

## **FRACIONAMENTO DE ZINCO EM LATOSSOLO SOB PLANTIO DIRETO E SUBMETIDO A DIFERENTES DOSES DE FÓSFORO**

MARCOS ANTONIO CAMACHO<sup>1\*</sup>; JULIANO BORGES BERTOLINI<sup>2</sup>;  
EDUARDO DA CUNHA MALDONADO<sup>3</sup> e THIAGO WOICIECHOWSKI<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dr. em Agronomia, UEMS, Aquidauana-MS, camacho@uems.br;

<sup>2</sup>MSc. em Agronomia (PPG em Agronomia – Produção Vegetal), UEMS, Aquidauana-MS,  
borges\_bertolini@hotmail.com;

<sup>3</sup>Doutorando do PPG em Agronomia – Produção Vegetal, UEMS, Aquidauana-MS,  
edi\_maldonado@hotmail.com;

<sup>4</sup>Dr. em Engenharia Florestal, UEMS, Aquidauana-MS, thiagowoi@uems.br.

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018  
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

**RESUMO:** Este trabalho teve como objetivo avaliar diferentes formas de Zn por extração sequencial em um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto e com diferentes doses de P. O solo utilizado é caulinitico, de textura muito argilosa, com teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> são de 280 e 179 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. A área de coleta faz parte de um experimento de longa duração sob plantio direto a 16 anos. Antes da semeadura foi realizada adubação com as doses 0, 30, 60, 120, 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na linha de semeadura, sem adição de outros fertilizantes ou corretivos. A coleta das amostras foi realizada após a colheita nas profundidades de 0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, e as formas e teores de Zn foram avaliadas através de extração sequencial. O Zn foi encontrado nas formas não-trocáveis (óxido de Fe amorfo + residual) em maior porcentagem no solo; A camada de 0 – 0,10 m possui, predominantemente, maior quantidade de Zn que a camada de 0,10 – 0,20 m; O aumento das doses de P causa diminuição da concentração de Zn nas frações trocáveis (solúvel + adsorvido a superfície do colóide) e moderadamente trocáveis (MOS + óxido de Mn + óxido de Fe amorfo); A MOS influencia no teor de Zn e no efeito da aplicação de P sobre a disponibilidade de Zn.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fracionamento químico, extração de zinco, solos tropicais.

### **ZINC FRACTIONATION IN A LATOSOL (OXISOL) UNDER NO-TILLAGE SYSTEM SUBMITTED TO DIFFERENT DOSES OF PHOSPHORUS**

**ABSTRACT:** This study assessed different Zn forms in soil by sequential extraction in a dystroferic Red Latosol (Oxisol) under different doses of P, in a no-tillage area. The samples are from a kaolinitic clayey soil, with Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> levels by 280 e 179 g kg<sup>-1</sup>, respectively. The area of the study is in a long-term project by 16 years under no tillage system. Before seeding the P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> doses 0, 30, 60, 120, 180 kg ha<sup>-1</sup> was made in the sowing line, with no other fertilizers or soil correction. The samples are collected after harvest, in 0 – 0,10 m and 0,10 – 0,20 m depth, and the forms and levels of Zn are assessed by sequential extraction. Zn was found in non-exchangeable forms (amorphous + residual iron oxides) in a higher percentage in the soil; 0 – 0,10 m layer has predominantly more Zn than the 0,10 – 0,20 m layer. The increase of P levels in the soil cause a decrease in Zn concentration on exchangeable fractions (soluble + adsorbed on the surface of the colloid) and on the moderately exchangeable (organic matter + Mn oxide + Fe amorphous oxide); the organic matter has influence in the Zn levels and in the effect of P application under Zn availability.

**KEYWORDS:** Chemical fractionation, tropical soils, zinc extraction.

### **INTRODUÇÃO**

A análise de solo para avaliar os teores de Zn normalmente é realizada por extratores difundidos, sendo comumente utilizados o Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA (Silva et al., 2009). Estas análises normalmente oferecem resultados que determinam o Zn que as plantas podem absorver, pois suas

calibrações normalmente estão associadas ao quanto as culturas testadas absorvem. Desta forma, realizar o fracionamento de Zn identificará as formas mais eficientes para o fornecimento deste nutriente na produção agrícola.

Em solos altamente intemperizados como Latossolos, elementos como o zinco (Zn) podem apresentar teores totais equivalentes à metade do valor da média mundial (Marques et al., 2004), o que o tornam o micronutriente mais limitante à produtividade das culturas no Brasil. Sua forma mais comum na solução do solo é o cátion  $Zn^{2+}$ , sendo fortemente adsorvido aos solos, principalmente pela fração mineral. Além do Zn, a baixa disponibilidade de P nos solos do Cerrado, aliada à alta capacidade de retenção do mesmo na fase sólida, é uma limitação para o desenvolvimento de atividades agrícolas sem a aplicação de adubos fosfatados (Sousa et al., 2004; Malavolta, 2006).

Segundo Malavolta et al. (1997), altas concentrações de P no solo causam diminuição na disponibilidade de Zn, pois o P insolubiliza o Zn na superfície das raízes, diminuindo sua absorção, além disso, Marschner (1995) verificou que o P precipita Zn como fosfato de zinco, impedindo a absorção.

O fornecimento de Zn através da adubação pode apresentar resposta positiva na produtividade. Entretanto, a presença de altas quantidades de P no solo interfere negativamente no teor de Zn nas folhas (Inocencio et al., 2012; Kutman et al., 2011). Sendo assim, é fundamental a realização de estudos a respeito do comportamento de Zn nas diferentes frações do solo quando na presença de diferentes doses de P. Desta forma, o objetivo do trabalho foi avaliar as diferentes formas de Zn por extração sequencial em um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto e com diferentes doses de P nas profundidades de 0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Foram coletadas amostras de solo em uma área com sistema de plantio direto localizada na Embrapa Agropecuária Oeste, coordenadas 22°14' S – 54°49' W e altitude de 430 metros no município de Dourados, MS. Essa área faz parte de um experimento de campo de longa duração que foi implantado desde 1995. O bioma da área é do tipo Cerrado, com solo classificado Latossolo Vermelho distroférico típico, caulinitico, textura muito argilosa, cujos teores de  $Fe_2O_3$  e  $Al_2O_3$  são de 280 e 179 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Amaral et al., 2000) e o clima Cwa – clima mesotérmico úmido, com predominância de verões quentes e invernos secos (Fietz e Fisch, 2006).

O sistema do experimento é do tipo lavoura em plantio direto utilizando a rotação de culturas, com cultivo no inverno (I) e verão (V). As culturas implantadas na área foram as seguintes, a partir de 1995: milho (I 95), soja (V), trigo (I 96), soja (V), nabo (I 97), milho (V), aveia (I 98), soja (V), trigo (I 99), soja (V), nabo (I 00), milho (V), aveia (I 01), soja (V), trigo (I 02), soja (V), nabo (I 03), milho (V), aveia (I 04), soja (V), trigo (I 05), soja (V), nabo (I 06), milho (V), aveia (I 07), soja (V), trigo (I 08), soja (V), nabo (I 09), milho (V), aveia (I 10) e soja (V).

Ao longo de 16 anos de experimento, a área recebeu, em média, 85 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A matéria orgânica do solo na camada 0 – 0,10 m, foi de 50 g kg<sup>-1</sup> e, na camada de 0,10-0,20 m, foi de 35 g kg<sup>-1</sup>. O valor médio de massa seca sob o solo (cobertura vegetal) foi de 4143 kg ha<sup>-1</sup>. A adubação de plantio na safra de verão 2010/2011 foi realizada a lanço, com auxílio de um seixo, utilizando superfosfato triplo, em doses diferenciadas por parcela (0, 30, 60, 120, 180 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$ ), sendo esta realizada em novembro/2010. Nesta safra não houve aplicação de fertilizantes e corretivos para o cultivo da soja. A cultivar de soja (*Glycine max*) utilizada foi a BRS 291 RR, tratadas com fungicida e inoculadas com *Bradyrhizobium*, estirpes SEMIA 5079 (CPAC 15) e SEMIA 5080.

O solo do experimento apresentava os seguintes atributos do solo por ocasião da instalação do experimento: pH (em H<sub>2</sub>O) 6,8; P 37,8 mg dm<sup>-3</sup>; K 0,82 cmolc dm<sup>-3</sup>; Ca 7,5 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg 4,0 cmolc dm<sup>-3</sup>; Al 0,0 cmolc dm<sup>-3</sup>; Cu 12,3 mg dm<sup>-3</sup>; Fe 26 mg dm<sup>-3</sup>; Mn 194 mg dm<sup>-3</sup>; areia 162 g kg<sup>-1</sup>; silte 148 g kg<sup>-1</sup>; e argila 690 g kg<sup>-1</sup>.

A coleta das amostras de solo foi realizada após a colheita da soja com o auxílio de um trado do tipo holandês, em duas profundidades (0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m) nas linhas de semeadura. Coletou-se amostra composta formada por três sub-amostras homogeneizadas, resultando em 40 amostras de solo (5 doses x 4 repetições x 2 profundidades).

A extração sequencial do Zn nas amostras de solo foi realizada segundo metodologia sugerida por Silveira et al. (2006) para solos tropicais, sendo que as frações 1 e 2 constituem o Zn trocável, as frações 3, 4 e 5 o Zn moderadamente trocável, e as frações 6 e 7 o Zn não trocável.

Para a extração do Zn foram utilizados 1 g de solo, que foram colocados em tubos de centrífuga de policarbonato de 50 mL. As amostras foram misturadas gradualmente com vários reagentes e suspensões equilibradas conforme descrito no Quadro 1. Após o equilíbrio as soluções foram separadas da fase sólida através de centrifugação a 3600 rpm por 10 min. Entre cada extração, a parte sólida foi suspensa em 5 mL de 0.1 mol L<sup>-1</sup> NaCl, agitados manualmente e centrifugado novamente para reduzir a dispersão da amostra e minimizar a readsorção do Zn. Os sobrenadantes foram filtrados e os resíduos sólidos preservados para as extrações seguintes. A fração Residual foi determinada através do método 3050b (USEPA, 1998).

A concentração de Zn nas amostras foi determinada por espectrometria de absorção atômica. Os efeitos dos tratamentos sobre a concentração de Zn em cada fração do solo foram comparados pelo teste de Bonferroni, a 5% de significância e análise de regressão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As frações de Zn ligados ao óxido de Fe cristalino e a fração residual apresentaram os maiores valores em todas as doses de P e em ambas camadas, que pode ser explicado pelo tipo de solo analisado, uma vez que os Latossolos, tem por característica alto teor de óxidos de Fe, os quais têm grande influência na retenção de metais (Silveira et al., 2002).

A distribuição das frações de Zn no solo variou pouco em função das doses de P (Figura 1), e possuem distribuição semelhante com os dados observados por Silveira et al. (2006). Os autores ainda verificaram que em solos tropicais como Latossolos existe uma tendência de o Zn se ligar mais aos óxidos de Fe cristalinos (F6), seguidos pela fração residual (F7), uma vez que solos altamente intemperizados são constituídos em grande parte por óxidos de Fe cristalinos e amorfo (Chao e Zhuo, 1983).

Os valores encontrados para concentração de Zn associado às frações trocável e adsorvidos ao colóide em ambas as profundidades representaram menos de 10% em todos os casos observados. Concentrações similares foram encontradas por Silveira et al. (2006) e Hseu (2006), que observaram o Zn associado à fração trocável ficou entre 2% a 6% do total extraído.

Na fração solúvel/trocável foi possível verificar que o acréscimo de P causou diminuição da concentração de Zn em solução ( $\hat{y} = -0,0073**x + 3,8669$  R<sup>2</sup> = 0,8255 na camada de 0 – 0,10 m e  $\hat{y} = 3,8217**x - 0,061$  R<sup>2</sup> = 0,8059 na camada de 0,1-0,2 m), resultados também encontrados por Mandal e Mandal (1990) para a mesma fração. A presença de P pode ter causado competição por sítios de adsorção o que restringiu a entrada do Zn no complexo (Mandal e Mandal, 1990). Além disso, a presença de P na fase solúvel/trocável pode ter reagido com o Zn presente formando compostos de baixa solubilidade. Esta mesma tendência foi observada para o Zn adsorvido à superfície do colóide ( $\hat{y} = 0,0002**x^2 - 0,0565**x + 8,3494$  R<sup>2</sup> = 0,8991 para a camada de 0 – 0,10 m e  $\hat{y} = 6E-05**x^2 - 0,0165**x + 5,1948$  R<sup>2</sup> = 0,8886 para a camada de 0,10 – 0,20 m).

A fração do Zn ligado a MOS diminuiu em função das doses de P somente na camada de 0 – 0,10 m ( $\hat{y} = 6E-05**x^2 - 0,0145**x + 2,7582$  R<sup>2</sup> = 0,9828), uma vez que na camada de 0,10 – 0,20 m houve diminuição da MOS. A variação das espécies químicas de Zn foram citadas por Ellis e Knezek (1972), influenciados especialmente pelos ácidos húmicos.

Para o Zn ligados aos óxidos Mn e Fe amorfo também foram verificadas diminuição em função das doses de P aplicadas, diminuindo o Zn em ambas as camadas estudadas ligados ao óxido de Mn ( $\hat{y} = 8E-05**x^2 - 0,0196**x + 4,3112$  R<sup>2</sup> = 0,9084 para a camada de 0 – 0,10 m e  $\hat{y} = -0,0033*x + 3,041$  R<sup>2</sup> = 0,8055 para a camada de 0,10 – 0,20 m) e na camada de 0 – 0,10 m do Zn ligado ao óxido de Fe amorfo ( $\hat{y} = 0,0001*x^2 - 0,026*x + 4,9851$  R<sup>2</sup> = 0,7698). Não foram significativos os ajustes testados para o Zn ligados ao óxido de Fe cristalina e para o Zn residual.

Sabe-se que os óxidos de Fe e Mn adsorvem de forma específica uma quantidade considerável de Zn em solos intemperizados (Gadde e Laitinen, 1974), e que a presença do íon fosfato aumenta a adsorção de Zn por óxidos de Fe e Al (Stanton e Burger, 1967; 1970). Essa interação ocorre quando o Zn apresenta baixos teores no solo, o que é o caso de solos altamente intemperizados como os Latossolos.

Desta forma, podemos afirmar que as formas de Zn normalmente disponíveis para as plantas, que são as frações 1, 2, 3, 4 e 5 (Araujo e Nascimento, 2005), foram influenciadas negativamente pelo aumento da dose de P (Figura 3a), notadamente quando se compara as doses 0 e 30 kg ha<sup>-1</sup> de P2O5 com as demais doses, seja na combinação destas cinco frações, seja nas combinações de Zn trocável

(fração solúvel + fração adsorvida na superfície do colóide) ou na fração moderadamente trocável (matéria orgânica + óxido de Mn + óxido de Fe amorfo).

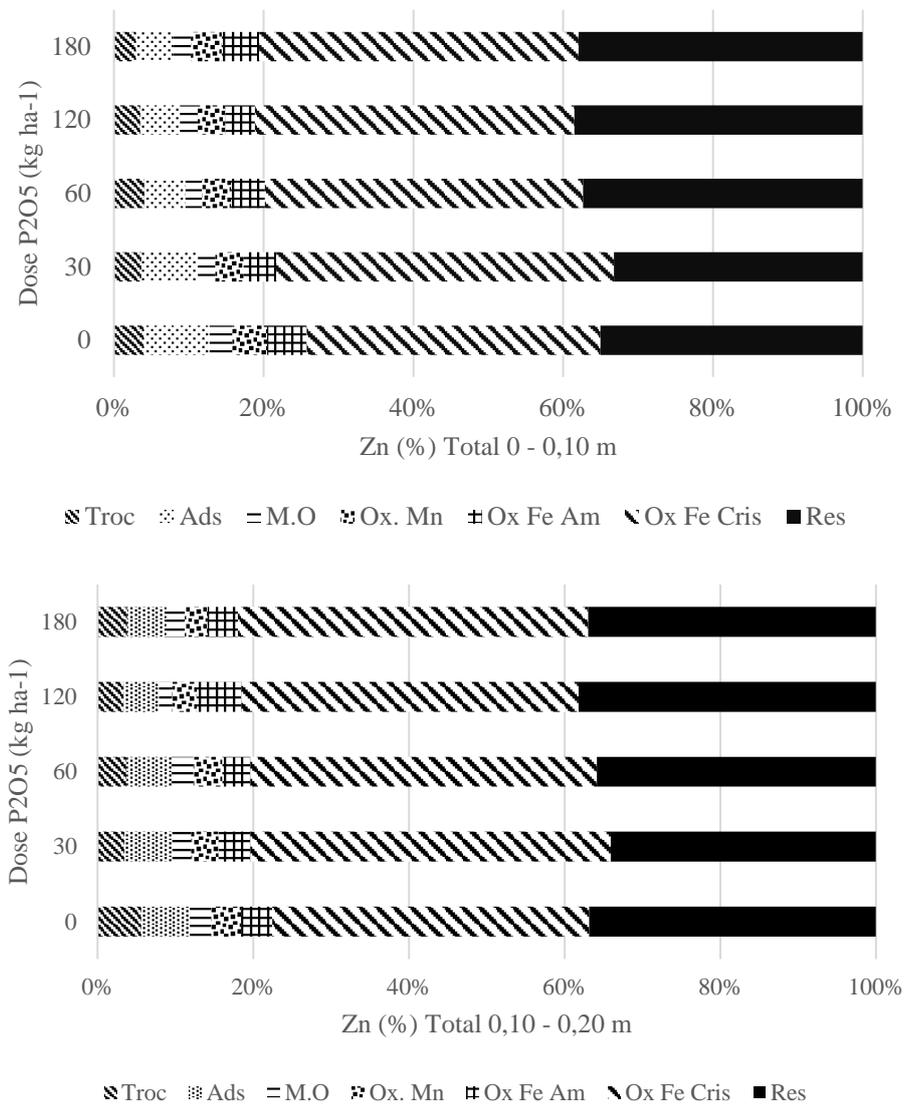


Figura 1. Distribuição de Zn nas frações de solo. Troc = solúvel ou trocável, Ads = adsorvido à superfície de colóides, M.O = ligado a matéria orgânica, Ox. Mn = ligado aos óxidos de Mn, Ox Fe Am = ligado aos óxidos de Fe amorfos, Ox Fe Cris = ligado aos óxidos de Fe cristalinos, Res = residual. (a) 0 – 0,10 m, (b) 0,10 – 0,20 m.

Este efeito foi menos pronunciado na camada de 0,10 – 0,20 m acarretou diminuição na concentração de Zn. Nesses casos, a adição de P aumentou a adsorção de Zn pelos óxidos de Fe cristalinos e a precipitação pela formação de fosfato de Zn.

As frações não-trocável de Zn (óxido de Fe cristalino + residual) não demonstrou alteração de seus valores em função das doses de P, e como estas frações constituem a maioria do Zn total (Figuras 1), o Zn total também não foi influenciado pelas doses de P.

A interação entre as doses de P e a concentração de Zn na matéria orgânica e na fração ligada aos óxidos de Fe amorfos para a profundidade de 0,10 – 0,20 m não foi significativa, bem como para as frações ligadas aos óxidos de Fe cristalinos e a fração Residual, nos quais as médias extraídas permaneceram entre 33,02 e 46,39 mg kg<sup>-1</sup> (óxidos de Fe cristalinos) e 26,92 e 34,45 mg kg<sup>-1</sup> (Residual). Para as respectivas frações e profundidades as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> não influenciaram a concentração de Zn..

## CONCLUSÃO

O zinco foi encontrado nas formas não-trocáveis (óxido de ferro cristalino + residual) em maior porcentagem no solo em comparação com as outras formas zinco estudadas. O aumento das doses de fósforo causa diminuição da concentração de zinco nas frações trocáveis (solúvel + adsorvido a superfície do colóide) e moderadamente trocáveis (matéria orgânica do solo + óxido de manganês + óxido de ferro amorfo). A matéria orgânica do solo influencia no teor de zinco e na disponibilidade de zinco.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, pela concessão da bolsa de mestrado ao segundo autor, e a Embrapa Agropecuária Oeste, na figura do Dr. Júlio César Salton, pela concessão da área experimental para retirar as amostras de solo deste estudo.

## REFERÊNCIAS

- Amaral, J.A.M.; Motchi, E.P.; Oliveira, H.O.; Carvalho Filho, A.C.; Naime, U.J.; Santos, R.D. Levantamento semidetalhado dos solos do Campo Experimental de Dourados da Embrapa Agropecuária Oeste, município de Dourados, MS. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2000.
- Araújo, J.C.T.; Nascimento, C.W.A. Redistribuição entre frações e teores disponíveis de zinco em solos incubados com lodo de esgoto. *R. Bras Ci Solo*. 2005;29:635-644.
- Chao, T.T.; Zhuo, L. Extraction techniques for selective dissolution of amorphous iron oxides from soil and sediments. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1983;47:225-232.
- Fietz, C.R.; Fisch, G.F. O clima da região de Dourados, MS. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; 2006.
- Gadde, R.R.; Laitinen, H.A. Studies of heavy metal adsorption by hydrous iron and manganese oxides. *Anal. Chem.* 1974;46:2022-2026.
- Hseu, Z.Y. Extractability and bioavailability of zinc over time in three tropical soils incubated with biosolids. *Chemosphere*. 2006;63:762-771.
- Inocêncio, M.F.; Resende, A.V.; Furtini Neto, A.E.; Veloso, M.P.; Ferraz, F.M.; Hickmann, C. Soybean response to zinc fertilization in soil with contents above critical level. *Pesq. Agropec. Bras.* 2012;47:1550-1554.
- Kutman, U.B.; Yildiz, B.; Ozturk, L.; Cakmak, I. Biofortification of durum wheat with through soil and foliar applications of Nitrogen. *Cereal Chem J.* 2011;87:1-9.
- Malavolta E. Manual de nutrição de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres; 2006.
- Mandal, B.; Mandal, L.N. Effect of phosphorus application on transformations of zinc fraction in soil and on the zinc nutrition of lowland rice. *Plant and Soil*. 1990;121:115-123.
- Marques, J.J.; Schulze, D.G.; Guri, N.; Mertzman, S.A. Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado soils. *Geoderma*. 2004;121:31-43.
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. London: Academic Press, 1995.
- Silva, M.A.G.; Muniz, A.S.; Noda, A.Y.; Marchetti, M.E.; Mata, J.D.V.; Lourente, E.R.P. Metodologias e eficiência de extratores para zinco, cobre, ferro e manganês. *Acta Sci Agron*. 2009;31:537-545.
- Silveira, M.L.A.; Alleoni, L.R.F.; Casagrande, J.C.; Camargo, O.A. Copper adsorption in oxidic soils after removal of organic matter and iron oxides. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 2002; 33:3581-3592.
- Silveira, M.L.A.; Alleoni, L.R.F.; O'Connor, G.A.; Chang, A.C. Heavy metal sequential extraction methods: a modification for tropical soils. *Chemosphere*. 2006;64:1929-1938.
- Sousa, D.M.G.; Lobato, E. Cerrado: correção do solo e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; 2004.
- Stanton, D.A.; Burger, R.T. Availability to plants of zinc sorbed by soil hydrous iron oxides. *Geoderma*. 1967;1:7-13.
- USEPA. United States of Environmental Protection Agency, EPA. Method 3050 B [internet].