

PATRICIA DINIZ GRACIANO

BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM CULTIVARES DE
ALFACE CRESPA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Renata Castoldi

Coorientador: Prof. Dr. Hamilton César de Oliveira Charlo

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS - BRASIL

2019

PATRICIA DINIZ GRACIANO

BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM CULTIVARES DE
ALFACE CRESPA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

Aprovada em 11 de fevereiro de 2019.

Prof. Dr. José Magno Queiroz Luz

Prof. Dr^a. Adriane de Andrade Silva

Prof. Dr. Hamilton César de Oliveira Charlo



Prof^a. Dr^a. Renata Castoldi
ICIAG-UFU
(Orientadora)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS - BRASIL

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

G731b Graciano, Patricia Diniz, 1993
2019 Biofortificação agrônômica com zinco em cultivares de alface crespa
[recurso eletrônico] / Patricia Diniz Graciano. - 2019.

Orientadora: Renata Castoldi.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.1305>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. 2. Alface - Teor de zinco. 3. Melhoramento genético.
4. Alface - Nutrição. I. Castoldi, Renata, 1982, (Orient.) II. Universidade
Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III.
Título.

CDU: 631

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

À Deus,
À minha família,
Ao meu namorado Higor Silva.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelas conquistas e oportunidades.

Aos meus pais, Jairo Ferreira e Lenir Rezende, pelo amor e por me ensinarem valores fundamentais para a construção de quem sou hoje.

À CAPES pelo incentivo às pesquisas realizadas durante toda a pós-graduação.

À Universidade Federal de Uberlândia pela estrutura concedida.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGA) pelos ensinamentos transmitidos.

À Prof^a. Dr^a. Renata Castoldi pela orientação, oportunidade, compreensão, amizade e ensinamentos, apesar de todas as dificuldades e contratempos.

Ao Prof. Dr. Hamilton César de Oliveira Charlo pela coorientação.

À Prof^a. Dr^a. Denise Garcia Santana por não ter desistido de mim.

Ao Prof. Dr. Jair Rocha do Prado e a Prof^a. Dr^a. Tatiane Melo de Lima pelo auxílio nas análises estatísticas e interpretação dos dados.

À Prof^a. Dr^a. Adriane de Andrade Silva, ao Prof. Dr. Hamilton César de Oliveira Charlo e ao Prof. Dr. José Magno Queiroz Luz por aceitarem compor a banca examinadora.

Aos colegas de mestrado, Camila Soares e Alisson Henrique pelo apoio, amizade e auxílio nos trabalhos de campo.

Aos amigos pela ajuda na condução do experimento, em especial Ana Carolina Pires Jacinto, Aline José da Silveira, Gustavo Moreira, Neiliane Aparecida da Silva, Guilherme Lopes, Dona Vera da Silva, Matheus Henrique Faria e Lucas.

Ao meu namorado Higor Faria pela compreensão e por ter me dado força e auxílio nos momentos mais difíceis de condução do trabalho.

À equipe do Laboratório de Solos pela ajuda e disponibilidade de materiais, em especial à Jéssica Mieko, Renan César Dias da Silva, João George Moreira e Angélica Borges.

Ao engenheiro agrônomo Siro Moreira e ao técnico de campo Ivan, que não mediram esforços para ajudar no que fosse preciso.

A todos que contribuíram para a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT.....	ii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1. A cultura da alface	2
2.2. Zn no solo e na planta	3
2.3. Zn na nutrição humana.....	5
2.4. Biofortificação agronômica.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
5. CONCLUSÕES	25
REFERÊNCIAS.....	25

RESUMO

GRACIANO, PATRICIA DINIZ. **Biofortificação agronômica com zinco em cultivares de alface crespa**. 2019, 36 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil¹.

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma hortaliça folhosa de grande importância na alimentação e na saúde humana, destacando-se, principalmente, como fonte de vitaminas e sais minerais. Em países subdesenvolvidos, as deficiências de ferro, zinco e vitamina A são um problema de saúde pública. Apesar da importância desses elementos na saúde humana, os principais alimentos consumidos nos países em desenvolvimento apresentam baixos teores, tornando seu consumo insuficiente para atender aos requerimentos mínimos diários. Diante disso, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes doses de zinco via foliar em quatro cultivares de alface crespa, visando a biofortificação. O experimento foi realizado em campo, na Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 5 com quatro repetições, sendo quatro cultivares de alface crespa (Brida, Isabela, Thaís, Vanda) e cinco doses de sulfato de zinco foliar (0; 400; 800; 1.200 e 1.600 g ha⁻¹ de zinco). Quando as plantas estavam completamente desenvolvidas, avaliou-se: altura de planta (cm), índice SPAD, massa fresca total (kg planta⁻¹), diâmetro do caule (mm), diâmetro da cabeça (cm), número de folhas por planta, produtividade média estimada (kg m⁻²) e teor foliar de zinco. Os dados foram submetidos à análise de variância, pelo teste F ($\alpha = 0,05$). Para os dados qualitativos, as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e, para os dados quantitativos, realizou-se análises de regressão. Houve interação significativa entre cultivares e doses de Zn, ao nível de 5% de probabilidade para altura da planta, massa fresca total, índice SPAD e produtividade média. De acordo com os resultados obtidos, foi possível concluir que todas as cultivares de alface avaliadas podem ser consideradas biofortificadas, porém, a cultivar Thaís destacou-se por apresentar alto teor de zinco foliar, além de resultados satisfatórios para a maioria das características agronômicas avaliadas. As doses de 300 a 706 g ha⁻¹ de zinco via foliar podem ser utilizadas para serem aplicadas na cultura da alface por proporcionarem plantas biofortificadas sem afetar a grande maioria das características produtivas da cultura.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L.; nutrientes essenciais; aplicação via foliar; doses de zinco.

¹ Orientadora: Renata Castoldi - UFU

ABSTRACT

GRACIANO, PATRICIA DINIZ. **Agronomic biofortification with zinc in cultivars of crisp lettuce.** 2019, 36 p. Dissertation (Master Program Agronomy/Crop Science) – Federal University of Uberlandia, Uberlandia, Minas Gerais, Brazil¹.

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is a leafy vegetable of great importance in food and human health, especially as a source of vitamins and minerals. In underdeveloped countries, deficiencies of iron, zinc and vitamin A are a public health problem. Despite the importance of these elements in human health, the main foods consumed in developing countries have low levels, making their consumption insufficient to meet the minimum daily requirements. The objective of this study was to evaluate the effect of different doses of zinc via leaf on four cultivars of crisp lettuce. The experiment was a field research, which occurred in Federal University of Uberlandia - Monte Carmelo Campus. The trial design was a randomized complete block design in a 4x5 factorial scheme with four replicates, four cultivars of crisp lettuce (Brida, Isabela, Thaís, Vanda) and five doses of zinc sulphate per leaf (0, 400, 800, 1200 and 1600 g ha⁻¹ of zinc). When the plants were fully developed, it was evaluated: SPAD index, plant height (cm), total fresh mass (kg plant⁻¹), stem diameter (mm), head diameter (cm), number of leaves per plant, estimated average productivity (kg m⁻²) and zinc foliar content. Data were submitted to analysis of variance by the F test ($\alpha = 0.05$). For the qualitative data, the averages were compared by the Tukey test at 5% probability and for the quantitative data, regression analyzes were performed. There was a significant interaction between cultivars and Zn doses at the 5% probability level for plant height, total fresh mass, SPAD index and average productivity. According to the results obtained, it was concluded that all evaluated lettuce cultivars can be considered biofortified, but the cultivar Thaís stands out because it has a high content of leaf zinc and satisfactory results for most of the evaluated agronomic characteristics. The doses of 300 to 706 g ha⁻¹ of foliar zinc can be used to be applied in the lettuce crop, because they provide biofortified plants, without affecting the great majority of the productive characteristics of the crop.

Key words: *Lactuca sativa* L.; essential nutrients; foliar application; zinc doses.

¹Advisor: Renata Castoldi - UFU

1. INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa mais importante mundialmente, sendo consumida principalmente *in natura*, na forma de salada. Estima-se que o cultivo anual dessa hortaliça no Brasil, tanto de forma intensiva quanto por produtores familiares, esteja em torno de 35 mil hectares (SOUSA et al., 2014).

As extensas áreas de produção, bem como o elevado consumo dessa hortaliça, estão associados à busca dos brasileiros por hábitos alimentares mais saudáveis (CARVALHO et al., 2016).

A alface apresenta importância nutricional, fornecendo consideráveis teores de fósforo (20 mg/100g), potássio (141 mg/100g), vitamina C (2,8 mg/100g) e vitamina A (25µg/100g) além de ser fonte de fibras e apresentar baixo teor calórico (USDA, 2019). Entretanto, o ser humano necessita de cerca de 22 nutrientes para manter seu metabolismo adequado e saudável (GRAHAM et al., 2007), sendo que, alguns desses, não estão presentes ou apresentam-se em baixos teores nas folhas de alface. Dentre esses nutrientes presentes em baixas quantidades, destaca-se o zinco (Zn), micronutriente com requerimentos diários de cerca de 11 mg para homens adultos (NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH, 2016).

O Zn, além de desempenhar importantes funções no metabolismo vegetal, também é essencial para os seres humanos, pois está relacionado com o funcionamento do sistema imunológico, função sensorial, desenvolvimento neurocomportamental, saúde reprodutiva, crescimento e desenvolvimento físico (HOTZ; BROWN, 2004). Em países subdesenvolvidos, as deficiências de zinco, ferro e vitamina A são consideradas problemas de saúde pública.

Apesar da sua importância na saúde humana, os principais alimentos consumidos nos países em desenvolvimento apresentam baixos teores do micronutriente, tornando seu consumo insuficiente para atender aos requerimentos mínimos diários (CARVALHO; VASCONCELOS, 2013).

Diante disso, alguns métodos estão sendo utilizados para que a necessidade de zinco nos seres humanos seja suprida (CAKMAK, 2008), destacando-se, dentre eles, a biofortificação agrônômica, que tem como

propósito enriquecer os alimentos por meio da adubação (CAKMAK et al., 2010; HUSSAIN et al., 2012) via solo e/ou foliar.

Ambas as formas de aplicação de zinco têm mostrado resultados satisfatórios quanto sua elevação em grãos de cereais (CAKMAK, 2009; HUSSAIN et al., 2012), feijão (CAMBRAIA, 2015) e cebola (ALMENDROS et al., 2015). Contudo, ainda são poucas as pesquisas relacionadas à biofortificação agrônômica em hortaliças folhosas.

Pelo fato de a alface ser um alimento cada dia mais presente nos pratos da população, além de ser de fácil preparo e de baixo custo, qualquer estratégia que vise potencializar a biofortificação pode resultar em vários benefícios para a saúde. A biofortificação de cultivares de alface com Zn pode contribuir no suprimento de deficiências nutricionais de populações de baixa renda, por se apresentar como alimento com preço acessível e de fácil produção. Além disso, a alface pode ser cultivada por grandes produtores, mas também por pequenos, mesmo que os últimos não disponham de elevadas tecnologias de produção.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho, avaliar o efeito de diferentes doses de zinco via foliar em quatro cultivares de alface crespa, visando a biofortificação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A cultura da alface

Dentre as hortaliças mais comercializadas no mundo, destaca-se a alface (*Lactuca sativa* L.), hortaliça folhosa, herbácea, com caule pequeno, não ramificado, ao qual se inserem as folhas crespas ou lisas (DALASTRA et al., 2016).

É considerada uma das olerícolas de maior importância na alimentação e na saúde humana, devido ao sabor agradável, à qualidade nutritiva e à facilidade de aquisição, tendo expressão econômica significativa no Brasil (SALA; COSTA, 2012).

O incremento produtivo e a elevada demanda desta folhosa pela população se deve, principalmente, ao aumento significativo da população nas últimas décadas e às mudanças no hábito alimentar do brasileiro (SILVEIRA et

al., 2015), que, cada vez mais, está à procura de alimentos saudáveis e pouco calóricos.

Além disso, devido ao melhoramento genético, há uma grande diversidade de cultivares, que diferem-se quanto à coloração das folhas, podendo variar do verde claro ao roxo (SANTANA et al., 2009) e quanto ao aspecto das folhas, que podem ser, como supracitado, lisas ou crespas, soltas ou formando cabeça.

De acordo com o aspecto das folhas e formação ou não de cabeça, as cultivares de alface podem ser classificadas em seis grupos: repolhuda manteiga, repolhuda crespa (americana), solta lisa, solta crespa, mimosa e romana (FILGUEIRA, 2013).

Dentre essas, o tipo predominante no Brasil é do grupo crespa, liderando 70% do mercado. As cultivares do grupo americana e lisa detêm 15% e 10%, respectivamente; enquanto outras, como mimosa e romana correspondem a apenas 5% do mercado brasileiro (SALA; COSTA, 2005).

Ao longo dos anos, o consumo de alface do grupo crespa vem crescendo consideravelmente, em virtude de possuírem maior resistência às doenças e ao transporte, maior vida útil pós-colheita e também por ser mais agradável ao paladar dos brasileiros. Além disso, as cultivares do grupo crespa também são preferidas para cultivo pelos produtores, pois apresentam manuseio e transporte facilitado (SALA; COSTA, 2012).

2.2. Zn no solo e na planta

O zinco (Zn) é um micronutriente de grande importância para os vegetais, pois é requerido de forma catalítica e estrutural por diversas enzimas como a desidrogenase alcoólica, anidrase carbônica, proteinases e peptidases (WELCH; NORVELL, 1993). Além disso, participa da síntese do triptofano (BROWN et al., 1993; ALLOWAY, 2008), precursor do ácido indol acético (AIA), participa da produção de auxina, hormônio de crescimento (SKOOG, 1940; BRENNAN, 2005), reduz o nitrato, desintoxica de radicais livres (MARSCHNER, 2012) e participa da superóxido dismutase. Ademais, atua na síntese de proteínas, no metabolismo de carboidratos e na biossíntese de clorofila (KABATA-PENDIAS, 2010; BROADLEY et al., 2012).

Além disso, é essencial na composição e ativação de enzimas que estão diretamente relacionadas ao metabolismo do nitrogênio (FAQUIN, 1994), em como para o crescimento (GREWAL et al., 1997) e para a manutenção da integridade da membrana plasmática da raiz (CAKMAK; MARSCHNER, 1988). É ainda um elemento classificado como parcialmente móvel no floema (CARVALHO, 2007).

É importante ressaltar ainda que as concentrações de zinco nas plantas variam de 20 a 120 mg kg⁻¹ na matéria seca (MALAVOLTA, 2006).

Os principais sintomas verificados nas plantas, quando deficientes em zinco, são: diminuição da fotossíntese devido aos danos nos cloroplastos, o que acarreta desarranjo no transporte eletrônico (ABBAS et al., 2009); redução da atividade da polimerase de RNA, provocando aumento na quantidade de aminoácidos; baixa atividade da dismutase de superóxido e perda da integridade das membranas (FURLANI, 2004).

Nos solos, os teores de zinco geralmente variam entre 60 e 89 mg kg⁻¹ (BROADLEY et al., 2007; KABATA-PENDIAS, 2011), dependendo da rocha de origem e das fontes de deposição. Entretanto, concentrações no solo acima de 100 mg kg⁻¹ de Zn, podem ter efeitos negativos na fisiologia e metabolismo, limitando a produtividade das culturas (EHSAN et al., 2013).

Sobre os principais sintomas de toxicidade por Zn, é possível afiançar que incluem: inibição do crescimento e clorose nas folhas (TEWARI et al., 2008); alteração na absorção de nutrientes; dano à integridade e permeabilidade das membranas celulares, gerando radicais livres de O₂ e prejudicando, também, a fotossíntese (UPADHYAYA; PANDA, 2010; CAMBROLLÉ et al., 2012).

Quanto à aplicação do micronutriente (Zn), pode ser feita via solo, via foliar, sementes ou por fertirrigação. Quando aplicado via foliar, a possibilidade de ser translocado para os frutos ou outras partes da planta é maior do que quando aplicado via solo ou via tratamento de sementes (WELCH, 1995).

De acordo com trabalhos realizados por Kutman et al. (2010), Hussain et al. (2012) e Cambraia (2015), a combinação das adubações via solo e foliar promoveram aumento do teor de Zn nos grãos de diversas culturas. Porém, em hortaliças folhosas, apenas a aplicação foliar pode ser uma alternativa mais viável, pois o zinco é pouco móvel na planta e, sendo as folhas a parte

comercializada, tal micronutriente fica concentrado em maiores quantidades nelas.

A disponibilidade do zinco no solo é influenciada por diversos fatores, dentre eles, pH do solo (CHAIGNON; HINSINGER, 2003; SHAHEEN et al., 2015), capacidade de troca catiônica (CTC) e composição da matéria orgânica (FERNÁNDEZ-CALVIÑO et al., 2010). Além disso, solos corrigidos com calcário e intemperizados, com presença de óxidos de ferro e alumínio, tendem a apresentar deficiência de Zn, pois as partículas de argila e calcário adsorvem o micronutriente, deixando-o indisponível para as plantas (ALAM et al., 2010; ABDOLAH et al., 2011; MOUSAVI, 2011).

De acordo com White e Brown (2010), a presença do Zn nos tecidos da planta depende da biodisponibilidade e da concentração no solo, sendo regulada por diversos fatores químicos e físicos, como pH, teor de carbonato de cálcio, presença de óxidos, umidade do solo e teor de matéria orgânica (CAKMAK, 2008), assim como a espécie vegetal (FAGERIA, 2009).

As rochas básicas (detentoras da fonte primária de Zn), que apresentam minerais ferro-magnesianos, são as principais fontes de Zn. Entretanto, os solos brasileiros são formados por rochas ácidas ou sedimentares, com a ausência desses minerais nos solos, sendo, portanto escassos em zinco (CHESWORTH, 1991).

De acordo com Yuri et al. (2006), nos solos do Cerrado, a adubação com micronutrientes, principalmente zinco e boro, é de extrema importância para o sucesso da produção de alface, visto que a região apresenta solos pobres nestes nutrientes.

2.3. Zn na nutrição humana

Estima-se que um terço da população mundial viva em países considerados de alto risco em relação à carência de Zn e um quinto da população mundial pode não estar consumindo este micronutriente em quantidades suficientes (WELCH; GRAHAM, 2004; HOTZ; BROWN, 2004).

O zinco é um mineral que se encontra amplamente distribuído em todo o corpo humano, porém em pequenas concentrações (1,5g a 2,5g). Apesar da quantidade, a sua deficiência está relacionada a quadros patológicos graves que

surtem, em sua grande maioria, em função da deficiência alimentar, presença de compostos quelantes nos alimentos, distúrbios no processo de absorção gastrointestinal ou aumento na excreção urinária. As recomendações diárias de ingestão do zinco são de 11 mg dia⁻¹ para homens e 8 mg dia⁻¹ para mulheres adultas. Entretanto, em algumas fases da vida, as necessidades deste mineral são aumentadas, como na gestação, infância, puberdade e senilidade (HAMBIDGE et al., 2008).

O Zn é considerado o segundo micronutriente mais encontrado em todos os tecidos do organismo, por se tratar de um nutriente essencial à reprodução, regulação hormonal da divisão celular, reparo de tecidos e no funcionamento das membranas celulares (MAFRA; COZZOLINO, 2004; INTERNATIONAL ZINC NUTRITION CONSULTATIVE GROUP, 2004). Além disso, é importante para a síntese e reparação de DNA, RNA e proteínas. Ademais, ele afeta processos bioquímicos e fisiológicos relacionados ao crescimento, divisão, diferenciação celular, desenvolvimento e envelhecimento (FUKADA et al., 2011).

Os sintomas da deficiência de zinco em seres humanos são verificados por acrodermatite, imunidade suprimida, diarreia, dificuldade na cicatrização, atraso no crescimento, hipogonadismo, falha no crescimento fetal, teratogênese e aborto. Também está associado a diversas doenças como síndrome de má absorção, doença hepática crônica, doença renal crônica, doença falciforme, diabetes, malignidade, distúrbios do neurodesenvolvimento (FUKADA et al., 2011; YASUDA et al., 2011; HOJYO et al., 2014), além de ocasionar disfunção na resposta do sistema imunológico em idosos (PRASAD, 2013; FUKADA et al., 2011; HOJYO et al., 2014).

Por ser importante para mais de 200 sistemas enzimáticos, crescimento e desenvolvimentos normais, manutenção dos tecidos corporais, função sexual, visão e sistema imunológico, o elemento é vital para a sobrevivência, principalmente durante a infância, fase em que é mais requerido pelo corpo (HARVEST PLUS, 2018).

Para suprir estas necessidades, as principais fontes alimentares são carnes bovinas, peixes, aves, leite, queijos, frutos do mar, cereais de grãos integrais, gérmen de trigo, feijões, nozes, amêndoas, castanhas e semente de abóbora. Entretanto, a ingestão alimentar não é garantia de utilização celular deste micronutriente, visto que pode ocorrer interação química com outras

substâncias, como oxalato, fitatos, fibras e alguns minerais, prejudicando a absorção do mesmo (DOMENE et al., 2008).

A deficiência de zinco é considerada um problema nutricional mundial, pois afeta igualmente grupos populacionais em países desenvolvidos e em desenvolvimento. Estudos em países latino-americanos e nos EUA mostraram que a ingestão média de zinco varia entre 50% a 80% da recomendação, independentemente da idade, gênero e raça (CESAR et al., 2005).

Apesar da importância fisiológica do zinco na manutenção de vários processos no organismo humano, pouco se tem feito para combater a deficiência desse mineral no mundo, uma vez que as políticas de fortificação são voltadas para a deficiência de ferro que, quando fornecido como suplemento ou na forma de alimento fortificado, compete com o pouco zinco dietético disponível (SIQUEIRA et al., 2007).

2.4. Biofortificação agronômica

A justificativa para uso da biofortificação em alimentos, desde o surgimento da técnica, se dá devido ao seu potencial no combate às deficiências por micronutrientes, que atingem grande parte da população mundial (MANOS; WILKINSON, 2016).

Desta maneira, a biofortificação consiste no enriquecimento nutricional dos alimentos durante a produção no campo, podendo ser realizada de duas formas: pelo melhoramento genético (convencional ou transgenia) ou pelo manejo da cultura.

Assim sendo, o melhoramento genético vegetal é denominado biofortificação genética, que consiste em selecionar ou modificar intencionalmente o material genético das plantas, aumentando, dessa forma, a concentração de minerais nele presente, como pró-vitamina A, betacaroteno e proteínas.

Já o manejo da cultura é denominado de biofortificação agronômica e consiste em enriquecer os alimentos com minerais, especialmente Fe e Zn, através de tratos culturais diferenciados (VERGÜTZ et al., 2016). Tais nutrientes são os mais utilizados por se caracterizarem como aqueles que promovem

déficits nutricionais mais alarmantes em seres humanos em países subdesenvolvidos (MAO et al., 2014).

A biofortificação agronômica pode ser feita por meio de algumas técnicas, tais como, adubação via solo, tratamento de sementes e aplicação foliar, que se caracterizam como técnicas de menor custo, mais acessíveis e de resultado rápido, pois influencia somente na adubação (LOUREIRO et al., 2018).

Embora não existam no Brasil estudos que identifiquem a dimensão da carência de Zn na população, Beininger et al. (2010) e Pedraza et al. (2011), tendo como amostras crianças, estimaram, respectivamente, que a deficiência de zinco afetava 11,2% e 16,2% da população.

Contudo, vários estudos têm sido realizados para biofortificar plantas cultivadas com zinco (GRAHAM et al., 2001; PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2007; WHITE; BROADLEY, 2009; STEIN, 2010) e todos comprovam que a biofortificação com zinco é mais prática do que a diversificação da dieta e mais eficaz do que a suplementação com comprimidos ou farelos vitamínicos.

Yucel et al. (2013), trabalhando com aplicações foliares de Zn (0, 0,01; 0,02 e 0,03%) em alface, constataram que, apesar da dose 0,03% ter proporcionado alta produção (999,78 g planta⁻¹), também ocasionou aumento no teor de nitrato nas folhas, o que não é benéfico à saúde humana.

De acordo com Sago et al. (2018), em estudo com biofortificação de mini alface, cultivada sob sistema hidropônico, iluminação artificial e elevada velocidade do vento, além de temperatura da zona radicular, verificaram que o peso fresco das plantas crescidas sob concentrações de zinco na solução nutritiva de 0,15, 0,3, e 0,45 mM foram, respectivamente, 40%, 42% e 52% inferiores aos das plantas cultivadas em condições normais (0,001 mM). Outrossim, a concentração de zinco nas folhas aumentou gradualmente com o aumento da concentração de zinco na solução nutritiva. No entanto, foi observada necrose grave em lâminas foliares quando a concentração de zinco na solução nutritiva foi maior ou igual a 0,15 mM.

Os trabalhos realizados com aplicação de zinco em hortaliças, tais como, alface americana (YURI et al., 2006) e rúcula (REYES, 2017) confirmam que há variações na produção e qualidade agronômica destas quando aplicam-se dosagens de Zn distintas, bem como, quando utilizam-se diferentes cultivares

(CORGUINHA et al., 2013; PROM-U-THAI et al., 2010; SOUZA et al., 2013; 2014), havendo, entretanto, poucas pesquisas relacionadas à biofortificação agronômica em hortaliças folhosas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de 05 de março a 09 de junho de 2018, na área experimental do Campus Araras, situada no município de Monte Carmelo-MG, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (altitude 873 m, 18°43'37" S e 47°31'27" W).

O clima, segundo a classificação climática de Köppen, é temperado úmido, sendo os dados de temperatura e pluviosidade obtidos na Estação meteorológica da Cooxupé (Figura 1).

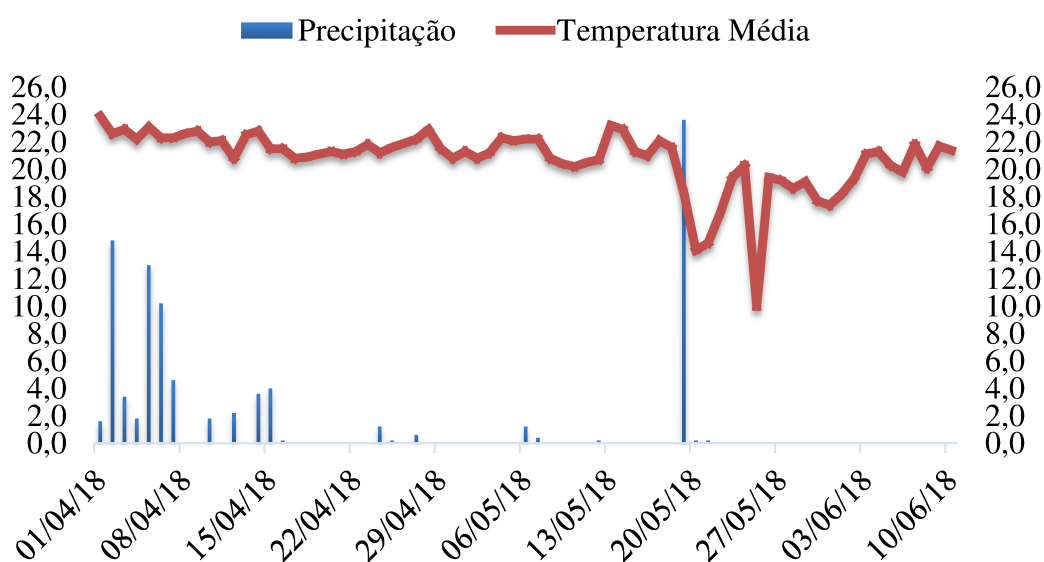


FIGURA 1. Variação diária da temperatura média do ar (°C) e da precipitação pluviométrica (mm), no decorrer do experimento.

O delineamento estatístico utilizado foi de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 5 com quatro repetições. Os tratamentos resultaram da combinação de quatro cultivares de alface crespa (Brida, Isabela, Thaís, Vanda) e cinco doses de zinco via folha (0; 400; 800; 1.200 e 1.600 g ha⁻¹ de zinco), utilizando como fonte o sulfato de zinco P.A., com 20% de Zn.

Cada parcela experimental foi constituída por quatro linhas de plantio, contendo 20 plantas por parcela, dispostas no espaçamento de 0,25 m entrelinhas

e 0,25 m entre plantas (1,25 m²/parcela), sendo consideradas para as avaliações as seis plantas centrais de cada parcela.

A semeadura foi realizada no dia 05 de março de 2018, em bandejas de polietileno de 200 células preenchidas com substrato comercial à base de fibra da casca de coco. No período de germinação, de emergência e na fase de plântulas, as bandejas foram mantidas em casa de vegetação do tipo arco, com dimensões de 7 x 21 m e pé direito de 4 metros, coberta com filme de polietileno transparente de 150 micra, aditivado contra raios ultravioleta e cortinas laterais de tela branca anti-afídeos.

Para a instalação do experimento, o solo foi amostrado na profundidade de 0 a 20 cm para análise química e física, apresentando os seguintes resultados: textura muito argilosa, contendo 73,5% de argila; pH em CaCl₂ = 5,3; P_{meh} = 23,3 mg dm⁻³; K = 0,50 cmolc dm⁻³; Ca = 3,5 cmolc dm⁻³; Mg = 1,03 cmolc dm⁻³; Zn = 4,7 mg dm⁻³; B = 0,30 mg dm⁻³; Fe = 16 mg dm⁻³; Cu = 4,0 mg dm⁻³; Mn = 4,2 mg dm⁻³; H+Al = 3,10 cmolc dm⁻³; SB = 5,05 cmolc dm⁻³; T = 8,15 cmolc dm⁻³; V% = 52%.

Quando as mudas apresentaram de 3 a 5 folhas definitivas, o que ocorreu no dia 27 de abril de 2018, foram transplantadas para o local definitivo. Para isso, as mudas foram removidas das bandejas e colocadas no local definitivo, previamente preparado, conforme sistema convencional (aração, gradagem e levantamento de canteiros), calcareado, para elevar a saturação por bases a 70% e adubado dois dias antes do transplante, conforme os resultados da análise do solo e recomendação para a cultura (RIBEIRO et al., 1999).

A adubação constou de 150 kg ha⁻¹ de N e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando-se como fonte ureia e superfosfato simples, respectivamente. Na adubação de plantio, foi utilizado 20% do N e o total de P₂O₅ recomendado. Já nas adubações de cobertura, foram utilizados 20%, 30% e 30% do total de N recomendado, respectivamente, aos 15, 30 e 40 dias após o transplante (RIBEIRO et al., 1999).

As aplicações foliares com zinco foram realizadas em parcela única com o auxílio de uma bomba costal manual do modelo Guarani[®], com capacidade para 20 litros de calda, sendo utilizado o volume de 4 litros de calda para cada 16 parcelas. A aplicação foi realizada no dia 13 de maio de 2018, quinze dias após o transplante (DAT), no final da tarde. Após a aplicação, a irrigação foi cessada por um período de 24 horas. Para evitar a ocorrência de deriva, no momento da

aplicação, foi instalada ao redor da parcela uma cortina plástica com 1 m de altura.

O sistema de irrigação utilizado foi por aspersão, com dois turnos de rega diários, para manter o solo sempre úmido e adequado ao melhor desenvolvimento da cultura.

Os tratamentos fitossanitários foram realizados ao longo do ciclo da cultura, conforme incidência de pragas e doenças, com produtos registrados. As capinas foram realizadas manualmente, a fim de manter a cultura sempre no limpo.

A colheita foi realizada no dia 09 de junho de 2018, quando as plantas apresentaram seu máximo desenvolvimento vegetativo, ou seja, aos 43 DAT. Antes da colheita, as plantas centrais de cada parcela foram mensuradas quanto ao teor de clorofila, utilizando-se o medidor de clorofila SPAD, modelo Minolta SPAD-502 CFL1030, na folha mediana da planta, no período da manhã.

Após a colheita, as cabeças foram levadas ao Laboratório de Fitotecnia (LAFIT), para determinação das seguintes características: altura de planta (cm), massa fresca total (kg planta^{-1}), diâmetro do caule (mm), diâmetro da cabeça (cm), número de folhas por planta, produtividade média estimada (kg m^{-2}) e teor de zinco foliar (g kg^{-1}).

Para determinação do teor de zinco foliar, as amostras foram lavadas em água corrente e, posteriormente, em água destilada; colocadas para secar em estufa com circulação de ar forçado a 65°C , até atingirem massa constante e, posteriormente, moídas e submetidas à análise química. Os teores foliares de zinco foram determinados através do extrato nítrico-perclórico, por espectrofotometria de absorção atômica (EMBRAPA, 2009).

Após a obtenção dos dados, foram realizados testes de pressuposições da ANOVA, referente à normalidade dos resíduos, homogeneidade das variâncias e aditividade de blocos a 1% de probabilidade pelo software IBM SPSS Statistics versão 20.0 (MARÔCO, 2011).

Atendidas as pressuposições, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) e, quando houve diferenças significativas, as médias dos parâmetros qualitativos foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$) através do programa SISVAR[®] (FERREIRA, 2008). Para as médias dos

parâmetros quantitativos, realizou-se análise de regressão, com o auxílio do software estatístico Sigma Plot[®] versão 14 (SYSTAT SOFTWARE INC, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se pela análise de variância que houve interação significativa entre cultivares e doses de Zn, ao nível de 5% de probabilidade, para as seguintes características: altura da planta, índice SPAD, massa fresca total e produtividade média. Dessa forma, na Tabela 1, estão apresentados os desdobramentos das interações das cultivares dentro das doses de zinco para tais características.

TABELA 1. Desdobramento das interações significativas de quatro cultivares de alface crespa em função da aplicação de sulfato de zinco via foliar. Monte Carmelo-MG, UFU, 2018.

Cultivares	Doses de Zn (g ha ⁻¹)				
	0	400	800	1200	1600
Altura da planta (cm)					
Brida	15,76 b	18,14 b	19,46 a	17,73 ab	16,19 b
Isabela	17,58 a	18,90 ab	19,13 a	17,56 ab	15,88 b
Thaís	18,20 a	19,32 a	19,48 a	18,50 a	17,72 a
Vanda	16,34 b	19,27 a	19,58 a	17,38 b	16,02 b
DMS	0,98				
CV (%)	2,93				
Índice SPAD					
Brida	20,17 a	20,31 a	20,32 ab	21,15 a	22,00 a
Isabela	17,54 b	20,76 a	21,15 a	21,54 a	22,50 a
Thaís	15,21 c	15,77 c	15,98 c	16,32 c	18,42 b
Vanda	18,25 a	18,77 b	19,17 b	19,52 b	19,67 b
DMS	1,49				
CV (%)	4,14				
Massa fresca total (kg planta ⁻¹)					
Brida	0,25 ab	0,26 a	0,23 b	0,21 ab	0,20 a
Isabela	0,22 b	0,24 a	0,24 ab	0,22 ab	0,21 a
Thaís	0,25 ab	0,27 a	0,28 a	0,19 b	0,17 a
Vanda	0,27 a	0,25 a	0,27 ab	0,24 a	0,21 a
DMS	0,04				
CV (%)	9,28				
Produtividade média (kg m ²)					
Brida	4,04 ab	4,13 a	3,81 b	3,35 ab	3,20 a
Isabela	3,54 b	3,88 a	3,90 ab	3,59 ab	3,41 a
Thaís	4,08 ab	4,38 a	4,48 a	3,01 b	2,80 a
Vanda	4,27 a	4,03 a	4,29 ab	3,89 a	3,43 a

...Continua...

TABELA 1. Continuação.

DMS	0,66
CV (%)	9,28

DMS = Diferença mínima significativa; CV (%) = Coeficiente de variação.

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

Observou-se que a altura de planta variou de 15,76 cm (cultivar Brida na dose de 0 g ha⁻¹) a 19,58 cm (cultivar Vanda na dose de 800 g ha⁻¹). De uma maneira geral, os maiores valores foram obtidos para a cultivar Thaís, exceto na dose de 800 g ha⁻¹, na qual a mesma não se diferenciou das demais.

Os gráficos de regressão se ajustaram à equação polinomial quadrática para todas as cultivares de alface crespa (Figura 2). Os maiores valores de altura de plantas foram obtidos nas doses de 812,42 g ha⁻¹ (19,02 cm); 631,82 g ha⁻¹ (19,03 cm); 702,79 g ha⁻¹ (19,38 cm) e 737,22 g ha⁻¹ (19,33 cm), respectivamente para as cultivares Brida, Isabela, Thaís e Vanda. Contudo, os maiores valores encontrados não estão distantes dos menores, independentemente da cultivar avaliada (Figura 2).

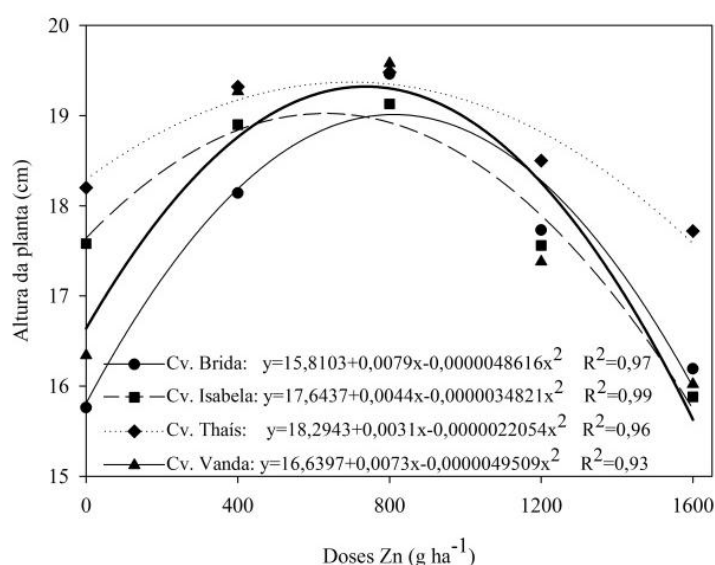


FIGURA 2. Altura de planta (cm) das quatro cultivares de alface crespa em função das doses de sulfato de zinco. Monte Carmelo-MG, UFU, 2018.

Foi possível verificar que houve acréscimo de 20,30%, 7,88%, 5,96% e 16,16% da menor para a dose que proporcionou maiores alturas de planta, respectivamente, para as cultivares Brida, Isabela, Thaís e Vanda (Figura 2). Isso comprova que o zinco pode auxiliar tanto na produção quanto na biofortificação,

já que é um componente de hormônios de crescimento, como as auxinas, que estão diretamente ligadas ao desenvolvimento da planta.

Estes dados corroboram com os dados obtidos por Reyes (2017), que ao aplicar sulfato de zinco em dose única, via foliar em rúcula, com intuito de biofortificação, apesar de observar efeitos fitotóxicos nas plantas entre as doses de 1 a 1,5 kg ha⁻¹, não obteve queda de produtividade.

Os valores encontrados no atual experimento são próximos aos valores encontrados por outros autores (SILVEIRA et al., 2015; VARGAS et al. 2017), sendo, dessa forma, consideradas plantas com alturas aceitáveis pelo mercado consumidor, ou seja, plantas cujo ponto de colheita não foi ultrapassado e, conseqüentemente, que não estavam pendoadas.

Sobre o pendoamento da alface, nesta fase ocorrem alterações fisiológicas e metabólicas que conferem características indesejáveis ao consumo de suas folhas, como lignificação e amargor, devido a intensificação da produção de látex pela planta (FILGUEIRA, 2013).

Para o índice SPAD, que serve para indicar o teor de clorofila nas folhas, os valores variaram de 15,21 (cultivar Thaís quando não se aplicou zinco via folha) a 22,50 (cultivar Isabela quando aplicou-se 1600 g ha⁻¹ de Zn via folha) (Tabela 1).

Foi observado acréscimo constante nos valores do índice SPAD a cada aumento de 1g ha⁻¹ nas doses de zinco, independentemente da cultivar (Figura 3). Isso pode refletir em folhas de excelente qualidade, conforme constatado por Cassetari (2012), já que o teor de clorofila relaciona-se diretamente com a atividade fotossintética e com o estado nutricional das plantas.

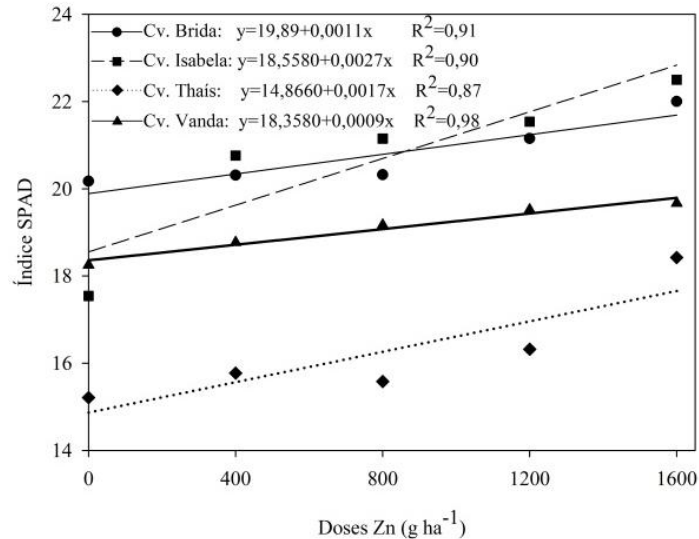


FIGURA 3. Índice SPAD das quatro cultivares de alface crespa em função das doses de sulfato de zinco. Monte Carmelo-MG, UFU, 2018.

A análise do teor de clorofila nas folhas é um método utilizado para monitorar o desenvolvimento vegetal, fornecendo informações sobre o estado fisiológico, teores de nitrogênio nas folhas e o potencial fotossintético das plantas (RICCARDI et al., 2014; YANG et al., 2015).

O nitrogênio apresenta funções como constituinte de aminoácidos, biossíntese de proteínas (CARDOSO et al., 2012) e, em contrapartida, o Zn participa de diversos processos, tais como, fotossíntese, respiração, sínteses de proteínas. Quando há deficiência de Zn na planta, há acúmulo de nitrato, devido à falta de indução na síntese de redutase de nitrato, ou menor produção desta enzima, por causa da falta de aminoácidos (MALAVOLTA, 2006), além de ser essencial na ativação de enzimas como a síntese do triptofano, enzima precursora do ácido indol acético (MASCARENHAS et al., 2014).

Alguns autores (KAYA; HIGGS, 2001; ROOSTA et al., 2017) relataram diminuição nos teores de clorofila, causada tanto pela deficiência quanto pela toxicidade por zinco (ANWAAR et al., 2015). No presente estudo, a resposta positiva para essa característica pode ser explicada pelo fato de que as maiores doses de zinco aplicadas não foram nem insuficientes nem fitotóxicas para a cultura, não interferindo negativamente no teor de clorofila e, refletindo, consequentemente, em aumento linear no índice SPAD.

As massas frescas variaram de 0,19 kg de alface (cultivar Thaís quando foi aplicada a dose de 1200 g ha⁻¹ de Zn) a 0,28 kg de alface (cultivar Thaís quando foi aplicada a dose de 800 g ha⁻¹ de Zn) (Tabela 1). Foi possível notar que, apesar de existir aumento de cerca de 50% entre a menor e maior massa fresca encontrada, tais diferenças podem existir, independentemente ou não do uso de tratamentos diferenciados (espaçamento, adubação, dentre outros), uma vez que diferentes cultivares apresentam potenciais genéticos distintos.

Sousa et al. (2018) encontrou valores superiores aos encontrados no atual experimento (350,3; 354; 370,3 g planta⁻¹ de massa fresca, respectivamente, para as cultivares Isabela, Thaís e Vanda).

De acordo com Yuri et al. (2006), a maior massa fresca de alface americana, foi constatada quando foi aplicado 2,01 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco via foliar, diferindo do atual experimento, onde a maior massa fresca foi encontrada nas doses de 663,98; 425,90 e 277,78 g ha⁻¹ para Isabela, Thaís e Vanda, respectivamente. Para a cultivar Brida, houve decréscimo de 0,0375 g na massa fresca de alface a cada 1 g ha⁻¹ de zinco aplicado (Figura 4).

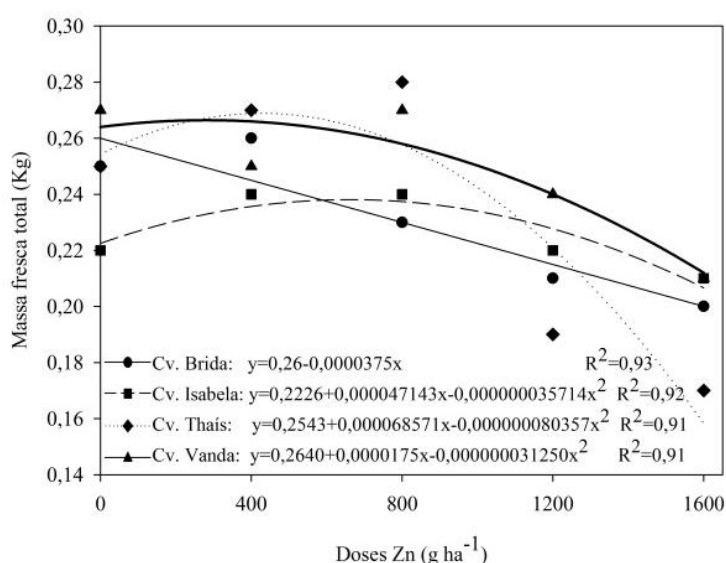


FIGURA 4. Massa fresca total (kg) de cultivares de alface crespa em função das doses de sulfato de zinco. Monte Carmelo - MG, UFU, 2018.

Essa diferença pode ter ocorrido pelo fato do solo da área, na qual o atual experimento foi implantado, estar com alto teor de Zn, comparativamente ao solo do local onde foi implantado o experimento de Yuri et al. (2006), que apresentava teor de Zn considerado baixo (1,2 mg dm⁻³ de Zn). Apesar do solo

do atual experimento estar com alto teor de Zn, houve resposta positiva para massa fresca total das plantas frente à aplicação do micronutriente.

Sago et al. (2018) observaram reduções drásticas nos valores de massa fresca da alface com o aumento dos teores de zinco de 0,15 até 0,45 mM na solução nutritiva.

Os distintos resultados encontrados quanto à massa fresca podem ser justificados pela diferença genética entre as cultivares de alface crespa, o que pode levar a distinções nas características morfológicas e produtivas, mesmo sob condições climáticas semelhantes; pela diferença de fontes de fertilizantes minerais utilizados, que podem facilitar ou não a absorção pela cutícula da folha; e ainda, pela forma de parcelamento da aplicação do nutriente, já que uma única aplicação de Zn via foliar aos 14 dias após o transplante podem ocasionar melhor aproveitamento do nutriente pela planta, conforme observado por Yuri et al. (2006).

Para a característica de produtividade média estimada, houve diferença entre as cultivares nas doses de 0, 800 e 1200 g ha⁻¹ de Zn (Tabela 1).

Para todas as cultivares, em função das doses utilizadas, houve ajuste do modelo polinomial quadrático. As cultivares Brida, Isabela, Thaís e Vanda obtiveram maiores produtividades nas doses de 397,11; 694,44; 389,27 e 305,50 g ha⁻¹, respectivamente (Figura 5).

Após atingir as doses máximas, foi possível observar pequenos decréscimos de produtividade com o aumento das doses de Zn via foliar, independentemente da cultivar. Para a cultivar Vanda, a produtividade média neste experimento variou de 42,9 t ha⁻¹ a 34,3; já no experimento de Resende et al. (2018), a máxima produtividade obtida para a mesma cultivar foi de 49,3 t ha⁻¹. Apesar da diferença de produtividade em ambos experimentos, esta não é significativa (14,9% entre a maior produtividade do atual experimento e a produtividade encontrada pelo autor em questão), já que o objetivo principal, a biofortificação e, conseqüentemente, a disponibilidade do nutriente por meio de um alimento de baixo custo e de fácil aquisição para toda a população, foi atingido.

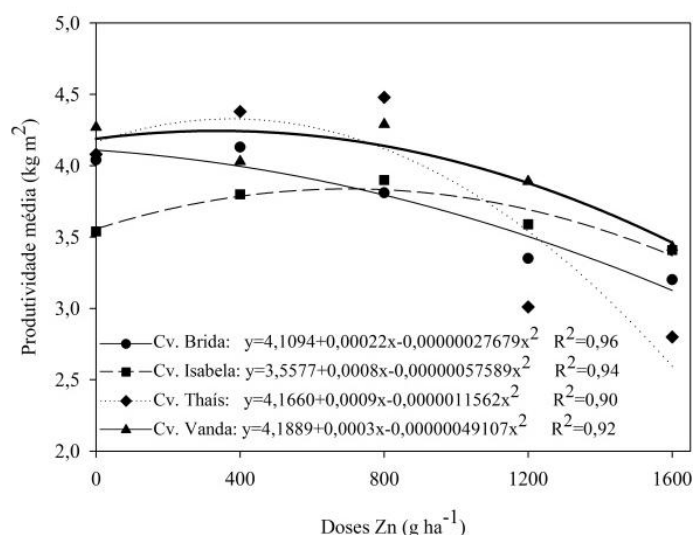


FIGURA 5. Produtividade média (kg m²) das cultivares de alface crespa em função de doses de sulfato de zinco. Monte Carmelo-MG, UFU, 2018.

Para as características de diâmetro da cabeça, diâmetro do caule, número de folhas por planta e teor foliar de zinco, não houve interação significativa entre os fatores avaliados. Dessa forma, para tais características, as cultivares e as doses de Zn foram avaliadas separadamente (Tabela 2).

TABELA 2. Médias do diâmetro da cabeça (cm), diâmetro do caule (mm), número de folhas planta⁻¹ e teor foliar de zinco de quatro cultivares de alface crespa em função de diferentes doses de sulfato de zinco. Monte Carmelo-MG, UFU, 2018.

Cultivares	Diâmetro da cabeça (cm)	Diâmetro do caule (mm)	Número de folhas	Teor foliar de zinco (mg kg ⁻¹)
Brida	27,90 a	21,28 b	15,54 b	177,95 b
Isabela	28,43 a	20,01 b	14,24 c	179,95 b
Thaís	28,43 a	20,46 b	12,31 d	213,66 a
Vanda	28,01 a	24,15 a	16,32 a	141,65 c
DMS	0,61	1,70	0,51	14,62
CV (%)	2,58	9,46	4,18	9,80

DMS = Diferença mínima significativa; CV (%) = Coeficiente de variação.

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

Os valores referentes ao diâmetro da cabeça foram de 27,90 a 28,43 cm, não diferindo estatisticamente entre as cultivares de acordo com o teste Tukey (Tabela 2).

Pelo fato de o diâmetro da cabeça ser uma característica muito relevante por parte dos consumidores no momento da aquisição da alface, a aplicação de Zn via foliar pode ser uma alternativa promissora para produtores, uma vez que não interfere nas características produtivas, além de trazer benefícios à população por ser importante para a síntese e reparação de DNA, RNA e proteínas, além de influenciar em processos bioquímicos e fisiológicos relacionados ao crescimento, divisão, diferenciação celular, desenvolvimento e envelhecimento (FUKADA et al., 2011).

Os valores para tal característica, em função das diferentes doses de zinco via foliar, ajustaram-se à equação polinomial de segundo grau, sendo que o maior diâmetro de cabeça (29,56 cm) foi encontrado quando se aplicou a dose de 706,76 g ha⁻¹ Zn (Figura 6).

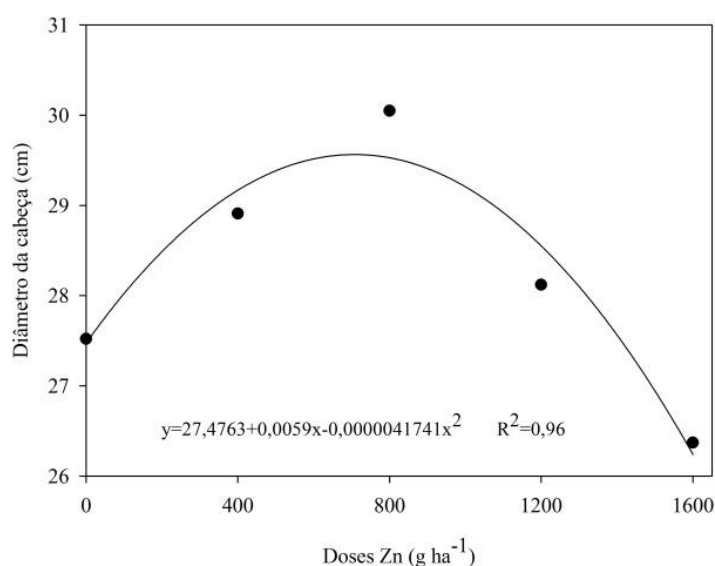


FIGURA 6. Diâmetro da cabeça (cm) das cultivares de alface crespa em função de doses de sulfato de zinco. Monte Carmelo-MG, UFU, 2018.

Pelo fato do acondicionamento das hortaliças folhosas, para posterior transporte, ser feito em caixas plásticas ou de madeira, características como diâmetro da cabeça e altura de planta são de grande importância (SALA; COSTA, 2012). Entretanto, apesar da busca incessante por parte dos produtores por plantas com maiores dimensões, isso nem sempre é benéfico, uma vez que as maiores plantas são as mais danificadas nos processos de acondicionamento e

transporte, reduzindo, assim, a qualidade comercial do produto final (SUINAGA et al., 2013).

Tais resultados também evidenciam que diferenças observadas quanto às características agronômicas, apesar de serem inerentes a cada cultivar, também podem ser influenciadas pelo ambiente de cultivo, uma vez que estes fatores podem ser responsáveis pelas mudanças fisiológicas e morfológicas das plantas (SUINAGA et al., 2013).

Com relação ao diâmetro do caule, foi possível verificar que a cultivar Vanda diferiu das demais, com média de 24,15 mm (Tabela 2). Os valores para tal característica, em função das diferentes doses de zinco via folha, independentemente da cultivar avaliada, ajustaram-se à equação polinomial de segundo grau, sendo que a dose de 577,41 g ha⁻¹ proporcionou o maior diâmetro de caule, com 22,98 mm (Figura 7).

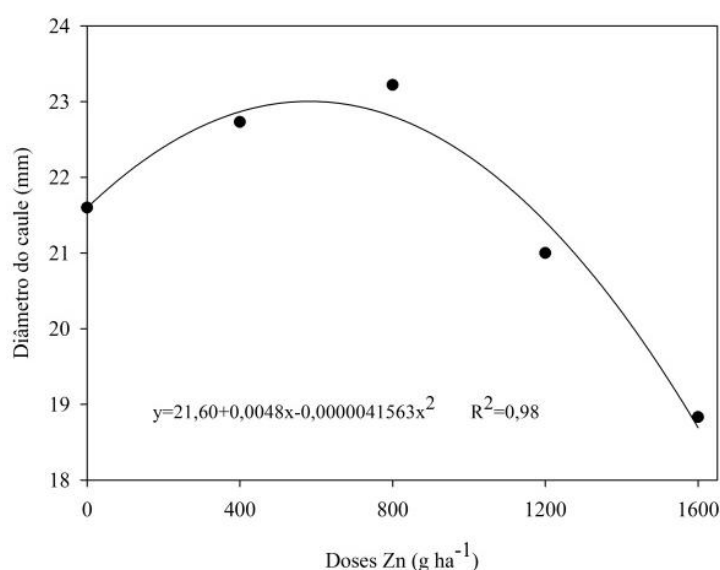


FIGURA 7. Diâmetro do caule (mm) das cultivares de alface crespa em função de doses de sulfato de zinco. Monte Carmelo-MG, UFU, 2018.

O número de folhas é uma característica avaliada de extrema relevância, devido ao fato de que as folhas constituem a parte comercial da alface (FILGUEIRA, 2008) e, a atenção do consumidor no momento da compra, está voltada para a aparência, volume e, indiretamente, para o número de folhas. Além disso, o número de folhas contido em cada planta pode indicar a adaptação do material genético ao ambiente (DIAMANTE et al., 2013), principalmente à

temperatura, ao fotoperíodo (OLIVEIRA et al., 2004) e ao manejo empregado na cultura.

Ainda sobre o número de folhas, no atual experimento, o mesmo variou de 12,31 a 16,32 folhas planta⁻¹, sendo que a cultivar Vanda diferiu estatisticamente das demais, com número superior de folhas (Tabela 2).

A dose de 545,85 g ha⁻¹ Zn refletiu em maior número de folhas (15,45 folhas planta⁻¹), independentemente da cultivar. A partir desta dose, houve decréscimo no número de folhas com o aumento da dose aplicada (Figura 8).

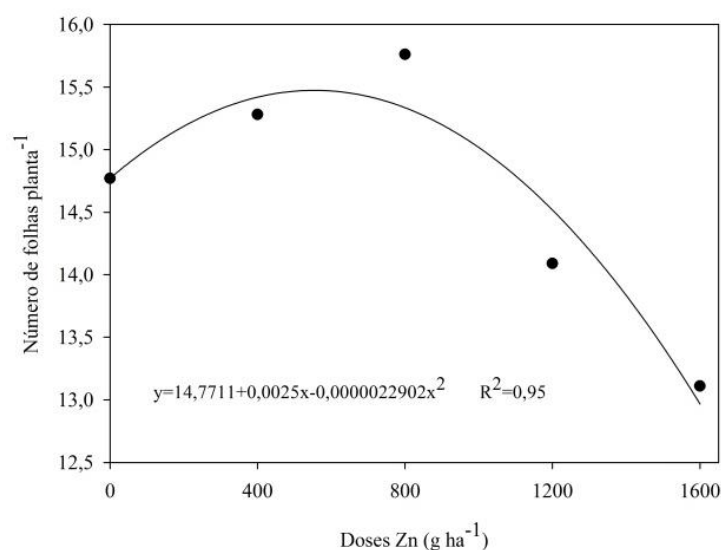


FIGURA 8. Número de folhas planta⁻¹ das cultivares de alface crespa em função de doses de sulfato de zinco. Monte Carmelo-MG, UFU, 2018.

O manejo diferenciado utilizado no atual experimento, (aplicação de zinco via foliar), pode ter ocasionado redução do número de folhas, comparativamente ao número de folhas encontrados em outros trabalhos (NESPOLI, et al. 2017; QUEIROZ et al. 2014), porém, pode ter ocorrido expansão da área foliar e, conseqüentemente, aumento do peso das plantas. Apesar do tamanho destas influenciarem na escolha do mercado consumidor, a busca por um estilo de vida mais saudável faz cada vez mais parte da rotina dos brasileiros. De acordo com a Euromonitor Internacional (2017), o mercado de alimentos e bebidas saudáveis no Brasil cresceu, nos últimos cinco anos, em média 12,3% ao ano.

A expressão “alimentação saudável” se refere basicamente à ingestão equilibrada e variada dos grupos de nutrientes essenciais ao bom funcionamento

do organismo humano, como ferro, potássio, zinco, cálcio, dentro outros, o que pode ser conseguido por meio da ingestão das alfaces biofortificadas.

Já que cerca de um terço da população mundial vive em países considerados de alto risco em relação à carência de Zn e, um quinto da população mundial pode não estar consumindo zinco em quantidades suficientes (WELCH; GRAHAM, 2004; HOTZ; BROWN, 2004), a oferta de um alimento de baixo custo, de fácil aquisição e com alto teor de determinados nutrientes pode ser uma excelente opção.

A deficiência de zinco, como anteriormente mencionado, é considerada um problema nutricional mundial, pois afeta igualmente grupos populacionais em países desenvolvidos e em desenvolvimento. Estudos em países latino-americanos e nos EUA mostraram que a ingestão média de zinco varia entre 50% e 80% da recomendação, independentemente da idade, gênero e raça (CESAR et al., 2005).

Diante disso, alguns fatores podem ter contribuído para os resultados nas características produtivas da cultura, no presente trabalho, dentre eles, o elevado teor de zinco presente no solo ($4,7 \text{ mg dm}^{-3}$). Segundo Ribeiro et al. (1999), são considerados solos com elevados teores de zinco aqueles que apresentam valores acima de $2,2 \text{ mg}$ de zinco por dm^3 de solo. Assim sendo, o solo cujo experimento foi implantado apresentava cerca de 105% a mais de zinco do que o nível crítico, o que pode ter influenciado no desenvolvimento de algumas cultivares de alface, já que o zinco é um micronutriente relacionado ao metabolismo do nitrogênio, além de componente de hormônios de crescimento, como auxinas, que estão diretamente ligados ao desenvolvimento da planta.

Contudo a resposta à aplicação foliar de zinco depende não somente do teor presente no solo, mas também de processos de penetração do elemento através da cutícula, da absorção pelas células foliares e do transporte via floema para drenos preferenciais, sendo, portanto, afetada por condições ambientais, características das folhas, natureza e forma química do elemento, e estado iônico interno da planta (PEARSON; RENGEL, 1995).

Para o teor foliar de Zn, a cultivar Thaís apresentou o maior teor do micronutriente na folha ($231,66 \text{ mg kg}^{-1}$), diferindo das outras cultivares, com 61,14% a mais de Zn do que a cultivar Vanda (Tabela 2).

Pode-se observar, de acordo com o gráfico de análise de regressão, que as doses de zinco, para teor foliar de Zn, se ajustaram ao modelo linear crescente para todas as cultivares, sendo que para cada 1 grama de zinco aplicado via folha, houve acréscimo de $0,0495 \text{ mg kg}^{-1}$ no teor foliar de zinco das cultivares de alface (Figura 9). Da mesma forma, Sago et al. (2018) observaram que o teor foliar de zinco na alface eleva-se gradualmente à medida que aumentam-se as concentrações de zinco na solução nutritiva.

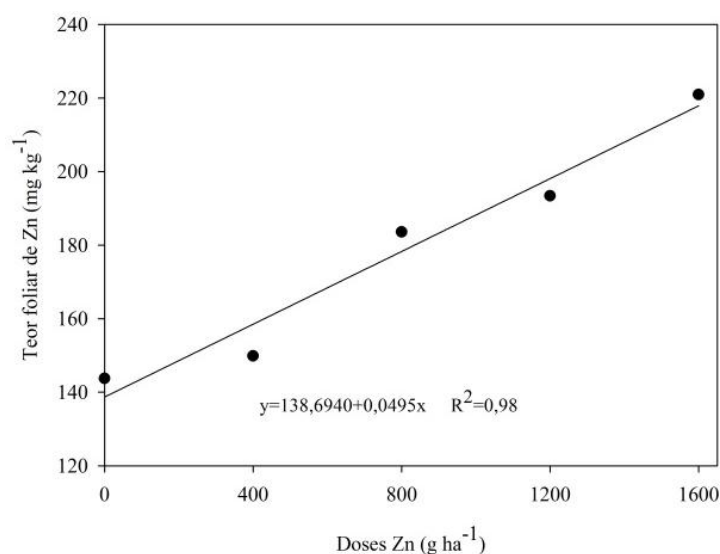


FIGURA 9. Teor foliar de zinco (mg kg^{-1}) das cultivares de alface crespa em função de doses de sulfato de zinco. Monte Carmelo - MG, UFU, 2018.

Seema et al. (2017), em trabalho realizado com espinafre, também observaram que o teor foliar de Zn aumentou à medida que houve aumento do teor de zinco aplicado no solo.

De acordo com Reyes (2017), a fertilização foliar com até $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de sulfato de zinco, mesmo quando aplicado em solos com alto teor do micronutriente, não afeta os parâmetros fisiológicos e biomassa da rúcula 'Folha larga'.

Segundo Bosiacki e Tyksiński (2009), as hortaliças folhosas possuem grande potencial quanto à absorção do Zn do solo e transferência para os órgãos comestíveis, comparativamente às hortaliças flores, frutos, raízes e tubérculos.

De acordo com Who (2006), o limite de ingestão diária tolerável de Zn para uma pessoa adulta é de 21-70 mg, não podendo ultrapassar este limite devido à toxicidade do micronutriente. A ingestão diária indicada nos EUA

segundo o Instituto de Metais Não Ferrosos (2018) é de 12 e 15 mg dia⁻¹, respectivamente, para mulheres e homens, sendo que grávidas e lactantes necessitam de 19 mg dia⁻¹. Dessa forma, levando em consideração as quantidades de zinco encontradas nas cultivares avaliadas no atual experimento e como a alface crespa já participa da composição das refeições diárias brasileiras, na forma de saladas, tal hortaliça contribuiria com parte das necessidades nutricionais requeridas diariamente pelos seres humanos.

Para que haja o suprimento do requerimento diário do nutriente pelo corpo humano (média de 15 mg dia⁻¹ em homens adultos), o consumo necessário de alface das cultivares Brida, Isabela, Thaís e Vanda seria de, respectivamente, 84,29; 83,36; 70,20 e 105,90 g dia⁻¹.

Se a escolha da melhor cultivar for feita levando-se em consideração apenas os resultados do teor de zinco foliar, pode-se dizer que todas as cultivares atingiram teores que as tornaram biofortificadas, pois o teor de zinco está dentro do limite que pode ser consumido pelas pessoas sem prejuízos à saúde, além de estar entre os valores de referência de tecido vegetal de alface (entre 25-250 mg kg⁻¹) (RIBEIRO et al., 1999). Porém, deve-se atentar aos resultados dos caracteres agrônômicos, para que não tenha prejuízos produtivos.

A adubação com zinco adequada é um importante fator para a cultura da alface, principalmente na dose de 80 µmol L⁻¹ de Zn, porque pode resultar em aumento na concentração de Zn, redução nos níveis de NO₃ e aumento da concentração de aminoácidos essenciais, com todos eles consituindo propriedades benéficas para a alimentação humana (BARRAMEDA-MEDINA et al., 2016).

De acordo com a USDA (2019), o teor de Zn foliar na alface é de 1,8 mg kg⁻¹, o que equivale a 90 mg kg⁻¹ de peso seco. Tal valor comparado aos teores foliares de zinco encontrados nas cultivares de alface crespa analisadas é muito menor.

O Zn é encontrado em vários alimentos, dentre eles, na carne bovina, em ostras, amêndoas, castanha do Pará, fígado, moluscos, ovos, farinha de soja (TACO, 2011). Porém, estas fontes de Zn podem não ser acessíveis para pessoas de baixa renda. Dessa maneira, a biofortificação de hortaliças folhosas como a alface crespa é uma boa alternativa para suprimento da carência nutricional.

5. CONCLUSÕES

Todas as cultivares de alface avaliadas podem ser consideradas biofortificadas, porém, a cultivar Thaís destaca-se, por apresentar alto teor de zinco foliar além de resultados satisfatórios para a maioria das características agronômicas avaliadas.

As doses de 300 a 706 g ha⁻¹ de zinco via foliar podem ser utilizadas para serem aplicadas na cultura da alface, por proporcionarem plantas biofortificadas, sem afetar a grande maioria das características produtivas da cultura.

Apesar do zinco aplicado via foliar ter sido benéfico à cultura da alface, com intuito de biofortificação, maiores estudos devem ser realizados, principalmente, em solos com teores considerados baixos do nutriente, a fim de verificar seu efeito nas características nutricionais e produtivas.

REFERÊNCIAS

ABBAS, G.; KHAN, M. Q.; JAMIL, M.; TAHIR, M.; HUSSAIN, F. Nutrient uptake, growth and yield of wheat (*Triticum aestivum*) as affected by zinc application rates. **International Journal of Agricultural & Biology**, Islamabad, v. 11, n. 4, p. 389-396, 2009.

ABDOU, A. S.; AL-DARWISH, F.H.; SALEH ME, EL-TARABILY KA, AZIRUN, S.; RAHMAN, M.M. Efeitos do enxofre elementar, fósforo, micronutrientes e *Paracoccus versutus* na disponibilidade de nutrientes de solos calcários. **Australian Journal of Crop Science**, Austrália v. 5, n. 5, p. 554-561, 2011.

ALAM, M. N.; ABEDIN, M. J.; AZAD, M. A. K. Efeito de micronutrientes no crescimento e produtividade de cebola em ambiente de solo calcário. **International Research Journal of Plant Science**, v. 1, n. 3, p. 56-61, 2010.

ALLOWAY, B. J. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Publ. of International Zinc Association. 2. ed., 2008, publicado em: IZA and IFA Brussels, França. Disponível em: https://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2008_IZA_IFA_ZincInSoils.pdf. Acesso em: 10 de Maio 2018.

ALMENDROS, P.; OBRADOR, A.; GONZALES, D.; ALVAREZ, J. M. Biofortification of zinc in onions (*Allium cepa* L.) and soil Zn status by the application of different organic Zn complexes. **Scientia Horticulturae**, v. 186, p. 254-265, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.023>

ANWAAR, S. A.; ALI, S.; ISHAQUE, W.; FARID, M.; FAROOQ, M. A.; NAJEEB, U.; ABBAS, F.; SHARIF, M. Silicon (Si) alleviates cotton (*Gossypium hirsutum* L.) from zinc (Zn) toxicity stress by limiting Zn uptake and oxidative damage. **Environmental Science and Pollution Research**, Landsberg, v. 22, n. 5, p. 3441-3450, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3938-9>

BARRAMEDA-MEDINA, Y.; LENTINI, M.; ESPOSITO, S.; RUIZ, J. M.; BLASCO, B. Zn-biofortification enhanced nitrogen metabolism and photorespiration process in green leafy vegetable *Lactuca sativa* L. **Journal Science Food Agriculture**, v. 97, p. 1828-1836, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7983>

BEINNER, M.A.; MENEZES, M. A. B. C.; SILVA, J. B. B.; AMORIM, F. R.; JANSEN, A. K.; LAMOUNIER, J. A. Plasma zinc and hair zinc levels, anthropometric status and food intake of children in a rural area of Brazil. **Revista Nutrition**, v. 23, n. 1, p. 75-83, jan./fev. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-52732010000100009>

BOSIACKI, M.; TYKSIŃSKI, W. Copper, zinc, iron and manganese content in edible parts of some fresh vegetables sold on markets in Poznań. **Journal of Elementology**, v.14, n.1, p.13-22, 2009.

BRENNAN, R. F. **Zinc Application and Its Availability to Plants**. 2005. (Pós Doutorado-School of Environmental Science, Division of Science and Engineering), Murdoch University, 2005.

BROADLEY, M. R.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Function of nutrients: micronutrients. In: Marschner, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3 th ed. Londres: Academic Press, p. 191-248, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00007-8>

BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P.; ZELKO, I.; LUX, A. Zinc in plants. **New Phytology**, v. 173, p. 677-70, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01996.x>

BROWN, P. H.; I. CAKMAK, Q.; ZHANG. Form and function of zinc in plants. Chap. 7, In A.D. Robson (Ed). Zinc in Soils and Plants, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 90-106, 1993. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-011-0878-2_7

CAKMAK, I. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2009.05.002>

_____. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification. **Plant and Soil**, Oklahoma, v. 302, n. 1, p. 1-17, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3>

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Increase in membrane permeability and exudation in roots of zinc deficient plants. **Journal of Plant Physiology**, Muenchen, v. 132, n. 3, p. 356-361, 1988. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(88\)80120-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(88)80120-2)

CAKMAK, I.; KALAYCI, M.; KAYA, Y.; TORUN, A. A.; AYDIN, N.; WANG, Y.; ARISOY, Z.; ERDEM, H.; YAZICI, A.; GOKMEN, O.; OZTURK, L.; W. J. HORST, W. J. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v. 58, p. 9092 - 9102, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf101197h>

CAMBRAIA, T. L. L. **Biofortificação agrônômica do feijão pelo manejo da adubação com Zn**. 2015. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

CAMBROLLÉ, J.; MANCILLA-LEYTÓN, J.; MUÑOZ-VALLÉS, S.; LUQUE, T.; FIGUEROA, M. Zinc tolerance and accumulation in the salt-marsh shrub *Halimione portulacoides*. **Chemosphere**, Oxford, v. 86, n. 9, p. 867-874, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.10.039>

CARDOSO, E. D.; HAGA, K. I.; BINOTTI, F. F. da S.; FILHO, W. V. V.; NOGUEIRA, D. C. Doses de zinco e nitrogênio na produtividade e qualidade de grãos de ervilha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 3, p. 263-271, jul./set. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000300005>

CARVALHO, C.; KIST, B. B.; TREICHEL, M. **Anuário Brasileiro das hortaliças**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2016. 64 p.

CARVALHO, S. M.; VASCONCELOS, M.W. Producing more with less: strategies and novel technologies for plant-based food biofortification. **Food Research International**, Burlington, v. 53, n. 1, p. 961-971, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.12.021>

CARVALHO, M. C. S. Embrapa Algodão. Campina Grande, PB, Out. 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/277196/1/CIRTEC110.pdf> f. Acesso em: 13 de dez. 2018.

CASSETARI, L. de S. **Teores de clorofila e β -caroteno em cultivares e linhagens de alface**. 2012. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Programa de Pós Graduação em Agronomia/Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

CESAR, T. B.; WADA, S. R.; BORGES, R. G. Zinco plasmático e estado nutricional em idosos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 357-365, maio/jun. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-52732005000300008>

CHAIGNON, V.; HINSINGER, P. A. A biotest for evaluating copper bioavailability to plants in a contaminated soil. **Journal of Environmental Quality**, v. 32, p. 824-833, 2003. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2003.8240>

CHESWORTH, W. Geochemistry of micronutrients. *In*: MORTVEDT, J. J. Micronutrients in Agriculture. 2. ed. Madison: Soil Science Society American, 1991.

CORGUINHA, A. P. B.; CARVALHO, C. A.; SOUZA, G. A.; VIEIRA, E. A. Zinc biofortification of cassava through agronomic management in Brazil. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, Amsterdam, v. 27, p. 48, Nov. 2013. Suplemento.

DALASTRA, M. G.; HACHMANN, T. L.; ECHER, M. M.; GUIMARÃES, V. F.; FIAMETTI, M. S. Características produtivas de cultivares de alface mimosa, conduzida sob diferentes níveis de sombreamento, no inverno. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 15, n. 1, p. 15-19, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v15n1p15-19>

DIAMANTE, M. S.; JÚNIOR, S. S.; INAGAKI, A. M.; SILVA, M. B. da; DALLACORT, R. Produção e resistência ao pendoamento de alfaces tipo lisa cultivadas sob diferentes ambientes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n.1, p. 133-140, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000100017>

DOMENE, S. M. A.; PEREIRA, T. C.; ARRIVILLAGA, R. K. de. Estimativa da disponibilidade de zinco em refeições com preparações padronizadas da alimentação escolar do município de Campinas. **Revista de Nutrição**, v. 21, n. 2, p. 161-167, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-52732008000200004>

EHSAN, S.; ALI, S.; NOUREEN, S.; FARID, M.; SHAKOOR, M. B.; ASLAM, A.; BHARWANA, S. A.; TAUQEER, H. M. Comparative assessment of different heavy metals in urban soil and vegetables irrigated with sewage/industrial waste water. **Ecoterra**, Kolozvár, v. 35, n. 1, p. 37-53, 2013.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed., Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

EUROMONITOR INTERNATIONAL, 2017. Disponível em: <https://www.euromonitor.com/brazil>. Acesso em: 15 abr. 2019.

FAGERIA, N. K. **The Use of Nutrients in Crop Plants**. Boca Raton, FL: CRC

Press. 2009. p. 105.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: FAEPE, 1994. 227 p.

FERNÁNDEZ-CALVIÑO, D.; POLO, A.; ARIAS-ESTÉVEZ, M.; SOLER-ROVIRA, P. Influence of humified organic matter on copper behavior in acid polluted soils. *Environmental Pollution*, v. 158, p. 3634-3641, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.08.005>

FERREIRA, D. F. Sisvar: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, v. 6, n. 1, p. 36-41, 2008.

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura: cultura e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2008, 421p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa. MG: UFV, 2013, 421 p.

FUKADA, T.; YAMASAKI, S.; NISHIDA, K.; MURAKAMI, M.; HIRANO, T. Zinc homeostasis and signalling in health and diseases. *Journal of Biological Inorganic Chemistry*, v. 16, p. 1123-1134, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00775-011-0797-4>

FURLANI, A. M. Nutrição Mineral. *In*: KERBAUY, G. B. Fisiologia Vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 40-75, 2004.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M.; BOUIS, H. E. Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: principles, perspectives and knowledge gaps. *Advances in Agronomy*, v. 70, p. 77-142, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(01\)70004-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(01)70004-1)

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M.; SAUNDERS, D. A.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; BOUIS, H. E.; BONIERBALE, M.; DE HAAN, S.; BURGOS, G.; THIELE, G.; LIRIA, R.; MEISNER, C. A.; BEEBER, S. E.; POTTS, M. J.; KADIAN, M.; HOBBS, P. R.; GUPTA, R. K.; TWOMLOW, S. Nutritious subsistence food systems. *Advances in Agronomy*, Newark, v. 92, p. 1-74, 2007. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(04\)92001-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)92001-9)

GREWAL, H. S.; ZHONGGU, L.; GRAHAN, R.D. Influence of subsoil zinc on dry matter production, seed yield and distribution of zinc in oilseed rape genotypes differing in zinc efficiency. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 192, n. 2, p. 181-189, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1004228610138>

HAMBIDGE, K. M.; MILLER L.V.; WESTCOTT, J. E.; KREBS, N. F. Dietary reference intakes for zinc may require adjustment for phytate intake based upon model predictions. *Journal of Nutrition*, v. 138, p. 2363-2366, 2008. DOI:

<https://doi.org/10.3945/jn.108.093823>

HARVEST PLUS - What we do nutrition. 2018. Disponível em:
<https://www.harvestplus.org/what-we-do/nutrition>. Acesso em: 20 nov. 2018.

HOJYO, S.; MIYAI, T.; FUJISHIRO, H.; KAWAMURA, M.; YASUDA, T.; HIJIKATA, A.; BIN, B.H.; IRIÉ, T.; TANAKA, J.; ATSUMI, T.; MURAKAMI, M.; NAKAYAMA, M.; OHARA, O.; HIMENO, S.; YOSHIDA, H.; KOSEKI, H.; IKAWA, T.; MISHIMA, K.; FUKADA, T. Zinc transporter SLC39A10/ZIP10 controls humoral immunity by modulating B cell receptor signal strength. **Proceedings of the National Academy of Science**, v. 111, p. 11786-11791, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1323557111>

HOTZ, C.; BROWN, K. H. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. **Food and Nutrition**, Tokyo, v. 25, n. 1, p.91-204, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1177/15648265040251S205>

HUSSAIN, S., MIYAI, T.; FUJISHIRO, H.; KAWAMURA, M.; YASUDA, T.; HIJIKATA, A.; BIN, B.; IRIÉ, T.; TANAKA, J.; ATSUMI, T.; MURAKAMI, M.; NAKAYAMA, M.; OHARA, O.; HIMENO, S.; YOSHIDA, H.; KOSEKI, H.; IKAWA, T.; MISHIMA, K.; FUKADA, T. Biofortification and estimated human bioavailability of zinc in wheat grains as influenced by methods of zinc application. **Plant and Soil**, Crawley, v. 361, p. 279-290, 2012.

INSTITUTO DE METAIS NÃO FERROSOS. **O Zinco e a saúde**. Disponível em: <http://www.icz.org.br/zinco-saude.php>. Acesso em: 23 dez. 2018.

INTERNATIONAL ZINC NUTRITION CONSULTATIVE GROUP.
Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. Hotz C and Brown KH, eds. Food Nutrition Bulletin, v. 25 (1 Suppl 2): S91-204, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1177/15648265040251S205>

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010, 505 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/b10158>

_____. **Trace elements in soils and plants**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2011. 548p. DOI: <https://doi.org/10.1201/b10158>

KAYA, C.; HIGGS, D. Inter-relationship between zinc nutrition, growth parameters, and nutrient physiology in a hydroponically grown tomato cultivar. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 24, n. 10, p. 1491-1503, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1081/PLN-100106016>

KUTMAN, U. B.; YILDIZ, B.; OZTURK, L.; CAKMAK, I. Biofortification of Durum Wheat with Zinc Through Soil and Foliar Applications of Nitrogen. **Cereal Chemistry**, v. 87, n. 1, p. 10-20, 2010. DOI:

<https://doi.org/10.1094/CCHEM-87-1-0001>

LOUREIRO, M. P.; CUNHA, L. R.; NASTARO, B. T.; PEREIRA, K. Y. dos S.; NEPOMOCENO, M. de L. Biofortificação de alimentos: problema ou solução? **Segurança Alimentar Nutrição**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 66-84, maio/ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.20396/san.v25i2.8652300>

MAFRA, D.; COZZOLINO, S. M. F. Importância do zinco na nutrição humana. **Revista Nutrição**, v. 17, n.1, p. 79-87, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-52732004000100009>

MALAVOLTA, E. Funções dos macro e micronutrientes. **In: MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. p. 126-162.

MANOS, M. G. L., WILKINSON, J. Mapeamento de Controvérsias Socio-técnicas: o Caso da Biofortificação de Alimentos Básicos no Brasil. **In: Atas do 5º Congresso Ibero-Americano em investigação qualitativa**, Porto: CIAIQ; 2016.

MAO, H.; WANG, J.; WANG, Z.; ZAN, Y.; LYONS, G.; ZOU, C. Using agronomic biofortification to boost zinc, selenium, and iodine concentrations of food crops grown on the loess plateau in China. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Santiago, v. 14, n. 2, p. 459-470, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-95162014005000036>

MARÔCO, J. **Análise estatística como SPSS statistics**. Report Number, análise e gestão da informação. 5. ed., 2011. 992p.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of hight plants**. 3. ed. Oxford-Inglatera: Elsevier, 2012. 643 p.

MASCARENHAS, H. A. A.; ESTEVES, J. A. S; WUTKE, E. B.; GALLO, P. B. Micronutrientes em soja no estado de São Paulo. **Nucleus**, v. 11, n. 1, p. 323-342, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3738/1982.2278.1102>

MOUSAVI, S. R. Zinc in crop production and interaction with phosphorus. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 5, p. 1503-1509, 2011.

NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH (US). Office of dietary supplements: Zinc, fact sheet for health professionals. Rockville: Department of Health & Human Services, 2016. Disponível em: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Zinc-HealthProfessional>. Acesso em: 15 mar. 2019.

NESPOLI, A.; SEABRA JÚNIOR, S.; DALLACORT, R.; PURQUERIO, L. F. V. Consórcio de alface e milho verde sobre cobertura viva e morta em plantio direto. **Horticultura Brasileira**, v. 35, p. 453-457, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-053620170323>

OLIVEIRA, A.C.B.; SEDIYAMA, M. A. N.; PEDROSA, M. W.; GARCIA, N. C. P.; GARCIA, S. L. R. Divergência genética e descarte de variáveis em alface cultivada sob sistema hidropônico. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, p. 211-217, 2004. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v26i2.1894>

PEARSON, J. N.; RENGEL, Z. Uptake and distribution of Zn and Mn in wheat grown at sufficient and deficient levels of ⁶⁵Zn and ⁵⁴Mn. I- During vegetative growth. **Journal of Experimental Botany**, v. 46, n. 288, p. 833-839, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/46.7.833>

PEDRAZA, D. F.; ROCHA, A. C. D.; QUEIROZ, E. O.; SOUSA, C. P. C. Estado nutricional relativo ao zinco de crianças que frequentam creches do estado da Paraíba. **Revista Nutrition**, v. 24, n. 4, p. 539-552, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-52732011000400003>

PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. Harvest Plus: breeding crops for better nutrition. **Crop Science**, Madison, v. 47, p. 88-105, 2007. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.09.0020IPBS>

PRASAD, A. S. Discovery of human zinc deficiency: its impact on human health and disease. **Advances in Nutrition**, v. 4, n. 2, p. 176-90, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3945/an.112.003210>

PROM-U-THAI, C.; RERKASEM, B.; CAKMAK, I.; HUANG, L. Zinc fortification of whole rice grain through parboiling process. **Food Chemistry**, London, v. 120, n. 3, p. 858-863, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.027>

QUEIROZ, J. P. S.; COSTA, A. J. M.; NEVES, L. G.; SEABRA JUNIOR, S.; BARELLI, M. A. A. Estabilidade fenotípica de alfases em diferentes épocas e ambientes de cultivo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 2, p. 276-283, abr-jun, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000200007>

RESENDE, G. M.; YURI, J. E.; COSTA, N. D. **Cultivares de alface crespa no Submédio do Vale do São Francisco**. Instruções técnicas da Embrapa Semiárido, ISSN 1809-0001, Petrolina, maio 2018. DOI: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2017.110201>

REYES, S. M. R. **Aplicação foliar de zinco na biofortificação de rúcula**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias), Universidade Estadual Paulista Filho, Jaboticabal, 2017.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa, 1999.

RICCARDI, M.; MELE, G.; PULVENTO, C.; LAVINI, A.; D'ANDRIA, R.; JACOBSEN, S. E. Non-destructive evaluation of chlorophyll content in quinoa and amaranth leaves by simple and multiple regression analysis of RGB image components. **Photosynth Res**, v. 120, n. 3, p. 263-272, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11120-014-9970-2>

ROOSTA, H. R.; ESTAJI, A.; NIKNAM, F. Effect of iron, zinc and manganese shortage induced change on photosynthetic pigments, some osmoregulators and chlorophyll fluorescence parameters in lettuce. **Photosynthetica**, Praga, v. 55, p. 1-10, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0696-1>

SAGO, Y.; WATANABE, N.; MINAMI, Y. Zinc biofortification of hydroponic baby leaf lettuce grown under artificial lighting with elevated wind speed and root zone temperature. **Journal of Agricultural Meteorology**, Japan, v. 74, n. 4, p. 173-177, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2480/agrmet.D-17-00048>

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Pira Roxa: cultivar de alface crespa de cor vermelha intensa. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p.158-159, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362005000100033>

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 187-194, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000200002>

SANTANA, C. V. S.; ALMEIDA, A. C.; TURCO, S. H. N. Produção de alface roxa em ambientes sombreados na região do submédio São Francisco-BA. **Revista Verde**, Mossoró, v.4, n.3, p. 1-6, 2009.

SEEMA, R. M.; SUNITA YADAV, S. S.; JATAV, R. N.; MEENA, S. K. Effect of zinc sulphate and organics on zinc content and yield on spinach grown in Inceptisol of Varanasi, India. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Kancheepuram, v. 6, n. 2, p. 473-479, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.602.053>

SHAHEEN, S. M.; TSADILAS, C. D.; RINKLEBE, J. Immobilization of soil copper using organic and inorganic amendments. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Santiago, v. 178, p. 112-117, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.201400400>

SILVEIRA, A. L.; NETO, A. P; OLIVEIRA, A. R. C.; SOUZA, L. N.; CHARLO, H. C. O. Doses de fósforo para a produção de alface americana com e sem aplicação foliar de zinco. **Biotemas**, Florianópolis, v. 28, n.1, p.31- 35, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2015v28n1p31>

SIQUEIRA, E. M. A.; MENDES, J. F. R.; ARRUDA, S. F. Biodisponibilidade de minerais em refeições vegetarianas e onívoras servidas em restaurante

universitário. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 20, n. 3, p. 229-237, maio/jun. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-52732007000300001>

SKOOG, F. Relationship between zinc and auxin in the growth of higher plants. **American Journal of Botany**, v. 27, p. 939- 951, 1940. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1940.tb13958.x>

SOUSA, T. P.; SOUZA NETO, E. P.; SILVEIRA, L. R. S.; SANTOS FILHO, E. F.; MARACAJÁ, P. B. Produção de alface (*Lactuca sativa* L.), em função de diferentes concentrações e tipos de biofertilizantes. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 4, p. 168-172, 2014.

SOUSA, V. S.; MOTA, J. H.; CARNEIRO, L. F.; YURI, J. E.; RESENDE, G. M. de. Desempenho de alfaces do grupo solta crespa cultivadas no verão em Jataí-GO. **Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v.27, n.3, p.288-296, 2018.

SOUZA, F. R. Genotypic variation of zinc and selenium concentration in grains of Brazilian wheat lines. **Plant Science**, Shannon, v. 224, p. 27-35, July 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.03.022>

SOUZA, G. A.; CARVALHO, J. G.; RUTZKE, M.; ALBRECHT, J. C.; GUILHERME, L. R.; LI, L. Evaluation of germplasm effect on Fe, Zn and Se content in wheat seedlings. **Plant Science**, Shannon, v. 210, p. 206-213, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.05.015>

STEIN, A. J. Global impacts of human mineral mal nutrition. **Plant and Soil**. Austrália, n. 335, p. 133-154, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0228-2>

SUINAGA, F. A., BOITEUX, L. S.; CABRAL, C. S.; RODRIGUES, C. S. **Desempenho produtivo de cultivares de alface crespa**, Brasília: Embrapa, 2013. 15p.

SYSTAT SOFTWARE INC-SSI. Sigma Plot for Windows, version 14. 2008. Disponível em: <https://sigmaplot.softonic.com.br/>. Acesso em: 05 nov. 2018.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS - TACO. 4. ed. Campinas: NEPA- UNICAMP, 2011.

TEWARI, R. K.; KUMAR, P.; SHARMA, P. N. Morphology and physiology of zinc-stressed mulberry plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Santiago, v. 171, n. 1, p. 286-294, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.200700222>

UPADHYAYA, R.; PANDA, S. K. Zinc reduces copper toxicity induced oxidative stress by promoting antioxidant defense in freshly grown aquatic duckweed *Spirodela polyrhiza* L. **Journal of Hazard Materials**, Amsterdam, v.

175, n. 3, p. 1081-1084, 2010. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.016>

USDA - United States Department of Agriculture. 2019. National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release. Disponível em:
<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/301895>. Acesso em: 01 abr. 2019.

VARGAS, P. F.; ZECCHINI, A. C.; SOARES, R. S.; DUARTE, L. DOS S.; SILVA, E. H. C. Performance of crispy lettuce cultivars in different soil covers. **Comunicata Scientiae**, v. 8, n. 4, p. 514-520, 2017. DOI:
<https://doi.org/10.14295/cs.v8i4.1942>

VERGÜTZ, L.; LUZ, J. M. R.; SILVA, M. C. S.; KASUYA, M. C. M. Biofortificação de alimentos: saúde ao alcance de todos. **Boletim Informativo da SBCS**, v. 42, n. 2, p. 20-23, 2016.

WELCH, R. M. Micronutrient nutrition of plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 14, p.48-87, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1080/713608066>

WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. Breeding crops for enhanced micronutrient content. **Plant and Soil**, Austrália, v. 245, p. 205-214, 2004.

WELCH, R. M.; NORVELL, W. A. Growth and nutrient uptake by barley (*Hordeum vulgare* L. cv. Herta): studies using the N-(2-Hydroxyethyl ethylenedinitrilotriacetic) acid-buffered nutrient solution technique: II. Role of zinc in the uptake and root leakage of mineral nutrients. **Plant Physiology**, Rockville, v. 101, n. 2, p. 627-631, 1993. DOI:
<https://doi.org/10.1104/pp.101.2.627>

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets-iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytologist**, v. 182, p. 49-84, 2009. DOI:
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02738.x>

WHITE, P. J.; BROWN, P. H. Plant nutrition for sustainable development and global health. **Annals of Botany**, Oxford, v. 105, n. 1, p. 1073-1080, 2010. DOI:
<https://doi.org/10.1093/aob/mcq085>

WORLD HEALTH ORGANIZATION, WHO. Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants (Sixty-fourth Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). WHO-TRS 930-JECFA 64/26, Geneva, 2006. Disponível em:
http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43258/WHO_TRS_930_eng.pdf;jsessionid=5AAB5A413E010B8830FC288B9C4EC521?sequence=1. Acesso em: 23 nov. 2018.

YANG, H.; YANG, J.; LV, Y.; HE, J. SPAD values and nitrogen nutrition index

for evaluation of rice nitrogen status. **Plant Production Science**, v. 17, n. 1, p. 81-92, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1626/pps.17.81>

YASUDA, H.; YOSHIDA, K.; YASUDA, Y.; TSUTSUI, T. Infantile zinc deficiency: Association with autism spectrum disorders. **Scientific Reports**, v. 1, n. 129, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep00129>

YUCEL, H.; SAHIN, S.; SAGLAM, N.; AYDIN, M.; CAKMAK, P.; GEBOLOGLU, N. Foliar applications of Ca, Zn and Urea on Crispy lettuce in Soilless Culture. **Soil-Water Journal**, Praga, v. 2, n. 2, p. 23-30, 2013.

YURI, J. E.; RESENDE, G. M.; MOTA, J. H.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G. Produção de alface americana, em função de doses e épocas de aplicação de zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 4, p. 665-669, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000400011>