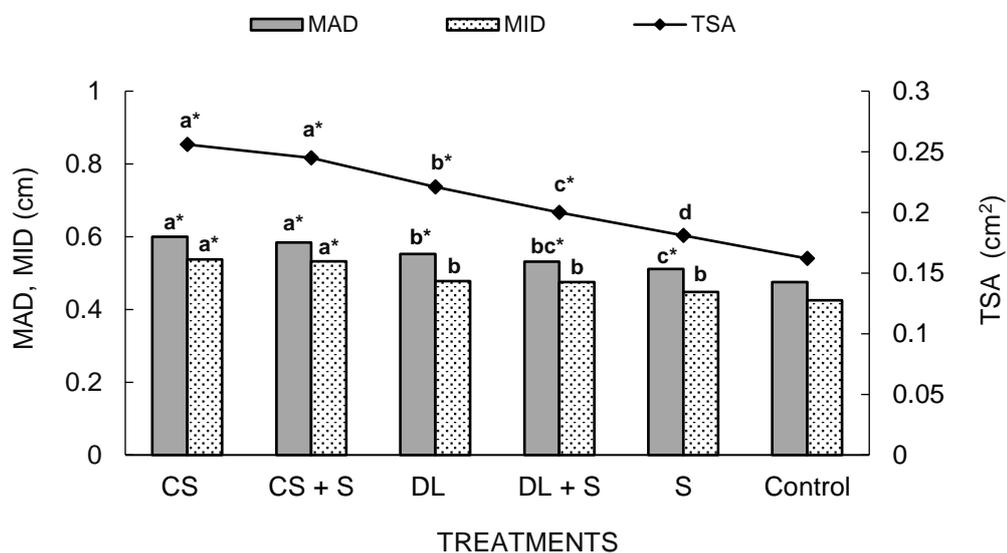


Figure 2. Effect of treatments on grain sorghum seeds: MAD: Maximum Diameter; MID: Minimum Diameter and TSA: Total area. Treatments: S: Sand, CS: Calcium Silicate, CS + S: Calcium Silicate + Sand, DL: Dolomitic limestone, DL + S: Dolomitic limestone + Sand. Equal bars and markers followed by the same lowercase letter, do not differ by Tukey's test at 5% probability. * Significantly different from the control, by Dunnett's test, at 5% probability.

It was observed in Table 2 that, regardless of the treatment, all coated seeds had significantly lower water contents than that presented by the control (uncoated seeds). These results corroborate with [12, 15 and 8] who found a reduction in the water content of coated seeds when compared to the control, this is because the water used in the coating is lost more easily than that present in the seeds.

Table 2. Water content in coated and uncoated seeds, according to the filling material and the proportion of glue used in the cementing material. S: Sand, CS: Calcium silicate, CS + S: Calcium silicate + sand, DL: Dolomitic limestone, DL + S: Dolomitic limestone + Sand

Filling material	Proportion of glue			Control
	1:1	2:1	3:1	
S	4.75 Ba*	7.97 Aa*	7.78 Aa*	
CS	4.85 Aa*	4.54 Ad*	4.71 Ad*	
CS + S	4.22 Bb*	4.81 Ad*	4.83 Ad*	12.44
DL	5.06 Ba*	5.30 Bc*	5.68 Ac*	
DL + S	4.72 Ba*	6.38 Ab*	6.24 Ab*	

Means followed by the same uppercase letters in the row and lowercase letters in the column, do not differ by Tukey's test at 5% probability. * Significantly different from the control, by Dunnett's test, at 5% probability.

It can also be said that the drying temperature (50 ° C) used during the coating process was efficient, providing removal of part of the water used in the dilution of the cement material that is used in making the coating layers, preventing absorption by the seed. This fact is beneficial, since the high water content in the seeds can affect their quality, not only during the storage period, but also during the processing operations, often making handling difficult and reducing the efficiency of the machines used in the processing processes. In addition, by reducing the water content of the seed to 8-9%, insect activity decreases or becomes null, as they do not reproduce when the seeds have low water content [16].

Regarding the proportion of glue, it was observed that in the proportion 1:1 only the treatment with silicate + sand differed significantly from the others, presenting the lowest water content with 4.22% (Table 2). In the remaining proportions of glue, the seeds coated with sand obtained the highest water content among the coated seeds, differing statistically from the other materials, this is due to the fact that these seeds were not fully covered due to the low adherence of the sand resulting in seeds with uncoated parts, thus obtaining less water retention by the filling material (Table 2).

The difference in humidity present in the coated seeds is basically related to the increase in the dry mass of the seeds due to the addition of the filling material, because as the formation of covering layers occurs, there is an increase in dry mass and little increase in water in the seeds, even with the spraying of cementitious material that has water in its composition [15]. In this way, the final water content in the coated seeds is the average between the water content of the seed and the water content in the coating.

When analyzing the effect of the filling material, it was observed that only the seeds coated with calcium silicate did not show significant difference between the averages obtained in relation to the proportions of glue, whereas the other materials showed the lowest water contents in the proportion of glue. 1: 1. This result indicates that the amount of water present in the cementing solution influences the final water content of the coated seeds, since the proportion of glue 1: 1 had the lowest amount of water among the tested proportions and consequently sprayed the least amount of water in the coated seeds. (Table 2).

It was observed in the germination speed index (GSI) that the control obtained the highest numerical value (23.71), this result is due to the non-coating of these seeds because this way there is no additional physical barrier that hinders the initial development of the seedling according to its vigor (Table 3). These results are in agreement with several authors [12,8], who reported that coated seeds take longer to germinate than uncoated seeds due to the coating.

However, it was observed that the seeds coated with sand in the proportions of glue 1: 1, 2: 1 and 3: 1, with silicate + sand in the proportion of glue 1: 1 and with limestone + sand in the proportion 2: 1 did not differ significantly of the GSI obtained by the control, these results may be related to the coating adherence to the seeds. The sand treatments showed low adherence rates to the seeds when compared to the other filling materials used, within each proportion of glue, in addition to not visually forming pellets that fully covered the seeds (Table 1). The treatments with silicate + sand in the proportion 1: 1 and limestone + sand in the proportion 2: 1 were those that obtained the lowest adherence of material by analyzing the respective filling material in relation to the proportions of glue (Table 1). In this way, it can be inferred that these treatments formed finer pellets that facilitated gas exchange and water absorption from the external environment and, consequently, germination.

Table 3. Germination Speed Index of the coated seeds, according to the filling material and the proportion of glue used in the cementing material. S: Sand, CS: Calcium silicate, CS + S: Calcium silicate + sand, DL: Dolomitic limestone, DL + S: Dolomitic limestone + Sand

Filling material	Proportion of glue			Control
	1:1	2:1	3:1	
S	21.00 Aab	22.36 Aa	21.41 Aa	
CS	19.55 Aab*	17.79 Ab*	18.03 Ab*	
CS + S	22.24 Aa	19.92 Aab*	20.28 Aab*	23.71
DL	18.95 ABb*	17.37 Bb*	20.27 Aab*	
DL + S	18.92 Ab*	20.94 Aa	20.21 Aab*	

Means followed by the same uppercase letters in the row and lowercase letters in the column, do not differ by Tukey's test at 5% probability. * Significantly different from the control, by Dunnett's test, at 5% probability.

It was observed, in table 3, that among the filling materials used, only dolomitic limestone showed a statistical difference between the GSI averages obtained in relation to the proportions of glue, demonstrating that for the other materials the proportion of glue used did not significantly interfere in the GSI reached by the coated seeds. However, the use of the lowest proportion of glue in the cementing material, as long as it does not compromise the resistance of the coating and the physiological potential of the seed, is more economically advantageous and, in addition, the lower the proportion of cement, the less difficult it is to absorb water and oxygen [17].

Regarding the proportion of glue, it was observed that in the proportion 1: 1 the seeds coated with dolomitic limestone and limestone + sand obtained the lowest GSI, with 18.95 and 18.92 respectively, differing significantly only from the seeds coated with silicate + sand with 22.24. These results indicate that the combination of the limestone with the proportion of glue 1: 1 formed a more compact pellet depending on the material and the greater proportion of glue used in the coating, since materials such as limestone can seal the gas exchanges associated with a high rate retention of humidity imposed by the thickness of the material layer [13] and the proportion of glue 1: 1 decreases the viscosity of the solution making it difficult for water to pass and gas exchange through the pores,

directly influencing the initial development of the embryo. These results corroborate with [8] who stated that coating with limestone and limestone + sand, in the proportion of glue 1: 1, increases the germination time of the seeds due to the limestone waterproofing effect.

In the proportion of glue 2:1, the seeds coated with sand obtained the highest GSI with 22.36, differing statistically only from the treatments with calcium silicate and dolomitic limestone, with indexes of 17.79 and 17.37 respectively. These results are related to the affinity between the cementing material and the granulometry of the filling material used in the covering, since the sand has greater granulometry among the materials used, forming pellets with larger pores that facilitated the diffusion of water and gas exchange and, consequently, seed germination. Silicate and limestone, on the other hand, are materials formed by smaller particles and therefore formed firmer and more compact pellets, making the coating more consistent and impermeable due to the reduction of porous spaces [15], thus there was a decrease in the diffusion of water and gas exchange between the seed and the external environment, causing a delay in germination thus justifying the smallest GSI found.

In the proportion of glue 3: 1, the sand obtained the highest GSI value with 21.41, but it differed significantly only from the seeds coated with calcium silicate with an index of 18.03. This demonstrates that in this proportion of glue the granulometry of the material significantly influenced the obtained indexes, because due to its smaller granulometry the calcium silicate formed a more compact pellet, which delayed the germination of these seeds. These results demonstrate that the germination speed of the coated seeds depends on several factors such as the viscosity of the cement, the granulometry of the filling material and the affinity between them that can directly interfere in the exchange of the seeds with the external environment and subsequent development of the seedlings.

Analyzing the germination of the seeds, it was observed that only the treatment with silicate differed from the control treatment (uncoated seeds), being statistically inferior, demonstrating that the silicate coating negatively affected the germination of sorghum seeds (Figure 3).

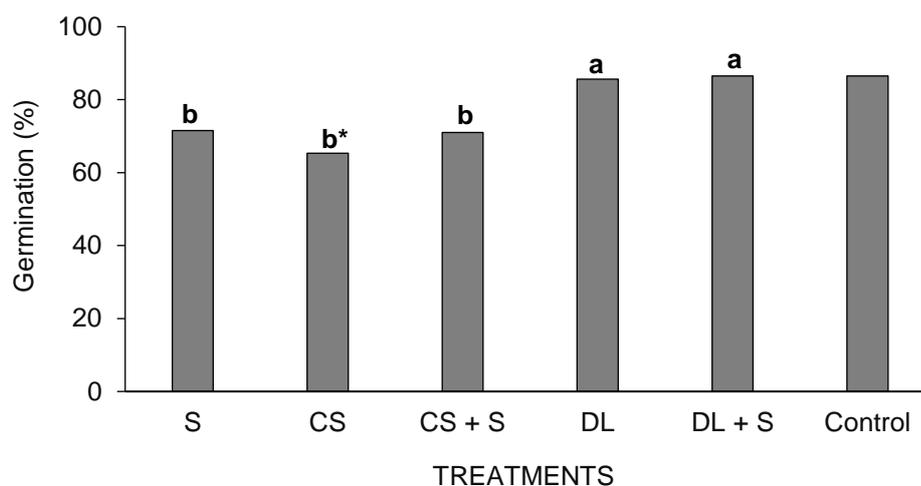


Figure 3. Effect of coating on the germination of graniferous sorghum seeds. Treatments: S: Sand, CS: Calcium Silicate, CS + S: Calcium Silicate + Sand, DL: Dolomitic limestone, DL + S: Dolomitic limestone + Sand. Equal bars and markers followed by the same lowercase letter, do not differ by Tukey's test at 5% probability. * Significantly different from the control, by Dunnett's test, at 5% probability.

Among the coated seeds, treatments with dolomitic limestone and limestone + sand obtained the highest germination averages with 85.7 and 86.5% respectively, differing significantly from the other treatments. On the other hand, seeds coated with silicate showed the lowest germination rate with 65.3% but did not differ statistically from seeds coated with silicate + sand and sand with 71 and 71.5%, respectively.

The results presented in figure 3, may be related to the availability of nutrients present in the filling materials used in the coating. Calcium silicate has a greater solubilization potential when compared to dolomitic limestone, being 6.78 times more soluble [4], thus silicate makes its nutrients (silicon (Si) and calcium (Ca)) faster at roots of newly formed seedlings, however the rapid solubilization of calcium silicate may have caused nutritional imbalance, reducing the formation of normal seedlings.

In a study by [18] it was observed that the fertilization of coffee trees, with a high dose of calcium silicate (6 Mg / ha) in the soil, caused a restriction in the root growth of the plants under adequate nutritional and water conditions. The authors attribute these results to Ca, which is a nutrient that constitutes the cell wall that alters its resistance to extension, so the elevation of Ca content observed

in the roots of plants treated with calcium silicate would induce greater resistance to cell wall deformation, which would explain the restriction on growth.

Although the amount of calcium silicate used in this study is much less than that used by [18], calcium silicate was applied directly to the seed where there is direct contact with the newly formed root and not to the soil where its leaching can occur and direct contact with the roots is less. Furthermore, when there is an excess of calcium in a substrate deficient in magnesium, as is the case of this work, it can cause nutritional imbalance and reduced growth of the culture mainly due to variations in the efficiency of the use of calcium in plant tissues and the mechanisms developed in plants for their absorption that differ between species [19]. In this way, the amount of silicate applied directly to the sorghum seed may have affected the root emission of the seedlings and subsequent development, resulting in decreased germination in addition to contributing to the formation of abnormal seedlings.

The coating with dolomitic limestone was beneficial for the germination of seeds, because although it also provides calcium to the plants, this material presents a lower solubility, in relation to the silicate, so this nutrient was made available little by little, helping in the good development of the seedlings. In addition, limestone also provides magnesium (Mg) which is related to many metabolic processes and is part of essential molecules such as chlorophyll, in addition to acting on enzymatic activation and participating in a series of vital plant processes that require and provide energy as photosynthesis, respiration, macromolecule synthesis and ionic absorption [20].

These results differ from [8] who observed a reduction in the germination of limestone-coated styling seeds compared to control (uncoated) seeds. [21] found no negative effect of limestone on the germination percentage of two rice cultivars. This difference observed between the coating studies occurs depending on the filling material and the type of cementing material used during the coating process, in addition to the thickness of the layer deposited on the seeds, the absorption of nutrients and the accumulated content that varies according to species.

2) Greenhouse analysis:

A significant effect of the filling material ($P \leq 0.05$) was observed only in the dry root mass variable (DRMV). There was a significant interaction effect between the filling material and glue proportion ($p \leq 0.05$) factors for the variables: emergency speed index (ESI) and emergency test (E).

When analyzing the emergence speed index (ESI), it was observed that only the treatments: limestone in the proportion of glue 2: 1 and silicate in the proportion of glue 1: 1 differed significantly from the control, obtaining lower averages (Table 4). These results indicate that these treatments formed more resistant pellets that hindered gas exchange and water absorption, in addition to providing greater resistance to the root emission of these seeds, reflecting the lower emergence speed of the plants.

Table 4. Index of emergence speed of coated seeds, according to the filling material and the proportion of glue used in the cementing material. S: Sand, CS: Calcium silicate, CS + S: Calcium silicate + sand, DL: Dolomitic limestone, DL + S: Dolomitic limestone + Sand

Filling material	Proportion of glue			Control
	1:1	2:1	3:1	
S	9.31 Aa	9.23 Aa	8.29 Aa	
CS	6.27 Ac*	6.81 Ab	7.24 Aa	
CS + S	8.72 Aab	6.88 Bb	8.41 ABa	9.35
DL	7.47 Aabc	6.35 Ab*	7.86 Aa	
DL + S	7.15 Bbc	6.80 Bb	9.36 Aa	

Means followed by the same uppercase letters in the row and lowercase letters in the column, do not differ by Tukey's test at 5% probability. * Significantly different from the control, by Dunnett's test, at 5% probability.

Among the filling materials, it was observed that only silicate + sand and limestone + sand showed a significant difference between the means in relation to the proportions of glue (Table 4). This fact may be related to the mixture of materials combined with the different proportions of glue in the composition of the pellets, since the affinity between the cement and the other filling materials is

important for the structure and porosity of the pellets formed, directly influencing the relationships exchange between the seed and the external environment, mainly in a greenhouse where water availability is not as efficient as in the laboratory due to the greater evapotranspiration and leaching of water.

Regarding the proportions of glue, it was observed in the proportion 1: 1 that the seeds coated with sand reached the highest values among the coated seeds, however they did not differ statistically from the seeds coated with silicate + sand and limestone. In the 2:1 ratio, the seeds coated with sand presented the highest ESI, being statistically different from the others, and it can be said that due to the greater granulometry of the sand, the arrangement formed by its particles provided greater porous spaces allowing easier exchanges between the seeds and the medium. However for the materials of smaller particle size (silicate and limestone) there was greater adhesion of the coating to the seeds forming more compact pellets with smaller porous spaces that delayed the initial seedling development. In the proportion of glue 3:1, there was no significant difference between the coated seeds, indicating that the lower concentration of glue provided a cementing solution with low viscosity in all coatings, this facilitated the passage of water through the pores and the gas exchange with the external environment facilitating the emergence of plants (Table 4).

In the emergency test, it was observed that the analysis of variance showed no difference ($p > 0.05$) between the means of the factorial and the control, inferring that the coated seeds had similar results to the control seeds (Table 5). These results are beneficial to the crop, as they state that despite the coating giving external layers to the seed coat this does not affect the emergence of sorghum plants in uncontrolled greenhouse conditions.

Among the filling materials, it can be observed that only the treatments in which there was a mixture of materials (silicate + sand and limestone + sand) showed a significant difference between their averages in relation to the proportions of glue, with the lowest averages in the proportion of glue. 2: 1, as observed in the ESI (Table 4), reaffirming that the mixture of materials combined with the different proportions of glue influences the structure of the pellets and later on the development of the plants. Regarding the proportion of glue, it was observed in the proportion 1:1 that the seeds coated with sand showed the

greatest emergence, differing significantly only from the seeds coated with calcium silicate.

Table 5. Percentage of emergence in the coated seeds, according to the filling material and the proportion of glue used in the cementing material. S: Sand, CS: Calcium silicate, CS + S: Calcium silicate + sand, DL: Dolomitic limestone, DL + S: Dolomitic limestone + Sand

Filling material	Proportion of glue			Control
	1:1	2:1	3:1	
S	89.00 Aa	87.50 Aa	78.50 Aa	
CS	71.50 Ab	71.00 Ab	74.50 Aa	
CS + S	84.00 Aab	68.50 Bb	78.00 ABa	82.50
DL	79.00 Aab	68.50 Ab	79.00 Aa	
DL + S	75.50 ABab	70.00 Bb	84.00 Aa	

Means followed by the same uppercase letters in the row and lowercase letters in the column, do not differ by Tukey's test at 5% probability. * Significantly different from the control, by Dunnett's test, at 5% probability.

In the proportion 2:1 it was observed that the seeds coated with sand differed statistically from the other materials presenting the greatest emergence, these results corroborate with [15] who found the highest averages in the emergence of styling seeds coated only with sand compared to the other treatments, which are even higher than uncoated seeds. In the 3:1 ratio, there was no significant difference between the materials used in the coating, as well as in the ESI (Table 4) reaffirming that the lower concentration of glue was beneficial to the emergence of plants, these results corroborate with [8] who stated that styling seeds coated with different materials (sand and / or silicate, limestone) did not differ statistically from each other in the greenhouse emergency.

These results demonstrate that the seed response is affected by the species, the way the coating was made or the type and amount of filler and cement. In addition to the risk of the time when the study was carried out, as in a greenhouse there is no temperature and water control as efficient as in the germinator.

In the variable dry mass of the aerial part (DMAP), it was observed that the control plants reached an average value 20% higher than the average of

plants originating from coated seeds, however the silicate and sand treatments differed significantly from the control by the Dunnett test obtaining averages This indicates that these treatments significantly impaired the dry matter production of the aerial part of the plants in relation to the control. Among the coated seeds, there was no significant difference ($p > 0.05$) between treatments for the DMAP variable (Figure 4).

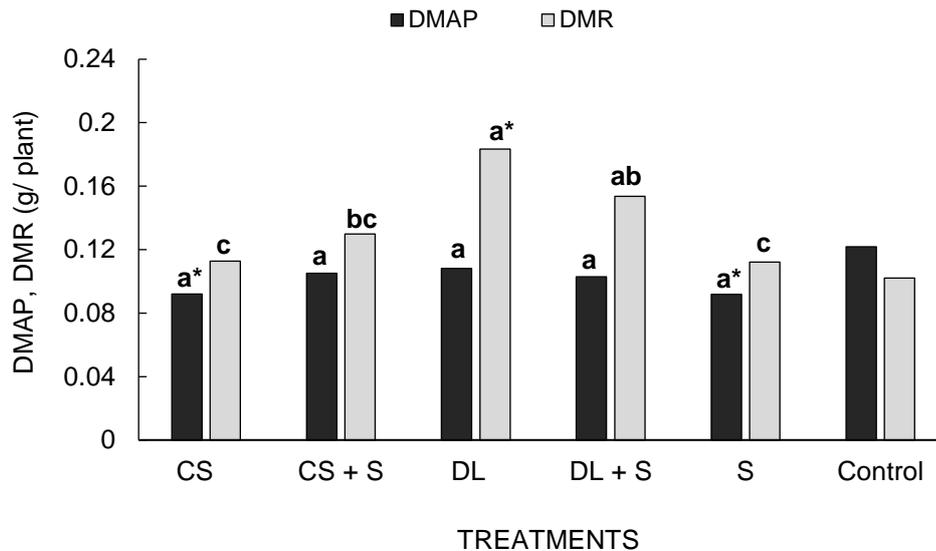


Figure 4. Effect of treatment on grainiferus sorghum seeds: DMAP: Aerial Dry Mass; DMR: Dry Root Mass. Treatments: S: Sand, CS: Calcium Silicate, CS + S: Calcium Silicate + Sand, DL: Dolomitic limestone, DL + S: Dolomitic limestone + Sand. Equal bars and markers followed by the same lowercase letter, do not differ by Tukey's test at 5% probability. * Significantly different from the control, by Dunnett's test, at 5% probability.

For the dry root mass variable (DRM) it was observed that only the limestone treatment differed significantly from the control, obtaining a higher average. Among the treatments used in the coating, it was observed that the seeds coated with limestone reached the highest average of DRM not differing statistically only from the treatment of limestone + sand (Figure 4).

The higher averages of DRM obtained by the plants covered with limestone indicates that these plants had a higher volume of roots and, consequently, a greater capacity for exploring the substrate, this is especially beneficial in field conditions as it increases the water and nutrient extraction capacity of the plant soil by these plants [22]. The increase in the root surface acts

directly in the proximity between the absorptive surface of the root and the source of resource in a more economical and optimized way, thus these plants can be more efficient in the acquisition of water and nutrients per unit of carbon consumed [23].

These results demonstrate that the limestone used in the coating acted positively in the development of plant roots, this may be due to the joint action of dolomitic limestone which besides providing a neutralizing effect to the medium, provides two important nutrients, calcium and magnesium, directly to the radicles emitted by seeds. Calcium is very important in the development of roots, being a necessary nutrient in the translocation and storage of carbohydrates and proteins in addition to acting in the formation and integrity of cell wall membranes, since magnesium makes up the chlorophyll molecule in addition to participating in a series of vital processes, both nutrients act in a beneficial way in the development of seedlings [20].

CONCLUSIONS

- 1) The combination of different filling materials with different proportions of glue in the cementing material significantly interferes with the physical and physiological quality of the coated seeds.
- 2) The seeds coated with calcium silicate showed the best results in physical characteristics, however this material negatively affected the germination rate of the plants. The physiological characteristics of sorghum seedlings, on the other hand, benefited from the coating with limestone and limestone + sand, presenting the highest germination rates and root dry matter.
- 3) In the proportion of glue 3: 1, the seeds showed good results forming firm, consistent, good quality pellets that did not hinder the development of the plants, and the use of the lowest proportion of glue in the cementing material is more economically advantageous.
- 4) Seed coating makes it possible to add value to seeds and contributes to an increasingly demanding and competitive market.

REFERENCES

1. CONAB: National Supply Company. Monthly Analysis: Sorghum- Period: August 2018, 2018. Available at: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/SorgoZ-ZAnaliseZMensalZ-ZAgostoZ-Z2018.pdf>
2. Reddy PS. *Sorghum bicolor* (L.) Moench. In: Patil, JV editor. Millets and sorghum: biology and genetic improvement. West Sussex: Wiley Blackwell. 2017; 1-48.
3. Ribas PM. Origin and economic importance. In: Borém, A, Pimentel LD, Parrella R, editors. Sorgho: from planting to harvest. Publisher UFV. 2014; 9-36.
4. Alcarde JA, Rodella AA. Quality and legislation of fertilizers and correctives. In: Curi N, Marques JJ, Guilherme LRG, Lima JM, Lopes AS, Alvares V, VH, editors. Topics in soil science. Viçosa, Brazilian Society of Soil Science. 2003; 291-334.
5. Parrella RAC, Menezes CB, Rodrigues JAS, Tardin FD, Parrella NNLD, Schaffert RE. Cultivars. In: Borém A, Pimentel LD, Parrella R, editors. Sorgho: from planting to harvest. Publisher UFV. 2014; 169-187.
6. De Barros AF, Pimentel LD, Araújo EF, De Macedo LR, Martinez HEP, Batista VAP, Da Paixão MQ. Super absorbent polymer application in seeds and planting furrow: it will be a new opportunity for rainfed agriculture. *Semina: Agricultural Sciences*. 2017; 38 (4): 1703-1714.
7. Baudet L, Peres W. Seed coating. *Seed News*. 2004; 8: p.20-23.
8. Xavier PB, Vieira HD, Guimarães CP. Physiological potential of stylosanthes cv. Campo Grande seeds coated with different materials. *Journal of Seed Science*. 2015;37(2):117-124.
9. Brazil. Ministry of Agriculture, Livestock and Supply. Rules for seed analysis. Brasília: Map; ACS. 2009; 395p.
10. Maguire JD. Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*. 1962; 2: 176-177.

11. Nascimento WM, Silva JBC, Santos PEC, Carmona, R. Germination of carrot seeds osmotically conditioned and pelleted with different ingredients. *Brazilian Horticulture*. 2009; 27(1):12-16
12. Acha AJ, Vieira HD, Freitas MSM. Perennial soybean seeds coated with high doses of boron and zinc. *African Journal of Biotechnology*. 2016;15(37):1998-2005.
13. Silva JBC, Nakagawa J. Methodology for evaluating cementitious materials for pelletizing seeds. *Brazilian Horticulture*. 1998b; 16(1):31-37.
14. Silva JBC, Nakagawa J. Methods for evaluating filling materials used in pelletizing seeds. *Horticultura Brasileira*, 1998a; 16(1):44-49.
15. Silva FWA, Vieira HD, Baroni DF, Maitan MQ, Find AJ. Germination Performance of Campo Grande (*Stylosanthes capitata* / *macrocephala*) Stylers Seeds Coated with Different Layers of Inert Material. *Journal of Experimental Agriculture International*. 2017;18(4):1-8.
16. Carvalho NM, Nakagawa J, editors. *Seeds: science, technology and production*. 5th ed. Jaboticabal: FUNEP. 2012; 590p.
17. Conceição PM, Vieira HD. Physiological quality and resistance of corn seed cover. *Revista Brasileira de Sementes*, 2008; 30 (3): 48-53.
18. Ribeiro RV, Da Silva L, Ramos RA, Andrade CA, Zambrosi FCB, Pereira SR. The high silicon content in the soil inhibits the root growth of coffee plants without affecting leaf gas exchange. *Brazilian Journal of Soil Science*. 2011;35(3):939-948.
19. Tomaz MA, Silva SR, Sakiyama NS, Martinez HEP. Efficiency of absorption, translocation and use of calcium, magnesium and sulfur by grafted seedlings of *Coffea arabica*. *Brazilian Journal of Soil Science*. 2003; 27(5):885-892.
20. Marschner, P. *Mineral nutrition of higher plants*. 3 rd ed. Oxford: Elsevier. 2012; 643p.
21. Tavares LC, Rufino CA, Dörr CS, Barros ACSA, Peske ST. Performance of lowland rice seeds coated with dolomitic limestone and aluminum silicate. *Revista Brasileira de Sementes*. 2012; 34(2):202-211.

22. Magalhães PC, Souza TC, May A, Lima Filho OF, Dos Santos FC, Moreira JAA, Leite EP, Albuquerque CJB, Freitas RS. Edaphoclimatic requirements and production physiology. In: Borém A, Pimentel LD, Parrela R, editors. *Sorgo: from planting to harvest*. Publisher UFV. 2014; 58 - 88.

23. Fitter AH. Characteristics and functions of root systems. *Plant roots: the hidden half*. 1991;2: 1-29.

3.2. REVESTIMENTO DE SEMENTES DE SORGO COM ZINCO: QUALIDADE FISIOLÓGICA E DESEMPENHO INICIAL DE PLANTAS²

RESUMO

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é altamente sensível à deficiência de zinco nos solos, o que resulta em diminuição da produtividade e produtos agrícolas de baixa qualidade. Nosso objetivo foi avaliar os efeitos de diferentes doses de zinco, aplicadas em sementes, sobre a qualidade fisiológica e o desempenho inicial de plantas de sorgo. Foram utilizadas seis doses (0, 3,5, 7,0, 14,0, 21,0 e 28,0 g kg⁻¹ de sementes) e um controle não revestido. O processo de revestimento Zn usou calcário dolomítico como enchimento e cola. Os testes de laboratório foram conduzidos em um delineamento inteiramente casualizado e os experimentos em casa de vegetação foram conduzidos em um delineamento de blocos casualizados. As médias de controle foram 8, 9 e 14% inferiores às áreas máxima, mínima e total de sementes dos tratamentos, respectivamente, em relação aos tratamentos. O controle diferiu dos demais tratamentos em 10,47 no índice de velocidade de emergência. O zinco na dose de sementes de 28 g kg⁻¹ proporcionou maior produção de matéria seca da parte aérea, com teor de nutrientes de 75,85 mg kg⁻¹. O zinco nas sementes de sorgo afetou o comprimento e a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes, mas não afetou as características físicas, germinação ou tempo de emergência. O zinco

² Artigo aceito para publicação no periódico "Acta Scientiarum. Agronomy" em Novembro de 2020.

aplicado acumula-se principalmente nas raízes e promove alterações de Ca e Mg nas sementes e outras partes da planta.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, micronutrientes, massa seca, ICPE-9000, Groundeyes®.

3.2. SORGHUM SEED COATING WITH ZINC: PHYSIOLOGICAL QUALITY AND INITIAL PERFORMANCE OF PLANTS

ABSTRACT

Sorghum (Sorghum bicolor) is highly sensitive to zinc deficiency in soils, which results in decreased productivity and low-quality agricultural products. Our objective was to evaluate the effects of different zinc doses, applied to seeds, on the physiological quality and initial performance of sorghum plants. Six doses (0, 3.5, 7.0, 14.0, 21.0 and 28.0 g kg⁻¹ seeds) were used and an uncoated control. The Zn coating process used dolomitic limestone as the filler and glue. Laboratory tests were conducted in a completely randomized design and greenhouse experiments were conducted in a randomized block design. The control means were 8, 9, and 14% lower than the maximum, minimum, and total seed area of treatments, respectively, relative to that of treatments. The control differed from other treatments by 10.47 in the speed index of emergence. Zinc at a dose of 28 g kg⁻¹ seeds provided greater production of aerial dry matter, with nutrient content of 75.85 mg kg⁻¹. Zinc on sorghum seeds affected length and dry matter production of aerial parts and roots but did not affect physical characteristics, germination, or emergence time. Applied zinc accumulated mainly in the roots and promotes changes in Ca and Mg in seeds and other plant parts.

Keywords: *Sorghum bicolor*, micronutrientes, dry matter, ICPE-9000, Groundeye®.

INTRODUCTION

Sorghum (*Sorghum bicolor*) is a crop of great importance in the national agricultural sector because of its agronomic characteristics, which allow its cultivation in succession during the off-season (Diniz et al., 2016). As a cereal, sorghum grain has essentially the same nutritional properties as corn and is used for the same purposes. However, under favorable water conditions, corn has a greater productive potential than does sorghum. Nonetheless, regarding a second crop with greater climatic risk, the potential of both crops is equal, especially during late sowing, making sorghum cultivation more attractive because of greater tolerance to water deficits, good performance in marginal areas, and lower production cost (Ribas et al., 2014).

However, similar to other annual crops, sorghum is responsive to good agricultural and management practices, such as liming and fertilization, especially when seeking high levels of productivity (Borges et al., 2016). Regarding micronutrients, sorghum plants are highly sensitive to zinc deficiencies, which is the micronutrient most limiting to crop production. Despite being required in small quantities, zinc is essential for the growth and reproduction of plants and has important roles in metabolism, being necessary as a structural component of a large number of proteins, in addition to participating in the biosynthesis of indole acetic acid (AIA) (Marschner, 2012).

Zinc deficiency is very common in many types of soil, especially in tropical regions with highly weathered soils. This deficiency impairs the physiological functions of plants leading to a severe reduction in growth, in addition to compromising productivity and resulting in low-quality agricultural products (Sadeghzadeh, 2013).

In areas with low zinc content in the soil, fertilization with this micronutrient is an important agricultural practice to guarantee maximum production in sorghum crops; however, the quantities required by this cereal are low and this makes a uniform application in the field difficult. An efficient application of zinc could be conducted via a seed coating technique, which could guarantee better uniformity, lower application costs, and place the nutrient close to the seedling root system, ensuring nutrition during the initial stage of growth when the root system is poorly developed. In addition to the initial advantages of the coating, which increases

seed size, altering the shape and texture of the seeds in such a way that reduces the loss of time in manual and mechanized planting (Prado et al, 2008; Acha et al., 2018).

Therefore, it is important to evaluate the effects of the application of zinc via seeds, to avoid the use of inappropriate doses that could be toxic and adversely affect the physiological potential of the seeds, as well as the development of plants in the field (Prado et al., 2007). Thus, the objective of this work was to evaluate the effects of the application of different doses of zinc on the physiological quality and initial performance of grain sorghum plants.

MATERIAL AND METHODS

The experiment was conducted from January to March 2019, under laboratory and greenhouse conditions, adopting a completely randomized design and randomized blocks, respectively. Commercial grain sorghum seeds (hybrid PR40G34) were used and were coated with six doses of zinc sulfate (ZnSO_4) (0, 3.5, 7.0, 14.0, 21.0, and 28.0 g kg^{-1} seeds). Uncoated seeds served as the control treatment.

The seed coating process was conducted using an adaptation of the methodology of Xavier et al. (2015), using an N10 Newpack coater equipped with a stainless steel bowl with speed regulation, spray pressure control, which sprayed the cement material, and a drying system. The coater was adjusted such that the steel vat rotated at a speed of 86 rpm with a pressure of 4 bar compressed air, which activated the cement solution for 3 s. Then, a hot air fan was turned on and the temperature reached 50 °C for 90 s. For coating, dolomitic limestone was used as a filling material and glue based on polyvinyl acetate (PVA) diluted in water that was previously heated to 70 °C. The cement material had a proportion of 3:1 (water to glue, respectively).

Four repetitions of the coating process were conducted per treatment of 100 g of seeds each. A 100 g portion of seeds was placed in the coater vat, the spray of the adhesive solution was applied for 3 s, and then a portion of filling material (initially 10 g of material) was added to the vat. Next, another spray of adhesive solution (3 s) was applied followed by another portion of the filling

material (10 g of material) was added to the seeds with another application of adhesive solution (3 s). Next, the air blower (50 °C) was activated for 90 s. This procedure resulted in the first coating layer. For the next layer, a jet of the adhesive solution was applied followed by a portion of filler material, and then another jet of the adhesive solution was accompanied by a second portion of filler material. Finally, another jet of the adhesive solution was applied, before triggering the final hot air, which again lasted 90 s. This procedure was repeated until 200 g of filling material was used, totaling 10 layers of the coating by the end of this process. The doses of zinc sulfate ($ZnSO_4$) were added in one application during the fifth coating layer, between the portions of dolomitic limestone and glue.

After the coatings, seeds were evaluated for physical and physiological characteristics and nutritional content. The physical evaluations were performed in the laboratory and consisted of the seed biometrics determined by the Seed Analysis System (Groundeye®) using four replications of 50 seeds for each treatment. The extracted variables included the maximum diameter (MAD), minimum diameter (MID), and total seed area (TA), with all results expressed in cm.

The physiological evaluations performed in the laboratory included the: 1) germination test (G), which was conducted with four repetitions of 50 seeds, using a germ-coated paper roll moistened with a volume of water equivalent to 2.5 times the weight of the dry substrate as the test substrate. After sowing, the rolls were kept in a germinator at 20–30 °C under a photoperiod of 16 h darkness and 8 h light. The evaluations were conducted on the 10th day after sowing, and the percentage of normal seedlings was recorded (Brasil, 2009); 2) germination speed index (GSI), which was conducted with the G test, with daily counts performed after the start of the test. The seedlings that showed normal characteristics according to Brasil (2009) were considered germinated for the calculation of the GSI and the formula proposed by Maguire (1962) was used; and 3) accelerated aging (AA) test, in which a gearbox was used with a metallic mesh fixed in the middle position, with 40 mL of distilled water in the bottom of each gerbox, and a uniform layer of seeds from each treatment distributed over the mesh and covering the surface of the canvas, constituting a single layer. Then, the boxes containing the seeds were covered and placed in a BOD type incubator, at 41 °C, where they remained for 72 h (Marcos Filho, 2016). After this period, the seeds were

submitted to the germination test, as previously described. The evaluation was conducted 7 d after sowing, and the results were expressed as a percentage.

The characteristics evaluated in the greenhouse included: 1) emergence (E), which was conducted in 8 L pots containing previously washed sand. Four replications of 50 seeds were used, distributed in furrows 3 cm deep and 2 cm apart. The substrate was moistened whenever necessary until it reached field capacity and at 15, 30, and 45 d after sowing, 500 mL of complete 25% nutrient solution, without Zn, was applied to each pot. The final evaluation of the seedlings was conducted at 60 d after sowing; 2) emergence speed index (ESI), which was conducted with the E test. The ESI was determined by the daily recording of the number of seedlings that emerged with the coleoptiles above the substrate, from the beginning until the 30^o day after sowing. To calculate the ESI, the formula proposed by Maguire (1962) was used.

At the end of the E test, 10 plants from each experimental unit were selected, separating the aerial part from the root, where the length of both parts was measured with the aid of a millimeter ruler. Subsequently, they were stored in paper bags and placed in an air circulation oven at 65 °C for 72 h to determine the dry mass of both parts.

The nutrient content present in the seeds and other plant parts of each treatment was determined after a drying period of 72 h (at a temperature of 65 °C). After drying, the seeds were macerated, and the aerial part and root were ground and placed in hermetically sealed tubes. To determine the levels of calcium, magnesium, and zinc, the material underwent digestion with nitrates and the extract was analyzed using the ICPE-9000 (Acha et al., 2018).

The data obtained were subjected to analysis of variance and Dunnett's test at a 5 % probability to compare the treatment means (combinations of the coating with Zn doses) with that of the control. Regression analysis was used to access the doses.

RESULTS AND DISCUSSION

Variables evaluated in the laboratory:

There was no effect of zinc doses (Zn) for the variables MAD, MID, TA, GSI, and G; thus, the regression was not significant (Table 1).

Table 1. Maximum diameter (MAD), minimum diameter (MID), total area (TA), germination speed index (GSI), and germination (G) of graniferous sorghum seeds, depending on zinc doses (g kg^{-1})

Treatment	Variables Evaluated				
	MAD	MID	TA	GSI	G
 (cm) (cm ²) (%) ..
Control	0.475	0.425	0.162	24.12	80.0
0.0	0.520*	0.465	0.193*	19.37*	82.7
3.50	0.515	0.450	0.182	19.05*	83.0
7.0	0.522*	0.467	0.190	21.15*	84.5
14.0	0.523*	0.483*	0.195*	20.68*	84.0
21.0	0.515	0.472*	0.190	20.29*	85.5
28.0	0.505	0.457	0.183	20.22*	80.5
Test F	0.891 ^{ns}	0.391 ^{ns}	0.809 ^{ns}	0.164 ^{ns}	0.670 ^{ns}
Linear regression	ns	ns	ns	ns	ns
Quadract regression	ns	ns	ns	ns	ns

*, ns: significant result and non-significant by the test F the 5%, respectively.

*Averages with an asterisk in the column differed from that of the control at 5% probability according to the Dunnett's test.

When analyzing the physical variables, it was observed that the control treatment presented means 8%, 9% and 14% lower for MAD, MID, and TA, respectively, in relation to that of the treatments (Table 1). These results were caused by the coating process that adhered to the filling material (dolomitic limestone) and Zn to the surface of the seeds, thereby resulting in a change in the shape of the seeds and explaining the higher values for the physical variables. Thus, the first objective of the coating process was achieved because the shape

and size of the seed were improved and modified, which should provide greater precision in sowing and the application of chemicals (Mendonça et al., 2007).

Table 1 shows that the coating on the seeds increased the physical variables analyzed (MAD, MID, and TA); however, for some treatments, there was no statistical difference in the parameters in relation to the values for the control. Similar results were found by Acha et al. (2016), who observed that the use of doses of zinc and boron in the coating of perennial soybean seeds impaired the physical quality of the coating because as the doses increased, the adhesiveness of the coating decreased.

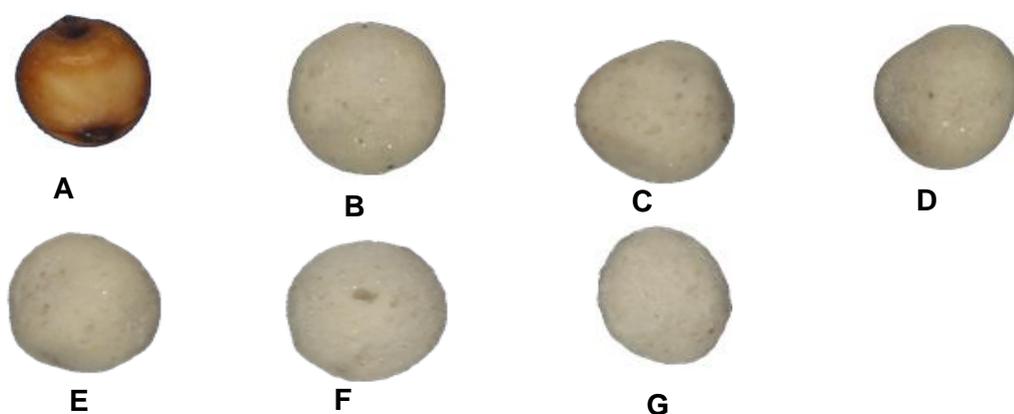


Figure 1. Sorghum seeds: A) Intact seed; B) Dolomitic limestone coating; C) Dolomitic limestone + 3.5 g kg⁻¹ Zn; D) Dolomitic limestone + 7.0 g kg⁻¹ Zn; E) Dolomitic limestone + 14.0 g kg⁻¹ Zn; F) Dolomitic limestone + 21.0 g kg⁻¹ Zn; G) Dolomitic limestone + 28.0 g kg⁻¹ Zn.

Regarding the physiological variables, Table 1 shows that the GSI for control was significantly greater than that of all treatments. This result was mainly caused by the additional physical barrier formed around the seeds by the coating, which hindered the exchange process between the seeds and the external environment, consequently, delaying the germination process and initial seedling development. These results are in agreement with those of several authors (Xavier et al., 2015; Acha et al., 2016), who reported that coated seeds take longer to germinate than uncoated seeds because of the coating.

In the G test, the coated seeds did not differ from that of the control and these results corroborated those of Funguetto et al. (2010), who worked with rice seeds treated with Zn sources, and found no significant difference in the germination of treated seeds with those of the control. On the other hand, Yagi et

al. (2006) working with zinc-treated sorghum seeds observed a reduction in the percentage of germination with increasing Zn doses. Although there was no significant difference with that of the control, the coated seeds showed numerically higher germination percentages, with averages ranging from 80.5% to 85.5% (Table 1), being above the minimum recommended germination standard for the commercialization of hybrid sorghum seeds, which is 80%. These results corroborated those of Slaton et al. (2001), who observed that the application of Zn doses on rice seeds increased the germination percentage.

The germination of the coated seeds (Table 1) indicated that although the coating constitutes an additional barrier, which directly affected initial seedling development, the application of zinc acted beneficially in germination. This may have been caused by the action of zinc as an activator of a series of enzymes, such as dehydrogenases, aldolases, and isomerases, which intensify respiration, and consequently, the production of ATP for processes that require energy, such as germination (Marschner, 2012). Zinc is considered an element that accelerates the growth of the radicle and plays an important role in the initial growth of seedlings (Cakmak, 2005).

Figure 2 shows that Zn doses significantly influenced AA, with increasing linear behavior with an increase of 0.28 %. This beneficial effect may be associated with the fact that a large amount of Zn present in the seeds could have protective effects on the radicle and contribute to tolerance to abiotic stresses, in addition to activating important enzymes for plant metabolism (Cakmak, 2005). These results corroborate those of Lemes et al. (2017) who treated soybean seeds with different doses of zinc, which caused an increase in the percentage of normal seedlings in the AA test up to the dose of 3.1 mL kg⁻¹ of seeds for lot A and 1.8 mL kg⁻¹ of seeds for lot B.

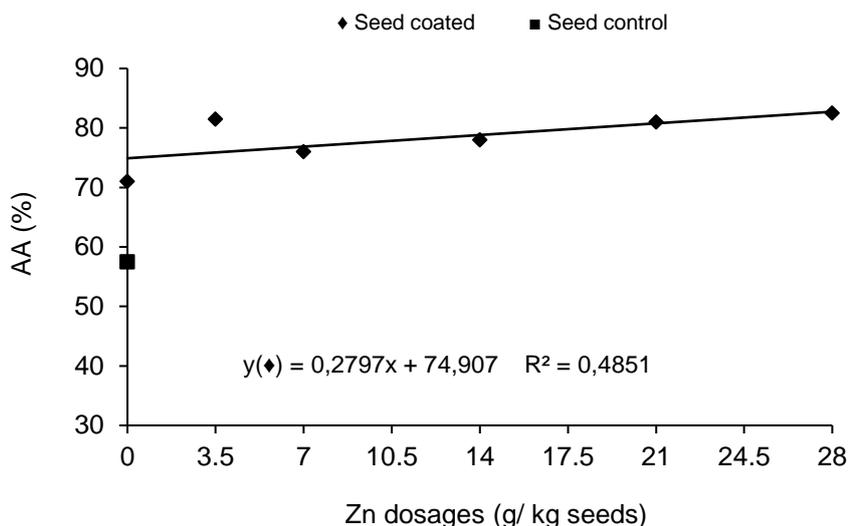


Figure 2. Effects of the application of zinc doses on grain sorghum seeds submitted to accelerated aging (AA) test.

Additionally, coating with dolomitic limestone also had a positive effect on the vigor of the sorghum seeds, because regardless of the applied Zn dose, all coated seeds obtained normal seedling averages with numerical values above that observed for the control seeds, which was 57.50 % (Figure 2).

Variables evaluated in the greenhouse:

For the ESI and E tests, there was no effect of zinc doses (Table 2). In the ESI test, it was observed that all treatments differed significantly from the control according to the Dunnett's test. This result reaffirmed that observed for the GSI test (Table 1) where the coating formed seeds with an additional barrier, delaying seedling emergence. Similar results were observed by Acha et al. (2018) and Silva et al. (2017), who observed a delay in the emergence of perennial soybeans and coated styling seeds, respectively.

Table 2. Emergence speed index (ESI) and emergence (E) of graniferous sorghum seeds, as a function of zinc doses (g kg⁻¹)

Treatment	Variables Evaluated	
	ESI	E
 (%)
Control	10.47	89.00
0.0	5.91*	87.00
3.5	6.26*	91.00
7.0	6.27*	89.00
14.0	6.73*	84.00
21.0	6.12*	93.00
28.0	6.58*	86.00
F test value	0.790 ^{ns}	0.168 ^{ns}
Linear regression	ns	ns
Quadratic regression	ns	ns

*, ns: significant result and non-significant by the F test at 5%, respectively. *Averages with an asterisk in the column differed from that of the control at 5% probability according to Dunnett's test.

The E variable showed that treatments did not differ from that of the control. These results were beneficial to the culture. Although the coating providing an outer layer to the integument and zinc interfered in the water potential around the seed, these factors did not affect the emergence of sorghum plants in the greenhouse. Tavares et al. (2015), evaluating the effects of different doses of zinc in the treatment of seeds of two barley cultivars, found no differences between the doses used, which were similar to that of the controls in the emergency test.

Regarding the aerial part length (APL), root length (RL), aerial part dry mass (APDM), and dry root mass (DRM), significant effects of Zn doses were observed (Figure 3).

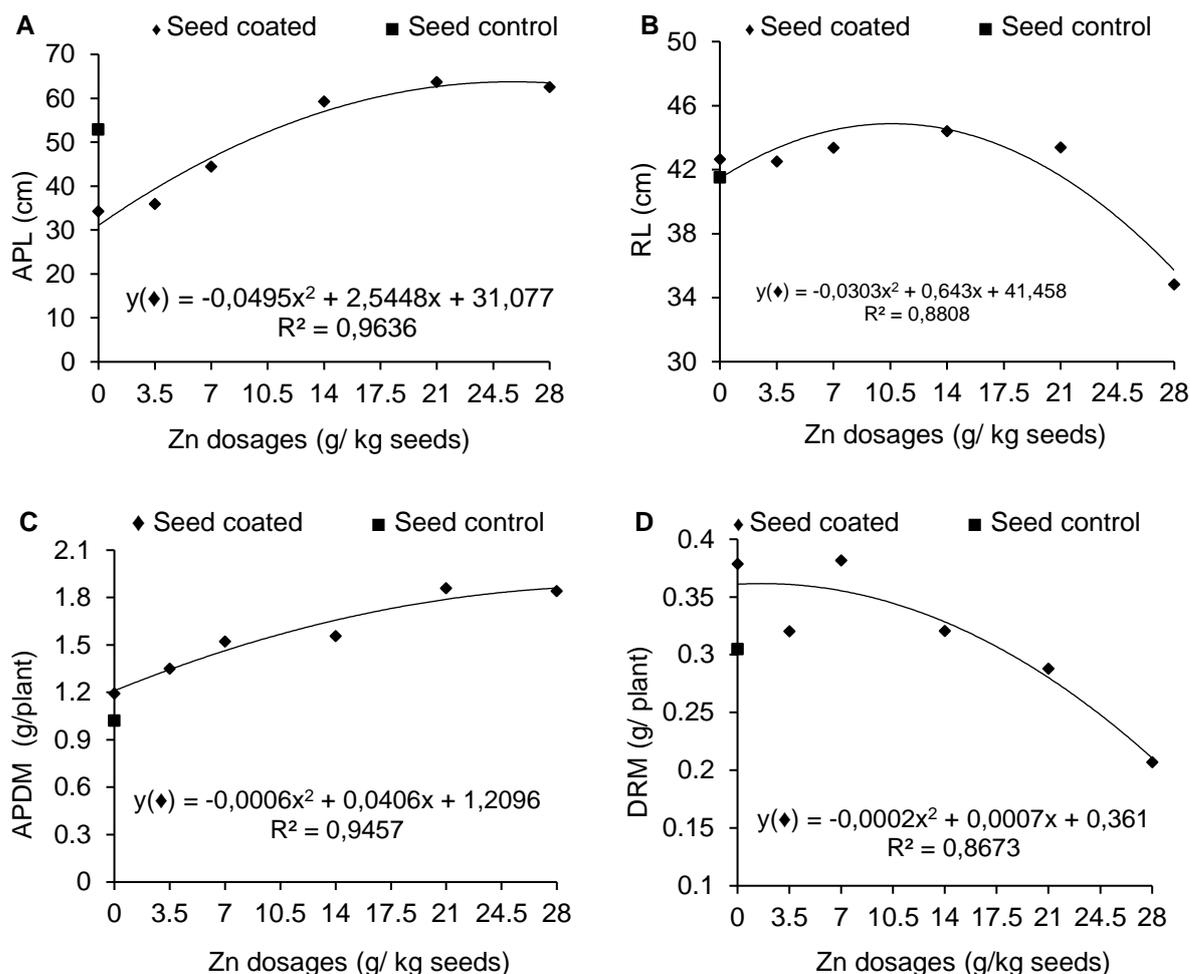


Figure 3. Effects of the application of doses of zinc on grain sorghum seeds on the length of the aerial part (A), length of the root (B), dry mass of the aerial part (C), and dry mass of the root (D).

In the length of the aerial part, quadratic behavior was observed with the point of maximum efficiency for the dose of 25.70 g kg⁻¹ of seed, reached a length of 63.80 cm, reducing this variable in higher doses (Figure 3). These results corroborated those of Lemes et al. (2017), who worked with soybean seeds treated with different doses of zinc and found that APL showed quadratic behavior with maximum efficiency for the dose of 5 mL Zn kg⁻¹ of seeds, with this variable declining with higher doses. Furlani et al. (2005) observed significant effects of Zn on the length of corn plants, with variable responses depending on the cultivar, and this effect could be positive at low concentrations and in some cases negative at high concentrations of the nutrient.

The RL also presented a quadratic behavior, with the maximum efficiency observed for the dose of 10.61 g kg⁻¹ of seed, with roots reaching a length of 44.87

cm. With increasing doses, a decrease in this effect was observed. The increase in RL was caused by the fact that zinc plays an important role in plant metabolism, participating in the synthesis of the amino acid tryptophan, a precursor of AIA, which is the main growth-promoting hormone, in addition to activating several enzymes and being a structural component of others (Sadeghzadeh, 2013). However, doses of zinc greater than 10.61 g kg^{-1} seed were toxic to the roots causing inhibition of root elongation, which is a characteristic parameter of zinc toxicity (Marschner, 2012).

In the APDM variable, it was observed that the model that best fit the data was quadratic, reaching $1.85 \text{ g plant}^{-1}$ for the highest tested dose (28 g kg^{-1} of seeds) (Figure 3). Similar results were observed by Slaton et al. (2001) and Rozane et al. (2008) who observed increases in APDM production while working with the application of Zn doses to rice seeds.

In the production of DRM, decreasing quadratic behavior was observed, with a maximum point of $0.3616 \text{ g plant}^{-1}$ observed at a dose of 1.75 g kg^{-1} of seeds. The decreasing effect observed in the DRM could be related to the decreasing effect observed in RL (Figure 3) because the length of the roots directly influenced the absorption of nutrients and contributed to a representative proportion of the total dry mass-produced. These results corroborated those of Prado et al. (2007) and Prado et al. (2008) who reported a decreasing quadratic effect in the production of DRM with the treatment of sorghum seeds with doses of Zn in the form of sulfate.

It was observed that the applied Zn doses significantly affected the Zn levels in the seeds, aerial parts, and roots of sorghum. Regarding the Zn content present in the seeds, a quadratic effect of Zn doses was observed, reaching 2120 mg kg^{-1} at the highest dose used (28 g Zn kg^{-1}). For the control seeds and seeds coated only with dolomitic limestone, Zn contents of 16 and 20 mg kg^{-1} were observed, respectively (Figure 4).

According to Rashid and Fox (1992) under conditions of the sufficiency of the other nutrients, content above 10 mg kg^{-1} of Zn in sorghum seeds was sufficient to avoid limitation in crop production. Thus, the seeds that were not treated with zinc presented the minimum levels able to promote the initial development of the sorghum seedlings, as observed in the variables G (Table 1)

and D (Table 2) where no difference occurred between seeds regardless of treatment.

For the aerial part, an increasing linear behavior was observed with an increase of 0.63 mg kg^{-1} of Zn for each unit increase in the applied zinc dose (Figure 4). It was observed that at the maximum dose used (28 g Zn kg^{-1}) the Zn content in the aerial part was 75.85 mg kg^{-1} . Although sorghum plants had increasing levels of Zn in the aerial part, the values in this study were much lower than those of Yagi et al. (2006), Prado et al. (2007), and Prado et al. (2008), who used a dose of 28 g Zn kg^{-1} and had contents of 209.32, 1331.08, and $846.98 \text{ mg kg}^{-1}$, respectively, in their studies on the application of Zn in sorghum seeds.

However, considering the values of Zn sufficiency in the aerial part of sorghum plants (23 to 39 d after sowing), suggested by Lockman (1972), < 30 , 30–60, and $> 60 \text{ mg kg}^{-1}$ for levels low, normal, and high, respectively, the levels of Zn in the aerial part of the plants in this study were, therefore, considered sufficient to supply the needs of the plants.

It is worth mentioning that in this study the micronutrient was incorporated into the seed together with the filling material (dolomitic limestone) by the coating process, which may have interfered the absorption and subsequent translocation of zinc in the plant, whereas the other studies cited dealt with seeds using the method in which moistened zinc adhered directly to the seed. Additionally, plant genotypes vary widely in terms of tolerance and Zn deficiency; both in terms of utilization and absorption, even efficient Zn genotypes with greater absorption capacity do not necessarily have a higher concentration of Zn in leaves or sprouts (Sadeghzadeh, 2013).

There was a quadratic effect for Zn doses on root contents, with a maximum content of $298.10 \text{ mg kg}^{-1}$ of Zn at a dose of $26.88 \text{ g of Zn kg}^{-1}$ of seeds (Figure 4). These results corroborate those of Yagi et al. (2006) who worked with the application of Zn doses in sorghum seeds and observed a quadratic effect with a maximum content of 315 mg kg^{-1} of Zn at a dose of $21.70 \text{ g of Zn kg}^{-1}$ of seeds.

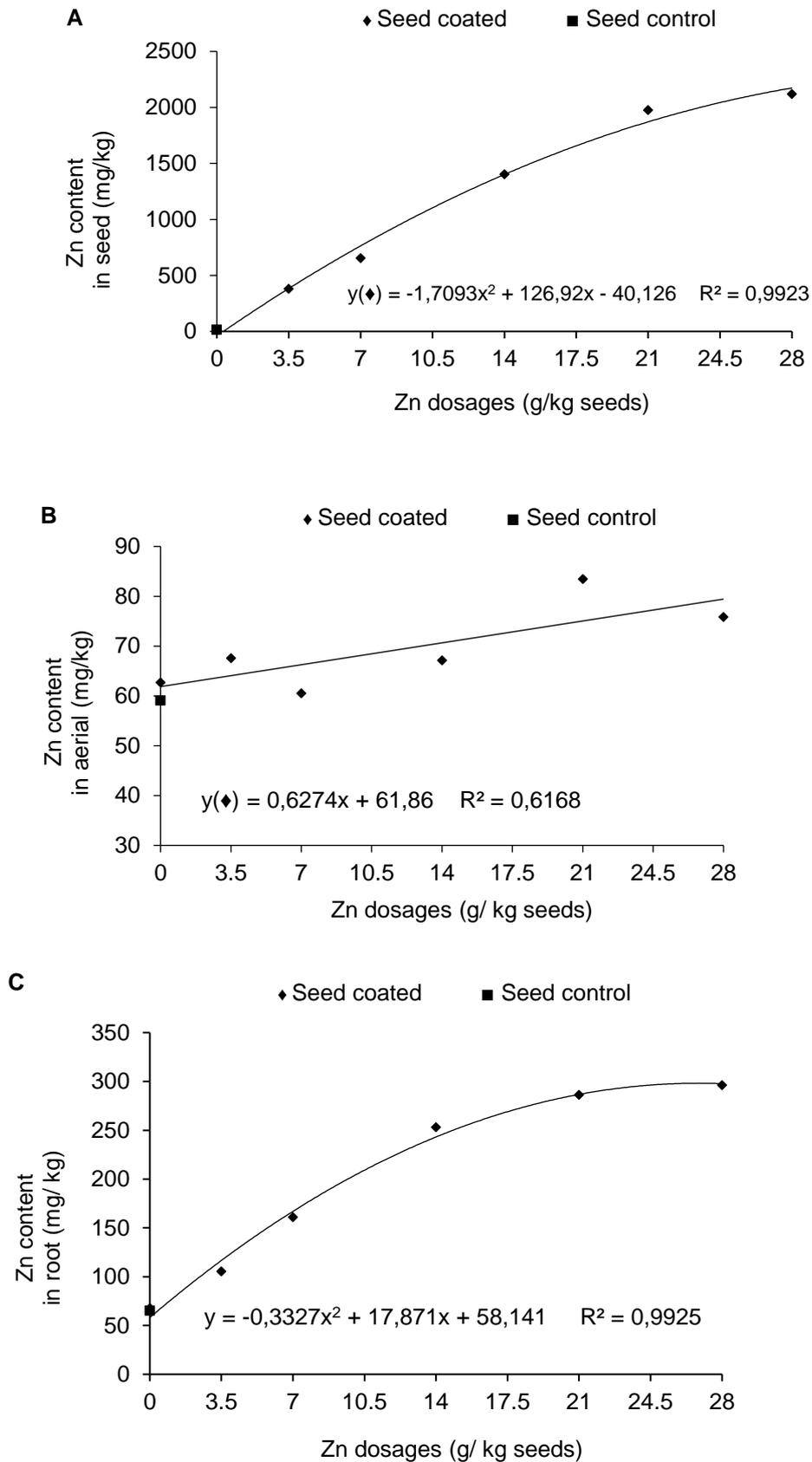


Figure 4. Effects of the application of doses of zinc on grain sorghum seeds on the zinc content in the seed (A), in the aerial part (B), and the root (C).

Similar to other studies (Yagi et al. 2006; Rozane et al., 2008), a higher proportion of Zn in the roots was observed in relation to the aerial part, which may be characterized by the effect of accumulation of the nutrient in this part of the plant. The greater accumulation of Zn in the roots compared to the aerial part occurs because the root acts as a barrier for this element and reduces the possibility of toxicity in the plant. Thus, it is a tolerance mechanism of the cultivar to high doses of the nutrient. It should be noted that the tolerance of plants to excess Zn is related to the plant exude chelating substances in the roots, which act by binding the metal to the charges on the cell wall or by the complexation of the metal (Zn) in the cytoplasm of the cells by organic and inorganic acids, phytates, and phytoquelatins (Wang & Evangelou, 1994). Thus, the formed compounds are stored in vacuoles in the least toxic form for the plant, but in the chemical analysis of plant tissue, this is quantified by inferring high nutrient content in the plant.

Given the above, the higher concentration of Zn in the roots directly inferred the decrease in the length and production of DRM (Figure 3) observed in this work because the accumulation of Zn in the roots was strictly correlated with the decrease of their length and amount of dry matter (Longnecker & Robson, 1993).

The application of Zn significantly affected the accumulation of the nutrients calcium and magnesium. There was a linear effect on the accumulation of nutrients studied in the seeds, the aerial part, and root, except for Ca in the aerial part (Figure 4). The results obtained for Mg content of the aerial part and root, despite being significant, did not fit the linear or quadratic regression models (Table 3).

In Table 3, the relationship of the nutrients accumulated in the aerial part, only at the dose of 21 g kg^{-1} of Zn, did the levels of Ca and Mg differ significantly from the levels present in the control, according to Dunnett's test. Thus, in general, sorghum plants absorbed Ca and Mg in the aerial part close to the critical content to supply the need for plant development. Thus, levels were close to those observed for plants in the control.

Table 3. Calcium and magnesium content present in the aerial part and roots of the plants, as a function of zinc doses (g kg^{-1})

Treatment	Variables Evaluated		
	Aerial part		Root
	Ca	Mg	Mg
 (g/ kg)		
Control	6.003	3.835	0.877
0.0	7.870	4.603	2.751*
3.50	7.805	3.900	4.370*
7.0	6.962	4.508	2.435*
14.0	6.752	4.200	2.333*
21.0	8.942*	6.115*	2.053
28.0	8.577	4.297	2.975*
Test F	0.269 ^{ns}	0.015*	0.008*
Linear regression	ns	0.152 ^{ns}	0.111 ^{ns}
Quadratic regression	ns	0.380 ^{ns}	0.090 ^{ns}

*, ns: significant result and non-significant by the F test at 5%, respectively. *Averages with an asterisk in the column differed from that of the control at 5% probability according to the Dunnett's test.

Regarding the content of Mg accumulated in the root, the treatment with the dose of 21 g kg^{-1} did not differ significantly from that of the control. This may have been related to the Mg content present in the aerial part, indicating there was a balance in the accumulation of nutrients in relation to plant parts (Table 3).

With increasing doses of Zn, there was a decrease in the accumulation of Ca and Mg by sorghum seeds (Figure 5). Similar results to those shown for the seeds in Figure 5, were observed by Acha et al. (2016) working with perennial soybean seeds coated with dolomitic limestone and different doses of boron and zinc. The authors attributed this result to the granulometry of the material used in the coating because zinc sulfate has larger and heavier particles, whereas dolomitic limestone is finer. In this way, limestone should be added in the layers closest to the core, such that its adhesion to the surface of the seeds is guaranteed because of its weight; however, when placing the zinc sulfate between the limestone layers it was not possible to maintain adhesiveness of the layers because of its crystallized shape, thereby, reducing the adhesion of limestone, and consequently, reducing the levels of Ca and Mg.

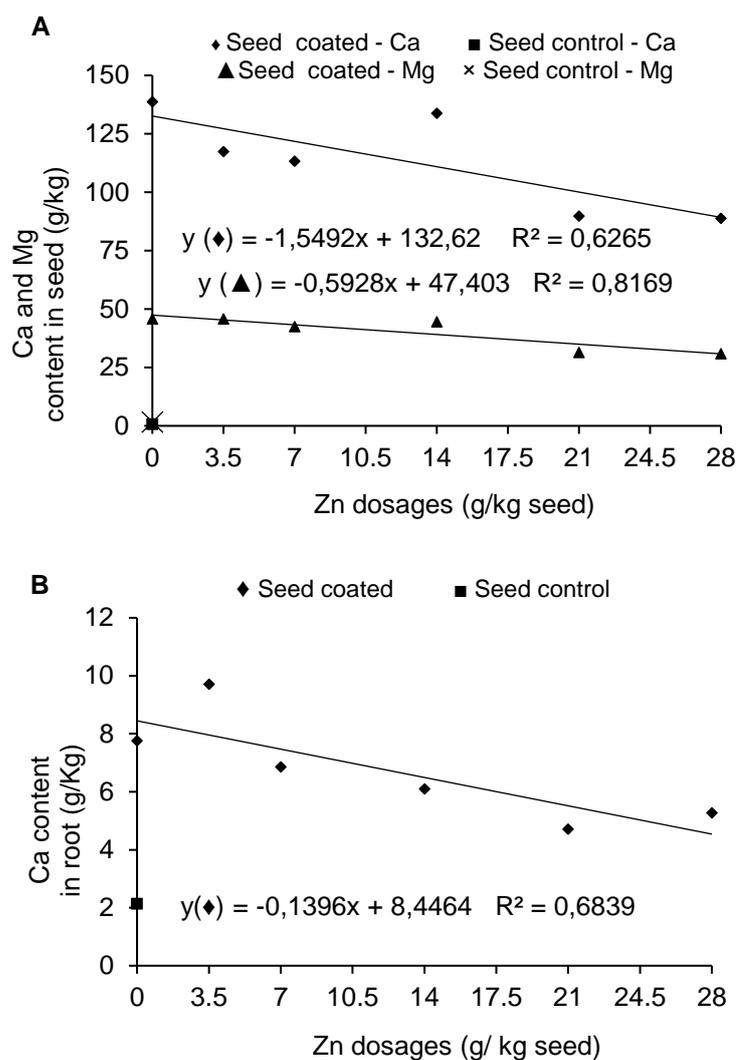


Figure 5. Effects of the application of zinc doses on the calcium and magnesium content in the seed (A) and the root (B).

In Figure 5, there was a decrease in the Ca content in the roots as the doses of Zn increased; this may have been related to the decrease in the Ca content present in the seeds. The decrease in Ca content may have contributed to the evolution of symptoms of Zn toxicity, because, in addition to being a constituent nutrient of the cell wall, Ca is also required for cell stretching and division, and this is dramatically reflected in root growth (Marschner, 2012).

CONCLUSION

The application of zinc to the sorghum seeds affected the length and dry matter production of the aerial parts and roots of the plants; however, it did not affect the physical characteristics or the germination and emergence of the coated seeds. The zinc applied to the sorghum seeds accumulated mainly in the roots. The doses of zinc applied promoted changes in the content of the nutrients Ca and Mg in seeds and other parts of plants.

REFERENCES

- Acha, A. J., Vieira, H. D., de 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 (5), 1-9. Doi: <https://doi.org/10.9734/JEAI/2018/43968>
- 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 (37), 1998-2005. Doi: <http://dx.doi.org/10.5897/AJB2016.15560>
- Borges, I. F., Franco, A. A. N., Kondo, M. K., Martins, D. C., Teixeira, E. C., Moreira, & S. G. (2016). Acúmulo de macronutrientes na cultura do sorgo granífero na safrinha. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 15 (2), 294-304. Doi: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v15n2p294-304>
- Brasil (2009). *Regras para Análise de Sementes/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de defesa agropecuária- Brasília: Mapa:ACS.*
- Cakmak, I. (2005). Effect of micronutrients on seed quality. In: C. L. LI, (Ed.). *Plant nutrition for food security, human health and environmental protection* (p. 384-385). China: Tsinghua University Press.
- Diniz, G. M. M., Batista, R. O., Borges, I. D., & Silveira, H. M. (2016). Período anterior à interferência de plantas daninhas em sorgo granífero e forrageiro.

- Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 15 (3): 470-480. Doi: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v15n3p470-480>
- Funguetto, C.I., Pinto, J.F., Baudet, L., & Peske, S.T. (2010). Desempenho de sementes de arroz irrigado recobertas com zinco. *Revista Brasileira de Sementes*, 32 (2), 117-123. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222010000200014>
- Furlani, A. M. C., Furlani, P. R., Meda, A. R., & Duarte, A. P. (2005). Eficiência de cultivares de milho na absorção e utilização de zinco. *Scientia Agricola*, 62 (3), 264-273. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000300010>
- Lemes, E., Mendonça, A., Dias, L., Brunet, A., de Oliveira, S., Fin, S., & Meneghello, G. (2017). Tratamento de sementes de soja com zinco: efeito na qualidade fisiológica e produtividade. *Colloquium Agrariae*, 13 (2), 76-86. Doi: [10.5747/ca.2017.v13.n2.a162](https://doi.org/10.5747/ca.2017.v13.n2.a162)
- Lockman, R.B. (1972). Mineral composition of grain sorghum plant samples. Part III: suggested nutrient sufficiency limits at various stages of growth. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 3, 295-303. Doi:<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103627209366379>
- Longnecker, N.E, & Robson, A. D. (1993). Distribution and transport of zinc in plants. In: *Zinc in soils and plants*. Springer, Dordrecht, 1993. p. 79-91.
- Maguire, J. D. (1962). Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2, 176-177.
- Marcos Filho, J. (2016). *Seed physiology of cultivated plant*. ABRATES.
- Marschner, P. (2012). *Mineral nutrition of higher plants*. (3rd ed.). Elsevier: Oxford.
- Mendonça, E. A. F., Carvalho N. M., Ramos N. P. (2007) Revestimento de sementes de milho superdoce (sh2). *Revista Brasileira de Sementes*, 29 (2): 68-79.
- Prado, R. M., & Mouro, M. C. (2007). Fontes de zinco aplicado em sementes de sorgo cv. BRS 310 e o crescimento inicial. *Semina: Ciências Agrárias*, 28 (3), 355-364. Doi: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2007v28n3p355>

- Prado, R. M., Romualdo, L. M., & Rozane, D. E. (2008). Aplicação de zinco em sementes de sorgo cv. BRS 304: efeitos na nutrição e no crescimento inicial. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 30(4), 471-478. Doi: 10.4025/actasciagron.v30i4.5300
- Rashid, A., & Fox, R. L. (1992). Evaluating internal zinc requirements of grain crops by seed analysis. *Agronomy Journal*, 84, 469-474. Doi:<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj1992.00021962008400030022x>
- Ribas, P. M. (2014). Origem e importância econômica. In: A. Borém, L. D. Pimentel, R. Parrela (Eds.), *Sorgo: do plantio à colheita* (p. 9-36). Viçosa, MG: Editora UFV.
- Rozane, D. E., Prado, R. D. M., Romualdo, L. M., & Simões, R. R. (2008). Resposta de plântulas de arroz cv. BRS-Soberana à aplicação de zinco via semente. *Ciência e Agrotecnologia*, 32 (3), 847-854. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000300022>
- Sadeghzadeh, B. (2013). A review of zinc nutrition and plant breeding. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13 (4), 905-927. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000072>
- Silva, F. W. A.; Vieira, H. D.; Baroni, D. F.; Maitan, M. Q., & Acha, A. J. (2017). Germination performance of Campo Grande (*Stylosanthes capitata* / *macrocephala*) Stylers seeds coated with different layers of inert material. *Journal of Experimental Agriculture International*, 18 (4), 1-8. Doi: 10.9734 / JEAI / 2017/36768
- Slaton, N. A., Wilson Junior, C. E., Ntamatungiro, S., Norman, R. J., & Boothe, D. L. (2001). Evaluation of zinc seed treatments for rice. *Agronomy Journal*, 93, 152-157. Doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2001.931152x>
- Tavares, L. C., Brunet, A. P., de Araújo Rufino, C., Fonseca, D. Â. R., Gadotti, G. I., & Villela, F. A. (2015). Tratamento de sementes de cevada com zinco: potencial fisiológico e produtividade de sementes. *Semina: Ciências Agrárias*, 36 (2), 585-593. Doi: 10.5433/1679-0359.2015v36n2p585

- Wang, J., & Evangelou, V. P. (1994). Metal tolerance aspects of plant cell wall and vacuole: handbook of plant and crop physiology. *The University of Arizona. Tucson, US.*
- 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: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v37n2145982>
- Yagi, R., Simili, F. F., Araújo, J. C. D., Prado, R. D. M., Sanchez, S. V., Ribeiro, C. E. R., & Barretto, V. C. D. M. (2006). Aplicação de zinco via sementes e seu efeito na germinação, nutrição e desenvolvimento inicial do sorgo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41 (4), 655-660. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000400016>

3.3. GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE SORGO, EM RESPOSTA AO TRATAMENTO DE SEMENTES COM BORO³

RESUMO

A baixa disponibilidade de boro promove deficiência nas culturas das regiões tropicais, dentre elas o sorgo se destaca por ter seu rendimento limitado em condições de insuficiência deste nutriente. Entretanto, por ser um micronutriente o boro apresenta limite estreito entre o teor adequado e o nível de toxicidade sendo exigido uma adubação cautelosa. Objetivou-se avaliar a qualidade física e fisiológica e o desempenho inicial de mudas de sorgo granífero submetidas a diferentes doses de boro via sementes. . Foram utilizadas seis doses de ácido bórico (0; 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 g. Kg⁻¹ de sementes) mais o tratamento controle (sementes não revestidas). As doses de B foram adicionadas às sementes através do processo de revestimento, onde foi utilizado calcário dolomítico e a cola na formação do pélete. Foram realizadas avaliações físicas, fisiológicas e nutricionais das sementes revestidas e o desenvolvimento inicial das plantas em casa de vegetação. Os testes realizados em laboratório foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado e os realizados em casa de vegetação foram em delineamento de blocos ao acaso. A aplicação de B nas sementes não afetou significativamente as características físicas, entretanto houve incrementos no tamanho das sementes revestidas. As doses de B aplicadas às sementes de sorgo influenciaram negativamente no comprimento e acúmulo de massa seca

³ Artigo aceito para publicação no periódico “*Semina Ciências Agrárias*” em Julho de 2021.

tanto da parte aérea como da raiz das plantas. O B aplicado nas sementes acumulou-se principalmente nas raízes e interferiu significativamente no acúmulo de Ca e Mg nas sementes, parte aérea e raiz das plantas de sorgo.

Palavras-chave: Fertilização, *Sorghum bicolor*, vigor, fisiologia, pélete

3.3 GERMINATION AND INITIAL DEVELOPMENT OF SORGHUM PLANTS IN RESPONSE TO BORON SEED TREATMENT

ABSTRACT

The low availability of boron promotes deficiency in crops in tropical regions, among them sorghum stands out for having limited yield in conditions of insufficiency of this nutrient. However, as it is a micronutrient, boron presents a narrow limit between the adequate content and the level of toxicity, requiring careful fertilization. The objective was to evaluate the physiological and physical quality and the initial performance of grain sorghum seedlings submitted to different doses of boron via seeds. Six doses of boric acid (0; 2.5; 5.0; 7.5; 10.0; 12.5 g. Kg⁻¹ of seeds) plus the control treatment (uncoated seeds) were used. The doses of B were added to the seeds through the coating process, where dolomitic limestone and glue were used to form the pellet. Physical, physiological and nutritional evaluations of the coated seeds and the initial development of the plants in a greenhouse were carried out. The tests carried out in the laboratory were carried out in a completely randomized design and those carried out in a greenhouse were carried out in a randomized block design. The application of B in the seeds did not significantly affect the physical characteristics, however there were increases in the size of coated seeds. The doses of B applied to sorghum seeds negatively influenced the length and dry mass accumulation of both shoot and root of the plants. The B applied to the seeds accumulated mainly in the roots and significantly interfered in the accumulation of Ca and Mg in the seeds, shoots and roots of sorghum plants.

Key word: Fertilization, *Sorghum bicolor*, vigor, physiology, pellet

INTRODUÇÃO

A deficiência de boro é uma importante limitação agrícola encontrada em mais de 80 países, sendo este micronutriente um dos mais limitantes para a produtividade das culturas, especialmente em espécies exigentes e cultivadas em solos de textura arenosa onde este elemento pode ser perdido por lixiviação devido à sua elevada mobilidade do solo. (Uraguchi & Fujiwara, 2011).

O boro tem sido objeto de muitos estudos em virtude das suas funções no metabolismo vegetal, sendo importante para obtenção de maiores produtividades e qualidade de sementes. Dentre suas funções o boro atua no crescimento celular, nos ácidos nucleicos, na fixação de nitrogênio, na diminuição da toxicidade de alumínio, na biossíntese de componentes da parede celular, na translocação de açúcares, além de participar do florescimento e crescimento do tubo polínico o que evidencia a sua importância para a produção das culturas (Marschner, 2012).

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é o quinto cereal mais cultivado no mundo e apresenta grande importância no cenário mundial, devido suas características agrônômicas como alta capacidade fotossintética, alto potencial de produção de biomassa e ampla adaptação edafoclimática que o possibilita produzir mesmo sob condições desfavoráveis quando comparado à maioria dos outros cereais. Além disto, o sorgo pode ser utilizado tanto na alimentação humana como animal, podendo ainda ser utilizado na produção de bioenergia (Ribas, 2014).

Apesar de apresentar bom desempenho sob condições de estresse, o sorgo é uma cultura exigente em nutrientes e seu requerimento nutricional varia diretamente com o potencial de produção (Magalhães et al., 2014), deste modo a deficiência causada pelo boro pode reduzir significativamente a produtividade da cultura. Portanto, um bom manejo nutricional pode melhorar a produtividade do sorgo, em especial dos micronutrientes que são requeridos em pequenas quantidades.

Com base na pequena quantidade de micronutrientes exigidos pelas plantas, pode-se dar ênfase à adubação via semente através da técnica de revestimento que apresenta menores custos de aplicação, melhor uniformidade na distribuição de pequenas doses, menores perdas e bom aproveitamento pelas plantas (Prado et al., 2008).

O tratamento de sementes com micronutrientes tem como princípio a translocação desses micronutrientes aplicados na semente para a futura planta, assim os teores iniciais de nutrientes das sementes podem ser aumentados e serem uma importante fonte para a nutrição futura da planta oriunda dessas sementes enriquecidas (Pessoa et al., 2000).

Outro fator importante é o conhecimento da dose adequada a ser aplicada, pois o boro é um micronutriente que apresenta um limite estreito entre o teor adequado e o nível tóxico nas plantas o que exige, portanto, uma adubação cautelosa a fim de evitar diminuição e atraso na germinação, e, conseqüentemente, a diminuição da produtividade (Marschner, 2012). O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade física e fisiológica e o desempenho inicial de mudas de sorgo granífero submetidas a diferentes doses de boro via sementes.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado durante os meses de outubro a dezembro de 2018, em condições de laboratório e casa de vegetação adotando o delineamento experimental inteiramente casualizado e em blocos ao acaso, respectivamente. Utilizou-se sementes comerciais de sorgo granífero (híbrido PR40G34) que foram revestidas e tratadas com seis doses de ácido bórico (H_3BO_3) (0; 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 g. Kg^{-1} de sementes) mais o tratamento controle (sementes não revestidas).

O processo de revestimento das sementes foi realizado através de uma adaptação da metodologia empregada por Xavier et al. (2015), utilizando uma drageadora de bancada N10 Newpack equipada com cuba de aço inoxidável com regulagem de velocidade, controle de pressão do spray que pulveriza o material cimentante e sistema de secagem. A drageadora foi regulada de modo que a cuba de aço girasse à velocidade de 86 rpm e pressão de 4 bar no ar comprimido que ativa a solução cimentante durante 3s, então, o ventilador de ar quente foi ligado à temperatura de 50 °C por 90 s. Para o revestimento foi utilizado calcário dolomítico como material de enchimento e cola à base de acetato de polivinila (PVA) diluída em água previamente aquecida a 70 °C, na proporção 3:1 (entre água e cola, respectivamente) como material cimentante.

O processo de revestimento foi realizado com quatro repetições por tratamento com porções de 100 g de sementes cada. As porções de sementes foram colocadas na cuba da drageadora, em seguida o spray de solução adesiva foi aplicado por 3 s e em seguida uma porção de material de enchimento (inicialmente 10 g de material) foi adicionada à cuba. Logo depois outro spray de solução adesiva (3 s) foi aplicado seguida de outra porção do material de enchimento (10 g de material) que foi adicionada sobre as sementes com outra aplicação de solução adesiva (3 s). Logo após o ventilador de ar (50 °C) foi acionado durante 90 s. Este procedimento resultou na primeira camada de revestimento. Para a camada seguinte foi aplicado outro jato de solução adesiva seguido de outra porção de material de enchimento, então, outro jato de solução adesiva, acompanhado pela segunda porção de material de enchimento. Finalmente, um outro jato de solução adesiva foi aplicado, antes de acionar o ar quente final, que durou mais 90 s. Este procedimento foi repetido até completar os 200 g de material de enchimento, totalizando no final deste processo 10 camadas de revestimento. As doses de ácido bórico (H_3BO_3) foram adicionadas de uma só vez na quinta camada de revestimento, entre as porções de calcário dolomítico e a cola.

Após o revestimento, as sementes foram avaliadas quanto às características físicas, fisiológicas e o teor nutricional. As avaliações físicas realizadas em laboratório foram a biometria das sementes: determinada no Sistema para Análise de Sementes (Groundeye®) utilizando quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento. As variáveis extraídas foram: diâmetro máximo (DMAX), diâmetro mínimo (DMIN) e área total da semente (AT), com os resultados expressos em centímetros (cm);

As avaliações fisiológicas realizadas em laboratório foram; 1) Teste de Germinação (G): conduzido com quatro repetições de 50 sementes, utilizando como substrato rolo de papel germiteste umedecido com volume de água equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco. Após a semeadura, os rolos foram mantidos em germinador a 20-30 °C submetidos à fotoperíodo de 16 horas de escuro e 8 horas de luz, respectivamente. As avaliações foram realizadas no 10º dia após a semeadura, com o registro da porcentagem de plântulas normais (Brasil, 2009); 2) Primeira contagem de germinação (PCG): será efetuado quatro dias após o início do teste de germinação, realizando-se a contagem do número

de plântulas normais e, os resultados expressos em porcentagem (Brasil, 2009). 3) Índice de Velocidade de Germinação (IVG): conduzido juntamente com o teste de germinação, sendo efetuadas contagens diárias após o início do teste. Foram consideradas germinadas, as plântulas que apresentaram características normais de acordo com Brasil (2009), para o cálculo do IVG foi utilizada a fórmula proposta por Maguire (1962); 4) Envelhecimento Acelerado (EA): foi utilizado gerbox com tela metálica fixada na posição mediana, sendo adicionados 40 mL de água destilada ao fundo de cada caixa gerbox, e sobre a tela foi distribuída uma camada uniforme de sementes de cada tratamento a fim de cobrir a superfície da tela, constituindo uma única camada. Em seguida, as caixas contendo as sementes foram tampadas e acondicionadas em incubadora do tipo BOD, a 41 °C, onde permaneceram por 72 horas (Marcos Filho, 2016). Após este período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, conforme descrito anteriormente. A avaliação foi realizada aos sete dias após a semeadura, sendo os resultados expressos em porcentagem.

As características avaliadas em casa de vegetação foram; 1) Emergência (E): conduzido em vasos de 8 litros contendo areia previamente lavada. Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes, distribuídas em sulcos com 3 cm de profundidade e distantes 2 cm entre si. O substrato foi umedecido sempre que necessário e aos 15, 30 e 45 dias após a semeadura, foram aplicados 500 ml de solução nutritiva completa a 25%, desprovida de B, em cada vaso. A avaliação final das plântulas foi realizada aos 60 dias após a semeadura; 2) Índice de Velocidade de Emergência (IVE): foi conduzido junto ao teste de emergência. A velocidade de emergência foi determinada anotando-se diariamente o número de plântulas emergidas com os coleótilos acima do substrato, desde o início até o 30º dia após a semeadura. Para o cálculo do IVE foi utilizada a fórmula proposta por Maguire (1962).

Ao final do teste de emergência foram sorteadas 10 plantas de cada unidade experimental separando a parte aérea da raiz, onde foi medido o comprimento de ambas as partes com auxílio de uma régua milimetrada. Posteriormente foram armazenadas em sacos de papel e acondicionadas em estufa de circulação de ar a 65 °C por 72 horas para determinação da massa seca de ambas as partes.

O teor dos nutrientes presente nas sementes e demais partes das plantas de cada tratamento foi determinado após um período de secagem de 72 h (à temperatura de 65 °C). Após a secagem, as sementes foram maceradas em cadinho e a parte aérea e a raiz moídas em moinho, para serem abastecidos em frascos hermeticamente fechados e devidamente identificados. Para determinar os teores de cálcio, magnésio e boro, o material passou por digestão com nitratos (Peters, 2005) e a análise do extrato foi realizada no ICPE-9000.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, ao teste de Dunnett a 5% de probabilidade para comparar as médias dos tratamentos (combinações do revestimento com as doses de B) com as médias do controle, e à análise de regressão para o estudo das doses.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que não houve efeito significativo das doses de boro para as variáveis físicas: diâmetro máximo, diâmetro mínimo e área total da semente (Tabela 1).

Foi observado, na tabela 1, que o tratamento controle apresentou médias 11, 10 e 18 % menores para DMAX, DMIN e AT, respectivamente, em relação às médias dos demais tratamentos. As variáveis diâmetro máximo, diâmetro mínimo e área total são variáveis referentes à geometria da semente e são responsáveis por descrever a região ocupada pela semente no plano da imagem (Acha et al., 2020), deste modo, pode-se afirmar que todos os tratamentos foram capazes de inserir aumentos na semente durante o processo de revestimento, que aderiu material de enchimento (calcário dolomítico) e boro à superfície das sementes, resultando assim na alteração da forma das mesmas e justificando os maiores valores encontrados, em relação às sementes do controle.

Tabela 1. Diâmetro máximo (DMAX), diâmetro mínimo (DMIN) e área total (AT) das sementes de sorgo granífero, em função de doses de boro (g kg^{-1})

Tratamento	Variáveis Avaliadas		
	DMAX (cm)	DMIN	AT (cm^2)
Controle	0,475	0,425	0,162
0,0	0,550*	0,482*	0,207*
2,5	0,525*	0,465*	0,192*
5,0	0,525*	0,470*	0,192*
7,5	0,512	0,460	0,190
10,0	0,542*	0,497*	0,212*
12,5	0,520	0,472*	0,192*
Teste F	0,315 ^{ns}	0,234 ^{ns}	0,218 ^{ns}
Regressão linear	ns	ns	ns
Regressão quadrática	ns	ns	ns

*, ns: resultado significativo e não-significativo pelo teste F a 5%, respectivamente.

*Médias com asterisco, na coluna, diferem do controle ao nível 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Entretanto não foi verificada diferença significativa em relação ao controle para as variáveis DMAX, DMIN e AT na dose de $7,5 \text{ g kg}^{-1}$ de boro e para o DMAX na dose de 12 g kg^{-1} de boro (Tabela 1), indicando que nestes tratamentos o poder de adesão do revestimento foi pouco eficiente. Esses resultados corroboram com os encontrados por Acha et al. (2016), que observaram que o uso de altas doses de zinco e boro no revestimento de sementes de soja perene prejudicou a qualidade do mesmo.

Conforme a espessura do revestimento aumenta, as sementes ganham proteção contra o ataque de pragas, tanto no campo quanto no armazenamento, retardando o processo de deterioração das sementes (Gardarin et al., 2010). A espessura é um fator importante também na hora de adicionar fertilizantes, fungicidas e outros aditivos agrícolas, que devem ser adicionados a uma certa distância do embrião para prevenir a toxicidade (Acha et al., 2020).

Para as variáveis germinação (G), primeira contagem germinação (PCG), índice de velocidade de germinação (IVG) e envelhecimento acelerado (EA) observou efeito significativo das doses de boro e o modelo linear decrescente foi o que melhor se ajustou aos dados (Figura 1).

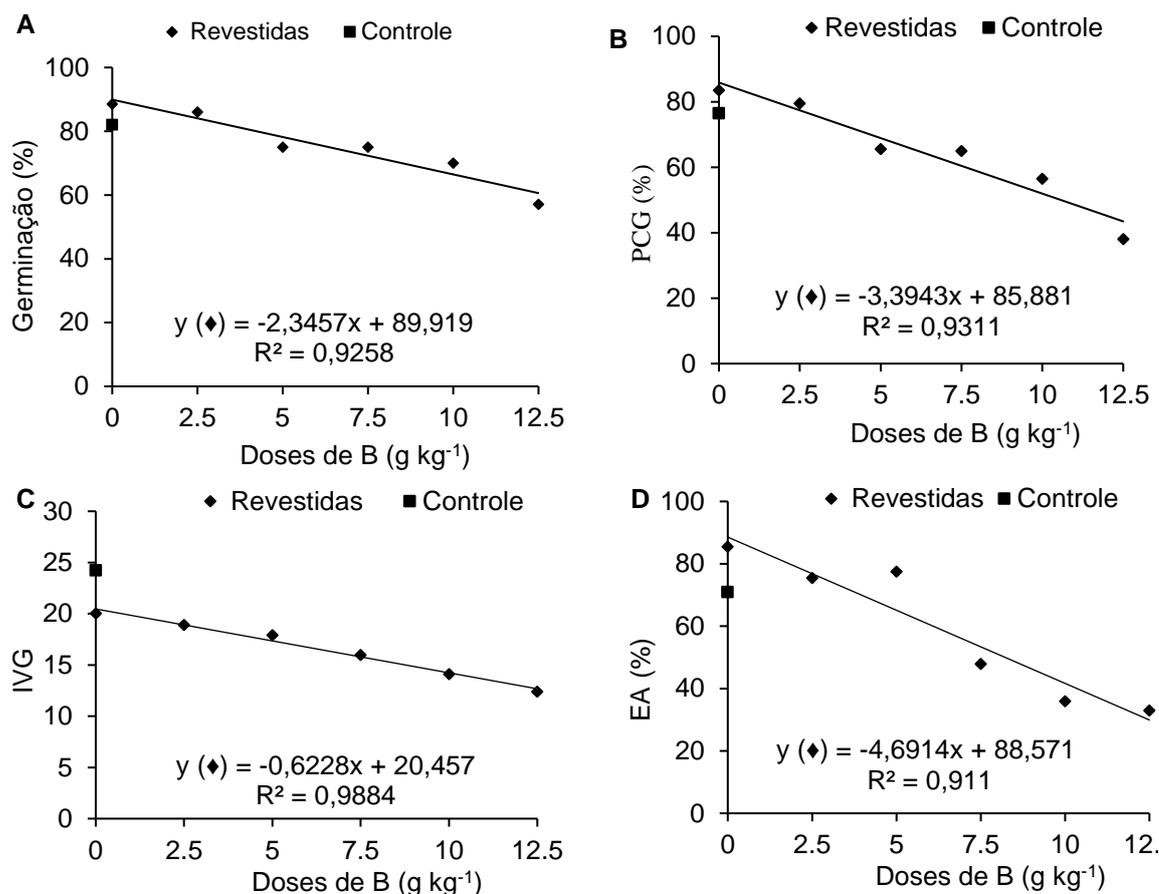


Figura 1. Germinação (A), primeira contagem de germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e envelhecimento acelerado (D) de sementes de sorgo granífero revestidas com calcário dolomítico e diferentes doses de boro.

No teste de germinação, pôde-se observar máximo percentual de plântulas normais - 88,5% para as sementes revestidas apenas com calcário dolomítico seguida pelo tratamento com a dose de 2,5 g/kg de boro que obteve 86% de plântulas normais, a partir desta dose houve decréscimo do percentual de plântulas normais (Figura 1A). Resultados semelhantes foram observados por Pessoa et al. (2000), ao trabalhar com diferentes doses de boro (0; 1; 2; 3 e 4 g/kg) aplicadas em sementes de milho, sendo constatado que as sementes tratadas com doses crescentes de boro diminuíram e atrasaram a germinação, apresentaram desuniformidade na germinação e menor desenvolvimento inicial das plantas, tendo sido esses efeitos mais acentuados com o aumento das doses de B.

Nos testes de vigor (PCG, IVG e EA) também foram observadas que com o aumento das doses de B houve queda na porcentagem de plântulas normais e

redução da viabilidade das sementes, confirmando uma possível toxidez de boro. A presença de elevados teores de boro nos tecidos vegetais altera as reações enzimáticas das plantas e provoca mudanças metabólicas que ativam os mecanismos de defesa, esse estresse causa acúmulo de EROS (espécies reativas de oxigênio) como radicais superóxidos, hidróxidos e peróxidos de hidrogênio (H_2O_2) que causam estresse oxidativo em moléculas biológicas das plantas, resultando na morte celular (Nejad & Etesami, 2020). Esses resultados corroboram com Lima et al. (2013) que observaram que a adubação com boro acima da dose de 1,5 kg/ha, promoveu decréscimo do vigor das sementes de feijão, devido a toxidez do boro. Estes dados são de extrema importância, pois sementes com baixo vigor, mesmo que apresentem alta porcentagem de germinação, podem resultar em baixo rendimento em campo quando submetidas a condições desfavoráveis (Krzyzanowski et al., 2020).

Entretanto foi verificado, nos testes de PCG e EA, que o revestimento somente com calcário dolomítico atuou de forma positiva no vigor das sementes de sorgo, pois as sementes revestidas obtiveram médias de plântulas normais com valores numéricos acima do observado para os demais tratamentos até mesmo que as sementes do controle (Figura 1B, 1D). Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2008), que verificaram que a aplicação de cálcio aumentou o vigor das sementes de feijão, revelados pelos testes de primeira contagem e de condutividade elétrica isso pode ser explicado devido o cálcio aumentar a resistência do tegumento protegendo contra estresses bióticos e abióticos, além disto o cálcio é importante no desenvolvimento das raízes e no alongamento celular, sendo um nutriente necessário na translocação e armazenamento de carboidratos e proteínas, além de atuar na formação e na integridade das membranas da parede celular (Singh, 2020).

Na figura 1C, foi observado na variável IVG que as sementes do controle apresentaram maior média de plântulas normais, isto é devido, principalmente, a barreira física adicional formada em torno das sementes revestidas que dificulta o processo de trocas entre a semente e o meio externo, conseqüentemente, atrasa o processo de germinação e o desenvolvimento inicial da plântula. Estes resultados estão de acordo com Acha et al. (2016) e Silva et al. (2017), os quais relataram que sementes revestidas demoram mais tempo para germinar do que as não revestidas em função da barreira criada pelo revestimento.

Em relação ao índice de velocidade de emergência (IVE), o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados, apresentando coeficiente de determinação de 96% (Figura 2A). Observou-se, que as plântulas do tratamento controle atingiram maior índice (8,6) seguidas pelas sementes revestidas sem aplicação de boro (5,46), estes resultados são coerentes aos encontrados no IVG (Figura 1C) confirmando que o revestimento realizado nas sementes forma uma barreira adicional ao tegumento que atrasa a emergência das plântulas e que com o aumento das doses de B, provavelmente, houve efeito fitotóxico, diminuindo a velocidade de emergência das mesmas.

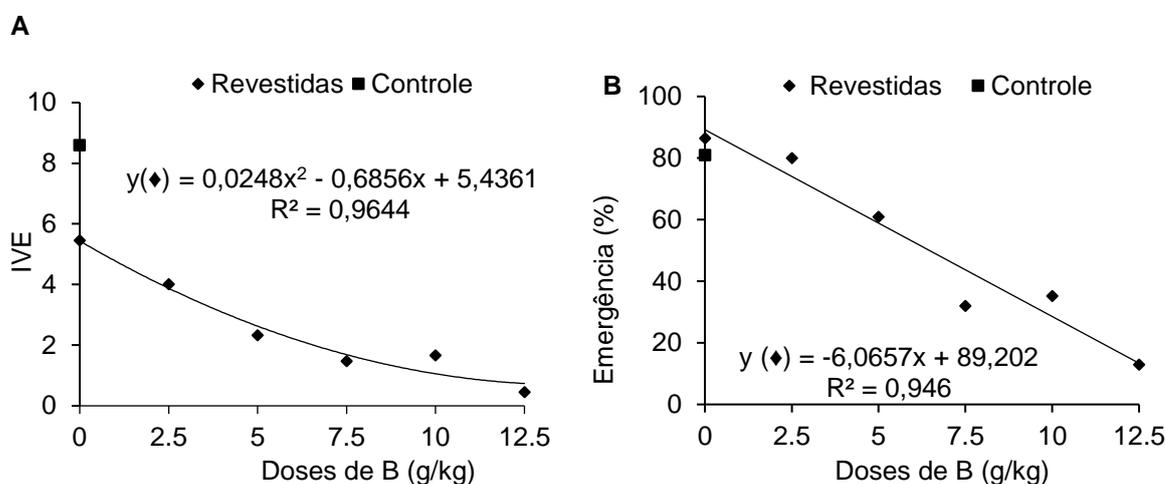


Figura 2. Índice de velocidade de emergência (A) e emergência (B) de sementes de sorgo granífero revestidas com calcário dolomítico e diferentes doses de boro.

Já na emergência o modelo linear foi o que melhor se ajustou aos dados, com coeficiente de determinação de 94% (Figura 2B). Observou-se que as plântulas oriundas das sementes revestidas apenas com calcário dolomítico atingiram máxima emergência (86%) e que houve decréscimo de 6 pontos percentuais para cada unidade de dose de boro aplicada.

Pôde-se observar, também, que na emergência o efeito das doses de boro foram mais expressivos quando comparado ao teste de germinação, sendo constatada na maior dose de boro utilizada (12,5 g/kg) apenas 13% de plântulas emergidas enquanto que na germinação foram verificadas para a mesma dosagem 57% de plântulas germinadas (Figura 1A). Este resultado pode ser

associado às condições em que o teste de emergência foi realizado: dentro de casa de vegetação com as sementes colocadas para emergir em vasos com areia, simulando as condições do campo como temperaturas variadas, baixa retenção de umidade pelo substrato exigindo irrigações constantes. Essas condições somadas ao efeito das doses de boro ocasionam estresse às sementes e, conseqüentemente, afetam a capacidade das sementes em dar origem a plântulas normais.

Vale ressaltar que altas concentrações de boro causam efeitos deletérios afetando o crescimento e desenvolvimento de plantas, além disto, a toxicidade causada por B inibe a germinação em várias espécies, causa diminuição do crescimento da raiz e da parte aérea, inibição da expansão celular, além de afetar a fotossíntese por causar danos à montagem dos tilacóides reduzindo assim a absorção de CO₂ (Uluisik et al., 2018).

Em relação às variáveis comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) observou-se efeito significativo das doses de B (Figura 3).

No CPA foi observado comportamento quadrático com ponto de máxima eficiência na dose de 2,58 g/ kg de boro, atingindo 40,52 cm, porém em doses mais elevadas de boro houve redução desta variável (Figura 3A). Esses resultados corroboram com os encontrados por Silva-Matos et al. (2017), que observaram crescimento das mudas de melancia até a dose de 11,66 g de B/kg de sementes, seguindo de decréscimo com aumento das doses.

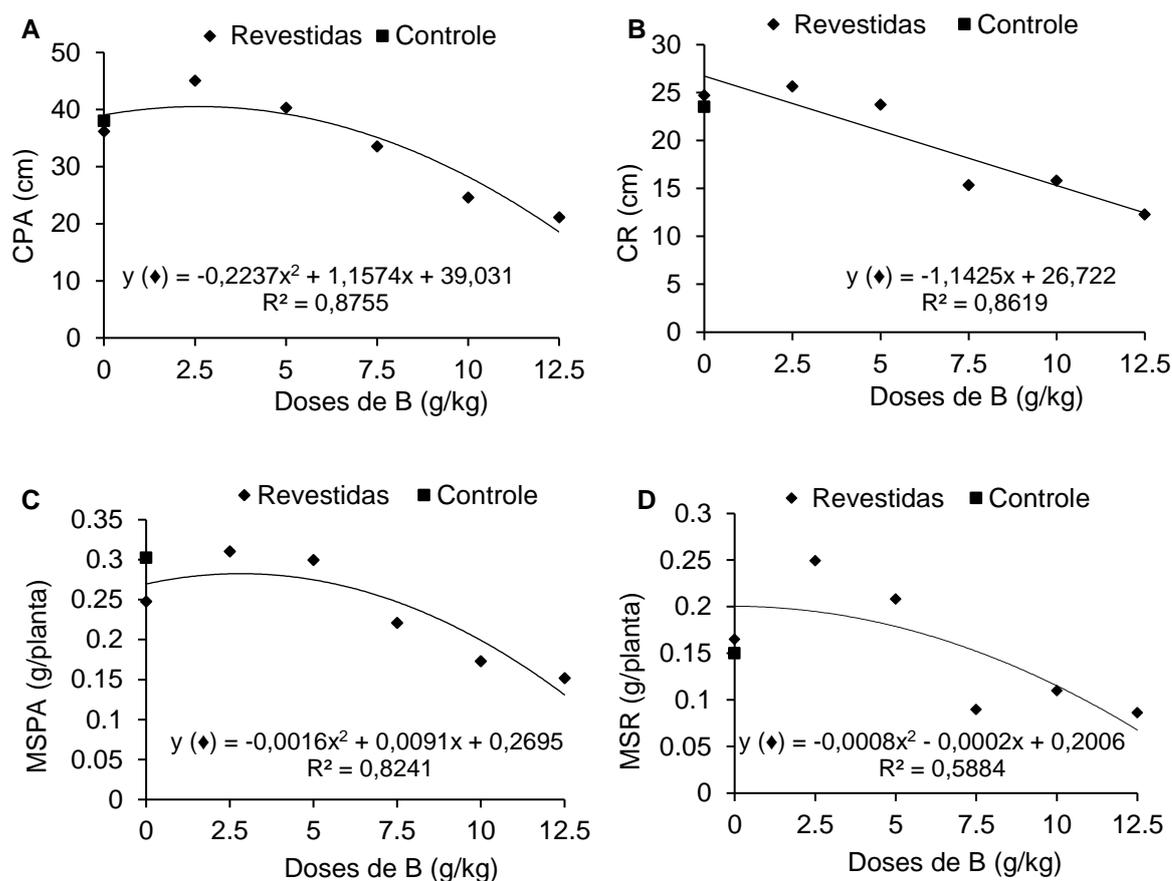


Figura 3. Comprimento da parte aérea (A), comprimento da raiz (B), massa seca de parte aérea (C) e massa seca da raiz (D) de sementes de sorgo granífero revestidas com calcário dolomítico e diferentes doses de boro.

Observou-se no CR comportamento linear decrescente, entretanto foi verificado que com a utilização da dose de 2,5 g/kg houve um incremento apresentando comprimento de raiz maior do que o observado para as sementes controle em que não houve adição de boro (Figura 3B). Esses resultados corroboram com Silva-Matos et al. (2017), que verificaram efeito significativo das doses de boro, aplicadas via sementes, no comprimento radicular das mudas de melancia obtendo um aumento na utilização da dose de 15,75 g/kg e depois sendo observado efeito decrescente.

Observou-se que as sementes tratadas com doses de boro superiores a 2,5 g/kg apresentaram diminuição da produção de MSPA e MSR (Figura 3C e 3D). Resultados semelhantes foram observados por Pessoal et al. (2000), que observaram que sementes de milho tratadas com doses de boro iguais ou superiores a 0,2 g/kg de B apresentaram diminuição da produção de massa seca

das folhas e raízes. Albano et al. (2015), ao trabalhar com aplicação de boro em sementes de melão constataram que o aumento das doses de B promoveu aumento da massa seca da parte aérea até 12,3 g/kg de sementes, seguido por uma pequena diminuição com aumento da aplicação de boro. Enquanto a massa seca de raiz aumentou até a dose de 10,5 g/kg de B, e acima desta dose a massa seca foi reduzida.

O efeito positivo da aplicação de boro sobre o crescimento de plântulas até a dose de 2,5 g kg⁻¹, verificado na figura 3, é explicado pelas funções deste nutriente nas plantas. O fornecimento adequado de boro promove o alongamento celular, síntese de ácidos nucleicos, respostas hormonais, funcionamento de membranas e regulação do ciclo celular, estimulando diretamente o alongamento de partes jovens das plantas (Marschner, 2012). Entretanto, a semente em germinação, não possui mecanismos fisiológicos que controlem efetivamente a entrada de B via embebição da semente, podendo acarretar na acumulação desse elemento em concentrações tóxicas, que causariam fitotoxidez resultando em efeitos deletérios na germinação e desenvolvimento das plantas (Reguera et al., 2009, Ohse et al., 2001).

Neste sentido, Demiray e Dereboylu (2013) afirmaram que doses elevadas de boro causam uma redução significativa na lignificação do tecido radicular, bem como impacta, negativamente, na formação do xilema, características que influenciam direta e negativamente o desenvolvimento da raiz. Deste modo, o efeito decrescente observado na MSR pode ser relacionado ao efeito também decrescente observado no CR (Figura 3), uma vez que, o comprimento das raízes influencia diretamente na absorção de nutrientes e contribui com uma proporção representativa do total de massa seca produzida e por consequência influencia no CPA e na MSPA.

Observou-se que as doses de B aplicadas no revestimento afetaram significativamente os teores de B nas sementes, parte aérea e raízes do sorgo. Nas sementes, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados sendo observado que na maior dose de boro utilizada (12,5 g/kg) foi atingido o teor de 497,5 mg/kg. Já nas sementes controle e nas sementes revestidas apenas com calcário dolomítico foram observados teores de B de 4,03 e 5,11 mg/kg, respectivamente, (Figura 4A).

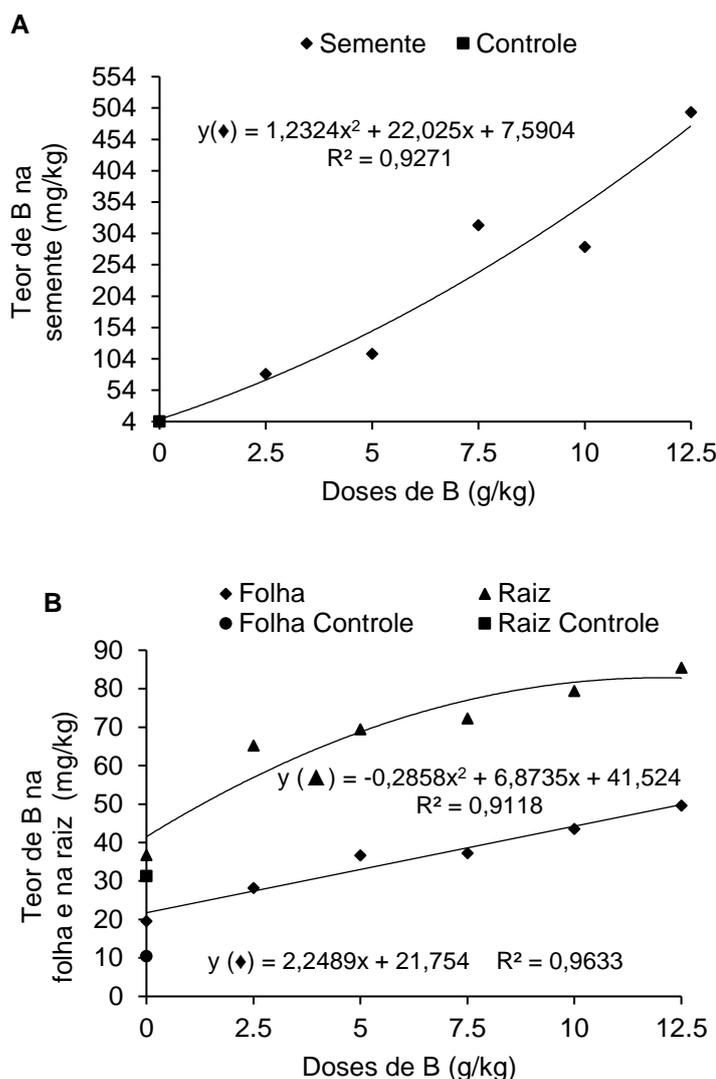


Figura 4. Teor de boro na semente (A), na parte aérea e na raiz (B) de sementes de sorgo granífero revestidas com calcário dolomítico e diferentes doses de boro.

Nesse estudo ficou evidente que após o revestimento houve aumento do teor de boro presente nas sementes à medida que as doses deste micronutriente foram aumentadas, refletindo de forma proporcional a dose adicionada, evidenciando que a técnica utilizada neste trabalho foi eficiente em incorporar boro às sementes. Esses resultados corroboram com Acha (2020), que ao trabalhar com sementes de braquiária revestidas com doses de boro e zinco, verificou o aumento do teor desses micronutrientes conforme o aumento das doses dos fertilizantes adicionados.

Na parte aérea foi observado comportamento linear crescente com incremento de 2,25 mg/kg de B para cada unidade de aumento de boro aplicada (Figura 4B). Observou-se que na dose máxima utilizada (12,5 g B/kg) o teor de B

encontrado na parte aérea foi de 49,60 mg/kg. Esses resultados corroboram com Acha et al. (2018), que ao trabalhar com tratamento de sementes de soja perene com aplicação de doses de boro e zinco, observaram que com o aumento das doses de boro houve aumento do conteúdo de boro na parte aérea das plantas evidenciando a alta absorção desse nutriente durante o processo de embebição das sementes.

Foi observado efeito quadrático das doses de B nos teores da raiz, com teor máximo de 85,48 mg/kg de B na dose de 12,5 g B/kg (Figura 4B). Os altos teores de B observados na raiz foram proporcionados pela aplicação de boro via sementes que culminou no acúmulo deste micronutriente no sistema radicular primário das plantas. Segundo Marschner (2012) este acúmulo ocorre quando os nutrientes são transportados por difusão e sua taxa de fornecimento é maior do que a absorção, o que é coerente no presente estudo.

Pode-se constatar, também, que a distribuição deste elemento nas plantas não é uniforme apresentando uma maior concentração no sistema radicular em comparação com as folhas para a mesma dose de boro aplicada. O transporte do boro a longa distância, das raízes até às folhas, via xilema, ocorre com o fluxo de massa da água de transpiração. É possível que, graças à absorção passiva do boro, quantidades tóxicas tenham sido absorvidas pelas radículas em desenvolvimento, causando efeitos deletérios as plantas, pois em altas concentrações o boro reprime a expressão de genes que codificam os transportadores de água, desencadeando um estresse hídrico como resposta associada que influencia diretamente no transporte do boro para a parte aérea da planta (Princi et al., 2016).

Foi verificado que a aplicação de boro afetou significativamente o acúmulo dos nutrientes cálcio e magnésio. Observou-se efeito quadrático no acúmulo dos nutrientes estudados na semente, parte aérea e raiz, exceto para o Mg na parte aérea que foi linear (Figura 5).

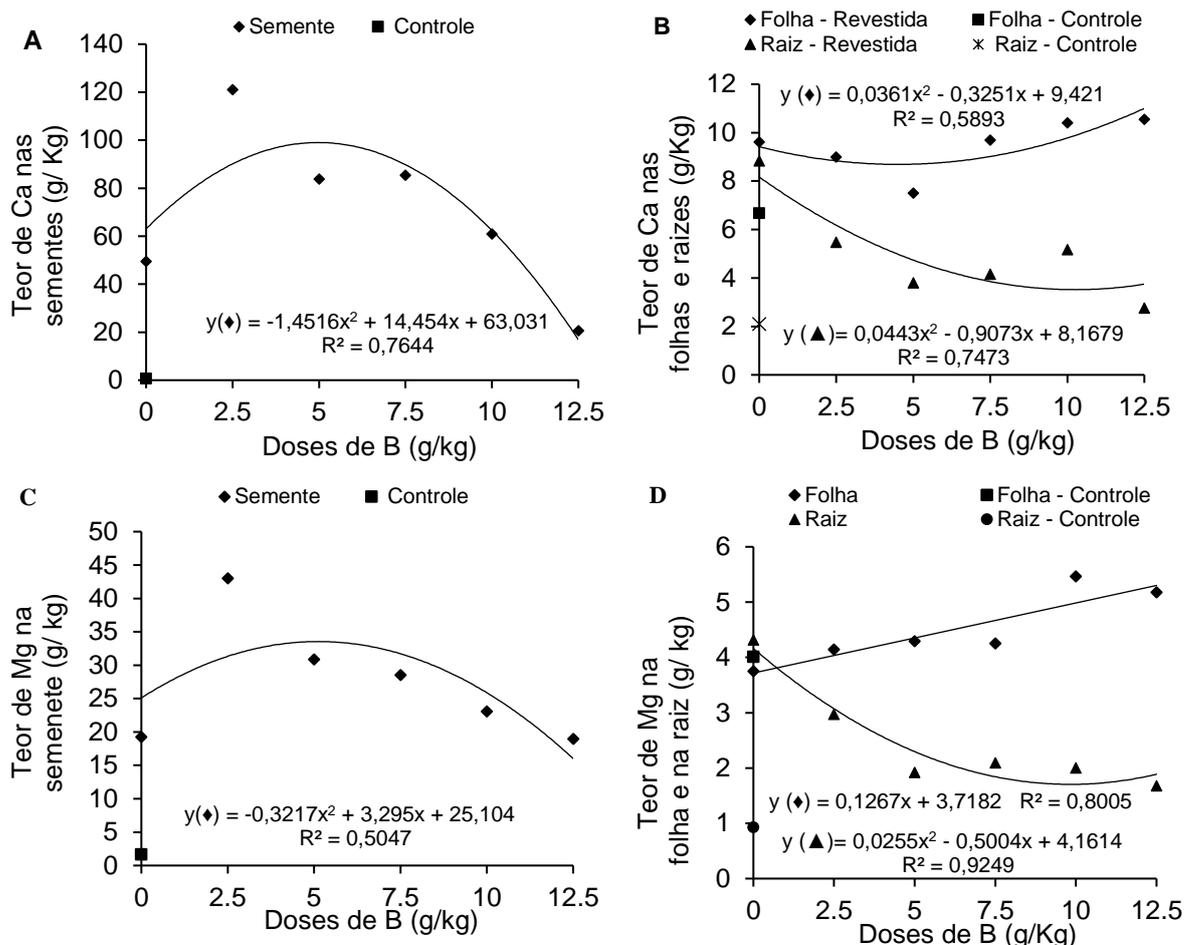


Figura 5. Teor de cálcio na semente (A), nas folhas e raízes (B), no teor de magnésio na semente (C) e na folha e nas raízes (D) de sementes de sorgo granífero revestidas com calcário dolomítico e diferentes doses de boro.

Em relação às sementes observou-se, na figura 5A, que na dose de 4,98 g/kg de boro foi encontrado o valor máximo de 99 g/kg de cálcio nas sementes revestidas, após esta dose houve uma diminuição do teor de Ca. Na figura 5C, observou-se teor de Mg de 33,54 g/kg na dose de 5,12 g/kg de boro, após esta dosagem houve queda no teor de Mg presente nas sementes de sorgo revestidas. Esses resultados indicam que o aumento das doses de B causaram redução do teor de Ca e Mg adicionados às sementes, isto pode ter acontecido devido a diminuição da adesividade do calcário dolomítico no revestimento das sementes. Resultados semelhantes foram observados por Acha et al. (2016) ao trabalhar com sementes de soja perene revestidas com calcário dolomítico e diferentes doses de boro e zinco. Os autores atribuem este resultado a granulometria do material utilizado no revestimento, pois o ácido bórico tem partículas maiores e mais pesadas em relação ao calcário dolomítico que possui textura mais fina.

Deste modo o calcário deveria ser adicionado nas camadas mais próximas do núcleo, de modo que é assegurado sua adesão à superfície das sementes devido ao seu peso, entretanto ao colocar o ácido bórico entre as camadas de calcário o mesmo não foi capaz de manter a adesividade das camadas em virtude da sua forma cristalizada, reduzindo assim a adesão do calcário e conseqüentemente reduzindo os teores de Ca e Mg.

Foi observado, na figura 5B, um decréscimo no teor de Ca presente nas raízes à medida que aumentavam as doses de B. Esses resultados corroboram com Araújo et al. (2013), que ao trabalhar com sementes de algodão cultivadas em solução nutritiva com diferentes concentrações de boro e zinco, observaram que os conteúdos de Ca na raiz do algodoeiro diminuíram com o aumento das concentrações de B na solução nutritiva. O boro e o cálcio possuem funções semelhantes na biossíntese da parede celular de plantas superiores, no entanto, o B tende a formar uma ligação mais forte que o Ca na estrutura da parede celular, sendo que maiores doses de B tendem a diminuir o acúmulo de cálcio nos tecidos (Mengel e Kirkby, 2001).

Em relação ao teor de Mg na raiz, observou efeito quadrático decrescente com diminuição do teor de Mg à medida que aumentavam a dose de B (Figura 5D). Esses resultados corroboram com os verificados por Araújo et al. (2013) e Prado et al. (2006), onde os autores constataram redução no teor de Mg na raiz de algodoeiro e maracujazeiro, respectivamente, em função do aumento das doses de B.

Foi observado, na figura 5B, que o teor de Ca presente nas folhas apresentou efeito quadrático atingindo o teor de 10,45 g/kg de Ca na dose de 12,5 g/kg de boro. Para o teor de Mg, presente nas folhas, foi observado efeito linear com incremento de 0,13 g/kg de Mg para cada dose de boro aplicada (Figura 5D). Os teores de Ca e Mg observados neste trabalho ficaram dentro da normalidade para suprir o desenvolvimento das plantas, pois não foram observados sintomas típicos de deficiência causado por esses nutrientes. Plantas de sorgo sob deficiência de Ca apresentam clorose na parte superior, onde as pontas das folhas mais novas gelatinizam e quando secas grudam umas às outras, e em relação ao Mg, a sua diminuição acarreta queda no teor de clorofila, provocando, conseqüentemente, clorose (Coelho et al., 2002).

A aquisição de elementos minerais do ambiente é realizada em função da morfologia radicular e da eficiência dos mecanismos de absorção de cada planta, sendo verificada uma relação bem definida entre o crescimento, a produção das culturas e o teor dos nutrientes em seus tecidos. A eficiência nutricional pode estar relacionada à demanda de nutrientes em nível celular, compartimentalização, utilização na parte aérea, no transporte a curta e a longa distância, na afinidade do sistema de absorção, concentração mínima (C_{min}) e nas modificações na rizosfera (Marschner, 2012). Deste modo, aumentar a oferta de B de níveis inadequados a ótimos também afeta a absorção dos demais nutrientes interferindo significativamente no desenvolvimento das plantas.

CONCLUSÃO

- 1) A aplicação de boro em sementes de sorgo aumenta o tamanho das sementes revestidas.
- 2) Houve interferência das doses de boro aplicadas na qualidade fisiológica das sementes, aumentando a germinação e o vigor até a dose de 2,5 g/kg de boro, prejudicando a qualidade das sementes após esta dose.
- 3) Houve redução no comprimento e na produção de massa seca da parte aérea e raiz das plantas com doses acima de 2,5 g/kg de boro.
- 4) O boro aplicado nas sementes de sorgo acumula-se principalmente nas raízes.
- 5) As doses de boro aplicadas, via semente, promovem alterações nos teores de nutrientes de Ca e Mg nas sementes e demais partes das plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acha, A. J. (2020) *Caracterização física e fisiológica de sementes de Neonotonia wightii cv. comum e Brachiaria brizantha cv. mg revestidas em drageadora*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 110p.

- Acha, A. J., Vieira, H. D. (2020) Digital image processing of coated perennial-soybean seeds and correlation with physiological attributes. *Journal of Seed Science*, 42.
- 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 (5):1-9.
- 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 (37):1998-2005.
- Albano, F. G., Silva-Matos, R. R. S., Cavalcante, Í. H. L., Silva, R. L., Sousa Marques, A., Costa, L. S. (2015) Imperial'melon plant seedlings initial development in function of boron doses applied in the seed. *Científica*, 43 (4):348-352.
- Araújo, É. D. O., Santos, E. F., Camacho, M. A. (2013) Absorção de cálcio e magnésio pelo algodoeiro cultivado sob diferentes concentrações de boro e zinco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 8 (3):383-389.
- Brasil (2009) *Regras para Análise de Sementes*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de defesa agropecuária- Brasília: Mapa/ACS, 395p.
- Coelho, A. M., Waquil, J. M., Karan, D., Casela, C. R., Ribas, P. M. (2002) *Seja o doutor do seu sorgo*. Piracicaba: POTAFOS, 24p.
- Demiray, H., Dereboylu, A. E. (2013) Effects of excess and deficient boron and niacin on the ultrastructure of root cells in *Daucus carota* cv. Nantes. *Turkish Journal of Botany*, 37 (1):160-166.
- Gardarin, A., Dürr, C., Mannino, M. R., Busset, H., Colbach, N. (2010) Seed mortality in the soil is related to seed coat thickness. *Seed Science Research*, 20 (4):243-256.
- Krzyzanowski, F. C. K., Vieira, R. D., Filho, J. M., França-Neto, J. B. (2020) *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Abrates, 601p.

- Lima, M. L., Cardoso, F. R., Galante, A. H. A., Teixeira, G. C. D. S., Teixeira, I. R., Alves, S. M. D. F. (2013) Fontes e doses de boro na qualidade de sementes de feijão-comum e mamona sob consórcio. *Revista Caatinga*, 26 (4):31-38.
- Magalhães, P. C., Souza, T. C., May, A., Lima Filho, O. F., dos Santos, F. C., Moreira, J. A. A., Leite, E. P., Albuquerque, C. J. B., Freitas, R. S. (2014) Exigências edafoclimáticas e fisiologia da produção. *In: Borém, A., Pimentel, L. D., Parrela, R. Sorgo: do plantio à colheita*. Viçosa: Editora UFV, p.58-88.
- Maguire J. D. (1962) Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2:176-177.
- Marcos Filho, J. (2016) *Seed physiology of cultivated plant*. 5. Ed. ABRATES, 616p.
- Marschner, P. (2012) *Mineral nutrition of higher plants*. 3. ed. Oxford: Elsevier, 643p.
- Mengel, K.; Kirkby, E. (2001) *Principles of plant nutrition*. 5.ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 849p.
- Nejad, S. A. G., Etesami, H. (2020) The Importance of Boron in Plant Nutrition. *Metalloids in Plants: Advances and Future Prospects*, 433-449.
- Ohse, S., Morodim, V., Santos, O. S., Lopes, S. J., Mafron, A. P. (2001) Germinação e vigor de sementes de arroz irrigado tratadas com zinco, boro e cobre. *Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia*, 8 (1):41-50.
- Pessoa, A. C. S., Luchese, E. B., Luchese, A. V. (2000) Germinação e desenvolvimento inicial de plantas de milho, em resposta ao tratamento de sementes com boro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24 (4):939-945.
- Peters, J. B. (2005) Wisconsin procedures for soil testing, plant analysis and feed & forage analysis: plant analysis. *Department of soil science, college of agriculture and life sciences*. Madison, WI: University of Wisconsin-Extension.
- Prado, R. M., Romualdo, L. M., Rozane, D. E. (2008) Aplicação de zinco em sementes de sorgo cv. BRS 304: efeitos na nutrição e no crescimento inicial. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 30 (4):471-478.

- Princi, M. P., Lupini, A., Araniti, F., Longo, C., Mauceri, A., Sunseri, F., Abenavoli, M. R. (2016) Boron toxicity and tolerance in plants: Recent advances and future perspectives. *Plant metal interaction*, 115-147.
- Reguera, M., Espi, A., Bolanos, L., Bonilha, I., Redondonieto, M. (2009) Endoreduplication before cell differentiation fails in boron-deficient legume nodules. Is boron involved in signalling during cell cycle regulation? *New Phytologist*, 183 (1):8-12.
- Ribas, P. M. (2014) Origem e importância econômica. In: Borém, A., Pimentel, LD., Parrela, R. *Sorgo: do plantio à colheita*. Viçosa: Editora UFV, p.9–36.
- Silva, F. W. A., Vieira, H. D., Baroni, D. F., Maitan, M. Q., Acha, A. J. (2017) Germination performance of Campo Grande (*Stylosanthes capitata/macrocephala*) styler seeds coated with different layers of inert material. *Journal of Experimental Agriculture International*, 18 (4):1-8.
- Silva, T. R. B., Soratto, R. P., Biscaro, T., Lemos, L. B. (2008) Aplicação foliar de boro e cálcio no feijoeiro. *Científica*, 34 (1):46-52.
- Silva-Matos, R. R. S. D., Albano, F. G., Cavalcante, Í. H. L., Pessoa Neto, J. A., Silva, R. L., Oliveira, I. V. D. M., Carvalho, C. I. F. S. (2017) Desenvolvimento inicial de mudas de melancia cv. Crimson Sweet em função de doses de boro aplicadas na semente. *Revista de Ciências Agrárias*, 40 (4):30-39.
- Singh, R. (2020) Calcium in plant biology: Nutrient and second messenger. *International Journal of Biological Innovations*, 2:31-35.
- Ulusik, I., Karakaya, H. C., Koc, A. (2018) The importance of boron in biological systems. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 45:156-162.
- Uraguchi, S., Fujiwara, T. (2011) Significant contribution of boron stored in seeds to initial growth of rice seedlings. *Plant and soil*, 340 (1):435-442.
- 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.

3.4. QUALIDADE FÍSICA E FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SORGO GRANÍFERO REVESTIDAS COM BORO E ZINCO

RESUMO

Os micronutrientes, boro e o zinco são os que mais apresentam deficiência nas culturas tropicais, dentre elas o sorgo, que se destaca como o quinto cereal mais cultivado no mundo. No Brasil, o sorgo tem alcançado baixa produtividade devido à baixa aplicação de tecnologia empregada e a adubação insuficiente. Neste trabalho objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de doses de B e Zn, via tratamento de sementes, na qualidade física e fisiológica das sementes e desenvolvimento inicial de plantas de sorgo granífero. Foram testadas doses de ácido bórico combinadas com doses de sulfato de zinco mais o tratamento controle (sementes não revestidas). As doses de B e Zn foram adicionadas às sementes através do processo de revestimento com calcário dolomítico, utilizando uma drageadora. Em seguida, foram realizadas avaliações físicas e fisiológicas das sementes e o crescimento e desenvolvimento inicial das plantas em casa de vegetação. Constatou-se que a metodologia utilizada no revestimento promoveu incrementos nas características físicas das sementes formando péletes resistentes. O uso das combinações de 1,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$, 2,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$ e 3,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$ influenciou positivamente a emergência e crescimento das plantas. Por outro lado, a combinação de 3,0 g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$ não é indicada para a aplicação em sementes de sorgo granífero, pois

reduziu o vigor das sementes e afetou negativamente o desenvolvimento das plantas.

Palavras-chave: Cereal, micronutrientes, fertilização, peletização.

3.4. PHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL QUALITY OF GRANITE SORGHUM SEEDS COATED WITH BORON AND ZINC

ABSTRACT

Micronutrients, boron and zinc are the most deficient in tropical crops, including sorghum, which stands out as the fifth most cultivated cereal in the world. Sorghum in Brazil has achieved relatively low productivity due to the low application of technology employed and insufficient fertilization. The objective of this work was to evaluate the effect of the application of doses of B and Zn, via seed treatment, on the physical and physiological quality of seeds and initial development of grain sorghum plants. Doses of boric acid combined with doses of zinc sulfate plus the control treatment (uncoated seeds) were tested. The doses of B and Zn were added to the seeds through the coating process with dolomitic limestone, using a drager. Then, physical and physiological evaluations of the seeds and the initial development of the plants in a greenhouse were carried out. It was found that the methodology used in the coating promoted increases in the physical characteristics of the seeds, forming resistant pellets. The use of the combinations of 1.0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$, 2.0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$ and 3.0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$ positively influenced the emergence and growth of plants. On the other hand, the combination of 3.0 g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$ is not indicated for application in grain sorghum seeds because it reduced seed vigor and negatively affected plant development.

Key word: Cereal, micronutrients, fertilization, pelleting.

INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como um dos maiores produtores de grãos do mundo com produção estimada em 271,7 milhões de toneladas na safra 2019/20, em contrapartida, a demanda por fertilizantes é crescente e atualmente o país é responsável por 7% do consumo global de fertilizantes comercializados, principalmente, com formulação NPK + micronutrientes ou apenas micronutrientes devido a uma deficiência destes na maioria dos solos tropicais (Conab, 2021; ANDA, 2018).

Dentre os micronutrientes, o boro e o zinco são os que mais se encontram em deficiência na maioria dos solos brasileiros devido à baixa fertilidade dos solos e pela exportação de nutrientes pelas colheitas (Malavolta, 2006), por isso torna-se necessário o fornecimento destes micronutrientes para suprir adequadamente a exigência nutricional das plantas e explorar o máximo do potencial produtivo das culturas.

O sorgo granífero (*Sorghum bicolor*) é uma cultura de grande importância mundial sendo o quinto cereal mais produzido no mundo (FAOSTAT, 2018). No Brasil, o sorgo tem se consolidado como cultura rentável para produção de grãos, principalmente, em épocas de safrinha devido o grão de sorgo possuir alta liquidez no mercado por apresentar a mesma qualidade nutricional do milho, podendo ser utilizado para os mesmos fins com a vantagem de possuir menor porcentagem de micotoxinas e menor custo de produção (Ribas, 2014).

Entretanto, apesar de ocupar posição de destaque no cenário internacional a produtividade nacional do sorgo é relativamente baixa e esta realidade, em parte, se deve ao sistema de produção de grãos das regiões produtoras do país que cultivam o sorgo granífero normalmente em condições marginais e com baixo uso de tecnologia, aproveitando a fertilidade residual dos solos (Parrella et al., 2014). Apesar da planta de sorgo possuir ampla adaptação edafoclimática com capacidade de produção em condições adversas e desfavoráveis à maioria dos demais cereais, quando se combina alta população de plantas e adubação insuficiente resulta em consequências negativas na produtividade da cultura (Magalhães et al., 2014).

Neste contexto, a técnica de revestimento de sementes se destaca como uma estratégia agrônômica promissora que surge para otimizar o cultivo de sorgo

a fim de melhorar o desempenho da cultura e contribuir para o arranque inicial das plantas no solo e, conseqüentemente, no aumento da produtividade (Mendonça et al., 2007). O revestimento possibilita a aplicação de micronutrientes, via sementes, que visa minimizar problemas de deficiência nutricional após os processos de germinação, no desenvolvimento das plantas e produção de grãos (Lopes e Nascimento, 2012).

Por serem requeridos em pequenas quantidades pelas plantas a adição de micronutrientes, via tratamento de sementes, apresenta vantagens relacionadas à maior uniformidade de distribuição e redução de custos pela minimização da quantidade aplicada quando comparada com a adubação via solo ou foliar (Faquin, 2005; Farooq et al., 2012). No entanto, deve-se atentar às doses utilizadas para evitar causar incorreções, pois há uma pequena amplitude de variação entre a dose recomendada e o aparecimento de deficiência ou toxicidade.

Desta forma o objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação de doses de ácido bórico e sulfato de zinco, via tratamento de sementes, na qualidade física e fisiológica das sementes, assim como no crescimento e desenvolvimento inicial de plantas de sorgo granífero.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em laboratório e casa de vegetação adotando o delineamento experimental inteiramente casualizado e em blocos ao acaso, respectivamente. Utilizou-se sementes comerciais de sorgo granífero (híbrido PR40G34) que foram revestidas.

O processo de revestimento das sementes foi realizado adaptando a metodologia empregada por Batista et al. (2020), utilizando uma drageadora de bancada N10 Newpack equipada com cuba de aço inoxidável com regulagem de velocidade, controle de pressão do spray que pulveriza o material cimentante e sistema de secagem. A drageadora foi regulada de modo que a cuba girasse à velocidade de 86 rpm e pressão de 4 bar no ar comprimido que ativa a solução cimentante durante 3 s, então, o ventilador de ar quente foi ligado à temperatura de 50 °C por 90 s. Para o revestimento foi utilizado calcário dolomítico como material de enchimento e cola à base de acetato de polivinila (PVA) diluída em

água previamente aquecida a 70 °C, na proporção 3:1 (entre água e cola, respectivamente) como material cimentante.

O revestimento foi realizado com quatro repetições por tratamento, com porção de 100 g de sementes cada. Com o equipamento ligado as sementes foram colocadas na cuba da drageadora, na sequência foi acionado o spray de solução adesiva e em seguida adicionada uma porção de material de enchimento (inicialmente 10 g de material). Logo após, outro spray de solução adesiva (3 s) foi aplicado e outra porção do material de enchimento (10 g de material) foi adicionada sobre as sementes, finalizando com outra aplicação de solução adesiva (3 s) e secagem com ventilador de ar (50 °C) durante 90 s. Este procedimento resultou na primeira camada de revestimento. Para a camada seguinte foi aplicado um jato de solução adesiva e uma porção de material de enchimento, então, outro jato de solução adesiva, acompanhado pela segunda porção de material de enchimento. Finalmente, um outro jato de solução adesiva foi aplicado, antes de acionar o ar quente final, que durou mais 90 s. Este procedimento foi repetido até completar os 200 g de material de enchimento, totalizando no final deste processo 10 camadas de revestimento.

Para os tratamentos que receberam adição do fertilizante ácido bórico (H_3BO_3 - 17% de B) e sulfato de zinco ($ZnSO_4$ - 20% de Zn), estes foram previamente macerados e passados em peneira de 0,25 mm, para então serem pesados e misturados nas porções de material de enchimento referentes a quinta camada de recobrimento (Acha et al., 2018). Seguindo a mesma metodologia de recobrimento relatada.

Foram testados dez tratamentos divididos em: TC) controle (sementes não revestidas); T1) sementes revestidas sem adição de micronutrientes; além dos tratamentos com adição de doses (em $g.kg^{-1}$ de sementes) de ácido bórico (H_3BO_3) e sulfato de zinco ($ZnSO_4$) combinadas T2) 1,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T3) 2,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T4) 3,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T5) 1,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T6) 2,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T7) 3,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T8) 1,0g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$; T9) 2,0 g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$; T10) 3,0 g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$.

Após o revestimento, as sementes foram avaliadas quanto às características físicas e fisiológicas em laboratório e casa de vegetação. Para as avaliações físicas, realizadas em laboratório, utilizou-se a biometria das

sementes, as quais foram determinadas no equipamento de análise de sementes (Groundeye®) utilizando quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento. As variáveis extraídas foram: diâmetro máximo (DMAX), diâmetro mínimo (DMIN) e área total da semente (AT), com os resultados expressos em centímetros (cm); Umidade: O teor de água das sementes foi determinado pelo método da estufa a 105 °C, por 24 horas conforme descrito na Regra de Análise de Sementes (Brasil, 2009);

As avaliações fisiológicas realizadas em laboratório foram; 1) Teste de Germinação (G): conduzido com quatro repetições de 50 sementes, utilizando como substrato rolo de papel germiteste umedecido com volume de água equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco. Após a semeadura, os rolos foram mantidos em germinador a 20-30°C submetidos ao fotoperíodo de 16 horas de escuro e 8 horas de luz, respectivamente. As avaliações foram realizadas no 10º dia após a semeadura, com o registro da porcentagem de plântulas normais (Brasil, 2009); 2) Índice de Velocidade de Germinação (IVG): conduzido juntamente com o teste de germinação, sendo efetuadas contagens diárias após o início do teste. Foram consideradas germinadas, as plântulas que apresentaram características normais de acordo com Brasil (2009) e para o cálculo do IVG foi utilizada a fórmula proposta por Maguire (1962); 3) Teste Frio sem solo (TF): foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes distribuídas em papel germiteste, conforme descrito para o teste de germinação. Os rolos foram colocados em sacos plásticos e permaneceram, durante 7 dias, em temperatura constante de 10 °C. Após esse período, foram transferidos para germinador a 20-30 °C e submetidos ao fotoperíodo de 16 horas de escuro e 8 horas de luz, respectivamente, onde permaneceram por mais sete dias. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (Brasil, 2009).

As características avaliadas em casa de vegetação foram; 1) Emergência (E): conduzido em vasos de 8 litros contendo areia previamente lavada. Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes, distribuídas em sulcos com 3 cm de profundidade e distantes 2 cm entre si. O substrato foi umedecido sempre que necessário e aos 15, 30 e 45 dias após a semeadura, foram aplicados 500 ml de solução nutritiva Hoagland (Hoagland e Arnon, 1950), com 25% da força iônica e desprovida de B e Zn, em cada vaso. A avaliação final das plântulas foi realizada aos 60 dias após a semeadura; 2) Índice de Velocidade de Emergência (IVE): foi

conduzido junto ao teste de emergência. A velocidade de emergência foi determinada anotando-se diariamente o número de plântulas emergidas com os coleóptilos acima do substrato, desde o início até o 30º dia após a semeadura. Para o cálculo do IVE foi utilizada a fórmula proposta por Maguire (1962).

Ao final do teste de emergência foram selecionadas 10 plantas de cada unidade experimental separando a parte aérea da raiz, onde foi medido o comprimento de ambas as partes com auxílio de uma régua milimetrada. Posteriormente foram armazenadas em sacos de papel e acondicionadas em estufa de circulação de ar a 65°C por 72 horas para determinação da massa seca de ambas as partes. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, ao teste Scott Knott a 5% de probabilidade para comparar as médias dos tratamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado, na figura 1, que o teor de água das sementes revestidas foi reduzido significativamente quando comparado às sementes do tratamento controle (não revestidas), entretanto não houve diferença significativa entre as sementes revestidas independente das doses de fertilizantes adicionadas. As sementes de sorgo granífero não revestidas (TC) apresentaram teor de água na faixa de 11% enquanto as sementes revestidas permaneceram na faixa de 5 a 7%.

Os resultados apresentados, na figura 1, corroboram com Acha et al. (2018), Baroni et al. (2020) e Batista et al. (2020) que verificaram redução no teor de água de sementes revestidas em relação às sementes não revestidas. Os autores afirmam que esta redução da umidade ocorre porque o material do revestimento aumenta a massa sem que ocorra um aumento proporcional na quantidade de água nas sementes, assim a água utilizada no recobrimento é perdida com mais facilidade do que a presente nas sementes.

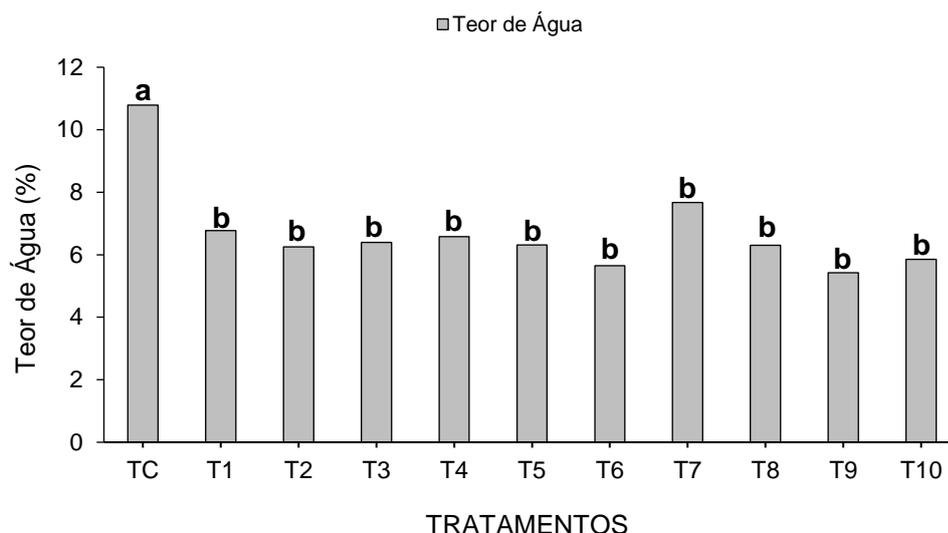


Figura 1. Teor de água de sementes de sorgo granífero revestidas. TC) controle; T1) sementes revestidas sem adição de micronutrientes. Doses de ácido bórico (H_3BO_3) e sulfato de zinco ($ZnSO_4$) em $g.kg^{-1}$ de sementes: T2) 1,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T3) 2,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T4) 3,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T5) 1,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T6) 2,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T7) 3,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T8) 1,0g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$; T9) 2,0 g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$; T10) 3,0 g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$. Barras seguidas pela mesma letra minúscula pertencem a um mesmo grupo pelo critério de agrupamento Scott Knott a 5% de probabilidade.

Deste modo, pode-se afirmar que a temperatura de secagem ($50\text{ }^{\circ}C$) utilizada durante o processo de revestimento foi eficiente proporcionando a confecção de péletes secos. A etapa de secagem influencia diretamente na qualidade das sementes revestidas, pois quando as camadas de revestimento permanecem com alto teor de água é formado um filme de água que fica retido nos poros e pode prejudicar as trocas gasosas e, conseqüentemente, a germinação das sementes (Silva e Nascimento, 2009). Além disto, quando o revestimento permanece com alto teor de água pode ocorrer a desintegração da cobertura depositada sobre as sementes revestidas durante o manejo e afetar a qualidade fisiológica das mesmas durante o período de armazenamento (Carvalho e Nakagawa, 2012).

Em relação à biometria das sementes foi observado (Figura 2) que o tratamento controle diferiu significativamente dos demais tratamentos apresentando os menores valores médios em todas as variáveis físicas analisadas

(diâmetro máximo, diâmetro mínimo e área total) devido ao não revestimento destas sementes.

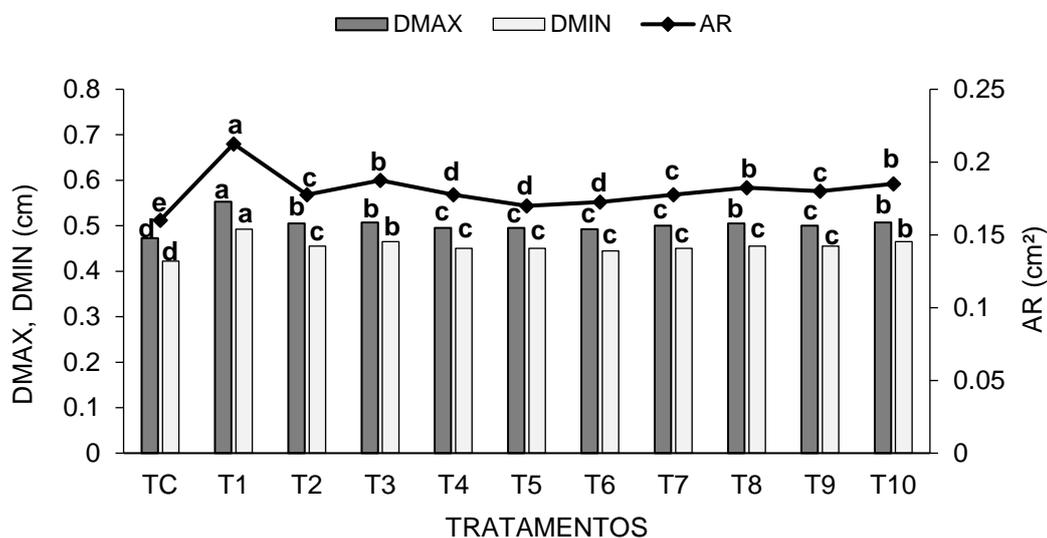


Figura 2. Diâmetro Máximo (DMAX), Diâmetro Mínimo (DMIN) e Área total (AR) de sementes de sorgo granífero revestidas. TC) controle; T1) sementes revestidas sem adição de micronutrientes. Doses de ácido bórico (H_3BO_3) e sulfato de zinco ($ZnSO_4$) em $g.kg^{-1}$ de sementes: T2) 1,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T3) 2,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T4) 3,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T5) 1,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T6) 2,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T7) 3,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T8) 1,0g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$; T9) 2,0 g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$; T10) 3,0 g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$. Barras seguidas pela mesma letra minúscula pertencem a um mesmo grupo pelo critério de agrupamento Scott Knott a 5% de probabilidade.

Área total, diâmetros máximo e mínimo são variáveis referentes à geometria da semente e são responsáveis por descrever a região ocupada pela semente no plano da imagem e demonstram o quanto a semente aumentou de tamanho quando submetida aos tratamentos de revestimento (Acha et al., 2020). Pode-se afirmar que os tratamentos utilizados neste trabalho foram efetivos para alterar o tamanho e a forma das sementes após os processos de revestimento, justificando os maiores valores encontrados. Deste modo, foi atingido o primeiro objetivo do processo de revestimento, que consiste em melhorar e modificar a forma e o tamanho da semente, eliminando a aspereza e deformações o que deve proporcionar maior precisão e uniformidade na semeadura e na aplicação de produtos químicos (Mendonça et al., 2007).

Vale destacar que o T1 (revestido somente com material de enchimento) obteve os maiores valores médios em todas as variáveis físicas analisadas diferindo significativamente dos demais tratamentos (Figura 2). Esses resultados corroboram com os encontrados por Acha et al. (2016), que observaram que o uso de doses de zinco e boro no revestimento de sementes de soja perene prejudicou a qualidade do mesmo e à medida que as doses aumentaram a fixação do revestimento diminuiu, conseqüentemente houve diminuição da espessura das sementes revestidas devido à menor aderência dos materiais de enchimento com os micronutrientes às camadas de revestimento.

Segundo Acha (2020) a baixa adesividade dos micronutrientes durante o revestimento das sementes é devido ao excesso de partículas iguais que impedem, principalmente, a fixação do material de enchimento (calcário dolomítico), conseqüentemente reduzindo a espessura das sementes mesmo com o aumento da quantidade de fertilizante adicionado, pois para obter um revestimento eficaz a proporção e o tamanho das partículas devem ser adequados para favorecer o encaixe perfeito dessas.

Houve efeito significativo dos tratamentos ($p \leq 0,05$) utilizados no revestimento das sementes para as variáveis: índice de velocidade de germinação (IVG) e teste frio (TF), já a variável germinação (G) não apresentou diferença significativa (Tabela 1).

Na tabela 1 foi observado que o IVG das sementes do tratamento controle diferiu significativamente dos demais tratamentos apresentando índice maior, este resultado ocorre devido ao não revestimento destas sementes. Para as sementes revestidas há a necessidade de umedecer mais uma barreira física além do tegumento, para que o embrião e o tecido de reserva iniciem os processos de absorção de água e trocas gasosas com o meio externo, conseqüentemente, ocorre um atraso no processo de germinação destas sementes (Marcos Filho, 2016), justificando assim os menores valores de IVG encontrados.

Tabela 1. Índice de velocidade de germinação (IVG), germinação (G) e teste frio sem solo (TF) de sementes de sorgo granífero revestidas. TC) controle; T1) sementes revestidas sem adição de micronutrientes. Doses de ácido bórico (H_3BO_3) e sulfato de zinco ($ZnSO_4$) em $g.kg^{-1}$ de sementes: T2) 1,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T3) 2,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T4) 3,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T5) 1,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T6) 2,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T7) 3,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T8) 1,0g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$; T9) 2,0 g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$; T10) 3,0 g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$

Tratamentos	Variáveis Avaliadas		
	IVG	G	TF
 (%)	
TC	22,52 a	86,5 ^{ns}	44,5 c
T1	20,92 b	85,0	75,5 a
T2	19,57 c	80,5	71,5 a
T3	19,75 c	80,5	75,5 a
T4	20,64 b	83,5	72,0 a
T5	20,58 b	83,5	73,5 a
T6	19,85 c	81,5	70,5 a
T7	20,61 b	81,0	76,0 a
T8	19,48 c	81,0	66,5 a
T9	19,73 c	83,0	62,0 b
T10	18,03 d	74,0	61,0 b

^{ns} Não significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$). *Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna, pertencem a um mesmo grupo pelo critério de agrupamento Scott Knott a 5% de probabilidade.

Observou-se também que o T10 apresentou o menor IVG diferindo significativamente dos demais tratamentos, este resultado possivelmente está associado as mais altas doses de zinco e boro adicionadas neste tratamento (Tabela 1). Os fertilizantes usados como fonte de micronutrientes são caracterizados por serem sais e em alta concentração são fator de estresse para as plantas, pois ocasionam a diminuição do potencial osmótico circundante da semente, o que acaba restringindo a absorção de água e, portanto, atrasando a

germinação das sementes (Carvalho et al., 2012). Resultados semelhantes foram observados por Xavier et al. (2016), que verificaram atraso na velocidade de germinação (IVG) de sementes de estilosantes revestidas com altas doses de Zn e B.

Analisando a variável germinação foi verificado que os diferentes tratamentos não interferem significativamente na qualidade fisiológica das sementes de sorgo (Tabela 1). Esses resultados corroboram com Araujo et al. (2016), que ao trabalhar com a aplicação de fontes de zinco e boro em sementes de trigo verificaram que a germinação das sementes não foi influenciada pela aplicação de Zn e B. Tavares et al. (2013), também concluíram que o tratamento de sementes de trigo com micronutrientes (Zn, B e Mo) não afetou a germinação.

Entretanto pôde-se observar que, apesar de não diferir significativamente dos demais tratamentos, o T10 apresentou a menor porcentagem de plântulas normais (74%) dentre os tratamentos e não atingiu o padrão mínimo para produção e comercialização de sementes de sorgo estabelecido pela Instrução Normativa do MAPA 45/2013, que estabelece germinação mínima de 80% (Brasil, 2013). Esses resultados reafirmam que a dosagem de micronutrientes adicionados ao tratamento T10 interferiu no potencial hídrico circundante do revestimento e causou toxidez às sementes, ocasionando a redução da germinação das sementes.

Em relação ao teste frio, foi observado que o tratamento controle apresentou a menor média de plântulas normais (44,5%) diferindo significativamente dos demais tratamentos que obtiveram germinação média acima de 60% (Tabela 1). Estes resultados indicam que o revestimento com calcário dolomítico atuou de forma positiva no vigor das sementes de sorgo, em condições de baixas temperaturas, culminando nas maiores taxas de germinação das sementes revestidas.

A temperatura ideal para uma boa germinação das sementes de sorgo está na faixa de 21 e 35 °C. Em baixas temperaturas as sementes ficam suscetíveis às injúrias causadas às membranas no momento de embebição das sementes, uma vez que, a temperatura é um dos fatores ambientais que interfere tanto no processo de hidratação das sementes como nas reações metabólicas necessárias para o processo germinativo (Carvalho e Nakagawa, 2012). Porém,

nota-se que esse efeito prejudicial pode ser reduzido com o revestimento que confere proteção às sementes.

Dentre os nutrientes disponibilizados pelo revestimento, o cálcio presente no calcário dolomítico é prontamente disponibilizado às sementes e atua na formação e na integridade das membranas da parede celular (Faquin, 2005), desta forma, pode-se afirmar que o cálcio age protegendo os tecidos das sementes revestidas contra injúrias que ocorrem durante os primeiros estágios de embebição e garante um desenvolvimento uniforme mesmo na presença de sais solúveis.

O magnésio, também disponibilizado pelo revestimento, tem papéis específicos na ativação de grande número de enzimas no metabolismo das plantas (Malavolta, 2006). Durante o processo de germinação, a quebra de reservas por enzima e a produção de energia para a produção de novos tecidos depende da respiração que é um processo em que ocorrem várias enzimas com transferência de grupamentos fosfatos. Nas plantas, a maior parte das enzimas que transferem grupos fosfatos é ativada pelo magnésio (Faquin, 2005; Marchner, 2012). Assim, pode-se inferir que o magnésio estimulou a atividade enzimática mantendo os processos de quebra de reserva, a germinação e o crescimento inicial das plantas, mesmo em condições desfavoráveis.

Em relação às variáveis analisadas em casa de vegetação foi observado que houve efeito significativo dos tratamentos ($p \leq 0,05$) utilizados no revestimento, na emergência (E) e índice de velocidade de emergência (IVE), já as variáveis comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos.

Ao analisar o IVE foi observado que o T1 se destacou positivamente com o maior índice (4,71) diferindo significativamente dos demais, superando até mesmo as sementes do tratamento controle. Já o T10 obteve o menor índice (1,47) sendo significativamente inferior aos demais tratamentos (Figura 3).

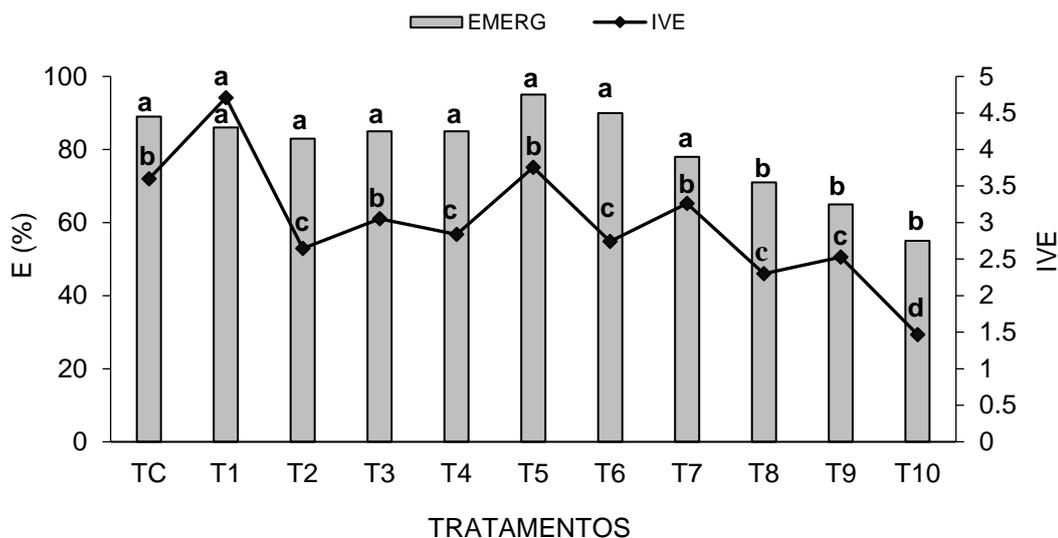


Figura 3. Emergência (E) e Índice de velocidade de emergência (IVE) de sementes de sorgo granífero revestidas. TC) controle; T1) sementes revestidas sem adição de micronutrientes. Doses de ácido bórico (H_3BO_3) e sulfato de zinco ($ZnSO_4$) em $g.kg^{-1}$ de sementes: T2) 1,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T3) 2,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T4) 3,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T5) 1,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T6) 2,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T7) 3,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T8) 1,0g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$; T9) 2,0 g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$; T10) 3,0 g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$. Barras e marcadores seguidos pela mesma letra minúscula pertencem a um mesmo grupo pelo critério de agrupamento Scott Knott a 5% de probabilidade.

Pode-se observar que para as sementes do T1 o revestimento, somente com material de enchimento, não prejudicou o desenvolvimento inicial das plântulas apesar do mesmo formar uma barreira física externa ao tegumento que influencia diretamente no desenvolvimento inicial das sementes (Figura 3). Este resultado pode estar relacionado com a disponibilidade dos nutrientes presentes no calcário dolomítico, que atuaram de forma benéfica na emergência destas plântulas protegendo as sementes contra estresses abióticos muito comuns em casa de vegetação onde não há controle de temperatura e água tão eficiente como no germinador.

O cálcio atua aumentando a resistência do tegumento contra estresses bióticos e abióticos além de ser importante no desenvolvimento das raízes e no alongamento celular, sendo um nutriente necessário na translocação e armazenamento de carboidratos e proteínas (Singh, 2020). Já o magnésio está relacionado a muitos processos metabólicos, pois atua na ativação enzimática e

participa de uma série de processos vitais da planta que requerem e fornecem energia, como a fotossíntese, respiração, síntese de macromoléculas e absorção iônica (Faquin, 2005). Além disto, estes nutrientes foram disponibilizados diretamente às radículas das plântulas recém-formadas atuando diretamente no desenvolvimento das mesmas.

Esses resultados corroboram com Acha (2020) e Xavier et al. (2016) ao trabalharem com revestimento de sementes de braquiária e de estilosantes, respectivamente, com Zn e B. Em ambos os trabalhos os autores verificaram que as plântulas oriundas das sementes revestidas somente com material de enchimento (silicato de cálcio) apresentaram maior IVE, afirmando que o revestimento foi benéfico, pois conferiu proteção às sementes contra os estresses causados em casa de vegetação.

Observou-se também, na figura 3, que o T10 diferiu significativamente dos demais tratamentos apresentando o menor IVE (1,47) assim como foi observado para o IVG (tabela 1). Estes resultados confirmam que a dose de micronutrientes utilizada no T10 ocasionou um excesso de sal em torno das sementes causando um efeito fitotóxico que somado às condições de estresse presentes em casa de vegetação promoveu atraso na absorção de água das sementes e conseqüentemente prejudicou a emergência destas. Portanto, este tratamento não atende às características de um bom recobrimento, pois afeta o vigor das sementes acarretando na diminuição e atraso da formação de plântulas normais que resulta na desuniformidade da lavoura e, conseqüentemente, reduz a produtividade (Acha, 2020).

Em relação à emergência das plântulas de sorgo, foi observado que os tratamentos T8, T9 e T10 diferiram estatisticamente dos demais apresentando as menores porcentagens de emergência (Figura 3). Estes resultados podem ser atribuídos a ação conjunta do revestimento com as maiores doses de fertilizantes utilizadas nestes tratamentos, uma vez que, os efeitos fisiológicos dos nutrientes nas plantas não podem ser avaliados separadamente, pois ocorrem interações entre os nutrientes que podem afetar vários processos metabólicos nas plantas como a fotossíntese, respiração, utilização e translocação de carboidratos (Marschner, 2012).

Resultados semelhantes foram encontrados por Acha et al. (2016) ao estudarem o efeito do Zn e B no revestimento de sementes de soja perene. Os

autores verificaram que conforme houve aumento das doses de fertilizantes adicionadas ao revestimento das sementes houve uma diminuição significativa na emergência das plântulas observadas. Já Xavier et al. (2016) ao trabalhar com sementes de estilosantes revestidas com Zn e B, observaram que todos os tratamentos em que houve adição de micronutrientes diferiram significativamente do controle com as menores porcentagens de emergência, no entanto, é importante notar que as doses utilizadas pelos autores foram muito maiores do que as empregadas neste trabalho.

Na figura 4 encontram-se os resultados referentes à massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca do sistema radicular (MSR), comprimento de parte aérea (CPA) e comprimento do sistema radicular (CR) das plântulas de sorgo aos 60 dias após a semeadura em casa de vegetação. Foi verificado efeito das doses dos micronutrientes nas variáveis analisadas, entretanto, por não ter encontrado diferença significativa ($p \leq 0,05$) pela análise de variância entre os tratamentos efetuou-se uma análise descritiva dos dados.

Pode-se observar que, de modo geral, o T10 foi o tratamento que apresentou as menores médias para as variáveis analisadas (Figura 4), acredita-se que este fato se deve a combinação das maiores doses de B e Zn (3,0 g H_3BO_3 + 40 g de $ZnSO_4$) utilizadas neste trabalho. Possivelmente, a junção de altas doses dos micronutrientes boro e zinco causou um efeito fitotóxico e isto inferiu negativamente no crescimento radicular das plântulas de sorgo recém-formadas.

Segundo Baitelle et al. (2018) um sistema radicular de alta densidade tem a capacidade de explorar maior volume de solo e uma maior capacidade de absorção de água e nutrientes, e, conseqüentemente, maior tolerância ao déficit de água, culminando de forma significativa no desenvolvimento das plantas. Desta forma, pode-se afirmar que o menor CR observado para as plantas do T10 influenciou diretamente no menor CPA e na menor produção de massa seca total nas plantas.

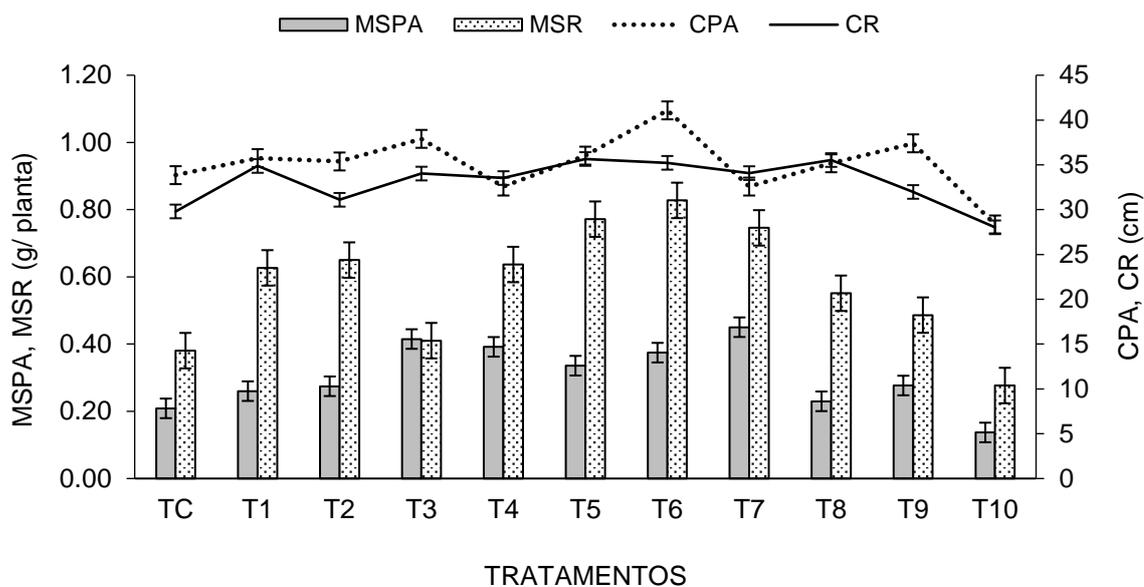


Figura 4. Comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) de sementes de sorgo granífero revestidas. TC) controle; T1) sementes revestidas sem adição de micronutrientes. Doses de ácido bórico (H_3BO_3) e sulfato de zinco ($ZnSO_4$) em $g.kg^{-1}$ de sementes: T2) 1,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T3) 2,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T4) 3,0 g H_3BO_3 + 20 g $ZnSO_4$; T5) 1,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T6) 2,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T7) 3,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$; T8) 1,0g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$; T9) 2,0 g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$; T10) 3,0 g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$.

Observou-se também que, nos tratamentos em que houve aplicação de micronutrientes às sementes, com exceção do T10, as plantas apresentaram melhor desenvolvimento com maior CR e conseqüentemente maior produção de massa seca quando comparadas as plantas dos tratamentos TC e T1 que não houve aplicação de fertilizantes (Figura 4). Estes resultados confirmam que, na dosagem adequada, a aplicação de micronutrientes às sementes é benéfica ao desenvolvimento das plantas.

O zinco atua ativando as peptidases, intensificando a hidrólise das proteínas de reserva e, com isso, a suplementação de esqueletos carbônicos ao eixo embrionário, acelerando ou intensificando seu crescimento, além disso, o Zn participa da síntese do triptofano que é o precursor da biossíntese AIA, que é o principal hormônio promotor do crescimento nas plantas (Marengo e Lopes, 2007; Kirkby e Römheld, 2007). Já o B tem papel importante na formação da parede celular das plantas, bem como na regulação da síntese e estabilidade de seus constituintes, além de participarem dos processos de divisão e alongamento,

tornando-o essencial para o desenvolvimento das raízes e dos pontos de crescimento (Faquin, 2005).

Os resultados apresentados na figura 4 corroboram com os encontrados por Baroni et al. (2020) ao trabalhar com diferentes doses de fertilizantes aplicadas em sementes de estilosantes revestidas, pois apesar dos autores também não encontrarem diferença estatística no comprimento e produção de massa seca das plantas foi possível verificar efeito das doses do fertilizante nessas variáveis durante o desenvolvimento das plantas. Já Araujo et al. (2016) observaram que a aplicação de sulfato de zinco + ácido bórico (Zn+B) influenciou o vigor das sementes de trigo tratadas, pois o tratamento proporcionou maior incremento no comprimento e na massa seca de parte aérea e raiz das plântulas diferindo de forma significativa da testemunha.

Neste sentido, pode-se afirmar que o tratamento de sementes de sorgo granífero presente neste estudo foi benéfico, pois confeccionou péletes resistentes que conferiram proteção e aumentou o vigor das sementes, além de melhorar o desenvolvimento das plantas em condições de campo fornecendo nutrientes diretamente às sementes e minimizando o custo de produção através da aplicação eficiente de doses adequadas de fertilizantes.

CONCLUSÃO

A técnica de revestimento utilizada foi eficiente para aumentar e modificar a forma das sementes, proporcionando incrementos na área total, diâmetro máximo e mínimo a todas as sementes revestidas.

O revestimento com calcário dolomítico atuou de forma positiva no vigor das sementes de sorgo revestidas proporcionando maiores taxas de germinação em condições de baixas temperaturas, quando comparadas às sementes do controle.

Os tratamentos T5 (1,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$), T6 (2,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$) e T7 (3,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$) favoreceram a emergência e crescimento das plantas, sendo indicados para o revestimento das sementes de sorgo granífero.

O tratamento T10 (3,0 g H₃BO₃ + 40 g ZnSO₄) não é indicado para a aplicação em sementes de sorgo granífero, pois reduziu o vigor das sementes e afetou negativamente o desenvolvimento das plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acha, A. J. (2020) *Caracterização física e fisiológica de sementes de Neonotonia wightii cv. comum e Brachiaria brizantha cv. mg revestidas em drageadora*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 110p.
- Acha, A. J., Vieira, H. D. (2020) Digital image processing of coated perennial-soybean seeds and correlation with physiological attributes. *Journal of Seed Science*, 42:1–12.
- Acha, A. J., Vieira, H. D., de 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 (5):1-9.
- 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 (37):1998-2005.
- Araujo, M. M. V., Sousa, J. R., Camili, E. C. (2016) Germinação de sementes de trigo tratadas com zinco e boro. *Revista de Agricultura*, 91 (3):274-284.
- Associação nacional para difusão de adubos (ANDA). Estatísticas. Disponível em: <<http://anda.org.br>> Acesso em: 03 abr. 2020.
- Baitelle, D. C., Baroni, D. F., Vieira, K. M., Freitas, S. J., Meneghelli, C. M., Berilli, S. S., Haddade, I. R. Verdin-Filho, A. C. (2018) Pit Dimensions in the Early Development of Conilon Coffee Propagated by Seeds and Cuttings. *Journal of Experimental Agriculture International*, 20 (1):1-8.
- Baroni, D. F., Vieira, H. D. (2020) Coating seeds with fertilizer: A promising technique for forage crop seeds. *Ciência e Agrotecnologia*, 44:1-11.

- Batista, V. A. P., Vieira, H. D., Pires, J. I. C., Baroni, D. F., Silva, F. W. A. (2020) Qualidade de Sementes de Sorgo Grão Revestidas com Diferentes Combinações de Materiais. *Journal of Experimental Agriculture International*, 42 (12):26-38.
- Brasil (2009) *Regras para Análise de Sementes/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*. Secretaria de defesa agropecuária- Brasília: Mapa/ACS, 395p.
- Brasil (2013) Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 183, 20 set. 2013b. Seção 1, p.17-20.
- Carvalho, N. M., Nakagawa, J. (2012) Sementes: ciência, tecnologia e produção. 5 ed. Jaboticabal: FUNEP, 590p.
- Carvalho, T. C., Silva, S. S., Silva, R. C., Panobianco, M. (2012) Germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja convencional e sua derivada transgênica RR em condições de estresse salino. *Ciência Rural*, 42 (8):1366-1371.
- CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento. (2021) Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2020/21. 8º Levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>
- FAOSTAT (2018) *Food agriculture organization of the United Nations*. Statistics Division.
- Faquin, V. (2005) *Nutrição de plantas*. Lavras: UFLA/FAEPE, 183p.
- Farooq, M., Wahid, A., Siddique, K. H. M. (2012) Micronutrient application through seed treatments: a review. *Journal of soil science and plant nutrition*, 12 (1):125-142.
- Kirkby, E. A., Römheld, V. (2007) Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. Encarte Técnico, *Informações Agrônomicas*, 118, 24p.
- Lopes, A. C. A., Nascimento, W. M. (2012) Peletização de sementes de hortaliças. *Embrapa Hortaliças – Brasília – DF, Documentos*, 137, 28p.

- Lopes, A. S. (1984) Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo. Piracicaba: POTAFÓS, 162p.
- Magalhães, P. C., Souza, T. C., May, A., Lima Filho, O. F., dos Santos, F. C., Moreira, J. A. A., Leite, E. P., Albuquerque, C. J. B., Freitas, R. S. (2014) Exigências edafoclimáticas e fisiologia da produção. *In: Borém, A., Pimentel, L. D., Parrella, R. Sorgo: do plantio à colheita*. Viçosa: Editora UFV, p.58-88.
- Maguire J. D. (1962) Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2:176-177.
- Malavolta E. (2006) *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Editora Agronômica, 638 p.
- Marcos Filho, J. (2016) *Seed physiology of cultivated plant*. ABRATES, 616 p.
- Marenco, R. A., Lopes, N. F. (2007) *Fisiologia Vegetal*. 2. ed. Viçosa: Editora UFV. 469 p.
- Marschner, P. (2012) *Mineral nutrition of higher plants*. 3. ed. Oxford: Elsevier, 643p.
- Mendonça, E. A. F., Carvalho, N. M., Ramos, N. P. (2007) Revestimento de sementes de milho superdoce (sh2). *Revista Brasileira de Sementes*, 29(2):68-79.
- Parrella, R. A. C., Menezes, C. B., Rodrigues, J. A. S., Tardin, F. D., Parrella, N. N. L. D., Schaffert, R. E. (2014) Cultivares. *In: Borém, A., Pimentel, L. D., Parrella, R. Sorgo: do plantio à colheita*. Viçosa: Editora UFV, p.169–187.
- Ribas, P. M. (2014) Origem e importância econômica. *In: Borém, A., Pimentel, L. D., Parrella, R. Sorgo: do plantio à colheita*. Viçosa: Editora UFV, p.9–36.
- Silva J. B. C., Nascimento W. M. (2009) Pelletising of vegetable seeds. *In: Nascimento W.M. Vegetable Seed Technology*. Brasília: Embrapa Vegetables, 309-341.
- Singh, R. (2020) Calcium in plant biology: Nutrient and second messenger. *International Journal of Biological Innovations*, 2:31-35.

- Tavares, L. C., Rufino, C. D. A., Brunes, A. P., Friedrich, F. F., Barros, A. C. S. A., Villela, F. A. (2013) Physiological performance of wheat seeds coated with micronutrients. *Journal of Seed Science*, 35 (1):28-34.
- Xavier, P. B., Vieira, H. D., Amorim, M. M. (2016) Physiological potential of *Stylosanthes* spp. seeds cv. Campo Grande in response to coating with zinc and boron. *Journal of seed science*, 38 (4):314-321.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

O sorgo é o quinto cereal mais cultivado no mundo com produção média de 60 milhões de toneladas ao ano, superado apenas pelo trigo, milho, arroz e cevada (FAOST, 2018). No cenário agropecuário nacional, o sorgo granífero tem se apresentado como uma cultura de grande importância em função de suas características agronômicas e por possuir grão com propriedades nutricionais semelhantes às do milho e poder ser utilizado para os mesmos fins (Ribas, 2014).

Entretanto, a média nacional de produção de sorgo está muito abaixo do potencial de rendimento dos híbridos encontrados no mercado. Esta realidade, em parte, se deve ao sistema de produção de grãos do país que cultivam o sorgo granífero normalmente num período tardio de safrinha em condições marginais, com baixa aplicação de tecnologia e relegado a terras pouco férteis utilizando do aproveitamento da fertilidade residual das culturas de verão (Parrella et al., 2014).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi definir uma metodologia de revestimento para sementes de sorgo granífero com a finalidade de melhorar a qualidade física e fisiológica das sementes e incorporar nutrientes ao processo de revestimento visando garantir o crescimento, desenvolvimento e estabelecimento uniforme das plantas no campo. Para isto, este trabalho foi dividido em quatro experimentos de forma que no primeiro fosse determinado a melhor combinação de material de enchimento e material adesivo para formar um pélete de qualidade e assim determinar o revestimento para os próximos trabalhos; no segundo foi testado doses de sulfato de zinco ($ZnSO_4$) adicionadas ao revestimento já

definido; no terceiro trabalho foram aplicadas doses de ácido bórico (H_3BO_3) ao revestimento; e no quarto experimento doses de ácido bórico (H_3BO_3) e sulfato de zinco ($ZnSO_4$) foram combinadas a fim de determinar a melhor dosagem a ser utilizada no revestimento das sementes sem prejudicar a qualidade física e fisiológica das sementes .

No primeiro experimento verificou-se que o revestimento promoveu incrementos nas características físicas das sementes. O revestimento com silicato de cálcio apresentou os melhores resultados nas características físicas, porém afetou negativamente a taxa de germinação das plantas. O revestimento com calcário e calcário + areia apresentando as maiores taxas na germinação e massa seca de raiz. O material adesivo na proporção de cola 3:1, formou péletes firmes, consistentes, de boa qualidade e que não atrapalharam o desenvolvimento das plantas.

No segundo experimento, a aplicação de sulfato de zinco nas sementes de sorgo afetou o comprimento e produção de massa seca da parte aérea e raiz das plantas, entretanto não afetou as características físicas, a germinação e nem a emergência das sementes revestidas. O sulfato de zinco aplicado às sementes de sorgo acumulou-se principalmente nas raízes.

No terceiro capítulo, a aplicação de boro nas sementes de sorgo aumentou o tamanho das sementes revestidas. Houve interferência das doses de boro aplicadas na qualidade fisiológica das sementes, aumentando o vigor até a dose de 2,5 g/kg de boro, após essa dose a qualidade das sementes foi prejudicada e houve redução do comprimento e produção de massa seca da parte aérea e raiz das plantas. O boro aplicado às sementes de sorgo acumulou-se principalmente nas raízes.

No quarto experimento, as doses testadas não interferiram significativamente a germinação e emergência das sementes. O revestimento foi eficiente em promover aumentos significativos nas variáveis físicas das sementes e em reduzir a umidade das sementes revestidas em função da adição de material de enchimento às mesmas. As combinações de 1,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$, 2,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$ e 3,0 g H_3BO_3 + 30 g $ZnSO_4$ não interferiram na qualidade fisiológica das sementes além de favorecerem a emergência e crescimento das plantas. Já a combinação 3,0 g H_3BO_3 + 40 g $ZnSO_4$ reduziu

significativamente o vigor das sementes de sorgo granífero, não sendo indicada para revestimento dessas sementes.

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, pôde-se constatar que as sementes de sorgo granífero podem ser revestidas com calcário dolomítico e cola a base de PVA diluída em água na proporção 3:1. Podendo receber durante o revestimento doses isoladas de sulfato de zinco até 10 g/kg de sementes e 2,5 g/kg de sementes de doses isoladas de ácido bórico, ambas na quinta camada do revestimento. Quando combinadas as dosagens de 1,0 g H_3BO_3 + 30 g ZnSO_4 , 2,0 g H_3BO_3 + 30 g ZnSO_4 e 3,0 g H_3BO_3 + 30 g ZnSO_4 (g/kg de sementes) podem ser adicionadas às sementes de sorgo durante o revestimento sem que afete a qualidade física e fisiológica das mesmas.

Desta forma, conclui-se que a metodologia de revestimento definida neste trabalho contribui para aumentar o tamanho das sementes, aumentar a uniformidade e facilitar as operações de semeio, além de levar ao mercado uma semente enriquecida com os micronutrientes zinco e boro mantendo a qualidade fisiológica das sementes além de otimizar o uso dos insumos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, C. A., Lopes, A. L., Santos, G. (2007) Micronutrientes. *In*: Novai, R. F., Alvarez, V. V. H., Barros, N. F., Fontes, R. L. F., Cantarutti, R. B., Neves, J. C. L. *Fertilidade do solo*. 5. ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.645–736.
- Acha, A. J. (2020) *Caracterização física e fisiológica de sementes de Neotonnia wightii cv. comum e Brachiaria brizantha cv. MG5 revestidas em drageadora*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 110p.
- Acha, A. J., Vieira, H. D. (2020) Digital image processing of coated perennial-soybean seeds and correlation with physiological attributes. *Journal of Seed Science*, 42:1–12.
- Acha, A. J., Vieira, H. D., de 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 (5):1-9.
- 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 (37):1998-2005.

- Afzal, I., Javed, T., Amirkhani, M., Taylor, A. G. (2020) Modern Seed Technology: Seed Coating Delivery Systems for Enhancing Seed and Crop Performance. *Agriculture*, 10 (11):1-20.
- Albano, F. G., Silva-Matos, R. R. S., Cavalcante, Í. H. L., Silva, R. L., de Sousa Marques, A., Costa, L. S. (2015) Imperial'melon plant seedlings initial development in function of boron doses applied in the seed. *Científica*, 43 (4):348-352.
- Alcarde, J. A., Rodella, A. A. (2003) Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. *In*: Curi, N., Marques, J. J., Guilherme, L. R. G., Lima, J. M., Lopes, A. S., Alvares V., V. H. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa, Sociedade brasileira de Ciência do Solo, p.291-334.
- Araújo, É. D. O., dos Santos, E. F., Camacho, M. A. (2013) Absorção de cálcio e magnésio pelo algodoeiro cultivado sob diferentes concentrações de boro e zinco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 8 (3):383-389.
- Araujo, M. M. V., Sousa, J. R., Camili, E. C. (2016) Germinação de sementes de trigo tratadas com zinco e boro. *Revista de Agricultura*, 91 (3):274-284.
- Assmann, J. M. (2009) *Produção de forragem e sementes de trevo branco (Trifolium repens L.) em função de manejos de corte e doses de boro*. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Pato Branco – PR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFP, 127p.
- Associação nacional para difusão de adubos (ANDA). Estatísticas. Disponível em: <<http://anda.org.br> > Acesso em: 03 abr. 2020.
- Baitelle, D. C., Baroni, D. F., Vieira, K. M., Freitas, S. J., Meneghelli, C. M., Berilli, S. S., Haddade, I. R. Verdin-Filho, A. C. (2018) Pit Dimensions in the Early Development of Conilon Coffee Propagated by Seeds and Cuttings. *Journal of Experimental Agriculture International*, 20 (1):1-8.
- Baroni, D. F., Vieira, H. D. (2020) Coating seeds with fertilizer: A promising technique for forage crop seeds. *Ciência e Agrotecnologia*, 44.

- Barros, A. F. D. (2016) *Avaliação da aplicação de polímero superabsorvente em sementes e no sulco de plantio na cultura do sorgo*. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 56p.
- Batista, V. A. P., Vieira, H. D., Pires, J. I. C., Baroni, D. F., Silva, F. W. A. (2020) Quality of grain sorghum seeds coated with different combinations of materials. *Journal of Experimental Agriculture International*, 42 (12):26-38.
- Baudet, L., Peres, W. (2004) Recobrimento de sementes. *Seed News*, 8:20-23.
- Borges, I. F., Franco, A. A. N., Kondo, M. K., Martins, D. C., Teixeira, E. C., Moreira, S. G. (2016) Acúmulo de macronutrientes na cultura do sorgo granífero na safrinha. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 15 (2):294 – 304.
- Brasil (2009). *Regras para Análise de Sementes*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de defesa agropecuária - Brasília: Mapa/ACS, 395 p.
- Brasil (2013) *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*. Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 183, 20 set. 2013b. Seção 1, p.17-20.
- Cakmak, I. (2005) Effect of micronutrients on seed quality. *Plant nutrition for food security, human health and environmental protection*. China: Tsinghua University Press, p.384-385.
- Carvalho, N. M., Nakagawa, J. (2012) *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 590p.
- Carvalho, T. C., Silva, S. S., Silva, R. C., Panobianco, M. (2012) Germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja convencional e sua derivada transgênica RR em condições de estresse salino. *Ciência Rural*, 42 (8):1366-1371.
- Castro, F. M. R. (2014) *Potencial agrônomo e energético de genótipos de sorgo biomassa*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Lavras – MG, Universidade Federal de Lavras - UFLA, 84p.

- Coelho, A. M. (2015) Manejo da fertilidade do solo, exigências nutricionais e adubação do sorgo granífero cultivado na safrinha: https://www.researchgate.net/publication/272173385_manejo_da_fertilidade_d_o_solo_exigencias_nutricionais_e_adubacao_do_sorgo_granifero_cultivado_n_a_safrinha em: 21/09/2018.
- Coelho, A. M., Waquil, J. M., Karam, D., Casela, C. R., Ribas, P. M. (2002) Seja doutor de seu sorgo. *Informações Agronômicas*,100:24.
- CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento. (2020) Acompanhamento da safra brasileira de grãos | v.7 - Safra 2019/20, n. 12. Brasília, 2020. 430p.
- CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento. (2021) Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2020/21. 8º Levantamento: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos> em 15/05/2021.
- CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento. Análise Mensal: Sorgo- Período: agosto de 2018. (2018): <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/SorgoZ-ZAnaliseZMensaZ-ZAgostoZ-Z2018.pdf> em 20/03/2019.
- Conceição, P. M., Vieira, H. D. (2008) Qualidade fisiológica e resistência do recobrimento de sementes de milho. *Revista Brasileira de Sementes*, 30 (3):48-53.
- Cunha, S. G. S., de Souza David; A. M. S., Amaro, H. T. R., Alves, D. D., Porto, E. M. V. (2015) Qualidade fisiológica de sementes de sorgo em resposta ao tratamento com fertilizante à base de zinco e molibdênio. *Agrarian*, 8 (30):351-357.
- De Barros, A. F., Pimentel, L. D., Araujo, E. F., De Macedo, L. R., Martinez, H. E. P., Batista, V. A. P., Da Paixão, M. Q. (2017) Super absorbent polymer application in seeds and planting furrow: it will be a new opportunity for rainfed agriculture. *Semina: Ciências Agrárias*, 38 (4):1703-1714.

- Demiray, H., Dereboylu, A. E. (2013) Effects of excess and deficient boron and niacin on the ultrastructure of root cells in *Daucus carota* cv. Nantes. *Turkish Journal of Botany*, 37 (1):160-166.
- Diniz, G. M. M., Batista, R. O., Borges, I. D., Silveira, H. M. (2016) Período anterior à interferência de plantas daninhas em sorgo granífero e forrageiro. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 15 (3):470-480.
- FAOSTAT (2018) *Food agriculture organization of the United Nations*. Statistics Division.
- Faquin, V. (2005) *Nutrição de plantas*. Lavras: UFLA, 183p.
- Farooq, M., Wahid, A., Siddique, K. H. M. (2012) Micronutrient application through seed treatments: a review. *Journal of soil science and plant nutrition*, 12 (1):125-142.
- Foltran, D. E. O. (2012) Sorgo vassoura como alternativa agrícola regional. *Pesquisa & Tecnologia*, 9:34-38.
- Funguetto, C. I., Pinto, J. F., Baudet, L., Peske, S. T. (2010) Desempenho de sementes de arroz irrigado recobertas com zinco. *Revista Brasileira de Sementes*, 32 (2):117-123.
- Furlani, A. M. C., Furlani, P. R., Meda, A. R., Duarte, A. P. (2005) Eficiência de cultivares de milho na absorção e utilização de zinco. *Scientia Agricola*, 62 (3):264-273.
- Gardarin, A., Durr, C., Mannino, M.R., Busset, H., Colbach, N. (2010) Seed mortality in the soil is related to seed coat thickness. *Seed Science Research*, 20 (4):243-256.
- Gasques, J. G., Bacchi, M. R. P., Bastos, E. T. (2018) Crescimento e produtividade da agricultura brasileira de 1975 a 2016. *Carta de Conjuntura, Ipea*, 38:1–9.
- Kirkby, E. A., Romheld, V. (2007) Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. *Encarte Técnico, Informações Agronômicas*, 118:24.

- Krzyzanowski, F. C. K., Vieira, R. D., Filho, J. M., França-Neto, J. B. (2020) Vigor de sementes: conceitos e testes. Abrates, 601p.
- Lemes, E., Mendonça, A., Dias, L., Brunes, A., de Oliveira, S., Fin, S., Meneghello, G. (2017) Tratamento de sementes de soja com zinco: efeito na qualidade fisiológica e produtividade. *Colloquium Agrariae*, 13 (2):76-86.
- Lima, M. L., Cardoso, F. R., Galante, A. H. A., Teixeira, G. C. D. S., Teixeira, I. R., Alves, S. M. D. F. (2013) Fontes e doses de boro na qualidade de sementes de feijão-comum e mamona sob consórcio. *Revista Caatinga*, 26 (4):31-38.
- Lockman, R. B. (1972) Mineral composition of grain sorghum plant samples. Part III: suggested nutrient sufficiency limits at various stages of growth. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 3:295-303.
- Longnecker, N. E, Robson, A. D. (1993) Distribution and transport of zinc in plants. *In: Zinc in soils and plants*. Springer, Dordrecht, p.79-91.
- Lopes, A. C. A., Nascimento, W. M. (2012) Peletização em sementes de hortaliças. *Embrapa Hortaliças –Brasília - DF, Documentos*, 137:28.
- Lopes, A. S. (1999) Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônoma. São Paulo: ANDA, 58p.
- Magalhães, P. C., Souza, T. C., May, A., Lima Filho, O. F., Santos, F. C., Moreira, J. A. A., Leite, C. E. P., Albuquerque, C. J. B., Freitas, R. S. (2014) Exigências edafoclimáticas e fisiologia da produção. *In: Borém, A., Pimentel, L. D., Parrela, R. Sorgo: do plantio à colheita*. Viçosa, Editora UFV, p.58-88.
- Maguire J.D. (1962) Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2:176-177.
- Malavolta E. (2006) *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Editora Agrônoma, 638p.
- Marcos Filho, J. (2016) *Seed physiology of cultivated plant*. ABRATES, 616p.
- Marenco, R. A., Lopes, N. F. (2007) *Fisiologia Vegetal*. 2. ed. Viçosa: Editora UFV. 469p.

- Marschner, P. (2012) *Mineral nutrition of higher plants*. 3. ed. Oxford: Elsevier, 643p.
- Mendonça, E. A. F., Carvalho, N. M., Ramos, N. P. (2007) Revestimento de sementes de milho superdoce (sh2). *Revista Brasileira de Sementes*, 29 (2):68-79.
- Menezes, C. B. (2015) "Sorgo granífero: estenda sua safrinha com segurança." - *Embrapa Milho e Sorgo*, 85p.
- Mengel, K., Kirkby, E. (2001) *Principles of plant nutrition*. 5.ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 849p.
- Nable, R. O., Bañuelos, G. S., Paull, J. G. (2007) Boron toxicity. *Plant and Soil*. 193:181-198.
- Nascimento, W. M., Silva, J. B. C., Santos, P. E. C., Carmona, R. (2009) Germinação de sementes de cenoura osmoticamente condicionadas e peletizadas com diversos ingredientes. *Horticultura Brasileira*, 27:12-16.
- Nejad, S. A. G., Etesami, H. (2020) The Importance of Boron in Plant Nutrition. *Metalloids in Plants: Advances and Future Prospects*, 433-449.
- Ohse, S., Morodim, V., Santos, O. S., Lopes, S. J., Mafron, A. P. (2001) Germinação e vigor de sementes de arroz irrigado tratadas com zinco, boro e cobre. *Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia*, 8 (1):41-50.
- Parrella, R. A. C., Menezes, C. B., Rodrigues, J. A. S., Tardin, F. D., Parrella, N. N. L. D., Schaffert, R. E. (2014) Cultivares. *In: Borém, A., Pimentel, L., Parrella, R. Sorgo: do plantio à colheita*. Viçosa, Editora UFV, p.169–187.
- Pessoa, A. C. S., Luchese, E. B., Luchese, A. V. (2000) Germinação e desenvolvimento inicial de plantas de milho, em resposta ao tratamento de sementes com boro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24 (4):939-945.
- Peters, J. B. (2005) Wisconsin procedures for soil testing, plant analysis and feed & forage analysis: Plant analysis. *Department of soil science, college of agriculture and life sciences*. Madison, WI: University of Wisconsin-Extension.

- Pinho, R. G., Fiorini, I. V. A., Santos, A. O. (2014) Botânica. *In: Borém, A., Pimentel, L. D., Parrela, R. Sorgo: do plantio à colheita*. Viçosa: Editora UFV, p.37–57.
- Prado, R. M., Mouro, M. C. (2007) Fontes de zinco aplicado em sementes de sorgo cv. BRS 310 e o crescimento inicial. *Semina: Ciências Agrárias*, 28 (3):355-364.
- Prado, R. M., Natale, W., Rozane, D. E. (2006) Níveis críticos de boro no solo e na planta para cultivo de mudas de maracujazeiro-amarelo. *Revista Brasileira Fruticultura*, 28 (2):305-309.
- Prado, R. M., Romualdo, L. M., Rozane, D. E. (2008) Aplicação de zinco em sementes de sorgo cv. BRS 304: efeitos na nutrição e no crescimento inicial. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 30 (4):471-478.
- Princi, M. P., Lupini, A., Araniti, F., Longo, C., Mauceri, A., Sunseri, F., Abenavoli, M. R. (2016) Boron toxicity and tolerance in plants: Recent advances and future perspectives. *Plant metal interaction*, 115-147.
- Rashid, A., Fox, R. L. (1992) Evaluating internal zinc requirements of grain crops by seed analysis. *Agronomy Journal*, 84:469-474.
- Reddy, P.S. (2017) Sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *In: Patil, J. V. Millets and sorghum: biology and genetic improvement*. West Sussex: Wiley Blackwell, p.1-48.
- Reguera, M., Espi, A., Bolanos, L., Bonilha, I., Redondonieto, M. (2009) Endoreduplication before cell differentiation fails in boron-deficient legume nodules. Is boron involved in signaling during cell cycle regulation? *New Phytologist*, 183 (1):8-12.
- Ribas, P. M. (2009) Sorgo: introdução e importância econômica. *Embrapa Milho e Sorgo*. Sete Lagoas, MG, 14p.
- Ribas, P. M. (2014) Origem e importância econômica. *In: Borém, A., Pimentel, L., Parrela, R. Sorgo: do plantio à colheita*. Viçosa: Editora UFV, p.9–36.

- Ribeiro, N. D., Santos, O. S. (1991) Germinação de sementes de milho tratadas com fontes e doses de zinco e boro. *Ciência Rural*, 21 (3):437–440.
- Ribeiro, R. V., Da Silva, L., Ramos, R. A., Andrade, C. A., Zambrosi, F. C. B., Pereira, S. R. (2011) O alto teor de silício no solo inibe o crescimento radicular de cafeeiros sem afetar as trocas gasosas foliares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35 (3):939-948.
- Rozane, D. E., Prado, R. D. M., Romualdo, L. M., Simões, R. R. (2008) Resposta de plântulas de arroz cv. BRS-Soberana à aplicação de zinco via semente. *Ciência e Agrotecnologia*, 32 (3):847-854.
- Sadeghzadeh, B. (2013) A review of zinc nutrition and plant breeding. *Journal of soil science and plant nutrition*, 13 (4):905-927.
- Santos, F. C., Oliveira, J. A., Von Pinho, E. V. R., Guimarães, R. M., Vieira, A. R. (2010) Tratamento químico, revestimento e armazenamento de sementes de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. *Revista Brasileira de Sementes*, 32 (3):69-78.
- Santos, H. C., Fraga, V. S., Raposo, R. W. C., Pereira, W. E. (2009) Cu e Zn na cultura do sorgo cultivado em três classes de solos – (I) Crescimento vegetativo e produção. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13:125–130.
- Silva J. B. C., Nascimento W. M. (2009) Pelletising of vegetable seeds. In: Nascimento W.M. *Vegetable Seed Technology*. Brasília: Embrapa Vegetais, 309-341.
- Silva, F. W. A., Vieira, H. D., Baroni, D. F., Maitan, M. Q., Acha, A. J. (2017) Germination performance of Campo Grande (*Stylosanthes capitata/macrocephala*) styler seeds coated with different layers of inert material. *Journal of Experimental Agriculture International*, 18 (4):1-8.
- Silva, J. B. C., Nakagawa, J. (1998) Metodologia para avaliação da resistência de péletes. *Horticultura Brasileira*, 16:118-122.

- Silva, J. B. C., Nakagawa, J. (1998) Métodos para avaliação de materiais de enchimento utilizados na peletização de sementes. *Horticultura Brasileira*, 16 (1):44-49.
- Silva, J. B. C., Santos, E. C., Nascimento, W. M. (2002) Desempenho de sementes peletizadas de alface em função do material cimentante e da temperatura de secagem dos péletes. *Horticultura Brasileira*, 20:67-70.
- Silva, R. N. O., Arnhold, E., Araújo, B. L., Oliveira, G. H. F., Costa, J. R. S., Oliveira Junior, E. A., Lima, C. F. (2010) Comportamento agrônômico de cultivares de sorgo granífero avaliados em safrinha. *Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas*, 4 (3):39.
- Silva, T. R. B., Soratto, R. P., Bíscaro, T., Lemos, L. B. (2008) Aplicação foliar de boro e cálcio no feijoeiro. *Científica*, 34 (1):46-52.
- Silva-Matos, R. R. S. D., Albano, F. G., Cavalcante, Í. H. L., Pessoa Neto, J. A., Silva, R. L., Oliveira, I. V. D. M., Carvalho, C. I. F. S. (2017) Desenvolvimento inicial de mudas de melancia cv. Crimson Sweet em função de doses de boro aplicadas na semente. *Revista de Ciências Agrárias*, 40 (4):30-39.
- Singh, R. (2020) Calcium in plant biology: Nutrient and second messenger. *International Journal of Biological Innovations*, 2:31-35.
- Slaton, N. A., Wilson Junior, C. E., Ntamatungiro, S., Norman, R. J., Boothe, D. L. (2001) Evaluation of zinc seed treatments for rice. *Agronomy Journal*, 93:152-157.
- Tavares, L. C., Brunes, A. P., de Araújo Rufino, C., Fonseca, D. Â. R., Gadotti, G. I., Villela, F. A. (2015) Tratamento de sementes de cevada com zinco: potencial fisiológico e produtividade de sementes. *Semina: Ciências Agrárias*, 36 (2):585-593.
- Tavares, L. C., Rufino, C. A., Dorr, C. S., Barros, A. C. S. A., Peske, S.T. (2012) Performance of lowland rice seeds coated with dolomitic limestone and aluminum silicate. *Revista Brasileira de Sementes*, 34 (2):202-211.

- Tavares, L. C., Rufino, C. D. A., Brunes, A. P., Friedrich, F. F., Barros, A. C. S. A., Villela, F. A. (2013) Physiological performance of wheat seeds coated with micronutrients. *Journal of Seed Science*, 35 (1):28-34.
- Tomaz, M. A., Silva, S. R., Sakiyama, N. S., Martinez, H.E.P. (2003) Eficiência de absorção, translocação e uso de cálcio, magnésio e enxofre por mudas enxertadas de *Coffea arabica*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27 (5):885-892.
- Ulusik, I., Karakaya, H.C., Koc, A. (2018) The importance of boron in biological systems. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 45:156-162.
- Uraguchi, S., Fujiwara, T. (2011) Significant contribution of boron stored in seeds to initial growth of rice seedlings. *Plant and soil*, 340 (1):435-442.
- Wang, J., Evangelou, V. P. (1994) Metal tolerance aspects of plant cell wall and vacuole: handbook of plant and crop physiology. *The University of Arizona*. Tucson, US, 20p.
- Xavier, P. B., Vieira, H. D., Amorim, M. M. (2016) Physiological potential of *Stylosanthes* spp. seeds cv. Campo Grande in response to coating with zinc and boron. *Journal of seed science*, 38 (4):314-321.
- 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.
- Yagi, R., Simili, F. F., Araújo, J. C. D., Prado, R. D. M., Sanchez, S. V., Ribeiro, C. E. R., Barretto, V. C. D. M. (2006) Aplicação de zinco via sementes e seu efeito na germinação, nutrição e desenvolvimento inicial do sorgo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41 (4):655-660.