



ARTHUR WILLIAM CARVALHO ROCHA

**AVALIAÇÃO DE CULTIVARES DE TRIGO EM FUNÇÃO DA
APLICAÇÃO FOLIAR DE ZINCO VISANDO A
BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA**

LAVRAS – MG

2023

ARTHUR WILLIAM CARVALHO ROCHA

**AVALIAÇÃO DE CULTIVARES DE TRIGO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO
FOLIAR DE ZINCO VISANDO A BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Curso
de Agronomia, para a obtenção do título de
Bacharel.

Dra. Aurinelza Batista Teixeira Condé

Orientadora

Dr. Fábio Aurélio Dias Martins

Coorientador

LAVRAS – MG

2023

ARTHUR WILLIAM CARVALHO ROCHA

**AVALIAÇÃO DE CULTIVARES DE TRIGO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO
FOLIAR DE ZINCO VISANDO A BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA**

**EVALUATION OF WHEAT CULTIVARS DUE TO ZINC FOLIAR APPLICATION
AIMING AGRONOMIC BIOFORTIFICATION**

Trabalho de Conclusão de Curso que
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Curso
de Agronomia, para a obtenção do título de
Bacharel.

APROVADO em 17/03/2023

Dra. Aurinelza Batista Teixeira Condé EPAMIG

Dr. Fábio Aurélio Dias Martins EPAMIG

Dra. Aurinelza Batista Teixeira Condé

Orientadora

Dr. Fábio Aurélio Dias Martins

Coorientador

LAVRAS - MG

2023

RESUMO

A biofortificação agronômica é uma estratégia de segurança alimentar que promove o aumento de nutrientes nos alimentos por meio da adubação, e pode influenciar no aumento de produtividade e características agronômicas. Nesse contexto, objetivou-se identificar os genótipos da cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.), com maior capacidade de produtividade com características agronômicas desejáveis, dentre cultivares recomendadas para cultivo no estado de Minas Gerais. O experimento foi instalado e semeado em Itutinga-MG, o cultivo foi em condições de sequeiro. Utilizou-se 14 cultivares, sendo elas: BRS 404, BRS 264, BRS 394, TBIO Duque, TBIO Sintonia, TBIO Aton, ORS Senna, ORS Guardiã, ORS Feroz, ORS 1403, ORS Destak, ORS Absoluto, ORS Premium e ORS Soberano. Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. O experimento contou com dois tratamentos sendo o tratamento sem zinco, que ocorreu a aplicação via solo de NPK sem Zn. A adubação de semeio para o tratamento sem zinco foi de 200 kg/ha do formulado 08-28-16. O segundo tratamento foi instalado inicialmente da mesma forma que o tratamento sem zinco, porém ocorreram aplicações foliares com ZnSO₄. Diante dos resultados, a adubação com zinco possibilitou diferenças significativas estatisticamente em relação a plantas que não receberam adubação foliar com zinco e as que receberam, porém, obteve-se resultados em que cultivares submetidas ao tratamento com zinco apresentaram resultados inferiores em relação ao tratamento sem zinco. Tal fato pode ter ocorrido pela baixa precipitação que ocorreu durante o ciclo da cultura.

Palavras chaves: *Triticum aestivum* L. Segurança alimentar. Sequeiro.

ABSTRACT

Agronomic biofortification is a food security strategy that promotes the increase of nutrients in foods through fertilization and can influence the increase in productivity and agronomic characteristics. In this context, the objective was to identify the genotypes of the wheat crop (*Triticum aestivum* L.), with greater productivity capacity with desirable agronomic characteristics, among the cultivars recommended for cultivation in the state of Minas Gerais. The experiment was installed and sown in Itutinga-MG, the cultivation was under rainfed conditions. Fourteen cultivars were used, namely: BRS 404, BRS 264, BRS 394, TBIO Duque, TBIO Sintonia, TBIO Aton, ORS Senna, ORS Guardiã, ORS Feroz, ORS 1403, ORS Destak, ORS Absoluto, ORS Premium and ORS Soberano . A randomized block design with four replications was used. The contour experiment with two treatments being the treatment without zinc, which occurred the application via soil of NPK without Zn. The sowing fertilization for the treatment without zinc was 200 kg/ha of the 08-28-16 formula. The second treatment was initially installed in the same way as the treatment without zinc, but there were foliar applications with ZnSO₄. In view of the results, fertilization with zinc allowed statistically significant differences in relation to plants that did not receive foliar fertilization with zinc and those that received it; however, results were obtained in which cultivars left to treatment with zinc cultivated inferior results in relation to the treatment without zinc. This fact may have occurred due to the low precipitation that occurred during the crop cycle.

Key words: *Triticum aestivum* L. Wheat crop. Rainfed conditions.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 Biofortificação Agronômica.....	9
2.2 Cultura do Trigo.....	9
2.3 Influência de Zinco	Erro! Indicador não definido.
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5. CONCLUSÃO.....	18
REFERÊNCIAS	19

1. INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum L.*) apresenta importante papel na segurança alimentar e nutricional, pois em muitas regiões é a principal fonte de carboidratos, proteínas, minerais e fibras. O trigo é um dos alimentos mais cultivados e consumidos no mundo, com produção de 774,8 milhões de toneladas em uma área de 220,8 milhões de hectares em maio de 2022 (CONAB, 2022). No Brasil, a produtividade média de trigo foi de 800 quilos por hectare em 1970, para uma produtividade em torno de 3000 quilos por hectare em 2022, ocorrendo um aumento de produtividade de 26,7% entre 1977 a 2022 (ANTUNES, 2022).

A produtividade do trigo pode ser afetada por vários fatores como a deficiência de micronutrientes essenciais ao desenvolvimento da planta. O trigo é um cereal com baixo teor de zinco (Zn) e alto teor de fitato, o que limita a biodisponibilidade desse elemento. Além disso, quase 50% dos solos cultivados com trigo são considerados deficientes em Zn. Os principais fatores responsáveis pela deficiência de Zn incluem o alto pH do solo, natureza calcária do solo, baixo teor de matéria orgânica, cultivo intensivo e absorção de nutrientes superior a aplicação (ALLOWAY, 2009; HUSSAIN et al., 2012). Estudos relatam uma relação inversa entre produtividade e concentração de micronutrientes, onde concentrações mais altas de Zn são comumente associadas a cultivares com baixo rendimento (GARVIN et al., 2006; MCDONALD et al., 2008).

O Zn é um nutriente indispensável para sistemas biológicos em animais, humanos e plantas. Nas plantas o Zn desempenha um papel crucial em muitos processos fisiológicos incluindo ativação enzimática, síntese de proteínas e ácido nucléico e metabolismo de carboidratos em trigo (CAKMAK, 2008; PALMER & GUERINOT, 2009). A deficiência de Zn pode causar graves complicações na saúde humana como prejuízos no sistema imunológico com maior risco de infecções, prejuízo no crescimento físico, retardo na capacidade de aprendizagem, danos no DNA e câncer (HOTZ & BROWN, 2004; GIBSON, 2006; PRASAD, 2007).

A deficiência de Zn está entre as cinco principais deficiências de micronutrientes e afeta cerca de um terço da população mundial, em especial as comunidades rurais. O alto consumo de alimentos à base de cereais é uma das causas da deficiência de Zn (MACÊDO et al., 2010).

A maior parte da população nos países em desenvolvimento, dependem desses alimentos básicos para o dia a dia como principal fonte calórica devido aos altos preços dos alimentos. Portanto, além de promover maior produtividade do trigo, o aumento do teor de Zn também é importante do ponto de vista nutricional no combate à desnutrição.

O aumento da concentração de um elemento em partes comestíveis das plantas cultivadas pode ser realizado por meio da biofortificação genética ou biofortificação agrônômica. A biofortificação genética é uma estratégia que utiliza técnicas de melhoramento de plantas e técnicas de engenharia genética. Apesar de oferecer uma solução sustentável pelo desenvolvimento de cultivares com maior teor de nutrientes, a biofortificação genética é uma técnica que demanda tempo e recursos. A biofortificação agrônômica envolve a aplicação de fertilizantes que pode ser via tratamentos de sementes, no solo, aplicação foliar ou a combinação de mais de uma forma de aplicação. Em comparação a abordagem de melhoramento, a biofortificação agrônômica é uma opção prática, econômica e que tem se mostrado eficiente em aumentar a produtividade da cultura e teor de Zn nos grãos (YANG & ZHANG, 2006; KUTMAN et al., 2011; INOCÊNCIO, 2014).

As diferentes formas de aplicação de Zn podem influenciar diretamente o rendimento e a concentração de Zn nos grãos. O conhecimento sobre as fontes de Zn disponíveis e a época de aplicação são cruciais para sucesso na biofortificação e obtenção de alta produtividade. Em estudo realizado por Dhaliwal et al. (2019) ao realizarem a aplicação foliar de Zn no trigo observaram um aumento de 29,35% na produtividade e 103% no teor desse micronutriente no grão.

A informação da resposta nos caracteres agronômicos das cultivares de trigo no Brasil em função da aplicação foliar de Zn e, especialmente, na região do Campo das Vertentes de Minas Gerais ainda é escassa. Portanto, além da informação da capacidade de acúmulo de Zn nos grãos devido a biofortificação, é necessário realizar estudos para verificar o efeito dessa aplicação nas cultivares quanto aos caracteres agronômicos. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação foliar de Zn para fins de biofortificação nas características agronômicas de massa de mil grãos, produtividade de grãos, e peso hectolitro.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura do Trigo

A cultura do trigo é bastante antiga, sendo domesticada a milhares de anos pelos seres humanos. Tem-se relatos de que começou a ser cultivado na crescente fértil, área hoje que compreende do Egito ao Iraque. Observa-se que este cereal foi amplamente cultivado, visto que imigrou da crescente fértil para outras regiões, como a Europa.

A produção de trigo no Brasil é de três toneladas por hectare enquanto a do trigo irrigado é de seis toneladas por hectare na região do Brasil central, de acordo com MAPA, 2022.

O trigo chegou a Minas Gerais através de imigrantes europeus. Dessa forma, a partir dos meados de 1920 começou-se experimentos com trigo no estado e já se sabia o potencial do cereal (CONAB, 2017).

A monocultura da soja tem deixado o solo descoberto após a colheita, portanto o trigo é de grande importância pensando no sistema de produção. Isso se deve ao fato de que ele é uma cultura que possui raízes com a capacidade de romper o adensamento do solo e promover a formação de palhadas com maiores durações do que a da soja, além de auxiliar na conservação do solo (PIRES, 2017). Sua melhor época de plantio é entre fevereiro e março de acordo com o software ZARC.

Além disso, um ganho que se tem com este cereal de inverno, é o papel dessa cultura em um sistema integrado de controle de buva. O trigo possui efeito supressor e combinado com o uso de herbicidas no inverno, aumenta a eficiência no controle das buvas (PIRES, 2017).

2.2 Biofortificação Agronômica e Influência do Zinco

Diante a preocupação com o aumento mundial do índice de desnutrição da população e visando a garantia da Segurança Alimentar Nutricional (SAN), em 2003 iniciaram-se estudos no Brasil pelo programa *HarvestPlus* e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) sobre a biofortificação de alimentos, em busca de promover uma melhoria na qualidade dos alimentos obtidos pela agricultura. Algumas estratégias têm sido estudadas e desenvolvidas para aumentar a qualidade nutricional dos alimentos fornecidos à população, dentre elas, surgiu a biofortificação agronômica (MANOS & WILKINSON, 2016).

A biofortificação agronômica busca aumentar o teor biodisponível de nutrientes nas plantas, em diferentes partes comestíveis como nas raízes, folhas e grãos. Por serem alimentos básicos altamente consumidos pela população mundial, os grãos passaram a ser mais estudados.

Como são amplamente cultivados, principalmente na Ásia, os grãos de trigo e arroz receberam maior atenção (YILMAZ et al., 1997; WISSUWA et al., 2008; HUSSAIN et al., 2012).

Para que haja aumento do teor dos nutrientes nas plantas, a biofortificação agrônômica é dependente do manejo da adubação, a época em que é aplicada e sua forma de aplicação, podendo ser no solo, foliar ou pela combinação de ambos (YILMAZ et al., 1998; WISSUWA et al., 2008; CAKMAK, 2009; CAKMAK, 2010; ZHANG et al., 2012).

O zinco caracteriza-se como um nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, ou seja, ele é necessário para que a planta complete o seu ciclo e demonstre o potencial produtivo. Porém, este nutriente em excesso pode causar fito toxidez na planta, além de poder inibir algum outro nutriente. A falta de zinco ou sua baixa disponibilidade, pode acarretar uma baixa produtividade ou até mesmo pode levar a planta não conseguir completar seu ciclo. Os teores adequados de zinco de acordo com o extrator Melich-1 variam de 0,5 a 5 mg/kg (FAGERIA, 2000).

Este nutriente é pouco móvel na planta, podendo chegar às regiões em crescimento, mas nem sempre chega em quantidades adequadas. Também, existem evidências de que o zinco pode ser absorvido na forma de quelato, o que foi observado por (MALAVOLTA et al., 1997), quando percebeu que quelatos de Zn aplicados na folha do cafeeiro translocaram para outros órgãos em maior proporção que as fontes minerais.

Além disso, o zinco contribui para o bom funcionamento do sistema imunológico, atua estimulando em mais de trezentas enzimas do organismo humano, é fundamental para o processo de cicatrização de ferimentos e intervem na síntese do DNA e nas percepções de sabor e olfato (BARCELOUX & BARCELOUX, 1999).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos durante o ano de 2022 na Fazenda 3W, no município de Itutinga em Minas Gerais (969 m de altitude; 21° 25 '06" de latitude sul e 44° 39' 50" longitude oeste). Foram avaliadas 14 cultivares de trigo (Tabela 1) recomendadas pelas principais empresas de melhoramento de trigo do Brasil (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; Biotrigo Genética Ltda; OR Melhoramento de Sementes Ltda). Em um dos experimentos foi realizada aplicação foliar de zinco e no segundo experimento não foi realizada adubação com zinco. No experimento com aplicação de zinco foram realizadas duas aplicações foliares de uma solução com 170 litros por hectare de calda de sulfato de zinco convencional (ZnSO₄) utilizando-se 5 kg por hectare de sulfato de zinco, sendo aplicado 2,5 kg com 0,5% de óleo mineral por vez com pulverizador costal elétrico à bateria. A primeira aplicação foliar foi realizada durante a fase de emborrachamento (emissão da folha bandeira) e a segunda quando os grãos de trigo estavam leitosos.

Tabela 1 - Cultivares de trigo recomendadas pelos principais programas de melhoramento do Brasil, ano de registro e instituição de origem.

Cultivares	Ano	Instituição
BRS 264	2005	EMBRAPA
BRS 394	2014	EMBRAPA
BRS 404	2014	EMBRAPA
ORS 1403	2014	OR MELHORAMENTO DE SEMENTES LTDA
ORS ABSOLUTO	2021	OR MELHORAMENTO DE SEMENTES LTDA
ORS DESTAK	2019	OR MELHORAMENTO DE SEMENTES LTDA
ORS FERROZ	2020	OR MELHORAMENTO DE SEMENTES LTDA
ORS GUARDIÃO	2020	OR MELHORAMENTO DE SEMENTES LTDA
ORS PREMIUM	2020	OR MELHORAMENTO DE SEMENTES LTDA
ORS SENNA	2020	OR MELHORAMENTO DE SEMENTES LTDA
ORS SOBERANO	2022	OR MELHORAMENTO DE SEMENTES LTDA
TBIO ATON	2018	BIOTRIGO GENÉTICA LTDA
TBIO DUQUE	2018	BIOTRIGO GENÉTICA LTDA
TBIO SINTONIA	2013	BIOTRIGO GENÉTICA LTDA

Fonte: Do autor (2023).

Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições e parcelas de cinco linhas de cinco metros de comprimento, espaçadas de 0,20 m. Foi utilizada como área útil as três linhas centrais de cada parcela (3 m²). O semeio do experimento foi realizado mecanicamente, com densidade de semeadura de 250 sementes m².

A precipitação no período da instalação dos experimentos até a colheita foi de 23mm. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo e o clima como Tropical de Altitude (CWA) na escala de Koppen. Nos dois experimentos foi realizada a adubação de plantio com emprego de 200 kg ha⁻¹ da formulação comercial 8-28-16 de N-P₂O₅-K₂O. Os demais tratamentos culturais e fitossanitários foram realizados conforme recomendação da cultura do trigo na região (BIOTRIGO GENÉTICA, 2020).

As características avaliadas foram a massa de mil grãos, a produtividade de grãos e o peso hectolitro. A massa de mil grãos foi determinada pela contagem de mil grãos de cada parcela e pesagem em balança digital. A produtividade foi estimada pela pesagem das três linhas centrais colhidas de cada parcela, convertida para quilogramas por hectare (kg ha⁻¹) e corrigida para 13% de umidade. O peso hectolitro é a massa de 100 litros de trigo expressa em quilogramas, determinado em equibalança marca Dalle Molle e expresso em kg/hl.

Os dados foram submetidos a análise individual de variância segundo o modelo:

$$Y_{ij} = m + B_j + C_i + e_{ij}$$

em que: Y_{ij} é o valor observado da característica da cultivar i no bloco j ; m é a média geral; B_j é o efeito aleatório do bloco j ($j = 1, 2, 3, 4$); C_i é o efeito fixo da cultivar i ; e_{ij} é o erro experimental associado a Y_{ij} .

Posteriormente foi realizada a análise conjunta de variância conforme o modelo:

$$Y_{ijk} = m + B/E_{jk} + C_i + E_k + CE_{ik} + e_{ijk}$$

em que: Y_{ijk} é o valor observado da característica da cultivar i no bloco j ($j = 1, 2, 3, 4$) e no experimento k ($k = 1, 2$); m é a média geral; B/E_{jk} é o efeito aleatório do bloco j no experimento k ; C_i é o efeito fixo da cultivar i ($i = 1, 2, \dots, 14$); E_k é o efeito fixo do experimento k ; CE_{ik} é o efeito fixo da interação da cultivar i com o experimento k ; e_{ijk} é o erro experimental associado a Y_{ijk} .

Na presença de interação cultivares por experimentos foi realizado o desdobramento de cultivares em cada experimento. Se este efeito foi significativo, as médias das cultivares nos experimentos foram agrupadas com auxílio do teste de Scott-Knott (SCOTT & KNOTT,

1974). Também foi realizado o desdobramento de experimento em cada cultivar. Na presença destes efeitos significativos foi adotado o teste de Tukey para comparar as médias das cultivares na condição com ou sem zinco. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software Genes (CRUZ, 2013).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao observarmos as análises de variância individuais, percebe-se que as cultivares apresentaram diferenças significativas para todas os caracteres avaliados (Tabela 2). Foi possível observar que a planta de trigo obteve melhores respostas com o tratamento que ocorreu aplicação foliar com zinco na adubação em relação ao experimento sem zinco, semelhante ao que ocorreu com os dados encontrados por PASCOALINO et al (2015).

A adubação via foliar, tem-se mostrada mais eficiente para a biofortificação agrônômica conseguindo obter maior resposta de absorção do nutriente em relação ao valor encontrado sobre o peso de mil grãos. Neste trabalho, houve diferença significativa quando comparados os tratamentos com zinco e o sem zinco, também como citado no trabalho de JALAL et al. (2020).

Tabela 2 - Resumo das análises individuais de variância para massa de mil grãos (M1000G), produtividade de grãos (PROD) e peso hectolitro (PH) das cultivares de trigo avaliadas em experimentos em condições de sequeiro, com e sem aplicação foliar de zinco em Itutinga/MG, 2022.

FV	GL	Com Zn			Sem Zn		
		Quadrado médio			Quadrado médio		
		M1000G	PROD	PH	M1000G	PROD	PH
Blocos	3	8,23	303280,72	20,06	2,04	246833,68	4,68
Cultivares	13	71,96**	225952,58**	80,74*	95,88**	255842,05**	16,40**
Resíduo	39	6,39	46678,66	33,65	2,20	59442,62	6,55
Média		38,12	1115,10	78,28	38,95	1185,18	78,93
CV (%)		6,63	19,38	7,41	3,81	20,57	3,24

Legenda: FV: Fonte de variação; GL: Grau de Liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; ns: Não significativo; * e **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Do autor (2023).

Observou-se que as cultivares apresentaram diferenças significativas para todas as características avaliadas e a interação do experimento com o uso ou não do micronutriente zinco e as cultivares também foi significativo (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo da análise conjunta de variância para massa de mil grãos (M1000G), produtividade de grãos (PROD) e peso hectolitro (PH) das cultivares de trigo avaliadas em experimentos em condições de sequeiro, com e sem aplicação foliar de zinco em Itutinga/MG, 2022.

FV	GL	Quadrado médio		
		M1000G	PROD	PH
Blocos/Experimentos	6	5,13	275057,20	12,37
Cultivares (Cult)	13	156,70**	211409,77**	46,00*
Experimentos (Exp)	1	19,46 ^{ns}	137508,17 ^{ns}	11,82 ^{ns}
Cult x Exp	13	11,15**	270384,86**	51,14**
Cult/Exp				
Cult/ExpComZn	13	71,96**	225952,58**	80,74**
Cult/ExpSemZn	13	95,88**	255842,05**	16,40 ^{ns}
Exp/Cult				
Exp/ BRS 264	1	17,70*	219701,63*	0,03 ^{ns}
Exp/ BRS 394	1	1,56 ^{ns}	1109468,98**	62,38 ^{ns}
Exp/ BRS 404	1	0,14 ^{ns}	286683,49*	33,01 ^{ns}
Exp/ ORS 1403	1	2,49 ^{ns}	1001529,97**	30,73 ^{ns}
Exp/ ORS ABSOLUTO	1	4,81 ^{ns}	151211,50 ^{ns}	15,46 ^{ns}
Exp/ ORS DESTAK	1	5,66 ^{ns}	18970,60 ^{ns}	63,96 ^{ns}
Exp/ ORS FERROZ	1	0,35 ^{ns}	44049,57 ^{ns}	6,53 ^{ns}
Exp/ ORS GUARDIÃO	1	6,00 ^{ns}	73269,83 ^{ns}	11,71 ^{ns}
Exp/ ORS PREMIUM	1	44,79**	867,57 ^{ns}	2,73 ^{ns}
Exp/ ORS SENNA	1	13,26 ^{ns}	80585,07 ^{ns}	7,96 ^{ns}
Exp/ ORS SOBERANO	1	0,00	26834,34 ^{ns}	1,28 ^{ns}
Exp/ TBIO ATON	1	4,10 ^{ns}	201282,44 ^{ns}	433,65**
Exp/ TBIO DUQUE	1	58,32**	41952,91 ^{ns}	2,62 ^{ns}
Exp/ TBIO SINTONIA	1	5,17 ^{ns}	396103,40**	4,61 ^{ns}
Resíduo	78	4,30	53060,64	20,10
Média		38,53	1150,14	78,61
CV (%)		5,38	20,03	5,70

Legenda: FV: Fonte de variação; GL: Grau de Liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; ns: Não significativo; * e **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Do autor (2023).

Sugere-se que a melhor época para se fazer as adubações foliares com zinco foram na fase de emborrachamento e a outra quando o trigo estava com o grão leitoso (Tabelas 4 e 5). Isso ocorre pelo fato de a planta estar com o metabolismo acelerado nestes dois momentos, sendo a aplicação no primeiro momento para suprir a necessidade de nutrientes da planta e em segundo momento tentar acumular o zinco.

As cultivares, ORS Guardião e ORS Senna destacaram-se em relação a massa de mil grãos independente do ambiente de cultivo (Tabela 5). As cultivares BRS 264 e ORS Premium apresentaram menor massa de mil grãos quando houve aplicação foliar com zinco (Tabela 4), resultado não esperado. Este fato pode ter ocorrido pela baixa precipitação, de apenas 23 mm,

o que pode ter acarretado na não expressão do potencial das cultivares.

Vale ressaltar que, o zinco é um micronutriente essencial para as plantas e que atua como cofator enzimático, portanto é essencial para a síntese da estrutura proteica. Também afeta a síntese e conservação das auxinas que são hormônios que visam o crescimento das plantas. Ademais, o zinco promove aumento no número de grãos por espiguetas e no peso de grãos por planta (Tunes et al., 2012).

Tabela 4 - Médias das cultivares de trigo quanto a massa de mil grãos (M1000G), produtividade de grãos (PROD) e peso hectolitro (PH) avaliadas em experimentos em condições de sequeiro, com e sem aplicação foliar de zinco em Itutinga/MG, 2022.

Cultivares	M1000G		PROD		PH	
	Com Zn	Sem Zn	Com Zn	Sem Zn	Com Zn	Sem Zn
BRS 264	41,35 b ¹	44,33 a	1311,39 a	979,95 b	80,04 a	80,15 a
BRS 394	39,77 b	40,65 b	754,67 b	1499,47 a	75,62 a	81,21 a
BRS 404	39,50 b	39,23 c	1383,37 a	1004,76 b	85,72 a	81,66 a
ORS 1403	31,55 d	32,67 d	782,74 b	1490,39 a	80,51 a	76,59 a
ORS ABSOLUTO	36,45 c	38,00 c	1008,28 b	1283,25 a	78,61 a	75,83 a
ORS DESTAK	38,03 c	36,35 c	1517,92 a	1420,53 a	74,67 a	80,32 a
ORS FERROZ	39,13 b	39,55 c	1224,35 a	1372,76 a	78,62 a	76,81 a
ORS GUARDIÃO	45,57 a	47,30 a	1145,49 a	1336,89 a	82,58 a	80,16 a
ORS PREMIUM	37,17 c	41,90 b	1347,16 a	1367,99 a	78,39 a	77,22 a
ORS SENNA	43,98 a	46,55 a	1180,67 a	979,94 b	78,06 a	76,07 a
ORS SOBERANO	32,80 d	32,80 d	1121,40 a	1005,57 b	79,10 a	79,90 a
TBIO ATON	37,30 c	38,73 c	761,82 b	1079,06 b	65,73 b	80,46 a
TBIO DUQUE	39,93 b	34,53 d	1009,09 b	1153,92 b	79,61 a	78,46 a
TBIO SINTONIA	31,13 d	32,73 d	1063,08 b	618,05 c	78,68 a	80,20 a

¹Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Fonte: Do autor (2023).

Em relação a produtividade, como já citado acima, o zinco auxilia no ganho de peso dos grãos e foi possível observar que a maioria das cultivares apresentaram diferenças significativas entre os dois ambientes. Porém, houveram duas cultivares BRS 394 e ORS 1403, que na presença de zinco produziram em menor quantidade em relação ao tratamento com zinco. Fato que também pode ter ocorrido em vista da baixa precipitação no ambiente.

Em relação ao peso hectolitro, medida diretamente relacionada a qualidade do trigo, não houve diferença significativa na maioria das cultivares, de acordo com o teste Tukey (Tabela 4). No entanto, várias cultivares apresentaram valores menores que o mínimo de 78 kg/hL exigido pela legislação brasileira para serem classificados como tipo I (Brasil, 2001) e não receber desconto durante a comercialização. Este caracter é muito influenciado pela precipitação no

ambiente, e como houve apenas 23 mm durante toda o desenvolvimento da cultura, provavelmente influenciou diretamente na formação de proteína do grão e diretamente seu PH.

Tabela 5 - Médias das cultivares de trigo quanto a massa de mil grãos (M1000G), produtividade de grãos (PROD) e peso hectolitro (PH) avaliadas em experimentos em condições de sequeiro, com e sem aplicação foliar de zinco em Itutinga/MG, 2022.

Cultivares	M1000G		PROD		PH	
	Com Zn	Sem Zn	Com Zn	Sem Zn	Com Zn	Sem Zn
BRS 264	41,35 b ¹	44,33 a	1311,39 a	979,95 b	80,04 a	80,15 a
BRS 394	39,77 a	40,65 a	754,67 b	1499,47 a	75,62 a	81,21 a
BRS 404	39,50 a	39,23 a	1383,37 a	1004,76 b	85,72 a	81,66 a
ORS 1403	31,55 a	32,67 a	782,74 b	1490,39 a	80,51 a	76,59 a
ORS ABSOLUTO	36,45 a	38,00 a	1008,28 a	1283,25 a	78,61 a	75,83 a
ORS DESTAK	38,03 a	36,35 a	1517,92 a	1420,53 a	74,67 a	80,32 a
ORS FERROZ	39,13 a	39,55 a	1224,35 a	1372,76 a	78,62 a	76,81 a
ORS GUARDIÃO	45,57 a	47,30 a	1145,49 a	1336,89 a	82,58 a	80,16 a
ORS PREMIUM	37,17 b	41,90 a	1347,16 a	1367,99 a	78,39 a	77,22 a
ORS SENNA	43,98 a	46,55 a	1180,67 a	979,94 a	78,06 a	76,07 a
ORS SOBERANO	32,80 a	32,80 a	1121,40 a	1005,57 a	79,10 a	79,90 a
TBIO ATON	37,30 a	38,73 a	761,82 a	1079,06 a	65,73 b	80,46 a
TBIO DUQUE	39,93 a	34,53 b	1009,09 a	1153,92 a	79,61 a	78,46 a
TBIO SINTONIA	31,13 a	32,73 a	1063,08 a	618,05 b	78,68 a	80,20 a

¹Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Fonte: Do autor (2023).

Ao observamos dentro do ambiente (Tabela 4) algumas cultivares se destacam nos dois ambientes (ORS Destak, ORS Feroz, ORS Guardião e ORS Premium), mostrando que tem bom potencial produtivo tanto com zinco, quanto na sua ausência. As cultivares BRS 264, BRS 404, ORS Senna e ORS Soberano apresentaram maiores produtividades apenas no ambiente com zinco, sendo responsiva a aplicação do micronutriente e respondendo diretamente a aplicação deste micronutriente.

5. CONCLUSÃO

Ao final deste trabalho, percebeu-se que o zinco não afetou positivamente como esperado em sua maioria os parâmetros de peso de mil grãos, produtividade e peso hectolitro da cultura do trigo. Fica uma sugestão para refazer o trabalho com cultivares de ciclos semelhantes e em outra época em que haja maior precipitação.

REFERÊNCIAS

- ALLOWAY, Brian J. **Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans**. Environmental geochemistry and health, v. 31, n. 5, p. 537-548, 2009.
- ANTUNES, Joseani. **Uma colheita de trigo para fazer história**. EMBRAPA TRIGO. 2022. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/77085844/trigo-uma-safra-para-ficar-na-historia> >. Acesso em: 13 mar. 2023.
- BARCELOUX, D. G.; BARCELOUX, Donald. **Zinc**. Journal of Toxicology: Clinical Toxicology, 37:2, 279-292, 1999.
- BIOTRIGO GENÉTICA. **Informações técnicas para trigo e triticale: safra 2020**. 13^a Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. Biotrigo Genética. Passo Fundo, p. 225, 2020.
- CAKMAK, Ismail. **Biofortification of cereals with zinc and iron through fertilization strategy**. In: 19th world congress of soil science. p. 1-6. 2010.
- CAKMAK, Ismail. **Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification?**. Plant and soil, v. 302, p. 1-17, 2008.
- CAKMAK, Ismail. **Enrichment of fertilizers with zinc: An excellent investment for humanity and crop production in India**. Journal of trace elements in medicine and biology, v. 23, n. 4, p. 281-289, 2009.
- CONAB. **A cultura do trigo**. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, p. 218, 2017.
- CONAB. **Análise mensal: Trigo**. Companhia Nacional de Abastecimento. 2022.
- CRUZ, Cosme Damião. **Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics**. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 35, p. 271-276, 2013.
- DHALIWAL, S. S. et al. **Zinc biofortification of bread wheat, triticale, and durum wheat cultivars by foliar zinc fertilization**. Journal of Plant Nutrition, v. 42, n. 8, p. 813-822, 2019.
- FAGERIA, Nand Kumar. **Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, p. 390-395, 2000.
- GARVIN, David F.; WELCH, Ross M.; FINLEY, John W. **Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentration of US hard red winter wheat germplasm**. Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 86, n. 13, p. 2213-2220, 2006.
- GIBSON, Rosalind S. **Zinc: the missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries**. Proceedings of the Nutrition Society, v. 65, n. 1, p. 51-60, 2006.
- HOTZ, Christine.; BROWN, Kenneth H. **Assessment of the risk of zinc deficiency in populations**. Food and Nutrition Bulletin, 25(1):130-162, 2004.
- HUSSAIN, Shahid et al. **Biofortification and estimated human bioavailability of zinc in wheat grains as influenced by methods of zinc application**. Plant and Soil, v. 361, p. 279-

290, 2012.

INOCENCIO, Maykom Ferreira. **Frações de zinco no solo e biofortificação agrônômica com selênio, ferro e zinco em soja e trigo**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 88 p. 2014.

JALAL, Arshad et al. **Agro-biofortification of zinc and iron in wheat grains**. *Gesunde Pflanzen*, v. 72, n. 3, p. 227-236, 2020.

KUTMAN, Umit Baris; YILDIZ, Bahar; CAKMAK, Ismail. **Improved nitrogen status enhances zinc and iron concentrations both in the whole grain and the endosperm fraction of wheat**. *Journal of Cereal Science*, v. 53, n. 1, p. 118-125, 2011.

MACÊDO, Érika Michelle C. de et al. **Efeitos da deficiência de cobre, zinco e magnésio sobre o sistema imune de crianças com desnutrição grave**. *Revista Paulista de Pediatria*, v. 28, p. 329-336, 2010.

MALAVOLTA, Eurípedes; VITTI, Godofredo César; OLIVEIRA, Sebastião Alberto de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, ed. 2, p. 319, 1997.

MANOS, Maria Geovania Lima; WILKINSON, John. **Mapeamento de controvérsias socio-técnicas: o caso da biofortificação de alimentos básicos no Brasil**. In: Atas do 5o Congresso Ibero-Americano em investigação qualitativa, CIAIQ2016, v. 3, 2016.

MAPA. **Brasil pode se tornar autossuficiente em trigo nos próximos dez anos**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2022. Disponível em: < <https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2022/10/brasil-pode-se-tornar-autossuficiente-na-producao-de-trigo-nos-proximos-dez-anos#:~:text=Segundo%20ele%2C%20a%20m%C3%A9dia%20de,de%206%20toneladas%20por%20hectare> >. Acesso em: 20 mar. 2023.

MCDONALD, G. K.; GENC, Y.; GRAHAM, R. D. **A simple method to evaluate genetic variation in grain zinc concentration by correcting for differences in grain yield**. *Plant and Soil*, v. 306, p. 49-55, 2008.

PALMER, Christine M.; GUERINOT, Mary Lou. **Facing the challenges of Cu, Fe and Zn homeostasis in plants**. *Nature chemical biology*, v. 5, n. 5, p. 333-340, 2009.

PASCOALINO, João Augusto Lopes et al. **Biofortificação agrônômica com zinco em trigo**. V Reunião de Biofortificação no Brasil, 2015.

PIRES, João Leonardo Fernandes. **A importância do trigo para a sustentabilidade da agricultura brasileira**. Embrapa. 2017. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/23416523/artigo---a-importancia-do-trigo-para-a-sustentabilidade-da-agricultura-brasileira> >. Acesso em: 13 mar. 2023.

PRASAD, Ananda S. **Zinc: mechanisms of host defense**. *The Journal of nutrition*, v. 137, n. 5, p. 1345-1349, 2007.

SCOTT, Andrew Jhon; KNOTT, M. **A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance**. *Biometrics*, p. 507-512, 1974.

TUNES, Lilian Madruga de et al. **Tratamento de sementes de trigo com zinco: armazenabilidade, componentes do rendimento e teor do elemento nas sementes.** Ciência Rural, v. 42, p. 1141-1146, 2012.

WISSUWA, Matthias; ISMAIL, Abdelbagi M.; GRAHAM, Robin D. **Rice grain zinc concentrations as affected by genotype, native soil-zinc availability, and zinc fertilization.** Plant and Soil, v. 306, p. 37-48, 2008.

YANG, Jianchang; ZHANG, Jianhua. **Grain filling of cereals under soil drying.** New phytologist, v. 169, n. 2, p. 223-236, 2006.

YILMAZ, A. et al. **Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils.** Journal of plant nutrition, v. 20, n. 4-5, p. 461-471, 1997.

ZHANG, Yue-Qiang et al. **Zinc biofortification of wheat through fertilizer applications in different locations of China.** Field Crops Research, v. 125, p. 1-7, 2012.