



# XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas  
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

## CÁTIONS E ÂNIONS NA SOLUÇÃO DO SOLO EM ÁREA COM APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO

**Lívia Fernanda Mendonça Silva<sup>(1)</sup>; Aline Renée Coscione<sup>(2)</sup>; Cristiano Alberto de Andrade<sup>(3)</sup>; Isabella Clerici de Maria<sup>(4)</sup>**

<sup>(1)</sup> Mestranda do Curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical; Centro de Solos e Recursos Ambientais; Instituto Agrônomo - IAC, Avenida Barão de Itapura, 1481, Campinas, SP, CEP:13012-970, livia.fms@hotmail.com; <sup>(2)</sup> Pesquisadora do Centro de Solos e Recursos Ambientais do IAC, Avenida Barão de Itapura, 1481, Campinas, SP, CEP: 13012-970; <sup>(3)</sup> Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP 340 – Km 127,5 Caixa Postal 69, Jaguariúna – SP- Brasil – CEP: 13820-000; <sup>(4)</sup> Pesquisadora do Centro de Solos e Recursos Ambientais do IAC, Avenida Barão de Itapura, 1481, Campinas, SP, CEP: 13012-970.

**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 Agrônomo, 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<sup>-1</sup> de N para a cultura do milho ou fertilizante mineral nitrogenado na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup>. 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. Para tanto, foram realizadas coletas de solo (camada 0-20 cm) em setembro de 2009 e março e dezembro de 2010. Foram determinados nos extratos os teores de cátions (Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Al<sup>+3</sup>, Cu<sup>+2</sup>, Fe<sup>+2</sup>, Mn<sup>+2</sup>, Zn<sup>+2</sup>, Cd<sup>+2</sup>, Cr<sup>+3</sup>, Ni<sup>+2</sup>, Pb<sup>+2</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e ânions (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, HxPO<sub>4</sub><sup>x-</sup>, Cl<sup>-</sup> e F<sup>-</sup>), além do pH. A análise dos resultados por componentes principais evidenciou a formação de grupos correspondentes aos tratamentos testados e dentre as variáveis identificadas como mais importantes na formação dos componentes destacaram-se as formas nitrogenadas (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), cujos teores foram superiores na solução do solo tratado com lodo.

**Palavras-Chave:** análise multivariada, resíduo, nitrogênio, 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 Agrônomo, 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), 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 eutroférrico, 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, L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub>, em que: AM é o controle sem aplicação de lodo, mas com fertilização com N mineral (L<sub>0</sub> = 120 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N); L<sub>1</sub> é a aplicação de uma vez o recomendado de N via lodo (L<sub>1</sub> ≈ 10 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de lodo em base seca); e L<sub>2</sub> representa a aplicação do dobro da dose recomendada de N via lodo (L<sub>2</sub> ≈ 20 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>) e considerando a taxa de mineralização do N do resíduo igual a 30%, de acordo com a Resolução CONAMA 375 (CONAMA, 2006). No tratamento L<sub>0</sub>, também foram aplicados anualmente fertilizantes minerais com P e K; e nos tratamentos com lodo (L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub>) 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) e dezembro (época 3) de 2010, coletando-se 8 amostras

simples no terço médio de parcela (parcela com 10% de declive para estudo de erosão), 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.

A partir das amostras de solo foram obtidos extratos aquosos, empregando-se o método descrito em WOLT (1994), que utiliza relação solo:água de 1:1. Foram tomados 20 g de solo em tubo de centrífuga de 50 mL, aos quais foram adicionados 20 g de água ultrapura. Em seguida os tubos foram agitados em mesa agitadora horizontal, por 15 minutos a 150 rpm, permanecendo posteriormente em descanso por 1 hora. A solução foi, na seqüência, agitada novamente por 5 minutos e centrifugada durante 30 minutos a 1.500 rpm.

A determinação de pH foi realizada imediatamente após a obtenção dos extratos. Os teores totais de P, S, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Al<sup>+3</sup>, Cu<sup>+2</sup>, Fe<sup>+2</sup>, Mn<sup>+2</sup>, Zn<sup>+2</sup>, Cd<sup>+2</sup>, Cr<sup>+3</sup>, Ni<sup>+2</sup>, Pb<sup>+2</sup>, foram determinados em ICP-OES, enquanto os de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, PO<sub>4</sub><sup>x-</sup>, Cl<sup>-</sup> e F<sup>-</sup> em cromatógrafo; e para o amônio foi utilizando colorímetro UV-Vis de fluxo contínuo (FIA-2500 Flow Injection Analyser).

Em função do elevado número de variáveis analisadas foi utilizada, numa primeira etapa, análise multivariada por componentes principais para verificar a formação de grupos em função dos tratamentos com lodo ou fertilizante mineral, bem com identificar as variáveis mais importantes na formação dos componentes. A partir das variáveis identificadas, foi feita análise de variância e comparação das médias por meio do teste de Tukey 5%, (Tabela 4) considerando-se o esquema de parcelas (lodo e fertilizante) subdivididas no tempo (épocas de amostragem).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A inspeção prévia dos dados não evidenciou variância (valores iguais a zero) para B, Cd, Cr, Mo, Ni e Pb nas três épocas de avaliação, bem como para P na última data de avaliação, sendo, portanto, tais variáveis descartadas da análise de componentes principais.

A análise por componentes principais mostrou que 60,8; 40,4; e 31,4% da variância total verificada, respectivamente, para as épocas 1 (set/09), 2 (mar/10) e 3 (dez/10) foram explicadas pelos dois primeiros componentes.

Com auxílio dos gráficos PC1 x PC2 (Figura 1) foi possível identificar a separação de três grupos em função dos tratamentos adotados no experimento, independentemente da época de avaliação. Embora a separação tenha ocorrida em todas as épocas, a participação dos cátions e ânions em cada componente variou com a época (Tabela 1).

O Al<sup>+3</sup> e o NO<sub>2</sub><sup>-</sup> apareceram nas três épocas como importantes variáveis na explicação da variância total,

enquanto Ca<sup>+2</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Fe<sup>+2</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> apareceram em duas épocas e F<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, pH, Cl<sup>-</sup>, K<sup>+</sup> e Cu<sup>+2</sup> em apenas uma das épocas avaliadas.

Em função da análise multivariada ter apontado as variáveis da Tabela 1 como as mais importantes no sentido de explicar a variância total, bem como devido a separação dos grupos na Figura 1, foi feita análise de variância para cada variável admitindo-se como fatores os tratamentos (AM, L1 e L2) e épocas de amostragem, em esquema inteiramente casualizado, com parcela subdividida no tempo.

Não houve efeito dos fatores nos resultados de Al<sup>+3</sup>, Cu<sup>+2</sup>, F<sup>-</sup>, Fe<sup>+2</sup>, e NO<sub>2</sub><sup>-</sup>.

Os valores de pH e SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (Tabela 2) foram influenciados pelo uso de lodo ou fertilizante mineral, independentemente da época de amostragem. O pH da solução foi cerca de 0,8 unidade de pH superior no tratamento com a dose 1 de lodo, comparativamente aos demais.

No caso do sulfato, houve diferença entre o tratamento com fertilizante mineral e lodo na dose 2, com este último apresentando teor 3 vezes maior do que o primeiro. O solo com a dose 1 de lodo ocupou posição intermediária.

O K<sup>+</sup> na solução do solo evidenciou menor teor em março, comparativamente à setembro (2009 e 2010), o que deve ser função da distribuição de chuvas, em que o mês de março é justamente o final da época chuvosa na região, ou seja, o solo passou por 4 meses de intensa lixiviação (Tabela 3).

Houve interação significativa entre a aplicação de lodo ou fertilizante e as épocas de amostragem para Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>+2</sup>, P, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

O teor de Cl<sup>-</sup> não variou entre os tratamentos com lodo ou fertilizante, somente com efeito da época, em que houve maior teor em dez/2010 nos tratamentos com lodo. De modo geral, tal efeito deve estar relacionado com menores perdas do elemento quando há o uso de lodo, uma vez que esse resíduo também é pobre em Cl<sup>-</sup>.

No caso do Ca<sup>+2</sup> não ficou claro qual o efeito da época de amostragem, entretanto, o efeito do uso do lodo proporcionou valores de Ca<sup>+2</sup> 3 a 5 vezes maiores do que na solução do solo do tratamento com fertilizante mineral. De fato, o aporte de Ca via lodo é significativo; por exemplo, considerando-se uma dose anual de 7 t ha<sup>-1</sup> de lodo em base seca (aproximadamente o aplicado na dose 1) e com concentração de Ca no resíduo igual a 15 g kg<sup>-1</sup>, seriam aplicados por ano algo em torno de 105 kg ha<sup>-1</sup>. Além disso, menores perdas de Ca também podem ter ocorrido nas parcelas com lodo, semelhante ao mostrado por Galdos et al. (2004) no caso do fósforo, nessa mesma área experimental.

O P também não evidenciou comportamento claro em função dos tratamentos, destacando-se somente os baixos teores na solução.

Quanto as formas nitrogenadas na solução, os teores de nitrato foram cerca de 100 vezes superiores aos de amônio e ambos tenderam a ser maiores na dose 2 de lodo, comparativamente ao tratamento com fertilizante mineral. Tais resultados concordam com os estoques de N na área (Pitombo, 2011) e com o estudo de mineralização do N conduzido por Silva et al. (2009). De acordo com Pitombo (2011) os estoques de N no solo com as doses 1 e 2 de lodo

foram cerca de 1 e 2 t ha<sup>-1</sup> superiores ao encontrado no solo com fertilização mineral; e de acordo com Silva et al. (2009) o efeito residual do lodo nessa área experimental fornece quantidade superior aos 120 kg ha<sup>-1</sup> de N demandado pelo milho.

### CONCLUSÕES

1. A época de amostragem interfere na concentração dos nutrientes na solução do solo, notadamente o K; e

2. Dentre os nutrientes avaliados, o N (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e o S (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) evidenciaram maiores teores no solo com lodo, comparativamente ao solo com fertilização mineral, destacando-se que no caso dos lodos o efeito é residual.

### AGRADECIMENTOS

À Fapesp pela concessão da bolsa.

### REFERÊNCIAS

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

COSTA, V.L.; DE MARIA, I.C.; CAMARGO, O.A. Transporte de fósforo pela enxurrada em Latossolo que recebeu lodo de esgoto. *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.

GALDOS, M.V.; DE MARIA, I.C.; CAMARGO, O.A. Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. *R. bras. Ci. Solo*, Viçosa, v.28, n.3, p.569-577, 2004.

PITOMBO, L. M. Estoques de C e N e fluxos de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O em solo com diferentes históricos de aplicação de lodo de esgoto. 2011. 68f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico.

SILVA, L. F. M.; COSCIONE, A. R.; ANDRADE, C. A. Degradção do carbono e mineralização do nitrogênio em solo com diferentes históricos de uso agrícola de lodo de esgoto. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 3., 2009, Campinas. Anais...Campinas:EMBRAPA, 2009. 1 CD-ROM.

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

**Tabela 1.** Variáveis mais relevantes dos componentes principais em cada época de avaliação. Valores entre parênteses correspondem a porcentagem da variância explicada pelo componente.

Épocas de avaliação	Componente 1	Componente 2	Componente 3
1 (set/09)	Al <sup>+3</sup> , F <sup>-</sup> , Ca <sup>+2</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (40,4%)	pH, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (20,4%)	pH, Cl <sup>-</sup> e NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (44,8%)
2 (mar/10)	Al <sup>+3</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (20,4%)	P, Fe (20,0%)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (26,6%)
3 (dez/10)	Al <sup>+3</sup> , Ca <sup>+2</sup> , Fe <sup>+2</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (16,7%)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , K <sup>+</sup> (14,7%)	K <sup>+</sup> , Cu <sup>+2</sup> (10,8%)

**Tabela 2.** Valores de pH e SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>.

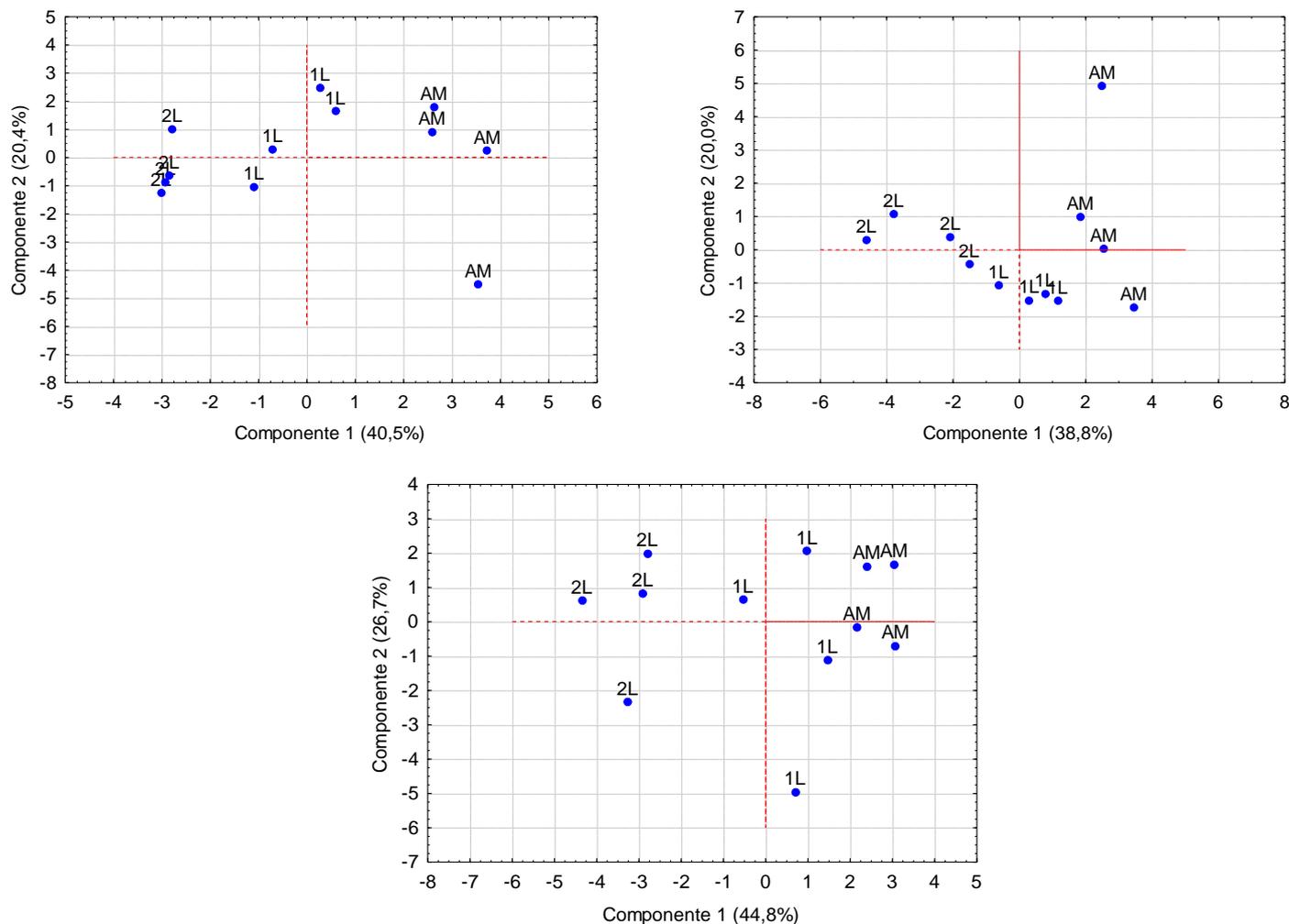
Tratamentos	pH	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg L <sup>-1</sup>
	-	-----
Adubação mineral	4,9 a	34,9 a
Lodo 1	5,8 b	84,5 ab
Lodo 2	5,0 a	116,2 b

**Tabela 3.** Valores de K.

Épocas de avaliação	K mg L <sup>-1</sup>
1 (set/09)	25,4 b
2 (mar/10)	3,86 a
3 (dez/10)	19,9 b

**Tabela 4.** Análise de variância e comparação das médias por teste de Tukey 5%, considerando-se as parcelas (lodo e fertilizante) subdivididas no tempo (épocas de amostragem).

Tratamentos	Épocas		
	1 (set/09)	2 (mar/10)	3 (dez/10)
	----- Ca (mg L <sup>-1</sup> ) -----		
Adubação mineral	12,5 a A	6,3 a A	10,9 a A
Lodo 1	37,2 b B	22,2 b A	25,8 b A
Lodo 2	59,5 c C	30,1 c A	50,8 c B
	----- P (mg L <sup>-1</sup> ) -----		
Adubação mineral	0,05 a A	0,23 b B	0,00 a A
Lodo 1	0,22 ab B	0,00 a A	0,00 a A
Lodo 2	0,33 b B	0,18 b B	0,00 a A
	----- Cl (mg L <sup>-1</sup> ) -----		
Adubação mineral	7,2 a A	4,5 a A	7,0 a A
Lodo 1	4,8 a A	4,7 a A	8,3 a B
Lodo 2	4,5 a A	4,5 a A	9,6 a B
	----- NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> ) -----		
Adubação mineral	107,9 a A	30,9 a A	63,6 a A
Lodo 1	97,7 a AB	60,1 ab A	127,5 a B
Lodo 2	126,1 a A	95,4 b A	225,7 b B
	----- NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg L <sup>-1</sup> ) -----		
Adubação mineral	1,8 a B	0,6 a A	0,7 a A
Lodo 1	3,8 b B	1,2 a A	1,1 ab A
Lodo 2	6,2 c C	2,8 b B	1,7 b A



**Figura 1.** Gráficos de PC1 x PC2 em função dos tratamentos adotados no experimento, independentemente da época de avaliação.