

Taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto higienizado pelo processo de estabilização alcalina: estudo comparativo de curvas de pH de solos

RESUMO

Objetivou-se avaliar a taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto higienizado por processo de estabilização alcalina prolongada (EAP) em dois solos da Região Metropolitana de Curitiba (Lapa e Pinhais). Obteve-se curvas de neutralização do pH, incubando-se os solos com doses crescentes de dois dos três corretivos de acidez utilizados: dois lodos EAP (obtido em condições controladas e da estação) e um calcário. Concluiu-se que três toneladas de lodo EAP higienizado sob condições controladas foi equivalente a uma tonelada de calcário; houve interação entre lodo e tipo de solo, sendo a capacidade tampão dos solos importante para determinação da taxa de aplicação máxima anual.

PALAVRAS-CHAVE: Biossólido; incubação; resolução CONAMA 375/06.

ABSTRACT

The study aim was to determine the maximum annual application rate (MAAR) of sanitized sewage sludge by prolonged alkaline stabilization process (SS-EAP), for two soils from Metropolitan Region of Curitiba (Lapa and Pinhais municipality). The MAAR was obtained from pH neutralization curves by incubating soils samples with crescent rates of two of three acidity correctives used: two types of SS-EAPs [1- alkalized under controlled condition (lab); 2 - sludge station] and one limestone. The majors conclusions were: a) 3 tons of SS-EAP from lab was equivalent an one ton of limestone. b) soil buffer capacity was very important to determine the MAAR; c) there was interaction between sludge and soil type in order to established the MAAR.

KEYWORDS: Biosolid, incubation; Resolution Conama 375/06.

Beatriz Monte Serrat

Engenheira agrônoma. Doutora em Solos e Nutrição de Plantas pela USP. Professora na pós-graduação em Ciências do Solo – UFPR. Bolsista DTI/CNPq em projeto de pesquisa na Sanepar.
E-mail: bmserrat@ufpr.br

Thiago Romanholi Santiago

Graduando de Agronomia – UFPR. Estagiário Sanepar.

Simone Bittencourt

Engenheira agrônoma. Mestre em Agronomia pela UFPR. Doutoranda do Programa de pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental - UFPR. Analista da Sanepar.

Antônio Carlos Vargas Motta

Engenheiro agrônomo. Doutor em Agronomy and Soils pela Auburn University, USA. Professor adjunto do Dep. de Solos e Eng. Agrícola da UFPR.

Luiz Antônio Tavares Pinto da Silva

Graduando de Agronomia – UFPR. Bolsista ITI CNPq.

Cleverson Vitório Andreoli

Engenheiro agrônomo. Doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento pela UFPR. Eng. de Pesquisa da Sanepar e Professor de Mestrado em Organizações e Desenvolvimento da FAE.

INTRODUÇÃO

Estudos com a disposição final do lodo gerado do tratamento do esgoto doméstico destacam as vantagens do retorno de nutrientes e de matéria orgânica aos solos agriculturáveis ou à áreas degradadas.

No Brasil a aplicação de lodo de esgoto na agricultura segue as determinações da Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006) e no Estado do Paraná, essa é complementada pela Resolução Sema 021/09 (PARANÁ, 2009). Tais resoluções estabelecem critérios para a determinação da taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto, entre eles o de pH, de modo a garantir que o pH final da mistura solo-lodo de esgoto não ultrapasse o limite de 7,0.

O lodo de esgoto gerado na Região Metropolitana de Curitiba apresenta teores de substâncias inorgânicas abaixo dos limites estabelecidos pela legislação (TAMANINI et al., 2008), dessa forma, as medidas de controle prioritárias para uso agrícola desse material visam a higienização para eliminação dos agentes patogênicos. Para este fim, a Companhia de Saneamento do Paraná adota o processo de estabilização alcalina prolongada (EAP) por meio da adição de cal visando a elevação do pH da mistura a 12 e com posterior período de cura de 30 dias (SANEPAR, 2007 e PARANÁ, 2009).

O lodo higienizado por estabilização alcalina prolongada (Lodo EAP) apresenta características de corretivo de acidez do solo. Os óxidos e hidróxidos de Ca e Mg que constituem o lodo EAP, possuem maior velocidade de reação quando comparados aos carbonatos de Ca e Mg, constituintes do calcário, material normalmente utilizado como corretivo de acidez de solos agrícolas (MOTTA; LIMA, 2006). Assim, a elevação do pH do solo a valores superiores a sete poderá provocar mais facilmente efeitos negativos nos cultivos agrícolas, conforme observado por Chueiri et al. (2007) e por Tamanini et al. (2008).

A faixa de pH do solo determinado em água entre 6,0 e 6,5 tem sido considerada excelente para a maioria das plantas cultivadas, sendo que algumas culturas tais como, milho, trigo e soja, apresentaram efeito depressivo na produtividade em situações de valores superiores a 7,0 (MELLO et al., 1984), pois neste caso, pode vir a comprometer o suprimento de alguns micronutrientes tais como Mn, Fe, Zn, Cu e B (MOTTA; LIMA, 2006). Na determinação do pH em CaCl_2 esses valores, em média, correspondem à 5,4; 5,9 e 6,4 respectivamente (MONTE SERRAT et al., 2006).

Ainda que se utilize o mesmo processo para higienização do lodo de esgoto EAP, existem variações nos métodos de desagregação e mistura, bem como, na origem e quantidade dos materiais empregados, podendo resultar em poderes alcalinizantes distintos para cada lote. Da mesma forma, solos com diferentes características de “poder tampão”, poderão apresentar respostas diferenciadas à aplicação de um mesmo lote de lodo EAP. Desta forma, para um programa da disposição agrícola do lodo EAP, é importante a definição da amplitude dessas variações. Cabe ressaltar que o “poder tampão” sendo uma característica intrínseca do solo que determina a resistência à variação do pH, está relacionado com a composição mineralógica e/ou conteúdo de orgânica dos solos (NOLLA; ANGHINONI, 2004).

O método da incubação com CaCO_3 é utilizado como método padrão para a avaliação de efeito corretivo de diversos materiais (NOLLA; ANGHINONI, 2004; MOTTA; LIMA, 2006) e comparações com calcário têm sido feitas por Prado e Fernandes (2000) e Prado et al. (2002), permitindo, desta forma, o estabelecimento de referenciais com diferentes tipos de solo.

Em função do critério de elevação de pH estabelecido a Resolução Conama 375/06 para determinação da taxa de aplicação máxima anual, o presente estudo visa

obter, analisar e comparar curvas de elevação de pH de dois solos de características distintas da Região Metropolitana de Curitiba incubados com um único lote de lodo esgoto higienizado pelo processo de estabilização alcalina (Lodo EAP); verificar, para um dos solos, o efeito da aplicação de dois lotes de uma mesma Unidade de Gerenciamento de Lodo de Esgoto (UGL), preparados de maneira distinta; e ainda, comparar, para um dos solos, as curvas de elevação de pH obtidas com lodo EAP, citadas anteriormente, com as curvas de elevação de pH desse solo incubado com calcário comercial.

MATERIAIS E MÉTODOS

Dois tipos de solos de importância agrícola foram selecionados e coletados na Região Metropolitana de Curitiba – PR (RMC): Latossolo Bruno Ácrico (LBw1) do município de Pinhais – PR; Cambissolo Háptico tb Distrófico (Cxbd29), do município da Lapa – PR.

Os solos foram coletados e transportados para dependências da UFPR, onde foram secos e peneirados em peneira com abertura de 2 mm. Amostras de solo seco foram separadas para análise química e física segundo Marques e Motta (2003) e Embrapa (1997), respectivamente (Tabela 1). Floresta de araucária com sub-bosque era a vegetação existente na área de Pinhais e campo nativo, recém desbravado, com plantio de cultura de milho no ano anterior para a área de Lapa. O solo da Lapa apesar do uso agrícola com milho, não tinha recebido calagem.

Em julho de 2009 o experimento foi estabelecido em local protegido no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola do Setor de Ciências Agrárias da UFPR, empregando-se o ensaio de incubação (BRASIL, 2006). A unidade experimental constou do equivalente a 400 g de solo seco, condicionados em potes plásticos de um decímetro cúbico (diâmetro de 18 cm) com tampa perfurada.

| SOLO | pH | Al ³⁺ | H ⁺ Al ³⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | T | P | C | V | Areia | Silte | Argil a | Ds | U | |
|-------------|-----------------------|------------------|-----------------------------------------------|------------------|------------------|----------------|------|-------|-----|------------------------|-----------------------|-------|-------------------------------|-----------------------|--------------------|------|
| | Ca Cl ₂ | S M P | -----cmol _c dm ⁻³ ----- | | | | | | | mg dm ⁻³ | g dm ⁻³ | % | -----g cm ⁻³ ----- | g dm ⁻³ | g kg ⁻¹ | |
| LBw | 4,0 | 4,7 | 3,7 | 15,8 | 3,1 | 1,6 | 0,09 | 20,59 | 1,3 | 65,4 | 23 | 221 | 129 | 650 | 0,95 | 54,3 |
| Cxbd | 4,1 | 4,9 | 1,9 | 11,3 | 1,3 | 1,2 | 0,19 | 13,99 | 0,6 | 21,2 | 19 | 713 | 87 | 200 | 1,23 | 28,7 |

Tabela 1: Atributos químicos e físicos dos solos da Região Metropolitana de Curitiba utilizados no processo de incubação*.

*Profundidade de coleta 0 – 20cm. T = Capacidade de troca de cátions; C = carbono orgânico; V = saturação por bases; Ds = densidade do solo; U = umidade do solo na capacidade de campo (0,033 Mpa).

Dois lotes de lodo de esgoto foram utilizados, um originário da ETE São Jorge do município de Almirante Tamandaré (Lodo AT) e outro, misto de várias ETEs incluindo o lote anterior, coletado na Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL) do bairro Cidade Industrial de Curitiba (CIC), denominada de CIC-Xisto do município de Curitiba (Lodo CIC/xis). Ambos os lotes foram resultantes de tratamento anaeróbio de

esgoto, desaguados em leito de secagem e higienizados pelo processo EAP, adicionando-se cal na proporção de 50% de sólidos totais. A quantidade utilizada de lodo úmido foi calculada com base nos sólidos totais de uma sub-amostra. A mistura da cal ao lodo da UGL CIC-Xisto foi realizada em escala real utilizando-se misturador mecânico (maromba) de carregamento manual (pá). Para o lodo da ETE São Jorge a

mistura foi realizada sob condições controladas, onde as quantidades de cal e lodo úmido foram pesadas em balança de precisão e posteriormente misturadas manualmente, deixando-se por um período de cura de trinta dias. A tabela 2 apresenta as características dos materiais utilizados quanto ao poder de correção de pH.

| MATERIAL | pH | PN ² | PRNT ³ |
|-------------------------------------------|------|-----------------|-------------------|
| Cal | 12,3 | 124,0 | 105,1 |
| Calcário | 9,5 | 101,8 | 101,3 |
| Lodo de esgoto ETE São Jorge ¹ | 9,7 | 29,4 | - |
| Lodo de esgoto UGL CIC Xisto ¹ | 9,8 | 51,1 | - |

Tabela 2 – Características da cal, dos lodos higienizados com cal e do calcário comercial utilizado na incubação dos solos quanto ao poder de correção de pH.

¹Lodo de esgoto higienizado com cal; ²PN: Poder de Neutralização; ³PRNT: Poder Relativo de Neutralização Total.

O experimento foi conduzido em ambiente protegido em temperatura ambiente. Para os dois solos, os tratamentos foram aplicados em delineamento “Inteiramente Casualizado”, com três repetições, conforme apresentado na Tabela 3. O efeito do tempo sobre pH também foi avaliado em amostras do material

incubado coletadas aos 0, 7, 14, 30, 45 e 60 dias. O tempo 0 foi correspondente à amostra coletada logo após a adição de água na mistura de solo e lodo. A amostra foi então levada a estufa de circulação de ar forçada, com temperatura controlada de 55^o C, até peso constante (BRASIL, 2006).

O pH foi determinado em solução de CaCl₂ 0,01 M, utilizando pHmetro digital com duas casas decimais. Adicionou-se 25 cm³ de solução de CaCl₂ 0,01 à amostra de 10 cm³ de solo, seguindo-se os procedimentos apresentados por Marques e Motta (2003).

| Solo | Tratamento | | Calcário t ha ⁻¹ * |
|-----------------------|-------------------------------------------|------------------|-------------------------------|
| | Lodo de esgoto (t ha ⁻¹ de ST) | | |
| | ETE São Jorge | UGL CIC Xisto | |
| Cxbd29 - Lapa | 0 – 10 – 20 - 40 e | 0 – 10 – 20 - 40 | - |
| Lbw1 - Pinhais | 0 – 10 – 20 - 40 e | - | 0 – 3,5 – 11,7 – 19,9 |

Tabela 3 – Doses dos lotes de lodo e de calcário aplicadas para obtenção das curvas de pH de solos da Região Metropolitana de Curitiba.

*doses calculadas pelo método de saturação de bases (V%) visando atingir V% de: 0 – 40 - 80 – 120 – 160, respectivamente.

A umidade na capacidade de campo foi obtida através do aparelho extrator de Richards na tensão de 0,033 Mpa (EMBRAPA, 1997). Cada solo foi umedecido e mantido úmido durante o período experimental, com uma quantidade de água desionizada equivalente a 80% do valor obtido para a sua capacidade de campo.

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente pelo programa R (R DEVELOPMENT, 2008),

fazendo-se a análise da variância. Após a análise conjunta dos dados de pH considerando o tempo de incubação e a dose, foram realizadas, apenas para o último dia de incubação, análises de regressão individualizadas para os lodos e para o calcário em função das doses aplicadas.

Para o solo de Pinhais foi realizada a correspondência entre calcário e lodo. A taxa de aplicação máxima anual foi estimada aos 60 dias

de incubação através da análise da regressão do pH versus dose do lodo de esgoto higienizado aplicado para cada situação. Considerou-se a linha de predição superior, obtida a partir do limite de confiança dos dados, com 95% de confiabilidade (DRAPER e SMITH, 1998), para indicar a quantidade de lodo mais segura, evitando que o solo ultrapasse o pH 7.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As respostas da interação entre as doses de lodo de esgoto e o tempo de incubação para a variável pH do solo Cxbd29 - Lapa estão apresentadas na Figura 1a, para o Lodo AT e na Figura 1b, para Lodo Cic/xis. As superfícies de resposta dos dois lodos apresentam a mesma tendência de acréscimos

decrecentes do pH com a elevação da dose ao longo do período avaliado. Tal fato era esperado visto que a reatividade do produto diminui com elevação do pH e Ca no sistema. O efeito do tempo pode ser observado por meio da elevação do pH, do dia 0 até 60 dias de incubação, quando considerada a mesma dosagem. Isto se deve, provavelmente, à reatividade dos

hidróxidos que compõem a cal utilizada no processo de higienização dos dois lodos, ou seja, parte dos hidróxidos reagiu no início da incubação para todas as dosagens e no decorrer do tempo a reação prosseguiu de menor intensidade, diferenciada de acordo com cada dosagem (ALLEN & HOSSNER, 1991).

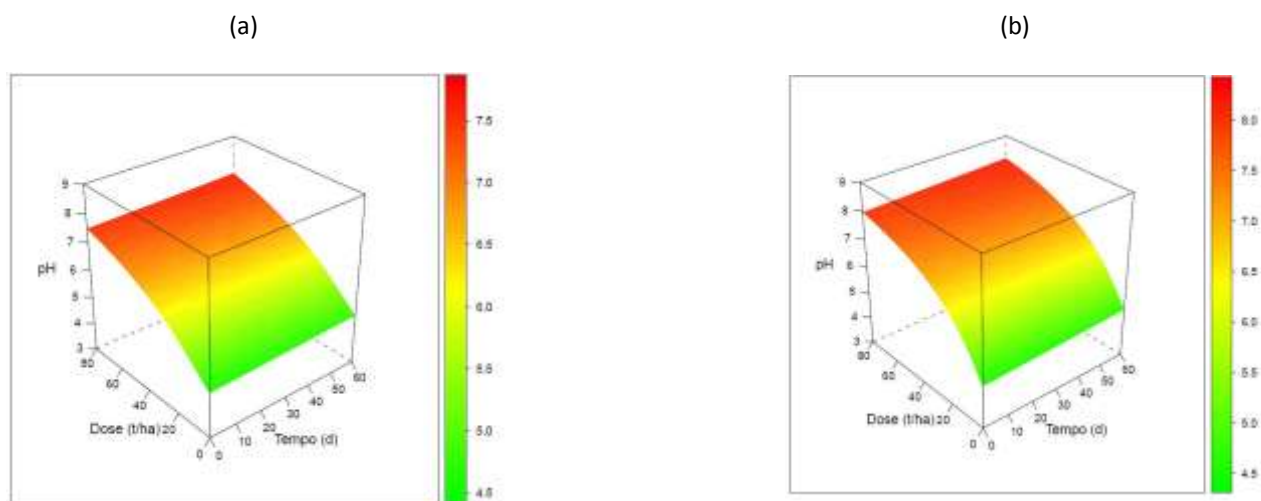


Figura 1 – pH do solo Cxbd29 – Lapa em função do tempo de incubação e das doses de lodo aplicadas: lodo AT (a) e lodo CIC/Xis (b).

A Tabela 4 apresenta a análise comparativa do efeito da dose aos 60 dias de incubação para os dois lodos. No solo da Lapa verificou-se que houve

diferença entre esses dois lodos, pois para o Lodo CIC/xis os valores de pH foram superiores até a dose 40 t ha⁻¹, observando-se também que para esse

lodo houve menor variação no pH entre as doses mais elevadas.

| Tipo de Lodo ⁽¹⁾ | Dose de lodo de esgoto t ha ⁻¹ | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| | 0 | 10 | 20 | 40 | 80 |
| Lodo AT ⁽²⁾ | 4,7 f | 5,2 e | 5,8 d | 6,7 c | 7,7 ab |
| Lodo CIC/xis ⁽³⁾ | 4,7 f | 5,7 d | 6,3 c | 7,5 b | 8,0 a |

Tabela 4. Médias de pH do solo da Lapa aos 60 dias de incubação com lodo de esgoto de Almirante Tamandaré da ETE São Jorge (LODO AT) e do lodo de Curitiba da UGL CIC/XISTO (LODO CIC/XIS).

⁽¹⁾ Adição de cal a 50% dos sólidos totais; ⁽²⁾ Lodo preparado em condições de laboratório; ⁽³⁾ Lodo preparado em condições de escala real, com misturador mecânico e carregamento manual; ⁽⁴⁾ Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Na continuação da avaliação do efeito desses dois lodos sobre o pH do solo da Lapa, a taxa de aplicação máxima anual determinada (Figuras 2a e 2b) foi de 40,6 t ha⁻¹ para o Lodo AT e 23,9 t ha⁻¹ para o Lodo CIC/xis. Essa diferença entre as taxas é um indicativo da complexidade na quantificação da cal pelo carregamento manual, considerando que um lodo foi preparado em condições controladas e outro em condições reais de operação. Um dos principais problemas observados em escala real é a variação

no volume do lodo devido à variação de sua umidade, o que poderá acarretar dificuldades no controle da quantidade de cal a ser aplicada.

A razão entre as doses necessárias para atingir pH 7 no solo da Lapa, apresentada no parágrafo anterior para os dois lodos EAP fica em 1,7 (40,6 / 23,9). Esta razão é praticamente igual ao inverso da razão (1,74) entre os valores do poder de neutralização determinados em laboratório, desses mesmos lodos (PNs de 29,4 / 51,1 = 0,575, Tabela 2). Como a quantidade de

corretivo a ser aplicada é inversamente proporcional ao seu poder neutralizante, isso sugere que a metodologia de determinação do PN utilizada para corretivo agrícola poderá ser importante para a recomendação da taxa de aplicação máxima anual de lodo EAP a ser aplicada no solo. Esses resultados podem representar uma substituição metodológica no processo de obtenção da curva, devendo ser testada com maior número de solos e lodos de esgoto.

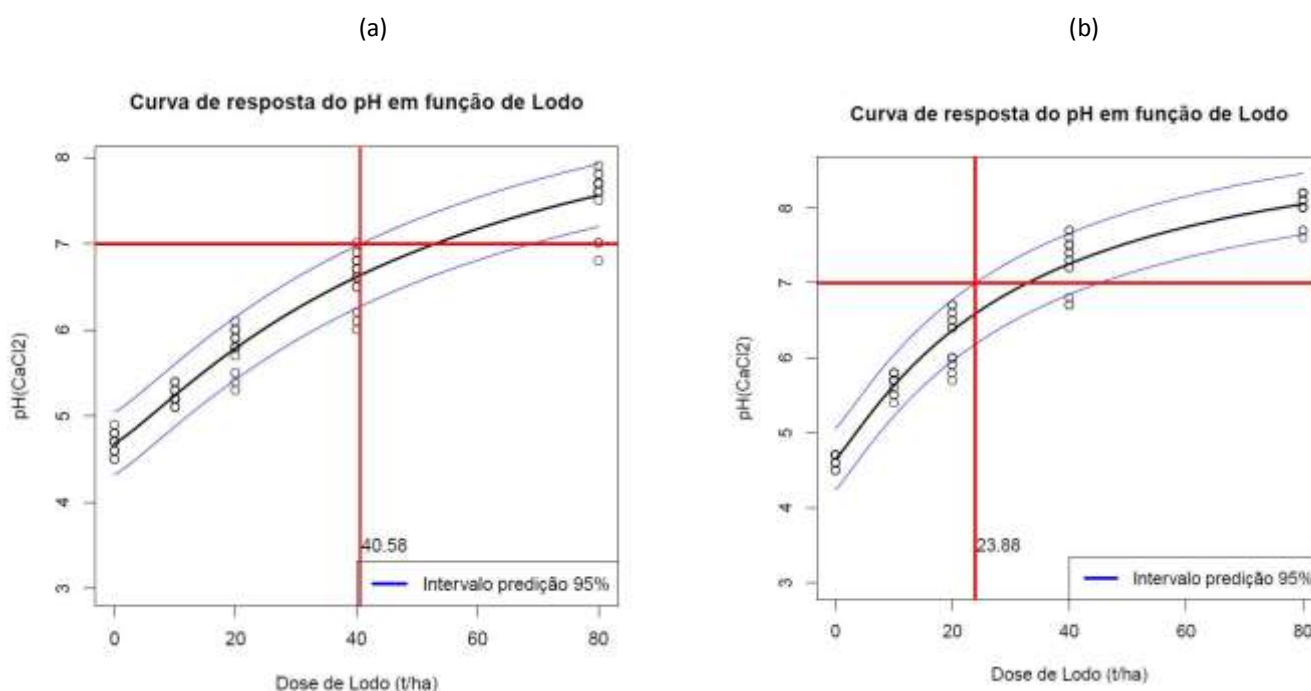


Figura 2 – Relação entre o pH (CaCl₂) e as doses de lodo aplicadas no solo da lapa e taxa de aplicação máxima anual: LODO AT (a) e LODO CIC/Xis (b).

Para o solo Lbw1 - Pinhais, os dados relativos às doses de lodo EAP e de calcário no tempo avaliado são apresentados nas Figuras 3a e 3b, os quais possuem comportamento similar ao observado para as incubações com o solo da Lapa quanto aos acréscimos decrescentes de pH com aumento das doses, sendo mais evidentes no dia 0. Todavia os resultados diferem dos observados para solo da Lapa, pois para o solo de Pinhais os pHs não atingiram valores maiores que 7 com uso do Lodo AT e de calcário. Isto indica que o solo

de Pinhais tem uma maior resistência à elevação do pH, o que é confirmado pelos seus maiores valores de (H⁺ + Al³⁺), argila e matéria orgânica apresentados na Tabela 1, características essas relacionadas por diversos pesquisadores à capacidade tampão dos solos (ALMEIDA et al., 1999; NOLLA ; ANGHINONI, 2004).

Para o solo de Pinhais, essa resistência à elevação do pH com a adição de produtos alcalizantes é também evidenciada pela dose necessária de lodo para atingir pH 7,0

(Figura 4), a qual foi de 74,15 t ha⁻¹; 1,8 vezes maior que a obtida para o solo da Lapa com o mesmo Lodo AT. Salienta-se que comparados à média dos solos brasileiros, os solos do presente estudo apresentam atributos, já citados, que lhes confere maior poder tampão (MOTTA; MELO, 2009).

Ao avaliar o intervalo de pH em água considerado adequado para a maioria das plantas cultivadas, entre 6 e 6,5 (MELLO et al., 1984), obtém-se, Figuras 3a e 5, quantidades de aplicação que variam de 20 a 30 t ha⁻¹

para os solos da Lapa e de 40 a 60 t ha⁻¹ para o solo de Pinhais. Para esta mesma

região, Serrat et al. (2009), trabalhando com três solos da RMC, obteve a taxa

de aplicação máxima anual de lodo EAP de 31 t ha⁻¹.

(a)

(b)

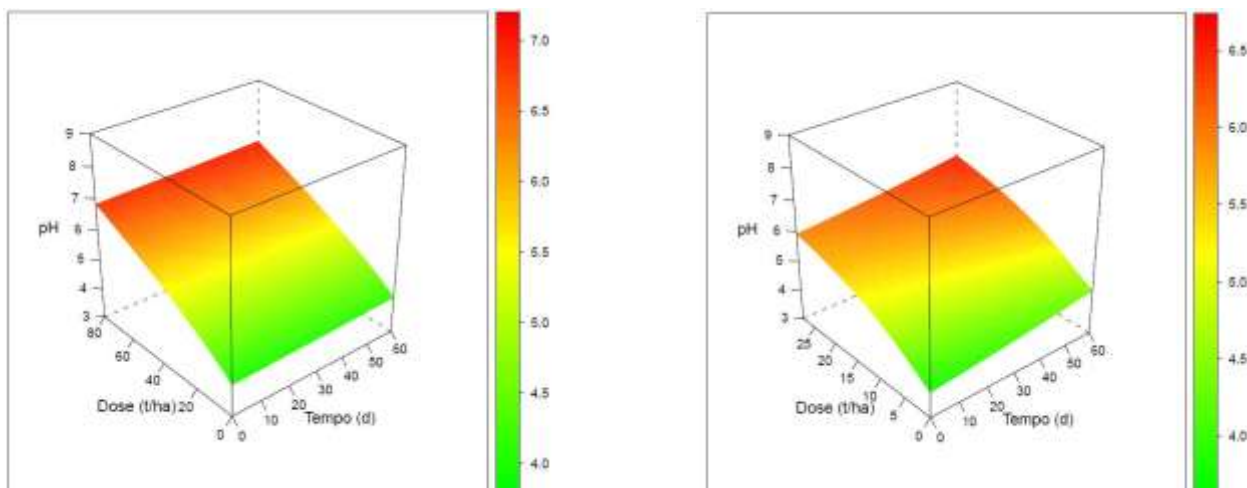


Figura 3 – pH do solo Lbw1 - Pinhais em função do tempo de incubação e da dose de corretivo aplicada: LODO AT (a) e CALCÁRIO (b).

Como a definição da quantidade de lodo EAP a aplicar depende de critérios estabelecidos pelo Conama 375 (BRASIL, 2006), a sua recomendação fica limitada pelo critério mais restritivo. Isso é observado por Bittencourt et al. (2009) em sua pesquisa sobre a disposição agrícola de

lodo EAP em 2007, os quais citam que os projetos agrônômicos realizados pela Sanepar recomendaram em média 10,89 t ha⁻¹ de sólidos totais para a Região Metropolitana de Curitiba.

Numa análise mais detalhada das Figuras 3a e 3b é possível verificar que os aumentos de pH ao longo do

tempo são maiores para o calcário do que para lodo. Embora o calcário utilizado tenha PN e PRNT (Tabela 2) ligeiramente acima de 100%, o princípio ativo na correção da acidez é carbonato que diferentemente do hidróxido, tem sua reatividade reduzida em pH acima de 6,0 (ALLEN & HOSSNER, 1991).

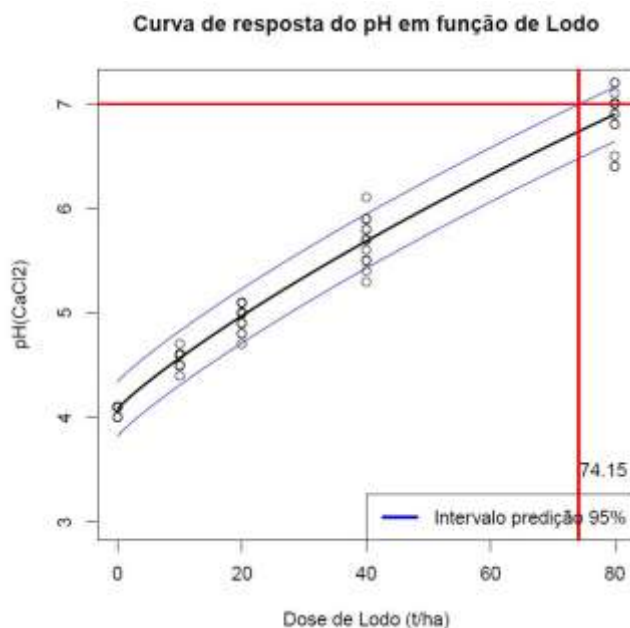


Figura 4 - Relação entre o pH (CaCl₂) e as doses de LODO AT aplicada no solo de Pinhais e taxa de aplicação máxima anual.

A elevação do pH utilizando lodo EAP e calcário para solo de Pinhais permitiu o estabelecimento da

equivalência entre os mesmos (Figura 5). Observa-se que até a dose de aproximadamente 40 t ha⁻¹ de lodo EAP

existe uma relação praticamente linear de 3/1 (lodo/calcário).

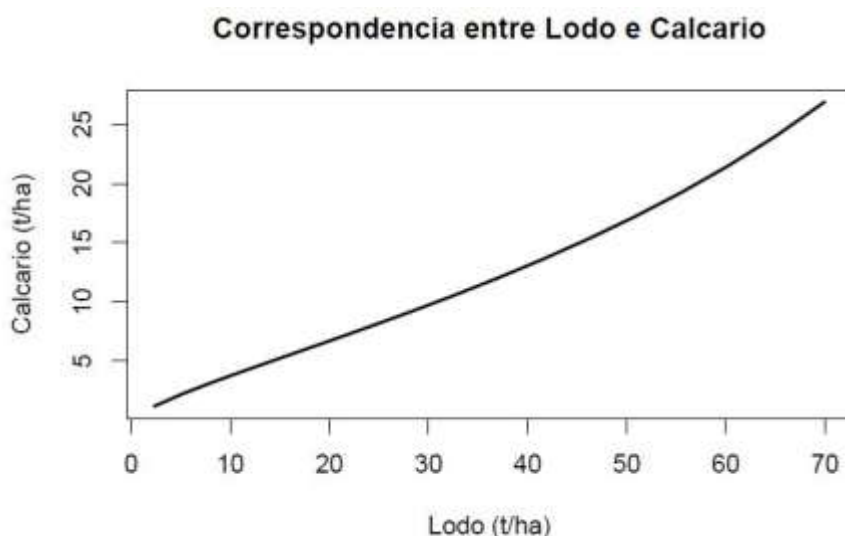


Figura 5 – Correspondência entre LODO AT e calcário para o solo de Pinhais.

Essa relação é mais elevada para os valores de calcário superiores 13 t ha⁻¹, devido a redução da reatividade do calcário em pHs próximos a 6. Verifica-se que esse valor obtido aproximou-se do calculado para 80% de saturação por bases, conforme Tabela 2 (11,7 t ha⁻¹).

Salienta-se que a higienização do lodo EAP a 50% dos sólidos totais confere à mistura lodo/cal essa mesma relação de 3/1, indicando que para o solo de Pinhais o comportamento dos dois materiais corretivos foi equivalente. A existência de tais relações para diferentes tipos de lodos e de solos, poderá permitir uma extrapolação baseada na necessidade de calagem.

CONCLUSÃO

A reação do lodo EAP, como corretivo de acidez de solo, apresenta efeito de interação entre a dose e o tempo, com acréscimos decrescentes do pH em função do aumento da dose ao longo do tempo;

A taxa de aplicação máxima de lodo EAP anual foi 1,8 vezes mais elevada no solo com maior poder

tampão, ocorrendo interação entre lodo EAP e tipo de solo.

A taxa de aplicação máxima anual de lodo EAP sofreu interferência do método de adição da cal, sendo em média 1,6 vezes menor para o solo incubado com o lodo EAP higienizado em escala real.

Para a elevação do pH do solo, a correspondência entre o Lodo EAP, higienizado sob condições controladas, e o calcário foi de 3:1.

Agradecimentos

Ao Colégio Agrícola da Lapa, à USEG/Sanepar e à UFPR pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa. Ao CNPq pelo financiamento do projeto: "Lodo de esgoto higienizado por diferentes processos como fertilizante de culturas em sistema de agricultura familiar" (Processo 574924/2008-6-Edital CT Agro n.43/2008) e ao Sanetec/Sanepar pelo financiamento do projeto: "Curvas de elevação de pH de solos com lodo de esgoto, dos quais a presente pesquisa é integrante."

REFERÊNCIAS

ALLEN, E.R. & HOSSNER, L.R. Factores affecting the accumulation of surface-applied agricultural limestone in permanent pastures. *Soil Scienc*, Baltimore, 151(3): 240-248, 1991.

ALMEIDA, J. A.; ERNANI, P. R.; MAÇANEIRO, K. C. Recomendação alternativa de calcário para solos altamente tamponados do extremo sul do Brasil. *Cienc. Rural*. v. 29, n. 4, p. 651-656. 1999.

BITTENCOURT, S.; ANDREOLI, C. V.; MOCHIDA, G. A.; SOUZA, L. M. K. M.; SERRAT, B. M. Aspectos agronômicos do uso agrícola de lodo de esgoto - região metropolitana de Curitiba. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*. V. 2, n. 1, 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA n° 375, de 29 de agosto de 2006*. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário.

- Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: fev. 2007.
- CHUEIRI, W., et al. Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 502-508, 2007.
- DRAPER, N.R.; SMITH JR., H. *Applied regression analysis*. 3.ed. New York: John Wiley, 1998. 706 p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. *Manual de métodos de análise do solo*. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- MARQUES, R.; MOTTA, A.C.V. Análise química do solo para fins de fertilidade. In: LIMA, M.R. (Org.) *et al. Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas*. 2. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2003. p. 81-102.
- MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.J.; COBRA NETTO, A; KIEHL, J.C. *Fertilidade do solo*. 2a. ed. São Paulo: Nobel, 1984.
- MONTE SERRAT, B.; KRIEGER, K. I.; MOTTA, A. C. V. Considerações sobre interpretação de análise de solos (com exemplos). In: LIMA, M. R. de. (Ed.). *Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006. p. 125-142.
- MOTTA, A. C.V. e MELO, V.F. IN: Química de solos ácidos. In: MELO, V. F. & ALLEONI, L. R. F. *Química e Mineralogia do solo. Parte II*. Aplicações. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciências do solo, 2009.
- MOTTA, A. C. V.; LIMA, M. R. Princípios de calagem. In: LIMA, M. R. de. (Ed.). *Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006. p. 191-232.
- NOLLA, A; ANGHINONI, I Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. *R. Ci. Exatas Nat.*, n. 6, p. 97-111, 2004.
- PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. *Resolução SEMA 021/09*. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. *Diário Oficial do Estado do Paraná*, Curitiba, n. 7962, p. 13-16, 2009.
- SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. Plano diretor de resíduos de sistemas de esgotamento sanitário para o Paraná. Curitiba, 2007.
- PRADO, R. M. ; COUTINHO, E. L. M. ; ROQUE C. G.; VILLAR M. L. P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo de alface. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 37, n. 4, p. 539-546, 2002.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. *R. A language and environment for statistical Computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em < <http://www.R-project.org> >. Acessado em Fevereiro de 2008.
- SERRAT, B.M.; BITTENCOURT, S.; MARIN, L.M.K.S.; LIMA, M.R.; ANDREOLI, C.V. Lodo de esgoto higienizado por processo alcalino no pH de solos da Região Metropolitana de Curitiba: Uma análise comparativa da taxa de aplicação máxima anual. *Synergismus scyentifica*, UTFPR, Pato Branco. v. 4, n. 1, 2009.
- TAMANINI, C. R.; MOTTA, A. C. V.; ANDREOLI, C. V. e DOETZER, B. H. Land reclamation recovery with the sewage sludge use. *Braz. arch. biol. technol.* v. 51, n. 4, p. 643-655. 2008.