Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Enriquecimento de sementes de feijão e trigo com zinco através da aplicação
foliar do micronutriente

Bruno Geraldi Angelini

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e
Bioquímica de Plantas

Piracicaba
2018

Bruno Geraldi Angelini
Engenheiro Agrônomo

**Enriquecimento de sementes de feijão e trigo com zinco através da aplicação foliar do
micronutriente**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011.

Orientador:

Prof. Dr. **PAULO ROBERTO DE CAMARGO E CASTRO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e
Bioquímica de Plantas

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Angelini, Bruno Geraldi

Enriquecimento de sementes de feijão e trigo com zinco através da aplicação foliar do micronutriente / Bruno Geraldi Angelini. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2018.

68 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Zn 2. Enriquecimento 3. Biofortificação 4. *Phaseolus vulgaris* 5. *Triticum aestivum* I. Título

SUMÁRIO

RESUMO.....	4
ABSTRACT	5
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	9
2.1. ABSORÇÃO E TRANSPORTE DE ZINCO.....	9
2.2. APLICAÇÕES FOLIARES.....	11
2.3. FUNÇÃO DO ZINCO NAS PLANTAS	12
2.4. SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA E DE TOXIDAZ.....	13
2.5. FATORES GENÉTICOS	14
2.6. APLICAÇÃO DE ZINCO PARA INCREMENTAR O TEOR DO MICRONUTRIENTE	15
2.7. IMPORTÂNCIA AGRONÔMICA DE SEMENTES ENRIQUECIDAS COM ZINCO	17
2.8. IMPORTÂNCIA PARA SAÚDE HUMANA DE GRÃOS BIOFORTIFICADOS COM ZINCO.....	19
2.9. TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE SEMENTES	20
3. OBJETIVOS	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1. LOCAL DE INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO	25
4.2. MATERIAL VEGETAL.....	25
4.3. TRATAMENTOS	26
4.4. VARIÁVEIS ANALISADAS.....	28
4.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	30
5. RESULTADOS.....	31
5.1. RESULTADOS EXPERIMENTO 1	31
5.2 RESULTADOS EXPERIMENTO 2	34
5.3 RESULTADOS EXPERIMENTO 3	36
6. DISCUSSÃO.....	39
7. CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS	43
APÊNDICES.....	51

RESUMO

Enriquecimento de sementes de feijão e trigo com zinco através da aplicação foliar do micronutriente

Frente ao aumento populacional e consequente incremento na demanda por alimentos, é importante estabelecer um melhor aproveitamento da área de cultivo, objetivando a colheita de produtos agrícolas em maior quantidade e de melhor qualidade. O aumento da concentração de micronutrientes nos produtos colhidos, especialmente de zinco é um desafio crescente para a agricultura, com possibilidade de trazer benefícios à saúde humana e à produtividade da cultura. Nesse sentido, a aplicação foliar de zinco realizada periodicamente, à partir da antese floral, é uma técnica capaz de incrementar o teor do micronutriente nas sementes e biofortificar os grãos de feijão e trigo, causando melhoria de aspectos agronômicos (crescimento vegetativo e produtividade da cultura) de plantas provenientes dessas sementes, além de resultar proveitos para a saúde humana daqueles que se alimentam de produtos biofortificados, e ainda com potencial para produzir grãos e sementes como produtos de maior valor comercial no mercado, valendo-se de inovação tecnológica. Porém, atualmente pouco se conhece sobre os diversos aspectos desta técnica. Assim sendo, objetivou-se: (i) elucidar o efeito da aplicação foliar de zinco, à partir da antese floral, como método para incrementar o teor do micronutriente nos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e de trigo (*Triticum aestivum* L.), em substrato com teor adequado do micronutriente (ii) utilização de diferentes fontes de zinco aplicadas via foliar visando estabelecer a melhor fonte para o aumento do teor do micronutriente no grão de feijoeiro e (iii) determinação das doses de zinco mais adequadas a serem aplicadas através de pulverização foliar visando o aumento do teor do nutriente no grão de plantas de feijão e de trigo. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que (i) a aplicação foliar de zinco realizada periodicamente, à partir da antese floral é capaz de aumentar o teor do micronutriente em grãos de feijão e de trigo; (ii) a fonte mais viável para o enriquecimento de grãos de feijão é o sulfato de zinco; (iii) e todas as doses testadas (125, 250, 375 e 500 g Zn ha⁻¹) aplicadas via foliar na forma de sulfato de zinco foram efetivas para o enriquecimento de grãos de feijão e de trigo, em relação ao controle (0 g Zn ha⁻¹).

Palavras-chave: Zn; Enriquecimento; Biofortificação; *Phaseolus vulgaris*; *Triticum aestivum*

ABSTRACT

Foliar application of zinc for biofortification of bean and wheat seeds

In view of the population increase and consequent growth of food demand, it is important to establish a better utilization of the cultivation area, aiming the harvest of agricultural products in greater quantity and of better quality. The increased concentration of micronutrients in products harvested, especially zinc, is a growing challenge for agriculture, with potential to bring benefits to human health and crop productivity. In this matter, the foliar zinc application performed periodically starting at floral anthesis is a technique capable of increasing the micronutrient content in the seeds and biofortifying grains of common bean and wheat, causing agronomic aspects improvement (vegetative growth and crop productivity) of plants derived from these seeds, in addition to bringing benefits to human health of those who feed on biofortified products, and still with potential to produce grains and seeds as products of greater commercial value in the market, being a technological innovation. However, currently little is known about the aspects that circumvent this technique. The objective of this study was: (i) elucidate the effect of foliar application of zinc, starting at floral anthesis, as a method to increase the micronutrient content of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) (ii) the use of different sources of zinc applied in a foliar way, in order to establish the best source for increasing the micronutrient content in common bean grains, and (iii) the determination of the most suitable zinc doses, applied by foliar spraying to increase the nutrient content of common bean and wheat plants. Based on the results obtained, it was concluded that (i) the periodic application of zinc foliar application starting at floral anthesis is capable of increasing the micronutrient content in common bean and wheat grains; (ii) the most viable source for the enrichment of bean grains is zinc sulphate; (iii) and all the doses tested (125, 250, 375 and 500 g Zn ha⁻¹) applied via foliar in the form of zinc sulfate were effective for the enrichment of common bean and wheat grains, in relation to the control (0g Zn ha⁻¹).

Keywords: Zn; Enrichment; Biofortification; *Phaseolus vulgaris*; *Triticum aestivum*

1. INTRODUÇÃO

O modelo de produção agrícola atual exige cada vez mais a utilização de ferramentas tecnológicas para fomentar a produtividade e a qualidade dos produtos colhidos, ao mesmo tempo que beneficia a sociedade, gerando uma agricultura com respeito às questões ecológicas, que propicie incremento de renda ao produtor rural e que garanta segurança alimentar à população (LEACH et al., 2012).

A deficiência por zinco causa desafios para a produtividade das culturas vegetais com queda de rendimento das plantas cultivadas (CAKMAK, 2008), visto que solos deficientes em zinco são muito comuns em todo o mundo, inclusive no Brasil. O aumento do teor de zinco em sementes e grãos é capaz de gerar melhorias nos aspectos agrônômicos (crescimento vegetativo e produtividade da cultura) de plantas provenientes dessas sementes e benefícios para a saúde humana (PALMGREN et al., 2008), sendo também capaz de trazer aperfeiçoamento da produção de sementes e grãos enriquecidos em Zn, como melhor insumo comercial para as áreas produtoras de sementes e para agricultores que utilizem desta semente. Neste contexto, a aplicação foliar periódica de zinco é uma prática agrícola que apresenta potencial para incrementar teores do micronutriente nos grãos e sementes.

Além de benefícios agrônômicos, a biofortificação de grãos, ou seja, processo de enriquecimento do conteúdo nutricional da cultura enquanto em desenvolvimento no campo, voltada diretamente para o consumo humano, promove uma solução sustentável para incrementar a nutrição no mundo (JEONG; GUERINOT, 2008). Em estudo realizado por Hotz e Brown (2004), foi reportado que deficiência por Zn afeta, em média um terço da população mundial, variando de 4 a 73% da população de diferentes países. Sua deficiência é responsável por severas complicações na saúde dos homens, incluindo deficiência no crescimento físico, insuficiência do sistema imunológico e habilidade de aprendizado, combinados com maior risco de infecções, danos ao DNA e desenvolvimento de câncer (HOTZ; BROWN, 2004).

O aumento da concentração de zinco em sementes resulta em maior produção de culturas provenientes dessas sementes e melhoria para a saúde humana (CAKMAK, 2008). O enriquecimento de sementes com zinco, sobretudo em culturas que são fontes primárias de alimento para o consumo humano, tais como feijão e trigo, é uma técnica capaz de minimizar problemas de saúde relacionados à deficiência de zinco nos homens. O elevado consumo de alimentos feitos à base de cereais contendo baixas concentrações e biodisponibilidade de zinco é uma das principais razões para a ocorrência generalizada de deficiências de Zn em humanos (PRASAD, 1984)

Trata-se ainda de um método que supera a aplicação dos nutrientes em cobertura das sementes e no solo, por não envolver problemas osmóticos e de fixação dos mesmos. Esta prática também

pode contornar a estratégia de melhoramento genético visando a biofortificação, pois o melhoramento das culturas para desenvolver plantas com melhor teor nutricional é um esforço de melhoramento a longo prazo e requer extensa triagem de germoplasma, cruzamentos e desenvolvimento de produtos iniciais, intermediários e finais além de testes intensivos de desempenho em áreas-alvo sob diferentes condições ambientais (CAKMAK, 2008). Por fim, evita problemas de contaminação do solo por excesso de adubação via solo com fertilizantes que contém zinco.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para melhor entendimento de como ocorre o enriquecimento de plantas com nutrientes, é importante ter o conhecimento de como esses minerais se comportam no solo, como são absorvidos pela planta, a maneira como os nutrientes são distribuídos para os drenos vegetais, como por exemplo, a semente, quais suas funções dentro do vegetal, sintomas de toxidez e de deficiência, entre outras características relevantes dos micronutrientes.

2.1. Absorção e Transporte de Zinco

Um nutriente crucial para a qualidade do produto, principalmente no que se refere à produtividade de grãos, é o zinco. Este é um dos elementos essenciais para o desenvolvimento e reprodução das plantas, sendo requerido em baixa quantidade pelos vegetais.

O interesse pelo estudo do zinco tem crescido nos últimos anos em função de sua deficiência numa vasta área do globo destinada ao uso agrícola, causando prejuízos para a produtividade das culturas, para a qualidade nutricional dos grãos produzidos e, conseqüentemente, para a saúde do homem (CAKMAK, 2008).

A principal via de acréscimo do zinco no solo ocorre pelo intemperismo físico e químico das rochas de origem do solo, seguido pelo suprimento através de fertilizantes e corretivos aplicados pelo homem (BROADLEY et al., 2007). O zinco nos solos ocorre de três formas principais: na solução do solo, principalmente como íon Zn^{2+} e complexos solúveis, bem como adsorvido pelos minerais de argila e matéria orgânica, na forma de íon Zn^{2+} , ou fixado em complexos, na matéria orgânica e em minerais primários e secundários (LINDSAY, 1979). As principais vias de contato íon-raiz são por fluxo de massa, interceptação radicular ou por difusão (SADEGHZADEH, 2013). Preferencialmente, o transporte de zinco, da solução do solo para as raízes, ocorre via difusão (MARSCHNER, 1993).

Outra característica importante do Zn é que a sua disponibilidade é afetada negativamente pelo pH do solo. O elemento é mais disponível em solos mais ácidos, pois com o aumento do pH torna-se indisponível para a planta. Isso significa que calagem excessiva ou solos que naturalmente apresentam elevada basicidade podem provocar deficiência de zinco, principalmente em solos arenosos. Dessa maneira a faixa de pH ideal para maior disponibilidade dos nutrientes varia entre 5 e 6,5.

Uma vez disponível para a planta, o elemento é absorvido na forma de íon bivalente (Zn^{2+}) pelas raízes, sendo transportado até a parte aérea através do xilema. Além de ser absorvido da solução do solo como íon (Zn^{2+}), o elemento também pode ser absorvido na forma de quelatos, bem como via

acidificação da rizosfera por parte da planta, decorrente da extrusão de íons H^+ e consequente acidificação do meio (DAKORA; PHILLIPS, 2002) e ainda pela produção de transportadores de membranas que contribuam para a absorção de zinco do meio externo para dentro da raiz, para então ser transportado até a parte aérea através do xilema (BROADLEY et al., 2007).

Segundo Sinclair e Kramer (2012), plantas modulam processos que contribuem para a homeostase de zinco quando submetidas à limitações do nutriente, com o objetivo de manter as concentrações de zinco dentro dos limites fisiológicos. Primeiramente, ocorre a solubilização de zinco na rizosfera, através da acidificação do meio, mediado pela própria planta, tornando parte do zinco no solo prontamente disponível para ser absorvido. Em seguida, dois mecanismos de resposta naturais para amenizar o baixo teor de zinco nas células são efetuados pelas plantas: aumento na expressão de diversos genes capazes de codificar transportadores de zinco nas membranas celulares, juntamente com aumento da expressão gênica relacionada à produção de enzimas da biossíntese de quelatos envolvidas na absorção de zinco a partir do solo (van de MORTEL et al., 2006).

Esses mecanismos aprimoram a capacidade da planta em absorver o elemento do solo, devido a maior facilidade de absorção de complexos, formados pelos quelatos, através dos carregadores específicos desses compostos na membrana das raízes.

Alguns exemplos desses genes são: AtNRAMP3, responsável pelo acúmulo de zinco quando ocorre sua deficiência (THOMINE et al., 2003); HMA1, HMA2, HMA3 e HMA4, envolvidos com o transporte de zinco, sendo fundamentais para sua homeostase na planta (HUSSAIN et al., 2004); também MTP2 envolvido com a homeostase de zinco (van de MORTEL et al., 2006). Os transportadores reguladores de zinco (Zinc Regulated Transporters, ZRT) também estão envolvidos no movimento de zinco para dentro do citosol, processo importante para a absorção de zinco pelas plantas (PALMER; GUERINOT, 2009).

Uma vez no interior da planta, o micronutriente, independente de como foi absorvido, é quelatizado a ligantes de baixo peso molecular, com a finalidade de evitar que ocorram ligações não específicas com moléculas celulares, para então ser transportado.

O transporte de íons e moléculas, da epiderme até o xilema, pode ocorrer pela rota simplástica ou apoplástica. Seguindo a rota apoplástica, o zinco e outros minerais/moléculas são transportados junto com a água nos espaços intercelulares, pelo exterior das membranas plasmáticas até a endoderme, onde as estrias de Caspary forçam todos os solutos que estão sendo carregados para o xilema a passar por membranas celulares, quebrando a rota apoplástica. Já a rota simplástica consiste no contínuo citoplasmático das células, interconectado por plasmodesmas. Uma vez ultrapassada a endoderme (estrias de Caspary), os íons e moléculas são transportados simplasticamente até que atinjam as células de parênquima do xilema, que atuam no carregamento de minerais para o interior do vaso de xilema (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Já no xilema, o zinco é transportado por fluxo de massa até chegar à parte aérea das plantas. Na parte aérea, o micronutriente é distribuído entre as células adjacentes, através de processos ainda pouco conhecidos, sendo incorporado pela planta na forma de íon. A mobilidade do Zn dentro das plantas é baixa e sua translocação ocorre principalmente durante a senescência (WOOD et al., 1986), isto faz com que os sintomas de carência ocorram nas folhas novas. Comumente, o zinco se acumula nas folhas velhas (DECHEN et al., 1991).

Alguns autores consideram o zinco altamente móvel, enquanto outros atribuem a ele uma mobilidade intermediária. Isto mostra que existe divergência da literatura com relação à mobilidade do Zn quanto a sua redistribuição. De fato, quando existe um elevado suprimento de zinco muitas espécies de plantas tem translocado quantidades apreciáveis do elemento das folhas velhas para órgãos de crescimento, mas quando as mesmas espécies estão sob condições de deficiência apresentam baixa mobilidade do nutriente das folhas velhas. Estudos recentes indicaram que há retranslocação substancial deste micronutriente via floema em folhas de trigo jovens em desenvolvimento (ERENOGLU et al., 2002) e em arroz (HAJIBOLAND et al., 2001). Entretanto, quando as mesmas espécies estão sob condições de deficiência, ele apresenta baixa mobilidade (DECHEN et al., 1991).

2.2. Aplicações Foliares

A vida vegetal teve início no mar, durante o processo evolutivo as folhas não perderam a capacidade de absorver água e sais minerais. A capacidade da parte aérea de absorver água, e o que nela estiver dissolvido, é a base para aplicação foliar de fertilizantes e para a eficiência de outras práticas agrícolas que implicam na aplicação de aspersões (PEDRAS, 1976). Substâncias dissolvidas em água e aplicadas como aspersões foliares são eficientemente absorvidas pelas folhas e podem ser translocadas para outras regiões da planta. Para tanto, é necessário que haja penetração da solução na cutícula e passagem através da membrana plasmática, para que a solução entre no citoplasma, através da rota simplástica ou apoplástica.

Substâncias com propriedades fungicidas de ação sistêmica já eram utilizadas pelas antigas civilizações, embora de forma bastante empírica (BARBOSA, 2004). Os povos daquela época, através de suas experiências, descobriram a efetividade de certos produtos contra o que denominavam de pestes. Entretanto, o progresso no conhecimento dos fungicidas ocorreu após o século XVIII, graças aos avanços da química, durante os dois últimos séculos. No Brasil, as aplicações foliares de zinco tiveram início com objetivo de atuar como defensivo agrícola, através da calda Viçosa, um fungicida desenvolvido à partir da calda Bordalesa, com ação comprovada sobre diversos fungos e infecções

bacterianas, e também atuando como repelente de insetos. Além do controle de doenças, a calda Viçosa apresenta vantagem adicional, que é o fornecimento de nutrientes para as plantas, como o boro e zinco.

Existem diversos fatores que afetam a eficiência das aplicações foliares. Existem fatores da planta, tais como: quantidade de estômatos, presença de tricomas ou pelos, quantidade de cutícula do limbo foliar, umidade superficial da folha, idade da folha, estado iônico interno dos tecidos foliares e estágio de crescimento. Também há fatores do meio que influenciam a eficiência da aplicação foliar, como por exemplo: disponibilidade de nutrientes no meio, aeração ou concentração de oxigênio, temperatura, umidade relativa e efeito da luz. Por fim existem fatores da própria solução que está sendo aplicada, como: concentração do elemento em solução, efeito do pH, seletividade dos elementos pelo vegetal, absorção desigual de ânions e cátions, antagonismo iônico, inibição competitiva e não competitiva, velocidade diferencial de absorção, sinergismo iônico, mobilidade dos elementos nos tecidos vegetais, modo de aplicação das pulverizações foliares, ângulo de contato e surfactantes (CASTRO et al., 2017).

2.3. Função do Zinco nas Plantas

Este elemento é envolvido com muitas reações do metabolismo celular, incluindo processos biológicos, como defesa antioxidativa, síntese proteica, metabolismo de carboidratos, metabolismo de auxinas, e estabilidade do material genético (CLEMENS, 2006). O zinco parece ser necessário à síntese de alguns aminoácidos, como o triptofano, sendo, este aminoácido, um importante precursor do ácido indolil-acético (AIA) (VÁLIO, 1979).

Zn é o micronutriente mais crítico que afeta a síntese de proteínas nas plantas (CAKMAK et al., 1989). Existem mais de 300 enzimas com função biológica que contém zinco em sua estrutura (MARSCHNER, 1995). Por esses motivos, este nutriente aparentemente está diretamente envolvido na qualidade fisiológica dos grãos e sementes. Este micronutriente pode agir como cofator estrutural, funcional ou regulador de um grande número de enzimas.

Algumas enzimas, tais como, álcool desidrogenase, Cu-Zn superóxido dismutase e anidrase carbônica apresentam zinco em sua estrutura. Outras enzimas, como aldolases, enolase, isomerases, peptidases, transfosforilases e RNA e DNA polimerases necessitam de zinco como cofator para sua atividade enzimática (BUCHANAN et al., 2001). Segundo Teixeira et al. (2005), o zinco também é responsável pela síntese de proteínas, permeabilidade de membranas, absorção iônica, respiração, síntese de amido e controle hormonal.

Diversas propriedades fazem com que o zinco seja um cofator eficiente. Zn é um forte e eficiente ácido de Lewis e tem uma alta afinidade de ligação com diversos diferentes ligantes.

Zinco é excepcionalmente flexível nas diversas formas geométricas que pode apresentar. Ainda, em condições biológicas, o Zn nunca altera seu estado de redox, não participando diretamente em reações de transferência de elétrons (BROADLEY et al., 2007).

2.4. Sintomas de Deficiência e de Toxidez

Concentrações entre 30 e 100 mg zinco kg^{-1} de matéria seca (MS) são suficientes para suportar o adequado desenvolvimento da planta para a maioria das culturas agrícolas (RODRIGUES et al., 1997).

Apesar do Zn ser um micronutriente, este elemento pode afetar o crescimento e o metabolismo normal de espécies vegetais, quando presente em níveis tóxicos no solo (MARSCHNER, 1995). Sintomas de toxicidade são observados em concentrações superiores a 300 mg kg^{-1} de MS para aquelas espécies que não são adaptadas a uma alta exposição ao zinco (MARSCHNER, 1995). As principais causas de excesso do micronutriente nos solos ocorrem pela contaminação por Zn por fontes industriais ou por aplicação de resíduos orgânicos.

Em altas concentrações, esse metal é potencialmente tóxico (LI et al., 2002), sendo a aplicação foliar periódica do micronutriente capaz de evitar possíveis contaminações pelo elemento. A toxidez do Zn em plantas acarreta na diminuição tanto da produção de matéria seca da parte aérea, quanto da biomassa radicular, necrose da radícula ao entrar em contato com o solo, morte da plântula e inibição do crescimento vegetal (LI et al., 2011). Também, folhas das plantas com excesso do nutriente apresentam pigmentação vermelha no pecíolo e nas nervuras.

Geralmente as plantas exibem sintomas de deficiência de zinco quando o teor do elemento se encontra abaixo de concentrações que variam de 15 a 20 mg Zn kg^{-1} MS (SINCLAIR; KRAMER, 2012), sendo que tais sintomas aparecem principalmente nas folhas novas, devido à baixa redistribuição de zinco nas plantas. O aparecimento de manifestações de deficiência pode variar em função das condições ambientais, idade da planta, severidade da deficiência, além da oferta de outros nutrientes (SADEGHZADEH, 2013). Geralmente a deficiência de zinco está associada com um acúmulo excessivo de fósforo na parte aérea das plantas e no solo (CAKMAK; MARSCHNER, 1987).

Isto se deve ao fato de que o fósforo (P) insolubiliza o Zn na rizosfera, diminuindo a absorção do micronutriente. Já no interior da planta, o P diminui o transporte de zinco das raízes para a parte aérea.

Em condições de deficiência de zinco, verificam-se distúrbios nos processos fisiológicos, que resultam em sintomas como clorose, baixa fertilidade floral, entrenós curtos, maior senescência, inibição de crescimento, necrose e folhas novas pequenas, todos atribuídos à perturbação do metabolismo de auxina, acarretando muitas vezes em reflexos negativos à produtividade (MALAVOLTA, 2006). Em fase inicial de carência, observa-se leve esmaecimento da cor verde das folhas novas.

O maior dano que a baixa oferta de zinco causa nas plantas está relacionado com o metabolismo das proteínas, pois sua ausência afeta a estrutura do DNA e do RNA, danificando a estabilidade e a função das proteínas sintetizadas e, conseqüentemente, atuando negativamente na expressão e regulação gênica (MARSCHNER, 1995).

O zinco é necessário para a manutenção da membrana celular e integridade da célula. A deficiência de zinco nas plantas pode causar mudanças bioquímicas nas membranas que modificam sua permeabilidade e estrutura, podendo ainda promover o rompimento da célula e liberação de constituintes celulares para o meio externo, estimulando a infecção por agentes patogênicos. A nutrição mineral da fonte hospedeira pode afetar a sua susceptibilidade à doenças de diversas maneiras, influenciando nas reservas de alimentos disponíveis ao patógeno e causando variações nos seus mecanismos bioquímicos de defesa (KRUGNER, 1978).

Em uma situação de desequilíbrio nutricional, a planta fica geralmente muito mais vulnerável à doença. Elementos minerais estão envolvidos nos mecanismos de aumento ou diminuição da susceptibilidade (AGRIOS, 1969)

Finalmente, deficiência de zinco afeta o desenvolvimento das raízes (FAGERIA, 2004), prejudicando a absorção de água e de nutrientes dos solos e, conseqüentemente, resultando em redução do crescimento e da produção do cultivo (EPSTEIN; BLOOM, 2005). As plantas deficientes em zinco são debilitadas, de menor vigor, com aparência irregular, apresentando hastes curtas e finas. Nas plantas jovens, os entrenós apresentam lesões necróticas marrons escuras (BENTON, 2003).

2.5. Fatores Genéticos

Em um genótipo, a concentração de zinco reflete a habilidade da planta em absorver o elemento do solo e mobilizá-lo para diferentes partes da planta, realizando seu carregamento no grão (GENC et al., 2006). Assim, existem plantas que, em função de fatores genéticos e mecanismos fisiológicos, absorvem e utilizam com maior efetividade o zinco, ou seja, a aptidão de um cultivar em crescer e produzir quando semeado sobre solos contendo deficiência de zinco está relacionada com a genética da planta (GRAHAM; RENGEL, 1993).

Essa tolerância genética das plantas à deficiência de zinco é normalmente referida como eficiência de utilização do zinco, sendo definida como a habilidade com base genética do cultivar em crescer e produzir bem nos solos que apresentam deficiência de zinco (SADEGHZADEH, 2013). Desse modo, variedades mais tolerantes podem crescer em solos com pouca disponibilidade de zinco.

Esse maior aproveitamento na absorção de zinco pode ocorrer devido a diversos fatores: área superficial radicular, colonização micorrízica das raízes, pH da rizosfera, produção de quelatos pelas raízes, e indução de transportadores de membranas (RENGEL; GRAHAM, 1993).

2.6. Aplicação de Zinco para Incrementar o Teor do Micronutriente

Os nutrientes minerais são fundamentais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Segundo Sá (1994), a exigência nutricional das culturas, para a maioria das espécies, torna-se mais intensa durante a fase reprodutiva, sendo mais crítica por ocasião da formação de sementes, quando consideráveis quantidades de nutrientes são translocados para as mesmas.

Esta maior exigência se deve ao fato de que os nutrientes são necessários à formação e ao desenvolvimento de novos órgãos e, também, à formação de materiais de reserva que ali serão acumulados, principalmente na constituição das membranas e no acúmulo de carboidratos, lipídios e proteínas (SÁ, 1994).

A aplicação foliar de zinco durante os estádios de enchimento de grãos da cultura parental é uma prática que tem sido estudada para incrementar o teor do micronutriente no grão colhido, ou na semente que será utilizada para gerar a cultura subsequente, sendo que têm apresentado bons resultados (ASCHER et al., 1993).

Em trabalho realizado por Yilmaz et al. (1997), propondo observar o efeito de seis diferentes métodos de aplicação de zinco na produtividade de grãos, além da concentração desse micronutriente na parte aérea e nos grãos de cultivares de trigo, observaram que concentrações de Zn na parte aérea e nos grãos foram significativamente incrementados pelos diferentes tratamentos contendo zinco, em relação as plantas de trigo sem aplicação de zinco. Nesse caso, os tratamentos foram: controle (sem aplicação de zinco), aplicação via solo, aplicação via semente, aplicação foliar, aplicação via solo + aplicação foliar, e aplicação via semente + aplicação foliar. O tratamento aplicação via solo + aplicação foliar com Zn foi o que trouxe maior incremento da concentração de zinco nos grãos.

Em outro trabalho, realizado por Ferreira et al. (2001), visando avaliar os efeitos da adubação com N, Mo e Zn sobre a produção e qualidade dos grãos de milho, sob o aspecto proteico e teor de nutrientes minerais, observou-se que a adubação com 3 kg ha⁻¹ de Zn aumentou significativamente o teor desse nutriente nos grãos colhidos, em relação ao tratamento controle (0 kg ha⁻¹ Zn).

Teixeira et al. (2005), avaliando os teores de nutrientes e a qualidade fisiológica de sementes de feijão, em resposta à adubação foliar com manganês (0, 75, 150, 300 e 600 g ha⁻¹) e zinco (0, 50, 100, 200 e 400 g ha⁻¹), fracionadas em duas pulverizações foliares, sendo metade aplicada aos 25 e o restante aos 35 dias após a emergência das plântulas, concluíram que com adubação foliar de zinco foram obtidos acréscimos lineares dos teores desse micronutriente nas sementes de feijão.

O efeito da aplicação foliar de zinco na concentração desse micronutriente em sementes de trigo também foi estudado por Ozturk et al. (2006). Os autores tiveram o objetivo de verificar a aplicação foliar de zinco como método para enriquecimento das sementes de trigo, chegando à conclusão que os tratamentos com aplicação foliar de Zn foram efetivos para incrementar a concentração e a quantidade total de Zn nas sementes, sendo que os incrementos se tornaram mais pronunciados com a aplicação de dez pulverizações foliares de zinco. As aplicações foliares de zinco foram feitas através de três ou dez pulverizações de 0,68 kg ha⁻¹ de ZnSO₄.7H₂O entre os estádios de alongamento da haste e desenvolvimento da panícula.

Finalmente, Cardoso et al. (2012), objetivando estudar o efeito da adubação com nitrogênio e zinco, na qualidade e produtividade de grãos de ervilha, em esquema fatorial constituído por quatro doses de nitrogênio (0 kg ha⁻¹, 60 kg ha⁻¹, 120 kg ha⁻¹ e 240 kg ha⁻¹), na forma de ureia, via solo, aos 30 dias após a semeadura (DAS), e quatro doses de zinco (0 kg ha⁻¹, 1,5 kg ha⁻¹, 3 kg ha⁻¹ e 6 kg ha⁻¹), na forma de sulfato de zinco, via foliar, aos 45 DAS, chegaram à conclusão que combinação entre doses de zinco e nitrogênio proporcionou melhoria na qualidade dos grãos.

Tais trabalhos fundamentam a hipótese de que a aplicação foliar de zinco durante os estádios de granação pode ser capaz de incrementar o teor do micronutriente no grão ou semente. A solução contendo nutrientes pode ser absorvida por três vias: cutícula foliar, rachaduras e imperfeições foliares ou apêndices da folha. O nutriente em seguida é transportado para outros órgãos através do xilema e redistribuído pelo floema (HASLETT et al., 2001). A translocação de íons das raízes, hastes e folhas é uma importante fonte para o desenvolvimento dos grãos (ERENOGLU et al., 2002). Segundo Jurkowska et al., (1990), quanto maior o teor deste micronutriente nos tecidos vegetais, maior é a translocação e acúmulo nos grãos.

A resposta à aplicação de Zn por via foliar depende dos processos de penetração do elemento através da cutícula, da absorção pelas células foliares e do transporte via floema para drenos preferenciais (RODRIGUES et al., 1997). Assim, a eficiência da aplicação foliar passa a ser afetada por diversos fatores tais como condições ambientais, características das folhas, particularmente da cutícula, natureza do elemento, forma química do sal mineral, e ainda o estado iônico interno da planta (MORTVEDT et al., 1993).

2.7. Importância Agronômica de Sementes Enriquecidas com Zinco

Diversos trabalhos fundamentam que o conteúdo de zinco na semente é capaz de influenciar positivamente aspectos agronômicos da geração subsequente cultivada e assim beneficiar o produtor rural.

Graham e Rengel (1993) e Rengel e Graham (1995) mostraram que maiores teores de Zn na semente de trigo atuam como um fertilizante inicial para a plântula, melhorando o estande da cultura, incrementando seu vigor, desenvolvimento das raízes, potencial produtivo da cultura e resistência contra patógenos, quando comparadas à plântulas provenientes de sementes não enriquecidas e não adubadas com Zn via solo.

Além disso, sementes com maiores teores de zinco mostraram uma habilidade maior em se associar mutualisticamente com fungos micorrízicos, aprimorando a capacidade do sistema radicular em absorver nutrientes. Também, sementes com alta concentração de zinco apresentaram maior tolerância a diferentes estresses ambientais, tais como temperatura elevada e salinidade, quando comparadas a sementes com baixa concentração de Zn e não adubadas com o micronutriente (WELCH, 1999).

O maior conteúdo de zinco nas sementes tem efeito positivo no aumento da produtividade agrícola, pois plantas provenientes de sementes com elevados teores de zinco tiveram maior número e peso de grãos, comparativamente àquelas provenientes de sementes com baixos teores de zinco e não adubadas com zinco (RENGEL; GRAHAM, 1995), sendo capaz de aumentar o rendimento econômico da propriedade que faz uso dessa técnica. A maior proporção de zinco removido pelas sementes é de fundamental importância para garantir a nutrição inicial das plântulas oriundas dessas sementes, e possivelmente, prevenir deficiência inicial em condição de campo (TEIXEIRA et al., 2005).

Yilmaz et al. (1998), estudando o efeito de diferentes teores de zinco em sementes de trigo, sobre a produtividade da cultura, em condições de sequeiro e de irrigação, observaram que o rendimento de grãos das sementes com altos teores de Zn foi significativamente maior em comparação com as sementes com baixo teor de zinco. Essa diferença foi ainda mais discrepante quando ocorrida sob condição de sequeiro. Isto se deve ao fato do transporte de zinco, da solução do solo para a região das raízes, ocorrer preferencialmente via difusão (MARSCHNER, 1993), sendo, portanto dependente da umidade do solo. Sendo assim, a nutrição de zinco nas plantas é severamente afetada sob condições de déficit hídrico. Tal fato atesta ainda mais a importância da pulverização foliar de zinco para incrementar o teor do micronutriente em sementes no Brasil, onde o país irriga apenas 3,4 milhões de hectares (CRISTHOPHIDIS, 2006), sendo o restante de sua área cultivada em condições de sequeiro.

Outra vantagem para o produtor no que se refere ao enriquecimento de sementes com zinco, é que esta técnica seria capaz de compensar uma deficiência oculta de zinco nas plantas, ou seja, deficiência ocorrida antes da manifestação de sintomas visíveis na planta, mas que apesar disso, debilita e atrasa o desenvolvimento das mesmas.

A deficiência nutricional oculta é muitas vezes negligenciada por parte dos produtores rurais. A semeadura de sementes com maior conteúdo de zinco pode ser uma solução prática para amenizar o efeito da deficiência de zinco nos solos (YILMAZ et al., 1998).

Diversas propriedades físicas e químicas do solo podem ainda reduzir significativamente a solubilidade de Zn e prejudicar sua absorção pelas raízes, tais como: pH elevado, quantidades de CaCO_3 elevadas no solo, teor de argila elevado, teor de matéria orgânica baixo, umidade baixa e teores de óxidos de ferro e de alumínio elevados (CAKMAK, 2008).

A fertilização do solo com zinco é uma prática que apresenta dificuldades técnicas para os produtores rurais, pois exige a correta aplicação e distribuição do fertilizante no solo em doses baixas, devendo ocorrer na quantidade, no período, no local e com a fonte correta do fertilizante. Outro entrave se dá pela possibilidade da ocorrência de toxicidade por zinco já que a diferença entre níveis de deficiência e de toxicidade de zinco é muito estreita. A prática exige ainda o conhecimento técnico, por parte dos produtores, sobre diversas propriedades do solo e da planta, já que a disponibilidade de um nutriente depende de propriedades químicas do elemento, das propriedades físicas e químicas do solo, da atividade da microbiota do solo e do sistema radicular da planta (ANTUNES et al., 2006).

Sabe-se que a maioria dos solos brasileiros apresenta um ou mais fatores capazes de reduzir a disponibilidade de zinco, tornando-se esgotados do micronutriente, pois zinco é o micronutriente que geralmente apresenta maiores problemas de deficiência nos solos do Brasil (RITCHEY et al., 1986), fazendo com que a utilização de sementes enriquecidas se torne uma alternativa para superar essa adversidade.

No mundo, cerca de metade das áreas cultivadas com cereais contém baixos níveis de zinco disponível para a planta em seus solos, fazendo com que essas plantas sofram com a deficiência do nutriente, e tenham baixos teores de zinco em seus grãos (CAKMAK et al., 1999). De acordo com White e Zasoski (1999), a extensão de solos com deficiência de Zn é comparável com a extensão de solos com deficiência de macronutrientes, causando grandes perdas econômicas para a agricultura.

Em síntese, os benefícios agrônômicos resultantes do uso de sementes enriquecidas com zinco são: aumentar a tolerância a estresses abióticos pela planta, maior produtividade em solos com deficiência de zinco, maior resistência da planta a doenças e patógenos, diminuição da quantidade de sementes utilizadas por hectare durante a semeadura, maior viabilidade da semente e maior vigor das plântulas (CAKMAK, 2008).

2.8. Importância para Saúde Humana de Grãos Biofortificados com Zinco

Existem 20 elementos minerais que são essenciais para a saúde humana, sendo 7 exigidos em maiores quantidades (Ca, P, K, S, Na, Cl e Mg) e 13 exigidos em menores quantidades (Fe, I, Cu, Zn, Mn, Co, Cr, Se, Mo, F, Sn, Si e V) (VANDER et al., 2001). Esses elementos não são sintetizados pelo organismo e necessitam ser continuamente fornecidos através da alimentação. Porém, como a concentração desses elementos varia substancialmente no solo, os produtos vegetais colhidos apresentam diferentes concentrações desses minerais, podendo causar uma deficiência nutricional na população que faz uso desses produtos e como consequência problemas de saúde para esses consumidores (YIN; YUAN, 2012).

A deficiência de zinco também é um problema crítico para a nutrição humana (CAVDAR et al., 1983). Sua deficiência em humanos causa uma grande quantidade de complicações para a saúde, incluindo imparidades para o sistema imunológico, no aprendizado, no crescimento físico, além de aumentar infecções e mortalidade das pessoas (HOTZ; BROWN, 2004). O corpo humano pode sofrer com perda de cabelo, perda de memória, problemas de pele, e fraqueza muscular. A insuficiente ingestão de zinco durante a gravidez também pode causar menor desenvolvimento do cérebro do feto (HAFEEZ, 2013).

Assim, a biofortificação, ou seja, o aumento do teor de minerais em produtos vegetais destinados ao consumo humano, apresenta consequências benéficas para a saúde humana, sendo a abordagem mais eficaz para controle da desnutrição em áreas com deficiência de Zn (YIN; YUAN, 2012). Deficiências por micronutrientes em humanos, principalmente aquelas provenientes de zinco causam sérios problemas de saúde para mais de 2 bilhões de pessoas em todo o mundo (VELU et al., 2014).

As principais funções de Zn em humanos são: síntese e degradação de carboidratos, lípidios, proteínas e ácidos nucleicos, promoção do desenvolvimento intelectual das crianças, aumento do crescimento de adolescentes, influência sobre o apetite e por fim afeta a fertilidade masculina (YIN; YUAN, 2012).

O elevado consumo de alimentos feitos à base de cereais contendo baixas concentrações e biodisponibilidade de zinco é uma das principais razões para a ocorrência generalizada de deficiências de Zn em humanos (PRASAD, 1984), especialmente em países subdesenvolvidos, onde os cereais contendo baixos teores desse micronutriente são fontes primárias de alimento para o consumo humano. A deficiência por zinco é particularmente mais frequente na África Subsaariana e no Sul da Ásia (MICRONUTRIENT INITIATIVE, 2006).

Nesses países, a aplicação de Zn via solo e via aplicação foliar pode ser uma solução de curto prazo para resolver essas deficiências (YILMAZ et al., 1997), atenuando os problemas de saúde das

peças. As regiões em que o solo apresenta deficiência de zinco estão fortemente correlacionadas com incidência de deficiência de zinco em humanos.

As concentrações atuais de Zn são demasiadamente baixas para satisfazer a exigência humana diária, especialmente para países que consomem uma alta proporção de dietas baseadas em cereais. Para um impacto biológico mensurável sobre a saúde humana, o teor do nutriente em trigo deve ser aumentado, em pelo menos, aproximadamente 10 mg kg⁻¹, assumindo-se um valor de 400 g por dia para mulheres adultas nos países onde farinha de grão integral é usada para fazer comida, como na Índia (PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2007). Geralmente, recomenda-se uma dieta para Zn de cerca de 15 mg por dia (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989)

O enriquecimento de sementes com zinco, sobretudo na cultura do feijão, é uma técnica capaz de minimizar problemas de saúde relacionados à deficiência de zinco nos homens (CAKMAK, 2008), visto que este cereal é a base da culinária de diversos países subdesenvolvidos de grande população absoluta, tais como Brasil, México, Índia e China. Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é a leguminosa mais importante no que se refere ao consumo humano direto, sendo consumido em todo o mundo.

Já o trigo é a cultura dominante em países de clima temperado, sendo utilizado para alimentação humana e ração animal em larga escala. Pode também ser processado em farinha, flocos, macarrão, biscoito, bolo, pão, entre outros produtos alimentícios. O trigo contribui com aminoácidos essenciais, minerais, vitaminas, fitoquímicos benéficos e fibras na dieta humana, promovendo substancial proporção da alimentação (SHEWRY, 2009).

2.9. Tecnologia de Produção de Sementes

A aplicação foliar de zinco durante os estádios de granação atua como uma prática capaz de incrementar o teor do micronutriente na semente, apresentando potencialidade para o aperfeiçoamento da produção de sementes como produto comercial, agregando valor à semente produzida, servindo ainda como uma inovação tecnológica para a cadeia sementeira.

Para a área produtora de sementes, a aplicação de fertilizantes foliares contendo zinco pode ser realizada juntamente com a pulverização de fungicidas e inseticidas, pois não há efeito adverso no uso desses produtos fitossanitários com relação à penetração de zinco na folha e no consequente enriquecimento das sementes/grãos (CAKMAK, 2008).

Concomitantemente, a adoção de sementes enriquecidas com nutrientes é uma prática com elevados níveis de aceitação pelos produtores rurais, pois pode alcançar maiores rendimentos sem necessariamente modificar o sistema produtivo, sendo favorável para incrementar o montante de

sementes enriquecidas com micronutrientes. Ainda para o produtor, esta é uma técnica vantajosa, pois traz melhoria de aspectos agronômicos e elimina a dificuldade técnica da fertilização do solo com zinco.

3. OBJETIVOS

A aplicação foliar de zinco realizada periodicamente, à partir da antese floral, é uma técnica capaz de incrementar o teor do micronutriente nas sementes e biofortificar os grãos de feijão e trigo. Porém, pouco se conhece sobre os diversos aspectos desta técnica. Assim sendo, objetivou-se: (i) elucidar o efeito da aplicação foliar de zinco, à partir da antese floral, como método para incrementar o teor do micronutriente nos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e de trigo (*Triticum aestivum* L.), em substrato com teor adequado do micronutriente (ii) utilização de diferentes fontes de zinco aplicadas via foliar visando estabelecer a melhor fonte para o aumento do teor do micronutriente no grão de feijoeiro e (iii) determinação das doses de zinco mais adequadas a serem aplicadas através de pulverização foliar visando o aumento do teor do nutriente no grão de plantas de feijão e de trigo.

Para tanto foram instalados três experimentos. O primeiro experimento objetivou elucidar o efeito da aplicação foliar de zinco, à partir da antese floral, como método para incrementar o teor do micronutriente em grãos de feijão, em substrato com teor adequado do micronutriente. Neste mesmo experimento compararam-se diferentes fontes de zinco, com potencial de enriquecer os grãos de feijão, a fim de estabelecer a melhor fonte de zinco.

O segundo experimento foi realizado utilizando-se diferentes doses de zinco, aplicadas com início na antese, correspondentes à fonte de zinco que apresentou melhor resposta (com relação a aspectos produtivos e biofortificação do grão), conforme previamente estabelecido no primeiro experimento. Assim, confrontou-se a melhor dose a ser aplicada através de pulverização foliar visando biofortificar o grão do feijoeiro, cultivado em substrato corrigido com o micronutriente.

Por fim, o terceiro experimento visou estudar o efeito da aplicação foliar de zinco, à partir da antese floral, como método para incrementar o teor do micronutriente em grãos de trigo, contrapondo a dose de zinco mais adequada a ser aplicada através de pulverização foliar visando o aumento do teor do nutriente no grão das plantas de trigo. Neste experimento, também averiguou-se se ocorre aumento da germinação das sementes de trigo enriquecidas com maior teor de zinco.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local de Instalação do Experimento

Os experimentos foram instalados no Horto Experimental “Professor Walter Radamés Accorsi” do Departamento de Ciências Biológicas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, conduzido em ambiente protegido, no município de Piracicaba, SP, localizado à 22° 42’ S e 47° 38’ W e altitude de 580 m. Segundo classificação de W. Köppen o clima local é do tipo Cwa (clima temperado húmido com inverno seco e verão quente), com precipitação média anual de 1257 mm e temperatura média anual de 21,4 °C.

Em todos os experimentos utilizaram-se vasos plásticos com capacidade volumétrica de 20 dm³, contendo substrato composto pela mistura de argila, areia e matéria orgânica (2:1:1), sob adubação de N-P-K, equivalente a 400 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, para os cultivos de feijão e trigo. A irrigação foi realizada visando deixar o substrato próximo à capacidade de campo. A análise química do substrato pode ser observada na Tabela 1 abaixo, sendo utilizados os métodos e análises do manual de análises do Instituto Agronômico de Campinas (Raij et al., 2001).

Tabela 1 - Análise química do substrato.

Prof.	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	S	Al	H+Al	SB	CTC	V	M
cm	-	g.dm ⁻³	mg.dm ⁻³		mmolc.dm ⁻³		mg.dm ⁻³			mmolc.dm ⁻³			%
0-10	6,2	40	687	2,8	152	32	31	2	18	186,8	204,8	91	1

Prof.	B	Cu	Fe	Mn	Zn
cm			mg.dm ⁻³		
0-10	0,19	1,3	23	8	9,2

A solução de zinco foi aplicada utilizando-se pulverizador manual com bico tipo leque e capacidade para 1 L até o ponto de escoamento, buscando-se distribuição uniforme nas plantas. A pressão utilizada foi de aproximadamente 40 lb pol⁻².

4.2. Material Vegetal

Nos dois primeiros experimentos foi realizada a semeadura do feijoeiro cultivar BRS Estilo (*Phaseolus vulgaris* L.), de crescimento determinado, com uniformidade de coloração e de tamanho de grão que, apresenta resistência ao mosaico comum e à antracnose, porte ereto que confere maior resistência ao acamamento, ciclo de 85 a 90 dias e alta produtividade (EMBRAPA, 2009). Em cada vaso

foram semeadas 15 sementes a uma profundidade de 2 cm, com desbaste 7 dias após a emergência, deixando-se 4 plantas por vaso, caracterizando a parcela experimental.

No terceiro experimento foi efetuada a semeadura de trigo cultivar TBIO Sinuelo (*Triticum aestivum* L.), moderadamente resistente ao acamamento, de ciclo médio (cerca de 95 dias para o espigamento e 146 dias para maturação), e porte médio. Assim como o feijão, em cada vaso foram semeadas 15 sementes a uma profundidade de 2 cm, com desbaste 7 dias após a emergência, deixando-se 4 plantas por vaso, caracterizando a parcela experimental.

4.3. Tratamentos

4.3.1. Experimento 1

O primeiro experimento foi composto por 6 tratamentos, com 6 repetições, perfazendo 36 parcelas, em que foram comparadas diferentes fontes de zinco, em delineamento experimental em blocos casualizados. Os tratamentos foram: controle (sem aplicação de Zn), sulfato de zinco, cloreto de zinco, nitrato de zinco, phosphorus zinco e por fim NHT zinco, em que foram utilizados o equivalente a 250 gramas de zinco por hectare em cada aplicação, independente da fonte, à partir da antese das plantas de feijoeiro, em 47, 54, 61 e 69 dias após a semeadura, sendo a semeadura realizada no dia 06/04/2016.

- Tratamento 1. Controle
- Tratamento 2. Sulfato de zinco foliar $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- Tratamento 3. Cloreto de zinco foliar ZnCl_2
- Tratamento 4. Nitrato de zinco foliar $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- Tratamento 5. Phosphorus zinco foliar
- Tratamento 6. NHT zinco via solo

O produto phosphorus zinco consiste de um fertilizante foliar contendo mistura de P_2O_5 (40%) e Zn (8%). O NHT zinco é um fertilizante fluído (suspensão concentrada), aplicado ao substrato, com liberação gradativa do nutriente, fabricado por processo industrial que origina partículas de tamanho pequeno. As informações técnicas de cada produto utilizado podem ser observadas na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 - Informações técnicas das fontes de zinco utilizadas em cada tratamento.

Produto	Garantia Zinco	Natureza Física
Sulfato de zinco	200,0 g kg ⁻¹	sólida
Cloreto de zinco	310,8 g L ⁻¹	líquida
Nitrato de zinco	202,5 g L ⁻¹	líquida
Phosphorus zinco	112,0 g L ⁻¹	líquida
NHT zinco	1000 g L ⁻¹	líquida

Assim, com este experimento objetivou-se elucidar o efeito da aplicação foliar de zinco, à partir da antese floral, como método para incrementar o teor do micronutriente nos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em substrato com teor adequado do micronutriente; além de averiguar a utilização de diferentes fontes de zinco visando estabelecer a melhor fonte para o enriquecimento do teor do micronutriente no grão de feijoeiro. A parcela experimental caracteriza-se por quatro plantas que foram conduzidas até o final do experimento.

4.3.2. Experimento 2

O segundo experimento, como previsto, foi realizado utilizando-se diferentes doses, correspondentes à fonte de zinco que apresentou melhor resposta (com relação a aspectos produtivos e de enriquecimento de semente), conforme o Experimento 1. Desse modo, foi utilizado como fonte sulfato de zinco ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), sendo este experimento em delineamento por blocos casualizados, composto por 5 tratamentos, com 8 repetições, perfazendo 40 parcelas, em que foram comparadas as diferentes doses de zinco da fonte sulfato de zinco, aplicadas à partir da antese das plantas de feijoeiro. Os tratamentos foram: controle (sem aplicação de Zn), sulfato de zinco 125 g ha⁻¹, sulfato de zinco 250 g ha⁻¹, sulfato de zinco 375 g ha⁻¹ e por fim sulfato de zinco 500 g ha⁻¹. As doses utilizadas foram selecionadas adotando como critério tratamentos similares aos experimentos existentes na literatura, como nos trabalhos de Yilmaz et al. (1997), Ferreira et al. (2001), Teixeira et al. (2005), Ozturk et al. (2006) e Cardoso et al. (2012).

A semeadura do feijão foi feita na data 13/09/2016, com aplicação dos tratamentos 43, 55, 61 e 70 dias após a semeadura.

- Tratamento 1. Controle
- Tratamento 2. Sulfato de zinco 125 g ha⁻¹ foliar
- Tratamento 3. Sulfato de zinco 250 g ha⁻¹ foliar
- Tratamento 4. Sulfato de zinco 375 g ha⁻¹ foliar
- Tratamento 5. Sulfato de zinco 500 g ha⁻¹ foliar

Com este experimento objetivou-se estudar o efeito da aplicação foliar de zinco, à partir da antese floral, como método para incrementar o teor do micronutriente nos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em substrato com teor adequado do micronutriente; além da determinação das doses de zinco mais adequadas a serem aplicadas através de pulverização foliar visando o enriquecimento do teor do nutriente no grão. A parcela experimental caracteriza-se por quatro plantas que foram conduzidas até o final do experimento.

4.3.3. Experimento 3

O terceiro experimento foi realizado com uma monocotiledônea, utilizando-se diferentes doses de zinco em trigo. Desse modo, foi utilizado como fonte sulfato de zinco ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), composto por 5 tratamentos, com 8 repetições, perfazendo 40 parcelas, em delineamento inteiramente casualizado, no qual foram comparadas as diferentes doses de sulfato de zinco, aplicadas à partir da antese das plantas de trigo. Os tratamentos foram: controle (sem aplicação de Zn), sulfato de zinco 125 g ha^{-1} , sulfato de zinco 250 g ha^{-1} , sulfato de zinco 375 g ha^{-1} e por fim sulfato de zinco 500 g ha^{-1} . As doses utilizadas foram selecionadas adotando como critério tratamentos similares aos experimentos existentes na literatura, como nos trabalhos de Yilmaz et al. (1997), Ferreira et al. (2001), Teixeira et al. (2005), Ozturk et al. (2006) e Cardoso et al. (2012). A semeadura do trigo foi feita na data 17/04/2017, com aplicação dos tratamentos 73, 80, 87 e 94 dias após a semeadura

- Tratamento 1. Controle
- Tratamento 2. Sulfato de zinco 125 g ha^{-1} foliar
- Tratamento 3. Sulfato de zinco 250 g ha^{-1} foliar
- Tratamento 4. Sulfato de zinco 375 g ha^{-1} foliar
- Tratamento 5. Sulfato de zinco 500 g ha^{-1} foliar

Com este experimento se estudou o efeito da aplicação foliar de zinco, à partir da antese floral, como método para incrementar o teor do micronutriente nos grãos de trigo (*Triticum aestivum* L.), em substrato com teor adequado do micronutriente; determinação das doses de zinco mais adequadas a serem aplicadas através de pulverização foliar visando o enriquecimento do teor do nutriente no grão; por fim averigou-se o efeito da germinação em sementes de trigo enriquecidas com maior teor de zinco. A parcela experimental caracteriza-se por quatro plantas que foram conduzidas até o final do experimento.

4.4. Variáveis Analisadas

As variáveis analisadas no primeiro experimento foram:

- Número de vagens
- Massa seca de vagens
- Número de grãos
- Massa seca de grãos
- Teor de zinco no grão

As variáveis analisadas no segundo experimento foram:

- Massa seca aérea
- Número de vagens
- Massa seca de vagens
- Número de grãos
- Massa seca de grãos
- Teor de zinco no grão
- Teor de proteína no grão

As variáveis analisadas no terceiro experimento foram:

- Número de espiguetas
- Massa seca de espiguetas
- Número de grãos
- Massa seca de grãos
- Teor de zinco no grão
- Germinação

O número de vagens, o número de espiguetas e o número de grãos foram obtidos pela coleta e contagem dessas variáveis. A massa seca de vagens, massa seca de espiguetas, massa seca de grãos e massa seca aérea foram estabelecidos pela coleta do material vegetal, sendo estes acondicionados em sacos de papel devidamente identificados, em seguida secos em estufa à 75 °C durante 72 horas e levados para balança de precisão para obtenção da massa seca.

O teor de proteína bruta nos grãos foi determinado pela decomposição das proteínas e outros componentes nitrogenados na presença de H₂SO₄ concentrado à quente, segundo o método Kjeldahl, multiplicando-se o valor do N total pelo fator 6,25 (AOAC, 1995).

A germinação foi realizada com oito repetições de 50 sementes/período/temperatura, que foram colocadas em rolos de papel Germitest® previamente umedecidos na proporção de três vezes o peso seco do papel em água destilada, sendo então levados à câmara de germinação tipo BOD, regulada à temperatura constante de 20°C. A interpretação do teste foi realizada aos quatro e oito dias após a semeadura, computando-se as porcentagens de plântulas normais, de acordo com as recomendações das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Finalmente, a análise de zinco nos grãos foi efetuada por análises químicas de 0,25 grama do material vegetal seco. O material foi triturado mecanicamente para ser submetido à digestão nítrico-perclórica e quantificação por espectrometria de emissão atômica com plasma de argônio (ICP-AES) (MALAVOLTA et al., 1997). A digestão nítrico-perclórica foi realizada adicionando-se 2,5 mL de uma mistura de ácido nítrico (HNO_3) e ácido perclórico (HClO_4) em um tubo de digestão, contendo a amostra. Após, os tubos permaneceram em bloco digestor aumentando gradativamente a temperatura de 30 em 30 minutos, até que fosse atingida a temperatura de 210°C (MALAVOLTA et al., 1997). Com algumas horas, as amostras ficaram incolores e prontas para a análise, contudo, as análises foram efetuadas apenas 24 horas depois por espectrometria de emissão atômica com plasma de argônio (ICP-AES).

4.5. Análise Estatística

As análises de variância foram obtidas através do SAS statistical program (SAS, 1999) e as diferenças entre as médias dos parâmetros avaliados foram obtidas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Foram feitas equações de regressão linear para as variáveis teor de zinco no grão (mg kg^{-1}) do feijoeiro 'BRS Estilo' sob aplicações de diferentes doses de zinco, teor de zinco no grão (mg kg^{-1}) do trigo 'TBIO Sinuelo' sob aplicações de diferentes doses de zinco e germinação (%) do trigo 'TBIO Sinuelo' sob aplicações de diferentes doses de zinco.

5. RESULTADOS

5.1. Resultados Experimento 1

Na análise de produção observou-se que o número de vagens colhidas revelou-se superior no feijoeiro que recebeu os tratamentos controle e com aplicação foliar de sulfato de zinco (250 g Zn ha^{-1}) pulverizado à partir da antese, comparativamente ao tratamento com cloreto de zinco (250 g Zn ha^{-1}) pulverizado à partir da antese, pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade (Figura 1).

Figura 1 - Número de vagens do feijoeiro 'BRS Estilo' sob aplicações de diferentes fontes de zinco. Os valores das barras são médias ($n=6$), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p<.01$).

A massa seca das vagens foi significativamente maior nas plantas tratadas com pulverizações foliares à partir da antese com sulfato de zinco (250 g Zn ha^{-1}) em relação aos tratamentos que receberam aplicações foliares à partir da antese de phosphorus zinco (250 g Zn ha^{-1}), nitrato de zinco (250 g Zn ha^{-1}) e cloreto de zinco (250 g Zn ha^{-1}) pelo teste Tukey à 5% de probabilidade, como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Massa seca de vagens (g) do feijoeiro 'BRS Estilo' sob aplicações de diferentes fontes de zinco. Os valores das barras são médias (n=6), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < .01$).

O número de grãos colhidos foi mais alto nos tratamentos com pulverizações foliares à partir da antese de 250 g Zn ha^{-1} com sulfato de zinco e controle em relação aos tratamentos com pulverizações foliares à partir da antese de 250 g Zn ha^{-1} das fontes nitrato de zinco e cloreto de zinco pelo teste Tukey (5%) de acordo com a Figura 3.

Figura 3 - Número de grãos do feijoeiro 'BRS Estilo' sob aplicações de diferentes fontes de zinco. Os valores das barras são médias (n=6), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < .01$).

A massa seca de grãos obtidos foi superior no feijoeiro tratado com pulverizações foliares à partir da antese de sulfato de zinco (250 g Zn ha^{-1}) comparativamente ao tratamento com phosphorus zinco, nitrato de zinco e cloreto de zinco, também aplicados com início na antese na dose de 250 g Zn ha^{-1} , de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade (Figura 4).

Figura 4 - Massa seca de grãos (g) do feijoeiro 'BRS Estilo' sob aplicações de diferentes fontes de zinco. Os valores das barras são médias ($n=6$), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p<.01$).

Como mostra a Figura 5, na análise do teor de zinco no grão observamos que de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade os tratamentos com cloreto de zinco (250 g Zn ha^{-1}), sulfato de zinco (250 g Zn ha^{-1}) e nitrato de zinco (250 g Zn ha^{-1}) apresentaram incremento no teor de zinco do grão em relação aos tratamentos com NHT zinco e controle.

Figura 5 - Teor de zinco no grão (mg kg⁻¹) do feijoeiro 'BRS Estilo' sob aplicações de diferentes fontes de zinco. Os valores das barras são médias (n=6), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey (p<.01).

5.2 Resultados Experimento 2

Os tratamentos com pulverizações de diferentes doses de sulfato de zinco realizadas a partir da antese, não afetaram massa seca da parte aérea das plantas de feijoeiro estabelecida na antese pelo teste de comparação de médias aplicado (Tukey, ao nível de 5% de probabilidade), conforme a Tabela 3.

A aplicação foliar de sulfato de zinco (0, 125, 250, 375 e 500 g Zn ha⁻¹) pulverizado no início da antese em plantas de feijoeiro não mostrou diferença significativa na variável número de vagens pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 3).

A aplicação foliar de sulfato de zinco (0, 125, 250, 375 e 500 g Zn ha⁻¹) pulverizado no início da antese em plantas de feijoeiro não foi significativamente diferente na variável massa seca de vagens pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 3).

A aplicação foliar de sulfato de zinco (0, 125, 250, 375 e 500 g Zn ha⁻¹) pulverizado no início da antese em plantas de feijoeiro não foi significativamente diferente na variável número de grãos pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 3).

A aplicação foliar de sulfato de zinco (0, 125, 250, 375 e 500 g Zn ha⁻¹) pulverizado no início da antese em plantas de feijoeiro não mostrou diferença significativa na variável massa seca de grãos pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 3).

Tabela 3 - Massa seca aérea (g), número de vagens, massa seca de vagens (g), número de grãos e massa seca de grãos (g) do feijoeiro 'BRS Estilo' sob aplicações de diferentes doses de zinco.

Dose (g Zn ha ⁻¹)	Massa Seca Aérea (g)	Número de Vagens	Massa Seca de Vagens (g)	Número de Grãos	Massa Seca de Grãos (g)
0	20,275a	33,250a	53,618a	163,375a	43,190a
125	19,124a	35,625a	57,181a	170,750a	45,755a
250	20,580a	38,375a	56,169a	176,000a	45,134a
375	18,248a	35,750a	54,453a	170,375a	43,680a
500	20,934a	36,500a	53,506a	171,000a	43,063a

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível 5% de probabilidade.

O teor de zinco nos grãos mostrou-se significativamente maior em todos os tratamentos em que houve pulverizações foliares à partir da antese com sulfato de zinco (125, 250, 375 e 500 g Zn ha⁻¹) em relação ao controle pelo teste Tukey, de acordo com a Figura 6.

Figura 6 - Teor de zinco no grão (mg kg⁻¹) do feijoeiro 'BRS Estilo' sob aplicações de diferentes doses de zinco. Os valores das barras são médias (n=8), valores com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey (p<.01).

A aplicação foliar de sulfato de zinco (0, 125, 250, 375 e 500 g Zn ha⁻¹) pulverizado com início na antese em plantas de feijoeiro não mostrou diferença significativa na variável teor de proteína nos grãos pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade (Figura 7).

Figura 7 - Teor de proteína no grão (%) do feijoeiro 'BRS Estilo' sob aplicações de diferentes doses de zinco. Os valores das barras são médias (n=8), colunas com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey (não significativo).

5.3 Resultados Experimento 3

Os tratamentos com pulverizações de diferentes doses de sulfato de zinco (0, 125, 250, 375 e 500 g Zn ha⁻¹) realizadas a partir da antese, não afetaram o número de espiguetas, massa seca de espiguetas, número de grãos e massa seca de grãos de plantas de trigo pelo teste de comparação de médias aplicado (Tukey, ao nível de 5% de probabilidade), conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Número de espiguetas, massa seca de espiguetas (g), número de grãos e massa seca de grãos (g) do trigo 'TBIO Sinuelo' sob aplicações de diferentes doses de zinco.

Dose (g Zn ha ⁻¹)	Número de Espiguetas	Massa Seca de Espiguetas (g)	Número de Grãos	Massa Seca de Grãos (g)
0	8,75a	8,3637a	214,38a	6,275a
125	9,50a	8,6725a	219,50a	6,608a
250	9,12a	8,5318a	240,63a	6,648a
375	9,12a	8,8775a	223,50a	6,648a
500	9,12a	10,0100a	252,50a	7,656a

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível 5% de probabilidade.

O teor de zinco nos grãos mostrou-se significativamente maior em todos os tratamentos em que houve pulverizações foliares à partir da antese, em plantas de trigo, com sulfato de zinco (125, 250, 375 e 500 g Zn ha⁻¹) em relação ao controle pelo teste Tukey, de acordo com a Figura 8.

Figura 8 - Teor de zinco no grão (mg kg⁻¹) do trigo 'TBIO Sinuelo' sob aplicações de diferentes doses de zinco. Os valores das barras são médias (n=8), valores com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey (p<.01).

Na análise de germinação de sementes enriquecidas com zinco, observa-se que não houve diferença na germinação entre os diferentes tratamentos aplicados (0, 125, 250, 375 e 500 g Zn ha⁻¹) pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade (Figura 9).

Figura 9 - Germinação (%) do trigo 'TBIO Sinuelo' sob aplicações de diferentes doses de zinco. Os valores das barras são médias (n=8), valores com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Tukey (não significativo).

6. DISCUSSÃO

Provavelmente as variáveis produtivas entre os tratamentos que receberam aplicação foliar de diferentes fontes de zinco (primeiro experimento) não diferiram do tratamento controle em virtude do micronutriente estar elevado no substrato. Estes dados estão de acordo com os obtidos por Teixeira et al. (2008), em que feijoeiros cultivados em solos com teor de Zn próximo de $2,1 \text{ mg dm}^{-3}$, não tiveram aumento de produtividade através da utilização de cloreto ou sulfato de zinco, aplicados via foliar.

Ainda, segundo Ram et al. (2016), a aplicação foliar de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ realizada isoladamente ou em conjunto com defensivos agrícolas não influenciou a produção de grãos de feijão em cinco diferentes experimentos realizados em distintas regiões do Brasil.

No primeiro experimento as variáveis produtivas (número de vagens, massa seca de vagens, número de grãos e massa seca de grãos) tiveram pior desempenho quando utilizado o cloreto de zinco. Isto ocorreu devido a toxidez por cloro, caracterizada pela queima das margens das folhas localizadas externamente na planta, que pode ser observada nas plantas em que aplicou-se cloreto de zinco (MALAVOLTA, 2006).

Com relação ao teor de zinco no grão utilizando diferentes fontes de zinco, aplicado via foliar, à partir da antese, nota-se que os resultados corroboram com os de Teixeira et al. (2005), em que a adubação foliar com zinco promoveu acréscimos no teor de Zn nos grãos de feijão. Resultados similares também foram obtidos por Ram et al. (2016), em que a aplicação foliar de sulfato de zinco em cinco experimentos de diferentes regiões do Brasil aumentaram significativamente a concentração de Zn no grão de feijoeiro.

Os dados das variáveis produtivas entre os tratamentos que receberam aplicação foliar de diferentes doses de zinco (segundo experimento), assim como no experimento anterior, não foram influenciadas entre os tratamentos que receberam aplicação foliar de zinco e o tratamento controle pois o teor do micronutriente no substrato estava elevado. Estes dados estão de acordo com os obtidos por Teixeira et al. (2008), que em solos com teor de Zn próximo de $2,1 \text{ mg dm}^{-3}$, não houve aumento de produtividade para o feijoeiro com a utilização de cloreto ou sulfato de zinco, aplicados via foliar. Também segundo Ram et al. (2016), a aplicação foliar de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ realizada isoladamente ou em conjunto com defensivos agrícolas não influenciou a produção de grãos de feijão em cinco diferentes experimentos realizados em distintas regiões do Brasil.

O teor de zinco no grão de feijão, após aplicação foliar de diferentes doses de sulfato de zinco, está de acordo com os obtidos por Teixeira et al. (2005), em que a adubação foliar com zinco promoveu acréscimos do teor de Zn nos grãos de feijão. Resultados similares também foram obtidos

por Ram et al. (2016), em que a aplicação foliar de sulfato de zinco em cinco experimentos de diferentes regiões do Brasil aumentaram significativamente a concentração de Zn no grão.

Considerando os dados produtivos e o teor do nutriente no grão, percebe-se que qualquer dose utilizada no trabalho é capaz de incrementar significativamente o teor de zinco no grão em relação ao controle, sem afetar a produção da cultura do feijão.

No experimento do trigo (terceiro experimento) percebe-se que resultados gerados se assemelham com dados obtidos por Yilmaz et al. (1997), que observaram maior concentração de Zn nos grãos de trigo cujas plantas receberam aplicação de zinco, em relação às plantas de trigo sem aplicação do micronutriente. O efeito da aplicação foliar de zinco na concentração desse micronutriente em sementes de trigo também foi incrementado em trabalho de Ozturk et al. (2006), em que os autores concluíram que os tratamentos com aplicação foliar de Zn foram efetivos para incrementar a concentração e a quantidade total de Zn nas sementes. A concentração do micronutriente em grãos de trigo responderam positivamente à aplicação foliar de sulfato de zinco em seis diferentes países, em trabalho realizado por Ram et al. (2016). Neste trabalho, dos 24 campos experimentais conduzidos, 20 deles apresentaram diferença estatística significativa no teor do zinco no grão de trigo em relação às plantas de trigo sem aplicação foliar do micronutriente.

Os dados das variáveis produtivas entre os tratamentos que receberam aplicação foliar de diferentes doses de zinco no que se refere à produtividade do trigo não foram influenciadas entre os tratamentos que receberam aplicação foliar de zinco e o tratamento controle, assim como nos experimentos anteriores. Isto pode ser explicado pelo teor do micronutriente no substrato, que estava elevado.

Por fim, na análise de germinação não houve diferença entre os diferentes tratamentos aplicados, porém nota-se uma leve tendência de aumento da germinação nas sementes de trigo que tiveram incremento do teor de zinco, sendo as sementes provenientes das aplicações com 500, 375, 250, 125 e 0 g Zn ha⁻¹ na forma de sulfato de zinco, foram as que apresentarem melhores resultados, respectivamente.

7. CONCLUSÕES

- A aplicação foliar de zinco realizada periodicamente, à partir da antese floral é capaz de aumentar o teor do micronutriente em grãos de feijão e de trigo, em substrato com alto teor de Zn;
- A fonte mais viável visando o enriquecimento de grãos de feijão é o sulfato de zinco, em substrato com alto teor de Zn;
- Todas as doses testadas (125, 250, 375 e 500 g Zn ha⁻¹) aplicadas via foliar na forma de sulfato de zinco, foram efetivas para o enriquecimento dos grãos de feijão e de trigo, em relação ao controle (0 g Zn ha⁻¹), em substrato com alto teor de Zn;
- Sementes de trigo enriquecidas com zinco não apresentaram maior germinação, em comparação com sementes não enriquecidas.

REFERÊNCIAS

- AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. Academic Press, Orlando, 1969. 629 p.
- ANTUNES, P. M. et al. The biotic ligand model for plants and metals: technical challenges for field application. **Environ. Toxicol. Chem.**, New Jersey, v. 25, p. 875–882, 2006.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis**. 16.ed. Washington: AOAC, 1995.
- ASHER, C. J. Crop nutrition during establishment phase: Role of seed reserves, **Crop establishment problems in Queensland: recognition, research and resolution**. Eds. I. M. Wood; W. H. Hazard; F. From. Aust. Inst. Agric. Sci., Brisbane, Australia, p. 88-106, 1987.
- ASCHER J. S. et al. Agronomic value of seed with high nutrient content, Proceedings of the CIMMYT **Symposium on Wheat in Tropical Environments**, Bangladesh, 1993.
- BARBOSA, L. C. A. **Os pesticidas, o homem e o meio ambiente**. Viçosa: U.F.V. 2004, 215 p.
- BENTON, J. J. **Agronomic handbook; management of crops, soils and their fertility**. CRC Press LLC. Boca Raton, USA. 2003, 173 p.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 2009, 395 p.
- BROADLEY, M. R. et al. Zinc in plants. **New Phytologist**, New Jersey, v. 173, p. 677-702, 2007.
- BUCHANAN, B. et al. Biochemistry and molecular biology of plants. 1th ed. **American Society of Plant Physiologists**, Rockville, 2001.
- BULISANI, E. A. Feijão. In: RAIJ, B. van et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, **Boletim Técnico**, **100**, Campinas, 1985, 19 p.
- CARDOSO, E. D. et al. Doses de zinco e nitrogênio na produtividade e qualidade de grãos de ervilha. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 42, n. 3, p. 263-271, 2012.
- CAVDAR, A. O. et al. Geophagia in Turkey: Iron and zinc deficiency, iron and zinc absorption studies and response to treatments with zinc in geophagia cases. In: **Zinc deficiency in human subjects**. Alan R. Liss, New York, NY, p. 71-79, 1983.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Mechanism of phosphorus induced zinc deficiency in cotton III. Changes in physiological availability of zinc in plants. **Physiol. Plant.**, Rockville, v. 70, p. 13–20, 1987.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H.; BANGERTH, F. Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and level of indole-3-acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **J. Exp. Bot.**, Oxford, v. 40, p. 405–412, 1989.

CAKMAK, I. et al. Zinc deficiency as an actual problem in plant and human nutrition in Turkey: a NATO-Science for Stability Project. **Field Crops Res.**, Amsterdam, v. 60, p. 175–188, 1999.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil**, Dordrecht, v.302, n.1-2, p.1-17, 2008.

CASTRO, P. R. C. et al. **Manual de estimulantes vegetais: nutrientes, biorreguladores, bioestimulantes, bioativadores, fosfitos e biofertilizantes na agricultura tropical**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2017, 453 p.

CHRISTOFIDIS, D. Água: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil, **Relatório Técnico**. Brasília, PROÁGUA, 2006, 18 p.

CLEMENS, S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. **Planta**, Halle, Saale, v. 212, p. 475-486, 2001.

CLEMENS, S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. **Biochimie**, Bradford, v. 88, p. 1707-1719, 2006.

DAKORA, F. D.; PHILLIPS, D. A. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low nutrient environments. **Plant Soil**, The Hague, v.245, p. 35-47, 2002.

DECHEN, A. R.; HAAG, H. P.; CARMELLO, Q. A. Mecanismos de absorção e de translocação de micronutrientes. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. ed. **Micronutrientes na Agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991, 734p.

EMBRAPA, Arroz e feijão, BRS Estilo: cultivar de grão tipo comercial carioca, com arquitetura de planta ereta associada com alto potencial produtivo. EMBRAPA, Arroz e feijão. **Comunicado Técnico**, n.186, Santo Antônio de Goiás, 2009, 4 p.

EPSTEIN E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sinauer Assoc, Sunderland, Massachusetts, 2005. 147 p.

ERENOGLU, B. et al. Uptake and transport of foliar applied zinc (^{65}Zn) in bread and durum wheat cultivars differing in zinc efficiency. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 241, p. 251-257, 2002.

FAGERIA, N. K. Dry matter yield and nutrient uptake by lowland rice at different growth stages. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 27, n. 6, p. 947–958, 2004.

FERREIRA, A. C. B. et al. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.1, p. 131-138, 2001.

GENC et al. Contribution of different mechanisms to zinc efficiency in bread wheat during early vegetative stage. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 281, p. 353-367, 2006.

GRAHAM, R.; RENGEL, Z. Genotypic variation in zinc uptake and utilization by plants. In: A.D. ROBSON (ed.), **Zinc in soils and plants**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p. 107-118, 1993.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M. Breeding for staple-food crops with high micronutrient density. **Working Papers on Agricultural Strategies for Micronutrients**, n. 3. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C., 1996.

HAFEEZ, B. et al. Role of zinc in plant nutrition: a review. **American Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 3, n. 2, p. 374-391, 2013.

HAIJIBOLAND, R.; SINGH, B.; RÖMHELD, V. Retranslocation of Zn from leaves as an important factor for zinc efficiency of rice genotypes. In: HORST, W. J. et al. (Ed.). **Plant nutrition: food security and sustainability of agroecosystems**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 226-227, 2001.

HASLETT, B. S. et al. Zinc mobility in wheat: uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots. **Ann. Bot.**, London, n. 87, p. 379-386, 2001.

HOTZ, C.; BROWN, K. H. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. **Food Nutr. Bull.**, California, v. 25, p. 94–204, 2004.

HUSSAIN, D. et al. P-type ATPase heavy metal transporters with roles in essential zinc homeostasis in Arabidopsis. **Plant Cell**, New York, v. 16, p. 1327-1339, 2006.

JEONG, J.; GUERINOT, M. L. Biofortified and bioavailable: the gold standard for plant-based diets, **PNAS**, Washington, v. 6, p. 1777–1778, 2008.

JURKOWSKA, H. et al. The effect of N-fertilization rate on the levels of mineral components in various plant species: Part II. **Microelements**. Rolnictwo, v. 29, p.51-64, 1990.

KRUGNER, T. L. Ação do ambiente sobre doenças de plantas. In: GALLI, F. (Coord.). **Manual de fitopatologia**. 2. ed., Agronômica Ceres, São Paulo, v. 1, p. 215-225, 1978.

LEACH, M. et al. Transforming innovation for sustainability. **Ecology and Society**, Boston, v. 17, n. 2, 2012, 11 p.

LI, T. et al. Rhizosphere characteristics of zinc hyperaccumulator *Sedum alfredii* involved in zinc accumulation. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 185, p. 818-823, 2011.

LI, X. et al. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of Zn phytotoxicity and mineral nutrition of host plants. In: **17 th WCSS**, Thailand. 2002. p. 73.

LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 1979, 145 p.

LOPES, A. S.; COX, F. R. A survey of the fertility status of surface soils under 'Cerrado' vegetation in Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, New York, v. 41, p. 742-747, 1977.

MALAVOLTA, E et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Potafos, Piracicaba, 1997, 319 p.

MALAVOLTA, E. Sintomas visuais de deficiência e excesso. In: MALAVOLTA, E., **Manual de nutrição mineral de plantas**. Agronômica Ceres, São Paulo, 2006, p. 548-567.

MARSCHNER, H. Zinc uptake from soils. In: A.D. ROBSON, (ed.), **Zinc in soils and plants**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p. 59-77, 1993.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. 2.ed., Academic Press, New York, 1995, 889 p.

van de MORTEL, J. E. et al. Large expression differences in genes for iron and zinc homeostasis, stress response, and lignin biosynthesis distinguish roots of *Arabidopsis thaliana* and the related metal hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. **Plant Physiol.**, New York, v. 42, p. 1127-1147, 2006.

MORTVEDT, J. J.; GILKE, S. Zinc fertilizers. In: ROBSON, A.D. (Ed.), **Zinc in soils and plants**. Boston, Kluwer Academic, 1993, p. 33-43.

MICRONUTRIENT INITIATIVE. Controlling vitamin and mineral deficiencies in India: meeting the goal. **Micronutrient Initiative**. New Delhi, India, 2006.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL RECOMMENDED DIETARY ALLOWANCES. Subcommittee on the Tenth Edition of the RDAs Food and Nutrition Board, **Commission on Life Sciences** 10th ed. National Academy Press, Washington, DC, 1989.

OZTURK, L. et al. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. **Physiol. Plant.**, Rockville, v. 128, p. 144–152, 2006.

PALMER, C.; GUERINOT, M. Facing the challenges of Cu, Fe and Zn homeostasis in plants. **Nature Chem.**, Washington, v. 5, p. 333-340, 2009.

PALMGREN, M. G. et al. Zinc biofortification of cereals: problems and solutions. **Trends in Plant Science**, London, v. 13, p. 464-473, 2008.

PEDRAS, J. F. **Aplicação agrícola da adubação foliar**. 1976. 19 p. Monografia (Curso de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 1976.

PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. Biofortification: breeding micronutrient-dense crops. In: Kang MS (Ed) **Breeding major food staples**, Iowa, Blackwell Science Ltd., 2007.

PRASAD, A. S. Discovery and importance of zinc in human nutrition. **Fed. Proc.**, Rockville, v. 43, p. 2829-2834, 1984.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A., eds. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RAM, H. et al. Biofortification of wheat, rice and common bean by applying foliar zinc fertilizer along with pesticides in seven countries. **Plant Soil**, The Hague, v. 403, p. 389-401, 2016.

RENGEL, Z.; GRAHAM, R. D. Importance of seed zinc content for wheat growth on zinc-deficient soil. II. Grain yield. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 173, p. 267-274, 1995.

RITCHEY, K. D. et al. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro Argiloso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Goiânia, v. 21, p. 215-225, 1986.

RODRIGUES, L. A. et al. Absorção e translocação de zinco em feijoeiro aplicado via foliar. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.9, p.111-115, 1997.

SÁ, M. E. Importância da adubação na qualidade de sementes. In: SÁ, M. E.; BUZETTI, S. (Coords.). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. Ícone, São Paulo, 1994, 65 p.

SADEGHZADEH, B. A review of zinc nutrition and plant breeding. **J. Soil Sci. Plant Nutr.**, London, v. 13, p. 905–927, 2013.

SAS. Statistical Analysis System Institute. SAS/STAT Procedure guide for personal computers. Versão 5. **SAS Institute**, Cary, 1999.

SHEWRY, P. R. Wheat. **Journal of Experimental Botany**, Eynsham, v. 60, n. 6, p. 1537–1553, 2009.

SINCLAIR, S. A.; KRAMER U. The zinc homeostasis network of land plants. **Biochim. Biophys. Acta.**, Amsterdam, p. 1553–1567, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Artmed, Porto Alegre. 2004.

TAKKAR, P. N.; WALKER, C. D. The distribution and correction of zinc deficiency, In: A.D. ROBSON (ed.), **Zinc in soils and plants**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p. 151-166, 1993.

TEIXEIRA, I. R. et al. Teores de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de feijão em resposta à adubação foliar com manganês e zinco. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 83-88, 2005.

TEIXEIRA, I. R. et al. Fontes e doses de zinco no feijoeiro cultivado em diferentes épocas de semeadura. **Acta Sci. Agron.**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 255-259, 2008.

THOMINE, S. et al. Cadmium and iron transport by members of a plant metal transporter family in *Arabidopsis* with homology to Nramp genes. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, New York, USA, v. 97, p. 4991-4996, 2000.

VÁLIO, I. F. M. Auxinas. In: FERRI, M. G. **Fisiologia Vegetal** v. 2. E.P.U./EDUSP, São Paulo, p. 39-79, 1979.

VANDER, A et al. **Human physiology: the mechanisms of body function**, 8th edn. McGraw-Hill Higher Education, New York, 2001.

VELU G, et al. Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. **Journal of Cereal Science**, London, v. 59, p. 365-372, 2014.

WELCH, R. M. Importance of seed mineral nutrient reserves in crop growth and development. In: RENGEL, Z., **Mineral nutrition of crops: Fundamental mechanisms and implications**. Food Products Press, New York, p. 205–226, 1999.

WHITE, J. G.; ZASOSKI, R. H. Mapping soil micronutrients. **Field Crops Res.**, Amsterdã, v. 60, p. 11–26, 1999.

WOOD, L. J.; MURRAY, B. J.; OKATAN, Y.; NOODÉN, L. D. Effect of petiole phloem distribution on starch and mineral distribution in senescing soybean leaves. **American Journal of Botany**, Bronx, v. 73, p. 1377-1383, 1986.

YILMAZ, A. et al. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentrations in wheat cultivars grown on zinc-deficiency calcareous soils. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 20, p. 461-471, 1997.

YILMAZ, A. et al. Effect of seed zinc content on grain yield and zinc concentration of wheat grown in zinc-deficient calcareous soils, **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, n. 10, p. 2257-2264, 1998.

YIN, X. B.; YUAN, L. X. Phytoremediation and Biofortification: Two Sides of One Coin. **Springer**, Berlin, p. 1–31, 2012.

ZHANG et al. Mineral element concentrations in grains of chinese wheat cultivars. **Euphytica**, Wageningen, v. 174, p. 303-313, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Análise de variância relativa a Figura 1.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	504.2222222	100.8444444	0.0053**
Bloco	5	251.5555556	50.3111111	0.0881 ^{ns}

** significativo (p <.01)

Coefficiente de Variação: 26.82712

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
A	22.833a
B	22.000a
F	19.333ab
E	15.500ab
D	14.833ab
C	12.833b

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco
- C. Cloreto de zinco
- D. Nitrato de zinco
- E. Phosphorus zinco
- F. NHT zinco

APÊNDICE B. Análise de variância relativa a Figura 2.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	38.63029140	7.72605828	0.0001**
Bloco	5	19.04331804	3.80866361	0.0053**

** significativo ($p < .01$)

Coefficiente de Variação: 22.18241

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
B	17.812a
F	15.640ab
A	14.605abc
E	8.403bcd
D	8.302cd
C	5.493d

MASSA SECA DE VAGENS (g) – TRANSFORMADO (elevado a 0.6)

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
B	5.5217a
F	5.1777ab
A	4.8529abc
E	3.5244bcd
D	3.4487cd
C	2.6873d

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco
- C. Cloreto de zinco
- D. Nitrato de zinco
- E. Phosphorus zinco
- F. NHT zinco

APÊNDICE C. Análise de variância relativa a Figura 3.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	10760.22222	2152.04444	0.0002**
Bloco	5	4708.55556	941.71111	0.0204*

** significativo ($p < .01$)

Coefficiente de Variação: 34.38020

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
B	70.167a
A	64.167a
F	62.667ab
E	40.833abc
D	33.333bc
C	24.167c

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco
- C. Cloreto de zinco
- D. Nitrato de zinco
- E. Phosphorus zinco
- F. NHT zinco

APÊNDICE D. Análise de variância relativa a Figura 4.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	30.26400022	6.05280004	0.0001**
Bloco	5	13.49609542	2.69921908	0.0087**

** significativo ($p < .01$)

Coefficiente de Variação: 23.57230

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
B	13.342a
F	11.725ab
A	11.283abc
E	6.237bcd
D	5.685cd
C	3.867d

MASSA SECA DE GRÃOS (g) – TRANSFORMADO (elevado a 0.6)

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
B	4.6488a
F	4.3532ab
A	4.1179abc
E	2.9443bcd
D	2.7570cd
C	2.1757d

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco
- C. Cloreto de zinco
- D. Nitrato de zinco
- E. Phosphorus zinco
- F. NHT zinco

APÊNDICE E. Análise de variância relativa a Figura 5.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	4338.720371	867.744074	0.0001**
Bloco	5	384.781253	76.956251	0.5375

** significativo (p <.01)

Coefficiente de Variação: 19.38253

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
C	63.425a
B	58.502ab
D	57.502ab
E	45.957bc
F	37.029c
A	34.801c

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco
- C. Cloreto de zinco
- D. Nitrato de zinco
- E. Phosphorus zinco
- F. NHT zinco

APÊNDICE F. Análise de variância relativa a Tabela 3.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	44.34051500	11.08512875	0.4667 ^{ns}
Bloco	7	42.96264000	6.13752000	

^{ns} não significativo

Coefficiente de Variação: 17.43311

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
E	20.934a
A	20.725a
C	20.580a
B	19.124a
D	18.248a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco 125 g ha⁻¹
- C. Sulfato de zinco 250 g ha⁻¹
- D. Sulfato de zinco 375 g ha⁻¹
- E. Sulfato de zinco 500 g ha⁻¹

APÊNDICE G. Análise de variância relativa a Tabela 3.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	108.8500000	27.2125000	0.4577 ^{ns}
Bloco	7	252.4000000	36.0571429	

^{ns} não significativo

Coeficiente de Variação: 15.02215

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
C	38.375a
E	36.500a
D	35.750a
B	35.625a
A	33.250a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco 125 g ha⁻¹
- C. Sulfato de zinco 250 g ha⁻¹
- D. Sulfato de zinco 375 g ha⁻¹
- E. Sulfato de zinco 500 g ha⁻¹

APÊNDICE H. Análise de variância relativa a Tabela 3.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	84.5207350	21.1301837	0.5324 ^{ns}
Bloco	7	522.9284375	74.7040625	

^{ns} não significativo

Coefficiente de Variação: 9.317550

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
B	57.181a
C	56.169a
D	54.453a
A	53.618a
E	53.506a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco 125 g ha⁻¹
- C. Sulfato de zinco 250 g ha⁻¹
- D. Sulfato de zinco 375 g ha⁻¹
- E. Sulfato de zinco 500 g ha⁻¹

APÊNDICE I. Análise de variância relativa a Tabela 3.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	649.150000	162.287500	0.7825 ^{ns}
Bloco	7	5655.600000	807.942857	

^{ns} não significativo

Coeficiente de Variação: 11.34811

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
C	176.000a
E	171.000a
B	170.750a
D	170.375a
A	163.375a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco 125 g ha⁻¹
- C. Sulfato de zinco 250 g ha⁻¹
- D. Sulfato de zinco 375 g ha⁻¹
- E. Sulfato de zinco 500 g ha⁻¹

APÊNDICE J. Análise de variância relativa a Tabela 3.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	46.9434400	11.7358600	0.6988 ^{ns}
Bloco	7	387.2444175	55.3206311	

^{ns} não significativo

Coeficiente de Variação: 10.43571

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
B	45.755a
C	45.134a
D	43.680a
A	43.190a
E	43.063a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco 125 g ha⁻¹
- C. Sulfato de zinco 250 g ha⁻¹
- D. Sulfato de zinco 375 g ha⁻¹
- E. Sulfato de zinco 500 g ha⁻¹

APÊNDICE K. Análise de variância relativa a Figura 6.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	646.8068546	161.7017136	0.0001**
Bloco	7	109.1431910	15.5918844	

** significativo ($p < .01$)

Coefficiente de Variação: 9.385722

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
E	48.861a
D	47.151a
C	46.060a
B	45.062a
A	37.237b

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco 125 g ha⁻¹
- C. Sulfato de zinco 250 g ha⁻¹
- D. Sulfato de zinco 375 g ha⁻¹
- E. Sulfato de zinco 500 g ha⁻¹

APÊNDICE L. Análise de variância relativa a Figura 7.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	3.05949859	0.76487465	0.2457 ^{ns}
Bloco	3	1.45494424	0.48498141	

^{ns} não significativo

Coefficiente de Variação: 3.454205

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
E	20.773a
A	20.594a
D	20.069a
C	19.909a
B	19.773a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco 125 g ha⁻¹
- C. Sulfato de zinco 250 g ha⁻¹
- D. Sulfato de zinco 375 g ha⁻¹
- E. Sulfato de zinco 500 g ha⁻¹

APÊNDICE M. Análise de variância relativa a Tabela 4.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0.00981992	0.00245498	0.9352 ^{ns}
Resíduos	35	0.42399603	0.01211417	

^{ns} não significativo

Coeficiente de Variação: 11.61362

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
B	9.50a
D	9.12a
C	9.12a
E	9.12a
A	8.75a

NÚMERO DE ESPIGUETAS - TRANSFORMADO LOG BASE 10

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
B	0.96741a
D	0.95739a
C	0.95349a
E	0.93703a
A	0.92326a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco 125 g ha⁻¹
- C. Sulfato de zinco 250 g ha⁻¹
- D. Sulfato de zinco 375 g ha⁻¹
- E. Sulfato de zinco 500 g ha⁻¹

APÊNDICE N. Análise de variância relativa a Tabela 4.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0.02603232	0.00650808	0.7425 ^{ns}
Resíduos	35	0.46418497	0.01326243	

^{ns} não significativo

Coefficiente de Variação: 12.31933

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
E	10.0100a
D	8.8775a
B	8.6725a
C	8.5318a
A	8.3637a

MASSA SECA DE ESPIGUETAS (g) - TRANSFORMADO LOG BASE 10

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
E	0.97851a
D	0.94035a
B	0.92765a
C	0.92752a
A	0.90003a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco 125 g ha⁻¹
- C. Sulfato de zinco 250 g ha⁻¹
- D. Sulfato de zinco 375 g ha⁻¹
- E. Sulfato de zinco 500 g ha⁻¹

APÊNDICE O. Análise de variância relativa a Tabela 4.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	8125.8500	2031.4625	0.7578 ^{ns}
Resíduos	35	151471.7500	4327.7643	

^{ns} não significativo

Coefficiente de Variação: 28.59007

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
E	252.50a
C	240.63a
D	223.50a
B	219.50a
A	214.38a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco 125 g ha⁻¹
- C. Sulfato de zinco 250 g ha⁻¹
- D. Sulfato de zinco 375 g ha⁻¹
- E. Sulfato de zinco 500 g ha⁻¹

APÊNDICE P. Análise de variância relativa a Tabela 4.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	8.6946400	2.1736600	0.7070 ^{ns}
Resíduos	35	140.7748375	4.0221382	

^{ns} não significativo

Coeficiente de Variação: 29.63796

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
E	7.656a
C	6.648a
D	6.648a
B	6.608a
A	6.275a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco 125 g ha⁻¹
- C. Sulfato de zinco 250 g ha⁻¹
- D. Sulfato de zinco 375 g ha⁻¹
- E. Sulfato de zinco 500 g ha⁻¹

APÊNDICE Q. Análise de variância relativa a Figura 8.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0.18401185	0.04600296	0.0001**
Resíduos	35	0.16110725	0.00460306	

** significativo ($p < .01$)

Coefficiente de Variação: 3.428032

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
E	111.875a
C	105.125a
D	103.250a
B	95.500a
A	71.875b

MASSA SECA DE ESPIGUETAS (g) - TRANSFORMADO LOG BASE 10

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
E	2.04363a
C	2.01450a
D	2.01038a
B	1.97700a
A	1.85025b

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco 125 g ha⁻¹
- C. Sulfato de zinco 250 g ha⁻¹
- D. Sulfato de zinco 375 g ha⁻¹
- E. Sulfato de zinco 500 g ha⁻¹

APÊNDICE R. Análise de variância relativa a Figura 9.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	546.600000	136.650000	0.3771 ^{ns}
Resíduos	35	4392.500000	125.500000	

^{ns} não significativo

Coeficiente de Variação: 14.11806

MÉDIAS DE TRATAMENTO (TUKEY)

Tratamentos	Médias
E	84.000a
D	82.750a
C	78.750a
B	77.500a
A	73.750a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foram aplicados os testes Tukey e Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

- A. Controle
- B. Sulfato de zinco 125 g ha⁻¹
- C. Sulfato de zinco 250 g ha⁻¹
- D. Sulfato de zinco 375 g ha⁻¹
- E. Sulfato de zinco 500 g ha⁻¹