



FERTBIO 2012

A responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola
17 a 21 de Setembro - Centro de Convenções - Maceió/Alagoas

Alumínio, Cálcio e Nitrato em Solução do Solo de Área Após Sucessivas Aplicações de Lodo de Esgoto

Lívia Fernanda Mendonça Silva⁽¹⁾; Aline Renée Coscione⁽²⁾; Cristiano Alberto de Andrade⁽³⁾; Vera Lucia Ferracini⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Engenheira Ambiental – Mestre em Gestão de Recursos Agroambientais - Centro de Solos e Recursos Ambientais; Instituto Agronômico - IAC, Avenida Barão de Itapura, 1481, Campinas, SP, CEP:13012-970, livia.fms@hotmail.com; ⁽²⁾ Pesquisadora do Centro de Solos e Recursos Ambientais do IAC, Avenida Barão de Itapura, 1481, Campinas, SP, CEP: 13012-970, aline@iac.sp.gov.br; ⁽³⁾ Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP 340 – Km 127,5 Caixa Postal 69, Jaguariúna – SP-Brasil – CEP: 13820-000, cristiano@cnpma.embrapa.br; ⁽⁴⁾ Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP 340 – Km 127,5 Caixa Postal 69, Jaguariúna – SP- Brasil – CEP: 13820-000, veraf@cnpma.embrapa.br.

RESUMO – Estudos de longo prazo em áreas com sucessivas aplicações de lodo de esgoto (LE) são raros nas condições edafo-climáticas brasileiras. Uma destas áreas pertence ao Instituto Agronômico, em Campinas-SP. Entre os anos de 2001 e 2007 a área experimental recebeu anualmente duas doses de LE calculadas para fornecer 120 e 240 kg ha⁻¹ de N para a cultura do milho ou fertilizante mineral nitrogenado na dose de 120 kg ha⁻¹. De 2008 a 2011 a área não recebeu novas aplicações de LE, somente N mineral no tratamento em que era previsto. O objetivo deste trabalho foi determinar a distribuição de cátions e ânions em extrato aquoso 1:1, simulando a solução do solo, após a interrupção do uso do LE, com destaque para alumínio, cálcio e nitrato. Para tanto, foram realizadas coletas de solo (camada 0-20 cm) em setembro de 2009, março e dezembro de 2010 e junho de 2011. A especiação iônica da solução evidenciou o lodo com fonte de Ca²⁺, e NO₃⁻, além de ter proporcionado controle parcial das formas livres de alumínio por meio da complexação pela matéria orgânica dissolvida.

Palavras-chave: Matéria orgânica, resíduo, nitrogênio, agricultura, impacto ambiental.

INTRODUÇÃO - Estudos de longo prazo em áreas com sucessivas aplicações de lodo de esgoto (LE) são raros nas condições edafo-climáticas brasileiras. Uma destas áreas está localizada no Centro Experimental do Instituto Agronômico, em Campinas-SP e diversos estudos têm sido conduzidos ao longo do tempo (Galdos et al., 2004; De Maria et al., 2010; Costa et al., 2010; Pitombo, 2011); porém nenhum abordando a composição e dinâmica da solução do solo, cujo entendimento é fundamental, por exemplo, na previsão da disponibilidade de nutrientes e espécies químicas potencialmente tóxicas. O estudo da solução do solo pode ser feito a partir de amostras coletadas no campo ou a partir de amostras obtidas em laboratório, sendo a escolha da forma de obtenção

dependente principalmente do objetivo do estudo (Wolt, 1994).

No presente trabalho foi objetivo estudar o efeito residual da aplicação continuada de lodo de esgoto na composição da solução do solo (extrato aquoso 1:1), com destaque para alumínio, cálcio e nitrato, comparando com a solução do solo fertilizado com adubo mineral.

MATERIAL E MÉTODOS - O experimento está localizado no Centro Experimental do IAC, em solo classificado como Latossolo Vermelho eutroférico, de textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, com quatro repetições.

De 2001 a 2007, doses de lodo de esgoto (ou fertilizante mineral) foram aplicadas anualmente, com cultivo de milho no verão. Os tratamentos foram denominados AM, L₁ e L₂, em que: AM é o controle sem aplicação de lodo, mas com fertilização com N mineral (AM = 120 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N); L₁ é a aplicação de uma vez o recomendado de N via lodo (L₁ ≈ 10 t ha⁻¹ ano⁻¹ de lodo em base seca); e L₂ representa a aplicação do dobro da dose recomendada de N via lodo (L₂ ≈ 20 t ha⁻¹ ano⁻¹ de lodo em base seca). As doses de lodo foram definidas com base em sua análise química, na necessidade de N da cultura (120 kg ha⁻¹) e considerando a taxa de mineralização do N do resíduo igual a 30%, de acordo com a Resolução CONAMA 375 (CONAMA, 2006). No tratamento L₀, também foram aplicados anualmente fertilizantes minerais com P e K; e nos tratamentos com lodo (L₁ e L₂) somente complementação mineral com K. Em 2008, 2009 e 2010 a área não recebeu novas doses de lodo, entretanto no tratamento adubação mineral houve fertilização anualmente, uma vez que o intuito nesses três anos foi verificar o efeito residual das aplicações do resíduo.

O lodo de esgoto foi proveniente da Estação de Tratamentos de Esgoto de Jundiá, Jundiá-SP, onde o esgoto, predominantemente domiciliar, é tratado por meio de lagoas aeradas de mistura completa, seguidas de lagoas

de decantação, e condicionamento com polímero sintético.

Amostragens do solo (camada 0-20 cm) foram realizadas em setembro de 2009 (época 1), março (época 2), dezembro (época 3) de 2010 e junho de 2011 (época 4), coletando-se 8 amostras simples de forma a se obter uma amostra composta representativa. As amostras foram secas ao ar, peneiradas em malha 2 mm e armazenadas para as análises.

Nas épocas de amostragem 1 e 3, as condições eram as mesmas, solo úmido, em pousio, com restos culturais e mato dessecado por herbicidas na superfície. Já na época 2 o solo em superfície estava mais seco e a cultura do milho estava em fase de maturação dos grãos. E na época 4 o solo cultivado com girassol, coberto com restos culturais e plantas secas de girassol.

A partir das amostras de solo foram obtidos extratos aquosos, empregando-se o método descrito em Wolt (1994).

A determinação de pH foi realizada imediatamente após a obtenção dos extratos. Os teores totais de P, S, Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , Al^{+3} , Cu^{+2} , Fe^{+2} , Mn^{+2} , Zn^{+2} , Cd^{+2} , Cr^{+3} , Ni^{+2} , Pb^{+2} , foram determinados em ICP-OES, enquanto os de NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{2-} , Cl^- e F^- em cromatógrafo; para o amônio foi utilizando colorímetro UV-Vis de fluxo contínuo (FIA-2500 Flow Injection Analyser) e para determinação de Carbono Orgânico Dissolvido utilizou-se o equipamento Total Organic Carbon Analyzer (TOC – V CPN) da Shimadzu.

RESULTADOS E DISCUSSÃO – Embora a especiação permita análise detalhada da forma química de todas as espécies químicas medidas na solução do solo, são apresentados a seguir somente os de Al^{+3} , Ca^{+2} e NO_3^- . O Al apresentou teor total na solução do solo do tratamento AM cerca de 10 e 20 vezes superior aos teores encontrados nos tratamentos 1L e 2L, respectivamente, o que se deve parcialmente às diferenças de pH nesses tratamentos (Tabelas 1 e 2). No entanto, somente os valores de pH não explicam todas as diferenças verificadas, pois entre os tratamentos AM e 2L, os valores médios de pH da solução foram semelhantes. O aumento do teor de matéria orgânica no solo da área experimental devido aplicação de LE (Pitombo, 2011) pode ter resultado em movimentação de parte do Al combinado com compostos orgânicos solúveis (baixo peso molecular) para camadas mais profundas, tal qual reportado em alguns trabalhos com solo sob sistema de plantio direto (Moraes et al., 2007).

A espécie química AICOD se destacou em termos de porcentagem do total desse elemento na solução, com maiores valores no tratamento AM, seguidos dos tratamentos 2L e 1L, nas quatro épocas de amostragem. Em função dos maiores teores de carbono orgânico no solo com lodo, esperava-se maior ligação do Al com COD nos tratamentos 1L e 2L. No entanto, a menor proporção de Al ligado ao COD nos tratamentos com lodo foi acompanhado por maior participação do AIOH. Na 1ª época o Al-OH seguiu a ordem de pH entre os tratamentos, sendo 53,9% no tratamento 1L, 27% no 2L e 11% no tratamento AM. Para 2ª e 3ª épocas o Al-OH apresentou maior porcentagem no tratamento 1L, cujos

valores de pH são superiores aos verificados em 2L e AM. Na 4ª época essa diferença não ficou evidente devido aos valores médios de pH do solo nos três tratamentos que mostraram-se semelhantes. O Al^{+3} livre na solução esteve com valores variando entre 0,12 e 7,74% do Al total, ou seja, com disponibilidade restrita na solução, uma vez que a maior parte esteve combinada com AICOD e AIOH conforme comentado anteriormente.

O Ca apresentou teores totais diferenciados entre os tratamentos, nas quatro épocas de avaliação, com predominância da espécie química na forma iônica bivalente (Tabela 3), o que indica sua disponibilidade relacionada com o teor total na solução. No tratamento AM da 1ª época, o teor total de Ca na solução foi de 12,4 mg L^{-1} e 10,3 mg L^{-1} estava como Ca^{+2} na solução, ou seja, 83% do Ca estava na forma prontamente assimilável pela planta. O mesmo comportamento foi observado em todas as épocas. Apesar da maior proporção de Ca^{+2} na solução do solo do tratamento AM, os teores de Ca^{+2} calculados em função do total e da porcentagem livre seguiram a ordem $\text{AM} < 1\text{L} < 2\text{L}$, com valores médios das quatro épocas iguais a respectivamente 7,07 < 18,49 < 28,62 mg L^{-1} de Ca^{+2} . A diferença de 10 mg L^{-1} de Ca^{+2} entre os tratamentos 1L e 2L evidencia efeito do lodo no fornecimento desse nutriente, excluindo-se o efeito da calagem, uma vez que tal prática foi realizada em ambos os tratamentos.

O NO_3^- predominou na forma livre na solução para as quatro épocas (Tabela 4), com destaque para alguma formação de par iônico com cálcio, função dos mais elevados valores totais de Ca em solução. Menores teores de NO_3^- em solução foram verificados quando o solo encontrava-se em fase final de cultivo e/ou após período de chuvas intensas, como em março de 2010 (2ª época) e em junho de 2011 (4ª época). Além do nitrato ser uma das formas de N absorvida pelas plantas e, portanto, estar relacionada com a adequada nutrição mineral das culturas, sua importância ambiental também deve ser considerada. O nitrato é passível de lixiviação para águas subterrâneas e, por isso, seu excesso no ambiente não é desejável. O principal aspecto para recomendação da dose de lodo para aplicação é suprir a demanda da cultura, sem implicar em excesso de N no ambiente (CETESB, 1999; CONAMA, 2006). No entanto, observando-se a Tabelas 3, percebe-se que as sucessivas aplicações de LE levaram a maiores teores de nitrato na solução, o que concorda com os aumentos dos teores totais e estoques de N nessa área experimental (Pitombo, 2011), bem como com o potencial de mineralização do N avaliado por Coscione et al. (2012).

CONCLUSÕES - A especiação iônica da solução evidenciou o lodo com fonte de cálcio e nitrato (aumento dos teores totais e livres), além de ter proporcionado controle parcial das formas livres de alumínio por meio da complexação pela matéria orgânica dissolvida. Mostrou também que mesmo três anos após cessada a aplicação do LE, ainda se percebe o efeito residual do lodo no aumento das formas nitrogenadas (NO_3^-) na solução, o que é indicativo da necessidade de melhor dimensionamento das doses desse resíduo em função do N disponível, de modo a reduzir risco de contaminação ambiental.

AGRADECIMENTOS – À FAPESP pela concessão da bolsa.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Aplicação de biossólidos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas** – Critérios para projeto e operação: manual técnico. São Paulo, 1999. 33p.

CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente). Resolução 375/2006. Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>> Acesso em 18 de janeiro de 2010.

COSCIONE, A. R.; ANDRADE, C. A.; SILVA, L. F. M. **Mineralização da matéria orgânica em latossolo após sucessivas aplicações de lodo de esgoto**. PAB. Artigo submetido, 2012.

COSTA, V.L.; DE MARIA, I.C.; CAMARGO, O.A. **Transporte de fósforo pela enxurrada em Latossolo que recebeu LE**. *Bragantia*, Campinas, v.69, n.1, p.115-123, 2010.

DE MARIA, I.C.; CHIBA, M.K.; COSTA, A.; BERTON, R.S. **Lodo de esgoto como condicionador do solo: efeito sobre propriedades físicas de um solo agrícola**. *R. bras. Ci. Solo*, Viçosa, v. 34, p. 967-974, 2010.

REFERÊNCIAS

DE MARIA, I. C. ROSSETO, R.; AMBROSANO, E. J.; DE CASTRO, O.M.; NEPTUNE, A. M. L. **Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo**. *Scientia Agricola*. v. 50. n° 1. p. 87 – 98. 1993.

GALDOS, M.V., DE MARIA, I.C., CAMARGO, O.A. **Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférrico tratado com LE**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p. 569-577, 2004.

MORAES, M. F.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. & COSCIONE, A. R. **Mobilidade de íons em solo ácido com aplicação de calcário, ácido orgânico e material vegetal em superfície**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. V. 31, p. 673-684, 2007.

PITOMBO, L. M. **Estoques de C e N e fluxos de CO₂, CH₄ e N₂O em solo com diferentes históricos de aplicação de lodo de esgoto**. 2011. 68f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo.

WOLT, J.D. **Soil solution chemistry: applications to environmental science and agriculture**. New York: John Wiley, 1994.

Tabela 1 – Valores médios de pH da solução do solo para todas as épocas de amostragem.

Tratamento	pH			
	1ª Época	2ª Época	3ª Época	4ª Época
AM	5,24±0,17	4,46±0,23	4,87±0,58	5,19±0,20
1L	5,98±0,69	5,47±0,84	5,87±0,84	5,69±0,32
2L	5,43±0,77	4,53±0,63	4,40±0,70	4,93±0,25

Tabela 4 - Especificação iônica do NO₃⁻ nas quatro épocas de amostragem.

Época	Tratamento	Teor Total mmol L ⁻¹	Espécies de NO ₃ ⁻		
			%		
			NO ₃ ⁻	CaNO ₃ ⁺	KNO ₃ (aq)
1ª	AM	1,56±0,15	99,91±0,00	0,05±0,00	0,03±0,00
	1L	1,54±0,23	99,83±0,01	0,12±0,01	0,05±0,00
	2L	2,03±0,34	99,8±0,01	0,17±0,01	0,03±0,00
2ª	AM	0,46±0,03	99,96±0,00	0,03±0,00	-
	1L	0,81±0,04	99,9±0,00	0,09±0,00	0,00±0,00
	2L	1,22±0,13	99,88±0,01	0,12±0,01	-
3ª	AM	1,06±0,12	99,93±0,00	0,05±0,00	0,02±0,00
	1L	1,86±0,14	99,86±0,00	0,11±0,00	0,03±0,00
	2L	3,41±0,21	99,78±0,01	0,18±0,01	0,03±0,00
4ª	AM	0,09±0,01	99,96±0,00	0,02±0	0,01±0,00
	1L	0,23±0,05	99,93±0,00	0,05±0	0,02±0,01
	2L	0,52±0,09	99,91±0,00	0,07±0,01	0,01±0,01

Tabela 2 - Especificação iônica do Al³⁺ nas quatro épocas de amostragem.

Época	Tratamento	Teor Total mmol L ⁻¹	Espécies de Al ³⁺					
			%					
			Al ³⁺	Al COD	AlOH	AlF	AlSO ₄	Outras
1 ^a	AM	0,19±0,05	5,77±1,04	70,66±4,3	11,02±2,95	2,48±1,14	9,32±1,46	0,74±0,74
	1L	0,02±0,00	1,3±0,51	41,79±15,46	53,91±18,52	0,48±0,48	1,83±1,04	0,68±0,43
	2L	0,01±0,00	2,66±0,72	65,13±12,61	27,17±15,14	-	3,39±1,39	1,65±0,65
2 ^a	AM	0,05±0,01	7,74±2,27	72,69±3,94	1,72±0,32	14,31±6,89	3,05±0,89	0,48±0,36
	1L	0,05±0,02	3,00±0,16	58,91±8,64	21,05±9,32	10,85±9,44	4,31±0,30	1,88±1,79
	2L	0,01±0,00	5,25±0,84	62,32±4,85	1,17±0,3	18,95±7,94	11,71±2,24	0,6±0,35
3 ^a	AM	0,05±0,02	6,06±0,61	78,41±4,29	5,62±2,84	4,84±3,09	5,06±0,7	-
	1L	0,03±0,01	1,89±1,02	36,36±20,02	46,98±25,61	12,39±7,31	2,38±1,28	-
	2L	0,01±0,00	7,09±0,18	51,88±3,78	1,57±0,94	30,35±4,78	9,11±0,28	-
4 ^a	AM	0,09±0,01	2,45±1,51	25,22±7,17	4,63±2,82	66,85±14,95	0,85±0,31	-
	1L	0,05±0,01	0,12±0,11	3,4±3,18	0,84±0,78	92,57±21,07	0,18±0,17	2,89±2,89
	2L	0,03±0,01	-	2,07±1,95	0,15±0,15	97,55±13,53	0,13±0,11	0,01±0,01

Tabela 3 - Especificação iônica do Ca⁺² para as quatro épocas de amostragem.

Época	Tratamento	Teor Total mmol L ⁻¹	Espécies de Ca ⁺²				
			%				
			Ca ⁺²	CaCOD	CaCl ⁺	CaSO ₄ (aq)	CaNO ₃ ⁺
1 ^a	AM	0,31±0,02	82,96±2,38	10,18±2,4	0,02±0,00	6,56±0,11	0,28±0,04
	1L	0,90±0,05	71,47±0,70	24,24±1,55	0,01±0,00	4,08±2,06	0,21±0,05
	2L	1,23±0,14	73,66±1,72	21,15±1,76	0,01±0,00	4,91±1,47	0,26±0,07
2 ^a	AM	0,15±0,01	90,81±1,93	7,57±1,92	0,02±0,00	1,49±0,14	0,1±0,01
	1L	0,51±0,03	80,40±1,41	13,84±1,56	0,02±0,00	5,6±0,33	0,14±0,01
	2L	0,75±0,05	80,65±0,81	9,94±0,75	0,02±0,00	9,2±0,58	0,19±0,02
3 ^a	AM	0,25±0,02	87,12±2,13	9,17±1,33	0,03±0,00	3,47±0,82	0,21±0,02
	1L	0,70±0,04	79,55±0,44	14,86±0,48	0,03±0,00	5,27±0,24	0,29±0,02
	2L	1,16±0,06	86,49±0,50	6,79±0,42	0,03±0,00	6,14±0,23	0,54±0,04
4 ^a	AM	0,11±0,01	86,98±3,00	11,09±2,8	0,05±0,01	1,86±0,37	0,02±0,00
	1L	0,31±0,02	77,20±0,38	18,37±0,52	0,05±0,01	4,27±0,64	0,04±0,01
	2L	0,43±0,03	80,93±0,83	11,66±1,5	0,05±0,01	7,23±0,72	0,09±0,02