

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SERGIO WALACE BOUSFIELD

SATURAÇÃO DE FÓSFORO E TEORES DE COBRE E ZINCO NO SOLO EM PLANTIO
DIRETO COM APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO SUÍNO

CURITIBA

2018

SERGIO WALACE BOUSFIELD

SATURAÇÃO DE FÓSFORO E TEORES DE COBRE E ZINCO NO SOLO EM PLANTIO
DIRETO COM APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO SUÍNO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade
Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do
título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador(a): Profa. Dra. Nerilde Favaretto

Co-orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Vargas Motta

CURITIBA

2018

Bousfield, Sergio Wallace
B777s Saturação de fósforo e teores de cobre e zinco no solo em
plântio direto com aplicação de dejetos líquido suíno / Sergio
Wallace Bousfield. - Curitiba, 2018.
31 p.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná.
Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo.
Orientadora: Nerilde Favaretto
Coorientador: Antônio Carlos Vargas Motta

1. Adubação orgânica. 2. Solos - Teor de fósforo. 3. Solos -
Teor de cobre. 4. Solos - Teor de zinco. 5. Metais pesados. 6.
Suinocultura - dejetos. I. Favaretto, Nerilde. II. Motta, Antônio
Carlos Vargas. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.

CDU 636.4:631.8



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS DO SOLO

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **SERGIO WALACE BOUSFIELD** intitulada: **SATURAÇÃO DE FÓSFORO E TEORES DE COBRE E ZINCO NO SOLO EM PLANTIO DIRETO COM APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO SUÍNO**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 30 de Julho de 2018.

NERILDE FAVARETTO

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

VOLNEI PAULETTI

Avaliador Interno (UFPR)

GABRIEL BARTH

Avaliador Externo (FUNDABC)

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e saúde.

Agradeço aos meus pais, Wallace (*in memoriam*) e Maria Madalena Bousfield pelos ensinamentos de caráter e respeito ao próximo.

A minha esposa Claudia, pelo apoio nos momentos difíceis, e aos meus filhos Natália e Rafael pela alegria e amor a eles.

Aos meus sogros, Marino e Lourdes Dunzer, pela ajuda quando eu mais precisava.

A professora Nerilde pelos conhecimentos transmitidos durante este período.

As funcionárias Maria, Fabiana e Carla pelo auxílio nas análises realizadas.

A UFPR e Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade em realizar o curso.

RESUMO

A suinocultura é uma atividade que se destaca na região sul do Brasil, gerando grande volume de dejetos, sendo estes aplicados em áreas agrícolas como importante fonte de nutrientes, mas em excesso podem causar dano ambiental. Este trabalho tem como objetivo estabelecer um limite crítico ambiental de fósforo a partir do grau de saturação de fósforo no solo e avaliar os teores de Cu e Zn com aplicação de dejetos líquidos suíno em plantio direto. O experimento foi conduzido por três anos (2010 a 2013) em um Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico de textura franco argilo-arenosa em plantio direto, com rotação de culturas de milho e soja no verão e trigo e aveia branca no inverno. O delineamento experimental foi em blocos com parcelas subdivididas com quatro doses de dejetos líquidos suíno (0, 100, 200, 300 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) nas subparcelas e três doses de adubação mineral (0, 50 e 100% da dose recomendada para a cultura) nas parcelas. Em abril de 2013 foi realizada a coleta de solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm para análise de fósforo, cobre e zinco total e disponível no solo. O grau de saturação de fósforo foi calculado considerando a capacidade de adsorção de fósforo estimada pelo teor de ferro e alumínio extraídos por Mehlich-1. As concentrações de fósforo, cobre e zinco no solo aumentaram com as doses de dejetos, principalmente na camada de 0-10 cm. O grau de saturação de fósforo no solo correspondente ao “change point” foi de 14,9% na profundidade de 0-10 cm e 8,6% na profundidade de 0-20 cm para fósforo extraído com água. Para o fósforo extraído com CaCl₂ os valores de “change point” foram de 18,7% na profundidade de 0-10 cm e de 8,8% para a profundidade de 0-20 cm. Recomenda-se como limite crítico ambiental de fósforo o menor valor obtido de “change point”, o que corresponde a 73 mg kg⁻¹ de P Mehlich-1 na profundidade de 0-10 cm e 43 mg kg⁻¹ de P Mehlich-1 na profundidade de 0-20 cm.

Palavras-chave: Adubação orgânica. Grau de saturação de fósforo. Limite crítico ambiental. Metais pesados.

ABSTRACT

Swine production is an important activity in the southern region of Brazil, generating a large volume of waste, being applied in agricultural areas as an important source of nutrients, but in excess can cause environmental problem. This study aims to establish a critical environmental limit of phosphorus from the degree of phosphorus saturation in the soil and to evaluate Cu and Zn contents with application of swine liquid manure in no-till. The experiment was conducted for three years (2010 to 2013) in a Latosol under no-till, with rotation of corn and soybean crops in summer and wheat and white oats in winter. The experimental design was in blocks with split plots with four doses of swine liquid manure (0, 100, 200, 300 m³ ha⁻¹ year⁻¹) in the subplots and three doses of mineral fertilization (0, 50 and 100% of the recommended dose for the crop) in the plots. In April of 2013 soil samples were taken at depths of 0-10 and 10-20 cm for analysis of total and plant available phosphorus, copper and zinc. The degree of phosphorus saturation was calculated considering the adsorption capacity of phosphorus estimated by the iron and aluminum content extracted by Mehlich-1. The concentrations of phosphorus, copper and zinc in the soil increased with the doses of manure, mainly in the 0-10 cm layer. The degree of phosphorus saturation in the soil corresponding to the change point was 14.9% in the depth of 0-10 cm and 8.6% in the depth of 0-20 cm for phosphorus extracted with water. For phosphorus extracted with CaCl₂, the change point was 18.7% for the 0-10 cm depth and 8.8% for 0-20 cm depth. It is recommended as a critical environmental limit of phosphorus the lowest value of change point, which corresponds to 73 mg kg⁻¹ of P Mehlich-1 for the depth of 0-10 cm and 43 mg kg⁻¹ of P Mehlich-1 for the depth of 0-20 cm.

Key words: Organic fertilization. Degree of phosphorus saturation. Environmental critical limit. Heavy metals.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
2.1 ÁREA EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	10
2.2 ANÁLISE DE SOLO.....	14
2.3 GRAU DE SATURAÇÃO POR FÓSFORO E “CHANGE POINT”.....	14
2.4 LIMITE CRÍTICO AMBIENTAL.....	15
2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	15
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
3.1 FÓSFORO NO SOLO.....	15
3.2 COBRE E ZINCO NO SOLO.....	17
3.3 RELAÇÃO ENTRE GSP E P MEHLICH.....	21
3.4 CHANGE POINT.....	21
3.5 LIMITE CRÍTICO AMBIENTAL.....	25
4. CONCLUSÕES.....	26
REFERÊNCIAS.....	27

1 INTRODUÇÃO

A suinocultura na região Sul do Brasil tem-se destacado como uma alternativa de renda nas pequenas propriedades com uso predominante de mão de obra familiar. Os avanços tecnológicos e a grande especialização do setor suinícola, com a integração vertical de um enorme número de suinocultores ligados a um reduzido número de empresas abatedoras e processadoras, determinaram uma redução no número de criadores e um aumento do número de suínos por unidade produtora (Ceretta et al., 2005). Em virtude de ser um sistema intensivo, grandes volumes de dejetos são gerados, os quais podem ser utilizados na propriedade como fonte de nutrientes para culturas anuais ou pastagens. As doses aplicadas em geral variam entre 30 a 60 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (Seganfredo, 2000).

Como consequência das excessivas taxas de adição, a capacidade de adsorção de fósforo do solo se torna progressivamente menor (Sharpley, 1996; Sims et al., 1998). Um grande problema associado com aplicações frequentes de dejetos suínos está relacionado com o aumento no teor de fósforo no solo, aumentando o risco de contaminação dos mananciais hídricos (Gatiboni et al., 2008). O transporte de fósforo para os ambientes aquáticos tende a acelerar o processo de eutrofização, sendo este considerado o elemento limitante da eutrofização (Schindler et al., 2008).

A transferência de fósforo do solo para os corpos d'água ocorre principalmente via escoamento superficial e é influenciada pela taxa, época e método de aplicação de dejetos, cobertura do solo e ocorrência de chuva após a aplicação (Sharpley e Havorson, 1994). O monitoramento do potencial de escoamento superficial de um determinado local é importante, pois pode-se estimar as perdas de fósforo até os corpos hídricos, sendo que além dos fatores fonte e transporte, os fatores de conectividade como distância entre a lavoura e a interceptação do fluxo, também influenciam no potencial de contaminação (Sharpley e Wang, 2014). A perda de fósforo geralmente é maior em solos arenosos devido ao maior potencial de infiltração de água no solo e da menor capacidade de adsorção de fósforo (Bengston et al., 1988; Sims et al., 1998; Fontes e Weed, 1996).

O risco do transporte do fósforo para os corpos d'água está também associado ao grau de saturação do fósforo no solo (Heckrath et al., 1995) sendo que as perdas de fósforo se potencializam antes mesmo da completa saturação dos sítios de adsorção (Breeuwsma e Silva, 1992).

O “change point” ou “threshold” representa o grau de saturação por fósforo no qual a disponibilização de fósforo para a solução do solo é elevada (Horta e Torrent, 2010). Este valor tem sido utilizado mundialmente para definir o nível crítico ambiental de fósforo no solo (Klein e Agne, 2012), como uma ferramenta para o manejo da fertilização com vistas na preservação dos recursos hídricos (Breeuwsma et al., 1995).

O grau de saturação de fósforo (GSP) é reconhecido como uma ferramenta eficiente para estimar o potencial de liberação de fósforo para a solução do solo e, portanto, propenso a ser transportado por escoamento superficial ou subsuperficial (Beck et al., 1994; Nair et al., 2004). O GPS foi inicialmente utilizado na Holanda, sendo calculado pela estimativa da capacidade de adsorção de fósforo obtida pelos teores de alumínio e ferro extraídos por oxalato de amônio (Beauchemin e Simard, 1999). O “change point” foi obtido pela relação entre grau de saturação de fósforo e fósforo do solo extraído com água (Breeuwsma e Silva, 1994). No entanto modificações na forma de obtenção do grau de saturação de fósforo e “change point” tem sido estudadas e aplicadas mundialmente (Nair,2004). Bortolon et al. (2016) obteve GSP a partir das extrações de P e Fe+ Al utilizando Mehlich-1. Há também outros métodos de obtenção de GSP, sendo que Auxtero et al. (2005) observou que nos solos estudados o método Mehlich-3 mostrou menor capacidade de estimar o grau de saturação de fósforo do que o método acidificado de oxalato de amônio.

Abboud et al. (2018), obteve GSP pela razão entre o fósforo extraído por Mehlich-1 e resina, em função da capacidade máxima de adsorção. O “change point” foi obtido entre GSP e fósforo extraído com água, CaCl_2 0,01 M e na solução do solo.

O GSP, embora útil como um índice único, é de maior utilidade quando relacionado ao fósforo da solução do solo ou fósforo extraído com água ou CaCl_2 , pois possibilita associar a proporção de saturação de fósforo do solo com as respectivas quantidades de fósforo existentes no solo em formas prontamente disponíveis para transferência aos corpos d’água (Nair et al., 2010).

Aplicação sucessiva de dejetos suínos além de incrementar o teor de P no solo, pode aumentar os teores de cobre (Cu) e zinco (Zn), os quais representam uma preocupação deste tipo de dejetos, por serem adicionados na dieta alimentar do animal. A adição de cobre e zinco nas rações dos suínos tem como objetivo complementar o fornecimento destes nutrientes, pois as quantidades fornecidas por meio de milho e /ou farelo de soja não são suficientes no que se refere à exigência nutricional (Nicolaiewsky e Prates,1994).

O solo possui capacidade de adsorção de Cu e Zn, porém com aumento do grau de saturação ocorre um aumento destes elementos na solução do solo (Lopes, 2009), os quais ficam disponíveis para serem transportados do solo para os cursos d'água via superfície ou subsuperfície. Esses elementos quando adicionados em excesso no solo, tendem a se distribuir em formas mais lábeis, potencializando sua mobilidade e biodisponibilidade (Benedet, 2014). Além da quantidade adicionada, a mobilidade destes elementos no solo irá depender da textura do solo, tipo de mineral de argila, pH, capacidade de troca de cátions, teor matéria orgânica entre outros, que influenciarão as reações de adsorção/dessorção, precipitação/dissolução, complexação e oxirredução (Giroto, 2007; Gao et al., 2003).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a saturação por fósforo e estabelecer um limite crítico ambiental para este nutriente, bem como avaliar a contribuição no aumento do teor de Cu e Zn no solo pela aplicação de dejetos líquido suíno em plantio direto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O experimento foi conduzido na fazenda Araguari, localizada na mesorregião Centro Oriental do Estado do Paraná, no município de Tibagi, distrito de Caetano Mendes apresentando as seguintes coordenadas geográficas: latitude 24°33'17,55", longitude 50°27'57,75" e a altitude de 812 m.

De acordo com a classificação de Koppen, o clima predominante da região é o Cfb, que se caracteriza como temperado úmido, mesotérmico, sendo que no verão a temperatura média inferior é 22°C e no inverno temperatura média de 18°C. As médias anuais de precipitação pluviométrica são de 1.700 mm, sem apresentar estação de seca definida (IAPAR, 1994).

As parcelas experimentais foram instaladas em outubro de 2010, sobre Latossolo vermelho-Amarelo-eutrófico (Embrapa, 2013) em área sob plantio direto, com rotação de culturas com milho (*Zea mays* L.) e soja (*Glycine max* (L.) Merr.) no verão e trigo (*Triticum aestivum* L.) e aveia branca (*Avena sativa* L.) no inverno, sendo que o experimento teve duração de três anos (2010-2013). Os atributos químicos do solo antes da instalação do experimento e a granulométrica estão nas TABELAS 1 e 2, respectivamente.

TABELA 1- Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento até 40 cm de profundidade.

Profundidade (cm)	pH CaCl ₂	Al	H + Al	Ca	Mg	K	P _{Mehlich}	C	Cu	Fe	Mn	Zn
0-10	5,8	0	2,2	4,6	2,3	0,23	13,1	17,4	0,6	49	5,8	0,5
10-20	4,6	1,22	5,2	2,5	1,3	0,14	5,6	14,7	0,7	68	2,3	0,4
20-40	4.1	2,38	2,8	1,0	0,5	0,09	nd	9,9	0,6	53	0,6	0,2

Cu, Fe, Mn e Zn extraídos com DTPA; nd = não determinado

FONTE: O autor (2017).

TABELA 2- Granulometria do solo no local de instalação do experimento até 40 cm de profundidade.

Profundidade (cm)	Argila	Silte	Areia
0-10	210	251	539
10-20	227	292	481
20-40	336	259	405

FONTE: O autor (2017).

Os tratamentos consistiram de quatro doses de dejetos líquido suíno (0, 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) e de três doses de adubação mineral (0 50 e 100% da recomendação para cada cultura). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições em parcelas subdivididas (parcelas com adubação mineral e subparcelas adubação orgânica), totalizando 12 tratamentos. As parcelas experimentais possuíam 12 m de comprimento por 5 m de largura, totalizando 60 m².

O dejetos líquido suíno foi aplicado em duas etapas, sendo metade imediatamente antes da semeadura de inverno e metade antes da semeadura de verão. O dejetos foi aplicado a lanço e os fertilizantes minerais foram aplicados em sulco na semeadura e em cobertura.

As características químicas do DLS aplicado desde a instalação do experimento (2010-2013) estão apresentadas na TABELA 3. As quantidades de N, P e K aplicadas via DLS são apresentados na TABELA 4, e de Cu, Zn, Fe e Mn na TABELA 5. As quantidades de N, P e K aplicados via adubação mineral são apresentados na TABELA 6.

TABELA 3- Características químicas do dejetos líquido suíno aplicado desde a instalação do experimento.

Safrá	Matéria Seca	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Verão 2010/2011	6,70	0,22	0,09	0,08	0,29	0,09	0,08	4,82	nd	nd	nd	nd
Inverno 2011	53,10	2,35	1,63	1,92	2,62	1,53	0,42	1,00	25,22	111,51	36,87	90,27
Verão 2011/2012	45,70	1,61	1,50	1,49	1,98	1,85	0,43	26,46	16,79	137,10	31,08	59,41
Inverno 2012	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Verão 2012/2013	13,40	0,27	0,35	0,19	0,55	0,42	0,23	nd	nd	nd	nd	nd
Média	29,72	1,11	0,89	0,92	1,36	0,97	0,29	10,76	21,00	1124,30	333,97	74,84

nd=não determinado

FONTE: O autor (2017).

TABELA 4- Quantidade de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) aplicada nas diferentes safras via dejetos líquido suíno.

Safrá	50 m ³ ha ⁻¹ safrá ⁻¹			100 m ³ ha ⁻¹ safrá ⁻¹			150 m ³ ha ⁻¹ safrá ⁻¹		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	-----kg ha ⁻¹ -----								
Verão 2010/2011	11,0	4,5	4,0	22,0	9,0	8,0	33,0	13,5	12,0
Inverno 2011	117,5	81,5	96,0	235,0	163,0	192,0	352,5	244,5	288,0
Verão 2011/2012	80,5	75,0	74,5	161,0	149,0	149,0	241,5	223,5	223,5
Inverno ¹ 2012	55,6	44,5	46,0	111,2	89,0	92,0	166,5	133,5	138,0
Verão 2012/2013	13,5	17,5	9,5	27,0	35,0	19,0	40,5	52,5	28,5
Total	278,1	223,0	230,0	556,2	445,0	460,0	834,0	667,5	690,0
Média (Safrá)	55,6	44,6	46,0	111,2	89,0	92,0	166,8	133,5	138,0

¹Quantidade calculada considerando o valor médio das análises dos dejetos aplicados nas demais safras.

FONTE: O autor (2017).

TABELA 5- Quantidade de cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe) e manganês (Mn) aplicado nas diferentes safras via dejetos líquido suíno.

Safras	50 m ³ ha ⁻¹ safra ⁻¹				100 m ³ ha ⁻¹ safra ⁻¹				150 m ³ ha ⁻¹ safra ⁻¹			
	Cu	Zn	Fe	Mn	Cu	Zn	Fe	Mn	Cu	Zn	Fe	Mn
-----kg ha ⁻¹ -----												
Verão ¹ 2010/2011	1,05	3,74	6,21	1,69	2,10	7,48	12,43	3,39	3,15	11,22	18,64	5,09
Inverno 2011	1,26	4,51	5,57	1,84	2,52	9,02	11,15	3,68	3,78	13,54	16,72	5,53
Verão 2011/2012	0,83	2,97	6,85	1,55	1,67	5,94	13,71	3,10	2,51	8,91	20,56	4,66
Inverno ¹ 2012	1,05	3,74	6,21	1,69	2,10	7,48	12,43	3,39	3,15	11,22	18,64	5,09
Verão ¹ 2012/2013	1,05	3,74	6,21	1,69	2,10	7,48	12,43	3,39	3,15	11,22	18,64	5,09
Total	5,24	18,7	31,05	8,46	10,49	37,4	62,25	16,95	15,74	56,11	93,20	25,46
Média (safra)	1,04	3,74	6,21	1,69	2,02	7,48	12,45	3,39	3,14	11,22	18,64	5,09

¹Quantidade calculada considerando o valor médio das análises dos dejetos aplicados nas demais safras.
 FONTE: O autor (2017).

TABELA 6- Espécie, cultivar, data de semeadura e quantidade aplicada de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) via adubação mineral (0,50 e 100% da dose recomendada).

Safras	Espécie	Cultivar	Semeadura	N			P			K		
				0%	50%	100%	0%	50%	100%	0%	50%	100%
-----kg ha ⁻¹ -----												
Verão 2010/2011	Milho	DKB 240YG	17/10/2010	0	94	189	0	22	44	0	75	150
Inverno 2011	Trigo	Quartzo	11/06/2011	0	60	120	0	13	26	0	25	50
Verão 2011/2012	Soja	NA 590RG	29/11/2011	0	0	0	0	13	26	0	25	50
Inverno 2012	Aveia Branca	URS Guapa	17/05/2012	0	57	114	0	19	39	0	25	50
Verão 2012/2013	Soja	NA 590RG	08/11/2012	0	0	0	0	13	26	0	25	50
Total				0	211	423	0	80	161	0	175	350
Média				0	42	84	0	16	32	0	35	70

FONTE: O autor (2017)

2.2 ANÁLISE DE SOLO

As amostras de solo foram coletadas em abril de 2013, em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) e foram analisadas quanto ao teor de P Mehlich-1 (Marques e Motta, 2003), P CaCl_2 (Self- Davis et al., 2009), P água (Self- Davis et al., 2009), P total (USEPA, 2007), Cu e Zn DTPA (Raij et al., 2001) e Mehlich 1 (Marques e Motta, 2003) e Fe e Al Mehlich-1 (Marques e Motta, 2003). A extração do fósforo solúvel em água (P-água) foi realizada agitando-se 2 g de solo com 20 mL de água deionizada durante 1 hora. Após agitação, as amostras foram centrifugadas e filtradas em papel filtro de 2,0 μm . O mesmo procedimento foi feito para extração de fósforo em solução de CaCl_2 0,01 M (P- CaCl_2).

O P total foi extraído pelo método USEPA 3051a (USEPA, 2007), utilizando micro-ondas modelo MARS 6 (CEM®). As amostras de solo foram secas, moídas e peneiradas a 0,2 mm. Pesou-se 0,3 g de solo diretamente em tubos de teflon, em seguida adicionou-se 9 mL de ácido nítrico e 3 mL de ácido clorídrico. Durante 20 min as amostras foram digeridas no micro-ondas, e após a digestão foram filtradas em papel filtro de 2,0 μm .

Para a extração do P Mehlich, procedeu-se a agitação de 10 g de solo em 100 mL de solução extratora (0.0125 mol L^{-1} de H_2SO_4 e 0.0050 mol L^{-1} de HCL), por cinco minutos, deixando-se decantar por aproximadamente quinze horas. Após a separação do extrato (sobrenadante), uma alíquota foi filtrada em papel filtro de 2,0 μm e utilizada para determinação de P, Fe, Al, Cu e Zn extraídos por Mehlich.

A determinação de todos os elementos foi feita por espectrômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES VARIAN 720- ES).

2.3 GRAU DE SATURAÇÃO POR FÓSFORO E “CHANGE POINT”

O grau de saturação do fósforo (GSP) foi calculado pela razão do fósforo (P) extraído com o extrator Mehlich-1 em função da concentração de ferro (Fe) mais alumínio (Al) extraído com o extrator Mehlich-1 (Nair et al., 2004), conforme Eq. 1

$$\text{GSP} = \frac{\text{PM1}}{0,5(\text{FeM1}+\text{AlM1})} \times 100 \dots \dots \dots (\text{Eq.1})$$

O “change point” foi obtido pela relação entre o GSP e o fósforo extraído com água e com CaCl_2 . Essa relação foi obtida com auxílio de um modelo de regressão linear

segmentada. A Eq. 2 refere-se ao segmento da reta abaixo do “change point”, e a Eq. 3 refere-se ao segmento acima do “change point”.

$$P \text{ água e } P \text{ CaCl}_2(\text{GSP}) = \frac{[y_1(\text{CP} - \text{GSP}) + y_2(\text{GSP} - t_1)]}{\text{CP} - t_1} \dots\dots (\text{Eq.2})$$

$$P \text{ água e } P \text{ CaCl}_2(\text{GSP}) = \frac{[y_2(t_2 - \text{GSP}) + y_3(\text{GSP} - \text{CP})]}{t_2 - \text{CP}} \dots\dots (\text{Eq.3})$$

Onde CP é o “change point” no GSP, t1 é o menor valor para o GSP e t2 o maior valor, e y1, y2, e y3 são variáveis de ajuste do modelo. As quatro variáveis (y1 y2 y3 e CP) foram estimadas pelo modelo de regressão segmentada com auxílio do programa estatístico SIGMAPLOT 12.0.

2.4 LIMITE CRÍTICO AMBIENTAL

O valor do “change point” em GSP foi transformado em teor de P Mehlich-1 no solo pela relação entre GSP e P Mehlich-1. O limite crítico ambiental de fósforo recomendado para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm foi o menor valor de “change point” obtido que corresponde a 73 mg kg⁻¹ de P Mehlich para a profundidade de 0-10 e 43 mg kg⁻¹ para a profundidade de 0-20 cm.

2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para os dados de teores de elementos no solo, utilizou-se a análise de variância considerando o delineamento em blocos com parcelas subdividas. Para a comparação de medias aplicou-se o teste de Tukey a 5% de significância. Para a obtenção das relações entre os extratores de fósforo foi utilizada a análise de regressão linear. O programa estatístico empregado foi o “PACOTE EXPERIMENTAL DESIGNS” do SIGMAPLOT 12.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 FÓSFORO NO SOLO

Não houve interação entre as doses de dejetos líquido suíno com as doses de adubo mineral, sendo assim foi realizada a comparação de média em cada um dos fatores separadamente.

Observou-se um aumento da concentração de fósforo com a adubação mineral (TABELA 7) na camada superficial (0-10 cm), na qual os teores médios de P Mehlich e P total foram superiores quando se utilizou 100 % da dose recomendada. Para os extratores P água e P CaCl_2 , não se observou diferença entre os tratamentos com aplicação do adubo mineral. O maior acúmulo de P total na camada superficial ocorre em virtude da aplicação do adubo mineral na linha de semeadura.

Rheinheimer e Anghinoni (2001), em estudo com aplicação de adubação mineral em um Latossolo Vermelho distroférico típico, observaram acúmulo de P total na superfície sob sistema de plantio direto. Turtola e Yli-Halla (1999) observaram o acúmulo de fósforo total na superfície (0-5 cm), após 3 anos de aplicação de adubo mineral em um solo arenoso na Finlândia. No Brasil, Tokura et al. (2002) trabalhando em Latossolo Vermelho distrófico com aplicação de superfosfato triplo em plantio direto, observaram uma tendência do teor de P total decrescer em profundidade (5-10 cm).

A adubação com DLS, também proporcionou aumento do teor de fósforo na camada superior (0-10 cm), sendo que a dose de 300 m^3 (TABELA 8) apresentou os maiores teores de fósforo determinados por todos os extratores utilizados, com exceção do P Mehlich, no qual as doses de 200 e 300 m^3 não diferenciaram entre si. Os teores de P disponível aumentaram significativamente na camada superficial em razão do DLS ser aplicado na superfície. Os maiores teores foram observados na camada de 0–10 cm. Isso demonstra que sucessivas aplicações de dejetos, em quantidades superiores às necessidades de P das culturas resultam em acúmulo do nutriente na superfície do solo, sobretudo em se tratando de áreas com sistema plantio direto, em que os dejetos são sucessivamente aplicados na superfície do solo, sem incorporação. Uma maior concentração de P na superfície também foi obtida por Lourenzi et al. (2014), estudando efeito de sucessivas aplicações de dejetos suíno em um Argissolo Vermelho manejado sob sistema plantio direto. Os autores observaram que aplicações de dejetos suíno ao

longo dos anos, proporcionaram incremento de P, especialmente no solo com aplicação de dejetos suíno.

O acúmulo de P na camada superficial, ocorre devido a alta energia de ligação aos grupos funcionais de superfície da fração mineral (óxidos e argilas) (Scherer et al., 2010; Ceretta et al., 2010; Gessel et al., 2004; Scherer et al., 2007), reduzindo assim sua mobilidade no solo.

Os resultados referentes ao P total mostram que a taxa de recuperação média foi de 55%, resultando em 184,2 mg kg⁻¹ de P recuperado.

3.2 COBRE E ZINCO NO SOLO

As concentrações de cobre em todos os tipos de extração (Cu Total, Cu Mehlich e Cu DTPA) (TABELA 7) não diferiram com os tratamentos de adubação mineral, tanto na profundidade de 0-10 como de 10-20 cm, o que era esperado, considerando que não houve adição deste elemento via adubação mineral.

Com relação a adição de DLS percebe-se que houve um aumento nos teores de Cu, conforme o aumento da dose do dejetos aplicado (TABELA 8). O acúmulo de Cu na camada superficial pode ser explicado pelas altas concentrações desse metal no dejetos aplicado (TABELA 3) fato também relatado por Scherer et al. (1996). O acúmulo de Cu reforça os dados de L'Herroux et al. (1997), Queiroz et al. (2004), Basso et al. (2012) e Matias et al. (2003) os quais também verificaram incremento do teor de Cu no solo com o aumento da dose aplicada de DLS. A taxa de recuperação média do Cu foi de 70%, sendo recuperado 5,6 mg kg⁻¹.

As concentrações de cobre na camada de 10-20 cm foram menores comparadas com a camada superficial (0-10 cm), sendo que estudos realizados com aplicação de dejetos suínos mostraram que as adições crescentes de DLS aumentaram significativamente o conteúdo extraível de Cu, referente a camada superficial (Cabral et al., 2011; Tiecher et al., 2013).

Giroto et al. (2010) trabalhando com 17 aplicações de 80 m³ ha⁻¹ de DLS na superfície do solo sob sistema plantio direto durante 78 meses verificaram que houve aumento do teor total de Cu no solo até 10 cm.

As concentrações de zinco no solo também aumentaram em função do aumento da dose de DLS. Observa-se que o maior teor de zinco foi obtido para a dosagem de

300 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ e que diferiu das demais taxas, independentemente do tipo de extrator utilizado nas análises.

O Zn revelou comportamento bem definido, aumentando na camada superficial com a utilização de dejetos e diminuindo na profundidade de 10-20 cm (TABELA 8). Formentini et al. (2015), trabalhando em um Latossolo Vermelho argiloso, com aplicação de três doses de dejetos (50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), observaram uma maior concentração de Zn na profundidade de 0-5 cm quando aplicou-se 50 e 100 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, e na dose de 200 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ a concentração aumentou na profundidade de 10-15 cm. A taxa de recuperação média do zinco foi de 56%, sendo recuperado 15,6 mg kg⁻¹.

TABELA 7- Teores de fósforo (P), cobre (Cu) e zinco (Zn) (mg kg⁻¹) com diferentes métodos de extração nas diferentes doses de adubação mineral para a cultura.

Adubação mineral (%)	P M1 ¹	P água	P CaCl ₂	P Total	Cu Total	Cu M1 ¹	Cu DTPA	Zn Total	Zn M1 ¹	Zn DTPA
0-10 cm										
0	36,92 b	6,26 ns	0,59 ns	330,3 b	7,57ns	1,67 ns	1,40 ns	12,86 ns	5,96 ns	2,58 ns
50	49,89 b	7,13 ns	0,89 ns	349,2 b	6,89 ns	1,61 ns	1,33 ns	13,77 ns	5,96 ns	2,61 ns
100	71,96 a	9,27 ns	0,87 ns	397,6 a	7,35 ns	1,87 ns	1,34 ns	12,08 ns	6,47 ns	2,67 ns
10-20cm										
0	8,50 b	2,67 ns	0,23 b	178,9 ns	5,34 ns	1,36 ns	0,95 ns	7,54 ns	1,38 ns	0,41 ns
50	10,48 ab	2,32 ns	0,28 ab	170,7 ns	5,54 ns	1,42 ns	0,91 ns	6,47 ns	2,00 ns	0,43 ns
100	13,36 a	2,28 ns	0,32 a	203,8 ns	6,21 ns	1,34 ns	0,90 ns	7,29 ns	1,38 ns	0,43 ns

¹M1=Mehlich-1; ns= não significativo

FONTE: O autor (2017)

TABELA 8- Teores de fósforo (P), cobre (Cu) e zinco (Zn) (mg kg⁻¹) com diferentes métodos de extração nas diferentes doses de dejetos líquidos suíno (DLS)

DLS (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	P M1 ¹	P água	P CaCl ₂	P Total	Cu Total	Cu M1 ¹	Cu DTPA	Zn Total	Zn M1 ¹	Zn DTPA
0-10 cm										
0	25,97 b	4,58 c	0,51 b	276,10 d	5,42 c	1,30 b	0,88 d	6,14 c	1,74 d	0,68 d
100	35,83 b	6,09 bc	0,72 b	328,64 c	7,13b	1,37b	1,14 c	10,86 bc	5,15 c	1,81 c
200	67,16 a	8,13 b	0,82 ab	395,66 b	7,91 ab	2,03 a	1,58 b	14,15 b	7,51 b	3,26 b
300	82,75 a	11,41a	1,09 a	435,63a	8,64a	2,17 a	1,84 a	20,48 a	10,13 a	4,73 a
10-20 cm										
0	7,56 c	2,24 ns	0,29 ns	177,71 ns	4,09 ns	1,37 ns	0,81 c	6,89 ns	2,28 ns	0,25 ns
100	9,08 bc	2,50 ns	0,25 ns	180,21 ns	5,94 ns	1,30 ns	0,91 bc	5,79 ns	1,06 ns	0,40 ns
200	12,60 ab	2,47 ns	0,31 ns	177,60 ns	6,23 ns	1,42 ns	0,92 ab	7,51 ns	1,24 ns	0,47 ns
300	13,88 a	2,48 ns	0,28 ns	202,41 ns	6,50 ns	1,41 ns	1,02 a	8,20 ns	1,78 ns	0,56 ns

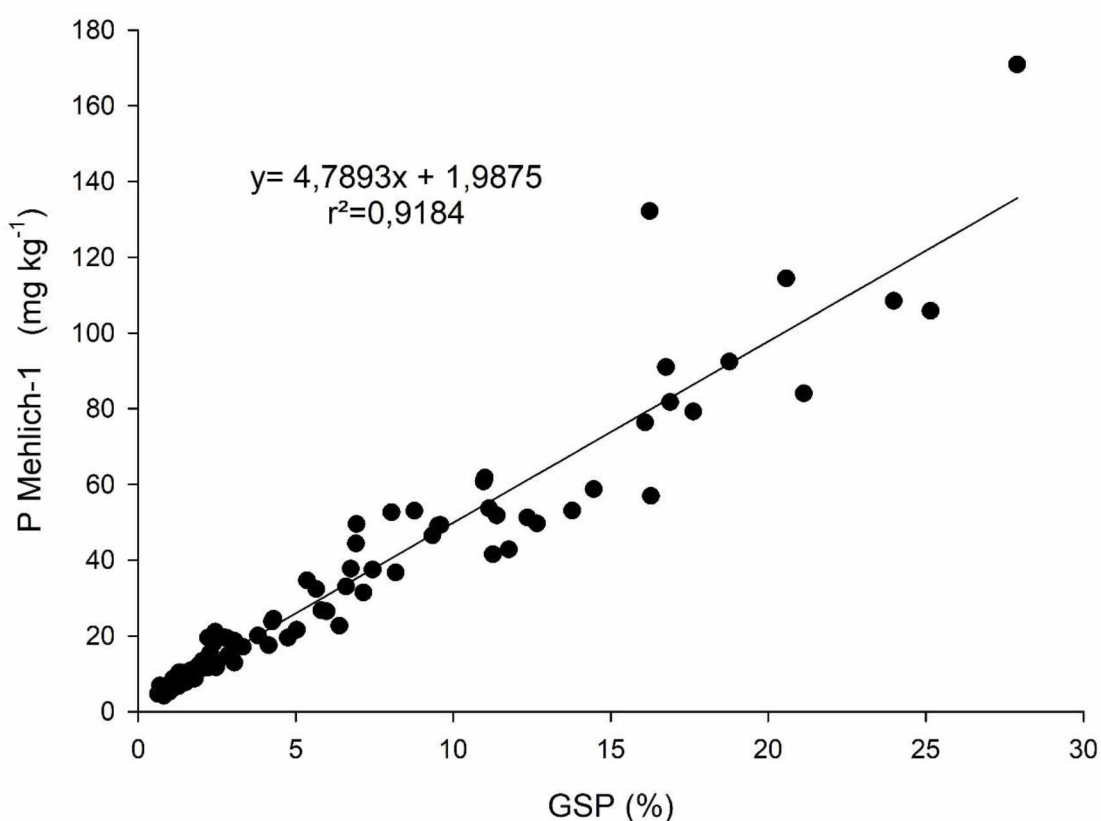
¹M1=Mehlich -1; ns= não significativo

FONTE: O autor (2017)

3.3 RELAÇÃO ENTRE GSP E P MEHLICH

O melhor resultado das análises de regressão entre GSP e P Mehlich-1 foram obtidos considerando os resultados de análises das amostras nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm (FIGURA 1). A partir dessa regressão obtém-se a correspondência entre “change point” e teor de P no solo, o qual é sugerido com sendo o limite crítico ambiental de fósforo.

FIGURA 1- Relação entre grau de saturação de fósforo (GSP) e teor de P Mehlich-1 em amostras de solo de 0-10 cm e 10-20 cm.



FONTE: O autor (2017)

3.4 CHANGE POINT

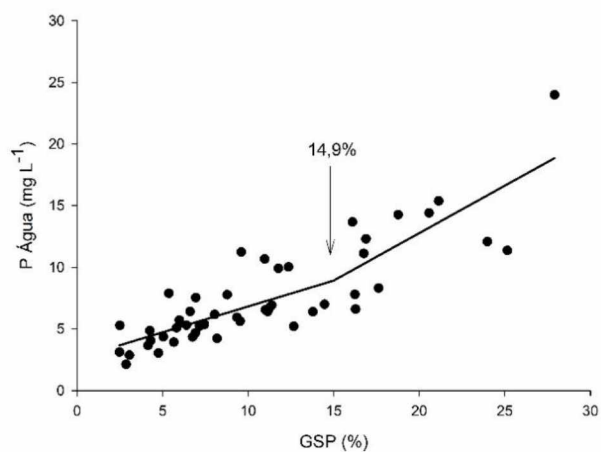
A partir da relação entre P água com GSP e entre P CaCl₂ e GSP obteve-se um “change point” de 14,9% para o P água na profundidade de 0-10 cm correspondendo a 73,29 mg kg⁻¹ de Mehlich- 1, enquanto na profundidade de 10-20 não se obteve o “change point” e na profundidade de 0-20 cm obteve-se um “change point” de 8,6% correspondendo a 43,12 mg kg⁻¹ de Mehlich- 1 (FIGURA 2).

Com relação ao P CaCl₂ obteve-se um “change point” de 18,7% na profundidade de 0-10 cm correspondente a 91,14 mg kg⁻¹ de Mehlich- 1, enquanto para a profundidade de 10-20 cm não se obteve o “change point”, e na profundidade de 0-20 cm obteve-se um “change point” de 8,89 % correspondendo a 44,51 mg kg⁻¹ de Mehlich-1 (FIGURA 3).

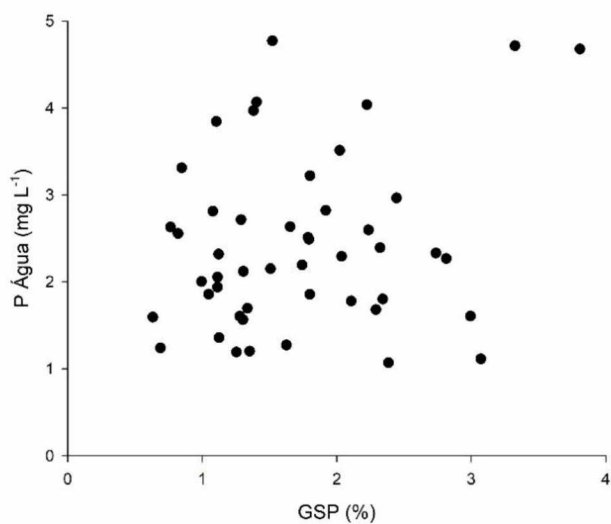
As equações geradas, bem como os valores de R² para o modelo de regressão linear estão inseridas na TABELA 9.

FIGURA 2- Relação entre a concentração de P água e grau de saturação de fósforo (GSP) nas profundidades de 0-10 cm (A), 10-20 cm (B) e 0-20 cm (C).

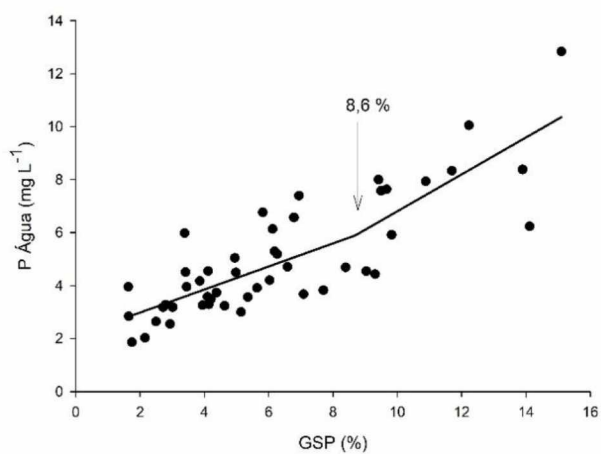
A)



B)



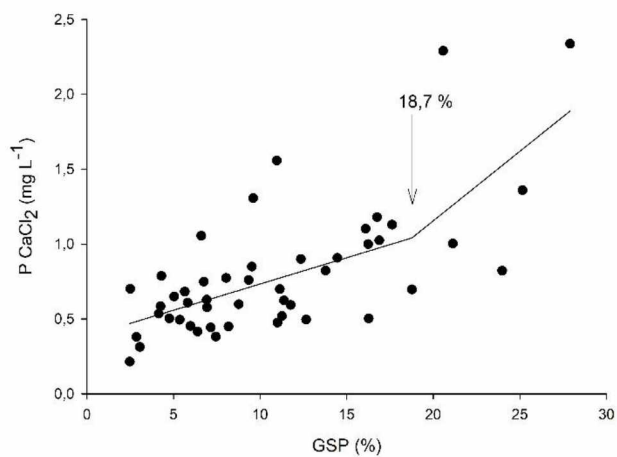
C)



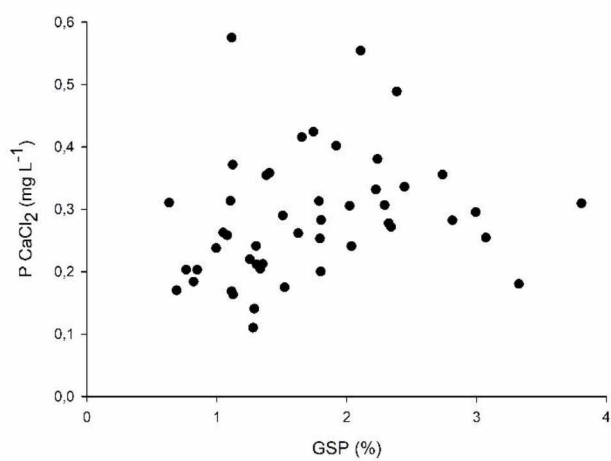
FONTE: O autor (2017).

FIGURA 3- Relação entre concentração de P CaCl₂ e grau de saturação de fósforo (GSP) nas profundidades de 0-10 cm (A), 10-20 cm (B) e 0-20 cm (C).

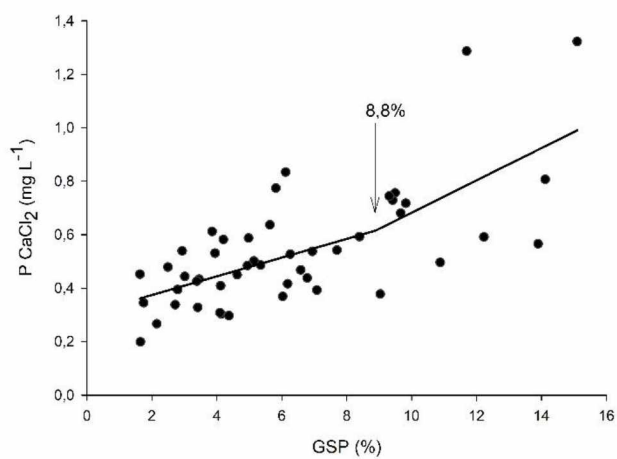
A)



B)



C)



FONTE: O autor (2017).

TABELA 9- Equações geradas e valores de R² ajustadas em modelo de regressão linear para P água e P CaCl₂ nas profundidades de 0-10 cm e 0-20 cm.

Profundidade	Equação Ajustada	R ²
0-10 cm	$P_{\text{água}}(GSP) = \frac{(3,6 \cdot (14,9 - GSP) + 8,9 \cdot (GSP - 2,4))}{14,9 - 2,4}, 2,4 \leq GSP \leq 14,9$	0,72
	$P_{\text{água}}(GSP) = \frac{(8,9 \cdot (27,9 - GSP) + 18,8 \cdot (GSP - 14,9))}{27,9 - 14,9}, 14,9 \leq GSP \leq 27,9$	
0-20 cm	$P_{\text{água}}(GSP) = \frac{(2,8 \cdot (8,6 - GSP) + 5,8 \cdot (GSP - 1,63))}{8,6 - 1,63}, 1,63 \leq GSP \leq 8,6$	0,68
	$P_{\text{água}}(GSP) = \frac{(5,8 \cdot (15,1 - GSP) + 10,3 \cdot (GSP - 8,6))}{15,1 - 8,6}, 8,6 \leq GSP \leq 15,1$	
0-10 cm	$P_{\text{CaCl}_2}(GSP) = \frac{(0,5 \cdot (18,7 - GSP) + 1,1 \cdot (GSP - 2,4))}{18,7 - 2,4}, 2,4 \leq GSP \leq 18,7$	0,48
	$P_{\text{CaCl}_2}(GSP) = \frac{(1,1 \cdot (27,9 - GSP) + 1,8 \cdot (GSP - 18,7))}{27,9 - 18,7}, 18,7 \leq GSP \leq 27,9$	
0-20 cm	$P_{\text{CaCl}_2}(GSP) = \frac{(0,4 \cdot (8,89 - GSP) + 0,61 \cdot (GSP - 1,6))}{8,89 - 1,6}, 1,6 \leq GSP \leq 8,89$	0,47
	$P_{\text{CaCl}_2}(GSP) = \frac{(0,61 \cdot (15,1 - GSP) + 0,99 \cdot (GSP - 8,89))}{15,1 - 8,89}, 8,89 \leq GSP \leq 15,1$	

FONTE: O autor (2017).

3.5 LIMITE CRÍTICO AMBIENTAL

O GSP foi usado primeiramente na Holanda para a estimativa das perdas potenciais de P de solos arenosos (Schoumans, 2009), mas mostrou-se aplicável também a solos ácidos com altos teores de argila e de matéria orgânica (Sims & Maguire, 2002). Alternativamente ao P oxalato, nos cálculos do GSP pode-se usar o P extraído pelos métodos Mehlich-1 ou Mehlich-3, que poderão ser usados também como alternativas ao oxalato de amônio para a extração de Fe e Al (Sharpley et al., 2006).

O GSP é um indicador do potencial de risco de perdas de P a partir de fontes não pontuais (Campo, 2014), principalmente quando relacionado P extraído com água, na qual pode-se associar a proporção de saturação de fósforo, sendo que este se apresenta em formas prontamente transferível aos recursos hídricos (Self-Davis et al., 2009). Dari et al. (2018) propôs um indicador de perdas de P (escoamento ou

lixiviação) a partir da relação entre a equação de capacidade de armazenamento de fósforo e o fósforo solúvel em água.

A partir dos resultados de “change point” obtido pela relação do GPS e P extraído com CaCl_2 ou água, recomenda-se o limite crítico ambiental de P o valor correspondente ao menor “change point” obtido, ou seja, 73 mg kg^{-1} de P Mehlich para profundidade de 0-10 cm e 43 mg kg^{-1} de P Mehlich para a profundidade de 0-20 cm. Abboud et al. (2018) trabalhando em um solo de textura franco-argilo arenosa com aplicação de dejetos líquido bovino obteve um “change point” de 34,2% de grau de saturação de fósforo calculado por Mehlich-1 e CMAP correspondendo a 103 mg kg^{-1} de P Mehlich-1 na camada de 0-10 cm.

Para o estado do Paraná, o teor acima de 24 mg kg^{-1} de P Mehlich é considerado muito alto para solos com teor de argila menor que 25% (SBCS-NEPAR, 2017), portanto, bem menor que o nível crítico ambiental sugerido (43 mg kg^{-1} de fósforo Mehlich).

O limite crítico ambiental é uma importante ferramenta em termos de redução da poluição hídrica, isto por que tendo o conhecimento do risco de perdas de P para os sistemas aquáticos, pode-se avaliar o manejo adequado, tendo em vista diminuir as perdas do fósforo.

4 CONCLUSÕES

A aplicação de dejetos líquido suíno aumentou a concentração de fósforo, cobre e zinco no solo na camada de 0-10 cm, enquanto que a aplicação de fertilizante mineral afetou somente a concentração de fósforo no solo.

O “change point” de menor valor foi obtido na relação entre GSP e fósforo extraído com água, sendo sugerido, portanto como nível crítico ambiental de fósforo o “change point” de 14,9% equivalente a 73 mg kg^{-1} de P Mehlich na camada de 0-10 cm e para a camada de 0-20 cm o “change point” de 8,6% equivalente a 43 mg kg^{-1} de P Mehlich.

REFERÊNCIAS

- ABBOUD, F.Y.; FAVARETTO, N.; MOTA, A. C. V.; BARTH, G.; GOULARTE, G.D. Phosphorus mobility and degree of saturation in oxisol under no-tillage after long-term dairy liquid manure application. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, n.177,p.45-53. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science>>. Acesso em: 25 março. 2018.
- AUXTERO, E.; MADEIRA, M.; SOUSA, E. Extractable P as determined by different tests and P adsorption capacity of selected Andisols from the Azores. **Revista Ciências Agrárias**, Lisboa, v.28,n.2,p.119-132, 2005.
- BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; FLORES, E.M.M. GIROTTO, E. Teores totais de metais pesados no solo após aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42,n.4,p.653-659, abril.2012.
- BEAUCHEMIN, S.; SIMARD, R.R. Soil phosphorus saturation degree: Review of some indices and their suitability for P management in. **Canadian Journal Soil Science**, Quebec, n. 634, p. 615-625, 1999.
- BECK, M.A.; ZELAZNY, L.W.; DANIELS, W.L.; MULLINS, G.L. Using the Mehlich-1 extract to estimate soil phosphorus saturation for environmental risk assessment, **Soil Science American Journal**, Madison, n.68,p.1762-1771, 1994.
- BENEDET, L. **Biodisponibilidade de cobre e zinco e alterações bioquímicas e fisiológicas em plantas de milho (Zea mays L.) em solo adubado com dejetos suínos**. 128 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas)-Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- BENGSTON, R.L.; CARTER, C.; MORRIS, H.F.; BARTKIEWICS, A.S. The influence of subsurface drainage practices on nitrogen and phosphorus losses in warm, humid climate. **American Society of Agricultural and Biological**, St Joseph, n.31, p.729-733, 1988.
- BREEUWSMA, A.; SILVA, S. **Phosphorus fertilization and environmental effects in The Netherlands and the Po Region (Italy) In: Report 57**. Wageningen: Agricultural Research Department, The Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, 1994.
- BREEUWSMA, A.; REOJERINK, J.G.A.; SCHOUmans, O. Impact of manure on accumulation and leaching of phosphate in areas of intensive livestock farming. In: . . STELLE, K(Ed.). **Animal waste and the land-water interface**. Boca Raton: Lewis, 1995.p.239-249.
- DARI, B.; NAIR, V.; SHARPLEY, A.N.; HARRIS, W.G. Consistency of the Threshold Phosphorus Saturation Ratio across Wide Geographic Range of Acid Soils. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, Madison, n.80028,p.1-8, 13 setembro 2018. Disponível em: <<http://www.dl.sciencesocieties.org/publications/age>>. Acesso em: 08 outubro 2018.

BORTOLON, L.; ERNANI, P. R.; BORTOLON, E. S. O.; GIANELLO, C.; ALMEIDA, R. G. O. de.; WELTER, S.; ROGER, I. D. A. Degree of phosphorus saturation threshold for minimizing P losses by runoff in cropland soils of Southern Brazil. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1088-1098, set. 2016.

CABRAL, J.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; MUNIZ, A. S.; BERTONHA, A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim elefante. **Revista Brasileira engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 15, n.8, p. 823-831, 2011.

CERETTA, C. A.; LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; GATIBONI, L. C. Frações de fósforo de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.45, n.6, p. 593-602, jun.2010.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; VIEIRA, F. C. B.; HERBES, M. G.; MOREIRA, I. C. L.; BERWANGER, A. L. Perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.6, p.1296-1304, nov./dez.2005.

CAMPO, M. de. **Grau de saturação de fósforo em solos tropicais altamente intemperizados**. 92 f. Dissertação (Pós Graduação em solos e nutrição de plantas)- Departamento de solos, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013.

FONTES, M. P. F. & WEED, S. B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: Relationships with specific surface area and mineralogy. **Geoderma**. Amsterdã, v.72, p.37-51, 1996.

FORMENTNI, T. A.; MALLMANN, F. J. K.; PINHEIRO, A.; FERNANDES, C. V. S.; BENDER, M. A.; VEIGA, M. da.; DOELSCH, E. Copper and zinc accumulation and fractionation in a clayey application Hapludox soil to long term pig slurry. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 536, dez. 2015. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715304526>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

GAO, Y.; HE, J.; HU, J.; LIU, F. Effects of organic acid on copper and cadmium desorption from contaminated soil. **Environment International**. Amsterdam, v.29, p.613- 618, ago.2003.

GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suíno em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.1753-1761, ago.2008.

GESSEL, P.D.; HANSEN, N.C.; MONCRIEF, J.F.; SCHMITT, M.A. Rate off all applied liquid swine manure :Effects on run off transport of sediment and phosphorus. **Journal Environment Quality**, Madison, v.33, n.5, p.1839-1844, 2004.

GIROTTTO, E.; CERETTA, C.A.; BRUNETTO, G.; SANTOS, D.H.dos.; SILVA, L.S.da; LOURENZI, C.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 Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.955-965, 2010.

GIROTTTO, E. **Cobre e zinco no solo sob uso intensivo de dejetos líquidos de suínos**. 121f. Dissertação (Mestrado em solos)-Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

HECKRATH, G.; BROOKES, P.C.; POULTON, P.R.; GOUDING, K.W.T. Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk experiment. **Journal Environment Quality**, Madison, v.24, p.904-910, 1995.

HORTA, M.C. TORRENT, J. **Dinâmica do fósforo no solo: perspectiva agrônômica e ambiental**. Castelo Branco, Instituto Politécnico de Castelo Branco, 2010. p.30-80.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, 1994.

KLEIN, C.; AGNE, S.A.A. Fósforo: de nutriente à poluente. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v.8, n.8, p.1713-1721, set./dez.2012.

L'HERROUX, L.; ROUX, L.E.S.; APPRIOU, P.; MARTINEZ, J. Behaviour of metals following intensive pig slurry applications to natural field treatment process in Brittany (France). **Environmental Pollution**, Amsterdam, v.97, p.119-130, 1997.

LOPES, C. **Adsorção e compartimentos de cobre e zinco em latossolo vermelho com aplicação de dejetos suíno**. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2009.

LOURENZI, C.R.; CERETTA, C.A.; BRUNETTO, G.; GIROTTTO, E.; TIECHER, T.L.; VIEIRA, R.C.B.; CANCIAN, A.; FERREIRA, P.A.A. Pig slurry and nutrient accumulation and dry matter grain yield in various crops. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.38, p.949-958, 2014.

MARQUES, R.; MOTTA, A.C.V. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. In: **Manual de diagnóstico da fertilidade em manejo dos solos agrícolas**. 2. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2003. p.81-102.

MATTIAS, J.; PAVINATO, P.S.; PANDOLFO, C.M.; REINSHEIMER, D.S.; FERREIRA, F.P.; STREC, C.A.; CHIAPINOTTO, J.; BASSO, C.J. Cobre Zinco e Manganês no Solo com

Aplicação de dejetos de Suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003, p. 29-39.

NAIR, V.D.; HARRIS, W.G.; CHAKRABORTY, D. **An indicator for risk of phosphorus loss from sandy soils.** Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Science, 2010.

NAIR, V.D.; PORTIER, K.M.; GRAETZ, D.A.; WALKER, M.L. An Environmental Threshold for Degree of Phosphorus Saturation in Sandy Soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 33, p. 107-113, 2004.

NICOLAIEWSKY, S.; PRATES, E.R. **Alimentos e alimentação dos suínos.** 3.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.

NÚCLEO ESTADUAL DO PARANÁ DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (NEPAR-SBCS). **Manual de adubação e calagem para o Estado Paraná.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017.

QUEIROZ, F.M.; MATOS, A.; PEREIRA, O.G.; OLIVEIRA, R.A. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 1487-1492, 2004.

RAIJ, B.V.; ANDRADE, J.C.de.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2001.

RHEINHEIMER, D.dos.S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 36, p. 151-160, 2001.

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 Ciências do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1375-1383, 2010.

SCHERER, E.E.; AITA, C.; BALDISSERA, I.T. **Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante.** Florianópolis: EPAGRI, 1996. Boletim Técnico 79.

SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.T.; NESI, C.N. Propriedades químicas de um latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 31, p. 123-131, 2007.

SCHINDLER, D.W.; HECKY, R.E.; FINDLAY, D.L.; STANTON, M.P.; PARKER, B.R.; PATERSON, N.M.J.; BEATY, K.G.; LYNG, M.; KASIAN, S.E.M. Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: results of a 37-year whole-ecosystem experiment. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 12, p. 11254-11258, 2008.

SCHOUMANS, O.F. **Determination of the degree of phosphate saturation in noncalcareous soils.** Virginia: Virginia Tech University, 2009. Bulletin No 408.

SEGANFREDO, M. A. **A Questão ambiental na utilização de dejetos de suínos como fertilizante do solo.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000.

SELF-DAVIS, M. L.; MOORE, P. A.; JOERN, B. C. Water- or dilute salt-extractable phosphorus. In: KOVAR, J. L.; PIERZYNSKI, G. M. (Ed.). **Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters.** 2nd ed. Virginia: Virginia State University, 2009. p. 22-24.

SHARPLEY, A.; WANG, X. Managing agricultural phosphorus for water quality: lessons from USA and China. **Journal of Environmental Sciences**, Beijing, v. 26, p. 1770-1782, 2014.

SHARPLEY, A. N. Determining environmentally sound soil phosphorus levels. **Journal Water Conservation**, Ankeny, v. 51, p. 160-166, 1996.

SHARPLEY, N. A.; HALVORSON, D. A. The management of soil phosphorus availability and its impact on surface water quality. In: LAL, R. & STEWART, B. A. **Soil processes and water quality.** Madison, p. 7-89, 1994.

SHARPLEY, A. N.; KLEINMAN, P. J. A.; WELD, J. L. Environmental soil phosphorus indices. In: CARTER, M. R., GREGRICH, E. G. (ed.). **Soil sampling and methods of analysis.** 2nd ed. Boca Raton: Canadian Society of Soil Science-CRC Press, 2006. p. 141-159.

SIMS, J. T.; SIMARD, R. R.; JOERN, B. C. Phosphorus losses in agricultural drainage: Historical perspective and current search. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 27, p. 277-293, 1998.

MAGUIRE, R. O.; SIMS, J. T. Soil testing to predict phosphorus leaching. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 31, p. 1601-1609, 2002.

TIECHER, T.; BRUNETTO, G.; CERETTA, C. A.; COMIN, J. J.; GIROTTO, E.; MIOTTO, A.; MORAES, M. P.; BENEDETTI, L.; FERREIRA, P. A. A.; LOURENZI, C. R.; COUTO, R. R. For msand accumulation of copper and zinc in a sandy typic Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep litter. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v. 37, p. 812-824, 2013.

TOKURA, A. L.; NETO, A. E. F.; CUR, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C. H.; ALOVISI, A. A. Form as de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo, **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 10, p. 1467-1476, 2002.

TURTOLA, E.; YLI-HALLA, M. Fate of phosphorus applied in slurry and mineral fertilizer accumulation in soil and release into surface run off water. **Nutrient Cycling in Agroecosystem**, New York, v. 55, p. 165-174, 1999.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-USEPA. **Method 3051^a** 2007. Disponível em <<http://www3.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>> Acesso em : 12 dez 2017.