

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

Avaliação de diferentes fontes de zinco na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill)

Gabriel Ramos Villela

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
curso de Engenharia Agrônoma para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Agrônoma

**Piracicaba
Julho de 2017**

Gabriel Ramos Villela
Graduando em Engenharia Agrônômica

**Avaliação de diferentes fontes de zinco na cultura da soja (*Glycine max* L.
Merril)**

Orientador:
Prof. Dr. **CASIMIRO DIAS GADANHA JUNIOR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso
de Engenharia Agrônômica para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Agrônômica

Piracicaba
Julho de 2017

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	11
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Importância da soja.....	13
1.2 Componentes de produtividade da soja.....	13
1.3 Importância do zinco.....	15
1.4 Fontes de zinco.....	17
1.5 Aplicações foliares	18
1.6 Objetivos	20
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS.....	35

RESUMO

Avaliação de diferentes fontes de zinco na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill)

Neste estudo foram determinados: (i) a resposta em produtividade (kg.ha^{-1}) massa de 100 grãos (g); (ii) confrontar os tratamentos com as diferentes fontes de Zn em relação ao controle; (iii) avaliar a fitotoxicidade resultante da aplicação via foliar de zinco entre as diferentes fontes de Zn. No experimento foram avaliadas cinco fontes foliares de zinco, sulfato, cloreto, quelato (EDTA), óxido e soluções concentradas. O ensaio foi conduzido no centro de pesquisa “Geraldo Schultz” em Iracemápolis-SP, em uma área onde fora anteriormente um pomar abandonado de citrus e semeado soja no sistema convencional. Não foram constatadas diferenças estatísticas em produtividade, com o uso das 5 diferentes fontes de zinco, na comparação de médias de produtividade (kg.ha^{-1}) e peso de 100 grãos (gramas), quando comparadas em relação ao tratamento controle. Entretanto, comparando as 5 diferentes fontes usadas no ensaio, a fonte com soluções concentradas, apresentou diferenças estatísticas em relação às demais fontes, com as maiores produtividades (kg.ha^{-1}). A fitotoxicidade revelou diferenças estatísticas entre as fontes, sendo que maiores fitotoxicidade foram observadas no tratamento (6), com a fonte soluções concentradas de zinco, nas 3 avaliações realizadas.

Palavras-chave: Fertilização foliar; Soja; *Glycine max*; Fitotoxicidade

ABSTRACT

Evaluation of different sources of zinc in soybean (*Glycine max* L. Merrill)

On this research were evaluated: (i) the yield response (Kg.ha^{-1}) mass of 100 grains (g) among the different sources of Zn; (ii) confront the control treatment with the 5 different sources; (ii) evaluated the phytotoxicity effects caused by the foliar application of Zn. The experimentation consisted in six treatments, containing a control treatment and five different sources of zinc: sulfate, chloride, chelate (EDTA), oxide, and concentrated solutions. The experimentation was placed at research center "Geraldo Schultz" in Iracemápolis, SP, in an area where had previously a citrus orchard and were left abandoned, it was seeded in a conventional system. Was not observed statistical difference in yield, confronting the control treatment with the five different sources. The statistics among the five different sources showed the best yield (kg. ha^{-1}) was found in the treatment 6 which was consisted of concentrated solution when compared with other sources. The phytotoxicity results, reveled consistent statistic differences, been the treatment (6) consisted with concentrated solutions of Zn delivering the poorest results in all three evaluations.

Keywords: Foliar application; Soybean; *Glycine max*; Phytotoxicity

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva de crescimento típica da cultura da soja, mostrando acúmulo total de matéria seca. Adaptado de (Carpenter e Board, 1997).	15
Figura 2 - Mapa de deficiência de zinco. Adaptado de (Carpenter e Board, 1997) ...	17
Figura 3 - Dados climáticos obtidos a partir da estação automática do "Centro de Pesquisa Geraldo Schultz" em Iracemápolis, SP	23
Figura 4 - Escala visual para notas de fitotoxicidade, adotadas no ensaio de pesquisa. Nesta escala, a nota 1 representa ausência de sintomas. Escala desenvolvida pelo departamento técnico da Produquímica.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos aplicados na cultura da soja (Glycine max L. Merrill) var. BMX Lança.....	24
Tabela 2 - Manejo fitossanitário, aplicado na cultura da soja (Glycine max L. Merrill) var. BMX Lança.....	25
Tabela 3 - Análises físicas e químicas do solo.....	29
Tabela 4 - Análises químicas do solo.....	29
Tabela 5 - Análises químicas de micronutrientes do solo.	29
Tabela 6 - Notas de fitotoxicidade em plantas de soja (Glycine max L. Merrill) var. BMX Lança., submetidas a aplicação foliar de diferentes fontes de Zn na fase vegetativa V8 da cultura. Iracemápolis, Jan/2017	30
Tabela 7 - Massa de 100 sementes, após a colheita da soja (Glycine max L. Merrill) var. BMX Lança, submetidas a aplicação foliar de diferentes fontes de Zn na fase vegetativa V8 da cultura. Iracemápolis, Jan/2017.	31
Tabela 8 - Produtividade em (kg.ha ⁻¹) após a colheita da soja (Glycine max L. Merrill) var. BMX Lança, submetidas a aplicação foliar de diferentes fontes de Zn na fase vegetativa V8 da cultura. Iracemápolis, Jan/2017	32

1 INTRODUÇÃO

1.1 Importância da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill), é uma planta de ciclo anual que pertence à família *Fabaceae*, de origem na Ásia Ocidental provavelmente em partes do Norte e central da China. Acredita-se que as primeiras variedades cultivadas tenham sido introduzidas primeiramente na Coreia e depois no Japão por volta de 2000 anos atrás. A cultura da soja se desenvolveu como uma importante fonte alimentar na China e outros países do leste e sudeste asiático por milhares de anos, e continua atualmente sendo importante componente na dieta de populações destas regiões, entretanto os Estados Unidos e o Brasil figuram hoje como os maiores produtores de soja no mundo (Bonato e Bonato, 1987).

A introdução desta cultura na agricultura ocidental é relativamente recente. A soja é produzida principalmente para a indústria, pela sua produção de óleo e proteína. Apesar de suas quantidades relativas de óleo serem pequenas (em média 20% descontada umidade), a soja é a maior fonte de óleo extraído, e contabiliza por aproximadamente 50% de toda produção de óleos no mundo (Wilcox, 2004).

Para cerca de 4,5 toneladas de óleo de soja bruto, são produzidas cerca de 1 tonelada de farelo de soja com teor de proteína de cerca de 44% (Wilcox, 2001).

A quantidade produzida anualmente de proteína de soja, se pudesse ser diretamente utilizada para consumo humano, seria suficiente para fornecer um terço das necessidades globais de proteína. Isso faz com que a soja tenha o maior potencial como fonte de proteína na dieta (Council, 2008).

A maior parte da farinha de óleo de soja, é utilizada como ração na alimentação animal, para a produção de carne e ovos. Apesar do considerável interesse público e comercial nos produtos de soja como alimento, a proporção de proteína de soja consumida diretamente na nutrição humana ainda é relativamente pequena (Specht e Williams, 1984)

1.2 Componentes de produtividade da soja

O aumento de produtividade das culturas agrícolas tem papel essencial e estratégico, para garantir segurança alimentar e o suprimento energético, com

implicações no uso racional de recursos ambientais e bem-estar social para as futuras gerações (Lobell *et al.*, 2009).

O Brasil possui um total de 850 milhões de hectares, sendo que deste total, 71 milhões estão sendo usados para agricultura, sobrando 65 milhões de ha disponíveis para expansão da agricultura.

A produtividade de soja atingida em lavouras comerciais ao redor do mundo, obtém valores entre 60 a 80% do nível ótimo (Sadras e Calderini, 2009). Essa diferença é atribuída a condições não ideais do ambiente como por exemplo radiação solar inadequada, temperatura, fotoperíodo, disponibilidade hídrica, características do solo, em combinação com o incorreto uso de fertilizantes e controle fitossanitário. As condições ambientais desfavoráveis podem afetar inicialmente em vários aspectos fisiológicos, na maioria dos casos, o efeito determinante no final, acaba sendo a redução da superfície fotossinteticamente ativa (entrada de $\text{CO}_2 \text{ m}^2 \text{ dm}^{-2}$) (Fageria *et al.*, 2006).

A capacidade fotossintética da planta, combina a capacidade fotossintetizante genética intrínseca da espécie, por unidade de área foliar, com o índice de área foliar ($\text{I.A.F} = \text{área foliar} / \text{unidade de área}$) e a arquitetura da parte aérea, para fornecer uma análise compreensível da capacidade da planta de obter CO_2 da atmosfera (Fageria *et al.*, 2006).

A importância das reações fotossintéticas no desenvolvimento da planta está estimada entre 75 a 90% da massa seca, derivada da fixação de CO_2 no processo fotossintético (Board e Kahlon, 2011).

O desenvolvimento da soja é separado nos períodos vegetativo (emergência até R1) e reprodutivo (R1 até R7). O crescimento vegetativo (folhas, caule e nódulos) acontece da emergência até R5. O estágio de desenvolvimento reprodutivo compreende o florescimento, e se estende até a formação da vagem (R1 até R6), período de enchimento de grãos (R5 até R7) (Egli e Leggett, 1973).

O período de enchimento de grãos se divide em estágio inicial de enchimento lento de grãos (R5 até R6), e no rápido enchimento de grãos (R6 até R7), quando a taxa de crescimento de grãos é máxima ... A quantidade de vagens, e o número de grãos são determinados em R6 (Board e Tan, 1995).

Os três mais comuns estresses abióticos que afetam na produtividade da soja são: extremos de temperatura, disponibilidade hídrica e a interceptação luminosa no dossel (Hollinger e Angel, 2009).

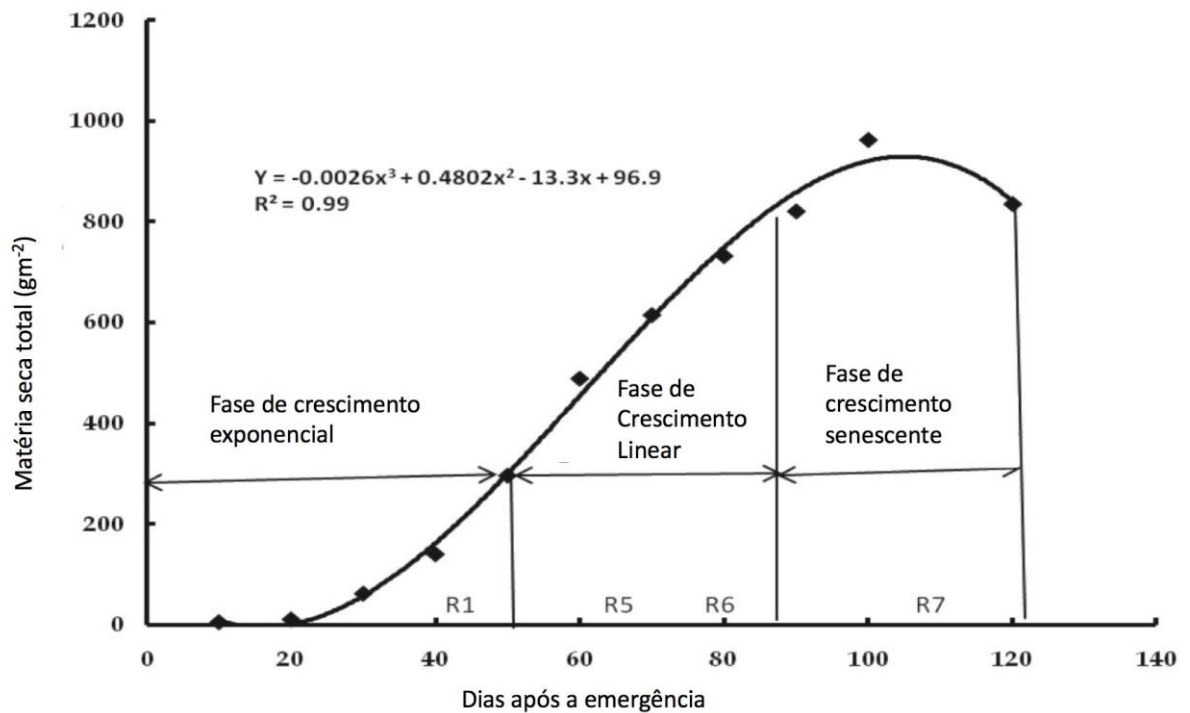


Figura 1 - Curva de crescimento típica da cultura da soja, mostrando acúmulo total de matéria seca. Adaptado de (Carpenter e Board, 1997)

Os componentes de produtividade são características morfológicas que serão decisivos para produtividade. Para soja, os componentes de produtividade que tem potencial para influenciar na produtividade são: número de grãos por área (grãos.m⁻²), peso de grão (gramas), quantidade de grãos por vagem, vagens por área (vagens.m⁻²), vagens por nó reprodutivo, nós reprodutivos por área (nó reprodutivo.m⁻²), porcentagem de nós reprodutivos por área, e total de nós por área (nós.m⁻²) (Board e Kahlon, 2011),

1.3 Importância do zinco

A deficiência do zinco em plantas leva a implicações na nutrição humana, sendo que aproximadamente 30% da população mundial é afetada pela deficiência de zinco (Alloway, 2008). Este elemento pode ainda se mostrar em níveis tóxicos no solo para as plantas (Jung e Thornton, 1996).

O manejo do elemento zinco para os vegetais é de suma importância, visto que este elemento pode se encontrar em níveis deficientes ou fitotóxicos para as plantas.

O aumento da concentração de Zn nas sementes é um fator desejável, sob a ótica agrônômica, pois sementes com alto conteúdo de Zn, podem aumentar o desenvolvimento e a produtividade das culturas, através de melhor germinação, vigor de plântulas e tolerância a estresses, especialmente em solo deficientes em Zn (Yilmaz *et al.*, 1998).

Para a maioria das plantas, concentrações ótimas de zinco estão na faixa de 20 a 100 mg.kg⁻¹ de tecido vegetal (Fox e Guerinot, 1998), e quantidades exportadas para uma produção de 3093 kg.ha⁻¹ de grãos, foram de 92 g.ha⁻¹ de Zn pelos grãos (Tanaka *et al.*, 1993).

O zinco é considerado como o fator mais limitante na produção agrícola em diferentes partes do mundo (Mandal *et al.*, 2000). Ele está diretamente relacionado com metabolismo do nitrogênio na planta, sendo componente essencial na catálise de mais de 300 enzimas, incluindo fosfatase alcalina, desidrogenase alcoólica, anidrase carbônica (Fox e Guerinot, 1998).

O zinco também desempenha papel fundamental na síntese de proteínas, RNA, DNA, e precursor da auxina essencial no alongamento celular (Welch, 2002).

Íons de zinco ativam a enzima síntese de triptofano, para formação do triptofano, precursor do ácido indolacético, que atua no alongamento celular de todas as células e órgãos vegetais, esta relacionado a fixação de folhas, flores e frutos, impedindo a abscisão acelerada destas estruturas, promove a dominância apical, o enraizamento de estacas; mudança do sexo de flores em plantas especialmente nas plantas da família das cucurbitáceas; partenocarpia e o efeito herbicida no caso do 2,4-D e 2,4,5-D (Taiz *et al.*, 2015).

O zinco também atua na síntese do amino ácido triptofano, metabolismo do amido, incremento da resistência a fungos e desenvolvimento radicular ... A regulação da expressão genica requerida para tolerância a estresses ambientais é dependente do zinco (Cakmak, 2000).

Deve-se ter em mente que propriedades químicas do solo como alto pH, salinidade e materiais de origem calcária levam a complexação do micronutrientes, incluído o zinco, os deixando indisponíveis para a planta (Alloway, 2009).

O zinco é extraído de depósitos de minério em mais de 50 países, em 2014 a mineração de zinco foi de 13.3 milhões de toneladas, e os maiores exploradores foram respectivamente China, Austrália, Peru, México e Índia (Montalvo *et al.*, 2016).

O minério de zinco mais explorado é o sulfeto de zinco (ZnS) que tem até 67% de pureza em sua composição. Outros minérios também contêm zinco em sua composição como carbonato de zinco (ZnCO_3), ortosilicato de zinco (Zn_2SiO_4) e calamina ($\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot (\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Estima-se que 60% do zinco provem da mineração deste minério, enquanto 40% restantes, provem da reciclagem secundária do zinco.

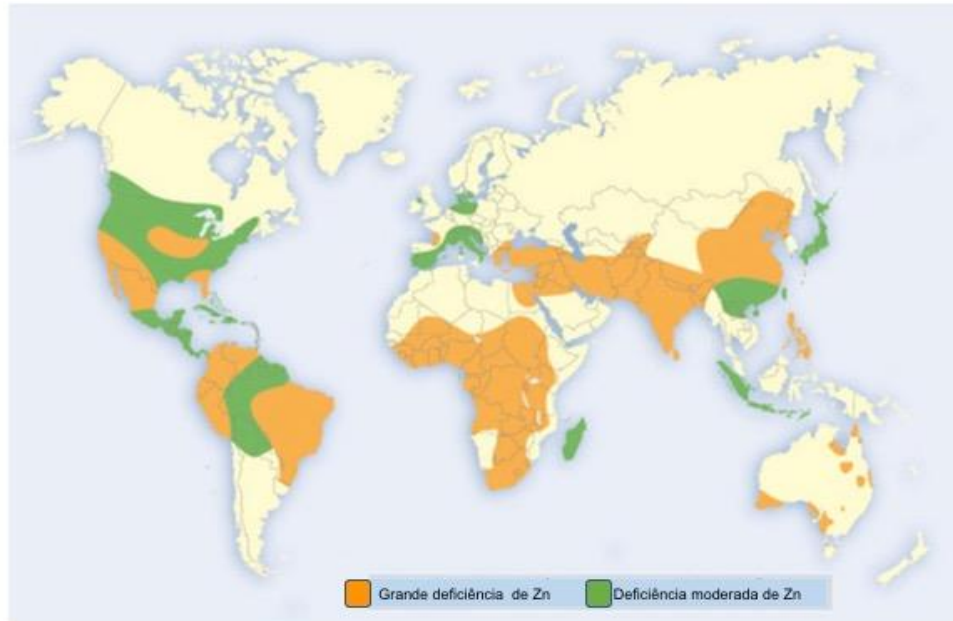


Figura 2 - Mapa de deficiência de zinco. Adaptado de (Carpenter e Board, 1997)

O zinco agrícola proveniente da mineração, é usado principalmente na indústria de galvanização (50%), na produção de ligas de zinco (17%) e na produção de latão e bronze (17%) (Montalvo *et al.*, 2016).

Todos estes processos industriais geram coprodutos e resíduos que são usados com insumo para produção de fertilizantes com zinco. Devido ao aumento no uso de fertilizantes de zinco na agricultura, a indústria de fertilizantes está usando atualmente zinco proveniente de mineração na manufatura destes fertilizantes (Borkert *et al.*, 1998).

1.4 Fontes de zinco

Existem vários tipos de fertilizantes no mercado que são usados para corrigir a deficiência de Zn nas culturas. Estes fertilizantes variam na quantidade relativa de

Zn em seu conteúdo, composição química, preço, e efetividade para as plantas (Mortvedt e Gilkes, 1993).

As quatro classes de fertilizantes de Zn mais comuns são: compostos inorgânicos, quelato sintéticos, complexos orgânicos e complexos inorgânicos (Mortvedt e Gilkes, 1993).

O zinco pode ser absorvido pelo estômato foliar, quando pulverizado e transportado até local que será incorporado pelo sistema vascular da planta ... A Aplicação foliar de Zn é efetiva na correção dos níveis adequados de zinco na planta, elevando a concentração de zinco nos grãos (Jiang *et al.*, 2008)

Aumentos significativos na produção de grãos e massa seca total da planta, e o aumento na concentração de zinco nos grãos foram observados com aplicação foliar de zinco na forma de quelato de zinco EDTA (Karak e Das, 2006).

Fertilizantes de zinco podem ser aplicados de forma independente, ou como compostos incorporados ou misturados com macronutrientes (N-P-K). Fertilizantes a base de zinco estão disponíveis em ambas formas, líquidas e sólidas, e foram desenvolvidos tanto para aplicação via solo como foliar.

1.5 Aplicações foliares

O uso de aplicações foliares se justifica quando as situações a seguir não forem satisfeitas: (i) quando as condições do solo limitarem a disponibilidade dos nutrientes aplicados via solo; (ii) quando ocorrer grande perda de nutrientes aplicados via solo; (iii) quando o estágio da planta, a demanda interna, e as condições ambientais, interagirem para limitar a translocação do nutriente até um órgão crítico na planta (Fernandez e Brown, 2013). Assim a eficácia agrônômica de uma fonte de micronutriente foliar é definida como o grau de resposta da cultura por unidade de aplicação do micronutriente (Mortvedt, 1991). De uma perspectiva da tecnologia de fertilizantes, um fertilizante eficiente é aquele que fornece a maior resposta em termos de produtividade com o menor custo de aplicação.

Para o incremento de Zn através de fertilização, se traduzir em um aumento de produtividade, ou um incremento de Zn na planta, o elemento deverá estar disponível no solo; e sob condições de deficiência, a fertilização com Zn refletirá no incremento de produtividade, e em condições de não deficiência, o efeito somente

se verificará no aumento das quantidades relativas deste elemento, nos tecidos vegetais (Rengel *et al.*, 1999).

Nos solos a concentração total de zinco varia na faixa de 10 à 30 mg Zn kg⁻¹ (Alloway, 1995). Entretanto a concentração total de zinco não é um índice que reflete na capacidade do solo de suprir as necessidades da planta. Uma pequena porção do total de zinco contido no solo (<1 mg Zn Kg⁻¹) esta disponível na solução do solo (Kabata-Pendias, 2010).

Aplicações foliares com Zn estão sendo usadas como uma prática agrícola, para suplementar a aplicação de Zn via solo, durante os estádios de desenvolvimento com alta demanda deste elemento, particularmente quando as condições climáticas e do solo possam limitar a disponibilidade do Zn aplicado via solo (Fernandez e Brown, 2013).

Aplicações foliares de Zn são consideradas mais efetivas, que aplicações via solo, no alívio dos sintomas de deficiência de Zn, quando estes estão visíveis durante ciclo da cultura. A desvantagem da aplicação foliar de Zn, é que podem ser requeridas múltiplas aplicações para corrigir a deficiência de Zn, devido sua mobilidade limitada na translocação para as novas folhas não atingidas, e para as raízes (Swietlik, 2002).

Um dano permanente de produtividade pode acontecer caso haja um período considerável entre a diagnose dos sintomas de deficiência de Zn, até sua efetiva aplicação foliar.

Existe uma limitação da translocação do Zn aplicado via foliar, para outros órgãos, em função da baixa penetração do nutriente na folha, ou da alta capacidade de ligação do Zn aos tecidos foliares, mais evidenciada que sua limitada capacidade de mobilidade no floema (Fernandez e Brown, 2013).

(Haslett *et al.*, 2001), usando isótopos reativos de Zn, demonstraram que o nutriente aplicado em folhas de trigo, translocou acima e abaixo da folha onde foi aplicado na planta, e também nas raízes.

Estes resultados foram confirmados em outro ensaio, que também utilizou isótopos reativos de Zn, onde 40% do nutriente após ser absorvido em aplicações foliares de folhas de trigo, foi translocado para fora da área de aplicação, indo para as raízes e para o restante da parte aérea (Du *et al.*, 2015). Nesta pesquisa utilizando um microscópio de fluorescência de raios X, com microsonda, para observar o local de absorção e deslocamento da aplicação foliar de Zn, tanto na

parte abaxial quanto adaxial da folha de folhas, sem e com deficiência de Zn em plantas de tomate e citrus.

Em folhas de tomate, a concentração de zinco nos tecidos também foi 2 vezes mais alta, quando aplicado na face abaxial da folha (com substancial aumento na densidade de estômatos e tricomas) que na superfície adaxial. Em geral, a redistribuição do Zn na folha foi bem limitada, com concentrações de Zn diminuindo para os níveis anteriores da aplicação, a partir de 10 mm do local de entrada do micronutriente. Porém, em plantas deficientes em Zn, a redistribuição foi restrita para uma distância ainda maior, sendo limitada à 2 mm de distância.

Além da rota cuticular de absorção, existem evidências de uma rota adicional de penetração através das aberturas dos estômatos, possibilitando a entrada de substâncias hidrofílicas (Eichert e Burkhardt, 2001).

A contribuição dos estômatos no processo absorção de nutrientes aplicados via foliar, ainda não foi esclarecida, ainda que existam evidências que podem ser muito significantes (Eichert *et al.*, 2008).

Também solutos que penetram através dos estômatos, podem seguir um caminho de difusão diferente, nos poros das paredes celulares, os quais podem ser menos seletivos quanto ao tamanho da molécula, quando comparados aos que penetram via cutícula (Eichert *et al.*, 2008).

Os fatores que mais afetam a absorção e translocação de nutrientes aplicados via foliar são: momento de aplicação, propriedades físico-químicas da formulação, e as condições ambientais no momento da aplicação e as características intrínsecas da planta (Fernandez e Brown, 2013).

As fontes mais usuais na fertilização foliar são sais solúveis e quelatos. Surfactantes e adjuvantes também podem estar inclusos na formulação para ajudar na penetração dos nutrientes através da cutícula (Aytac *et al.*, 2007).

A taxa de pulverização retida ou repelida, irá variar em função da interação entre as gotículas do fertilizante e a superfície da planta (Picchioni e Weinbaum, 1995).

1.6 Objetivos

A maior parte de fertilizante aplicado é desperdiçada, e somente uma fração do micronutriente é efetivamente absorvida pela planta, assim não promovendo

incrementos de produtividade. Aplicação foliar também pode causar sintomas fitotoxicidade nas folhas, portanto garantir a disponibilidade de zinco para as plantas, evitando uso excessivo de micronutrientes.

A forma mais assertiva de se medir a efetividade da resposta de fertilizantes, é com a resposta em produtividade da planta ao final do ciclo.

Para realização deste trabalho científico, foram levantadas três questões, acerca da realização de fertilização via foliar com diferentes fontes de Zn na cultura da soja.

- Estudar o incremento na produtividade da cultura da soja, com adição de Zn, via nutrição foliar.

- Estudar a diferença na produtividade da cultura da soja, em relação ao uso de diferentes fontes de Zn.

- Estudar a diferença na fitotoxicidade provocada com adição de Zn, via foliar com as diferentes fontes de Zn.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas dependências do Centro de Pesquisa “Geraldo Schultz”, unidade que pertence a Produquímica Indústria e Comércio. S/A, no município de Iracemápolis, Estado de São Paulo, no bloco 7 deste centro. O local possui altitude média de 570 metros, (longitude 47° 30’ 10,81” O e latitude 22° 38’ 49,14” S), topografia suave ondulada, sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 1999). A classificação regional do clima segundo Köppen é Cwa (Clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno). Os dados obtidos de pluviosidade e temperatura estão reunidos na Figura 3.

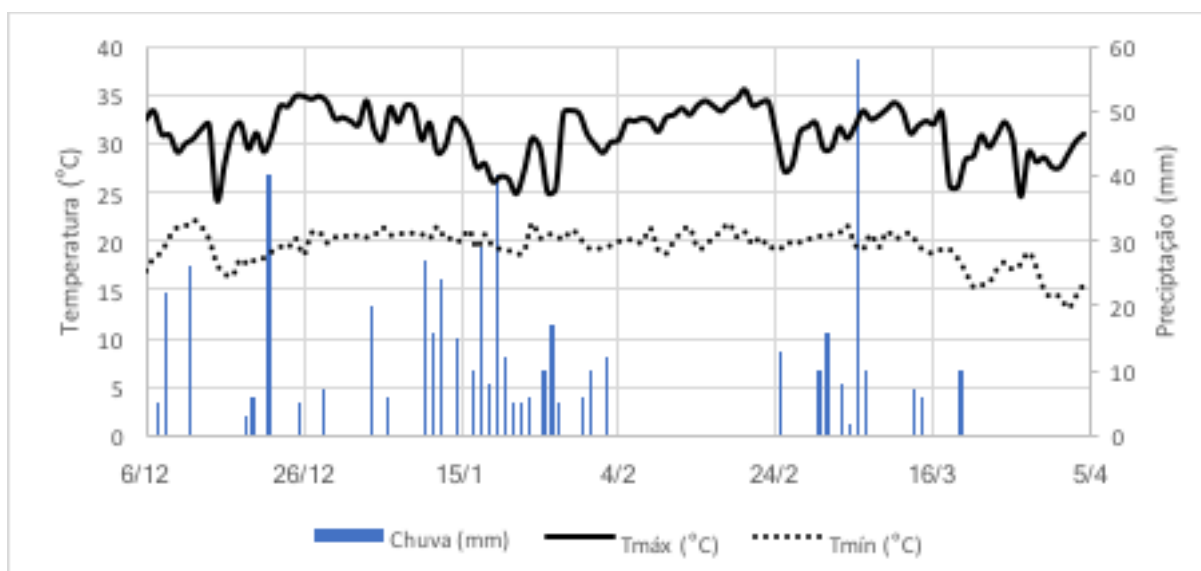


Figura 3 - Dados climáticos obtidos a partir da estação automática do "Centro de Pesquisa Geraldo Schultz" em Iracemápolis, SP

O experimento foi instalado, no dia 06 de dezembro de 2016, em sistema de preparo do solo convencional, em uma área que anteriormente possuía um pomar de citros. Anteriormente a semeadura da soja, foram feitas operações de subsolagem, aplicação de calcário (9.000 kg.ha^{-1}), e gradagem. A soja semeada foi da variedade BMX Lança, classificação de peneira 5,5, de grupo de maturação 6,5, de crescimento indeterminado, com uso de um trator de 90cv, e uma semeadora a vácuo com 6 linhas, montada neste trator. O espaçamento utilizado foi 0,50 m entre

linhas com 16,3 sementes por metro linear, assim totalizando 256.000 sementes por ha.

A sementes foram tratadas com auxílio de uma betoneira com os seguintes produtos: 375ml de UP! seeds, 250 ml Standak Top, 100 ml Cruise, 100ml Maxim (doses para 100Kg de sementes).

Durante a semeadura, foi utilizado inoculante líquido na dose de 400ml/ha. Para a adubação de base, foi usado fertilizante Potenza P 10-49-00, em uma dose de 198 (kg.ha⁻¹), e adubação pré-plantio com 167kg/ha de KCl.

O delineamento experimental adotado foi delineamento em blocos casualizados (DBC) com 6 tratamentos, e 4 repetições, totalizando 24 parcelas, com 3 metros de largura por 14 metros de comprimento, e área da parcela total de 42 m². Cada parcela foi constituída de 6 linhas de semeadura. A área útil da parcela foi constituída por 2 linhas de semeadura, com 10 m de comprimento. Os tratamentos estão descritos na Tabela 1.

A aplicação foliar foi realizada com pulverizador costal pressurizado com CO₂, pressão constante de 200 KPa, com 6 pontas de pulverização de jato duplo de leque, 110015, e uma taxa de aplicação de 90 (l.ha⁻¹). A aplicação ocorreu no dia 12/01/2017, quando a soja se encontrava no estágio de desenvolvimento V8, no período da manhã entre 9:00h e 10:15h.

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos aplicados na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill) var. BMX Lança

Tratamento	Descrição	Dose de Zn (kg/ha)	Estádio de aplicação
1	Controle	-	
2	Sulfato de Zn	0,08	V8
3	Cloreto de Zn	0,08	V8
4	Quelato de Zn	0,08	V8
5	Óxido de Zn	0,08	V8
6	Soluções concentradas de Zn	0,08	V8

O manejo fitossanitário incluiu o emprego de aplicações de dessecantes, herbicidas, fungicidas e inseticidas. Todas as pulverizações do manejo fitossanitário foram com um volume de calda de 150 (l.ha⁻¹) utilizando um pulverizador da Jacto,

com as pontas JA-02 pressão de 138KPa, montado em um trator de 90cv. A discriminação dos produtos e datas das aplicações então na Tabela 2.

Tabela 2 - Manejo fitossanitário, aplicado na cultura da soja (Glycine max L. Merrill) var. BMX Lança

Data	Época/ Estádio	Produto	Dose (ml ou g/ha)
30/11/2016	Dessecação	Triunfo Neutron	75
		2,4-D	1000
		Finale	1000
30/12/2016	V5	Triunfo Flex	75
		WG	1500
		Select	500
		Nimbus	300
		Ampligo	100
		Lanatte	750
12/01/2017	V8/R1	Triunfo Neutron	150
		Elatus	200
		Kellus imune	500
		Premio	62,5
		Lanatte	1250
25/01/2017	R3	Triunfo Neutron	150
		Orkestra	400
		Engeo	300
		Proacqua Maturação	300
08/02/2017	R 5.1	Triunfo Neutron	150
		Priori Xtra	300
		Engeo	300
		Manzate	1000
		Proacqua Maturação	1500
07/03/2017	R6	Triunfo Neutron	150
		Engeo	300

Os parâmetros avaliados no experimento foram: fitotoxicidade, produtividade, e massa de 100 grãos.

A fitotoxicidade, foi avaliada através de comparação, com uma escala visual com notas, que variam entre 1, com ausência de sintomas, e 7 com necrose avançada, conforme exemplificado na Figura 4. Foram avaliadas 4 folhas de soja por parcela, localizadas no terço superior da planta. As avaliações foram realizadas no 1º, 3º, e 7º dia após a aplicação.

A produtividade expressa em ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), foi avaliada da seguinte forma, em cada parcela as plantas eram colhidas, trilhadas, ensacadas, e posteriormente, a amostra de cada parcela era pesada, para estimar a produtividade por ha, em seguida aferida a umidade da amostra, para ajuste da produtividade, e finalmente com auxílio de um gabarito, 100 grãos de cada amostra eram separados, e depois pesados em uma balança de precisão, para definir a massa de 100 grãos.

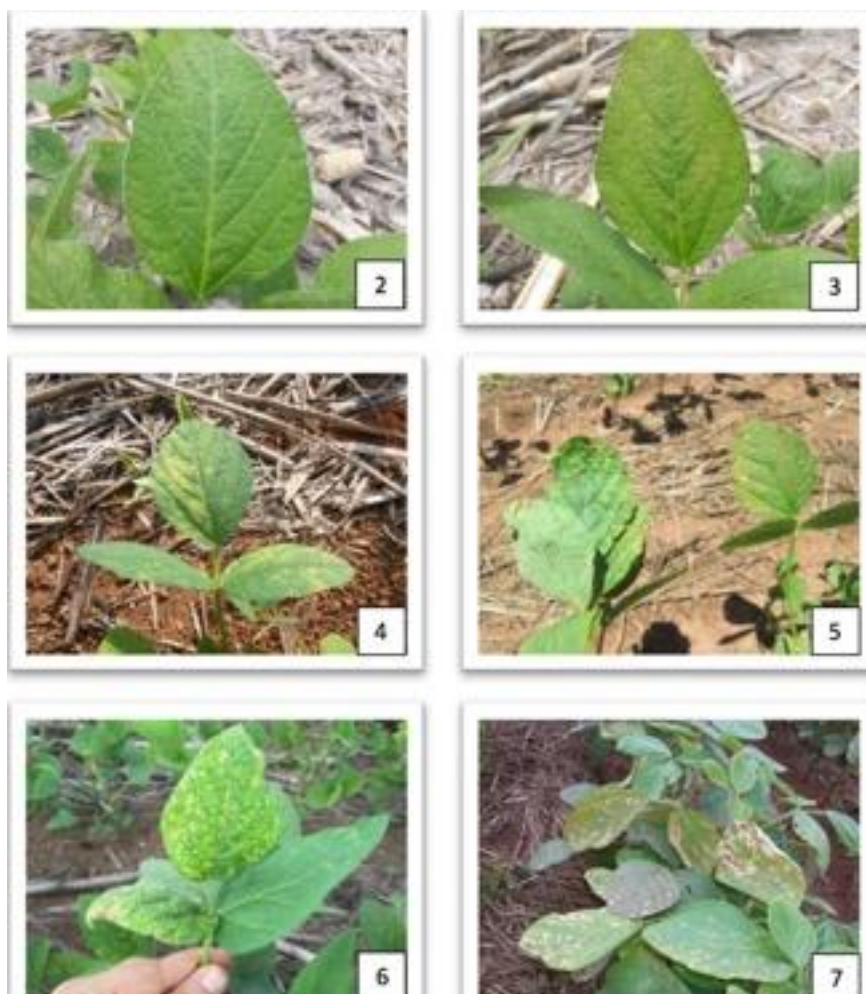


Figura 4 - Escala visual para notas de fitotoxicidade, adotadas no ensaio de pesquisa. Nesta escala, a nota 1 representa ausência de sintomas. Escala desenvolvida pelo departamento técnico da Produquímica

A produtividade expressa em (kg.ha^{-1}), foi avaliada da seguinte forma, em cada parcela as plantas eram colhidas, trilhadas, ensacadas, e posteriormente, a amostra de cada parcela era pesada, para estimar a produtividade por ha, em seguida aferida a umidade da amostra, para ajuste da produtividade, e finalmente com auxílio de um gabarito, 100 grãos de cada amostra eram separados, e depois pesados em uma balança de precisão, para definir a massa de 100 grãos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente ensaio de pesquisa, com diferentes fontes de Zn, aplicada via foliar, na cultura da soja, demonstrou alguns efeitos positivos, negativos, e neutros do ponto de vista do desenvolvimento e produtividade da cultura, apesar do notório conhecimento da importância deste nutriente para todas as culturas agrícolas.

Todos os nutrientes, em função de sua própria origem, podem demonstrar efeitos deletérios, desde uma simples clorose, ou até necrose dos tecidos, comprometendo todo o metabolismo da planta, principalmente a fotossíntese.

As amostras de solo foram coletadas anteriormente a correções e adubações de plantio, os resultados estão descritos nas Tabela 3, Tabela 4, Tabela 5.

Tabela 3 - Análises físicas e químicas do solo

Profundidade (cm)	pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	Argila	Silte	Areia
			%		
	6,0	24	40	14	46
10 – 20	5,5	18	40	18	42
20 – 40	5,0	11	43	16	41

Tabela 4 - Análises químicas do solo

Profundidade (cm)	P mg dm ⁻³	S mg dm ⁻³	Ca	Mg	K	Al	H+Al	SB	CTC	V%	M%
						m mol _c dm ⁻³					
0 – 10	17	12	61	20	NS	7,7	1	88,5	103,2	86	1
10 – 20	7	21	32	18	NS	4,0	2	83,4	83,4	65	4
20 – 40	6	18	22	12	NS	3,2	4	38,1	72,6	53	9

Tabela 5 - Análises químicas de micronutrientes do solo

Profundidade (cm)	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg dm ⁻³				
0 – 10	0,24	2,2	20	22,5	1,6
10 – 20	0,25	1,0	19	22,0	0,2
20 – 40	0,26	0,4	18	15,4	0,1

Logo após a aplicação das diferentes fontes de zinco via foliar, houve alteração em relação a fitotoxicidade, como esta demonstrado na Tabela 6, onde o tratamento 6, denominado de soluções concentradas de Zn, foi o que apresentou os maiores danos de fitotoxicidade, com início de clorose do limbo foliar, e consequentemente foi o que promoveu os maiores danos no aparato fotossintetizante da planta, avaliado com notas, segundo escala de comparação visual desenvolvida pelo departamento técnico da Produquímica, de acordo com a Figura 4.

O tratamento (3) contendo cloreto de Zn também apresentou sintomas de fitotoxicidade, porém em menor escala, e somente no 1º e 3º dias após a aplicação; os demais tratamentos não mostraram sintomas aparentes de fitotoxicidade nas folhas da soja.

Tabela 6 - Notas de fitotoxicidade em plantas de soja (*Glycine max* L. Merrill) var. BMX Lança., submetidas a aplicação foliar de diferentes fontes de Zn na fase vegetativa V8 da cultura. Itacemápolis, Jan/2017

Tratamentos	Descrição	Dose (kg/ha)	1 DAA	3 DAA	7 DAA
1	Controle	-	1,00 a	1,00 a	1,00 a
2	Sulfato de Zn	0,08	1,06 a	1,07 a	1,00 a
3	Cloreto de Zn	0,08	1,75 b	1,45 b	1,00 a
4	Quelato de Zn	0,08	1,12 a	1,15 a	1,00 a
5	Óxido de Zn	0,08	1,18 a	1,00 a	1,00 a
6	Soluções concentradas de Zn	0,08	2,62 c	1,90 c	1,82 b
CV (%)			18,34	15,34	30,51

Nota: médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste T de médias com, ao nível de 5% de probabilidade

Outro parâmetro de grande relevância, que deve ser considerado em todos os ensaios de grãos, é a sua massa, que significa a capacidade da semente em ser preenchida por fotoassimilados, ou seja, através do estabelecimento das relações fonte-dreno, onde a semente é considerada um dreno muito forte, com alta demanda de compostos orgânicos, e neste caso, os resultados da massa de 100 grãos, mostrados na Tabela 7, não apresentaram diferença estatística entre todos os

tratamentos, fato este que pode estar relacionado ao déficit hídrico durante o período de enchimento de grãos, e também a baixos níveis micronutrientes, como o Boro, conforme Tabela 5, e que este desbalanço nutricional, e déficit hídrico não foi capaz de diferenciar as plantas que não receberam aplicação foliar, das plantas tratadas.

Tabela 7 - Massa de 100 sementes, após a colheita da soja (*Glycine max* L. Merrill) var. BMX Lança, submetidas a aplicação foliar de diferentes fontes de Zn na fase vegetativa V8 da cultura. Itacemápolis, Jan/2017

Tratamentos	Descrição	Dose (kg/ha)	Massa de 100 sementes (g)
1	Controle	-	10,31 a
2	Sulfato de Zn	0,08	10,60 a
3	Cloreto de Zn	0,08	11,06 a
4	Quelato de Zn	0,08	10,49 a
5	Óxido de Zn	0,08	10,07 a
6	Soluções concentradas de Zn	0,08	10,81 a
CV (%)			9,39

Nota: médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste T de médias com, ao nível de 5% de probabilidade

A produtividade ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) da cultura da soja, conforme Tabela 8, submetida a diferentes fontes de zinco, não foi estatisticamente superior, pois todas as fontes de Zn não diferiram das plantas que não receberam a aplicação do nutriente em estudo, podendo afirmar então nestas condições, a suplementação do nutriente via foliar não trouxe benefícios na produção, por unidade de área.

Pode-se observar na Tabela 8, que quando se compara os valores absolutos entre os tratamentos, as plantas que receberam a aplicação foliar das diferentes fontes de Zn, especificamente o tratamento com soluções concentradas de Zn, proporcionou o melhor resultado, atingindo o valor de 2230,45 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), seguido pelo tratamento (2), com sulfato de zinco, com produtividade estimada de 2039,89 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de grãos, em relação ao tratamento das plantas com quelato de zinco (trat. 4), que obtiveram valor estimado de 1479,16 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), porém sem diferença estatística com o tratamento controle.

Tabela 8 - Produtividade em (kg.ha⁻¹) após a colheita da soja (*Glycine max* L. Merrill) var. BMX Lança, submetidas a aplicação foliar de diferentes fontes de Zn na fase vegetativa V8 da cultura. Iracemápolis, Jan/2017

Tratamentos	Descrição	Dose (kg.ha ⁻¹)	Produtividade (kg.ha ⁻¹)
1	Controle	-	1915,35 abc
2	Sulfato de Zn	0,08	2039,89 ab
3	Cloreto de Zn	0,08	1658,24 bc
4	Quelato de Zn	0,08	1479,16 c
5	Óxido de Zn	0,08	1821,88 abc
6	Soluções concentradas de Zn	0,08	2230,45 a
CV (%)			18,37

Nota: médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste T de médias com, ao nível de 5% de probabilidade

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste ensaio na cultura da soja, nos permite demonstrar que as diferentes fontes do micronutriente zinco não promoveram incrementos significativos em produtividade, uma vez que não houve neste experimento, respostas em incrementos de produtividade por unidade de área ou peso de 100 sementes com esta descrito na Tabela 7, com a aplicação de Zn via foliar.

As amostras de solo coletadas antes da implantação do experimento mostraram níveis baixos de Zn no solo, nas camadas com profundidade de 10 à 20 cm, e 20 à 40 cm, assim como outros nutrientes, e que não houve suplementação de tais nutrientes via solo, o que pode ter sido fator limitante de incremento dos parâmetros de desenvolvimento aplicados nesta pesquisa. Na camada mais superficial do solo, o resultado da amostra de solo, indicou quantidades relativas do Zn, em níveis adequados, fato este que pode estar relacionado com a cultura anterior, onde sucessivas aplicações de produtos fitossanitários, pode ter elevado os níveis de Zn nesta camada.

Houve diferença estatística na produtividade da soja, entre diferentes fontes, sendo a que obteve melhor resultado foram as soluções concentradas de Zn com dose $0,08 \text{ kg.ha}^{-1}$, correspondente ao tratamento 6, com produtividade de $2230,46 \text{ kg.ha}^{-1}$.

Com relação ao peso de 100 sementes, não foi observado nenhuma relação entre a nutrição via foliar de Zn, com o incremento em sua massa.

Os níveis de nutrientes da análise de solo, encontravam-se menores que o recomendado, com baixos níveis do nutriente potássio (K) no solo, sendo níveis corrigidos com uma adubação de pré-plantio feita a lanço, taxa de aplicação de 167 kg.ha^{-1} de KCl.

Na mesma análise de solo, também se verificou baixos níveis de fósforo (P), para o plantio, foi feita adubação de plantio com dose de 198 kg.ha^{-1} , do fertilizante potassa com formulação 10-49-00.

Com relação aos micronutrientes, o boletim técnico 100 recomenda adubação de semeadura nas seguintes quantidades: 5 kg/ha de Zn, 2 kg/ha de Cu, e 1 kg/ha de B, e que este elemento, se mostrou mais limitante, de acordo com a amostra de

solo, sendo classificado, segundo boletim 100, como nível baixo de concentração no solo.

Pode-se concluir neste ensaio de pesquisa, que a aplicação de diferentes fontes de zinco, não interfeririam no desenvolvimento e na produção final da cultura da soja, sendo necessários novos ensaios de pesquisa, para melhor entendimento do nutriente, na fisiologia de plantas de soja, sob o aspecto de diferentes fontes aplicadas.

REFERÊNCIAS

ALLOWAY, B. Heavy metals in soils Blackie Academic and Professional. **London, UK**, 1995.

_____. Zinc in soils and crop nutrition. International Zinc Association, Brussels. **International Fertilizer Industry Association, Paris**, 2008.

_____. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 31, n. 5, p. 537-548, 2009. ISSN 0269-4042.

AYTAC, S.; CIRAK, C.; OZCELIK, H. Foliar zinc application on yield and quality characters of soybean. **Asian Journal of Chemistry**, v. 19, n. 3, p. 2410-2418, May-Jun 2007. ISSN 0970-7077. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000243616900102 >.

BOARD, J.; TAN, Q. Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod number. **Crop science**, v. 35, n. 3, p. 846-851, 1995. ISSN 0011-183X.

BOARD, J. E.; KAHN, C. S. **Soybean yield formation: what controls it and how it can be improved**. INTECH Open Access Publisher, 2011. ISBN 9533075341.

BONATO, E. R.; BONATO, A. L. V. A soja no Brasil: história e estatística. **Embrapa Soja-Docmentos (INFOTEC-A-E)**, 1987.

BORKERT, C. M.; COX, F. R.; TUCKER, M. R. Zinc and copper toxicity in peanut, soybean, rice, and corn in soil mixtures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 29, n. 19-20, p. 2991-3005, 1998. ISSN 0010-3624. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000076600500014 >.

CAKMAK, I. Tansley review No. 111 - Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. **New Phytologist**, v. 146, n. 2, p. 185-205, May 2000. ISSN 1469-8137. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000087544700003 >.

CARPENTER, A. C.; BOARD, J. E. Growth dynamic factors controlling soybean yield stability across plant populations. **Crop Science**, v. 37, n. 5, p. 1520-1526, Sep-Oct 1997. ISSN 0011-183X. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:A1997XZ35500018 >.

COUNCIL, U. S. E. How the global oilseed and grain trade works. **Soyatech, LLC, Southwest Harbor, Maine, US**, 2008.

DU, Y. M. et al. In situ analysis of foliar zinc absorption and short-distance movement in fresh and hydrated leaves of tomato and citrus using synchrotron-based X-ray fluorescence microscopy. **Annals of Botany**, v. 115, n. 1, p. 41-53, Jan 2015. ISSN 0305-7364. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000347416100004 >.

EGLI, D.; LEGGETT, J. Dry matter accumulation patterns in determinate and indeterminate soybeans. **Crop Science**, v. 13, n. 2, p. 220-222, 1973. ISSN 0011-183X.

EICHERT, T.; BURKHARDT, J. Quantification of stomatal uptake of ionic solutes using a new model system. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. 357, p. 771-781, Apr 2001. ISSN 0022-0957. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000169703200013 >.

EICHERT, T. et al. Size exclusion limits and lateral heterogeneity of the stomatal foliar uptake pathway for aqueous solutes and water-suspended nanoparticles. **Physiologia Plantarum**, v. 134, n. 1, p. 151-160, Sep 2008. ISSN 0031-9317. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000258411200014 >.

EMBRAPA, S. Sistema brasileiro de classificação de solos. **EMBRAPA Produção de Informação, Brasília**, p. 16, 1999.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. **Physiology of crop production**. CRC Press, 2006. ISBN 1560222891.

FERNANDEZ, V.; BROWN, P. H. From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, Jul 2013. ISSN 1664-462X. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000330762500001 >.

FOX, T. C.; GUERINOT, M. L. Molecular biology of cation transport in plants. **Annual review of plant biology**, v. 49, n. 1, p. 669-696, 1998. ISSN 1040-2519.

HASLETT, B.; REID, R.; RENGEL, Z. Zinc mobility in wheat: uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots. **Annals of Botany**, v. 87, n. 3, p. 379-386, 2001. ISSN 0305-7364.

HOLLINGER, S. E.; ANGEL, J. R. Weather and crops. **Emerson Nafziger (compiling). Illinois Agronomy Handbook. 24th Edition. Illinois: University of Illinois at Urbana-Champaign**, 2009.

JIANG, W. et al. Does increased zinc uptake enhance grain zinc mass concentration in rice? **Annals of Applied Biology**, v. 153, n. 1, p. 135-147, 2008. ISSN 1744-7348.

JUNG, M. C.; THORNTON, I. Heavy metal contamination of soils and plants in the vicinity of a lead-zinc mine, Korea. **Applied Geochemistry**, v. 11, n. 1-2, p. 53-59, 1996. ISSN 0883-2927.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. CRC press, 2010. ISBN 1420093703.

KARAK, T.; DAS, D. Effect of foliar application of different sources of zn application on the changes in zn content, uptake and yield of rice (*Oryza sativa* L). 18th World Congress of Soil Science, 2006.

LOBELL, D. B.; CASSMAN, K. G.; FIELD, C. B. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 34, p. 179-204, 2009. ISSN 1543-5938. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000272082000009 >.

MANDAL, B.; HAZRA, G.; MANDAL, L. Soil management influences on zinc desorption for rice and maize nutrition. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 5, p. 1699-1705, 2000. ISSN 1435-0661.

MONTALVO, D. et al. Agronomic Effectiveness of Zinc Sources as Micronutrient Fertilizer. **Advances in Agronomy**, Vol 139, v. 139, p. 215-267, 2016. ISSN 0065-2113. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000383904600006 >.

MORTVEDT, J. J. Micronutrient fertilizer technology. **Micronutrients in agriculture**, n. micronutrientsi2, p. 523-548, 1991. ISSN 0891188630.

MORTVEDT, J. J.; GILKES, R. J. Zinc Fertilizers. In: ROBSON, A. D. (Ed.). **Zinc in Soils and Plants: Proceedings of the International Symposium on 'Zinc in Soils and Plants' held at The University of Western Australia, 27–28 September, 1993**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1993. p.33-44. ISBN 978-94-011-0878-2.

PICCHIONI, G. A.; WEINBAUM, S. A. RETENTION AND THE KINETICS OF UPTAKE AND EXPORT OF FOLIAGE-APPLIED, LABELED BORON BY APPLE, PEAR, PRUNE, AND SWEET CHERRY LEAVES. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 120, n. 1, p. 28-35, Jan 1995. ISSN 0003-1062. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:A1995PZ86800005 >.

RENGEL, Z.; BATTEN, G. D.; CROWLEY, D. E. Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops. **Field Crops Research**, v. 60, n. 1-2, p. 27-40, Jan 1999. ISSN 0378-4290. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000078617900004 >.

SADRAS, V. O.; CALDERINI, D. **Crop physiology: applications for genetic improvement and agronomy**. Academic Press, 2009. ISBN 0080922295.

SPECHT, J. E.; WILLIAMS, J. H. Contribution of genetic technology to soybean productivity—Retrospect and prospect. **Genetic contributions to yield gains of five major crop plants**, n. geneticcontribu, p. 49-74, 1984. ISSN 0891185860.

SWIETLIK, D. Zinc nutrition of fruit crops. **Horttechnology**, v. 12, n. 1, p. 45-50, Jan-Mar 2002. ISSN 1063-0198. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000173706500007 >.

TAIZ, L. et al. **Plant physiology and development**. Sinauer Associates, Incorporated, 2015. ISBN 1605352551.

TANAKA, R. T. et al. Nutrição mineral da soja. **Cultura da soja nos cerrados**, 1993.

WELCH, R. Impact of mineral nutrients in plants on human nutrition on a worldwide scale. **Plant Nutrition**, p. 284-285, 2002.

WILCOX, J. R. Sixty years of improvement in publicly developed elite soybean lines. **Crop Science**, v. 41, n. 6, p. 1711-1716, 2001. ISSN 1435-0653.

_____. World distribution and trade of soybean. **Soybeans: Improvement, production, and uses**, n. soybeansimprove, p. 1-14, 2004. ISSN 0891182667.

YILMAZ, A. et al. Effect of seed zinc content on grain yield and zinc concentration of wheat grown in zinc-deficient calcareous soils. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, n. 10, p. 2257-2264, 1998. ISSN 0190-4167. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000076379600018 >.