

## **CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DO SOLO APÓS CULTIVOS FERTIRRIGADOS COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA\***

**FERNANDO LOPES GODINHO<sup>1</sup>; EDSON FAGNE DOS SANTOS<sup>2</sup>; SILVÂNIO RODRIGUES DOS SANTOS<sup>1</sup>, MARCOS KOITI KONDO<sup>1</sup>; MARFFÍZIA AMARAL RODRIGUES FERREIRA<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Montes Claros, Rua Reinaldo Viana, 2630, Bico da Pedra, 39440-000, Janaúba, MG, Brasil, silvanio.santos@unimontes.br; marcoskondo@gmail.com; marffiziaferreira@gmail.com

<sup>2</sup>Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Avenida P.H Rolfs, S/N. CEP: 36570-900, Viçosa – MG, Brasil, email: fagner-edson07@hotmail.com

\*Artigo proveniente da dissertação de mestrado do primeiro autor.

### **1 RESUMO**

Elevadas cargas de esgoto são destinadas aos corpos d'água no Brasil, podendo essa realidade ser mudada com o emprego de tecnologias para o uso agrícola desse resíduo. Assim, objetivou-se quantificar as mudanças no movimento e retenção de água em Latossolo Vermelho Eutrófico, após cultivo sequencial com a aplicação de água residuária sanitária tratada (ART). Para isso, foram utilizados cinco tratamentos (0= água limpa e adubação mineral; 50%; 100%; 150% e 200% da dose de ART limitada pelo elemento referência K<sup>+</sup> nos 3 primeiros cultivos e; 0= água limpa e adubação mineral; 100%; 200%; 300% e 400% da dose de ART limitada pelo elemento referência Na<sup>+</sup> no abacaxizeiro), no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Observou-se uma diminuição linear de 0,0972 mm h<sup>-1</sup>, 0,0997 mm h<sup>-1</sup> e 0,0073 cm h<sup>-1</sup> na taxa de infiltração básica, no tempo de 1,5 h e na condutividade hidráulica, respectivamente, para cada mm de efluente adicionado no solo, além de aumentar a porcentagem de sódio trocável nas profundidades avaliadas. No entanto, tais alterações não ultrapassam os limites considerados seguros pela literatura.

**Palavras-chave:** infiltração; retenção de água; fertirrigação; esgoto sanitário.

**GODINHO, F. L.; SANTOS, E. F.; SANTOS, S. R.; KONDO, M. K.; FERREIRA, M. A. R.**

### **PHYSICAL-HYDRICAL CHARACTERIZATION OF THE SOIL AFTER FERTIRRIGATED CROPS WITH TREATED SANITARY WATER**

### **2 ABSTRACT**

High sewage loads are still released into water sources in Brazil. This can be changed using technologies that contributes for the use of part of this wastewater in agriculture. This study aimed to evaluate possible changes in the movement and water retention in Eutrophic Red Latosol, after sequential cultivation with the application of treated sanitary wastewater (ART). Five treatments were used (0: clean water and mineral fertilization, 50%, 100%, 150% and 200% of the ART dose limited by the reference element K<sup>+</sup> in the first 3 cultivation and 0: clean water and mineral fertilization, 100%, 200%, 300% and 400% of the ART dose, limited by the reference element Na<sup>+</sup> in pineapple crops, in a randomized block design with four replications. A linear decrease of 0.0972 mm h<sup>-1</sup>, 0.0997 mm h<sup>-1</sup> and 0.0073 cm h<sup>-1</sup>,

respectively, was observed in the basic infiltration rate, in the time of 1.5 h, and hydraulic conductivity, for each mm effluent increased in the soil; in addition, in the percentage of exchangeable sodium at depths evaluated. However, such changes do not exceed the limits considered safe by the literature.

**Keywords:** infiltration; water retention; fertigation; sanitary sewage; water reuse.

### 3 INTRODUÇÃO

A redução do regime pluviométrico observada no Brasil nos últimos anos, sobretudo em regiões semiáridas, é um processo alarmante e exige investimentos em tecnologias e estudos para o uso eficiente da água de boa qualidade bem como de outras fontes não utilizadas para o consumo humano.

O lançamento de forma direta de esgoto nos corpos hídricos, contribui na diminuição da qualidade da água e ainda é uma situação comum em muitas cidades do país (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017). Mesmo depois do tratamento e seguindo a legislação vigente (BRASIL, 2005; MINAS GERAIS, 2008), os efluentes dos sistemas de tratamento ainda possuem elementos capazes de eutrofizar os corpos receptores.

Um dos destinos possíveis para a água residuária sanitária tratada (ART) é a agricultura (ALVES NETO et al., 2016; ALVES et al., 2018; SANTOS et al., 2016; SILVA, 2018). Tal possibilidade ajuda a conservar a disponibilidade de água de boa qualidade e promove uma reciclagem natural de nutrientes (LIBUTTI et al., 2018).

No entanto, é necessário ter cuidado no uso da ART como fonte de nutrientes para as plantas, uma vez que aplicações sucessivas podem comprometer a qualidade do solo (SANTOS et al., 2017), como, por exemplo, promover alterações na infiltração e movimentação de água no solo devido ao risco de dispersão de argila (MATOS; MATOS, 2017; MATOS; MARTINS; LO MONACO, 2014). As altas concentrações

de  $\text{Na}^+$  na solução do solo em comparação com as de  $\text{Ca}^{2+}$  e de  $\text{Mg}^{2+}$ , podem causar deterioração da estrutura do solo pela dispersão dos coloides e subseqüente entupimento dos macroporos, causando decréscimo na permeabilidade à água e aos gases (HOMEM et al., 2014). O conhecimento de características físico/químicas do solo é de suma importância para um manejo consciente e seguro da ART. Diversos estudos ressaltam a importância do tema (CARVALHO et al., 2014; NASCIMENTO; FIDELES FILHO, 2015; SANTOS et al., 2016; SILVA, 2018).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar as alterações no movimento e retenção de água em Latossolo Vermelho Eutrófico, depois do cultivo sequencial com a aplicação de água residuária sanitária tratada (ART).

### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de janeiro a março de 2018 na área experimental da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa)/Unimontes, localizada ao lado da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Janaúba - MG, cujas coordenadas geográficas correspondem a  $15^{\circ} 46' 14,5''$  S de latitude e  $43^{\circ} 19' 14,31''$  W de longitude, com altitude de 534 m. O clima é classificado como Aw, tropical com estação seca, de acordo com a classificação de Köppen (ALVAREZ et al., 2013). O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2018).

A área avaliada foi cultivada durante quatro ciclos com experimentos envolvendo água residuária, que foi aplicada em quatro diferentes culturas, sendo elas milho (novembro de 2012 a fevereiro de 2013) (ALVES et al., 2018), algodão (junho a novembro de 2013)(ALVES, 2014), feijão comum (abril a junho de 2014) (SANTOS et al., 2017) e abacaxi (julho de 2015 a março de 2017) (OLIVEIRA, 2018).

Todos os cultivos foram conduzidos na mesma área e nas mesmas parcelas experimentais envolvendo cinco tratamentos de ART (0, 50, 100, 150 e 200% da dose de ART limitada pelo

elemento referência  $K^+$  nos 3 primeiros cultivos e 0, 100, 200, 300 e 400% da dose de ART limitada pelo elemento referência  $Na^+$  no abacaxizeiro) correspondendo à (0 = água limpa e adubação mineral; 1 = 50; 2 = 100; 3 = 150 e 4 = 200% da dose de ART e 0: água limpa e adubação mineral; 1 = 100; 2 = 200; 3 = 300 e 4 = 400% da dose de ART, sendo os referidos tratamentos dispostos no delineamento em blocos completos casualizados, com quatro repetições, o que possibilitou a quantificação das doses de ART totais aplicadas em cada uma das parcelas experimentais (Tabela 1).

**Tabela 1.** Doses de água residuária sanitária tratada (ART, mm) parciais aplicadas nos cultivos sequenciais de milho (nov/2012 a fev/13), algodoeiro (jun a nov/13), feijoeiro comum (abr a jun/14) e abacaxizeiro (jul/15 a mar/17) e totais em cada tratamento.

| Dose* | Milho | Algodoeiro | Feijoeiro | Abacaxizeiro | Totais |
|-------|-------|------------|-----------|--------------|--------|
| 0     | 0     | 0          | 0         | 0            | 0      |
| 1     | 61,2  | 103,2      | 46,1      | 117,3        | 327,8  |
| 2     | 122,0 | 200,0      | 91,7      | 234,1        | 647,8  |
| 3     | 180,5 | 302,9      | 137,8     | 351,4        | 972,6  |
| 4     | 240,2 | 399,7      | 184,3     | 468,3        | 1292,5 |

\*Fonte: Alves (2014), Alves et al. (2018), Santos et al. (2017), Oliveira (2018), adaptado.

Em todos os ciclos de cultivo que antecederam as avaliações, buscou-se, com manejo da irrigação, manter a umidade na capacidade de campo até os 0,5 m de profundidade. Os manejos das irrigações basearam-se na evapotranspiração diária de referência ( $ET_0$ ), sendo determinada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 2006), utilizando-se dados de uma estação meteorológica instalada na área experimental, com o intuito de atender a demanda hídrica de cada cultura. Pela exigência em água ser superior à de nutrientes contidos na ART, foi feita a complementação com água limpa em todos os tratamentos, via sistema de irrigação por gotejamento, utilizado em ambos os tipos de água, com emissores espaçados 0,4 m

entre si e 0,9 m entre linhas laterais e com vazão média igual a  $5,81 \text{ L h}^{-1}$ .

A fim de estimar a velocidade de infiltração básica (VIB) e a condutividade hidráulica de água no solo ( $K_0$ ), procedeu-se o método de Infiltrômetro de Anéis Concêntricos, sendo feita a medição em cada unidade experimental (TEIXEIRA et al., 2017), totalizando quatro repetições. Em busca de uma equação que melhor se ajustasse às curvas dos dados obtidos nos testes de infiltração, selecionou-se, dentre os disponíveis, três modelos empíricos, Kostiaikov, Kostiaikov-Lewis e Horton (BRANDÃO et al., 2006).

Após gerar uma curva para cada modelo, realizou-se testes de comparação de modelos conforme Camargo e Sentelhas (1997), Willmott (1981), Willmott e

Matsuura (2005), visando definir qual deles seria o que melhor representasse os dados de campo, sendo o Kostiakov o de melhor desempenho. Definido o modelo, determinou-se a VIB, partindo do princípio de que a estabilização da infiltração ocorresse quando a variação das velocidades em torno da média dos últimos valores medidos estivesse dentro  $\pm 10\%$  no intervalo de 60 minutos (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Além disso, visto que o tempo de estabilização estava acima de 3 horas para a maioria dos tratamentos, determinou-se a velocidade de infiltração para o tempo fixado de 1,5 h ( $VI_{1,5}$ ) a fim de notar se as respostas de infiltração na primeira metade do tempo médio de estabilização, seriam similares às respostas da VIB.

Após determinar as velocidades de infiltração básicas, utilizou-se de um modelo empírico descrito por Bernardo, Soares e Mantovani (2006) para estimar a condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) de cada parcela.

Amostras de solo foram coletadas para determinação da densidade aparente pelo método do anel volumétrico, sendo coletadas duas amostras nas camadas 0 a 0,2 m; 0,2 a 0,4 m; 0,4 a 0,6 m e 0,6 a 0,8 m (TEIXEIRA et al., 2017). Além disso, também foram coletadas amostras em duplicatas com estrutura deformada para determinação da curva de retenção de água no solo, pelo método da câmara de Richards nas mesmas profundidades supracitadas (TEIXEIRA et al., 2017), sendo as umidades ajustadas pela equação de Van Genuchten (1980).

As amostras deformadas foram utilizadas para a determinação da condutividade elétrica do extrato saturado do solo ( $CE_{es}$ ), da argila dispersa em água (ADA) e do percentual de sódio trocável (PST) (TEIXEIRA et al., 2017).

De posse das curvas de retenção e das densidades das camadas de cada unidade experimental (eu), calculou-se as

umidades na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ) e no ponto de murcha permanente ( $\theta_{pm}$ ) obtidas, respectivamente, a 20 kPa, pressão definida pelo método da bacia (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006) e a 1500 kPa. Além disso, também foi calculada a disponibilidade total de água no solo (DTA).

As variáveis utilizadas para estudar as alterações no solo devido ao uso e ART foram: VIB,  $VI_{1,5}$ ,  $K_0$ ,  $CE_{es}$ , PST, ADA, DTA,  $\theta_{cc}$ ,  $\theta_{pm}$ . Os dados foram interpretados por meio de análise de variância preliminar ao nível de 5% de significância do teste F e, para aquelas variáveis cuja fonte de variação doses de ART foram significativas, aplicou-se a análise de regressão, com teste F a até 5% de significância. Os modelos da regressão foram escolhidos com base na significância do teste F, nos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e na capacidade de explicar o fenômeno estudado, além da aplicação do teste t para os parâmetros, ao nível de 5% de significância. A análise estatística foi feita com auxílio do programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A velocidade de infiltração básica (VIB) e a velocidade de infiltração no tempo fixado em 1,5 h ( $VI_{1,5}$ ) apresentaram alterações ( $p < 0,05$ ) (Tabela 2), sendo explicadas por regressões lineares decrescentes (Figura 1). Houve uma redução na infiltração à medida que se aumentaram as lâminas de ART, possivelmente pelas características da ART que podem alterar a dinâmica da água no solo em diferentes camadas principalmente devido ao excesso de sódio além do controle da irrigação no manejo (SANTOS et al., 2017; SANTOS et al., 2015; CORRÊA et al., 2003). O manejo da irrigação em uma profundidade pré-estabelecida pode lixiviar componentes

fertirrigados, como sódio, para o limite da profundidade em que se almeja elevar à capacidade de campo, que na área estudada foi até os 0,4 m. Caso ocorra um

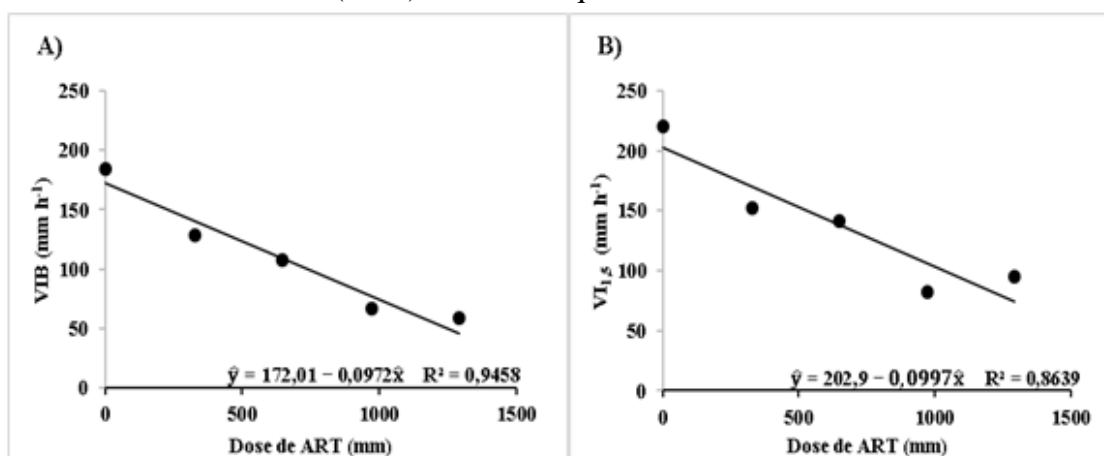
desbalanço entre íons monovalentes, alterações no fluxo da água no solo podem ser desencadeadas (SANTOS et al., 2015).

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para velocidade de infiltração básica (VIB), velocidade de infiltração em 1,5 horas ( $VI_{1,5}$ ) e condutividade hidráulica ( $K_0$ ) submetidas a diferentes doses de água residuária tratada (ART) ao final de quatro ciclos de cultivo.

| FV                 | GL | Quadrado Médio               |  |   |
|--------------------|----|------------------------------|--|---|
|                    |    | VIB<br>(mm h <sup>-1</sup> ) | VI <sub>1,5</sub><br>(mm h <sup>-1</sup> ) | K <sub>0</sub><br>(cm h <sup>-1</sup> ) |
| <b>Bloco</b>       | 3  | 2935,6                       | 2267,1                                     | 5,50                                    |
| <b>ART</b>         | 4  | 10421,5*                     | 12010,1*                                   | 58,64*                                  |
| <b>Resíduo</b>     | 12 | 14128,71                     | 17359,77                                   | 6,62                                    |
| <b>CV (%)</b>      |    | 31,48                        | 27,51                                      | 31,48                                   |
| <b>Média geral</b> |    | 109,01                       | 138,27                                     | 8,18                                    |

FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação.

**Figura 1.** Velocidade de infiltração básica (A) e Velocidade de infiltração em tempo fixado em 1,5 h (B) estimados pelo modelo de Kostiakov para doses de água residuária sanitária tratada (ART) ao final de quatro ciclos de cultivo.



\*significativo ao nível de 5%, pelo teste t.

A  $VI_{1,5}$  manteve-se próxima da VIB, indicando que para o tempo de 1,5 h, a infiltração já se aproximava numericamente da infiltração em momento de solo saturado. O que indica uma boa capacidade de infiltração do solo mesmo para as maiores doses de ART.

Embora tenha sido observada uma redução linear de 0,0972 mm h<sup>-1</sup> e 0,0997 mm h<sup>-1</sup> para cada milímetro de ART

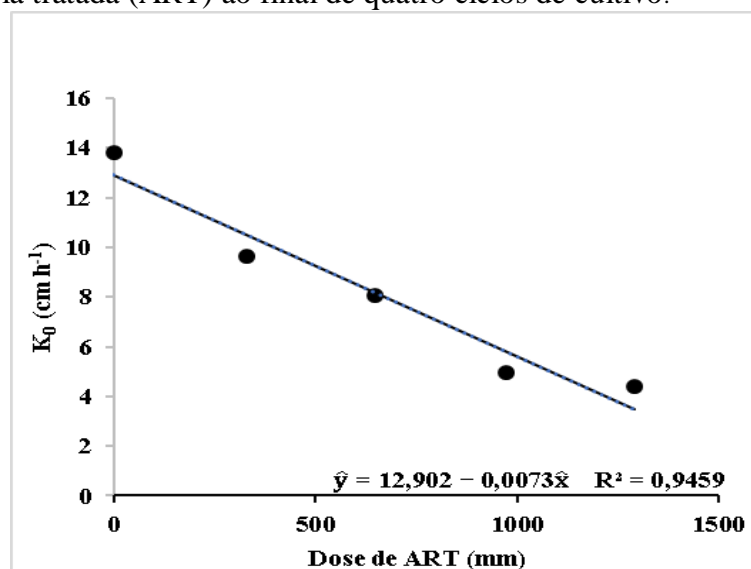
incrementada ao solo, na VIB e  $VI_{1,5}$ , respectivamente (Figura 1), a infiltração pode ser considerada alta em todos os tratamentos avaliados, inclusive para o de maior redução (T4), pois de acordo com Bernardo, Soares e Mantovani (2006), a velocidade de infiltração acima de 30 mm h<sup>-1</sup> é considerada alta em áreas de lavouras. Ainda assim, recomendam-se cuidados no uso sequencial da dose de ART aplicada na

fertirrigação, já que a VIB apresentada pelas parcelas que receberam as maiores doses aplicadas (T4), foi muito inferior ao tratamento que não recebeu ART (T0).

A condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) também foi influenciada ( $p > 0,05$ )

pelas lâminas de ART aplicadas (Tabela 2), explicada por uma regressão linear decrescente (Figura 2), de forma similar à VIB.

**Figura 2.** Condutividade hidráulica ( $K_0$ ) influenciada por diferentes doses de água residuária sanitária tratada (ART) ao final de quatro ciclos de cultivo.



\*significativo ao nível de 5%, pelo teste t.

Houve uma redução na  $K_0$  de moderadamente rápida à moderada segundo a classificação proposta por Ferreira (1998), que estipulou limites para classificação (muito rápida = superior a 25 cm h<sup>-1</sup>; rápida = de 12,5 a 25 cm h<sup>-1</sup>; moderadamente rápida = de 6,25 a 12,5 cm h<sup>-1</sup>; moderada = de 2,0 a 6,25 cm h<sup>-1</sup>; moderadamente lenta = de 0,5 a 2,0 cm h<sup>-1</sup>; lenta = de 0,125 a 0,5 cm h<sup>-1</sup>; e muito lenta = inferior a 0,125 cm h<sup>-1</sup>).

A ART possui sólidos suspensos, significativos teores de eletrólitos, matéria orgânica dissolvida e alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), o que pode justificar as alterações na  $K_0$  mesmo sem ter sido notado alterações significativas para essa variável ligada à estrutura do solo (BEDBABIS *et al.*, 2014; MHASKE; NIKAM, 2017; VARALLO *et al.*, 2010).

Mesmo com uma redução linear de 0,0073 cm h<sup>-1</sup> para cada 1 mm de ART

acrescida ao solo (Figura 2), a  $K_0$  ainda se manteve em níveis satisfatórios, sem riscos ao movimento da água no solo, já que em regiões semiáridas há o comprometimento da  $K_0$  em solos cujas taxas são abaixo de 0,6 cm h<sup>-1</sup> (SCHACHT; MARSCHNER, 2014). No entanto, a menor  $K_0$  encontrada no presente trabalho foi de 3,47 cm h<sup>-1</sup>.

A infiltração, a condutividade hidráulica, a umidade no solo nos limites superior (capacidade de campo,  $U_{cc}$ ) e inferior ( $U_{pm}$ ) e a disponibilidade total de água (DTA) dependem diretamente do tipo de solo e da estrutura, sendo o solo da área estudada enquadrado na classe textural franco-argilo-arenosa na camada de 0-0,2 m e com o aumento do conteúdo de argila no perfil, atingindo a classe franco argiloso, na camada de 0,6-0,8 m (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2018; SANTOS *et al.*, 2015).

Diferenças significativas foram observadas para a PST nas três camadas analisadas (Tabela 3), sendo essas representadas por regressões lineares crescentes (Figura 3). Houve um incremento da PST de 0,0071%, 0,0057% e 0,0045% para cada mm de ART incrementada ao solo, nas camadas 0-0,2,

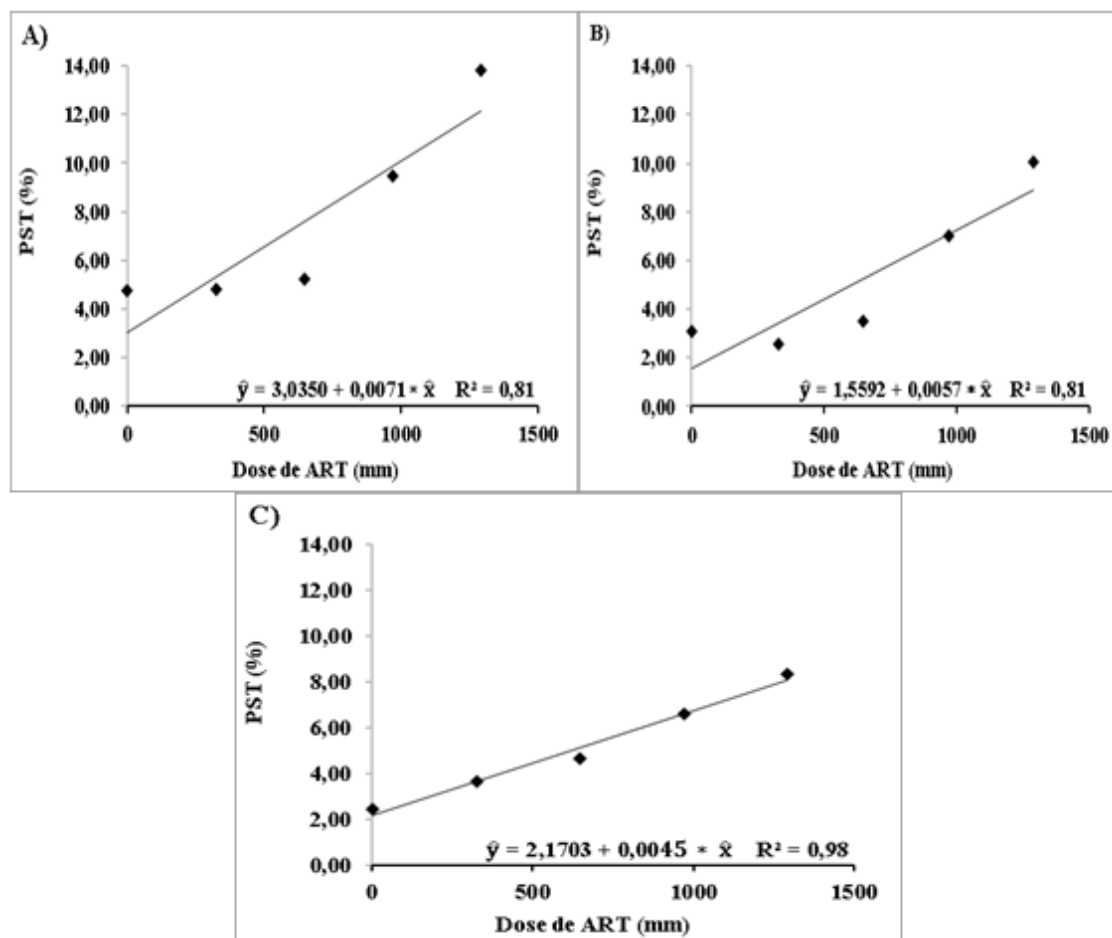
0,2-0,4 e 0,4-0,6 m, respectivamente. Tais respostas podem ser explicadas pela concentração de sódio presente na ART, conforme verificado nos trabalhos desenvolvidos ao longo dos ciclos de cultivo na área experimental (ALVES, 2014; ALVES et al., 2018; OLIVEIRA, 2018; SANTOS et al., 2017).

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para condutividade elétrica do extrato de saturação do solo ( $CE_{es}$ ), percentual de sódio trocável (PST), argila dispersa em água (ADA), umidade no ponto de murcha ( $\theta_{pm}$ ), umidade na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ) e disponibilidade total de água (DTA), realizadas no perfil do solo ao final de quatro ciclos de cultivo.

| Prof.     | FV    | GL | Quadrado Médio                  |                      |                           |   |   |                            |
|-----------|-------|----|---------------------------------|----------------------|---------------------------|---|---|----------------------------|
|           |       |    | $CE_{es}$<br>dS m <sup>-1</sup> | PST<br>%             | ADA<br>g kg <sup>-1</sup> | $\theta_{pm}$<br>cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> | $\theta_{cc}$<br>cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> | DTA<br>mm cm <sup>-1</sup> |
| 0 - 0,2   | Bloco | 3  | 0,01                            | 0,0004               | 1932,36                   | 0,0004  | 0,0008  | 0,03                       |
|           | Trat. | 4  | 0,026 <sup>ns</sup>             | 0,00008 <sup>*</sup> | 266,83 <sup>ns</sup>      | 0,0001 <sup>ns</sup>                              | 0,0007 <sup>ns</sup>                              | 0,08 <sup>ns</sup>         |
|           | Res.  | 12 | 0,13                            | 0,0001               | 447,56                    | 0,0001  | 0,0010  | 0,16                       |
| CV(%)     |       |    | 31,6                            | 9,44                 | 14,1                      | 9,44  | 12,54   | 23,29                      |
| Média     |       |    | 0,32                            | 0,13                 | 150,35                    | 0,13  | 0,25  | 1,74                       |
| 0,2 - 0,4 | Bloco | 3  | 0,005                           | 62,71                | 3748,8                    | 0,0001  | 155,3   | 0,12                       |
|           | Trat. | 4  | 0,015 <sup>ns</sup>             | 33,18 <sup>*</sup>   | 218,03 <sup>ns</sup>      | 0,0002 <sup>ns</sup>                              | 0,0011 <sup>ns</sup>                              | 0,35 <sup>ns</sup>         |
|           | Res.  | 12 | 0,012                           | 17,39                | 581,5                     | 0,0001  | 0,0008  | 0,240                      |
| CV(%)     |       |    | 32,40                           | 79,50                | 14,08                     | 7,61  | 10,39   | 26,58                      |
| Média     |       |    | 0,34                            | 5,24                 | 171,25                    | 0,14  | 0,26  | 1,86                       |
| 0,4 - 0,6 | Bloco | 3  | 0,03                            | 37,16                | 1908,91                   | 0,0003  | 0,0009  | 0,10                       |
|           | Trat. | 4  | 0,04 <sup>ns</sup>              | 21,99 <sup>*</sup>   | 637,47 <sup>ns</sup>      | 0,0004 <sup>ns</sup>                              | 0,0006 <sup>ns</sup>                              | 0,21 <sup>ns</sup>         |
|           | Res.  | 12 | 0,02                            | 12,71                | 1290,69                   | 0,0003  | 0,0017  | 0,35                       |
| CV(%)     |       |    | 31,15                           | 69,64                | 18,97                     | 9,77  | 14,06   | 30,59                      |
| Média     |       |    | 0,40                            | 5,12                 | 199,95                    | 0,17  | 0,29  | 1,94                       |
| 0,6 - 0,8 | Bloco | 3  | 0,02                            | -                    | 1987,99                   | 0,0001  | 0,0010  | 0,11                       |
|           | Trat. | 4  | 0,011 <sup>ns</sup>             | -                    | 8620,12 <sup>ns</sup>     | 0,0005 <sup>ns</sup>                              | 0,0003 <sup>ns</sup>                              | 0,31 <sup>ns</sup>         |
|           | Res.  | 12 | 0,02                            | -                    | 5963,22                   | 0,0002  | 0,0170  | 0,20                       |
| CV(%)     |       |    | 30,12                           | -                    | 37,45                     | 9,86  | 12,63   | 20,93                      |
| Média     |       |    | 0,48                            | -                    | 206,18                    | 0,16  | 0,30  | 2,15                       |

FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação. \* Significativo a 5%, <sup>ns</sup> não significativo, pelo teste F

**Figura 3.** Porcentagem de sódio trocável (PST) em três camadas do solo (0-0,2 m, A; 0,2-0,4 m, B e 0,4-0,6 m, C) influenciada por diferentes doses de água residuária tratada (ART) ao final de quatro ciclos de cultivo.



\*significativo ao nível de 5% pelo teste F.

Embora a PST tenha sido incrementada nos tratamentos de ART, não se observou diferença significativa para a ADA, e para a  $CE_{es}$  que não foram influenciadas pela ART (Tabela 3). Isso pode ser explicado pelos valores de PST ainda se manterem abaixo de 15% (AYERS; WESCOT, 1991; PIZARRO CABELLO, 1985) até mesmo com as maiores doses de ART.

Isso reforça a tese de manutenção do critério de fertirrigação com base no elemento referência para definir a dose de ART a fim de evitar problemas futuros na estruturação do solo advindos principalmente do sódio em relação aos

demaís íons, podendo reduzir de forma mais expressiva a VIB e  $VI_{1,5}$  (Figura 1).

As condições de manejo com fontes salinizantes podem incrementar sais e elementos dispersantes ao solo, sendo esses indiretamente quantificados pela condutividade elétrica do estrato saturado ( $CE_{es}$ ) e a porcentagem de sódio trocável (PST), sendo ambas utilizadas para classificação de solos em normais, salinos, sódicos e salino-sódicos (PIZARRO CABELLO, 1985).

A proporção entre a PST e a  $CE_{es}$  pode promover a dispersão de argilas (ADA), alterando a estrutura do solo (PIZARRO CABELLO, 1985). Por isso,



estas variáveis também foram quantificadas.

A não significância ( $p > 0,05$ ) da  $\theta_{cc}$ ,  $\theta_{pm}$  e DTA (Tabela 3) em nenhuma camada avaliada confirma a segurança em usar o critério de dose da ART pautada em um elemento referência. Ainda assim, embora as respostas não tenham sido contrastadas entre camadas, notam-se maiores valores de DTA nas camadas mais profundas, possivelmente justificados pelo manejo da irrigação que tende a lixiviar íons para essas camadas do solo.

Os resultados para  $CE_{es}$  foram satisfatórios já que valores de  $CE_{es}$  abaixo de  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$  não oferecem risco de redução na produtividade das principais culturas agrícolas (AYERS; WESCOT, 1991). Além disso, notou-se que as médias apresentadas na avaliação da  $CE_{es}$  foram muito baixas, não ultrapassando  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ .

Como não houve efeito da ART na dispersão de argilas (Tabela 3), os resultados de  $U_{cc}$ ,  $U_{pm}$  e DTA observados são plausíveis, visto que a dispersão de argilas diminui a quantidade de macroporos na composição do solo e, conseqüentemente, aumenta a quantidade de microporos, alterando a disponibilidade de água no solo, incrementando, por

conseqüência, as umidades na capacidade de campo e ponto de murcha (LOY et al., 2018; MARCHUK; MARCHUK, 2018).

## 6 CONCLUSÕES

O uso de água residuária sanitária tratada na fertirrigação não compromete o movimento e a retenção de água nas condições avaliadas neste estudo, haja vista as alterações promovidas não terem ultrapassado os limites tidos como seguro, segundo a literatura.

## 7 AGRADECIMENTOS

À Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) pela cessão da área experimental e análises da ART; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG; e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas.

## 8 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. v. 56. Rome: Food & Agriculture Org., 2006.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, Germany, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVES, I. S. **Competição de cultivares de algodoeiro fertirrigadas com água residuária sanitária tratada**. 2014. 28 p. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) – Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba-MG, 2014.
- ALVES NETO, A. J.; LANA, M. C.; RAMPIM, L.; COSTA, L. A. D. M.; COPPO, J. C. ALVES, A. G. Água residuária de suinocultura sobre a produtividade de soja e milho segunda safra: uso e viabilidade econômica. *Scientia Agraria Paranaensis*, Marechal Cândido

Rondon, v. 15, n. 3, p. 350-357, 2016.

ALVES, P. F. S.; SANTOS, S. R.; KONDO, M. K.; ARAÚJO, E. D.; OLIVEIRA, P. M. Fertilização do milho com água residuária sanitária tratada: crescimento e produção. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 5, p. 833-839, v. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas Esgotos**: Despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, DF: ANA, 2017.

AYERS, R. S.; WESCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 1. ed. Campina Grande: UFPB, 1991. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 29).

BEDBABIS, S.; ROUINA, B. B.; BOUKHRIS, M.; FERRARA, G. Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. **Journal of Environmental Management**, London, v. 133, np. 45-50, 2014.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa, MG: 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 357, de 18 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano número, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005. Disponível em: <  
[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfcd\\_a\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2018.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria-RS, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CARVALHO, N.; HENTZ, P.; SILVA, J. M.; BARCELLOS, A. L. Reutilização de águas residuárias Reuse of waste water. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 3164-3171, 2014.

CORRÊA, M. M., KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; RUIZ, H. A.; BASTOS, R. S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das Várzeas de Sousa (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 311-324, 2003.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, P. A. **Drenagem de Terras Agrícolas**. 3. ed. Brasília, DF: ABEAS, 1998.

HOMEM, B. G. C.; ALMEIDA NETO, O. B.; CONDE, M. S.; SILVA, M. D.; FERREIRA, I. M. Efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura sobre as propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Científica**, Jaboticabal, v. 42, n. 3, p. 299-309, 2014.

LIBUTTI, A.; GATTA, G.; GAGLIARDI, A.; VERGINE, P.; POLLICE, A.; BENEDEUCE, L.; DISCIGLIO, G.; TARANTINO, E. Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 196, p. 1-14, 2018.

LOY, S.; ASSI, A. T.; MOHTAR, R. H.; MORGAN, C.; JANTRANIA, A. The effect of municipal treated wastewater on the water holding properties of a clayey, calcareous soil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 643, p. 807-818, 2018.

MARCHUK, S.; MARCHUK, A. Effect of applied potassium concentration on clay dispersion, hydraulic conductivity, pore structure and mineralogy of two contrasting Australian soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 182, n. April, p. 35-44, 2018.

MATOS, A. T.; MATOS, M. P. **Disposição de Águas Residuárias no Solo**. 1. ed. Viçosa, MG: UFV, 2017. v. 1.

MATOS, A. T.; MARTINS, P. O.; LO MONACO, P. A. V. Alterações Químicas no Solo Após Fertirrigação do Capim Mombaça com Água Residuária de Curtume. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 128-137, maio 2014.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. Deliberação Normativa Conjunta COPAN/CERH n001, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário do Executivo de Minas Gerais**: Belo Horizonte, 20 maio 2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>> . Acesso em: 25 nov. 2018.

MHASKE, A. R.; NIKAM, P. J. Impact of treated domestic sewage irrigation on crop yield, plant uptake and soil properties in Central India. **International Journal of Technology & Engineering**, Bangkok, v. 7, n. 2, p. 79-92, 2017.

NASCIMENTO, J. D. S.; FIDELIS FILHO, J. Crescimento, produção e alterações químicas do solo em algodão irrigado com água de esgotos sanitários tratados. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 2, p. 36-45, 2015.

OLIVEIRA, F. S. **Fertirrigação do abacaxizeiro com água residuária sanitária tratada**. 2018. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2018.

PIZARRO CABELLO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. 2. ed. Madrid: Agrícola Española, 1985. 542p.

SANTOS, S. R.; SOARES, A. A.; KONDO, M. K.; ARAÚJO, E. D.; CECON, P. R. Crescimento e produção do algodoeiro fertirrigado com água residuária sanitária no semiárido de Minas Gerais. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 40-57, 2016.

SANTOS, S. R.; KONDO, M. K.; OLIVEIRA, P. M.; ANDRADE JÚNIOR, I. O.; MATOS, A. T. Short-term changes in soil properties due to sanitary wastewater irrigation used as a potassium source. **Australian Journal of Crop Science**, Brisbane, v. 9, n. 8, p. 713-720, 2015.

SANTOS, S. R.; RIBEIRO, D. P.; MATOS, A. T.; KONDO, M. K.; ARAÚJO, E. D. Changes in soil chemical properties promoted by fertigation with treated sanitary wastewater. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 37, n. 2, p. 343-352, 2017.

SCHACHT, K.; MARSCHNER, B. Treated wastewater irrigation effects on soil hydraulic conductivity and aggregate stability of loamy soils in Israel. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, Warsaw, v. 63, n. 1, p. 47-54, 2014.

SILVA, T. L. Qualidade da água residuária para reuso na agricultura irrigada. **Irriga Botucatu**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 101-111, 2018.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. C.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Brasília: Embrapa, 2017.

VARALLO, A. C. T.; CARVALHO, L.; SANTORO, B. L.; SOUZA, C. F. Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho-amarelo irrigado com água de reúso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 372-377, 2010.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil science society of America journal**, New York, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical geography**, London, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.

WILLMOTT, C. J.; MATSUURA, K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Climate research**, Oldendorf, v. 30, n. 1, p. 79-82, 2005.