



ARTIGO ORIGINAL

Ana Paula Bertossi<sup>1\*</sup>  
Larissa Milen<sup>1</sup>  
Giovanni Garcia<sup>1</sup>  
Edvaldo Reis<sup>1</sup>  
José Guilherme Mellere<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Espírito Santo – UFES,  
Alto Universitário, s/n<sup>o</sup>, Guararema, Alegre, ES,  
Brasil

\*Autor Correspondente:

E-mail: [anapaulabertossi@yahoo.com.br](mailto:anapaulabertossi@yahoo.com.br)

**PALAVRAS-CHAVE**

Esgoto  
Forrageiras  
Reuso

**KEYWORDS**

Sewage  
Forage  
Reuse

## Atributos químicos do solo em rampas de tratamento de efluente doméstico por escoamento superficial

### *Soil chemical properties in wastewater treatment ramps by overland flow*

**RESUMO:** O tratamento do esgoto doméstico por disposição no solo tem-se apresentado como importante alternativa de aproveitamento de nutrientes desses efluentes. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação de efluente doméstico nos atributos químicos do solo em rampas de tratamento de efluente doméstico aplicando a técnica do escoamento superficial. O experimento foi montado num delineamento inteiramente casualizado e no esquema de parcela sub-subdividida 3 x 3 x 2 com 5 repetições. Sendo as parcelas compostas por forrageiras em três níveis: aveia preta (*Avena strigosa*), azevém (*Lolium multiflorum*) e centeio (*Secale cereale*), as subparcelas compostas por seções da rampa de tratamento em três níveis: terço superior, intermediário e inferior e as sub-subparcelas compostas por duas taxas de efluente aplicadas no tempo: 2,25 e 4,5 L h<sup>-1</sup> de efluente por rampa de tratamento. Transcorridos 28 dias de aplicação do esgoto doméstico, para cada taxa, foi coletada amostras de solo a 0,10 m de profundidade em cada seção das rampas de tratamento. O solo apresentou maior teor de fósforo, sódio, cálcio, magnésio e pH em água na taxa de aplicação de 4,5 L h<sup>-1</sup> e maior teor de potássio na taxa de 2,25 L h<sup>-1</sup>. A aplicação de efluente doméstico proporcionou maior teor de fósforo, sódio, cálcio, magnésio e pH em água na seção superior das rampas de tratamento. As forrageiras apresentaram comportamento diferenciado, sendo observado maior teor de potássio no solo cultivado com centeio e maior teor de cálcio no solo cultivado com azevém.

**ABSTRACT:** The treatment of domestic sewage for disposal in soil has been presented as an important alternative treatment and utilization of nutrients of these effluents. The objective was to evaluate the effects of the application of wastewater of soil chemical properties in wastewater treatment ramps applying the technique of surface runoff. The experiment was conducted in a completely randomized design and sub-split plot 3 x 3 x 2 with 5 repetitions. Being compounded by installments fodder at three levels: black oat (*Avena strigosa*), ryegrass (*Lolium multiflorum*) and rye (*Secale cereale*), the subplots consisting of sections of ramp handling at three levels: upper third, middle and lower and sub-subplots effluent composed of two rates applied in time: 2.25 and 4.5 L h<sup>-1</sup> effluent treatment ramp. Elapsed 28 days of application of sewage, for each fee, was collected soil samples at 0.10 m depth in each section of the treatment ramps. The soil showed higher phosphorus, sodium, calcium, magnesium and pH in the application rate of 4.5 L h<sup>-1</sup> and higher potassium content in the rate of 2.25 L h<sup>-1</sup>. The application of wastewater provided higher phosphorus, sodium, calcium, magnesium and pH in the upper section of the treatment ramps. Forage showed differentiated behavior being observed most potassium content in soil under rye and higher calcium content in the soil cultivated with ryegrass.

Recebido: 07 jul. 2015

Aceito: 25 ago. 2016

## 1 Introdução

A água é um bem indispensável à vida, entretanto os dejetos gerados após o seu uso podem causar sérios prejuízos ao meio ambiente e a saúde humana quando não tratados ou dispostos em locais inadequados. Diante disso, o tratamento adequado e o reuso desse efluente na agricultura surgem como uma alternativa viável de reaproveitamento de água, nutrientes e matéria orgânica.

O tratamento do esgoto doméstico por disposição no solo tem-se apresentado como importante alternativa de tratamento e aproveitamento de nutrientes desses efluentes (Candela et al., 2007). Dentre os métodos utilizados, destaca-se o escoamento superficial, no qual o efluente é aplicado na parte superior de uma rampa vegetada, ficando sujeito ao escoamento superficial, condição que possibilita sua depuração ao longo da rampa de tratamento.

A disposição de águas residuárias no solo se baseia na capacidade depuradora do sistema solo-planta, que utiliza mecanismos físicos, químicos e biológicos de remoção dos poluentes contidos nas águas residuárias (Earthal et al., 2010).

O solo, considerado um sistema disperso, polifásico e heterogêneo possui propriedades, que possibilitam sua utilização como meio de tratamento de águas residuárias. Este filtro natural constituído pela matriz solo com suas propriedades de adsorção química e física, aliado a atividade de plantas e microrganismos, atua como depurador de águas residuárias por meio da interceptação dos sólidos em suspensão, remoção de nutrientes, além da oxidação do material orgânico promovido por bactérias, que se estabelecem no colo das plantas e no próprio solo (Queiroz et al., 2004).

Duarte et al. (2008) ao avaliarem os efeitos da disposição do efluente doméstico tratado sobre algumas características do solo, concluíram que a água residuária utilizada favoreceu a mineralização da matéria orgânica e não provocou alterações significativas no pH, nem nos teores de fósforo e potássio do solo.

Entretanto, para que a disposição de efluentes líquidos no solo não traga problemas, torna-se necessário o conhecimento da capacidade de suporte de cada sistema solo-planta, para que se possa estabelecer a taxa de aplicação mais adequada, de forma a resguardar a integridade dos recursos naturais (Matos et al., 1997).

Como a aplicação de esgoto doméstico pode alterar os atributos do solo, objetivou-se com esse trabalho avaliar os efeitos da aplicação de efluente doméstico nos atributos químicos do solo em rampas de tratamento de efluente doméstico aplicando a técnica do escoamento superficial.

## 2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo em Alegre/ES, no período de agosto a dezembro de 2013. O local possui coordenadas geográficas 20°45'2,3" de latitude Sul e 41°29'17,7" de longitude Oeste, e altitude de 119 m. O clima típico da região é quente e úmido no verão e seco no inverno, a temperatura média e a precipitação durante o período de experimento foram, respectivamente, 23,5 °C e 788,2 mm.

O experimento foi montado num delineamento inteiramente casualizado no esquema de parcela sub-subdividida 3 x 3 x 2 com 5 repetições. Sendo as parcelas compostas por forrageiras em três níveis: aveia preta (*Avena strigosa*), azevém (*Lolium multiflorum*) e centeio (*Secale cereale*), as subparcelas compostas por seções da rampa de tratamento em três níveis: terço superior, terço intermediário e terço inferior e as sub-subparcelas compostas por duas taxas de efluente aplicadas no tempo: 2,25 e 4,5 L h<sup>-1</sup> de efluente por rampa de tratamento. Estas foram aplicadas em ordem crescente, por um período de 28 dias, cada, ou seja, ao término da aplicação de uma taxa, iniciou-se a aplicação da taxa subsequente nas mesmas unidades experimentais.

Para a construção das rampas de tratamento foram utilizadas 15 calhas de fibrocimento com dimensões de 3,0 x 0,9 x 0,25 metros (comprimento, largura e profundidade), dispostas a uma declividade de 5%. Estas foram preenchidas com uma camada de aproximadamente 5,0 cm de brita no fundo e solo de textura média coletado no perfil natural de um Latossolo Vermelho-Amarelo. Após coletado, o solo foi seco ao ar, peneirado em malha de 4 mm e depositado em igual massa em cada unidade experimental.

Uma amostra do solo foi coletada e encaminhada ao laboratório para determinação dos seus atributos físicos e químicos, que foram: textura do solo, pH em água, cálcio, magnésio, fósforo, potássio, acidez potencial (H+Al), alumínio, matéria orgânica, sódio, índice de saturação de sódio, soma de bases, capacidade de troca catiônica total e efetiva, saturação por bases, saturação por alumínio, ferro, cobre, zinco, manganês e boro (Tabela 1) conforme metodologia proposta pela Embrapa (2009).

O plantio das forrageiras foi feito diretamente nas unidades experimentais que receberam adubação mineral conforme exigência nutricional e disponibilidade de nutrientes no solo. As sementes foram semeadas de modo a cobrir toda a superfície das rampas, a fim de promover a mesma uniformidade de plantas em todas as unidades experimentais. Após o plantio, as mesmas foram irrigadas com água de abastecimento interno até o seu completo estabelecimento no solo, que ocorreu 45 dias após o plantio.

Após esse período foi efetuado um corte de uniformização das plantas a 5 cm de altura do solo e iniciada a aplicação do esgoto doméstico de forma a satisfazer as quantidades determinadas para cada taxa de aplicação.

O esgoto doméstico bruto utilizado no experimento era proveniente de fossas sépticas de comunidades rurais dos Municípios de Jerônimo Monteiro e Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo. O efluente foi captado nas fossas e transportado em veículos com reservatórios adaptados até o local do experimento, onde foi armazenado em reservatórios com capacidade de 5.000 litros, e diariamente conduzido até um sistema de tratamento preliminar composto de filtros de tela com malha de 2 milímetros e armazenado em um tanque de 500 litros para decantação, e assim ser destinado a aplicação nas unidades experimentais. Semanalmente, foram coletadas amostras do efluente bruto e encaminhadas ao laboratório para caracterização química conforme metodologia preconizada por Silva e Oliveira (2001), os resultados médios para cada taxa encontram-se na Tabela 2.

O efluente doméstico foi aplicado por gravidade na parte superior das parcelas experimentais através de tubulações

**Tabela 1.** Atributos físicos e químicos do solo utilizado no preenchimento das rampas de tratamento.**Table 1.** Physical and chemical soil attributes used in filling treatment ramps.

Atributo	Valores
pH	5,4
<sup>1</sup> Cálcio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,3
<sup>1</sup> Magnésio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,5
<sup>2</sup> Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )	3,3
<sup>3</sup> Potássio (mg dm <sup>-3</sup> )	101
<sup>4</sup> H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,15
<sup>5</sup> Alumínio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,0
Matéria Orgânica (dag kg <sup>-1</sup> )	1,86
<sup>3</sup> Sódio (mg dm <sup>-3</sup> )	0,0
Índice de saturação por sódio (%)	0,0
Soma de bases (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,06
Capacidade de Troca de Cátions Efetiva (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,06
Capacidade de Troca de Cátions Total (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,21
Saturação por Bases (%)	38,25
Saturação por Alumínio (%)	0,0
<sup>6</sup> Ferro (mg dm <sup>-3</sup> )	127,4
<sup>6</sup> Cobre (mg dm <sup>-3</sup> )	2,0
<sup>6</sup> Zinco (mg dm <sup>-3</sup> )	5,5
<sup>6</sup> Manganês (mg dm <sup>-3</sup> )	77,2
<sup>7</sup> Boro (mg dm <sup>-3</sup> )	0,3
Areia (%)	59,19
Silte (%)	5,59
Argila (%)	35,22

<sup>1</sup>Extraído com cloreto de potássio 1 mol L<sup>-1</sup> e determinado por titulometria.

<sup>2</sup>Extraído por Mehlich-1 e determinado por colorimetria. <sup>3</sup>Extraído por Mehlich-1 e determinado por fotometria de chama. <sup>4</sup>Extraído com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7,0 e determinado por titulação. <sup>5</sup>Extraído com cloreto de potássio 1 mol L<sup>-1</sup> e determinado por espectrofotômetro de absorção atômica. <sup>6</sup>Determinado por espectrofotômetro de absorção atômica. <sup>7</sup>Determinado por via seca e leitura em colorimetria (EMBRAPA, 2009).

perfuradas, que continham cada uma, um registro para regulação da vazão aplicada. A aplicação do esgoto se deu cinco dias por semana (de segunda a sexta-feira) por 6 horas/dia.

Transcorridos os 28 dias de aplicação do esgoto doméstico, para cada taxa foi feito o corte do material vegetal a 5,0 cm da superfície e coleta das amostras de solo a 0,10 m de profundidade. A área útil de coleta de solo de cada rampa de tratamento foi dividida em três seções de 0,25 m<sup>2</sup> cada (terço superior, terço intermediário e inferior), sendo coletadas quatro amostras aleatórias em cada uma das seções para formação de uma amostra composta e representativa da área amostrada.

O solo coletado foi encaminhado ao laboratório para determinação do pH, teores de fósforo, potássio, sódio, cálcio e magnésio conforme metodologia proposta pela EMBRAPA (2009).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ) e quando significativo foi aplicado o teste Tukey para  $p \leq 0,05$ , utilizando o software computacional SAEG 9.1.

**Tabela 2.** Atributos químicos do esgoto doméstico bruto utilizado no experimento.**Table 2.** Chemical attributes of gross domestic sewage used in the experiment.

Atributos químicos	Taxas (L h <sup>-1</sup> )	
	2,25	4,5
pH em água	7,5	8,0
Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	1,30	0,70
Potássio (mg L <sup>-1</sup> )	52,00	29,00
Sódio (meq L <sup>-1</sup> )	4,56	2,08
Ferro (mg L <sup>-1</sup> )	3,08	0,04
Fosfato (mg L <sup>-1</sup> )	2,03	0,15
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	18,40	20,30
Sulfato (meq L <sup>-1</sup> )	0,56	1,13
Boro (mg L <sup>-1</sup> )	0,16	0,04
Cálcio (meq L <sup>-1</sup> )	1,62	2,75
Magnésio (meq L <sup>-1</sup> )	0,61	0,34
Manganês (mg L <sup>-1</sup> )	0,01	0,01
Zinco (mg L <sup>-1</sup> )	0,01	0,01
Cobre (mg L <sup>-1</sup> )	0,01	0,01
Razão de absorção de sódio (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	4,32	1,67

### 3 Resultados e Discussão

Na interação forrageira x seção x taxa os teores de fósforo e potássio foram significativos ( $p \leq 0,05$ ). Houve interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as forrageiras e as taxas de aplicação de esgoto doméstico para os atributos pH, Na, Ca e Mg. Na interação entre as taxas de esgoto doméstico aplicadas e as seções das rampas de tratamento apenas o Na apresentou significância ( $p \leq 0,05$ ) e na interação forrageira x seção apenas o pH apresentou efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ). Já ao avaliar os fatores isoladamente o Ca e o Mg foram significativos ( $p \leq 0,05$ ) para o fator seção.

No desdobramento da interação tripla verifica-se que o teor de fósforo no solo das rampas de tratamento cultivado com azevém, em todas as seções avaliadas não apresentou diferença significativa entre as taxas de efluente doméstico aplicadas (Tabela 3). Para a aveia preta houve diferença significativa entre as taxas apenas na seção superior, em que a taxa de 4,5 L h<sup>-1</sup> apresentou maior teor de fósforo. Já para o centeio houve diferença significativa entre as taxas nas seções superior e intermediária, que de forma semelhante à aveia preta, também apresentou maior teor de fósforo na taxa de 4,5 L h<sup>-1</sup>. Segundo Taebi & Droste (2008) taxas de aplicação maiores proporcionam menor remoção de nutrientes pelas plantas e consequente acúmulo no solo. Com o aumento da taxa, o tempo de detenção do esgoto no solo e no filme biológico diminui, gerando menos tempo para os processos de sedimentação dos sólidos e oxidação da matéria orgânica. Outro fator é que essas taxas implicam níveis de saturação do solo mais elevados e a umidade excessiva nas camadas mais superficiais limita e desequilibra a atividade biológica, por dificultar a aeração do solo.

Ao avaliar o teor de fósforo entre as seções, o azevém, nas duas taxas avaliadas não apresentou diferença significativa entre as seções das rampas de tratamento, assim como a aveia

preta e o centeio na taxa de 2,25 L h<sup>-1</sup>. Na taxa de 4,5 L h<sup>-1</sup> essas forrageiras apresentaram menor teor de fósforo na seção inferior das rampas de tratamento (Tabela 3). O fósforo é um elemento pouco móvel no solo, portanto é esperado obter menor teor desse nutriente na seção inferior das rampas de tratamento. Fonseca et al. (2007) afirmam que o aporte de fósforo para o solo, em razão da aplicação via águas residuárias, normalmente é baixo, sendo observados maiores valores desse nutriente nas camadas superficiais do solo, o que condiz com os resultados obtidos nessa pesquisa (Queiroz et al., 2004; Medeiros et al., 2005).

Além disso, Loures et al. (2006) ao avaliarem a remoção de fósforo em sistemas de tratamento de esgoto doméstico por escoamento superficial cultivado com capim coarctado (*Cynodon dactylon*), observaram uma tendência da eficiência de remoção de fósforo pelas plantas aumentar com o comprimento da rampa de escoamento. Dessa forma, uma maior absorção desse nutriente pelas plantas nas seções inferiores da rampa, acarretaria em uma menor concentração no solo.

Quanto às taxas de aplicação, acredita-se que na menor taxa (2,25 L h<sup>-1</sup>) o conteúdo de fósforo adicionado ao solo tenha sido baixo para satisfazer as necessidades deste elemento pelas plantas, solo e microrganismos presentes, já que estes são os principais mecanismos de remoção de fósforo no solo (Loures et al., 2006). No caso da taxa de 4,5 L h<sup>-1</sup>, uma maior quantidade desse nutriente foi adicionada ao solo, aumentando sua disponibilidade no meio.

Nas seções superior e intermediária das rampas de tratamento, na taxa de 2,25 L h<sup>-1</sup> não houve diferença significativa entre as forrageiras (Tabela 4). Na taxa de 4,5 L h<sup>-1</sup>, nessas mesmas seções, o solo cultivado com centeio e aveia preta apresentou maior teor de fósforo. Já na seção inferior não houve diferença significativa entre as forrageiras nas duas taxas de aplicação de efluente doméstico avaliadas.

O principal mecanismo de remoção de fósforo no sistema de escoamento superficial ocorre devido aos mecanismos de adsorção, precipitação química, imobilização na forma de compostos orgânicos e principalmente remoção pela vegetação (Turner et al., 1994; Tonetti et al., 2012). De acordo com Wen et al. (2007) espécies de plantas diferentes, apresentam remoção de nutrientes variados. Diferentes teores de fósforo no solo foram observados, o que pode estar relacionado com a absorção desse nutriente pelas forrageiras (Tabela 3).

O menor teor de fósforo observado no solo cultivado com azevém nas seções superior e intermediária pode estar relacionado à eficiência de absorção dessa espécie. Segundo Matos et al. (2005) o azevém é uma ótima extratora de fósforo, comparada com outras espécies de inverno, sendo recomendada (Matos et al., 2003) para ser utilizada em rampas de tratamento, por também apresentar um alto acúmulo de matéria seca.

No desdobramento da interação tripla (Tabela 3) verifica-se que o solo cultivado com azevém e aveia preta apresentou maior teor de potássio na taxa de 2,25 L h<sup>-1</sup> nas seções intermediária e inferior, na seção superior as taxas de aplicação não apresentaram diferença significativa para essas forrageiras. Já para o centeio

**Tabela 3.** Teor de fósforo e potássio no solo em função das seções e das taxas avaliadas em cada forrageira, em que: sup = seção superior, int = seção intermediária e inf = seção inferior.

**Table 3.** Content of phosphorus and potassium in the soil according to the sections and fees assessed on each forage, where: sup = upper section, int = intermediate section and inf = bottom section.

Forrageiras	Seção	Azevém			Aveia			Centeio		
		Sup.	Int.	Inf.	Sup.	Int.	Inf.	Sup.	Int.	Inf.
Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )										
Taxa	2,25	5,32 Aa	4,7 Aa	2,96 Aa	5,14 Ba	7,06 Aa	5,66 Aa	5,3 Ba	5,4 Ba	5,8 Aa
(L h <sup>-1</sup> )	4,5	3,7 Aa	2,8 Aa	3,2 Aa	9,6 Aa	8,2Aa	5,6 Ab	9,78 Aa	10,3 Aa	4,24 Ab
Potássio (mg dm <sup>-3</sup> )										
Taxa	2,25	56,6 Ac	68,4 Ab	90,4 Aa	52,8 Ac	70,4 Ab	85,2 Aa	107,8 Aa	80,6 Ab	77,2 Ab
(L h <sup>-1</sup> )	4,5	58,0 Aa	58,4 Ba	54,0 Ba	56,2 Aa	57,6 Ba	57,0 Ba	102,0 Aa	65,0 Bb	65,2 Ab

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula em linha não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

**Tabela 4.** Teor de fósforo e potássio em função das forrageiras e das taxas avaliadas em cada seção das rampas de tratamento.

**Table 4.** Phosphorus and potassium content of the forages function and fees assessed on each section of the treatment ramps.

Seção	Taxa (L h <sup>-1</sup> )	Superior		Intermediária		Inferior	
		2,25	4,5	2,25	4,5	2,25	4,5
Fósforo (mg dm <sup>-3</sup> )							
Forrageiras	Azevém	5,32 A	3,7 B	4,7 A	2,8 B	2,96 A	3,2 A
	Aveia	5,14 A	9,6 A	7,96 A	8,2 A	5,66 A	5,6 A
	Centeio	5,3 A	9,78 A	5,4 A	10,3 A	5,8 A	4,24 A
Potássio (mg dm <sup>-3</sup> )							
Forrageiras	Azevém	56,6 B	58,0 B	68,4 B	58,4 B	90,4 A	54,0 A
	Aveia	52,8 B	56,2 B	70,4 B	57,6 B	85,2 A	57,0 A
	Centeio	107,8 A	102,0 A	80,6 A	65,0 A	77,2 A	65,2 A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula em coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

foi observado diferença significativa entre as taxas apenas na seção intermediária, que também apresentou maior teor de potássio na taxa de 2,25 L h<sup>-1</sup>.

O teor de potássio no efluente doméstico utilizado neste estudo pode ser considerado alto, pois segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 1992) a concentração desse elemento nesse tipo de efluente pode variar de 1 a 25 mg L<sup>-1</sup>, dependendo das condições locais. Foi observado maior valor de potássio (52 mg L<sup>-1</sup>) no efluente aplicado na primeira taxa (2,25 L h<sup>-1</sup>), por isso maior teor desse elemento no solo analisado após a aplicação dessa taxa (Tabela 2).

Era de se esperar que houvesse o acúmulo desse nutriente no solo com as sucessivas aplicações de efluente, mesmo que contendo teores menores de potássio, porém este é um íon móvel no solo e com o tempo pode ter sido lixiviado junto com o efluente que escoava sobre a rampa e também removido pela vegetação. Dessa forma, é esperado obter maior teor desse elemento nas seções inferiores das rampas de tratamento, como observado no solo das rampas cultivado com azevém e aveia preta, na taxa de 2,25 L h<sup>-1</sup> (Tabela 3). Porém, o canteio nas duas taxas avaliadas apresentou maior teor de potássio na seção superior das rampas de tratamento, que pode estar relacionado com a diferença de absorção desse nutriente pelas forrageiras.

Nas seções superior e intermediária das rampas de tratamento, nas duas taxas aplicadas, o solo cultivado com canteio apresentou maior teor de potássio, porém não houve diferença entre o azevém e a aveia preta (Tabela 4). Já na seção inferior não houve diferença significativa entre as forrageiras nas duas taxas de aplicação de efluente doméstico avaliadas. Segundo Costa et al. (2010) dentre os nutrientes, o potássio é muito importante no desenvolvimento das gramíneas e por isso é extraído em grande quantidade. Por outro lado, ao comparar as forrageiras estudadas, observa-se que o canteio foi a que menos extraiu esse nutriente do solo, devido ao maior valor de potássio encontrado, principalmente na seção superior das rampas de tratamento (Tabelas 3 e 4).

No desdobramento da interação forrageira x taxa apresentado na Tabela 5, observa-se que o pH do solo foi maior nas rampas cultivadas com azevém e aveia preta na taxa de 4,5 L h<sup>-1</sup>, já o canteio não apresentou diferença significativa entre as duas taxas avaliadas. O aumento de pH observado com a aplicação da taxa de 4,5 L h<sup>-1</sup> pode ser atribuído ao alto valor de pH do efluente, que variou de 7,5 a 8 (Tabela 1). Além disso, pode estar relacionado com maior aporte de cátions trocáveis e ânions nessa taxa, já que foi aplicado um maior volume de efluente (Erthal et al., 2010)

Segundo Cassol et al. (2011) a magnitude do efeito de resíduos orgânicos em componentes da acidez do solo, além dos fatores citados anteriormente, depende do poder tampão do solo tratado e da dose aplicada, sendo, geralmente, necessárias doses elevadas e repetidas para serem observadas mudanças significativas. Isto justifica o aumento do pH na taxa de 4,5 L h<sup>-1</sup>, já que esta foi aplicada subsequente a primeira taxa.

Além disso, na menor taxa aplicada, (2,25 L h<sup>-1</sup>), tem-se um menor encharcamento do solo, o que possibilita uma maior mineralização dos compostos orgânicos pelos microrganismos aeróbios presentes, fazendo com que haja liberação de H<sup>+</sup> e consequente redução do pH do solo (Wen et al., 2007).

Ao avaliar a diferença entre as forrageiras, observa-se que não houve diferença entre o valor do pH medido no solo com a aplicação das duas taxas (Tabela 5), como observado por Duarte et al. (2008) ao estudarem o efeito da aplicação de efluente tratado no solo. Segundo Rodrigues et al. (2009) o pH das águas residuárias, normalmente não afeta significativamente o pH do solo, devido ao seu poder tampão, alguma diferença pode ser observada ao longo do tempo.

No desdobramento da interação forrageira x seção apresentado (Tabela 6), observa-se maior valor de pH no solo das seções superiores das rampas de tratamento para todas as forrageiras avaliadas, que não diferiram entre si. Este aumento também pode estar relacionado com o aumento dos cátions trocáveis, como cálcio, magnésio e sódio na seção superior das rampas de tratamento, conforme as Tabelas 7 e 8. De acordo com Erthal et al. (2010) essa é uma das principais causas de aumento do pH do solo ao se utilizar resíduos orgânicos, como o efluente doméstico.

Quanto ao sódio, foram encontrados maiores teores no solo ao aplicar a taxa de 4,5 L h<sup>-1</sup> para todas as forrageiras avaliadas

**Tabela 5.** Atributos químicos do solo em função das forrageiras e das taxas de esgoto doméstico aplicadas.

**Table 5.** Chemical properties of soil in terms of forage and sewage rates applied.

Taxa (L h <sup>-1</sup> )	Forrageiras					
	Azevém	Aveia	Canteio	Azevém	Aveia	Canteio
	pH			Na (mg dm <sup>-3</sup> )		
2,25	5,0 Ba	4,9 Ba	5,3 Aa	0,0 Ba	0,0 Ba	0,0 Ba
4,5	5,7 Aa	5,5 Aa	5,6 Aa	28,6 Aa	27,4 Aa	30,53 Aa
	Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		
2,25	1,36 Ba	1,33 Aa	1,26 Aa	0,46 Aa	0,39 Aa	0,42 Aa
4,5	1,75 Aa	1,23 Ab	1,16 Ab	0,39 Aa	0,45 Aa	0,51 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula em linha não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

**Tabela 6.** Valor de pH do solo em função das forrageiras e das seções das rampas de tratamento.

**Table 6.** Soil pH value depending on forage and sections of the treatment ramps.

Seção	Forrageiras		
	Azevém	Aveia	Canteio
Superior	5,59 Aa	5,46 Aa	6,25 Aa
Intermediária	5,07 Ba	4,84 Ba	4,95 Ba
Inferior	5,03 Ba	5,04 Ba	5,20 Ba

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula em linha não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

**Tabela 7.** Teor de sódio (mg dm<sup>-3</sup>) no solo em função das taxas de esgoto doméstico aplicadas e das seções das rampas de tratamento.

**Table 7.** Content of Sodium (mg dm<sup>-3</sup>) in soil as a function of applied sewage rates and ramps sections of the treatment.

Taxa (L h <sup>-1</sup> )	Seção		
	Superior	Intermediária	Inferior
2,25	0,0 Ba	0,0 Ba	0,0 Ba
4,5	35,66 Aa	22,4 Ab	21,73 Ab

**Tabela 8.** Atributos químicos do solo em função das seções das rampas de tratamento.**Table 8.** Chemical properties of soil depending on the sections of the treatment ramps.

Seção	Atributos Químicos	
	Ca ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	Mg ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )
Superior	1,45 A	0,51 A
Intermediária	1,22 B	0,36 B
Inferior	1,22 B	0,34 B

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula em coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

e nas três seções das rampas de tratamento (Tabelas 5 e 7). Para essa mesma taxa, observou-se maior teor de sódio na seção superior das rampas de tratamento, já as outras seções não diferiram entre si, assim como todas as seções na taxa de  $2,25 \text{ L h}^{-1}$  (Tabela 7). De acordo com Erthal et al. (2010) as concentrações de sódio no solo normalmente são elevadas após a aplicação de águas residuárias, principalmente nas camadas superficiais, como observado no presente estudo. Além disso, a utilização de uma taxa maior ( $4,5 \text{ L h}^{-1}$ ) pode ter proporcionado um maior aporte desse nutriente, sendo superior a absorção promovida pelas forrageiras, levando a um acúmulo no solo, que muitas vezes pode ser prejudicial.

Valores de sódio na água de irrigação/efluente acima de  $3 \text{ meq L}^{-1}$  podem causar sérios danos ao solo, devido ao efeito dispersante desse íon, que afeta a estrutura do solo, causando obstrução do espaço poroso e redução da infiltração de água no solo (Segundo Ayers & Westcot, 1999).

No desdobramento da interação forrageira x taxa (Tabela 5) para o cálcio, observa-se maior teor desse nutriente no solo cultivado com azevém na taxa de  $4,5 \text{ L h}^{-1}$ . Segundo Erthal et al. (2010) o acúmulo verificado pode ser explicado pelo maior aporte desse nutriente propiciado pelo aumento da taxa de aplicação da água residuária, sendo superior à absorção promovida pelo azevém, gerando o acúmulo no solo.

Diferentemente do cálcio, os teores de magnésio medidos no solo das rampas de tratamento não apresentaram diferença significativa entre si no desdobramento da interação forrageira x taxa (Tabela 5). Porém ao avaliar os teores de cálcio e magnésio entre as seções (Tabela 8), observa-se maior valor na seção superior das rampas de tratamento, o que também foi observado por Erthal et al. (2010) ao avaliarem as alterações físicas e químicas de um Argissolo após a aplicação de água residuária de bovinocultura.

## 4 Conclusões

O solo das rampas de tratamento apresentam maior teor de fósforo, sódio, cálcio, magnésio e pH na taxa de aplicação de  $4,5 \text{ L h}^{-1}$  e maior teor de potássio na taxa de  $2,25 \text{ L h}^{-1}$ . A aplicação de efluente doméstico proporciona maior teor de fósforo, sódio, cálcio, magnésio e pH na seção superior das rampas de tratamento. As forrageiras apresentam comportamento diferenciado, sendo observado maior teor de potássio no solo cultivado com centeio e maior teor de cálcio no solo cultivado com azevém.

## Referências

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. *Water Quality for Agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1999.

CANDELA, L.; FABREGAT, S.; JOSA, A.; SURIOL, J.; VIGUÉS, N.; MAS, J. Assessment of soil a groundwater impacts by treated urban wastewater reuse. A case study: application in a golf course (Girona, Spain). *Science of the Total Environment*, v.374, p.26-35, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.12.028>.

CASSOL, P.C.; SILVA, D.C.P.; ERNANI, P.R.; KLAUBERG FILHO, O.; LUCRÉCIO, W. Atributos químicos em Latossolo Vermelho fertilizado com dejetos suíno e adubo solúvel. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.10, n.2, p.103-112, 2011.

COSTA, K. A. P.; OLIVEIRA, I. P.; SEVERIANO, E. C.; SAMPAIO, F. M. T.; CORRIJO, M. S.; RODRIGUES, C. R. Extração de nutrientes pela fitomassa de cultivares de *Brachiaria brizantha* sob doses de nitrogênio. *Ciência Animal Brasileira*, Goiânia, v. 11, n. 2, p. 307-314, 2010.

DUARTE, A. S.; AIROLDI, R. P. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.12, n.3, p.302-310, 2008.

EARTHAL, V. T. J.; FERREIRA, P. A.; PEREIRA, O. G.; MATOS, A. T. Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras fertigadas com água residuária de bovinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.14, n.5, p.458-466, 2010.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. 627p. 2009.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Wastewater treatment and use in agriculture*. Rome, 169 p. 1992.

FONSECA, A. F.; HERPIN, U; PAULA, A. M.; VICTORIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: Agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Scientia Agrícola*, v. 64, n.2, p.194-209, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162007000200014>.

LOURES, A. P. S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; CECON, P. R.; PEREIRA, O. G. Remoção de fósforo em sistema de tratamento de esgoto doméstico, por escoamento superficial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.10, n.3, p.706-714, 2006.

MATOS, A. T., SEDIYAMA, M. A. N., VIDIGAL, S. M., GARCIA, N. C. P.; RIBEIRO, M. F. Características químicas e microbiológicas do solo influenciadas pela aplicação de dejetos líquidos de suínos. *Revista CERES*, v.44, n.254, p. 399-410, 1997.

MATOS, A. T.; PINTO, A. B.; PEREIRA, O. G.; BARROS, F. M. Extração de nutrientes por forrageiras cultivadas com água residuária do beneficiamento de frutos do cafeeiro. *Ceres*, v.52, n.303, p.675-688, 2005.

- MATOS, A. T.; PINTO, A. B.; PEREIRA, O. G.; SOARES, A. A.; LO MONACO, P. A. Produtividade de forrageiras utilizadas em rampas de tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.1, p. 154-158, 2003.
- MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, p.603-612, 2005.
- QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. *Ciência Rural*, v.34, n.05, p.1487-1492, 2004.
- RODRIGUES, L. N.; NERY, A. R.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. M. Aplicação de água residuária de esgoto doméstico e seus impactos sobre a fertilidade do solo. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 9, n. 2, p. 55-67, 2009.
- SAEG. *Sistema para Análises Estatísticas*, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.
- SILVA, S.A.; OLIVEIRA, R. *Manual de análises físico-química de águas de abastecimento e residuárias*. Marcone: Capina Grande, 2001, 266p.
- TAEBI, A.; DROSTE, R. L. Performance of an overland flow system for advanced treatment of wastewater plant effluent. *Journal of Environmental Management*, v. 88, p.688-696, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.038>.
- TONETTI, A. L.; COURACCI FILHO, B.; STEFANUTTI, R. Pós-tratamento de efluente de filtros anaeróbios operados com baixo tempo de detenção hidráulica por escoamento superficial no solo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.17, n.1, p. 7-12, 2012.
- TURNER, G.; CRAWFORD, D.; WATTS, R. J. ZIRSCHKY, Z. H. Phosphorus removal from secondary-treated wastewater using overland flow. *Water, Air, and Soil Pollution*, v.73, p.157-167, 1994. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00477983>.
- WEN, C. G.; CHEN, T. H.; HSU, F. H.; LU, C. H.; LIN, J. B.; CHANG, C. H. CHANG, S. P.; LEE, C. S. A high loading overland flow system: Impacts on soil characteristics, grass constituents, yields and nutrient removal. *Chemosphere*, v. 67, p. 1588-1600, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.11.053>.

---

**Contribuição dos autores:** Ana Paula Bertossi realizou os experimentos e a escrita científica, Larissa Milen contribuiu com a realização do experimento; Giovanni Garcia contribuiu com a revisão bibliográfica e escrita científica; Edvaldo Reis contribuiu com a análise estatística; José Guilherme contribuiu com a realização do experimento.

**Fonte de financiamento:** Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Processo Número 303452/2011-0 e Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) - Processo Número 54653150/11.

**Conflito de interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.