



Núcleo de Meio Ambiente
Universidade Federal do Pará
Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá
Belém, Pará, Brasil
<https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas>

Talita Santana Matos

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
talitasmatos@gmail.com

Marcos Gervasio Pereira

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
mgervasiopereira01@gmail.com

Anderson Claiton Ferrari

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
anderson.rural@hotmail.com

Everaldo Zonta

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
ezonta@ufrj.br

ELEMENTOS-TRAÇO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS DE CULTIVO DE ERVA- MATE COM APLICAÇÃO DE DEJETO DE SUÍNOS

RESUMO: Com o objetivo de mensurar os efeitos da aplicação de dejetos de suíno na cultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), avaliou-se as alterações nos atributos do solo e nos teores de elementos-traço, suas correlações e os teores totais nas plantas. Foram coletadas amostras de solo e plantas em áreas com 45 e 35 anos de cultivo, em quatro profundidades, no município de Presidente Castelo Branco - SC, no período de janeiro de 2017. Verificou-se redução nos teores de macronutrientes e aumento da acidez do solo em comparação a área de mata. Os teores pseudototais de Cr, Pb e Ni foram influenciados pela aplicação do dejetos, apresentando valores superiores nas áreas cultivadas, com exceção do Cu e Cd que foram superiores na área de mata, fato este que pode ser atribuído ao material de origem dos solos. Entretanto, a aplicação de dejetos não aumentou os teores desses elementos no solo para níveis que atingissem o patamar de prevenção estabelecido pela legislação brasileira. A análise de componentes principais permitiu agrupar nos dois primeiros componentes mais de 50% da variância total para cada profundidade. A área de mata apresentou maior distância das demais áreas nas profundidades estudadas, demonstrando que o manejo alterou significativamente a qualidade do solo. Os teores totais de elementos-traço não variam com o tempo de aplicação do dejetos no solo, entretanto os teores de Cr, Pb, Ni e Zn se acima do limite considerado tolerável para a saúde humana e União Europeia.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de componentes principais, Metais pesados, Segurança alimentar.

Recebido em: 2019-12-29
Avaliado em: 2021-07-30
Aceito em: 2021-02-09

TRACE ELEMENTS AND SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES IN YERBA MATE CULTIVATED AREAS WITH USE OF PIG MANURE

ABSTRACT: This study deals within order to measure the effect of swine manure application on yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) crop and to evaluate consequent changes in soil attributes and trace element contents, the correlation between them and the total trace element contents in the plants. To do this, soil samples were collected at four depths in areas with 45 (A1) and 35 (A2) years of cultivation, in the municipality of Presidente Castello Branco - SC, in the period of January 2017. The chemical attributes, pseudototal and total levels of trace elements in the soil and in the plant were determined. A reduction in macronutrient levels and an increase in soil acidity compared to the forest area were clearly observed. In relation to the Cr, Pb e Ni content of trace, they were influenced by the application of manure and presenting higher values in the cultivated areas. Exception made for Cu and Cd, which presented significantly higher content in the forest area, these results can be attributed to the parent material of the soils. The application of manure did not increase the level of these elements in the soil to what is established by the Brazilian legislation. The ACP allowed to group in the first two components of the total variance considering the following depths: From the studied depths the native forest area showed a greater difference when compared to the other areas, which is a clear indication that the management significant altered the soil quality. The total level of trace elements found in plants was lower than those considered as normal, exception made for Cd and Pb levels that are above the tolerable limit considered by Anvisa and European Union.

KEYWORDS: Food safety, Heavy metals, Principal components analysis.

OLIGOELEMENTOS Y ATRIBUTOS QUÍMICOS DEL SUELO EN ÁREAS DE MATE CON EL USO DEL DESECHO DE CERDOS

RESUMEN: Para medir los efectos de la aplicación de estiércol porcino en el cultivo de yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), se evaluaron los cambios en los atributos del suelo y el contenido de oligoelementos, sus correlaciones y el contenido total de la planta. Se recolectaron muestras de suelo y plantas en áreas con 45 y 35 años de cultivo a cuatro profundidades, en la municipalidad de Presidente Castello Branco - SC no período de Enero, 2017. Hubo una reducción en el contenido de macronutrientes y un aumento en la acidez del suelo en comparación con el área forestal. Los contenidos pseudototales de Cr, Pb y Ni fueron influenciados por la aplicación de estiércol, presentando valores más altos en las áreas cultivadas, excepto que Cu y Cd fueron más altos en el área forestal, un hecho que puede

atribuirse al material fuente del suelo. Sin embargo, la aplicación de estiércol no aumentó los niveles de estos elementos en el suelo a niveles que alcanzaron el nivel de prevención establecido por la legislación brasileña. El PCA permitió agrupar en los dos primeros componentes más del 50% de la varianza total para cada profundidad. El área forestal presentó una mayor distancia de las otras áreas a las profundidades estudiadas, lo que demuestra que el manejo alteró significativamente la calidad del suelo. El contenido total de oligoelementos no varía con el tiempo de aplicación de los residuos en el suelo, sin embargo, los niveles de Cd y Pb en las plantas están por encima del límite considerado por Anvisa y la Unión Europea.

PALABRAS CLAVES: Análisis de componentes principales, Metales pesados, Seguridad alimentaria.

INTRODUÇÃO

O estado de Santa Catarina foi responsável por 12,88% da produção nacional de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em 2018, ou seja, produziu 121.037 toneladas de erva-mate folha verde (IBGE, 2018), ocupando o 3º lugar em produção sendo somente superado pelo Rio Grande do Sul e Paraná. A cultura apresenta grande importância econômica e social para os municípios produtores, sendo uma das atividades típicas realizadas em pequenas propriedades rurais.

Suas folhas e ramos finos após serem beneficiadas são consumidas como bebida estimulante preparadas por infusões (chás) quentes ou frias,

ou mesmo as folhas torradas. Também tem utilidade na indústria farmacêutica, cosméticos e alimentícia. A erva-mate é conhecida como uma planta rústica, desenvolvendo bem em solos de baixa fertilidade natural, o que reflete no modelo produção extrativista.

A produção de suínos também é uma atividade típica nessa região. Uma das práticas adotadas pelos produtores é a aplicação dos dejetos em áreas agrícolas, a fim de melhorar as características físicas e químicas dos solos.

A aplicação de dejetos de suíno é prática comum nas áreas produtivas de erva mate, visto que, representa uma grande fonte de macro e micronutrientes, sendo utilizado como

fertilizante orgânico e condicionador de solo. Entretanto, as rações oferecidas aos animais podem conter elementos-traço tóxicos, que geralmente estão associados às impurezas presentes nos concentrados mineral e vitamínicos usados como fonte de micronutrientes, o que possibilita a transferência destes elementos para o dejetos e posteriormente para o solo, devido à baixa taxa de assimilação destes pelos suínos (MATTIAS et al., 2010; GIROTTO et al., 2010).

Os elementos-traço incorporados ao solo por insumos agrícolas se acumulam, principalmente, na camada superficial em função da alta adsorção que ocorre especialmente em solos intemperizados, o que os tornam, potencialmente, disponíveis à absorção pelas plantas. Portanto, o manejo adequado do solo, o uso racional de insumos agrícolas e o monitoramento dos teores de elementos-traço contribuirá para a sustentabilidade agrícola e para a qualidade dos alimentos produzidos.

Contudo, é fundamental o conhecimento que a biodisponibilidade

dos compostos químicos depende também da especiação destes, não somente da sua concentração total. Outro fator de grande relevância são as propriedades e características do solo que definem o potencial de contaminação.

Desta forma, atentos à crescente preocupação com a qualidade dos alimentos e com a preservação e sustentabilidade do meio ambiente e dos sistemas produtivos, buscou-se identificar e avaliar as alterações nos atributos e nos teores pseudototais de elementos-traço no solo e suas inter-relações, assim como os teores totais nas plantas de erva-mate possibilitando estimar a qualidade dos produtos produzidos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na região do alto Uruguai Catarinense, município de Presidente Castello Branco - SC (27°13'17"S, 51°48'40"W) altitude 452m, no período de janeiro de 2017. O clima da região segundo a classificação de Köppen-Geiger é subtropical úmido (Cfa), com

temperatura média de 20,6°C e média anual de pluviosidade de 1711 mm (WREGE, et al., 2012).

Os dejetos apresentam uma variação em suas características em função da espécie animal, da idade do animal, dos fatores ambientais, alimentação, entre outros. Devido a variabilidade destas características ao longo do tempo da aplicação do

dejeito na área estudada (entre 35 e 45 anos), foram usados como referência os teores médios de nutrientes e elementos tóxicos encontrados no trabalho de Durigon e colaboradores (2002), que avaliaram os teores de metais tóxicos aplicados em área de pastagem natural por um período de 5 anos (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Concentração média de nutrientes aplicados ao solo mediante doses de esterco.

Esterco m ³ ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	C
kg m ⁻³					
	3,43	3,64	2,64	1,00	0,96	15,0

Fonte: Durigon et al. (2002).

Tabela 2. Teores de elementos- traço na matéria seca de dejeito de suínos.

Metais pesados	Zinco	Cobre	Cromo	Níquel	Manganês	Cádmio
mg kg ⁻¹					
	200	795	8,2	12	954	2,0

Fonte: Durigon et al. (2002).

Foram coletadas amostras de solo sob monocultivo de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) em duas áreas com 45 (Área 1 - A1) e 35 (Área 2 - A2) anos de cultivos consecutivos, além de uma área de mata nativa adjacente, utilizada como referência, com aproximadamente 0,5 ha. As práticas de

manejo consistem na aplicação intensiva de dejeito animal em superfície e sem incorporação, oriunda da produção de suínos da própria propriedade (propriedade familiar), em taxa anual de 400 m³ ha⁻¹, desde a implantação, sendo a aplicação realizada em intervalo de 90 dias,

controle de invasoras com roçadas e aplicação de herbicidas, a área de mata nativa de referência foi avaliada representando o solo em seu estado natural, sem interferência antrópica do manejo. O Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004), também foi consultado para melhor avaliação.

O solo das áreas foi classificado como Cambissolo Háplico. Em cada uma das áreas foi delimitada uma gleba de aproximadamente 1ha, sendo coletadas 4 amostras compostas em quatro profundidades (0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm) em zigue-zague, sendo 75 % das amostras coletadas nas entrelinhas e 25 % nas linhas de plantio.

As amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas (2 mm de diâmetro) e analisadas quanto: pH (H₂O), Ca⁺², Mg⁺², Al⁺³, Na⁺, K⁺, H+Al, P, carbono orgânico e teores de areia, silte e argila, segundo o Manual de Métodos de Análise de Solo (DONAGEMMA et al., 2011). Os teores de nitrogênio foram determinados, de forma direta por combustão total, através do método de Dumas em

equipamento RapidN Cube (Elementar®). A determinação do carbono orgânico total (COT) foi realizada pelo método de oxidação por via úmida, com aquecimento externo, proposto por Yeomans e Bremner (1988). Também foram coletadas amostras de folhas e ramos finos (≤ 10 mm de espessura). Estas foram secas em estufa a 60°C moídas em moinho analítico IKA modelo A-11.

Para a determinação dos teores pseudototais de elementos-traço nos solos e totais nas plantas, foi utilizado o método SW-846 3051 A (USEPA, 2007). As concentrações nos extratos foram determinadas por espectrometria de absorção atômica (Varian SpectrAA 55B). Para validação da análise de planta e solo, foram utilizados o material de referência padrão SRM1573a, Tomato leaves e SRM 2709a San Joaquin Soil.

As análises dos dados consistiram na análise de variância do delineamento inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas, utilizando o pacote Exp Des.pt (FERREIRA et al., 2013), com a

significância do teste F e teste de médias (teste de Scott-Knott e Scheffé) ajustada para 5%; e análise de componentes principais (ACP), obtida por correlação utilizando o pacote ggplot2 (WICKHAM, 2009). Todos os procedimentos estatísticos foram realizados no software R (R Core Team, 2016). Para a análise de variância foram checadas as pressuposições e quando não atendidas foi adotada a transformação Box-Cox.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de dejetos de origem animal (suínos) promoveu redução do pH das áreas cultivadas. Estes oscilaram entre 4,38 e 5,3 (Tabela 3), considerados baixos, segundo o Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004).

Na região, baixos valores de pH são comumente observados, pois os solos são naturalmente ácidos, sendo verificados maiores valores de acidez nos horizontes superficiais em função dos mais elevados teores de matéria

orgânica. A decomposição da matéria orgânica pode promover a acidificação natural do solo nestes ambientes, visto que pode produzir a formação de substâncias húmicas e liberação de CO_2 , conduzindo a acidificação da rizosfera (SILVA JÚNIOR et al., 2012).

Os valores de acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$) nas áreas avaliadas variaram de 7,24-10,95 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 1), não sendo apresentadas diferenças significativas entre as áreas. Tais condições naturais, de modo geral, já favorecem a solubilização e mobilização de elementos-traço na solução do solo.

Os teores de Al^{+3} trocáveis não diferiram entre as áreas e as profundidades. Sendo estes resultados discordantes do padrão observado por Zambrosi et al. (2007) que verificaram que em profundidade, ocorreu a redução do pH e aumento dos teores de Al^{+3} .

Tabela 3. Valores médios dos atributos químicos mensurados em amostras de solo de áreas de produção de erva-mate (A1 e A2) e área de referência (M), e profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm.

Área	pH		Ca		Mg		Na	
	-----1:2,5-----		-----cmol _c dm ⁻³ -----		-----cmol _c dm ⁻³ -----		-----	
A1	4,38 b	±0,06	1,22 c	±0,11	0,70 ns	±0,08	0,01 ns	±0,00
A2	5,06 a	±0,06	2,64 b	±0,24	1,52 ns	±0,26	0,01 ns	±0,00
M	5,31 a	±0,08	4,61 a	±0,40	1,97 ns	±0,35	0,01 ns	±0,00
Profundidade(cm)								
0-5	4,95 ns	±0,13	3,49 a	±0,59	1,77 a	±0,33	0,01 ns	±0,00
5-10	4,88 ns	±0,14	3,02 a	±0,56	1,50 a	±0,36	0,01 ns	±0,00
10-20	4,90 ns	±0,14	2,48 b	±0,42	1,44 a	±0,33	0,01 ns	±0,00
20-40	4,94 ns	±0,15	2,30 b	±0,46	0,88 b	±0,27	0,01 ns	±0,00
Área	H+Al		Al		P			
	-----cmol _c dm ⁻³ -----		-----		-----mg dm ⁻³ -----			
A1	10,9 ns	±1,07	1,06 ns	±0,22	19,41 ns		±5,18	
A2	7,9 ns	±0,55	0,28 ns	±0,03	10,55 ns		±1,66	
M	7,2 ns	±0,87	0,58 ns	±0,21	21,56 ns		±4,28	
Profundidade(cm)								
0-5	7,91 ns	±1,04	0,62 ns	±0,26	29,10 a		±6,81	
5-10	9,65 ns	±0,94	0,50 ns	±0,16	19,95 b		±4,39	
10-20	9,08 ns	±1,30	0,59 ns	±0,20	11,71 c		±2,11	
20-40	8,18 ns	±1,06	0,85 ns	±0,25	7,94 c		±1,02	

* Letras iguais (nas colunas) não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de Ca²⁺ diferiram entre todas as áreas avaliadas, sendo os maiores na área M e os menores na A1, havendo redução em profundidade. A aplicação de dejetos não aumentou os teores de Ca²⁺ trocável do solo, padrão distinto do verificado por Scherer et al. (2010) que observaram aumento na concentração deste elemento até 20 cm de profundidade, após aplicações repetidas de doses de até 100 m³ ha⁻¹

de dejetos de suínos. Os teores de Mg²⁺ também não apresentaram diferenças entre as áreas, tampouco em profundidade.

Para os teores de P não foram verificadas diferenças significativas entre as áreas cultivadas e a área de mata, sendo que nesta última foram verificados os maiores valores médios, entretanto, de maneira geral, foram quantificados teores superiores nas camadas mais superficiais do solo. O

acúmulo de P na superfície dos solos é um padrão verificado em áreas que receberam aplicação de dejetos de suínos (SCHERER et al., 2010), dado que a rocha fosfatada é a principal fonte de P usada nos complexos minerais utilizados nas rações oferecidas a estes animais.

As concentrações também são influenciadas pelos teores encontrados nos grãos de cereais e sementes de oleaginosos utilizados nas formulações das rações. O fósforo está ligado organicamente ao ácido fítico (éster ácido hexafosfórico do inositol), e se encontra primeiramente como fitina, podendo formar sais insolúveis com o íon cálcio. O fósforo não se encontra totalmente disponível para animais monogástricos, sendo que sua disponibilidade varia de acordo com a fonte vegetal, em razão da ocorrência natural de enzimas fitase, do pH do trato gastrintestinal e da relação Ca:P da dieta. Dessa forma, o P não é aproveitado pelos animais, sendo descartado no dejetos.

Avaliando, os teores máximos de P disponível, obtidos pelo extrator de

Mehlich-1, que um solo pode apresentar sem que haja alto risco da transferência de P para as águas superficiais, Gatiboni, et al. (2015) estabeleceram um modelo para solos do Estado de Santa Catarina, em que o valor limite pode ser obtido pela seguinte expressão: $P\text{-limiar} = 40 + \text{argila}$, sendo o conteúdo de argila expresso em percentual. Com base na equação proposta, para esse estudo os valores de P-limiar para a camada de (0-20cm) para área de mata (referência) foi de $77,3 \text{ mg L}^{-1}$ ($37,3+40$), para a A1 $82,8 \text{ mg L}^{-1}$ ($42,8+40$) e A2, $95,9 \text{ mg L}^{-1}$ ($55,9+40$). Dessa forma verifica-se que o P não apresenta risco de ser transferido para as águas superficiais.

Para o K também não foram observadas diferenças (Tabela 4). As áreas cultivadas (A1 e A2) foram aquelas em que se verificaram os maiores teores de K trocável nas camadas superiores do solo, sugerindo que o manejo tenha condicionado esse padrão.

Tabela 4. Teores de nitrogênio (N) carbono orgânico (C-org) e potássio (K), quantificados nas duas áreas de cultivo de erva-mate (A1 e A2 com 45 e 35 anos de cultivo, respectivamente), com aplicação de dejetos de suínos e uma área de mata nativa (M).

Áreas	Profundidades (cm)			
	0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 40
N (g kg ⁻¹)				
A1	4,68 bA	3,33 bB	3,92 nsA	3,13 nsB
A2	7,68 aA	5,58 aB	4,57 nsB	4,18 nsB
M	8,45 aA	5,65 aB	4,25 nsC	3,48 nsC
C-org (g kg ⁻¹)				
A1	49,50 nsA	42,68 nsB	40,02 aB	22,84 nsC
A2	51,75 nsA	39,68 nsB	31,63 bC	29,38 nsC
M	57,06 nsA	44,72 nsB	29,59 bC	21,61 nsD
K (cmol _c dm ⁻³)				
A1	0,26 nsA	0,13 nsB	0,13 nsB	0,11 nsB
A2	0,22 nsA	0,10 nsB	0,09 nsB	0,04 nsC
M	0,10 nsNS	0,13 nsNS	0,10 nsNS	0,07 nsNS

* Letras iguais minúsculas (colunas) e maiúsculas (linhas) não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os teores de N apresentaram interação entre as áreas e as profundidades, sendo observados os maiores valores nas áreas M e A2 nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. Já o Na⁺ não apresentou diferenças significativas entre as áreas, sendo os teores considerados baixos, variando de 0 a 0,01 cmol_c dm⁻³.

Os teores de carbono orgânico variaram entre 21,6 a 57,0 g kg⁻¹. Entre as áreas, estes variaram apenas na profundidade de 10-20 cm. Para todas as áreas houve redução nas camadas mais profundas. Essa redução ocorre

possivelmente devido a diminuição do aporte de material orgânico em profundidade. Denardin et al. (2014), também estudando cultivo de erva-mate observaram o mesmo padrão.

A manutenção dos teores de matéria orgânica nas áreas cultivadas comparativamente à área de mata pode ser atribuída à adição de grande quantidade de material orgânico via dejetos. Entretanto, os maiores teores de COT foram observados na área de mata (M), Denardin et al. (2014) justificam tais resultados devido a maior densidade e diversidade de

indivíduos, maior porte das plantas, além de idade mais avançada, o que contribui para maior biomassa e adição de material orgânico no solo. Os autores atribuem a diminuição dos teores de carbono nas áreas de erva-mate devido ao baixo aporte de resíduos vegetais decorrentes da retirada de galhos e folhas da erva-mate, bem como pelo contínuo controle mecânico das plantas daninhas (sistema convencional).

Assim, as perdas de carbono ocorrem não só pela diminuição dos processos biológicos, mas também pela erosão. De maneira geral estes resultados demonstram que o manejo provavelmente pode estar provocando a redução da disponibilidade de alguns macronutrientes e aumento da acidez do solo, o que indica alteração dos atributos químicos, em comparação a área de mata nativa. Entretanto, tais modificações podem ser decorrentes da possível baixa concentração de macronutrientes no dejetos aplicado,

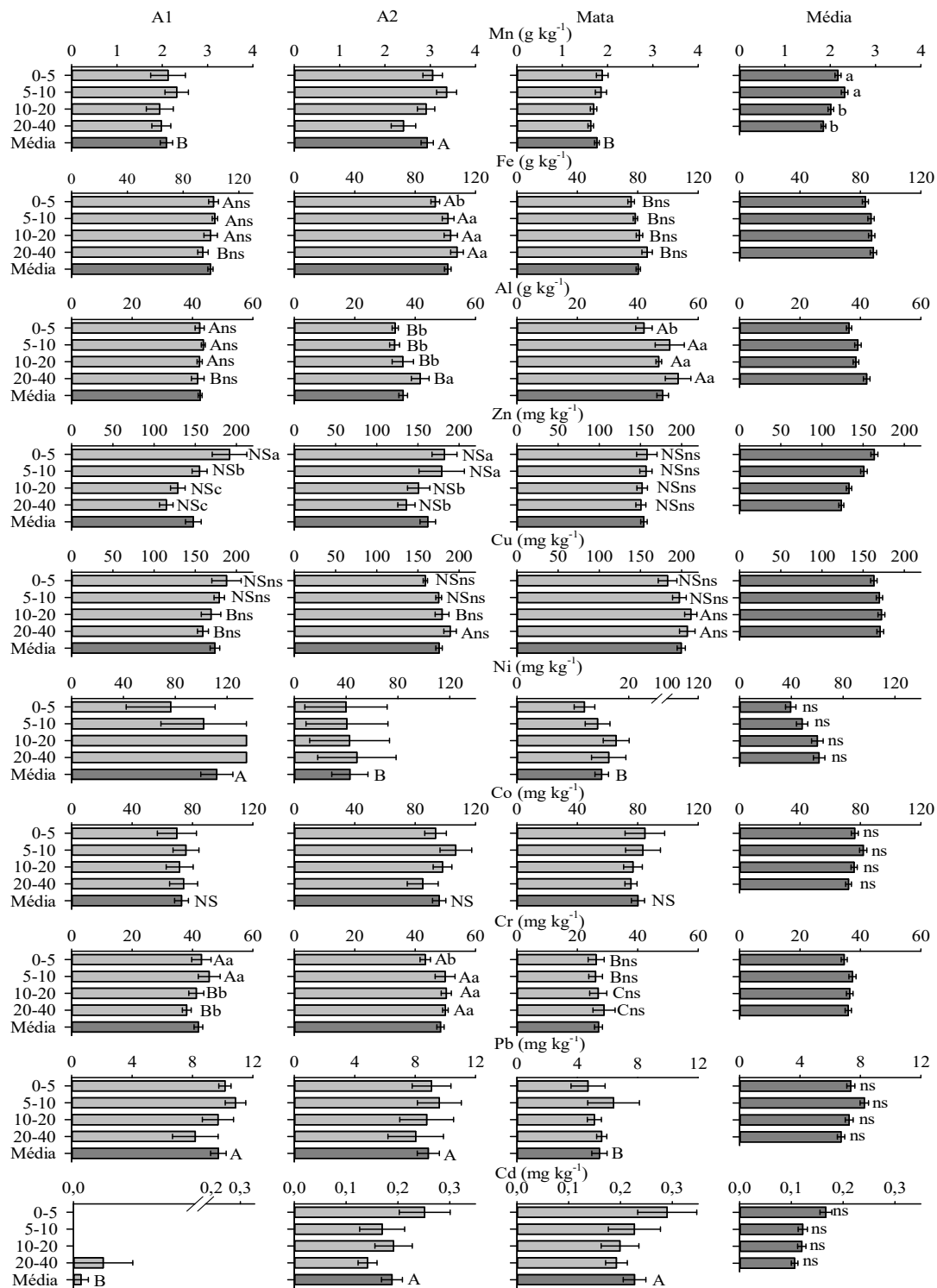
assim como o modelo de cultivo intensivo utilizado na área.

Em relação aos teores pseudototais de elementos-traço avaliados no solo, estes não foram influenciados pela aplicação de dejetos (Figura 1).

Os teores totais de Fe, Al, Zn, Cu e Cr apresentaram interação entre as áreas e as profundidades. Os teores de Fe e Al total podem ter sua variação explicada pela variabilidade natural existente entre as áreas. Os maiores teores de Zn foram quantificados nas camadas superficiais das áreas cultivadas.

Os resultados corroboram os encontrados por Veiga et al. (2012), avaliando aplicação de $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de dejetos líquido de suíno, em sistema de plantio direto por nove anos consecutivos. Os autores verificaram teores superiores de Cr nas áreas cultivadas, sendo os maiores nas camadas superficiais.

Figura 1. Teores pseudototais de elementos-traço em solos sob cultivo de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) com aplicação de dejetos de suíno: A1(45 anos) e A2(35 anos) e uma área de mata nativa (M).



Médias seguidas de mesma letra minúscula (vertical) e maiúscula (horizontal) não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%. Barras representam o erro padrão da média. Fonte: Elaborado pelo autor.

Como a aplicação do dejetos de suíno foi superficial, sem incorporação no solo, o incremento na concentração desses elementos-traço nas camadas mais profundas sugere a mobilização desses no solo. Essa mobilidade da fase sólida para a líquida do solo pode ser explicada pelos atributos do solo e pela natureza química dos metais que interferem nas reações químicas que acontecem no solo. Mudanças nas condições ambientais, com destaque para a diminuição do pH, quantidade e características dos ligantes orgânicos, bem como pela alta eletronegatividade e a relação carga/raio iônico, características dos elementos-traço de transição, que conferem a esses elementos uma alta afinidade pelos grupos funcionais presentes no dejetos, em especial as carboxilas (SILVA, 2015), podendo vir a contribuir para uma possível contaminação das plantas cultivadas nesses solos.

Ni e Pb apresentaram padrão similar com incrementos significativos provavelmente decorrentes da

aplicação de dejetos de suínos, já que as maiores médias foram observadas nas áreas manejadas. Especialmente na área A1, observa-se teores elevados de Ni nas profundidades de 10-20 e 20-40 cm, coincidindo com a camada de maior teor de carbono orgânico para a mesma área, sugerindo algum mecanismo de transporte do elemento associado à matéria orgânica. Além do aporte, uma possível mobilização dos elementos adsorvidos no solo pode também ter contribuído para o aumento da concentração nessas profundidades. Em trabalho realizado por Silva (2015) foi observado padrão similar desses elementos com uso de dejetos de suínos em Nitossolo Vermelho em Santa Catarina.

O Pb não é utilizado nos complexos minerais empregado nas rações por não exercer nenhuma função fisiológica nos animais, o que não justificaria a presença deste no dejetos. Porém, a rocha fosfatada, uma das principais fontes de P usada nos complexos minerais para a fabricação de rações para suínos, pode conter

esse elemento associado, dada a diversidade de composição dessas rochas.

Quanto aos teores de Cd, estes foram superiores na área M e A2, o que pode ser atribuído ao material de origem deste solo, caracterizado por rochas de caráter básico que podem atuar como fonte desses cátions, já que a magnitude dos valores é pequena e o elemento foi detectado em níveis inferiores na A1, não parecendo ser proveniente do manejo.

Todavia, os teores encontrados nas áreas para todos os elementos são inferiores as concentrações máximas permitidas pela legislação brasileira (CONAMA, 2009). A aplicação de dejetos não aumentou os teores desses elementos-traço no solo para níveis que atingissem o patamar de prevenção estabelecido pela resolução do CONAMA 420.

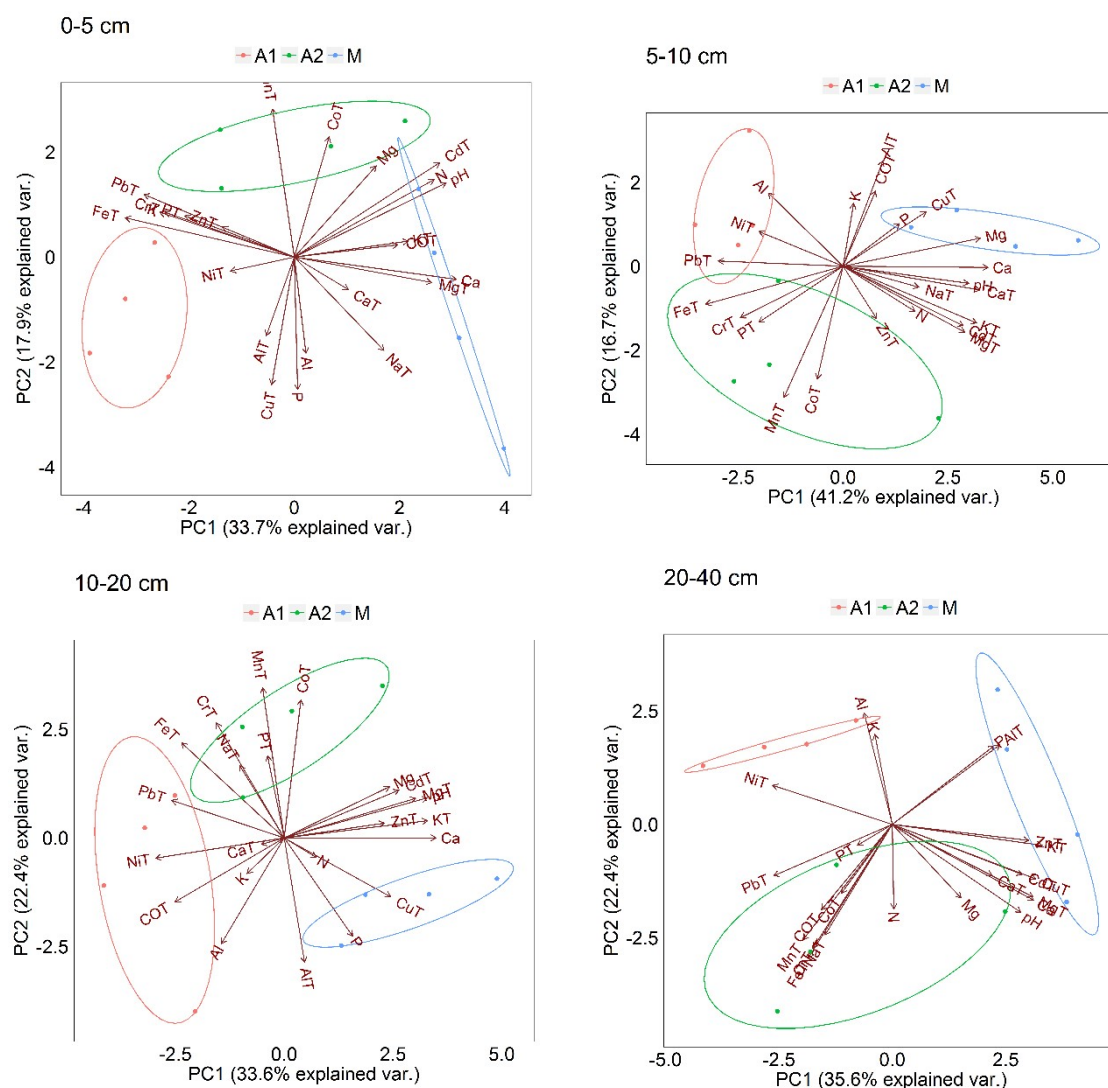
De acordo com Hugen (2010) os resultados na determinação de valores orientadores para o Estado de Santa Catarina demonstraram forte influência da litologia na distribuição

desses elementos, sobretudo em relação às rochas ígneas extrusivas básicas de larga ocorrência no Estado.

Foi realizada análise de componentes principais (ACP) obtidos por correlação de atributos químicos e teores pseudototais de metais nos solos com a finalidade de identificar as principais variáveis que mais discriminam e diferenciam as áreas avaliadas. Para tal, utilizaram-se as duas primeiras componentes principais, para representar o poder discriminatório dos atributos do solo, em cada ambiente estudado.

A ACP realizada para cada uma das profundidades permitiu agrupar nos dois primeiros componentes principais (CPs) 51,6, 57,9, 56 e 58% da variância total para as profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm respectivamente. A separação dos pontos obtidos para cada uma das áreas, em um gráfico biplot representados pelos dois primeiros CPs, permitiu visualizar as semelhanças e diferenças entre as áreas com base nas variáveis analisadas (Figura 2).

Figura 2. Componentes principais obtidos por correlação de atributos químicos e teores pseudototais de metais em solos com diferentes manejos, nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A área de mata nativa, apresentou maior distância das demais em todas as profundidades estudadas, demonstrando que o manejo vem alterando significativamente os atributos do solo.

As variáveis mais fortemente relacionadas com as áreas estudadas, mantiveram padrão semelhante em todas as profundidades. As mais fortemente relacionadas com a área de mata foram pH, N, Ca^{+2} , MgT, KT, COT e CdT, corroborando os

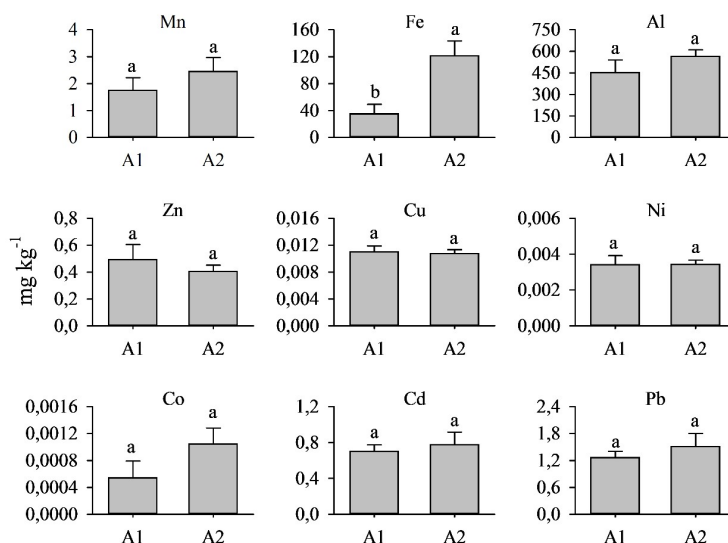
resultados anteriormente apresentados.

A área A1 apresentou como variáveis os teores de Al^{+3} trocável, NiT e PbT, demonstrando que o maior tempo de aplicação do dejetos de suínos está colaborando para o aumento dos teores destes elementos no solo. Entretanto, devemos ressaltar que mesmo após 45 anos de cultivo

intensivo a utilização dos dejetos não elevou os teores dos elementos-traços para níveis acima dos preconizados pela legislação.

Já a área A2 se estabelece como uma área de transição entre a área de mata e a área A1, em que as variáveis que mais fortemente estão relacionadas a esta são MnT, COT, Mg, FeT, CrT, PT, ZnT, NaT (Figura 3).

Figura 3. Teores totais de elementos-traço em plantas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) com aplicação de dejetos de suíno: A1(45 anos) e A2(35 anos).



Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Scheffé a 5%. Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação aos teores encontrados nas plantas observa-se que não apresentaram diferenças estatísticas entre as plantas cultivadas nas áreas

A1 e A2, com exceção de Fe que foi superior na A2.

Comparados os teores com as classes de contaminação estabelecidas através do limite considerado tolerável

pela ANVISA (2013) e União Europeia (2006) para o teor de elementos-traço na parte comercial da erva-mate, os teores são superiores aos estabelecidos para Cd e Pb.

A presença de elementos contaminantes em plantas ocorre, geralmente, devido a contaminação do solo ou também via teores naturais de solos associados a pH baixo. Porém, pouco se sabe sobre a contaminação química de chás de ervas, principalmente sobre elementos tóxicos.

A absorção de Cd e Pb, é principalmente regulado pelo pH, pela troca de cátions dos solos e pelo tamanho das partículas, bem como sua exsudação e outras características físico-químicas (ROMEIRO et al., 2007). As raízes são capazes de acumular o Pb em quantidades significativas. Algumas plantas revelam grande capacidade de absorver Cd e translocar Pb para a parte aérea (BIEGO et al., 1998).

Uma estratégia para diminuir os teores e os efeitos do elemento Cd nas plantas é aumentar a

disponibilidade nutrientes no solo, que poderá promover uma competição por adsorção dos íons na solução do solo. Adicionando cálcio, haverá um aumento do pH do solo e ainda uma competição entre o Cd no complexo de troca.

Os resultados encontrados neste estudo, despertam grande preocupação, visto que, o consumo das plantas com níveis elevados de Cd e Pb pode elevar riscos de ocorrência de neurotoxicidade, hepatotoxicidade e nefrotoxicidade em seres humanos. Todavia, é fundamental ter conhecimento que a biodisponibilidade dos compostos químicos depende também de sua especiação, da forma como o alimento é ingerido e não somente da sua concentração total. O efeito tóxico para todas as formas de vidas é dependente da dose e da forma química que se encontra o elemento. Entretanto, alguns destes metais tóxicos quando atingem o organismo, interagem com este, podendo ser eliminado sem a produção de qualquer efeito.

CONCLUSÃO

As alterações nos atributos e nos teores de elementos-traço do solo foram pouco significativas, evidenciando que o manejo utilizado não está influenciando a degradação dos solos cultivados.

As plantas de erva-mate apresentaram teores de Cd e Pb na parte comercial acima do limite máximo tolerável, podendo promover a entrada destes elementos na cadeia trófica e assim gerando risco à saúde humana.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução - RDC Nº 42, de 29 de agosto de 2013. Diário Oficial da União. Seção 1. Brasília. Nº 168, sexta-feira, 30 de agosto de 2013.
- BIEGO, G. H.; JOYEUX, M.; HARTEMANN, P.; DEBRY, G. Daily intake of essential minerals and metallic micropollutants from foods in France. **Science of Total Environment**, v. 217, p. 27-6, 1998.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n. 420, de 28 de janeiro de 2009. Brasília, 16 p. 2009.
- DENARDIN, R. B. D.; MATTIAS, J. L.; WILDNER, L. P.; NESI, C. N.; SORDI, A.; KOLLING, D. F.; BUSNELLO, F. J.; CERUTTI, T. Estoque de carbono no solo sob diferentes formações florestais, Chapecó – SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, p. 59-69, 2014.
- DONAGEMMA; G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA J. H. M (Org). **Manual de métodos de análise do solo**. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 230p. 2011.
- DURIGON, R. Produção de forragem em pastagem natural com uso de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 983-992, 2002.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt: Experimental Designs package** (Portuguese). *R package*. version 1.1.2. 2013.
- GATIBONI, L. C.; SMYTH, T.J.; SCHMITT, D. E.; CASSOL, P. C.; OLIVEIRA, C. M. B. Soil phosphorus thresholds in evaluating risk of environmental transfer to surface waters in Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1225-1234, 2015.
- GIROTTO, E.; CARLOS ALBERTO CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; SANTOS, D. R.; SILVA, L. S.; LOURENZI, R.; LORENSINI, F.; VIEIRA, R. C. B.; SCHMATZ, R. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 955-965, 2010.

- HUGEN, C.; MIQUELLUTI, D. J.; CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, J. A.; FERREIRA, E. R. C.; POZZAN, M. Teores de Cu e Zn em perfis de solos de diferentes litologias em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 622–628, 2013.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (SIDRA), 2018**. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2018>. Acesso: 15 jun. 2020.
- MATTIAS, J. L.; CERETTA, C. A.; NESI, C. N.; GIROTTO, E.; TRENTIN, E. E.; LOURENZI, C. R.; VIEIRA, R. C. B. V. Copper, zinc and manganese in soils of two watersheds in Santa Catarina with intensive use of pig slurry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 445-1454, 2010.
- R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2016.
- ROMEIRO, S.; LAGÔA, A. M. A.; FURLANI, P. R.; ABREU, C. A.; PEREIRA, B. F. F. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de *Canavalia ensiformes* L. **Bragantia**, v. 66, p.327-334, 2007.
- SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1375-83. 2010.
- SILVA JUNIOR, C. A.; BOECHAT, C. L.; CARVALHO, L. A. Atributos químicos do solo sob conversão de floresta Amazônica para diferentes sistemas na região Norte do Pará, Brasil. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 4, p. 566-572, 2012.
- SILVA, J. A. M. F. **Metais pesados em Nitossolo Vermelho Distrófico fertilizado com dejetos líquido de suínos, sob manejos de fitomassa, em Campos Novos – SC**. Seropédica, 2015. 39f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2015.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). **Manual de Adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS, 2004.
- UNIÃO EUROPEIA. Teores máximos de certos contaminantes presentes nos gêneros alimentícios. Regulamento (CE) nº 1881/2006 da comissão de 19 de dezembro de 2006.
- USEPA. **Method 3051A: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils**. 2007. Disponível em: <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2021.
- VEIGA, M.; PANDOLFO, C.M.; JUNIOR, A.A.B. Zinc and copper in the soil and in the crop biomass after nine years of the use of nutrient sources associated to soil management systems in a Hapludox. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 25, 2012.

WICKHAM, H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag. New York, 2009.

WREGE, M. S.; STEINMENTZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da região Sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. 2ª Edição. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications soil science plant analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 110-117, 2007.