



**THIAGO PEREIRA CAMPOS**

**AVALIAÇÃO DA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA  
COM ZINCO EM TRIGO**

**LAVRAS-MG**

**2021**

**THIAGO PEREIRA CAMPOS**

**AVALIAÇÃO DA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM  
TRIGO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Adenilson Henrique Gonçalves

Orientador

**LAVRAS-MG**

**2021**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Arquimedes Campos e Eliana Campos por todos os ensinamentos, paciência e apoio incondicional em toda minha trajetória dentro e fora da universidade, e também pela perseverança para que realizasse meus sonhos.

Agradeço a Malu, pela paciência, incentivo, apoio, companheirismo, carinho, e principalmente, por seu amor.

Agradeço a minha irmã, Thaís, pelo suporte, incentivo e companheirismo.

Agradeço a Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de realização da graduação em Agronomia e pelos conhecimentos adquiridos.

Agradeço ao Núcleo de Estudos em Sistema de Plantio Direto, por toda experiência adquirida, pelas amizades formadas e pelos conhecimentos proporcionados.

Agradeço aos meus amigos Klinger e Bruno por estarem sempre comigo me apoiando e dando suporte em todos momentos da graduação.

Agradeço a Epamig Sul, pelo apoio na condução e avaliação do experimento.

Agradeço ao meu orientador Adenilson Henrique, pelo auxílio. Agradeço a Giuliana Duarte e Aurinelza Teixeira pelo apoio em todo o trabalho, bem como na elaboração e finalização deste.

## RESUMO

A deficiência de micronutrientes afeta a saúde da população humana em todo o mundo, entre elas, a carência em zinco é uma das mais preocupantes. A biofortificação de alimentos pode ser uma alternativa eficiente e de baixo custo, capaz de enriquecer alimentos com micronutrientes e levá-los a populações carentes. O trigo sendo uma das culturas mais consumidas no mundo, se torna uma boa oportunidade para utilização da biofortificação. Portanto, objetivou-se neste trabalho avaliar a biofortificação agrônômica com zinco na cultura do trigo, bem como a interação com diferentes densidades de semeadura. Foram realizadas aplicações foliares do micronutriente utilizando as fontes sulfato de zinco ( $ZnSO_4$ ) e quelato de zinco (Zn EDTA), além do tratamento controle (sem aplicação). As diferentes densidades de semeadura utilizadas foram 150, 250, 350 e 450 sementes  $m^2$ . Foram analisadas as concentrações de zinco na parte aérea, espiga e grãos das plantas de trigo, além de altura de plantas, peso hectolitro da massa de grãos e produção de grãos. Concluiu-se que tanto o tratamento sulfato de zinco quanto o quelato de zinco foram eficientes para aumentar a concentração do micronutriente no grão. As maiores concentrações de zinco na parte aérea e espiga, foram obtidas com uso do sulfato de zinco. Por fim, a densidade de semeadura e as diferentes fontes de zinco não interferiram na produção de grãos, entretanto, a medida que se aumentou a densidade, as plantas cresceram mais em altura.

**Palavras-chave:** Biofortificação; Densidade; Quelato; Sulfato.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	7
2.1 Trigo .....	7
2.1.1 Densidades de semeadura.....	8
2.2 A biofortificação de alimentos .....	9
2.3 Zinco.....	11
2.3.1 Fontes de aplicação foliar de zinco .....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1 Condução do experimento.....	13
3.2 Avaliação das concentrações de Zn.....	15
3.3 Análise estatística .....	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	16
5 CONCLUSÃO.....	21
6 REFERÊNCIAS .....	22

## 1 INTRODUÇÃO

A população mundial apresenta crescimento diário e constante, para atender a demanda de alimentos nota-se que é preciso produzir maiores quantidades em menores áreas, isto é, estar buscando por elevadas produtividades, especialmente após a Revolução Verde, que provocou um efeito negativo na qualidade nutricional dos alimentos produzidos, acarretando problemas de deficiência nutricional em boa parte da população mundial (SOUZA, 2013). Neste contexto, surge o termo “fome oculta” que pode ser definido como a deficiência de um ou mais micronutrientes que não são identificados com clareza no indivíduo, sendo, sua falta prejudicial à saúde (RODRIGUES, 2011). De acordo com a Organização das Nações Unidas, as deficiências de micronutrientes que causam maiores preocupações são a de ferro (Fe), zinco (Zn), selênio (Se), iodo (I) e vitamina A.

A cultura do trigo representa cerca de 30% da produção mundial de grãos, e estima-se também que mais de 30% da população no mundo se alimenta de produtos derivados do trigo, sendo assim, esta cultura apresenta grande importância nas dietas de várias populações ao redor do globo (SOUZA, 2013). No Brasil a produção de trigo para a safra 2020 foi de 6,2 milhões de toneladas, sendo, cerca de 54% disso destinado ao consumo nacional. A região Sul é a maior produtora, representando 89% do total produzido no país (COELHO, 2021).

A biofortificação agrônômica de alimentos básicos é uma das soluções mais econômicas para resolver o problema da deficiência de micronutrientes em humanos. A partir da aplicação foliar dos nutrientes é possível melhorar a biodisponibilidade destes na planta e nos grãos, possibilitando a produção de alimentos com teores de micronutrientes mais elevados e adequados à demanda nutricional da população (CAKMAK, 2008).

O fornecimento de nutrientes via foliar é uma opção eficiente e com custo inferior a aplicações via solo em alguns casos. Quando se trata de micronutrientes, aqueles que são absorvidos pelas culturas em menores quantidades, a aplicação foliar é capaz de suprir as exigências nutricionais da planta e ainda se manter no sistema de produção, pela ciclagem de nutrientes da palhada. São diversas as fontes de micronutrientes para aplicações foliares, entre elas, os sais (cloretos e sulfatos) e os quelatos, são algumas das mais utilizadas (MARTINS, 2009; GONÇALVES, 2017).

A densidade de plantio na cultura do trigo é um fator determinante para se obter as almejadas produtividades de grãos. Neste sentido, esta variável é dependente de diversos fatores, entre eles, as condições de solo, cultivar, clima e tratos culturais. Além disso, o trigo apresenta a capacidade de perfilhamento, compensando possíveis falhas na semeadura e preenchendo os espaços vazios. Porém existem muitas recomendações de densidades de plantio para trigo, mas que não são feitas tomando como base cada peculiaridade regional, desta maneira percebe-se a demanda de estudos para que haja estimativas de densidades adequadas à cada região (ZAGONEL, 2002; GUIMARÃES, 2009).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi analisar a biofortificação com zinco em trigo, utilizando-se duas fontes de aplicação: quelato de zinco (Zn-EDTA) e sulfato de zinco (ZnSO<sub>4</sub>), bem como a interação de diferentes densidades de plantio.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Trigo**

O cultivo do trigo se iniciou por volta de 10.000 anos atrás, juntamente com o surgimento da agricultura durante a “Revolução Neolítica”, período em que diversas populações deixaram de ser caçador-coletor e nômade para um estilo de vida agrícola e sedentário. As primeiras variedades cultivadas eram basicamente espécies selvagens diploides (*eikorn*) e tetraploides (*emmer*), selecionadas de forma primitiva pelos agricultores da época, mas com intuito de obter melhores produtividades e demais características desejadas. Atualmente, ocorre um predomínio de variedades hexaploides, representando aproximadamente 95% do trigo cultivado no mundo, isto se dá pelas propriedades superiores dos hexaploides quando comparados às variedades diploides e tetraploides como tamanho de espiga e grãos (SHEWRY, 2009).

Consumido por 30% da população humana e contribuindo com cerca de 20% das proteínas e da energia dietética consumidas nos países em desenvolvimento, o trigo é uma das principais culturas alimentares básicas do mundo (HARVEST PLUS, 2017). É cultivado em diferentes ambientes e regiões geográficas do globo e representa mais de 17% das terras cultivadas no mundo, sendo aproximadamente 30% da produção mundial de grãos. Na safra 2019/2020 a produção total de trigo foi de 764 milhões de toneladas, com rendimento médio de 3,5 ton.ha<sup>-1</sup>, concentrando-se principalmente nas regiões do hemisfério norte (BONA, 2016; USDA, 2021).

No Brasil a safra de trigo em 2020 ocupou 2.3 milhões de hectares, aumento de 14,8%, com uma produção total de 6.2 milhões de toneladas, representando um aumento de 20,9%, e produtividade média foi de 2.663 kg.ha<sup>-1</sup> apresentando um aumento de 5,4 % em relação à safra passada. Devido a intempéries climáticas em todo o país, desde geadas a falta de água principalmente nas regiões Sul e Sudeste, o rendimento médio foi considerado satisfatório quando se analisa os comparativos a safra passada (CONAB, 2021)

Nas plantas de trigo a deficiência de zinco é expressa por uma clorose internerval na bainha das folhas novas, baixa estatura e encurtamento dos entrenós, além do caule baixo e fino, em estádios de desenvolvimento iniciais as plantas podem ser gravemente afetadas. Em folhas mais velhas, a clorose internerval toma proporções maiores e causa necrose no limbo foliar, causando secamento em algumas partes da folha. A adubação de Zn no trigo deve ser feita via sulco de semeadura, e podem também ser realizadas aplicações foliares a fim de suprir a demanda do nutriente, contudo, não se recomenda aplicações em cobertura, pois o zinco é um elemento com baixa mobilidade no solo (BONA, 2016).

Particularmente o grão de trigo tem capacidade de acumular Zn, este é mais um dos motivos que incentivou a inclusão da cultura nos programas de biofortificação, com a finalidade de se produzir alimentos derivados do trigo com melhores teores do nutriente (BONA, 2016). De acordo com o site da Rede BioFORT, em oito anos de trabalho, relevantes resultados foram gerados e nas melhores cultivares de trigo selecionadas pelos projetos de biofortificação genética, foram encontradas concentrações de Zn e Fe superiores a 40 mg por quilo de farinha de trigo integral, mais de 10 mg a mais quando comparadas às cultivares convencionais no mercado (BIOFORT, 2021).

### **2.1.1 Densidades de semeadura**

A densidade de plantio e o espaçamento entre linhas para a cultura do trigo são fatores determinantes para se obter as desejadas produtividades de grãos. Neste sentido, estas duas variáveis são dependentes das condições de solo, cultivar, clima e tratos culturais. Com o desenvolvimento de novas cultivares adaptadas à região do cerrado brasileiro, aliados ao uso de insumos modernos, algumas recomendações se tornaram ultrapassadas, resultando na necessidade de estudos que apontem uma melhor relação entre o rendimento de grãos e a densidade média de plantas (GUIMARÃES, 2009).



O trigo apresenta a capacidade de compensar falhas na semeadura, preenchendo os espaços vazios pela emissão de perfilhos com espigas férteis. Os perfilhos são estruturas benéficas que podem aumentar o número de panículas e espigas por área colaborando com o rendimento de grãos. A densidade de semeadura pode afetar a geração de perfilhos, tendo que, populações mais densas perfilham menos (ZAGONEL, 2002; GUIMARÃES, 2009).

Contudo, o uso de sementes com alto vigor garante a germinação e emergência das plântulas, mantendo o estande uniforme e garantindo boas produtividades de grãos mesmo em baixas densidades de plantio (CARDOSO, 2021).

O aumento na densidade de plantio do trigo, apresenta bons resultados na supressão e controle de plantas daninhas infestantes, podendo ser uma ótima estratégia em situações onde se encontram plantas daninhas resistentes a herbicidas, ou condições ambientais limitantes à eficácia do herbicida (MEULEN; CHAUHAN, 2017).

De acordo com o livro “Informações técnicas para trigo e triticale: safra 2020”, elaborado na 13ª Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, a densidade de semeadura indicada para trigo sequeiro na região do cerrado é de 350 a 450 sementes viáveis m<sup>-2</sup>.

## **2.2 A biofortificação de alimentos**

Biofortificação pode ser definida como uma técnica para incremento da concentração biodisponível de elementos essenciais na parte comestível de plantas cultivadas (WHITE; BROADLEY, 2005), um meio comparativamente sustentável, custeável e a longo prazo capaz de fornecer mais micronutrientes. Além disso, a biofortificação compreende um meio de alcançar populações rurais e de baixa renda, que possuem acesso limitado a suplementos e alimentos fortificados (BOUIS, et al. 2013).

Basicamente a biofortificação é alcançada a partir de dois modos: pelo melhoramento genético das culturas (biofortificação genética) e/ou pelo manejo da cultura, principalmente adubação (biofortificação agrônômica). O primeiro caracteriza um processo caro e de longo prazo, já o segundo se baseia em uma técnica mais barata e acessível, feita pelo manejo da adubação. Entretanto, a biofortificação agrônômica visa o enriquecimento dos alimentos com minerais, como Fe, Zn e Se, diferente da biofortificação genética em que além dos minerais pode-se trabalhar com enriquecimento em pró-vitamina A, betacaroteno e proteínas (VERGÜTZ, et al. 2016).

O corpo humano necessita de mais de 22 elementos minerais, considerando que a maioria é fornecido pelas plantas, essa demanda pode ser suprida através de uma dieta adequada. Entretanto, algumas populações carentes ou que vivem em regiões onde existe um desbalanço de nutrientes no solo, apresentam algum tipo de deficiência nutricional (WHITE; BROADLEY, 2005). As deficiências de micronutrientes afetam a saúde humana em todo o mundo, podendo destacar a carência de ferro, zinco, selênio e vitamina A. Novas alternativas são necessárias para alcançar a exigência nutricional adequada especialmente em áreas mais pobres (UL-HUDA, et al. 2018).

Intervenções para solucionar o problema da má nutrição tem como foco a suplementação, fortificação de alimentos e diversificação da dieta. Todos estes são métodos que necessitam de sistemas seguros e precisos, políticas públicas estáveis e investimento apropriado, por estas e outras razões nenhum desses métodos foi globalmente bem-sucedido (WHITE; BROADLEY, 2005). No Brasil determinações quanto a fortificação com micronutrientes se iniciaram com a adição de iodo no sal de cozinha, fluoretação da água em algumas regiões e também com a fortificação de farinhas de milho e trigo com ácido fólico e ferro (NUTTI, 2006).

Um dos programas de biofortificação mais expandido mundialmente é o HarvestPlus, este foi criado com o intuito de melhorar a qualidade nutricional das principais culturas utilizadas na alimentação humana e animal, com foco no enriquecimento da dieta alimentar de populações carentes em nutrientes nas regiões marginais do mundo. Nacionalmente, o Projeto de Biofortificação de Produtos Agrícolas para Nutrição Humana, parte da rede BioFORT coordenado pela EMBRAPA e associado ao HarvestPlus, estuda a seleção de populações de mandioca, milho, trigo, arroz, feijão, abóbora, batata-doce com valores nutricionais mais elevados de zinco, ferro e pró-vitamina A, bem como bom potencial agrônômico para as regiões brasileiras. Até 2006, haviam sido selecionadas em torno de 3000 variedades de mandioca, milho e feijão, para análise quanto aos teores de zinco, ferro beta-caroteno e carotenóides. (NUTTI, 2006).

De acordo com Hotz (2007), para o sucesso da biofortificação, duas questões devem ser debatidas:

- i. É possível o melhoramento genético ou a biofortificação agrônômica incrementar a quantidade de micronutrientes em alimentos básicos para alcançar níveis mensuráveis e consideravelmente impactantes na necessidade nutricional?

- ii. Nutrientes extras nos alimentos básicos, quando consumidos sob condições controladas, estarão biodisponíveis e serão absorvidos em quantidades suficientes para suprir a necessidade de micronutrientes?

### 2.3 Zinco

O Zn é um micronutriente essencial que participa de diversos processos das estruturas proteicas nas plantas, na forma do íon zinco ( $Zn^{2+}$ ), atua como componente estrutural de enzimas, ativação enzimática e síntese de hormônios vegetais, tais como a auxina. A concentração na matéria seca da planta pode variar de 3 a 150 mg/kg, entretanto observa-se que o Zn é encontrado em maiores teores nas raízes, enquanto nos frutos seu teor é mínimo (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

A deficiência de Zn em plantas é expressa pela redução na produção do ácido 3-indolacético (AIA), uma auxina, apresentando uma diminuição no crescimento dos entrenós e gerando folhas pequenas e retorcidas com aspecto enrugado. Outro sintoma apresentado em algumas plantas como milho, feijão, sorgo e trigo é uma clorose internerval nas folhas mais velhas, indicando uma participação do Zn no processo de biossíntese da clorofila (TAIZ; ZEIGER, 2017). Segundo Teixeira et. al. (2005); o zinco na planta também está relacionado com a permeabilidade de membranas, respiração, síntese de amido e controle hormonal, destacando a hipótese de que o nutriente tem parte na qualidade fisiológica de sementes.

Na fração mineral do solo, o zinco se encontra principalmente em minerais ferromagnéticos, tais como magnetita, biotita e hornblenda. Ao ocorrer intemperização, o Zn é liberado e pode ser adsorvido pelos colóides do solo como um cátion ou ainda ser complexado com a matéria orgânica. A disponibilidade desse elemento no solo é intensamente afetada pelo pH, de maneira que em solos ácidos o Zn se apresenta mais disponível que em solos alcalinos (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

No Brasil a deficiência de zinco em plantas está amplamente distribuída em várias regiões do país, afetando principalmente citros e café, onde são comuns as aplicações foliares com o micronutriente, e também milho, soja, arroz, cana-de-açúcar, mandioca e sorgo. Particularmente a região do cerrado brasileiro apresenta solos intensamente intemperizados e evidenciam que a deficiência de Zn tem afetado a produção das culturas (ALLOWAY, 2008).

A descoberta da essencialidade do Zn no organismo humano se deu em 1955, quando Tucker e Salmon, relacionaram a deficiência deste nutriente com lesões de pele.

No metabolismo humano o zinco tem função em aproximadamente 300 enzimas que participam da formação de proteínas, lipídeos, carboidratos e ácidos nucleicos. A deficiência de Zn tem sido cada vez mais reportada, sobretudo, nos países em desenvolvimento, são descritos na literatura problemas ligados à diarreia, pneumonia, retardo no crescimento e distúrbios no desenvolvimento cerebral (MAFRA; COZZOLINO, 2004).

A deficiência de Zn é responsável por cerca de 1,4% das mortes mundialmente, representando 1,4% e 1,5%, para homens e mulheres, respectivamente. Nos países em desenvolvimento é considerado o quinto fator de risco para a saúde humana, seguido pelas deficiências de ferro e vitamina A (WHO, 2002). No Brasil uma ingestão adequada de zinco equivale a 11 mg.dia<sup>-1</sup> para homens e 8 mg.dia<sup>-1</sup> para mulheres, valores que nem sempre são alcançados devido aos hábitos alimentares da população (SOUZA, 2013).

A biodisponibilidade de um nutriente é um termo importante nos estudos sobre a biofortificação de alimentos e está intimamente relacionada ao organismo humano. Partindo do princípio que nem todo o nutriente presente na dieta será utilizado pelo organismo, se define biodisponibilidade como a fração de um certo nutriente que será utilizada para suprir demandas fisiológicas (COZZOLINO, 1997).

No processo de ingestão do Zn, durante a absorção intestinal e também na circulação sanguínea, existem fatores antagonistas como taninos, fitatos, oxalatos e os polifenóis que diminuem a biodisponibilidade, entretanto a presença de aminoácidos, fosfatos, ácidos orgânicos e proteínas facilitam a absorção do zinco. Além disso, pode ocorrer competição com outros minerais como ferro e cobre na corrente sanguínea (PEREIRA; HESSEL, 2009).

Portanto, a biofortificação se torna uma ferramenta importante de fornecimento de nutrientes, principalmente onde se praticam dietas carentes em minerais, e em quantidades adequadas para o correto funcionamento do organismo humano.

### **2.3.1 Fontes de aplicação foliar de zinco**

A partir da descoberta, a mais de 100 anos, da capacidade das plantas em absorver nutrientes pelas folhas, viu-se a possibilidade de fornecimento via foliar de micronutrientes, aqueles que são usados em pequenas quantidades pelo vegetal, sendo capaz de suprir as exigências nutricionais das culturas e apresentando uma melhor eficiência e um custo inferior quando comparado a aplicações via solo, devido à redução de perdas por fixação no caso de certos micronutrientes (MARTINS, 2009).

Para que o nutriente seja absorvido pela planta o íon ou molécula tem de atravessar duas barreiras: a primeira é a cuticular, para entrada no apoplasto, e a segunda a membrana plasmática para saída do apoplasto e entrada no simplasto. Alguns fatores na estrutura das folhas podem afetar a absorção, como a frequência de estômatos e densidade da cutícula, portanto as fontes de nutrientes voltados para a adubação foliar devem ter boa solubilidade em água e capacidade de serem absorvidos pelas plantas, além de não provocar injúrias no limbo foliar (MARTINS, 2009).

Em sua maioria, os fertilizantes foliares disponíveis no mercado são sais minerais solúveis (sulfatos e cloretos), quelatos e óxidos micronizados ou nanoparticulados. Estas fontes diferem entre si quanto à translocação na planta e solubilidade, além disso, o fator de retenção do nutriente pela cutícula da folha pode acarretar possíveis perdas por chuvas e redução na eficiência e disponibilidade, desse modo a escolha da fonte pode interferir na qualidade da aplicação foliar (GONÇALVES, 2017).

As fontes quelatizadas são consideradas mais eficientes por apresentarem alta solubilidade e estabilidade, permitindo que o micronutriente permaneça disponível para absorção. Os quelatos caracterizam-se por complexar um cátion metálico com um agente quelante formando uma estrutura coesa por meio de ligações coordenadas, desse modo, após quelatizado o metal sofre menor fixação e precipitação em seu trajeto. O quelato de Zn é ofertado geralmente nas formas de EDTA e DTPA, e tem em sua composição de 5 a 14% de Zn (GUEDES, 2019; MARTINS, 2009).

Contudo, melhores resultados para a acumulação de zinco nos grãos são observados com a aplicação do micronutriente na forma de sulfato, quando comparado a fontes de óxido de zinco ou quelato de zinco. As fontes de Zn quelatizadas admitem relativa mobilidade ao mineral, entretanto a utilização em países em desenvolvimento se tornam onerosas e, portanto, menos utilizadas (MOURINHO, 2016).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Condução do experimento**

O presente trabalho foi realizado sobre condições de campo no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia – CDTT do Departamento de Agricultura – DAG da Universidade Federal de Lavras. A fazenda está localizada no município de Ijaci-MG, latitude 21° 9'56.68"S longitude 44°55'10.71"O, com altitude de

840 m, precipitação média anual de 1023 mm e temperaturas médias mínimas e máximas de 12°C a 29°C, apresentando uma época seca, evidenciável dos meses de abril a julho.

Na área a cultura antecessora era o milho que foi colhido para a produção de silagem. Desta forma, notando-se um solo compactado o preparo do solo foi constituído pelo revolvimento realizado por duas operações de gradagens.

A cultivar de trigo utilizada foi a BRS404 da EMBRAPA, adaptada ao cultivo de trigo de sequeiro no Cerrado, obtida em parceria com a EPAMIG Sul. Para a pesquisa se utilizou quatro densidades de plantio, sendo elas de 150, 250, 350 e 450 sementes m<sup>-2</sup>, as sementes não foram tratadas. Os tratamentos com zinco consistiram-se de uma testemunha sem aplicação de zinco, e duas fontes para biofortificação com o micronutriente, sendo: quelato (Zn-EDTA) e sulfato (ZnSO<sub>4</sub>), divididas em duas aplicações, uma na fase de “emborrachamento” e outra em “grão leitoso”. Formando assim um fatorial 4 x 3, totalizando 12 tratamentos.

A parcela experimental foi constituída por cinco linhas de cinco metros de comprimento e espaçamento entre linhas de 0,2 m. O plantio foi realizado no dia 22/04/2019 com ajuda da EPAMIG Sul e dos funcionários do CDTT, com a Semeadora de Parcelas Experimentais Semina 2. Na semeadura utilizou-se o adubo formulado NPK 08-28-16 na dose de 250 kg ha<sup>-1</sup>, com aplicação em cobertura 30 DAP de 45 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia. Após o plantio foi realizada uma aplicação do herbicida glifosato, a fim de controlar as plantas daninhas infestantes na área, além disso foi feita uma capina manual nas entrelinhas das parcelas cinco dias antes da aplicação de N em cobertura.

A primeira aplicação do zinco foi realizada no dia 12/06/2019 (51 DAP) utilizando-se as dosagens de 0,5 kg ha<sup>-1</sup> de Zn-EDTA e 2,5 kg ha<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub>. A segunda aplicação se deu no dia 26/06/2019 (65 DAP) com as dosagens de 1 kg ha<sup>-1</sup> de Zn-EDTA e 2,5 kg ha<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub>. Uma bomba costal de CO<sub>2</sub> com três bicos de pulverização foi utilizada para a aplicação do micronutriente e para cada parcela foi preparado uma garrafa pet contendo 0,48 L de água, 0,01 L de óleo mineral e adicionado 0,25 g de Zn-EDTA ou 1,25 g de ZnSO<sub>4</sub> na primeira aplicação, e 0,5 g de Zn-EDTA ou 1,25 g de ZnSO<sub>4</sub> na segunda aplicação.

A cultura recebeu um total de 65 mm de água durante todo seu ciclo, sendo estes 45 mm provenientes de chuvas e 20 mm de irrigação por aspersão montada na área experimental. A necessidade da irrigação se deu devido aos longos períodos de estresse hídrico no trigo, acarretado pela falta de chuva após o plantio e durante seu desenvolvimento. Também é interessante destacar o uso da irrigação após a aplicação de

N em cobertura, para melhor absorção pelas plantas, evitando a volatilização do fertilizante.

A colheita do experimento ocorreu no dia 16/08/2019 e a área útil de cada parcela experimental foi constituída das três linhas centrais, desprezando-se 0,5m de cada extremidade, totalizando 2,4 m<sup>2</sup>. Foram coletadas cinco plantas inteiras ao acaso da área útil de cada parcela, dividindo-as em parte aérea e espiga, e também coletada uma amostra da massa total de grãos para avaliação das concentrações de Zn em laboratório. As variáveis analisadas a campo foram: i) altura de plantas em cm, medidas do solo até a espiga; ii) produção de grãos: avaliou-se o rendimento de grãos, em gramas, pesando-se a produção total de cada parcela útil, a qual foi transformada para kg/ha; iii) peso hectolitro: a amostra foi retirada do total de grãos de cada parcela. Foram realizados conforme procedimento descrito na Instrução Normativa SARC N° 7, de 15/8/2001, do Ministério da Agricultura e do Abastecimento (Brasil, 2001), utilizando balança marca Dalle Molle.

### **3.2 Avaliação das concentrações de Zn**

O material coletado a campo foi moído e os teores de Zn foram determinados no grão, na espiga e na parte aérea da planta de trigo por meio de análise de espectrofotometria de absorção atômica com chama (Varian, SpectrAA Atomic Absorption Spectrometer) antecedida de digestão úmida nitro-perclórica (VETTORI, 1969) no laboratório de Análise de Solo da Epamig Sul, localizado dentro do campus da UFLA.

### **3.3 Análise estatística**

O procedimento estatístico utilizado foi o delineamento de blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial 4x3, sendo quatro densidades de plantio (150, 250, 350 e 450 sementes m<sup>-2</sup>) e três fontes de zinco (testemunha, quelato de zinco e sulfato de zinco). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa SISVAR (Ferreira, 2011). No desdobramento das densidades dentro de cada fonte de biofortificação com zinco foi realizada análise de regressão para a variável peso da parcela e o teste Skott Knott a 5% de probabilidade para as demais variáveis.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre fonte e densidade de semeadura para nenhuma das variáveis analisadas nesse trabalho, as variáveis de concentração de zinco na parte aérea, espiga e grãos foram influenciadas pelos tratamentos com as diferentes fontes de zinco. A altura de plantas foi influenciada apenas pela densidade de plantio. O peso hectolitro e a produção de grãos não apresentaram diferença estatística para as fontes de aplicação de zinco, nem para as densidades de semeadura.

Observou-se efeito significativo para a concentração de zinco nos grãos das plantas de trigo, tanto para as fontes de biofortificação (Tabela 1) quanto para as densidades de plantio (Gráfico 1). A concentração para aplicação de Zn EDTA (quelato de zinco) foi de 50,97 mg kg<sup>-1</sup> e para ZnSO<sub>4</sub> (sulfato de zinco) 49,99 mg kg<sup>-1</sup>, apresentando acréscimo de 18,5% e 16,2% respectivamente quando comparados à testemunha com concentração de 43,01 mg kg<sup>-1</sup>. A densidade de plantio de 250 plantas por m<sup>2</sup> foi a que apresentou maior concentração de Zn nos grãos com média de 55,24 mg kg<sup>-1</sup> (Gráfico 1).

Pascoalino (2014) avaliando a biofortificação com zinco em trigo em dois anos subsequentes e em duas localidades diferentes, encontrou resultados positivos para a aplicação foliar de ZnSO<sub>4</sub>, apresentando acréscimos de 5%, 15%, 16% e 40% no teor de Zn nos grãos para os diferentes anos e localidades.

Cakmak (2010) evidenciou um aumento na concentração de Zn nos grãos de trigo com aplicação foliar de ZnSO<sub>4</sub> em seis diferentes tratamentos de parcelamento e épocas de aplicação. Foi observado um incremento do micronutriente em 21 mg kg<sup>-1</sup> em média. Além disso, o autor relata que apesar do tratamento com quatro aplicações apresentar maiores teores do nutriente nos grãos, duas aplicações foram eficazes em alcançar altas concentrações de zinco.

Em um trabalho avaliando 180 cultivares de trigo, em três locais de plantio, Scheeren et al. (2011) relataram teores médios de zinco nos grãos de 33 mg kg<sup>-1</sup>, com variação entre 22 e 56 mg kg<sup>-1</sup>. Deste modo, os valores encontrados nesta pesquisa se encontram acima da média, podendo considerar os grãos de trigo como biofortificados.

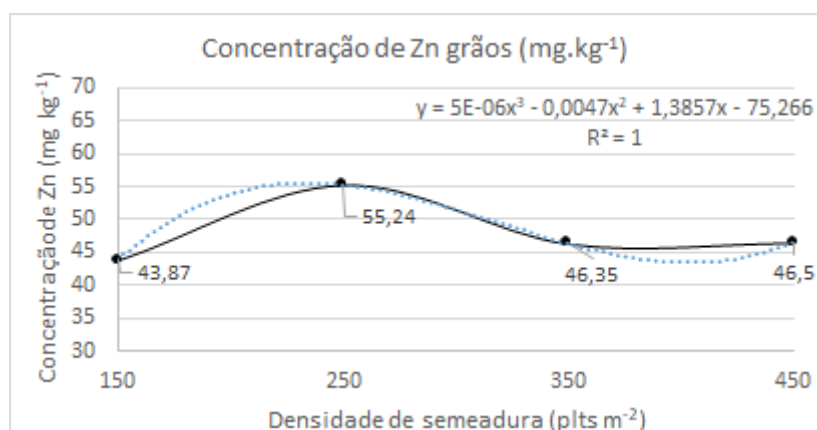


**Tabela 1:** Concentração de Zn em mg.kg<sup>-1</sup>, na parte aérea, espiga e grãos da planta de trigo submetidas a aplicação foliar com diferentes fontes de zinco.

Fonte	Concentração de Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )		
	Parte aérea	Espiga	Grãos
Sulfato	82,3 a <sup>(1)</sup>	59,69 a	49,99 a
Quelato	38,15 b	41,18 b	50,97 a
Testemunha	21,34 c	36,23 b	43,01 b

<sup>(1)</sup>Médias seguidas da mesma letra nas colunas, dentro de cada variável, são iguais pelo teste de Skott-Knott, a 5% de probabilidade.

**Gráfico 1:** Concentração de Zn nos grãos de trigo em função das diferentes densidades de semeadura.



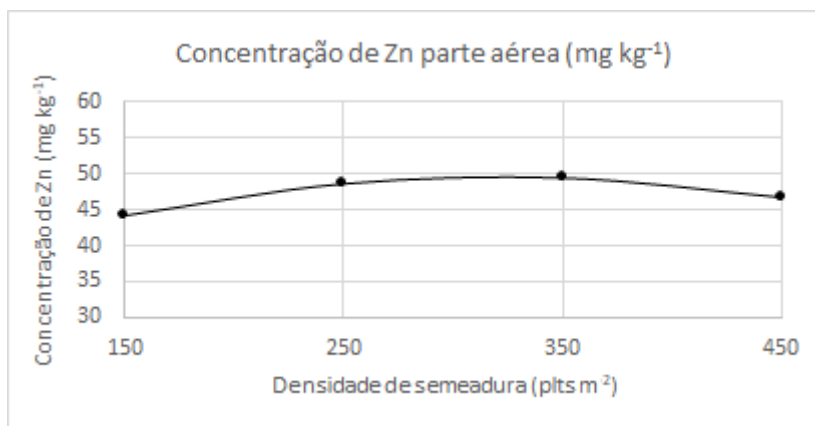
A concentração de zinco na parte aérea das plantas de trigo apresentou diferença estatística para os três tratamentos: quelato, sulfato e testemunha (Tabela 1), evidenciando uma presença maior do micronutriente quando utilizado a fonte ZnSO<sub>4</sub> (82,3 mg kg<sup>-1</sup>), seguido por Zn EDTA (38,15 mg kg<sup>-1</sup>) e por fim testemunha (21,34 mg kg<sup>-1</sup>). Não foi observada influência pelas diferentes densidades de plantio (Gráfico 2).

Os teores de zinco na espiga também apresentaram diferença estatística para as diferentes fontes do micronutriente (Tabela 1), encontrando os valores de 59,69 mg kg<sup>-1</sup> para o tratamento com ZnSO<sub>4</sub>, 41,18 mg kg<sup>-1</sup> para Zn EDTA e 36,23 mg kg<sup>-1</sup> para testemunha. Foi observada uma superioridade do sulfato de zinco sobre os demais tratamentos, neste caso quelato de zinco e testemunha não apresentaram diferença estatística e também não foi observada influência pelas diferentes densidades de plantio (Gráfico 3).

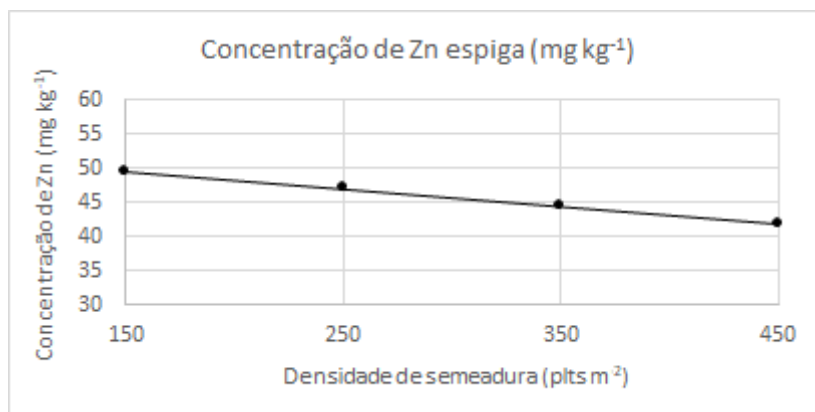
Peruchi (2009), utilizando as fontes sulfato e quelato de zinco, não encontrou diferença estatística para a concentração do micronutriente nas folhas de trigo, considerando assim, devido a fatores econômicos, a utilização do sulfato de zinco como melhor opção.

O tratamento sulfato de zinco quando comparado ao quelato de zinco, apresentou melhores resultados para a concentração do micronutriente na parte aérea e na espiga da planta de trigo, contudo não houve diferença estatística na concentração de zinco nos grãos para estas duas fontes (Tabela 1). As fontes quelatadas apresentam certa dificuldade de absorção foliar, mas após absorvidas, sua translocação na planta é mais expressiva (MARTINS, 2009), podendo explicar a concentração nos grãos.

**Gráfico 2:** Concentração de Zn na parte aérea das plantas de trigo em função das diferentes densidades de semeadura.



**Gráfico 3:** Concentração de Zn nas espigas das plantas de trigo em função das diferentes densidades de semeadura.



O peso hectolitro (PH), é uma medida utilizada para comercialização de grãos em vários países, apontando atributos de qualidade tais como as características da moagem, textura e peso, refletindo o rendimento dos grãos em farinha ou sêmola. É a massa de cem

litros de trigo, representada em quilogramas, portanto, quanto maior for o valor do peso hectolitro de uma amostra, maior será seu rendimento na moagem (GANDINI; ORTIZ, 2006). Não houve diferença estatística no peso hectolitro das amostras de trigo, tanto para as fontes de zinco (Tabela 2), quanto para as densidades de plantio (Gráfico 5), contudo, os valores de PH médios em todos tratamentos estão acima dos valores mínimos para comercialização, que é  $78 \text{ kg hL}^{-1}$  (BRASIL, 2010).

A altura das plantas não foi influenciada pelos tratamentos com zinco (Tabela 2), apresentando valores muito próximos, entre 70 e 71 cm para as três fontes. Porém, a densidade de plantio afetou a variável altura de plantas (Gráfico 5), apresentando uma relação linear, onde o aumento da densidade de semeadura, provocou um maior crescimento em altura das plantas de trigo. Não foi observado acamamento em nenhuma densidade.

Fontes *et al.* (2000) observaram efeito contrário ao encontrado nesta pesquisa, utilizando as densidades de semeadura de 150, 250, 350 e 450 sementes aptas/m<sup>2</sup>, notou-se a redução da altura de plantas com o aumento dos níveis de densidade, possivelmente devido à competição por nutrientes entre as plantas. O autor ainda relata que foi apresentado um crescimento linear do peso hectolitro com o aumento das densidades de semeadura, o que também não aconteceu neste trabalho.

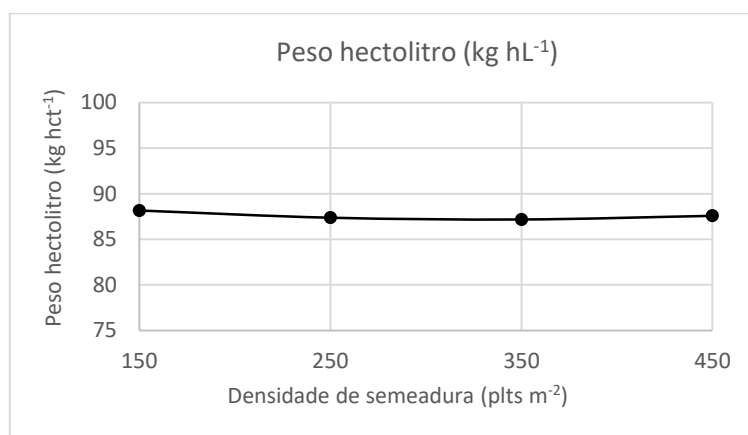
Estudando o cultivo de duas cultivares de trigo irrigado em MG e DF em dois anos de plantio, Silva e Gomes (1990), não encontraram efeitos de densidade de semeadura sobre a altura das plantas. Entretanto, os resultados obtidos para o peso hectolitro, mostram divergência, apresentando acréscimos e reduções, bem como efeitos não significativos para as duas cultivares nos diferentes anos e locais.

**Tabela 2:** Valores de produção de grãos, altura de plantas e peso hectolitro do trigo submetido a aplicação foliar com diferentes fontes de zinco.

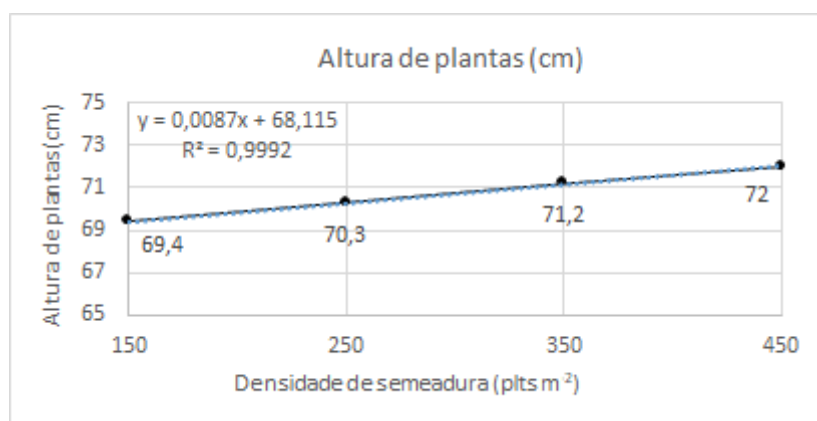
Fonte	Produção grãos	Altura de plantas	Peso hectolitro
	kg ha <sup>-1</sup>	cm	kg hL <sup>-1</sup>
Sulfato	979,01 a <sup>(1)</sup>	70,2 a	87,60 a
Quelato	923,77 a	70,9 a	87,94 a
Testemunha	1064,97 a	71,1 a	87,19 a

<sup>(1)</sup>Médias seguidas da mesma letra nas linhas, dentro de cada fonte, são iguais pelo teste de Skott-Knott, a 5% de probabilidade.

**Gráfico 4:** Peso hectolitro, em kg hL<sup>-1</sup>, da massa de grãos de trigo em função das diferentes densidades de semeadura.

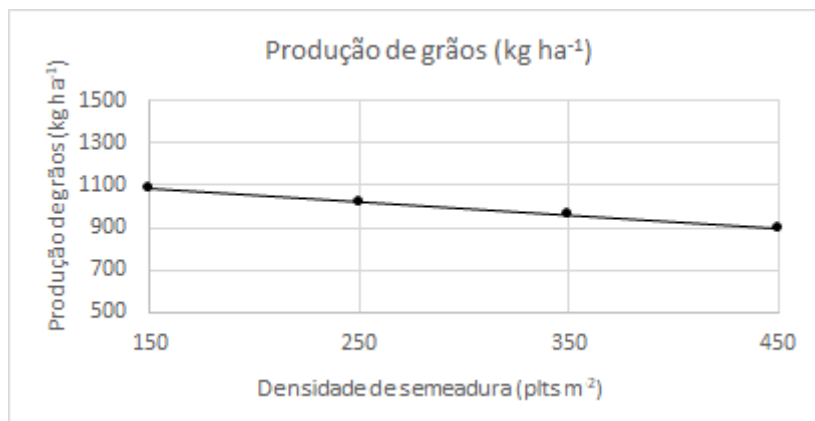


**Gráfico 5:** Altura de plantas de trigo em função das diferentes densidades de semeadura.



A produtividade de grãos não foi afetada por nenhum dos fatores estudados: fontes de zinco (Tabela 2) e densidades de semeadura (Gráfico 6), corroborando com os resultados encontrados por Silva e Gomes (1990), Fontes et al. (2000), Peruchi (2009), Cakmak (2010) e Gross *et al.* (2012). Entretanto, alguns autores como Ozturk et al. (2006) e Sparkes et al (2006), citam a densidade de semeadura como um dos fatores fundamentais que influenciam a produtividade da cultura do trigo.

A capacidade de perfilhamento do trigo garante à cultura a capacidade de compensar falhas na semeadura, e conforme a densidade de semeadura se modifica, o número de espigas por inflorescência também sofrerá variação, colaborando com o rendimento de grãos (ZAGONEL, 2002).

**Gráfico 6:** Produção de grãos de trigo em função das diferentes densidades de semeadura.

## 5 CONCLUSÃO

A concentração de zinco na parte aérea e espiga do trigo é maior quando utilizada o sulfato de zinco em comparação ao quelato de zinco.

A concentração de zinco nos grãos de trigo não difere quando utilizado quelato de zinco ou sulfato de zinco. Portanto, as duas fontes são capazes de enriquecer o grão com o micronutriente, em aspectos econômicos, a utilização do quelato de zinco se torna mais onerosa do que o sulfato de zinco.

O aumento da densidade de semeadura não provocou o aumento da produção de grãos ha<sup>-1</sup>, contudo, acarretou um maior crescimento das plantas de trigo, possivelmente pela competição por luz solar entre as plantas. Observou-se a melhor concentração de zinco nos grãos na densidade de 250 plantas m<sup>-2</sup>, deste modo, pode-se alcançar boas produtividades em densidades menores, reduzindo o custo com sementes de trigo.

## 6 REFERÊNCIAS

- ALLOWAY, B. J. Zinc in soils and crop nutrition. 2<sup>nd</sup> ed. Paris: **International Fertilizer Industry Association**, 2008. 115 p.
- BONA, F. D. *et al.* Manejo nutricional da cultura do trigo. **International Plant Nutrition Institute**. Piracicaba, p. 1-16. jun. 2016.
- BOUIS, H. *et al.* Biofortification: evidence and lessons learned linking agriculture and nutrition. **Food and Agriculture Organization/World Health Organization**, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. Regulamento Técnico do Trigo. **Diário Oficial União**, Brasília, 01 dez. 2010.
- 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.
- CAKMAK, I. *et al.* Biofortification and Localization of Zinc in Wheat Grain. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, v. 58, n. 16, p. 9092-9102, 25 ago. 2010.
- CARDOSO, C. P. *et al.* Effect of seed vigor and sowing densities on the yield and physiological potential of wheat seeds. **Journal Of Seed Science**, Londrina, v. 43, p. 1-11, 2021.
- COELHO, J. D. Trigo: Produção e Mercados. Fortaleza: **Banco do Nordeste do Brasil**, ano V, n.151, jan.2021. (Caderno Setorial ETENE,n.151)
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, v. 8, n. 4, Janeiro 2021, 85 p.
- COZZOLINO, S. M. F. Biodisponibilidade de minerais. **Revista de Nutrição**, Campinas, p. 87-98, jul-dez 1997.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R.. Micronutrientes. In: Sociedade brasileira de ciência do solo (ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa. 2006. p. 327-354.
- FONTES, J. R. M. *et al.* Relação do espaçamento e da densidade de semeadura com o rendimento de grãos e outras características agrônômicas do trigo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 47, n. 269, p. 61-73, 2000.
- GANDINI, L.; ORTIZ, L. **Laboratório de Qualidade de Grãos**. Passo Fundo: Embrapa, 2006.

GONÇALVES, F. A. R. *et al.* Aplicação foliar de doses e fontes de cobre e manganês nos teores foliares destes micronutrientes e na produtividade da soja. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 26, n. 3, p. 384-392, 2017.

GROSS, T. F. *et al.* Comportamento produtivo do trigo em diferentes métodos e densidades de semeadura. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 11, n. 4, p. 50-60, 2012.

GUEDES, V. H. F. **Pulverização foliar de zinco com silício é viável agronomicamente para plantas de sorgo**. 2019. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2019.

GUIMARÃES, F. S. **Sistemas de cultivo e espaçamentos em cultivares de trigo irrigado**. 2009. 57 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

HOTZ, C.; BONNIE M. From Harvest to Health: Challenges for Developing Biofortified Staple Foods and Determining Their Impact on Micronutrient Status. **Food and Nutrition Bulletin**, vol. 28, n. 2\_suppl2, Junho de 2007, pp. S271-79.

MAFRA, D.; COZZOLINO, S. M. F. Importância do zinco na nutrição humana. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 1, p 79-87, 2004

MARTINS, R. A. C. **Efeito de adjuvantes sobre absorção de zinco e manganês na adubação foliar**. 2009. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2009.

MEULEN, A. D.; CHAUHAN, B. S. A review of weed management in wheat using crop competition. **Crop Protection**, v. 95, p. 38-44, 2017.

MOURINHO, M. R. P. P. **Biofortificação do grão de *Triticum aestivum* L. em zinco**. 2016. 206 f. Tese (Doutorado) - Qualidade Alimentar, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2016.

NUTTI, M. A biofortificação como ferramenta para combate a deficiências em micronutrientes. In: Workshop internacional de geologia médica, 2005, Rio de Janeiro. **Geologia médica no brasil**. Rio de Janeiro: CPRM, 2006. p. 43-47.

OZTURK, A. *et al.* Growth and yield response of facultative wheat to winter sowing, freezing sowing and spring sowing at different seeding rates. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Madison, v.192, n.1, p.10-16, 2006

PASCOALINO, J. A. L. **Estratégias de adubação com zinco para biofortificação agrônômica do trigo**. 2014. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

PEREIRA, T. C.; HESSEL, G. Deficiência de zinco em crianças e adolescentes com doenças hepáticas crônicas. **Rev. paul. Pediatra**, São Paulo, v.27, n.3, p. 322-328, set. 2009.

PERUCHI, M. **Aplicação de fontes de boro e zinco via foliar em culturas anuais**. 2009. 79 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2009.

Resultados BioFORT. **Rede BioFort**. Disponível em: <https://biofort.com.br/resultados>. Acesso em: 27 jan. 2021.

Reunião da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticale, 13<sup>a</sup>. **Densidade, espaçamento e profundidade de semeadura**. In: Reunião da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticale, 13<sup>a</sup>. **Informações Técnicas para trigo e triticale**: safra 2020. Passo Fundo: Biotrigo Genética, 2020. Cap. 6. p. 99-100.

RODRIGUES, C. S. C. A fome oculta / The hidden hunger. **CERES: Nutrição & Saúde (Título não-corrente)**, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 49-51, ago. 2011.

SCHEEREN, P. L. *et al.* Biofortificação em trigo no Brasil. In: Reunião de biofortificação, 4., 2011, Terezina. **Anais...** Terezina: BioFORT, 2011. p. 1-6

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

SILVA, D. B.; GOMES, A. C. Espaçamento e densidade de semeadura em trigo irrigado na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 305-315, 1990.

SOUZA, G. A. **Biofortificação da cultura do trigo com zinco, selênio e ferro**: explorando o germoplasma brasileiro. 2013. 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Ciências do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SPARKES, D. L. *et al.* Does light quality initiate tiller death in wheat? **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.24, n.3, p.212-217, 2006.



TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

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.

UL-HUDA, N. et al. Techniques for the Enrichment of Micronutrients in Crops through Biofortification: A Review. **Journal of Advances in Biology & Biotechnology**, vol. 16, n. 4, Fevereiro de 2018, pp. 1–7.

United States Department of Agriculture. **World Agricultural Production**. Washington, Janeiro, 2021.

Vergütz L. *et al.* Biofortificação de alimentos: saúde ao alcance de todos. **Boletim Informativo da SBCS**. 2016;42(2):20-23.

WHITE, P.; BROADLEY M. Biofortifying Crops with Essential Mineral Elements. **Plant Science**, vol. 10, n. 12, Dezembro de 2005, pp. 586–93.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **The world health report 2002: working together for health**. Geneva, 2002. 230 p.

ZAGONEL, J. et al. Doses de nitrogênio e densidades de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 25-29, 2002.