O USO DE LODO DE ESGOTO COMO FONTE DE NUTRIENTES NA AGRICULTURA

Regynaldo Arruda Sampaio
ICA/UFMG

RESUMO

O tratamento de águas servidas em estações de tratamento de esgotos gera um resíduo rico em nutrientes e matéria orgânica, denominado lodo de esgoto, o qual, quando estabilizado, pode ser utilizado na agricultura, desde que atendidas às normas da Resolução CONAMA 375. Satisfeitas as exigências, o lodo pode ser aplicado como fonte de nitrogênio para as plantas, uma vez que esse é o elemento que se encontra em maior quantidade e disponibilidade no resíduo. Algumas vezes o lodo de esgoto é higienizado com a aplicação de cal virgem, o que faz com que eleve o pH dos solos. Neste caso, pode atuar também como corretivo de acidez, sendo que a dose aplicada do resíduo será em função da elevação do pH do solo para a faixa ideal para as plantas, e não em função do teor de nitrogênio do lodo de esgoto. A carga máxima de metais pesados contida no lodo e as concentrações já existentes no solo também são fatores restritivos a sua aplicação, não podendo ultrapassar limites estabelecidos, e são fatores preponderantes na definição da dose máxima do resíduo a ser aplicado como fertilizante para as plantas. Apesar de sua riqueza em nitrogênio, o lodo não se constitui em boa fonte de potássio para as plantas. Isto ocorre em razão do potássio ser muito solúvel e de permanecer nas águas residuárias quando do tratamento de esgotos. O fósforo, embora seja encontrado no lodo em concentrações superiores ao potássio, também não supre a demanda da planta, quando a aplicação é feita com base no requerimento de nitrogênio pelas plantas Dentre os micronutrientes, os que mais se destacam no lodo de esgoto são o ferro e o zinco, sendo que as quantidades existentes podem atender as necessidades das plantas. Considerando que o lodo de esgoto não contém todos os elementos essenciais em quantidades

necessárias para suprir adequadamente a nutrição mineral das plantas, a aplicação deste resíduo na agricultura deve ser acompanhada da adubação complementar com fontes minerais de fósforo e potássio.

Palavras-chave: Biossólido, adubação orgânica, nutrição mineral de plantas.

INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto é um resíduo produzido a partir do tratamento das águas servidas, sendo a sua quantidade dependente do tamanho da população e do grau de eficiência do tratamento. Em sistemas aeróbios, a média de produção é de 17,5 kg/ano de lodo seco por habitante, o que dá aproximadamente 4,8 t/dia para cada 100.000 habitantes (PROSAB, 1999). Pelos problemas ambientais que podem causar, quando descartados inadequadamente, os órgãos ambientais exigem planos de gestão que contemplem o gerenciamento do lodo, como forma de evitar danos a saúde da população e impactos negativos sobre o meio ambiente.

David & Tsutiya (2001) descrevem a utilização do lodo na agricultura como a alternativa mais equilibrada do ponto de vista ecológico e a mais econômica. Neste contexto, o uso agrícola do lodo tem se ampliado em todo o mundo, sendo adotado em larga escala nos países mais desenvolvidos, onde os serviços de saneamento básico atendem a quase totalidade da população. No Brasil, Fernandes et al. (2003) registram experiências como a de Curitiba, onde foi implantado, em 2000, o programa para a reciclagem agrícola do lodo, o qual já se encontra bastante consolidado. Para a reciclagem do lodo devem ser realizados controles em relação a poluentes químicos, vetores e patógenos. No Brasil foram definidos critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgotos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário por meio da Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006 (CONAMA, 2006). Também, os estados do Paraná e São Paulo possuem regulamentação específica para a aplicação do lodo no solo.

A utilização agrícola do lodo de esgoto consiste na disposição deste resíduo uniformemente sobre o solo, de modo a promover a melhoria das condições do substrato ou o desenvolvimento da cobertura vegetal implantada. Pode ser utilizado na agricultura, silvicultura, floricultura, paisagismo ou recuperação de áreas degradadas submetidas a processo de revegetação. Segundo Andreolli (1999), Oliveira & Mattiazzo (2001), Marques et al. (2002), Melfi & Montes (2002) e Melo et al. (2002) a aplicação no solo destaca-se pela

viabilização da reciclagem de nutrientes, promoção de melhorias físicas, especialmente na estruturação do solo, e por ser uma solução de longo alcance para destinação do lodo. As maiores limitações para o emprego deste método são os riscos de contaminação do solo com metais pesados e agentes patogênicos, a possibilidade de lixiviação de nitrogênio e fósforo, contaminando o lençol freático e as águas superficiais, e a possibilidade da ocorrência de atração de insetos vetores, pequenos roedores e liberação de odores quando não houver estabilização suficiente do lodo.

Composição química do lodo de esgoto e impacto sobre a fertilidade do solo

O lodo de esgoto apresenta grande variação em sua composição, uma vez que os diferentes hábitos da população e os níveis de industrialização local influenciam a quantidade e qualidade dos elementos químicos presentes no resíduo. A composição média do lodo, entretanto, aproxima-se da apresentada na tabela 1, onde, ao ser apenas desidratado ou compostado, apresenta pH na faixa considerada adequada para o cultivo de plantas. Todavia, quando caleado, seja por ocasião do tratamento do esgoto ou após a produção do lodo, o pH pode atingir valores elevados, sendo o seu uso agrícola mais restrito.

Em relação aos macronutrientes, o lodo destaca-se como importante fonte de nitrogênio, além de conter cálcio e enxofre em concentrações médias (Tabela 1). Também, apresenta teor de fósforo superior aos encontrados em estercos de aves e de bovinos. Para os micronutrientes, o ferro e zinco são os elementos encontrados em maior quantidade no lodo, principalmente o ferro em lodos que foram condicionados quimicamente com $FeCl_3$, conforme evidenciado por Guedes et al. (2006).

Dependendo do processo de higienização do lodo, este pode ter diferentes características agronômicas, as quais vão influenciar a fertilidade dos solos (Tabela 2). Observa-se que quando o lodo é somente solarizado, há uma maior conservação do nitrogênio disponível. Neste caso, como a aplicação do lodo é feita com base na concentração deste elemento no resíduo e no requerimento da planta, os demais elementos serão aplicados em quantidades ainda menores com a aplicação deste lodo.

TABELA 1 – Valores médios de pH, matéria orgânica e macronutrientes em materiais orgânicos.

Adubo	pH	MO	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn
		---------- g kg^{-1} ----------							---------- mg kg^{-1}----------			
LE[1]	6,5-7,0	362	16,0	2,0	0,5	-	-	-	-	-	-	-
LE[2]	5,8	475,3	28,7	7,6	2,9	13,2	2,9	14,2	626	214	12.163	356
LCO	6,5	458,1	17,4	3,7	3,4	5,8	1,6	6,9	-	-	-	-
LCA[3]	10,6	-	18,7	9,4	2,0	86,4	3,8	-	1.632	900	55.056	-
Esterco Aves[1]	-	-	20,0	20,0	20,0	-	-	-	151	16	-	-
Esterco Bovinos[1]	-	146,0	3,0	11,7	1,0	-	-	-	220	28	-	-
Esterco Eqüinos[1]	-	210,0	4,4	3,2	3,5	-	-	-	-	-	-	-
Esterco Ovinos[1]	-	314,0	6,0	3,0	1,5	-	-	-	-	-	-	-
Esterco Suínos[1]	-	120,0	6,0	6,0	3,0	-	-	-	1670	19	-	-

LE = Lodo de esgoto; LCO = Lodo de esgoto compostado; LCA = Lodo de esgoto caleado. [1]Fonte: PROSAB (1999). [2]Médias obtidas a partir das obras citadas neste trabalho. [3]Condicionamento químico com $FeCl_3$ e $Ca(OH)_2$, Fonte: Guedes et al. (2006).

TABELA 2. Características químicas do lodo de esgoto solarizado, compostado, vermicompostado e caleado.

Adubos	N disp.[1]	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu
	$kg.t^{-1}$	---------- g.kg^{-1}----------					----- mg.kg^{-1} -----	
Lodo solarizado	9,78	3,2	2,8	6,5	2,0	16,1	526	80
Lodo compostado	1,61	2,8	2,8	7,1	1,5	12,8	403	63
Lodo vermicompostado	3,13	3,0	4,0	4,9	1,5	9,2	374	71
Lodo Caleado	1,19	2,9	4,4	109,3	2,3	12,4	454	71

[1]Nitrogênio disponível de acordo com a resolução CONAMA 375 de agosto de 2006 (CONAMA, 2006). Fonte: NASCIMENTO (2011).

Para o lodo caleado, há muita perda de nitrogênio por volatilização no processo de alcalinização, de forma que se torna mais pobre em nitrogênio, demandando maiores quantidades aplicadas. Convém destacar que o limite para aplicação deste lodo em solos não é a quantidade disponível e sim o valor de pH atingido, que não deve ultrapassar a 7,0, conforme disposto na resolução CONAMA 375 (CONAMA, 2006). Para este tipo de lodo, é indispensável a aplicação complementar de uma fonte de nitrogênio e de outros nutrientes. Ressalte-se ainda o fato de que a elevada concentração de cálcio pode afetar a absorção de potássio e magnésio pelas plantas, causando desequilíbrio nutricional.

Na tabela 3, observa-se que a aplicação de doses mais elevadas de lodo de esgoto não higienizado tende a baixar razoavelmente o pH do solo, principalmente em solos mais argilosos. Comportamentos análogos são observados para os lodos compostado e vermicompostado, embora nestes casos a redução do pH tenha mantido o solo sempre na faixa adequada para o cultivo de plantas. Essa acidificação dos solos com a aplicação de lodo pode ser atribuída às reações de nitrificação do nitrogênio amoniacal, à provável oxidação de sulfitos e à produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo por microrganismos, conforme relatado por Simonete et al. (2003).

O lodo de esgoto possui elevada quantidade de matéria orgânica (Tabela 1), de forma que a sua aplicação em solos tende a elevar o teor dessa variável (Tabela 4). Entretanto, observa-se que mesmo com a aplicação de doses elevadas desse resíduo o incremento no teor de matéria orgânica ainda é pequeno, com pouca mudança de status no solo. Exceção feita para o lodo caleado, cujo acúmulo no solo é mais elevado, principalmente em Latossolo muito argiloso. Pode-se inferir que as condições alcalinas desse lodo podem torná-lo mais recalcitrante, diminuindo a sua decomposição e aumentando a sua permanência no solo. Acrescente-se a isso a importante influência do maior teor de argila na conservação da matéria orgânica do solo, pela formação de complexos argilo-húmicos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

Para o fósforo, mesmo com a aplicação de doses elevadas de lodo de esgoto, o incremento deste elemento no solo foi pequeno, havendo discreta mudança de status, principalmente em lodo de esgoto não higienizado (Tabela 5). Conforme já comentado, o lodo de esgoto nestas condições possui teores mais elevados de nitrogênio disponível, de forma que a quantidade aplicada de outros elementos essenciais pode ser muito reduzida.

TABELA 3 – Variação de pH do solo em função da aplicação de lodo de esgoto.

TL	Solo	Textura	Tempo de aplicação	Cultura	Valor no solo		DL (t ha^{-1})	Referência
					Sem lodo	Com lodo		
LE	Espodossolo	Franco Arenosa	130 dias	Milho/feijão	7,20 MA	6,20 A	60	NASCIMENTO et al. (2004).
	Argissolo	Franco Argilo Arenosa	130 dias	Milho/feijão	7,30 MA	5,90 B	60	NASCIMENTO et al. (2004).
	Latossolo	Média	-	Sorgo	5,95 B	5,88 B	20	OLIVEIRA et al. (1995).
	Argissolo	Argilosa	60 dias	Milho	5,13 Bx	4,62 Bx	50	SIMONETE et al. (2003).
	Latossolo	Argilosa	2 semanas	-	7,20 MA	4,80 Bx	76	CORRÊA et al. (2010).
LCO	Cambissolo	Franco Argiloso	150 dias	Milho	6,82 A	5,88 B	75	ZUBA JR. (2011).
	Cambissolo	Franco Argiloso	300 dias	Milho	6,20 A	5,95 B	75	ZUBA JR. (2011).
	Cambissolo	Franco Argiloso	180 dias	Milho/Feijão	7,13 MA	5,97 B	28	NOGUEIRA et al. (2006).
LVC	Cambissolo	Argilosa	150 dias	Mamona	5,90 B	5,82 B	13	NASCIMENTO (2011).
	Cambissolo	Argilosa	150 dias	Girassol	6,48 A	6,40 A	19	NASCIMENTO (2011).
LCA	Latossolo	-	60 dias	Milho	4,70 Bx	6,80 A	168	FIA et al. (2005).
	Latossolo	Argilosa	2 anos	Milho[1]	5,30 Bx	6,65 A	36	BARBOSA et al. (2007).
	Latossolo	Muito argilosa	180 dias	-	5,10 Bx	5,47 B	48	BARBOSA FILHO et al. (2010).
	Latossolo	Média	180 dias	-	5,01 Bx	5,41 Bx	48	BARBOSA FILHO et al. (2010).

TL = Tipo de lodo; LE = Lodo de esgoto não higienizado; LCO = Lodo compostado; LVC = Lodo vermicompostado; LCA = Lodo caleado. [1]Milho safrinha após plantio de milho e aveia. Mbx = Muito baixo; Bx = Baixo; B = Bom; A = Alto; MB = Muito alto. Fonte: ALVAREZ V. et al. (1999).

Nos lodos compostado e vermicompostado, principalmente, nos primeiros meses da adubação, há um aumento razoável do teor de fósforo no solo, porém atingindo o status no máximo “bom” de fertilização do solo. Para o lodo caleado, o teor no solo só atingiu valor elevado em Latossolo com alto teor de argila, com a ressalva que neste solo foram feitas mais de uma adubação com lodo de esgoto e o sistema incluiu vários cultivos sucessivos por mais de dois anos (BARBOSA et al., 2007).

TABELA 4 – Teor de matéria orgânica no solo em função da aplicação de lodo de esgoto.

TL	Solo	Textura	Tempo de aplicação	Cultura	Valor no solo (g kg^{-1})		DL (t ha^{-1})	Referência
					Sem lodo	Com lodo		
LE	Espodossolo	Franco Arenosa	130 dias	Milho/feijão	12,7 Bx	19,4 Bx	60	NASCIMENTO et al. (2004).
	Argissolo	Franco Argilo Arenosa	130 dias	Milho/feijão	11,3 Bx	18,3 Bx	60	NASCIMENTO et al. (2004).
	Latossolo	Média	-	Sorgo	15,8 Bx	18,8 Bx	20	OLIVEIRA et al. (1995).
	Argissolo	Argilosa	60 dias	Milho	16,8 Bx	23,9 Md	50	SIMONETE et al. (2003).
	Latossolo	Argilosa	14 dias	-	5,2 Mbx	28,0 Md	76	CORRÊA et al. (2010).
LCO	Cambissolo	Franco Argiloso	150 dias	Milho	19,7 Bx	45,9 B	75	ZUBA JR. (2011).
	Cambissolo	Franco Argiloso	300 dias	Milho	26,5 Md	30,0 Md	75	ZUBA JR. (2011).
	Cambissolo	Franco Argiloso	180 dias	Milho/Feijão	21,4 Md	35,2 Md	28	NOGUEIRA et al. (2006).
LVC	Cambissolo	Argilosa	150 dias	Mamona	29,7 Md	31,5 Md	13	NASCIMENTO (2011).
	Cambissolo	Argilosa	150 dias	Girassol	23,0 Md	25,0 Md	19	NASCIMENTO (2011).
LCA	Latossolo	Muito argilosa	180 dias	-	33,9 Md	60,5 B	48	BARBOSA Fº. et al. (2010).
	Latossolo	Média	180 dias	-	18,3 Bx	46,9 B	48	BARBOSA Fº. et al. (2010).

TL = Tipo de lodo; LE = Lodo de esgoto não higienizado; LCO = Lodo compostado; LVC = Lodo vermicompostado; LCA = Lodo caleado. Mbx = Muito baixo; Bx = Baixo; Md = Médio; B = Bom; Fonte: ALVAREZ V. et al. (1999).

Em relação ao potássio, pode-se considerar também pouca variação de status deste elemento no solo (Tabela 5), sendo que, no máximo houve mudança para o nível “Bom” com a adição de lodo de esgoto. Conforme se observa na tabela 1, juntamente com o magnésio,

o potássio é o elemento em menor concentração no lodo de esgoto. Atribui-se a isso a sua grande solubilidade, permanecendo na água residuária por ocasião do tratamento de esgotos. Por ser um elemento limitante no lodo, nas adubações com este resíduo deve sempre ser aplicada uma fonte mineral para complementar a adubação potássica (PROSAB, 1999).

Embora as concentrações de cálcio e magnésio sejam menos relevantes em lodo, uma vez que a fonte desses elementos deve ser o calcário aplicado na correção da acidez dos solos, especial atenção deve-se ter em relação ao lodo caleado, quando a cal utilizada é mais concentrada em óxido de cálcio, o que pode causar desequilíbrios com potássio e magnésio em relação à nutrição das plantas. Conforme já comentado, os baixos teores de magnésio no lodo (Tabela 1) pouco influenciam a mudança de status deste elemento no solo (Tabela 2), de forma que a principal fonte na adubação deve ser a aplicação de corretivos químicos.

No caso do enxofre, o lodo de esgoto possui quantidades médias deste elemento (Tabela 1). Todavia, por não ser tão crítico em solos agrícolas, uma vez que faz parte de adubos fosfatados e de gesso agrícola, a sua contribuição para a fertilidade de solos acaba sendo menos relevante, tendo-se observado na tabela 7 pouca mudança de status no solo.

Em relação ao zinco, constata-se que por ser um dos micronutrientes mais abundantes no lodo (Tabela 1), isso acaba se refletindo no solo, onde se constata a mudança de status para alto (Tabela 8). Se por um lado isso revela o lodo como uma importante fonte de zinco, por outro expõe a preocupação de que possa vir causar problemas de toxidez e desbalanço nutricional em plantas. Convém ressaltar que o excesso de zinco pode significar deficiência de cobre para as plantas.

Para o cobre percebe-se maior variabilidade na mudança de status no solo, sendo que em alguns solos a aplicação de lodo eleva o status de baixo para alto e em outros permanece baixo, sem nenhuma alteração (Tabela 8), podendo-se atribuir essa maior variação as baixas concentrações normalmente encontradas em lodo (Tabela 1).

O ferro é um dos elementos encontrados em altas concentrações no lodo de esgoto (Tabela 1), sendo que, com a sua aplicação em solos, há mudança de status do teor deste elemento no solo, atingindo níveis que variam de “Médio” a “Alto” (Tabela 9). Por outro lado, pouca alteração do status de manganês no solo parece ocorrer com a adição de lodo de esgoto, não caracterizando esse resíduo como uma boa fonte deste elemento para o solo. Fato

corroborado por um dos mais baixos teores, dentre os micronutrientes, apresentados na tabela 1.

Influência do lodo de esgoto sobre as culturas

Conforme disposto na Resolução CONAMA 375 (CONAMA, 2006) e já discutido, o lodo de esgoto para aplicação no solo como adubo deve ter a sua dose calculada com base na quantidade de nitrogênio disponível no lodo e na demanda da cultura por esse nutriente, sendo os efeitos positivos da aplicação deste resíduo sobre as culturas, largamente difundidos na literatura: Chiba (2005) destaca que o lodo de esgoto constitui-se numa fonte eficiente de nitrogênio para soqueiras de cana-de-açúcar, não sendo necessária a complementação com fertilizantes nitrogenados para a obtenção da mesma produção de colmos e de açúcar obtidas com a adubação mineral convencional; Simonete et al. (2003) e Nascimento et al. (2004) constataram aumento do teor de nitrogênio no solo e da produção de milho e de feijão com o incremento das doses de lodo de esgoto; Fernandes et al. (2003) relatam um aumento de 43% da produção de feijão e 48% da produção de milho, quando o lodo caleado foi utilizado no condicionamento dos solos; Nogueira et al. (2006) observaram que as produções de milho e de feijão consorciados não diferiram quando a adubação foi feita com lodo de esgoto ou com fertilizante mineral.

Entretanto, o que se percebe com base no exposto neste trabalho é que, mesmo aplicando doses elevadas de lodo de esgoto, outros elementos essenciais, principalmente fósforo e potássio, não são aplicados em quantidades que possam mudar adequadamente o status destes elementos nos solos, de forma que seja proporcionada melhor condição de nutrição mineral para as plantas. Este fato fica muito evidente no trabalho de Nascimento et al. (2011) e Chiaradia et al. (2009), onde a aplicação somente de lodo na fertilização de solos promoveu uma resposta linear na produção de mamona (Figura 1), enquanto, a aplicação de lodo complementado com fertilizantes minerais contendo 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 40 kg ha^{-1} de K_2O, proporcionou resposta quadrática a aplicação de lodo (Figura 2), com dose para obter maior produção muito inferior a dose com a aplicação somente de lodo. Fato também verificado em Gonçalves (2000), onde a aplicação de 10 t ha^{-1} de lodo complementado com fósforo foi superior a adubação com 40 t ha^{-1} de lodo, em relação a produtividade de eucalipto. Constata-se, portanto, a clara manifestação da lei do mínimo, preconizada por Liebig em 1840, em que, a produção da planta depende diretamente do nutriente no solo em concentração inferior a ótima.

Considerações finais

O lodo de esgoto submetido a processo adequado de compostagem e vermicompostagem apresenta excelentes condições sanitárias e agronômicas para uso na adubação de plantas. Todavia, existe a necessidade de aquisição de material carbonáceo para equilibrar a relação C/N da mistura, sendo necessária, dependendo da composição, a obtenção de quantidade equivalente a no mínimo duas vezes a massa de lodo produzida. Já o lodo caleado, apesar da eficiência da caleação no controle de patógenos, apresenta maiores restrições em relação à quantidade aplicada, sendo que o limite para a dose máxima passa a ser o pH do solo. Apresenta ainda riscos de aumento excessivo de cálcio no solo, causando desbalanceamento em relação a outros cátions. No caso do lodo apenas solarizado, se houver bom controle de patógenos, pode ser uma ótima alternativa, uma vez que conserva mais nitrogênio em sua composição. Além disso, como a recomendação é aplicar o lodo como fonte de nitrogênio, com menores quantidades será possível atender ao requerimento da planta, e assim, se evitar o aporte de maior carga de metais pesados para o solo. Independente do tipo de lodo utilizado será necessário a aplicação de doses complementares de fertilizantes minerais contendo fósforo e potássio, uma vez que dificilmente haverá suprimento destes elementos para atender completamente a demanda das plantas, salvo em condições especiais de solos com alta fertilidade.

TABELA 5 – Teores de fósforo e potássio no solo em função da aplicação de lodo de esgoto.

TL	Solo	Textura	Tempo de aplicação	Cultura	P (mg dm^{-3})		K (mg dm^{-3})		DL ($t.ha^{-1}$)	Referência
					Sem lodo	Com lodo	Sem lodo	Com lodo		
LE	Espodossolo	Franco Arenosa	130 dias	Milho/ feijão	1,28 Mbx	2,91 Mbx	35,1 Bx	27,3 Bx	60	NASCIMENTO et al. (2004).
	Argissolo	Franco Argilo Arenosa	130 dias	Milho/ feijão	1,60 Mbx	3,46 Mbx	23,4 Bx	46,8 Md	60	NASCIMENTO et al. (2004).
	Latossolo	Média	-	Sorgo	5,00 Mbx	21,00 Md	11,7 Mbx	11,7 Mbx	20	OLIVEIRA et al. (1995).
	Argissolo	Argilosa	60 dias	Milho	8,77 Bx	20,39 Md	63,9 Md	77,7 B	50	SIMONETE et al. (2003).
LCO	Cambissolo	Franco Argiloso	150 dias	Milho	4,13 Mbx	29,17 B	148,3 MB	126,3 MB	75	ZUBA JR. (2011).
	Cambissolo	Franco Argiloso	300 dias	Milho	5,47 Mbx	8,87 Bx	121,3 MB	93,7 B	75	ZUBA JR. (2011).
LVC	Cambissolo	Argilosa	150 dias	Mamona	5,5 Bx	15,95 B	267,7 MB	307,5 MB	13	NASCIMENTO (2011).
	Cambissolo	Argilosa	150 dias	Girassol	1,65 Mbx	4,92 Bx	162,5 MB	152,5 MB	19	NASCIMENTO (2011).
LCA	Latossolo	-	60 dias	Milho	1,31 Mbx	11,00 Md	-	-	168	FIA et al. (2005).
	Latossolo	Argilosa	2 anos	Milho[1]	3,66 Bx	14,33 MB	124,8 MB	124,8 MB	36	BARBOSA et al. (2007).
	Cambissolo	Argilosa	150 dias	Girassol	1,65 Mbx	11,78 Md	162,50 MB	148,0 MB	50	NASCIMENTO (2011).

TL = Tipo de lodo; LE = Lodo de esgoto; LCO = Lodo compostado; LVC = Lodo vermicompostado; LCA = Lodo caleado; FS = Faixa de suficiência. [1]Milho safrinha após plantio de milho e aveia. Mbx = Muito baixo; Bx = Baixo; Md = Médio; B = Bom; MB = Muito bom; Fonte: ALVAREZ V. et al. (1999), IAC (2011).

TABELA 6 – Teores de cálcio e magnésio no solo em função da aplicação de lodo de esgoto.

TL	Solo	Textura	Tempo de aplicação	Cultura	Ca ($cmol_c\ dm^{-3}$)		Mg ($cmol_c\ dm^{-3}$)		DL ($t\ ha^{-1}$)	Referência
					Sem lodo	Com lodo	Sem lodo	Com lodo		
LE	Espodossolo	Franco Arenosa	130 dias	Milho/ feijão	3,93 B	6,97 MB	0,70 Md	1,22 B	60	NASCIMENTO et al. (2004).
	Argissolo	Franco Argilo Arenosa	130 dias	Milho/ feijão	3,00 B	5,03 MB	0,80 Md	1,72 MB	60	NASCIMENTO et al. (2004).
	Argissolo	Argilosa	60 dias	Milho	4,59 MB	7,53 MB	2,16 MB	2,67 MB	50	SIMONETE et al. (2003).
	Latossolo	Média	-	Sorgo	3,98 B	4,78 MB	1,28 B	1,55 MB	20	OLIVEIRA et al. (1995).
LCO	Cambissolo	Franco Argiloso	150 dias	Milho	4,57 MB	4,47 MB	1,23 B	0,60 Md	75	ZUBA JR. (2011).
	Cambissolo	Franco Argiloso	300 dias	Milho	5,47 MB	5,53 MB	1,07 B	1,10 B	75	ZUBA JR. (2011).
LVC	Cambissolo	Argilosa	150 dias	Mamona	2,57 B	3,13 B	0,80 Md	0,93 B	13	NASCIMENTO (2011).
	Cambissolo	Argilosa	150 dias	Girassol	3,82 B	4,30 MB	0,70 Md	0,65 Md	19	NASCIMENTO (2011).
LCA	Latossolo	Argilosa	2 anos	Milho[1]	4,30 MB	7,28 MB	2,31 MB	5,71 MB	36	BARBOSA et al. (2007).

TL = Tipo de lodo; LE = Lodo de esgoto; LCO = Lodo compostado; LVC = Lodo vermicompostado; LCA = Lodo caleado; FS = Faixa de suficiência. [1]Milho safrinha após plantio de milho e aveia. Md = Médio; B = Bom; MB = Muito bom; Fonte: ALVAREZ V. et al. (1999).

TABELA 7 – Variação do teor de enxofre no solo e na planta em função da aplicação de lodo de esgoto.

TL	Solo	Textura	Tempo de aplicação	Cultura	S (mg dm^{-3})		DL ($t\ ha^{-1}$)	Referência
					Sem lodo	Com lodo		
LE	Argissolo	Argilosa	60 dias	Milho	5,05 B	154,45 MB	50	SIMONETE et al. (2003).
LCO	Cambissolo	Franco Argiloso	150 dias	Milho	36,70 MB	86,87 MB	75	ZUBA JR. (2011).
LVC	Cambissolo	Argilosa	150 dias	Mamona	19,20 MB	22,20 MB	13	NASCIMENTO (2011).
	Cambissolo	Argilosa	150 dias	Girassol	16,85 MB	25,85 MB	19	NASCIMENTO (2011).
LCA	Cambissolo	Argilosa	150 dias	Girassol	16,85 MB	66,10 MB	50	NASCIMENTO (2011).

TL = Tipo de lodo; LE = Lodo de esgoto; LCO = Lodo compostado; LVC = Lodo vermicompostado; LCA = Lodo caleado; FS = Faixa de suficiência. B = Bom; MB = Muito bom; Fonte: ALVAREZ V. et al. (1999).

TABELA 8 – Teores de zinco e cobre no solo em função da aplicação de lodo de esgoto.

TL	Solo	Textura	Tempo de aplicação	Cultura	Zn (mg dm^{-3})		Cu (mg kg^{-3})		DL (t ha^{-1})	Referência
					Sem lodo	Com lodo	Sem lodo	Com lodo		
LE	Espodossolo	Franco Arenosa	130 dias	Milho/ Feijão	0,44 Bx	6,90 Alt	1,01 Alt	2,21 Alt	60	NASCIMENTO et al. (2004).
	Argissolo	Franco Argilo Arenosa	130 dias	Milho/ Feijão	0,59 Md	5,42 Alt	0,37 Md	1,17 Alt	60	NASCIMENTO et al. (2004).
	Latossolo	Argilosa	14 dias	-	1,10 Md	42,40 Alt	-	-	76	CORRÊA et al. (2010).
LCO	Cambissolo	Franco Argiloso	150 dias	Milho	1,90 B	17,40 Alt	0,73 Bx	2,50 Alt	75	ZUBA JR. (2011).
	Cambissolo	Franco Argiloso	300 dias	Milho	0,77 Bx	4,20 Alt	0,57 Bx	1,27 B	75	ZUBA JR. (2011).
LVC	Cambissolo	Argilosa	150 dias	Mamona	1,50 Md	4,92 Alt	1,00 Md	1,30 B	13	NASCIMENTO (2011).
	Cambissolo	Argilosa	150 dias	Girassol	0,83 Bx	3,50 Alt	0,47 Bx	0,55 Bx	19	NASCIMENTO (2011).
LCA	Latossolo	-	60 dias	Milho	1,50 Md	4,43 Alt	0,17 Mbx	0,61 Bx	168	FIA et al. (2005).
	Cambissolo	Argilosa	150 dias	Mamona	1,50 Md	10,55 Alt	1,00 Md	2,00 Alt	34	NASCIMENTO (2011).

TL = Tipo de lodo; LE = Lodo de esgoto; LCO = Lodo compostado; LVC = Lodo vermicompostado; LCA = Lodo caleado; FS = Faixa de suficiência. Mbx = Muito baixo; Bx = Baixo; Md = Médio; B = Bom; Alt = Alto; Fonte: RAIJ et al. (1997), ALVAREZ V. et al. (1999).

TABELA 9 – Teores de ferro e manganês no solo em função da aplicação de lodo de esgoto.

TL	Solo	Textura	Tempo de aplicação	Cultura	Fe (mg dm^{-3})		Mn (mg dm^{-3})		DL (t ha^{-1})	Referência
					Sem lodo	Com lodo	Sem lodo	Com lodo		
LE	Espodossolo	Franco Arenosa	130 dias	Milho/ Feijão	7,94 Md	18,70 A	0,09 Bx	0,97 Bx	60	NASCIMENTO et al. (2004).
LE	Argissolo	Franco Argilo Arenosa	130 dias	Milho/ Feijão	4,29 Bx	10,50 Md	0,44 Bx	1,68 Md	60	NASCIMENTO et al. (2004).
LE	Argissolo	Franco Argiloso	50 dias	Milho	30,37 A	78,10 A	13,25 A	26,80 A	50	SIMONETE & KIEHL (2002).
LE	Latossolo	Argila	150 dias	Milho	-	-	46,20 A	53,70 A	60	BORGES & COUTINHO (2004).
LE	Neossolo Quartzarênico	Areia Franca	150 dias	Milho	-	-	1,60 Md	3,20 Md	60	BORGES & COUTINHO (2004).

TL = Tipo de lodo; LE = Lodo de esgoto; LCO = Lodo compostado; LVC = Lodo vermicompostado; LCA = Lodo caleado; FS = Faixa de suficiência. Bx = Baixo; Md = Médio; A = Alto; RAIJ et al. (1997).

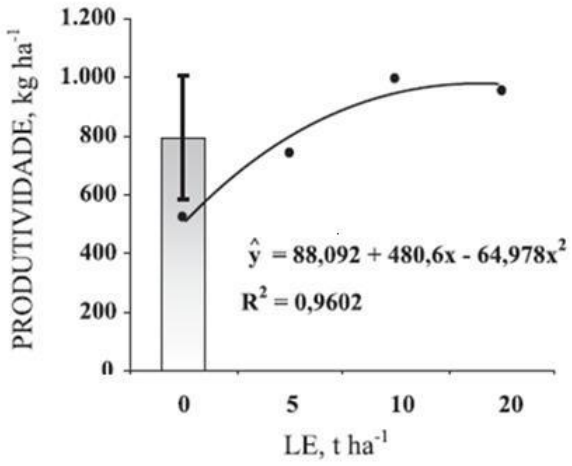


Figura 1 – Produtividade de mamona cultivar IAC-Guarani em resposta a adubação com lodo de esgoto. Fonte: Chiaradia et al. (2009).

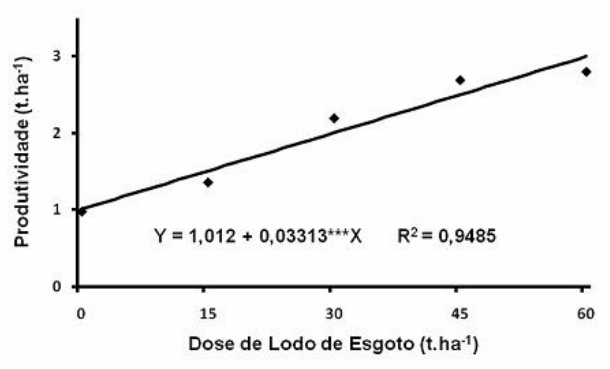


Figura 2 – Produtividade de mamona em resposta a adubação com lodo de esgoto. Fonte: Nascimento et al. (2011).

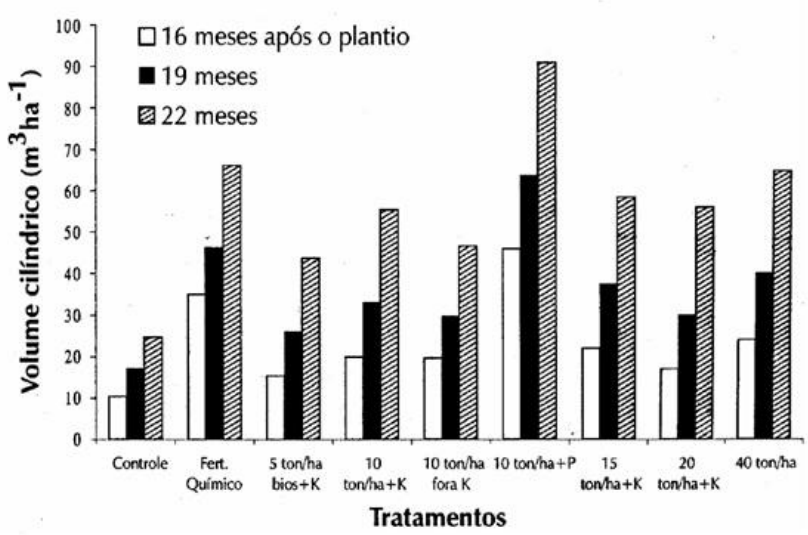


Figura 3 – Produtividade de *Eucalyptus grandis* em resposta a diferentes tipos de adubação. Fonte: Gonçalves (2000).

REFERÊNCIAS

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO A. C.; GUIMARÃES P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Orgs.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, Cap. 5, p. 25-32. l999.

ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F.; DOMASZAK, S.C. Reciclagem agrícola do lodo de esgoto: **estudo preliminar para definição de critérios para uso agronômico e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária**. Curitiba: SANEPAR, 1999. 82p.

BARBOSA, G.M. de C.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O.R.; FONSECA, I.C.B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.601-605, 2007.

BORGES, M.R.; COUTINHO, E. L. M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. II – disponibilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.557-568, 2004.

CHIARADIA, J.J.; CHIBA, M.K.; ANDRADE, C.A. de; OLIVEIRA, C. de; LAVORENTI, A. Produtividade e nutrição de mamona cultivada em área de reforma de canavial tratada com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.701-709, 2009.

CHIBA, M. K. **Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura**. Piracicaba: Esalq/USP, 2005.142p. (Tese de Doutorado).

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 375**, de Agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.conama.org.br>. Acesso em: 22 de out. 2008.

CORRÊA, R.S., SILVA, L.C.R.; BAPTISTA, G.M.M.; SANTOS, P.F. dos. Fertilidade química de um substrato tratado com lodo de esgoto e composto de resíduos domésticos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5, p.538–544, 2010.

DAVID, A. C.; TSUTIYA, M. T. Secagem térmica de biossólidos na região metropolitana de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

FERNANDES, F.; WEIGERT, W.; ANDREOLI, C. V. Gestão e controles operacionais aplicados à reciclagem agrícola de biossólidos na região metropolitana de Curitiba. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE BIOSSÓLIDOS, 1, 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associación Interamericana de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 2003.

FIA, R.; MATOS, A.T. de; AGUIRRE, C.I. Características químicas de solo adubado com doses crescentes de lodo de esgoto caleado. **Engenharia na Agricultura**, v.13, n.4, 287-299, 2005.

GONÇALVES, J.L.M. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e crescimento das árvores. In: **Aplicabilidade do lodo filtrado de esgoto produzido na Região Metropolitana de São Paulo em plantações de rápido crescimento**. Sub-projeto 3.IPEF/ESALQ-USP/SABESP, 2000.

GUEDES, M.C.; ANDRADE, C.A. de; POGGIANI, F.; MATTIAZO, M.E. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v.30, p.267-280, 2006.

IAC – Instituto Agronômico de Campinas. Informação **Sobre Interpretação de Análise de Solo.** http://www.iac.sp.gov.br/UniPesquisa/Solo/Servico/Interpretacao.asp. Acesso em: 24 de nov. 2011.

MARQUES, M. O.; MELO, W. J. de; MARQUES, T. A. Metais pesados e o uso de biossólidos na agricultura. In: **Biossólidos na agricultura**. 2ª ed., São Paulo: ABES/SP, p.365-403, 2002.

MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Impacto dos biossólidos sobre o solo. In: **Biossólidos na agricultura.** 2ª ed., São Paulo: ABES/SP, p.243-272, 2002.

MELO, W. J. de; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. de. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: **Biossólidos na agricultura.** 2ª ed., São Paulo: ABES/SP, p.289-363, 2002.

MOREIRA, F.M. de S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Ufla, 626p. 2002.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.28 n.2, p.385-392, 2004.

NASCIMENTO, A.L. **Lodo de estação de tratamento de esgoto urbano: fonte de nutrientes para produção de oleaginosas e geração de energia**. Montes Claros: UFMG. 2011. 50p. (Impresso).

NASCIMENTO, A.L.; SAMPAIO, R.A.; BRANDÃO Jr., D. da S.; ZUBA Jr., G.R.; FERNANDES, L.A. Crescimento e produtividade de semente de mamona tratada com lodo de esgoto. **Revista Caatinga**, v.24, n.4, p.145-151, 2011.

NOGUEIRA, T.A.R.; SAMPAIO, R.A.; FERREIRA, C.S.; FONSECA, I.M. Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.6, n.1, p. 122-131, 2006.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v.58, n.3, p.581-593, 2001.

OLIVEIRA, F.C; MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P.A.; PERECIN, D.A. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. **Scientia Agricola**, v.52 , n.2 , p.360-367, 1995.

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Uso e manejo de lodo de esgoto na agricultura.** Rio de Janeiro, 1999. 97p.

RAIJ, B. VAN; QUAGGIO, A.J.; CANTARELLA, H.; ABREU, C.A. Interpretação de análise de solo. In: RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, A.J.; FURLANI, A.M.C. Indicações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, IAC, 1997. P.813 (**Boletim Técnico**, 100).

SIMONETE, M.A.; KIEHL, J. de C. Extração e fitodisponibilidade de metais em resposta à adição de lodo de esgoto no solo. **Scientia Agricola**, v.59, n.3, p.555-563, 2002.

SIMONETE, M.A.; KIEHL, J. DE C.; ANDRADE, C.A.; TEIXEIRA, C.F.A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.10, p.1187-1195, 2003.

ZUBA JR., G.R. **Produção de mamona adubada com silicato de cálcio e magnésio e com composto de lodo de esgoto. Montes Claros**: UFMG, 2011. 92p. (Dissertação de Mestrado).