

SILVÂNIO RODRIGUES DOS SANTOS

FERTIRRIGAÇÃO DO ALGODOEIRO COM ÁGUA RESIDUÁRIA
SANITÁRIA

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

S237f
2013 Santos, Silvânio Rodrigues dos, 1976-
Fertirrigação do algodoeiro com água residuária sanitária /
Silvânio Rodrigues dos Santos. – Viçosa, MG, 2013.
xii, 73f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Antonio Alves Soares.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Algodão. 2. Águas residuais. 3. Adubos e fertilizantes
líquidos. 4. Irrigação. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 633.51

SILVÂNIO RODRIGUES DOS SANTOS

FERTIRRIGAÇÃO DO ALGODOEIRO COM ÁGUA RESIDUÁRIA
SANITÁRIA

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 14 de junho de 2013.

Flávio Gonçalves Oliveira

Marcos Koiti Kondo

Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco

Paulo Roberto Cecon

Antônio Alves Soares
(Orientador)

Ao meu filho, Saulo, e a minha esposa, Gislayne,

DEDICO.

Aos meus pais, Joaquim Moreira (Biu) e Matildes (Tide),

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde e o dom da vida;

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), por meio do Departamento de Engenharia Agrícola e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (Área de Concentração em Recursos Hídricos e Ambientais), pela oportunidade de cursar o Doutorado;

À Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), por me conceder o afastamento para cursar o doutorado;

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), por meio do Programa de Capacitação de Recursos Humanos (PCRH), pela concessão da bolsa de estudo;

À Associação Mineira dos Produtores de Algodão (AMIPA) bem como ao Banco do Nordeste do Brasil (BNB) e à Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), pelo apoio financeiro na execução do experimento;

Ao Prof. Antônio Alves Soares, pela orientação, companheirismo, conhecimentos transmitidos e incentivo;

À Irriplus, pela cessão do *software* de gestão de irrigação;

Ao meu filho, Saulo, pelo carinho, energia positiva e amor incondicional;

À minha esposa, Gislayne, pelo carinho, amor, apoio e constante incentivo;

Aos meus pais, Biu e Tidinha, aos meus irmãos, Sílvia, Cida, Sirlânea, César, e cunhados, Mércio, Dionei, Silvio, Sílvia (Pi) e Franciane, pela amizade e carinho;

Aos meus concunhados, Josy e Kido, e aos meus sobrinhos, Gabriel e André Luiz, pela amizade, carinho e momentos agradáveis;

Aos Professores Antonio Teixeira de Matos e Marcos Koiti Kondo, pelas orientações, pelos ensinamentos e palavras de sabedoria;

Ao Prof. Paulo Roberto Cecon, pelo apoio nas análises estatísticas;

À Professora Paola Lo Monaco e ao Professor Flávio Gonçalves, pelas contribuições e amizade;

Aos professores e funcionários do DEA, pela convivência e troca de informações;

Aos estagiários Edcássio, Ildeu, Júlio César e Rodrigo, pelo apoio nas avaliações experimentais;

Aos amigos e colegas Gustavo Haddad, Flávia, Geraldo Ferreira, Maike, Fabiana, Joselma, Danilo, Benatti, Antover, Ednaldo, Júlio Baptistini, Marcelo Rossi e Wady, pelos bons momentos vividos e intercâmbio de conhecimentos;

À Dra. Polyanna Mara de Oliveira, Chefe do Centro de Pesquisa da EPAMIG/URNM, pelas contribuições nas análises de solo e foliares;

Aos amigos e colegas do Departamento de Ciências Agrárias da Unimontes, pelo apoio na saída para o Doutorado;

A todos os familiares e amigos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

SILVÂNIO RODRIGUES DOS SANTOS, filho de Joaquim Moreira dos Santos e Matildes Rodrigues dos Santos, nasceu em Pitarana – Montalvânia/MG, em 06 de junho de 1976.

Entre os anos 1991 e 1993 estudou no então Centro Educacional Tancredo Neves (CETAN), localizado em São João Del Rei/MG, onde cursou o ensino médio e técnico em agropecuária.

Em agosto de 1995 iniciou o Curso de Agronomia na Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras/MG, graduando-se em julho de 2000.

Em agosto de 2000 ingressou no Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, da UFLA, concluindo em outubro de 2002.

Em novembro de 2002, ingressou na Del Monte Fresh Produce Brasil Ltda, empresa multinacional de fruticultura, como supervisor de pesquisa, onde permaneceu até julho de 2003. Em outubro de 2003 iniciou a carreira docente na Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), em Janaúba/MG, onde atua até o momento.

Em fevereiro de 2009 ingressou no Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, concluindo em junho de 2013.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	3
ARTIGOS CIENTÍFICOS	7
ARTIGO 1: CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO ALGODOEIRO FERTIRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA SANITÁRIA NO SEMIÁRIDO	8
1.1. INTRODUÇÃO	10
1.2. MATERIAL E MÉTODOS	11
1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
1.4. CONCLUSÕES	25
1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
ARTIGO 2: INDICADORES DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DA FIBRA DO ALGODOEIRO FERTIRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA SANITÁRIA.....	30
2.1. INTRODUÇÃO	32
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	34
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
2.4. CONCLUSÕES	45
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ARTIGO 3: ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS NO SOLO PROMOVIDAS PELA FERTIRRIGAÇÃO DO ALGODOEIRO COM ÁGUA RESIDUÁRIA SANITÁRIA	50
3.1. INTRODUÇÃO	52
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	53
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.4. CONCLUSÕES	67
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

CONCLUSÕES GERAIS	71
ANEXO.....	72

RESUMO

SANTOS, Silvânio Rodrigues dos, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2013. **Fertirrigação do algodoeiro com água residuária sanitária.** Orientador: Antônio Alves Soares. Coorientadores: Antonio Teixeira de Matos e Marcos Koiti Kondo.

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de água residuária sanitária, proveniente da ETE – Janaúba/MG, tanto na sua forma bruta (ARB) quanto na tratada em nível terciário (ART), depois de submetida à filtração, sobre a nutrição, o crescimento e os componentes de produção do algodoeiro NuOpal BG RR, visando suprir a demanda potássica em cobertura da cultura, como também sobre alguns atributos físicos e químicos do solo. O experimento foi desenvolvido em Latossolo Vermelho eutrófico, disposto no delineamento em blocos casualizados, constituído por cinco tratamentos, em quatro repetições. Os tratamentos foram: a) T0: Água limpa e adubação mineral; b) T1: 100% de ART no fornecimento do potássio em cobertura; c) T2: 150% de ART no fornecimento do potássio em cobertura; d) T3: 100% de ARB no fornecimento do potássio em cobertura e; e) T4: 150% de ARB no fornecimento do potássio em cobertura. A base de cálculo para as doses correspondeu a 40 kg ha⁻¹ de K₂O em cobertura. A cultura foi irrigada por gotejamento, utilizando-se um emissor para cada 3,6 plantas. Na análise de crescimento foi feito o acompanhamento das variáveis altura de planta, número de folhas verdadeiras por planta, diâmetro de planta e diâmetro caulinar, em quatro avaliações. Por isso, foi usado o esquema de parcelas subdivididas no tempo na análise estatística destas variáveis. No florescimento (76 dias após a emergência – DAE) foram quantificados os teores foliares de N, P, K, Ca, Fe e Na e medido o índice SPAD no dia da última fertirrigação (100 DAE). Na colheita (150 DAE) foram quantificados: o número de capulhos por planta, a massa de um capulho, o rendimento de fibra, a produtividade de algodão em caroço, a produtividade de algodão em fibra e analisada a qualidade da fibra produzida (comprimento, uniformidade de comprimento, resistência, finura, grau de reflectância, grau de amarelecimento e área coberta por impurezas). Aos 30 DAE (antes da diferenciação dos tratamentos), nas camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, e depois da colheita (163 DAE), nas profundidades de 0-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,60 m e 0,60-0,80 m, foram avaliadas no solo as variáveis pH em água, conteúdo de matéria orgânica (MO), P, K, Na, Ca, Fe, saturação

por bases (V), porcentagem de sódio trocável (PST), argila dispersa em água (ADA), condutividade elétrica do extrato saturado (CE), areia, silte e argila. As análises estatísticas destas variáveis no solo foram feitas dentro de cada camada, em cada uma das avaliações. Ao longo do ciclo foi aplicada a lâmina líquida total de 491,7 mm, dos quais 118,5 mm, 177,4 mm, 110,6 mm e 166,3 mm foram com água residuária nos tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente. Houve efeito de tratamentos para diâmetro de planta, altura de planta, índice SPAD, produtividade de algodão em caroço, produtividade de fibra, rendimento de fibra, massa de capulho, atributos do solo depois da colheita: pH em água (0-0,20 m), K (0-0,20 m), Fe (0,20-0,40 m), Na (0-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,60 m), Ca (0-0,20 m), V (0-0,20 m), CE (0,40-0,60 m), ADA (0-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,60 m) e PST (0-0,20 m; 0,40-0,60 m). Para as demais variáveis (diâmetro caulinar, número de folhas por planta, variáveis foliares aos 76 DAE, número de capulhos por planta, variáveis relacionadas à qualidade da fibra, variáveis do solo aos 30 DAE, MO, P, areia, silte e argila aos 163 DAE) não foi observado efeito de tratamentos. Houve interação entre tratamentos e avaliações para a altura de plantas. Foi constatado efeito de épocas de avaliações de crescimento de plantas, sendo o diâmetro caulinar e o diâmetro de plantas explicados por modelo de regressão não linear, assim como as alturas dentro de cada tratamento, depois do desdobramento da interação. O modelo de regressão quadrática foi o que melhor explicou as variações do número de folhas por planta, ao longo do tempo de avaliação. Maiores médias de diâmetro de copa e altura de plantas foram obtidas no T3, comparado ao T0. A partir da terceira avaliação de altura de plantas, maiores valores foram observados nos tratamentos submetidos à ARB, sendo os tratamentos em que houve aplicação de ART equiparados ao T0 na terceira e superiores na última. Maiores médias do índice SPAD foram observadas nos tratamentos submetidos à ARB, denotando o maior acúmulo de N pelas plantas submetidas a esses tratamentos, ao final das fertirrigações. Maiores produtividades de algodão em caroço, algodão em fibra e massa média de capulho foram obtidas nos tratamentos em que houve aplicação de ARB em relação ao T0. Os tratamentos em que houve aplicação de ART se equipararam ao T0 para estas variáveis. Em relação aos atributos do solo foi verificada redução no pH, K, Ca, V e ADA nos primeiros 0,2 m do perfil analisado, nos tratamentos em que houve aplicação de ARB, sobretudo no T4, depois da colheita do algodoeiro. Houve elevação no conteúdo de Na no T2, no perfil até 0,60 m de profundidade e na PST nas camadas de 0-0,20 m e 0,40-0,60 m. Verificou-se elevação nos conteúdos de Fe nos tratamentos em que houve aplicação de ARB na camada de 0,20-0,40 m. Dessa forma,

pode-se concluir que os tratamentos em que houve aplicação de ARB, por aportarem mais nutrientes, proporcionaram plantas mais vigorosas e mais produtivas que aquelas submetidas à cobertura potássica mineral, sem alterações negativas nos atributos do solo e na qualidade da fibra. Para a obtenção de maiores produtividades do algodoeiro NuOPal BG RR, recomenda-se a substituição da adubação potássica mineral em cobertura pela dose equivalente a 150% do recomendado para a cultura, fornecida via ARB, sendo atendida também a necessidade da cultura em nitrogênio. Pode-se substituir a adubação potássica mineral em cobertura pela dose equivalente a 100% do fornecimento do potássio requerido via ART, sem comprometimento da qualidade do solo e da fibra, devendo ser complementada a exigência em nitrogênio via fonte mineral.

ABSTRACT

SANTOS, Silvânio Rodrigues dos, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2013. **Fertigation of cotton with sanitary wastewater.** Adviser: Antônio Alves Soares. Co-Advisers: Antonio Teixeira de Matos and Marcos Koiti Kondo.

The objective of this study was to evaluate the effect of application of different doses of sanitary wastewater, from the Wastewater Treatment Plant - Janaúba / MG, both in its raw form (ARB) as treated at tertiary level (ART), after being subjected to filtering, on the nutrition, growth and yield components of NuOpal BG RR cotton plants, seeking to fill the demand for potassium top-dressing, as well as on some physical and chemical soil properties. The experiment was carried out in an Oxisol, being arranged in a randomized block design, consisting of five treatments and four replications. The treatments were: a) T0: Clean water and mineral fertilization b) T1: 100% of ART providing potassium top-dressing c) T2: 150% of ART providing potassium top-dressing d) T3: 100% of ARB providing potassium top-dressing and e) T4: 150% of ARB providing potassium top-dressing. The basis for calculating the doses corresponded to 40 kg ha⁻¹ of K₂O in top-dressing. The crop was drip-irrigated, using an emitter for each 3.6 plants. In the growth analysis was done the monitoring of plant height, number of true leaves per plant, canopy diameter and stem diameter, in four evaluations. Therefore, it was used a split-plot in time for the statistical analysis of these variables. At flowering (76 days after emergence - DAE) leaf contents of N, P, K, Ca, Fe and Na were quantified and the SPAD index was measured on the last fertigation (100 DAE). At harvest (150 DAE) measurements were made of the number of bolls per plant, mass of one boll, lint, cotton and cotton fiber productivities and it was analyzed the quality of the obtained fiber (length, length uniformity, resistance, fineness, degree of reflectance, degree of yellowing and area covered by impurities). Thirty DAE (before the treatment differentiation), the layers 0-0.20 m and 0.20-0.40 m, and after harvest (163 DAE), at depths of 0-0.20 m; 0.20-0.40 m; 0.40-0.60 m and 0.60-0.80 m, were evaluated for the variables pH, organic matter (OM), P, K, Na, Ca, Fe, base saturation (V), exchangeable sodium percentage (ESP), water-dispersible clay (WDC), electrical conductivity of the saturated extract (EC), sand, silt and clay. The statistical analysis of these variables were done within each layer, in each one of the evaluations. During the cycle it was applied a net liquid irrigation of 491.7 mm, of which 118,5 mm, 177,4 mm, 110,6 mm and 166,3 mm were with wastewater in the treatments T1, T2, T3 e T4,

respectively. There was effect of treatments for plant diameter, plant height, SPAD index, cotton productivity, fiber productivity, boll mass, soil attributes after harvest: pH in water (0-0.20 m), K (0-0.20 m), Fe (0.20-0.40 m), Na (0-0.20 m; 0.20-0.40 m; 0.40-0.60 m), Ca (0-0.20 m), V (0-0.20 m), CE (0.40-0.60 m), WDC (0-0.20 m; 0.20-0.40 m; 0.40-0.60 m) and ESP (0-0.20 m; 0.40-0.60 m). For the other variables (stem diameter, number of leaves per plant, leaf variables at 76 DAE, number of bolls per plant, variables related to fiber quality, soil variables at 30 DAE, OM, P, sand, silt and clay at 163 DAE) it was not observed effect of treatments. There was an interaction between treatments and plant height. It was observed effect of plant growth evaluation periods, being the stem diameter and the canopy diameter explained by a non-linear regression model, as well as heights in each treatment, after developing the interaction. The quadratic regression model was the one that explained best the variations in number of leaves per plant, during the evaluation period. Higher averages for plant diameter and plant height were obtained in treatment T3, compared to T0. From the third evaluation of plant height, higher values were observed in the treatments subjected to ARB, being the treatments in which were applied the ART equivalent to T0 at the third and superior at the last. Higher SPAD index averages were observed in the treatments subjected to ARB, showing the higher accumulation of N by the plants subjected to these treatments, at the end of the fertigation. Higher cotton productivity, fiber and average boll mass were obtained in the treatments that received ARB compared to T0. The treatments that received ART were equivalent to T0 for these variables. Regarding the soil attributes, it was verified a reduction in pH, K, Ca, V and WDC in the first 0.20 m of the analyzed soil profile, in the treatments that received ARB, especially in T4, after cotton harvest. There was an elevation in the contents of Na in T2, in the profile until 0.60 m and in ESP in the 0-0.20 m e 0.40-0.60 m layers. It was verified an increase in the contents of Fe in the treatments that received ARB in the 0.20-0.40 m. With that, it can be concluded that the treatments that received ARB, for contributing with more nutrients, led to more vigorous and more productive plants than those subjected to mineral potassium top-dressing, without negative alterations of soil attributes and keeping fiber quality. To obtain higher productivities of the NuoPal BG RR cotton plants, it is recommended replacing the mineral potassium top-dressing by the doses equivalent to 150% of the recommended for the crop, provided via ARB, being also met the crop needs for nitrogen. The potassium top-dressing can be replaced by the dose equivalent to 100% of the required potassium supply via ART, without compromising the quality of soil and fiber, and nitrogen requirement should be complemented via mineral source.

INTRODUÇÃO GERAL

O aumento populacional, bem como a sua concentração formando centros urbanos, proporcionou a geração de água residuária com elevada concentração de contaminantes ambientais e focos de disseminação de doenças. Visando minimizar esses problemas, incentivos à implantação de sistemas de coleta e de tratamento de esgotos proporcionaram o aumento da rede coletora e da adesão de municípios com mais de 100.000 habitantes, em todo o Brasil. Isso contribuiu para que em 2008, segundo Brasil (2010), 68,8% do volume diário coletado fosse submetido a algum sistema de tratamento, ao passo que em 2000 esse volume correspondia a 35%. Com a promulgação da Lei n. 11.445 de 05 de janeiro de 2007, que estabelece as diretrizes e políticas nacionais para o saneamento básico, é crescente a inserção de novos municípios, incluindo aqueles com menos de 50.000 habitantes (BRASIL, 2012; COPASA, 2012).

Em Minas Gerais, a exemplo dos demais estados brasileiros, há predomínio do lançamento de esgoto em cursos d'água, tanto em cidades que apresentam sistema de tratamento quanto naquelas somente com sistema de coleta, fazendo o lançamento, sem tratamento algum (BRASIL, 2010). Sabe-se que, mesmo em sistema de tratamento operando de forma a atender a legislação vigente, em termos de remoção de carga orgânica (BRASIL, 2005; MINAS GERAIS, 2008), há residual de poluentes que podem afetar a qualidade do corpo receptor.

A utilização agrícola direta de águas residuárias (AR), além de minimizar os problemas decorrentes da disposição em cursos hídricos, pode reduzir o uso de adubos minerais e de água limpa na irrigação das culturas em regiões semiáridas (FIGUEIREDO *et al.*, 2005; KIZILOGLU *et al.*, 2008). Esta redução no uso de adubos minerais pode ser possível pela elevada concentração de nutrientes na AR (AZEVEDO *et al.*, 2005; VARALLO *et al.*, 2012;), desde que a água seja manejada de forma criteriosa (MATOS, 2006).

Dentre as plantas cultivadas, o algodoeiro torna-se opção interessante para a prática do reúso agrícola da água, devido à inexistência de riscos sanitários para a população, já que o principal produto não é utilizado na alimentação humana (ALVES *et al.*, 2005; FERREIRA *et al.*, 2005). Além disso, as cultivares modernas são exigentes em nutrientes para proporcionar produtividades potenciais (AQUINO *et al.*, 2012; MARCANTE; CAMACHO, 2012; ROSOLEM; WITACKER, 2007). Outro aspecto a

ser considerado é a tolerância da cultura à salinidade, podendo a condutividade elétrica do solo atingir até 7,7 dS m⁻¹, segundo Ayers e Wescott (1991), sem redução na produtividade potencial.

No Brasil, dentre as cultivares modernas, tem-se aumentado o número de materiais de algodoeiro geneticamente modificado, desde a liberação do primeiro, em 2005, alcançando doze eventos até o final de 2012. Esses materiais possuem como principal vantagem a redução na aplicação de agrotóxicos, visto que as proteínas codificadas pelos genes de *Bacillus thuringiensis* subsp. *Kurstaki*, introduzidos no genoma do algodoeiro, proporcionam efeito tóxico em alguns insetos da ordem Lepidoptera (*Spodoptera frugiperda*, *Alabama argillacea*, *Heliothis virescens*, *Helicoverpa zea* e *Pectinophora gossypiella*), comumente associados à ocorrência de danos econômicos na cultura (BELTRÃO; AZEVEDO, 2008; MCTI, 2012). No entanto, inexistem estudos sobre o comportamento desses materiais no campo, quando fertirrigados com AR.

Minas Gerais destaca-se como o quinto maior produtor de algodão do Brasil, com produção estimada em 30.000.000 kg de algodão em fibra na safra 2012/2013 (CONAB, 2013). O governo estadual, por meio do Programa Mineiro de Incentivo à Cotonicultura (PROALMINAS), tem estimulado a implantação de algodoeiras, proporcionando isenção de impostos sobre produtos acabados por elas que, por sua vez, pagam bônus de 7,85% sobre o índice de preços CEPEA/Esalq aos produtores de algodão no Estado (CARVALHO *et al.*, 2012).

A maioria dos cotonicultores de Minas Gerais são agricultores familiares, correspondendo a 63,6% do total (CARVALHO *et al.*, 2012), localizados principalmente na região norte do estado, onde também é crescente a instalação de rede de coleta e tratamento de esgotos. Assim, alternativas que possibilitem a redução no custo de produção da lavoura aliadas à minimização de impactos ambientais, devido ao lançamento de esgoto em cursos d'água ou em sumidouros pontuais, contaminando águas superficiais e/ou subterrâneas, podem promover ganhos aos produtores e à sociedade.

Uma alternativa à construção de estações para tratamento da AR de comunidades rurais é a disposição criteriosa de água residuária bruta (ARB) filtrada, aplicada via sistemas de irrigação localizada. A filtragem reduz o risco de entupimento dos emissores e viabiliza o uso da ARB, cuja concentração de nutrientes e material orgânico é maior em relação à água residuária tratada (ART).

Além do aspecto nutricional a ser proporcionado pela AR, sua utilização agrícola também é estrategicamente interessante para a economia de água de boa qualidade nos perímetros irrigados, destacando-se situações como a do Perímetro Irrigado do Gorutuba, com 4.734 ha de ocupação nos municípios de Janaúba e Nova Porteirinha-MG (CODEVASF, s/d), que recentemente tem sofrido redução no abastecimento de água para a irrigação devido ao nível crítico do reservatório Bico da Pedra.

Nesse sentido, objetivou-se avaliar o crescimento, componentes de produção e a qualidade da fibra do algodoeiro transgênico NuOPAL BG RR, cultivado no semiárido mineiro, submetido à fertirrigação com água residuária sanitária bruta e tratada com a finalidade de substituir a adubação potássica mineral em cobertura. Além disso, objetivou-se, também, avaliar as alterações promovidas sobre alguns atributos físicos e químicos do solo com a aplicação da AR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, W. W. A.; DANTAS NETO, J.; ANDRADE, A. R. S.; MADEIROS, L. B.; AZEVEDO, C. A. V.; SANTOS, J. W.; BELTRÃO, N. E. M. Componentes da produção do algodão de fibra marrom irrigado com água residuária tratada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, suplemento, p. 207-211, 2005.

AQUINO, L. A. de; AQUINO, R. F. B. A.; SILVA, T. C.; SANTOS, D. F. dos; BERGER, P. G. Aplicação do fósforo e da irrigação na absorção e exportação de nutrientes pelo algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 355-361, 2012a.

AYERS, R. S.; WESCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de GHEIY, H. R., MEDEIROS, J. F., DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande, UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

AZEVEDO, M. R. Q. A.; KONIG, A.; BELTRÃO, N. E. M.; CEBALLOS, B. S. O.; AZEVEDO, C. A. V.; TAVARES, T. L. Características tecnológicas da fibra do algodão herbáceo sob efeito da adubação nitrogenada e irrigação com água residuária tratada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 202-206, 2005.

BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de (ed.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 2 v., 1309 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento: Diagnósticos dos Serviços de Água e Esgotos - 2010**. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2012. 448p.

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**. Brasília, DF, 18/03/2005, n. 053, p. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2013.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística – IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008**. Rio de Janeiro, RJ. 219p. 2010. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/default.shtm>>. Acesso em: 08 jan. 2013.

CARVALHO, C. de *et al.* **Anuário brasileiro do algodão 2012**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2012. 136 p.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Perímetros irrigados. Disponível em <<http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados/elenco-de-projetos/gorutuba>>. Acesso em: 08 jan. 2013.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPASA). **Dados gerais de atendimento**. Disponível em: < http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=23&tpl=section_transp>. Acesso em: 06 mar. 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira 2012/2013: grãos, quinto levantamento**. Brasília: Conab, 2013. 27 p.

FERREIRA, O. E.; BELTRÃO, N. E. de M.; KONIG, A. Efeitos da aplicação nitrogenada de água residuária e nitrogênio sobre o crescimento e produção do algodão herbáceo. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 9, n. 1/3, p. 893-902, 2005.

FIGUEIREDO, I. C. de M.; LIMA, V. L. A.; BELTRÃO, N. E. de M.; ARAÚJO, M. G. F. de; SANTOS, T. S. S.; AZEVEDO, C. A. V. Uso da água residuária tratada e do biossólido no algodão colorido: produção e seus componentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, suplemento, p. 288-291, 2005.

KIZILOGLU, F. M.; TURAN, M.; SAHIN, U.; KUSLU, Y.; DURSUN, A. Effect of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. **Agricultural Water Management**, 95, p. 716-724, 2008.

MARCANTE, N. C.; CAMACHO, M. A. Economic study of nitrogen dosage for cotton crops. **Interciencia**, v. 37, n. 5, p. 400-403, 2012.

MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas do Estado de Minas Gerais, DEA/UFV, 2006. 140p. (Série Caderno Didático, 38).

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). COMISSÃO TÉCNICA NACIONAL DE BIOSSEGURANÇA (CTNBio). **Parecer técnico nº 3365/2012**. 2012. Disponível em: < <http://www.ctnbio.gov.br/index.php/content/view/14783.html>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

MINAS GERAIS. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS – COPAM/CERH-MG. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01, 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 “Minas Gerais”**. Belo Horizonte, MG, 20/05/2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/>>. Acesso em: 08 jan. 2013.

ROSOLEM, C. A.; WITACKER, J. P. T. Adubação foliar com nitrato de potássio em algodoeiro. **Bragantia**, v. 66, n. 1, p. 147-155, 2007.

VARALLO, A. C. T.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. de L. Mudanças nas características físico-químicas de um latossolo vermelho-amarelo distrófico após a

irrigação com água de reúso na cultura da alface-crespa (*Lactuca sativa*, L.).
Engenharia Agrícola, v. 32, n. 2, p. 271-279, 2012.

ARTIGOS CIENTÍFICOS

ARTIGO 1: CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO ALGODOEIRO FERTIRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA SANITÁRIA NO SEMIÁRIDO

RESUMO: Grande parte dos municípios brasileiros não apresenta sistema de tratamento adequado de águas residuárias sanitárias (AR), cujos lançamentos são feitos principalmente em corpos receptores que, conseqüentemente, prejudicam a qualidade da água. Além disso, pela pouca expressão, a maioria das comunidades rurais não é atendida com sistemas de tratamento de AR, o que gera efluentes com potencial uso agrícola. Assim, propôs-se avaliar o crescimento e a produtividade do algodoeiro NuOPAL BG RR, explorado no semiárido mineiro, fertirrigado com diferentes doses de água residuária sanitária bruta (ARB) e efluente de tratamento terciário (ART), visando o fornecimento de potássio em cobertura. O delineamento foi em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas cinco tratamentos (T0: Água limpa e adubação mineral; T1: 100% de ART no fornecimento do potássio em cobertura; T2: 150% de ART no fornecimento do potássio em cobertura; T3: 100% de ARB no fornecimento do potássio em cobertura; T4: 150% de ARB no fornecimento do potássio em cobertura) e nas subparcelas quatro épocas de avaliação, no delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. Os tratamentos com AR podem suprir a necessidade de potássio da cultura sem afetar o diâmetro caulinar, o número de folhas por planta, o diâmetro de copa, a altura e a produtividade. A ARB quando aplicada a 150% da dose recomendada de potássio proporcionou maior produtividade no algodoeiro.

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto bruto filtrado. Esgoto tratado filtrado. *Gossypium hirsutum*. Reúso.

ARTICLE 1: GROWTH AND PRODUCTION OF COTTON FERTIGATED WITH SANITARY WASTEWATER IN THE SEMIARID

ABSTRACT: Much of the Brazilian municipalities has no adequate treatment system of sanitary wastewater (WW), and the discharges are made primarily in receiving water bodies that end up with affected water quality. Moreover, by the little expression, most rural communities is not served with WW treatment systems, generating effluents with potential agricultural use. Thus, it was proposed to evaluate the growth and productivity of NuOpal BG RR cotton plants, explored in the semiarid of Minas Gerais State, fertigated with different doses of raw sanitary wastewater (ARB) and effluent of tertiary

treatment (ART), to supply potassium top-dressing. The experimental design was a split plot, being the plots five treatments (T0: Clean water and mineral fertilization, T1: 100% of ART providing potassium top-dressing, T2: 150% of ART providing potassium top-dressing; T3 : 100% ARB providing potassium top-dressing, T4: 150% of ARB providing potassium top-dressing) and in the subplots four evaluation periods, in a randomized block design, (RBD) with four replications. Treatments with WW can meet the potassium needs of the crop without affecting stem diameter, number of leaves per plant, canopy diameter, height and productivity. The ARB as applied to 150% of the recommended potassium dose provided better productivity in cotton.

KEYWORDS: Filtered Raw Sewage. Filtered Treated sewage. *Gossypium hirsutum*. Reuse.

1.1. INTRODUÇÃO

O semiárido é caracterizado pela escassez e má distribuição dos recursos hídricos superficiais no espaço e no tempo, cuja qualidade é reduzida pelo lançamento de esgoto em cursos d'água. O descarte inadequado do esgoto é prática comum em municípios brasileiros que possuem sistema de coleta com ou sem tratamento. Segundo Brasil (2010), 79,8% dos pontos de lançamento dos municípios com coleta e tratamento do esgoto estão no leito de rios. Esse percentual é superior nos municípios sem sistema de tratamento.

O lançamento de águas residuárias em rios possibilita a manutenção de vazão regularizada e oferta de água nas áreas agrícolas, em regiões sujeitas a longas estiagens (MOLLE; VENOT; HASSAN, 2008). Porém, mesmo atendendo à legislação vigente quanto a eficiência e carga orgânica (BRASIL, 2005; MINAS GERAIS, 2008), os sistemas de tratamento não removem totalmente as substâncias potencialmente poluidoras, constituídas principalmente por nutrientes de plantas (CARR; POTTER; NORTCLIFF, 2011; FERREIRA; BELTRÃO; KONIG, 2005; KIZILOGLU *et al.*, 2008).

O manejo criterioso da água residuária na fertirrigação permite fornecer nutrientes e suprir parte das necessidades hídricas das plantas, o que reduz os problemas ambientais, devido ao menor lançamento de poluentes em cursos hídricos, e a demanda por outras fontes de água de melhor qualidade.

Diversos trabalhos são relatados na literatura visando ao crescimento e à produtividade do algodoeiro fertirrigado com água residuária sanitária (AR), principalmente na forma tratada (ART) (ALIKHASI; KOUCHAKZADEH; BANIANI, 2012; ALVES *et al.*, 2009; BEZERRA; FIDELES FILHO, 2009; BEZERRA *et al.*, 2005; FIDELES FILHO *et al.*, 2005; SOUSA NETO *et al.*, 2012).

Uma alternativa para redução de gastos com a construção de estações para tratamento da AR de comunidades rurais é a disposição criteriosa de água residuária bruta (ARB) filtrada aplicada via sistema de irrigação localizada. A filtragem reduz o risco de entupimento dos emissores e viabiliza o uso da ARB, com maior concentração de nutrientes e material orgânico, em relação à ART.

O uso de ART secundária e terciária promove maior altura de plantas e até 86,5% de aumento na produtividade de algodão em caroço para diferentes cultivares, em relação à irrigação com água limpa (AL) (FERREIRA; BELTRÃO; KONIG, 2005; FIGUEIREDO *et al.*, 2005; ALIKHASI; KOUCHAKZADEH; BANIANI, 2012).

Entretanto, a irrigação voltada ao atendimento da demanda hídrica da cultura apresenta risco elevado de contaminação de águas subterrâneas bem como do solo e toxicidade de plantas, pelas substâncias presentes na ART. Para diminuir esse risco, deve-se utilizar a AR até a quantidade suficiente para atender à demanda de nutrientes pela cultura, complementando-se a irrigação com AL.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o crescimento e produtividade do algodoeiro NuOPAL BG RR, explorado no semiárido mineiro, visando a substituir a adubação potássica mineral em cobertura pela aplicação de ART e ARB.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado na área experimental da Copasa/Unimontes, localizada ao lado da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Janaúba - MG, latitude 15° 46' 12,6" S, longitude 43° 19' 13,5" W e altitude de 530 m, em área anteriormente sob pastagem degradada. O clima é classificado como Aw, tropical com inverno seco, de acordo com a classificação de Köppen. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006), cujos atributos iniciais estão apresentados na Tabela 1.1.

Após a retirada das plantas daninhas, foram aplicados, a lanço, 1.500 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT = 104,45% (CFSEMG, 1999), 41 dias antes da semeadura. No dia seguinte, foi feita sua incorporação com duas subsolagens, cruzadas, com hastes espaçadas 0,50 m entre si, até a profundidade de 0,65 m, aproveitando a umidade do solo proporcionada por 48 mm de chuva, nos quatro dias anteriores. Aos 38 dias antes da semeadura foram realizadas duas gradagens, cruzadas. Esta sequência possibilitou o destorroamento e o nivelamento do solo, incorporando o calcário e controlando as plantas daninhas remanescentes.

A semeadura foi realizada em 30/04/2012, após o solo atingir teor de água equivalente ao da capacidade de campo, com a aplicação de 69,7 mm de água limpa, dividida em três lâminas de irrigação.

Utilizou-se a cultivar de algodão NuOPAL BG RR (Monsanto[®]), ciclo precoce a médio, fibra média, resistente a lepidópteros e ao herbicida glifosato. A semeadura foi manual, com 20 sementes por metro linear (70% de germinação, 40% de vigor), com

0,90 m entre linhas, na profundidade de 0,03 m. As sementes deslindadas foram tratadas com inseticida e fungicida.

TABELA 1.1. Atributos físicos, químicos e físico-químicos iniciais do solo.

Prof. (cm)	pH _{H2O}	¹ MO dag kg ⁻¹	² P mg dm ⁻³	² K	² Na	³ Ca cmol _c dm ⁻³	³ Mg	³ Al
0-20	6,2	1,3	2,3	260	0,1	2,8	0,9	0
20-40	5,5	0,7	2,0	140	0,1	2,2	0,7	0
Prof. (cm)	⁴ H+Al cmol _c dm ⁻³	⁵ SB	⁶ CTC _e	⁷ T	⁸ V %	⁹ m	¹⁰ B mg dm ⁻³	³ Cu
0-20	2,2	4,5	4,5	6,7	67	0	0,3	1,0
20-40	2,2	3,4	3,4	5,6	61	0	0,4	0,9
Prof. (cm)	³ Fe mg dm ⁻³	³ Mn	³ Zn	¹¹ P _{rem} mg L ⁻¹	¹² CE dS m ⁻¹	Areia dag kg ⁻¹	Silte	Argila
0-20	23,7	10,8	0,8	35,2	0,3	52,0	25,7	22,3
20-40	24,8	3,9	0,4	30,6	0,2	49,6	20,1	30,3
Prof. (cm)	¹³ P _{Macro} m ³ m ⁻³	¹⁴ P _{Micro}	¹⁵ P _t	¹⁶ ρ _s kg dm ⁻³	¹⁷ CC m ³ m ⁻³	¹⁸ PMP		
0-20	0,1315	0,2924	0,4239	1,61	0,2746	0,1917		
20-40	0,1115	0,3035	0,4150	1,57	0,2549	0,1672		

¹Matéria orgânica, determinada por colorimetria; ²Extrator: Mehlich-1; ³Extrator: KCl 1 mol/L; ⁴pH SMP; ⁵SB: Soma de bases; ⁶CTC_e: CTC efetiva; ⁷T: CTC a pH 7; ⁸V: Saturação por bases; ⁹m: Saturação por alumínio; ¹⁰Extrator: BaCl₂; ¹¹Fósforo remanescente, determinado em solução equilíbrio de P; ¹²CE: Condutividade elétrica do extrato saturado do solo, na proporção de 1 (solo):0,5 (água). ¹³P_{macro}: Macroporosidade; ¹⁴P_{micro}: Microporosidade; ¹⁵P_t: Porosidade total medida; ¹⁶ρ_s: Massa específica do solo; ¹⁷Capacidade de campo determinada a campo; ¹⁸Ponto de murcha permanente.

No sulco de plantio, foram aplicados 100,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (333,3 kg ha⁻¹ do formulado NPK 4-30-10), sendo a adubação nitrogenada (20,0 kg ha⁻¹ de N) complementada com ureia na dose de 14,8 kg ha⁻¹ e a potássica (40,0 kg ha⁻¹ de K₂O) com o cloreto de potássio, na dose de 11,6 kg ha⁻¹, conforme CFSEMG (1999).

O ciclo cultural se iniciou em 04/05/2012, quando mais de 80% das plântulas emergiram, sendo desbastadas para 9 plantas m⁻², equivalente a 100.000 plantas ha⁻¹, aos 21 dias após a emergência (DAE).

Para a aplicação da AR e complementação das irrigações na cultura, foi usado um sistema de irrigação por gotejamento, semiautomatizado, com mecanismo de filtragem constituído por dois filtros de areia com taxa de filtragem lenta igual a 6,1 m³ m⁻² h⁻¹ e um filtro de disco 120 mesh, hidrômetro de 2”, válvula de retenção de 2”, injetor hidráulico de fertilizantes, manômetros de glicerina e pontos de tomada de pressão. Apesar de ter sido utilizado um único sistema de irrigação, as águas foram aplicadas de forma individualizada, tendo o cuidado de se fazer a limpeza da tubulação em cada troca de água com descarga em dois sumidouros, dos quais o primeiro estava

localizado próximo do sistema de filtros para as retrolavagens, e o segundo, no final da área experimental.

Foi utilizada uma linha lateral com 5,9 m de comprimento para cada fileira de plantas, no espaçamento de 0,90 m e composta por tubogotejadores modelo Naantif[®] com diâmetro interno igual a 0,014 m, não autocompensante, cilíndrico, com pré-filtro, de vazão média (q_e) igual a 5,87 L h⁻¹ à pressão de 204 kPa, com emissores espaçados 0,40 m entre si.

O manejo da irrigação, com turno de rega de dois dias, foi feito com o auxílio do aplicativo Irriplus[®], com o qual se determinou a demanda hídrica do algodoeiro (ETc), utilizando-se o modelo de Penman-Monteith-FAO (ALLEN *et al.*, 2006) para o cálculo da ETo. Estimou-se a eficiência de aplicação mediante avaliações de uniformidade de irrigação a campo (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006), em 96,0%. Mediante os resultados de ETc, Ea e q_e , foram calculados lâminas líquidas, lâminas brutas acumuladas no turno de rega e tempos de funcionamento do sistema de irrigação. Decorridas as aplicações, as lâminas líquidas de AR foram recalculadas a partir dos tempos de funcionamento.

Aos 9 e 57 DAE, foram abertas trincheiras no final de três linhas laterais aleatórias, doze horas depois da última irrigação, medindo-se com fita milimétrica a largura da faixa molhada pelos emissores, a cada 0,05 m de profundidade, e calculando-se a porcentagem de área molhada média pela divisão entre a largura máxima e o espaçamento entre linhas laterais (MERRIAN; KELLER, 1978), alcançado um valor de 50%. As demais variáveis do manejo estão apresentadas nas Tabelas 1.1 e 1.2. Aos 133 DAE, realizou-se a interrupção da irrigação, uma vez que aproximadamente 55% das maçãs encontravam-se abertas e 30% fisiologicamente maduras (BELTRÃO; AZEVEDO, 2008).

A água utilizada para irrigação foi obtida da rede de abastecimento da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA - MG) em Janaúba – MG, aduzida do reservatório Bico da Pedra.

A ART foi captada por condução em gradiente, via 200 m de tubulação de PVC, desde a segunda lagoa de maturação da ETE - Janaúba (último estágio do tratamento, antes do lançamento no rio Gorutuba) até o conjunto motobomba localizado na área experimental. A ARB, igualmente conduzida, foi captada após o medidor de vazão, no sistema de tratamento preliminar.

O sistema de tratamento de AR da ETE Janaúba é composto por tratamento preliminar (grade e desarenador), calha *parshall* com medidor de vazão ultrassônico,

reator anaeróbico de fluxo ascendente (UASB), lagoa facultativa e duas lagoas de maturação, possuindo capacidade de tratamento com vazão contínua de até 48,4 L s⁻¹.

O controle de plantas daninhas foi feito aos 13 e 49 DAE, com Gliz 480 SL (glifosato, 1,5 L ha⁻¹ p. c.). Para o ataque de *Aphis gossypii*, *Bemisia tabaci*, *Franklinella shultzei*, *Heliothis virescens*, *Tetranychus urticae* e *Anthonomus grandis*, realizaram-se o monitoramento e o controle químico, conforme recomendações de Beltrão e Azevedo (2008) e Peixoto *et al.* (2009). Além do controle químico, foram feitas catações semanais e incinerações de botões florais e maçãs caídos visando maior eficiência no manejo do *Anthonomus grandis*.

TABELA 1.2. Variáveis usadas no manejo da irrigação do algodoeiro.

*Fases do ciclo	Cultura				
	Duração (dias)	¹ Kc -	² Z (m)	³ PAS (%)	⁴ f -
1- Crescimento inicial (emergência até 10% da cobertura vegetal)	20	0,50	0,03	0,1	0,6
2- Desenvolvimento vegetativo (até a 1ª flor)	32	0,75	0,20	10	0,6
3- Floração (até o 1º capulho)	53	1,05	0,40	55	0,6
4- Maturação (até a colheita)	44	0,70	0,40	65	0,6

*Adaptado de Beltrão e Azevedo (2008); ¹Coefficiente cultural no final de cada fase, adaptado de Beltrão e Azevedo (2008); ²Profundidade efetiva do sistema radicular; ³Porcentagem de área sombreada observada no início de cada fase, calculada segundo Mantovani, Bernardo e Palaretti (2009), para cultivo em fileira; ⁴Fator de disponibilidade hídrica (SOUZA *et al.*, 2002).

A mancha de ramulária (*Ramularia areola*) foi controlada preventivamente, conforme recomendações de Beltrão e Azevedo (2008).

O experimento foi instalado no esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas cinco tratamentos e nas subparcelas quatro épocas de avaliação, no delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. Os tratamentos de fertirrigação da cultura foram os descritos a seguir: a) T0: Água limpa e cobertura com adubação mineral; b) T1: 100% do potássio em cobertura via ART; c) T2: 150% do potássio em cobertura via ART; d) T3: 100% do potássio em cobertura via ARB; e) T4: 150% do potássio em cobertura via ARB. Utilizou-se água de abastecimento para a complementação da exigência hídrica da cultura.

O potássio foi definido como elemento referência, após análise da água residuária, considerando-se os nutrientes exigidos pela cultura e as quantidades limites dos elementos constituintes da AR, aplicada no solo anualmente, conforme Matos (2006).

A parcela experimental foi composta por seis fileiras de plantas, com 0,90 m entre linhas, 5,90 m de comprimento e 0,11 m entre plantas, totalizando 31,86 m². A amostragem foi realizada nas quatro linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 1 m das extremidades da linha, totalizando 14,04 m² de área útil (Figura 1.A).

Os tratamentos foram diferenciados aos 35 DAE, aplicando-se a AR e as adubações em cobertura na testemunha. Até os 100 DAE, foram feitas 22 aplicações de AR (em média, 2,4 aplicações por semana).

Na testemunha, foram feitas seis adubações minerais de cobertura, totalizando 50,0 kg ha⁻¹ de N (111,1 kg ha⁻¹ de ureia) e 40,0 kg ha⁻¹ de K₂O (69,0 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio), conforme CFSEMG (1999). Estas mesmas doses de N e K₂O foram usadas para calcular as quantidades de AR aplicadas nos tratamentos, à exceção do T1 que recebeu dose adicional de 15,5 kg ha⁻¹ de N (34,44 kg ha⁻¹ de ureia), aos 76 DAE, pois com a concentração do N na ART, a dose final do nutriente ficaria abaixo das fornecidas nos demais tratamentos.

Mensalmente foram coletadas amostras simples da AR no final de uma das linhas laterais, durante o horário das aplicações, sendo colocadas em recipientes apropriados. Os recipientes foram acondicionados em caixas de isopor com gelo e enviados imediatamente ao laboratório para as análises de N total, N amoniacal, N nítrico, N orgânico, P total, K total, Na, Ca, Fe, óleos e graxas (O&G), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pH, condutividade elétrica (CE_{AR}), coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (EC), seguindo metodologias descritas em APHA *et al.* (2005). De posse dos resultados das análises da AR do mês anterior, foram calculadas as lâminas de fertirrigação com a AR nos respectivos tratamentos.

Aos 29 DAE, 16 plantas de cada parcela foram marcadas para acompanhamento do crescimento (Figura 1.A). Avaliações de crescimento foram feitas também aos 58; 93 e 125 DAE, obtendo-se: altura da planta (colo até o ápice), diâmetro transversal da copa (perpendicular à linha de plantio), número total de folhas verdadeiras por planta (limbos foliares com nervuras principais mais longas que 0,025 m), conforme Beltrão e Azevedo (2008) e o diâmetro caulinar a 0,02 m do solo.

Aos 100 DAE determinou-se o índice SPAD, com clorofilômetro SPAD-502 (*Soil Plant Analysis Development-502*), na quinta folha da haste principal (contada a partir do ápice) em duas plantas de cada parcela.

Aos 150 DAE foram colhidas todas as plantas de cada parcela útil (Figura 1.B), medindo-se a massa de algodão em caroço, e calculando sua produtividade, com correção do teor de água para 8,5% (ABNT NBR 12331:1991).

Os valores médios das variáveis de 16 plantas de cada parcela foram submetidos à análise de variância e, quando significativos a até 5%, pelo teste F, foram aplicados testes para comparar os tratamentos entre si (Tukey) e com a testemunha (Dunnett). Também, foram aplicados modelos de regressão para as variáveis em função do tempo das avaliações, sendo a escolha com base no coeficiente de determinação (R^2) e no comportamento do fenômeno, utilizando o aplicativo SAEG 9.1. Os coeficientes das regressões foram submetidos ao teste t, a 5% de significância.

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Até a emergência do algodoeiro NuOPAL BG RR, foram aplicados 93,0 mm de lâmina líquida de irrigação, incluindo 69,7 mm para elevação do teor de água do solo à condição de capacidade de campo, na camada de 0-0,40 m, antes da semeadura.

Ao longo do ciclo da cultura, contado a partir da emergência das plântulas, foram aplicadas lâminas totais de 491,7 mm (Tabela 1.3), incluindo precipitações ocorridas entre os 10 e 16 DAE, visando atender a sua exigência hídrica. Desse total, 24,1 e 36,1% foi com ART e 22,5 e 33,8% com ARB nos tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente.

As concentrações médias de alguns constituintes das águas residuárias foram: a) ARB: 92,3 mg L⁻¹ de nitrogênio total; 13,4 mg L⁻¹ de fósforo; 30,3 mg L⁻¹ de potássio; 47,3 mg L⁻¹ de sódio; 3,2 mg L⁻¹ de cálcio; 73,0 mg L⁻¹ de óleos e graxas; 3,0 mg L⁻¹ de ferro; 642,7 mg L⁻¹ de DQO; pH igual a 7,2 e CE igual a 1,4 dS m⁻¹; b) ART: 32,7 mg L⁻¹ de nitrogênio total; 9,0 mg L⁻¹ de fósforo; 29,5 mg L⁻¹ de potássio; 60,9 mg L⁻¹ de sódio; 5,1 mg L⁻¹ de cálcio; 10,8 mg L⁻¹ de óleos e graxas; 1,1 mg L⁻¹ de ferro; 187,3 mg L⁻¹ de DQO; pH igual a 7,4 e CE igual a 1,2 dS m⁻¹. Nota-se que a ARB apresentou maior concentração de material orgânico e nitrogênio total e menor concentração de sódio. Provavelmente o maior conteúdo de sódio na ART tenha decorrido do desassoreamento da lagoa facultativa, acontecido entre os meses de julho a setembro, pois posteriormente a ETE também recebia AR oriunda de frigorífico bovino, havendo necessidade de retirar o lodo, com apenas sete anos de funcionamento. Além disso, a

evaporação ocorrida na série de lagoas também pode ter contribuído para essa maior concentração de sódio.

Além de diminuir o volume a ser encaminhado à ETE para tratamento, a utilização agrícola direta de ARB é estrategicamente interessante para a economia de água de boa qualidade nos perímetros irrigados, destacando-se situações como a do Perímetro Irrigado do Gortuba, com 4.734 ha de ocupação nos municípios de Janaúba e Nova Porteirinha-MG (CODEVASF, s/d), com recente redução no abastecimento de água para a irrigação devido ao nível crítico do reservatório Bico da Pedra. A ARB oriunda da ETE de Janaúba é suficiente para suprir 248 ha de algodoeiro no referido perímetro, atendendo toda a demanda potássica em cobertura, ao se considerar um período de 65 dias de aplicação durante o ciclo da cultura. Potencialmente, no ano é possível atender 1.392 ha.

TABELA 1.3. Lâminas líquidas de águas residuárias (AR), precipitação efetiva (Chuva), lâminas líquidas complementares de irrigação (AL) e lâminas totais aplicadas nas parcelas experimentais, no ciclo do algodoeiro.

Trat.	AR	Chuva	AL	Total
	----- mm -----			
T0	0,0	9,4	482,3	491,7
T1	118,5	9,4	363,8	491,7
T2	177,4	9,4	304,9	491,7
T3	110,6	9,4	371,7	491,7
T4	166,3	9,4	316,1	491,7

T0: água limpa e adubação mineral; T1: 100% da cobertura potássica via ART; T2: 150% da cobertura potássica via ART; T3: 100% da cobertura potássica via ARB; T4: 150% da cobertura potássica via ARB.

Com o objetivo de atender à demanda de potássio nos tratamentos submetidos a AR, foram aplicadas lâminas variando entre 110,6 (T3) e 177,4 mm, no T2 (Tabela 1.3). A maior lâmina de ART foi necessária, devido à sua menor concentração de potássio. Associado a estas lâminas, houve maior aporte de nitrogênio nos tratamentos submetidos à ARB bem como de fósforo, na forma de P_2O_5 ; de óleos e graxas; de ferro e de DQO (material orgânico), conforme pode ser verificado na Tabela 1.4. Comportamento contrário foi observado para o aporte de potássio, na forma de K_2O ; o cálcio e o sódio, sendo os tratamentos submetidos à ART superiores aos da ARB. O maior aporte de sódio ocorreu no tratamento correspondente a 150% do fornecimento de potássio via ART (T2), em razão do conteúdo médio de sódio ser 29% maior na ART em relação à ARB. Além disso, também houve a maior demanda de ART para atender à carga de potássio nesse tratamento.

As doses e fontes de AR não alteraram o diâmetro caulinar (DC) e o número de folhas verdadeiras (NF), mas o diâmetro caulinar, número de folhas, diâmetro de copa e altura de plantas variaram com o tempo de avaliação (Tabela 1.5). A fertirrigação alterou o diâmetro de copa, a altura de plantas e a produtividade, havendo interação entre os tratamentos e avaliações para a altura de plantas.

TABELA 1.4. Doses totais (kg ha^{-1}) dos constituintes químicos nitrogênio total (N), fósforo (P_2O_5), potássio (K_2O), sódio (Na), cálcio (Ca), óleos e graxas (O&G), ferro (Fe) e matéria orgânica (DQO), fornecidos via adubação mineral (AM) e aporte ao solo via água residuária (AR) nos tratamentos.

Trat.	N*			P ₂ O ₅			K ₂ O			Na		
	AM	AR	Tot	AM	AR	Tot	AM	AR	Tot	AM	AR	Tot.
T0	70,0	0,0	70,0	100,0	0,0	100,0	80,0	0,0	80,0	0,0	0,0	0,0
T1	35,5	37,5	73,0	100,0	23,8	123,8	40,0	40,2	80,2	0,0	69,0	69,0
T2	20,0	44,3	64,3	100,0	35,6	135,6	40,0	60,0	100,0	0,0	103,1	103,1
T3	20,0	70,1	90,1	100,0	36,5	136,5	40,0	38,0	78,0	0,0	52,7	52,7
T4	20,0	93,5	113,5	100,0	55,0	155,0	40,0	57,1	97,1	0,0	79,3	79,3
Trat.	Ca			O&G			Fe			DQO		
	AM	AR	Tot	AM	AR	Tot	AM	AR	Tot	AM	AR	Tot
T0	410,5	0,0	410,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T1	410,5	4,6	415,1	0,0	16,7	16,7	0,0	1,3	1,3	0,0	212,8	212,8
T2	410,5	6,8	417,4	0,0	25,1	25,1	0,0	2,0	2,0	0,0	318,1	318,1
T3	410,5	4,1	414,6	0,0	73,3	73,3	0,0	3,3	3,3	0,0	689,4	689,4
T4	410,5	6,2	416,7	0,0	110,1	110,1	0,0	4,9	4,9	0,0	1036,7	1036,7

*Corresponde ao nitrogênio disponibilizado para a cultura, conforme Matos (2006), adaptado; T0: Água limpa e cobertura com adubação mineral; T1: 100% do potássio em cobertura via ART; T2: 150% do potássio em cobertura via ART; T3: 100% do potássio em cobertura via ARB; T4: 150% do potássio em cobertura via ARB.

A taxa de crescimento do diâmetro de caule (DC) (Figura 1.1a) sofreu maior redução a partir dos 58 DAE, com média de $0,28 \text{ mm d}^{-1}$ (1 mm a cada 3,57 dias), entre 29 e 34 DAE. Essa média reduz para $0,09 \text{ mm d}^{-1}$ (1 mm a cada 11,1 dias) entre 54 e 59 DAE, atingindo $0,04 \text{ mm d}^{-1}$ (1 mm a cada 25 dias) entre 84 e 89 DAE. O caule do algodoeiro atingiu diâmetro de 10,34 mm aos 125 DAE.

Em relação ao NF, a média é $0,83 \text{ folha d}^{-1}$ (1 folha a cada 1,2 dias) entre 29 e 34 DAE, reduzindo para $0,47 \text{ folha d}^{-1}$ (1 folha a cada 2,13 dias) entre 54 e 59 DAE e atingindo $0,03 \text{ folha d}^{-1}$ (1 folha a cada 33,3 dias) entre 84 e 89 DAE. O máximo de folhas verdadeiras do algodoeiro ($29,64 \text{ folhas planta}^{-1}$) ocorreu aos 88,8 DAE (Figura 1.1b) e as primeiras flores no algodoeiro do presente trabalho apareceram aos 52 DAE (Tabela 1.2). Esse resultado corrobora o reportado por Beltrão e Azevedo (2008) em que afirmam que a taxa de crescimento do algodoeiro herbáceo é maior até os 60 a 70 DAE, sendo reduzida posteriormente em decorrência do surgimento das estruturas

reprodutivas, para onde grande parte dos fotoassimilados passa a ser canalizada devido à alta competitividade com as estruturas vegetativas.

As curvas de crescimento são semelhantes às relatadas por Souza Neto *et al.* (2012), a despeito de eles utilizarem critérios de aplicação diferentes do presente trabalho por não considerarem a concentração do nutriente no efluente, o que pode comprometer a sustentabilidade do cultivo, promovendo alterações no solo a médio e longo prazo (KIZILOGLU *et al.*, 2008).

TABELA 1.5. Resumo da análise de variância e médias de diâmetro caulinar, mm (DC), número de folhas verdadeiras (NF), diâmetro de planta, cm (Copa), altura de planta, cm (AP), índice SPAD aos 100 DAE (SPAD) e produtividade de algodão em caroço, kg ha⁻¹ (Produt.) medidas ao longo e no final do ciclo do algodoeiro submetido a diferentes fontes de adubação potássica em cobertura.

FV	GL	Quadrado Médio			
		DC	NF	Copa	AP
Bloc.	3	2,679	112,420	2,785	291,84
Trat.	4	1,728 ^{ns}	31,127 ^{ns}	52,375*	291,24**
Res. (a)	12	2,001	20,200	18,943	70,47
Av.	3	220,267**	2468,531**	5681,829**	16408,38**
Trat. x Av.	12	0,803 ^{ns}	12,539 ^{ns}	6,358 ^{ns}	37,311*
Res. (b)	45	1,420	15,063	13,035	15,317
CV 1 (%)		18,34	23,62	12,02	15,01
CV 2 (%)		15,45	20,39	9,97	7,00

FV	GL	Quadrado Médio	
		SPAD	Produt.
Bloc.	3	28,8	581679,1
Trat.	4	46,47*	1063097,0*
Res.	12	10,11	235512,1
CV (%)		6,14	15,03

Trat.	Médias			
	DC	NF	Copa	AP
T0	7,19 Aa	17,73 Aa	33,59 Ab	50,00 Ab
T1	7,66 Aa	17,63 Aa	35,20 Aab	53,02 Aab
T2	8,04 Aa	18,86 Aa	36,81 Aab	57,56 Bab
T3	7,93 Aa	20,41 Aa	38,17 Ba	60,19 Ba
T4	7,76 Aa	20,52 Aa	37,21 Bab	58,85 Bab
Média	7,71	19,03	36,20	55,93

Trat.	SPAD	Produt.
	T0	50,70 A ab
T1	48,00 A b	3098,51 Aab
T2	49,65 Aab	3022,64 Aab
T3	55,03 Bab	3633,24 Bab
T4	55,78 B a	3843,08 B a
Média	51,83	3229,2

*Significativo a 5%, **significativo a 1% e ^{ns} Não significativo, pelo teste F; T0: água limpa e adubação mineral; T1: 100% da cobertura potássica via ART; T2: 150% da cobertura potássica via ART; T3: 100% da cobertura potássica via ARB; T4: 150% da cobertura potássica via ARB; Médias seguidas pela mesma letra maiúscula da testemunha (T0) na coluna, não diferem dela, pelo teste de Dunnett e médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

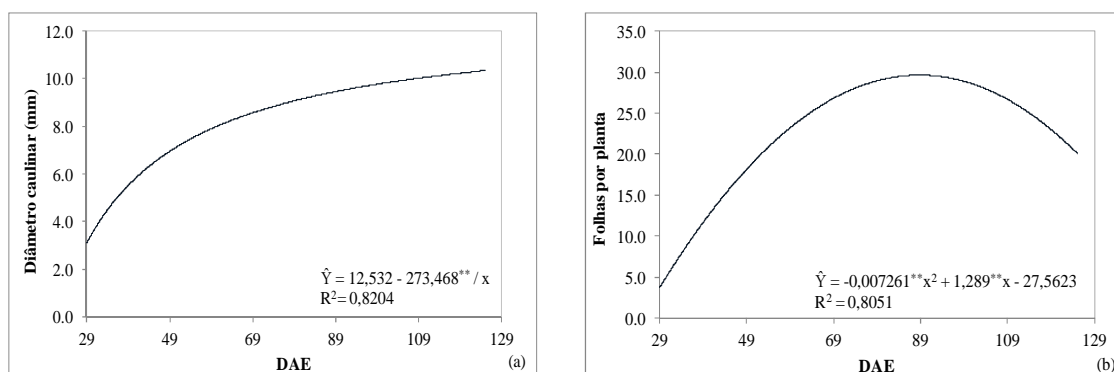


FIGURA 1.1. Diâmetro caulinar (a) e número de folhas verdadeiras (b) de plantas do algodoeiro submetido a fontes de adubação potássica em cobertura, via fertirrigação, ao longo do seu ciclo vegetativo. DAE: Dias após a emergência; ** significativo ao nível de 1%, pelo teste t.

As plantas cujo fornecimento de nitrogênio foi via ARB apresentaram maior vigor e capacidade fotossintética, uma vez que a taxa de crescimento de folhas é diretamente influenciada pelo suprimento de nitrogênio, sendo um dos fatores determinantes do acúmulo de fitomassa e área foliar, conforme Ferreira, Beltrão e König (2005). Comportamento semelhante foi observado por Bezerra e Fideles Filho (2009), quando aplicaram ART com conteúdo de nitrogênio amoniacal superior ao do presente trabalho.

Aos 100 DAE (última aplicação de AR), em função da clorose apresentada pelas plantas dos tratamentos T0, T1 e T2, determinou-se o índice SPAD em todas as parcelas experimentais (Tabela 1.5), de acordo com metodologia de Neves *et al.* (2005). O T3 e o T4 apresentaram valores superiores à testemunha mineral, e o T4 foi maior que o T1, evidenciando a superioridade no aporte de nutrientes, sobretudo o N, na ARB (Tabela 1.4). O índice SPAD possui relação direta com a clorofila e indireta com o conteúdo de nitrogênio (N) nas folhas das plantas, pois o N é integrante e participa da síntese da molécula de clorofila (NEVES *et al.*, 2005; PORTO *et al.*, 2011).

Os teores de N nas folhas do algodoeiro aos 100 DAE são estimados em 2,16; 1,96; 2,09; 2,48 e 2,54 dag kg⁻¹ para os tratamentos T0, T1, T2, T3 e T4, respectivamente, consoante equação utilizada por Neves *et al.* (2005). De acordo com CFSEMG (1999), estes teores de N estão abaixo do valor de referência (3,2 dag kg⁻¹), o que indica o início da senescência da cultura.

O uso de ARB permitiu maior capacidade fotossintética pela melhor nutrição do algodoeiro, visto que o T4 apresentou teor de N superior ao T1, mesmo com este tratamento recebendo dose adicional de N mineral aos 76 DAE. O maior conteúdo de N

nas plantas fertirrigadas com ARB está associado ao teor médio mensal deste nutriente, sendo 1,76 vezes superior ao encontrado na ART.

O aporte de N ao solo, estimado a partir das ARs, no T3 foi 87% superior comparado ao T1 e no T4 foi 111% maior que no T2 (Tabela 1.4). O aporte de fósforo (P), na forma de P_2O_5 , foi de 55 kg ha^{-1} no T4, sendo vital na síntese de proteínas, fotossíntese e transformação de açúcares na planta, participando também dos processos de transferência de energia na planta e na absorção de nutrientes, inclusive o N, conforme Beltrão e Azevedo (2008).

O conteúdo mensal de potássio na ARB foi 9% maior que o da ART e, por conseguinte, a lâmina aplicada para atender ao exigido nos tratamentos foi mais baixa (Tabela 1.4). Por ter sido o elemento referência, seu aporte ficou muito próximo do esperado, isto é, próximo de 40 kg ha^{-1} no T3 (Tabela 1.4).

Apesar de não haver diferenças entre os tratamentos que receberam aplicação de ART e o T0 para a maioria das variáveis avaliadas, deve-se atentar para a presença do sódio (Na), pois além de não ser nutriente para plantas, pode promover alterações físicas no solo com médio e longo prazos, segundo Ferreira *et al.* (2011).

O conteúdo de Na^+ na ARB foi 19,5% menor que na ART. Por isso, o aporte desse elemento chegou a $103,1 \text{ kg ha}^{-1}$ no T2 (Tabela 1.4). Kiziloglu *et al.* (2008), ao contrário do observado no presente trabalho, perceberam maior conteúdo de sódio no solo em que houve aplicação de ARB devido à concentração do elemento ser 30% maior que na ART. Contudo, não observaram prejuízo nas culturas.

Os dois tratamentos submetidos à aplicação de água residuária bruta filtrada (ARB) proporcionaram maiores diâmetros de plantas, sendo o T3 com 38,17 cm, comparados à testemunha mineral (Tabela 1.5). O diâmetro de copa do T3 foi superior ao T0 e igual aos demais. Em cultivo irrigado, o diâmetro de copa pode auxiliar no manejo da irrigação localizada, por ser reflexo do sombreamento da cultura (porcentagem de área sombreada), como também para definir mudança de fase no início do ciclo.

O diâmetro da copa foi de 48,11 cm na última avaliação, com comportamento semelhante ao do diâmetro caulinar (Figura 1.2). Poucos ramos vegetativos foram produzidos na cultivar estudada, impedindo a cobertura total da área. De acordo com Beltrão e Azevedo (2008), nas cultivares precoces e médias predominam os ramos frutíferos, com crescimento determinado devido à diferenciação das gemas para a produção de flores. A porcentagem de área sombreada em cultivos em linha pode ser estimada dividindo-se o diâmetro de copa pelo espaçamento entre fileiras

(MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009). Com isso, o T3 pode ter proporcionado maior porcentagem de área sombreada e conseqüente maior evapotranspiração da cultura.

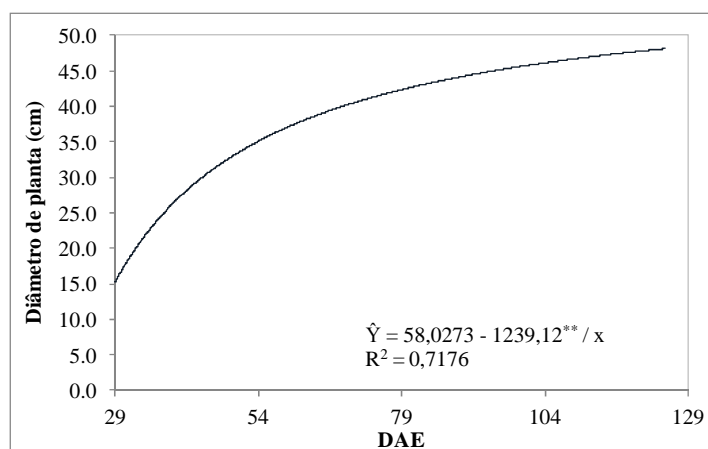


FIGURA 1.2. Diâmetro de copa de plantas do algodoeiro submetido a fontes de adubação potássica em cobertura, ao longo do seu ciclo vegetativo. DAE: Dias após a emergência; ** significativo ao nível de 1%, pelo teste t.

Para a altura de plantas, além dos tratamentos em que houve aplicação de ARB, o T2 também foi superior à testemunha mineral, similar ao diâmetro de copa nas médias temporais (Tabela 1.5). Na comparação entre tratamentos, o T3 (60,19 cm) foi superior ao T0 (50,0 cm) e igual aos demais. No desdobramento da interação Tratamento x Avaliação, nota-se que na primeira medição, aos 29 DAE, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 1.6). Isso aconteceu devido à diferenciação dos tratamentos ter ocorrido somente a partir dos 35 DAE.

Na segunda avaliação, 23 dias depois do início das aplicações das águas residuárias (T1 ao T4) e das coberturas potássicas e nitrogenadas minerais (T0), o T3, com 57,9 cm de altura de planta, foi superior ao T0. O mesmo aconteceu nas avaliações seguintes, com a inclusão do T4. Aos 93 DAE a altura média do T3 e do T4 foi 86,4 cm, superior 13,03 cm em relação ao T0 (Tabela 1.6).

Na última avaliação, comparando-se todos os tratamentos entre si, o T3 diferiu do T0 e o T4 diferiu do T1 e do T0. Esses resultados reforçam a tese de que o maior aporte de N e P disponibilizado às plantas, seja na forma mineral ou na forma orgânica, proporciona maior altura de plantas. Esse aporte quando adequado, caso do presente trabalho, contribui para o aumento da produtividade e da qualidade da fibra em formação, mas em excesso promove efeito adverso, uma vez que as plantas tendem a deslocar fotoassimilados para as estruturas vegetativas, promovendo aumento na altura das plantas, em detrimento das estruturas reprodutivas, consoante Alves *et al.* (2009) e

Beltrão e Azevedo (2008). Além disso, o uso excessivo de N, por influenciar a expansão e divisão celular, promove atraso na senescência de folhas, mudando a coloração dessas em função do aumento do conteúdo de clorofila (FERREIRA; BELTRÃO; KONIG, 2005).

Bezerra *et al.* (2005) verificaram que a combinação de lodo de esgoto na dose de 225 kg ha⁻¹ e ART atendendo à demanda hídrica do algodoeiro BRS 200 foi a que proporcionou maior altura de plantas, dentre os tratamentos testados. As plantas atingiram 78,6 cm mediante esta combinação aos 120 dias após a semeadura, enquanto aquelas submetidas somente a ART não passaram dos 56,4 cm, sugerindo que o material orgânico presente na ART é de mais difícil decomposição pelos microrganismos do solo, por ser recalcitrante.

TABELA 1.6. Médias de alturas de plantas, cm (AP) em quatro avaliações depois da emergência do algodoeiro (DAE) submetido a diferentes fontes de adubação potássica em cobertura.

Trat.	DAE			
	29	58	93	125
T0	15,43 Aa	44,68 Ab	73,40 Ab	66,55 Ac
T1	17,53 Aa	51,03 Aab	74,85 Ab	68,68 Abc
T2	17,25 Aa	55,15 Aab	82,45 Aab	75,40 Aabc
T3	18,43 Aa	57,90 Ba	86,58 Ba	77,85 Bab
T4	16,48 Aa	52,15 Aab	86,28 Ba	80,50 Ba
Média	17,02	52,18	80,71	73,80

T0: água limpa e adubação mineral; T1: 100% da cobertura potássica via ART; T2: 150% da cobertura potássica via ART; T3: 100% da cobertura potássica via ARB; T4: 150% da cobertura potássica via ARB; Médias seguidas pela mesma letra maiúscula da testemunha (T0) na coluna, não diferem dela, pelo teste de Dunnett e médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Ao contrário da ART, o material orgânico presente na ARB, por não ter sido submetido à degradação biológica no sistema de tratamento, pode ser mais bem aproveitado por microrganismos do solo, disponibilizando os nutrientes às plantas depois da mineralização.

As plantas do algodoeiro, submetidas aos tratamentos T0, T1, T2, T3 e T4, aos 125 DAE, alcançaram as alturas de 70,44; 73,39; 80,72; 84,10 e 83,99 cm, respectivamente (Figura 1.3), expressando o vigor proporcionado pelos nutrientes presentes nas ARs, sobretudo a ARB (T3 e T4).

A produtividade dos tratamentos submetidos à ARB foi superior ao da testemunha, similarmente aos resultados de diâmetro transversal de copa e altura de plantas, enquanto as médias dos tratamentos em que houve aplicação de ART foram semelhantes ao T0 (Tabela 1.5). Isso comprova a hipótese de que a maior

disponibilidade dos nutrientes pela ARB possibilita melhoria nos processos metabólicos durante o crescimento da planta, com acúmulo para posterior translocação às estruturas reprodutivas, culminando no aumento da produtividade. A produtividade alcançada pelo T4 (3.843,08 kg ha⁻¹) foi 50,8% superior ao T0 e 1,7% superior à média de Minas Gerais, quinto maior produtor de algodão do Brasil, no ano agrícola 2011/2012, segundo Carvalho *et al.* (2012).

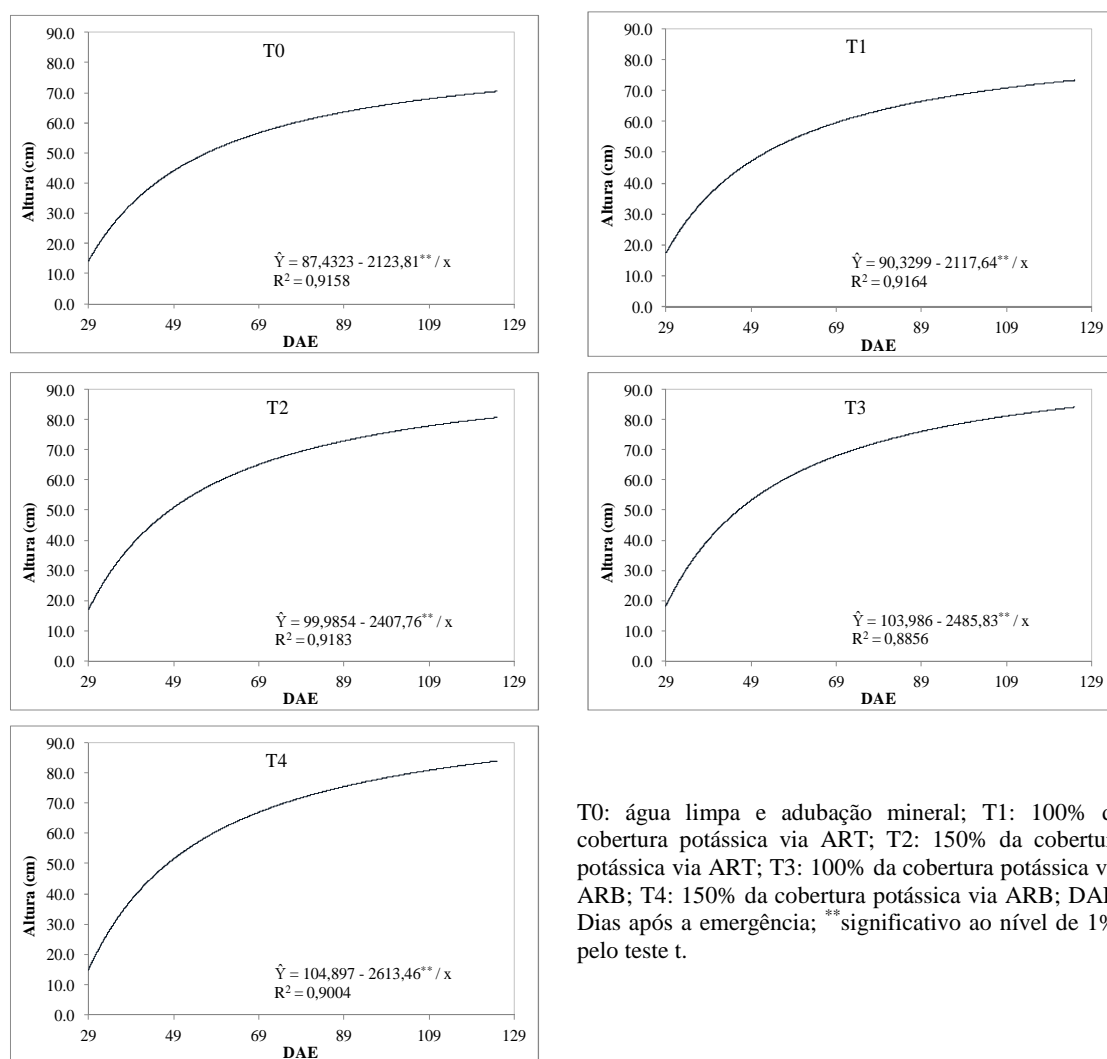


FIGURA 1.3. Altura de plantas do algodoeiro nos tratamentos de doses de potássio em cobertura, via fertirrigação.

O T2 (3.022,64 kg ha⁻¹) e o T1 (3.098,51 kg ha⁻¹) apresentaram produtividades iguais ao T0 (Tabela 1.5), indicando que, em termos agrônômicos, mesmo com menor concentração de nutrientes, a ART pode substituir a adubação potássica mineral em cobertura do algodoeiro, sendo uma alternativa ao destino final de efluentes de estação de tratamento de esgotos. Resultados semelhantes foram obtidos por Alikhasi, Kouchakzdeh e Baniani (2012), Ferreira, Beltrão e König (2005) e Figueiredo *et al.*

(2005), mostrando que plantas com maior vigor proporcionam reflexo positivo sobre os resultados de produtividade.

Ferreira, Beltrão e König (2005) verificaram que o algodoeiro BRS 187 8H alcançou produtividades médias de 3.584,1 kg ha⁻¹ e 1.920,7 kg ha⁻¹ de algodão em caroço nos tratamentos irrigados com ART e AL, respectivamente. Alikhasi, Kouchakzdeh e Baniani (2012) registraram a produtividade de 2.200 kg ha⁻¹, na cultivar MEHR submetida à irrigação com ART, sendo superior ao tratamento mineral (800 kg ha⁻¹ de algodão em caroço). Com isso, percebe-se que a produtividade do algodoeiro está relacionada tanto ao material genético quanto ao nível tecnológico adotado. No presente trabalho, foi usada recomendação de adubação visando produtividade igual a 2.500,00 kg ha⁻¹, de acordo com CFSEMG (1999).

A maior produtividade alcançada pelo T4 pode ter sido em função da maior dose de K, combinada com as doses de N e P presentes na ARB, produzindo plantas mais vigorosas, em termos de altura (Tabela 1.6) e retenção de folhas no final do ciclo. Embora não tenha havido diferenças pela análise de variância (Tabela 1.5) para todo o período, visualmente esta retenção de folhas fotossinteticamente ativas de fato ocorreu.

1.4. CONCLUSÕES

O algodoeiro NuOPAL BG RR não respondeu aos tratamentos aplicados para as variáveis diâmetro caulinar e número de folhas;

A água residuária bruta aplicada em cobertura, por aportar maiores quantidades de N e P ao solo, proporcionou maiores diâmetros de copa e altura de plantas, comparada à adubação mineral em cobertura;

As plantas fertirrigadas com água residuária tratada (T1) apresentaram diâmetro de copa, altura de plantas e produtividade de algodão em caroço semelhantes à adubação mineral em cobertura;

Devido ao risco de alterar a condição física do solo em aplicações sucessivas, não se recomenda utilizar mais de 100% da adubação potássica em cobertura via água residuária de tratamento terciário no algodoeiro NuOPAL BG RR em substituição à adubação mineral;

A água residuária bruta pode ser utilizada como fonte de potássio em cobertura, em até 150% da exigência do algodoeiro NuOPAL BG RR, em substituição à adubação mineral;

A água residuária bruta proporcionou a maior produtividade de algodão em caroço (3.843,08 kg ha⁻¹), alcançada pelo tratamento correspondente a 150% do potássio exigido em cobertura (T4), não havendo diferença entre a testemunha (T0) e os tratamentos via água residuária tratada (T1 e T2) para esta variável.

1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIKHASI, M.; KOUCHAKZADEH, M.; BANIANI, E. The effect of treated municipal wastewater irrigation in non-agricultural soil on cotton plant. **Journal of Agriculture Science and Technology**. v. 14, p. 1357-1364, 2012.

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**. Rome: FAO, 2006. 320 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).

ALVES, W. W. A.; AZEVEDO, C. A. V. de; DANTAS NETO, J.; LIMA, V. L. A. de; SOUSA, J. S. C. de. Altura da planta de algodoeiro de fibra marrom irrigada com água residuária doméstica tratada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 4, n. 1, p. 28-32, 2009.

APHA [AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION]; AWWA [AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION]; WEF [WATER ENVIRONMENT FEDERATION]. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005. 1268 p.

BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de (ed.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 2 v., 1309 p.

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

BEZERRA, B. G.; FIDELES FILHO, J. Análise de crescimento da cultura do algodoeiro irrigado com águas residuárias. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 3, p. 339-345, 2009.

BEZERRA, L. J. D.; LIMA, V. L. A.; ANDRADE, A. R. S. de; ALVES, W. W.; AZEVEDO, C. A. V.; GUERRA, H. O. C. Análise de crescimento do algodão colorido sob os efeitos da aplicação de água residuária e biossólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, suplemento, p.333-338, 2005.

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**. Brasília, DF, 18/03/2005, n. 053, p. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2013.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística – IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008**. Rio de Janeiro, RJ. 219p. 2010. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/default.shtm>>. Acesso em: 08 jan. 2013.

CARVALHO, C. de *et al.* **Anuário brasileiro do algodão 2012**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2012. 136 p.

CARR, G.; POTTER, R. B.; NORTCLIFF, S. Water reuse for irrigation in Jordan: perceptions of water quality among farmers. **Agricultural Water Management**, 98, p. 847-854, 2011.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Perímetros irrigados. Disponível em <<http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados/elenco-de-projetos/gorutuba>>. Acesso em: 08 jan. 2013.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (CFSEMG). RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa-SPI, 2 ed., 2006. 306 p.

FERREIRA, D. C.; SOUZA, J. A. R. de; BATISTA, R. O.; CAMPOS, C. M. M.; MATANGUE, M. T. A.; MOREIRA, D. A. Nutrient inputs in soil cultivated with coffee crop fertigated with domestic sewage. **Revista Ambiente & Água**, v. 6, n. 3, p. 77-85, 2011.

FERREIRA, O. E.; BELTRÃO, N. E. de M.; KONIG, A. Efeitos da aplicação nitrogenada de água residuária e nitrogênio sobre o crescimento e produção do algodão herbáceo. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 9, n. 1/3, p. 893-902, 2005.

FIDELES FILHO, J.; NÓBREGA, J. Q.; SOUSA, J. T. de; DANTAS, J. P. Comparação dos efeitos de água residuária e de poço no crescimento e desenvolvimento do algodão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, suplemento, p.328-332, 2005.

FIGUEIREDO, I. C. de M.; LIMA, V. L. A.; BELTRÃO, N. E. de M.; ARAÚJO, M. G. F. de; SANTOS, T. S. S.; AZEVEDO, C. A. V. Uso da água residuária tratada e do biossólido no algodão colorido: produção e seus componentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, suplemento, p. 288-291, 2005.

KIZILOGLU, F. M.; TURAN, M.; SAHIN, U.; KUSLU, Y.; DURSUN, A. Effect of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. **Agricultural Water Management**, 95, p. 716-724, 2008.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: Princípios e Métodos**. 3 ed., Viçosa – MG: UFV, 2009. 355 p.

MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas do Estado de Minas Gerais, DEA/UFV, 2006. 140p. (Série Caderno Didático, 38).

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

MINAS GERAIS. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS – COPAM/CERH-MG. Deliberação Normativa Conjunta COPAN/CERH n^o 01, 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 “Minas Gerais”**. Belo Horizonte, MG, 20/05/2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/>>. Acesso em: 08 jan. 2013.

MOLLE, F.; VENOT, J. P.; HASSAN, Y. Irrigation in the Jordan valley: are water pricing policies optimistic? **Agricultural Water Management**, 95, p. 427-438, 2008.

NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G.; MARTINS, F. A. D.; PÁDUA, T. R. P. de; PINHO, P. J. de. Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 517-521, 2005.

PEIXOTO, M. F.; BARBOSA, R. V.; OLIVEIRA, R. R. da C.; FERNANDES, P. M.; COSTA, R. B. da. Amostragem do ácaro rajado *Tetranychus urticae* Koch (*Acari: Tetranychidae*) e eficiência de controle de acaricidas no seu controle na cultura do algodoeiro irrigado. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 2, p. 24-32, 2009.

PORTO, M. L.; PUIATTI, M.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; ALVES, J. do C.; ARRUDA, J. A. de. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura da abobrinha. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 3, 2011.

SOUSA NETO, O. N.; ANDRADE FILHO, J.; DIAS, N. da S.; REBOUÇAS, J. R. L.; OLIVEIRA, F. R. A. de; DINIZ, A. A. Fertigação do algodoeiro utilizando efluente doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.2, p.200-208, 2012.

SOUZA, C. C. de; OLIVEIRA, F. A. de; SILVA, I. de F. da; AMORIM NETO, M. da S. Avaliação de métodos de determinação da água disponível em solo cultivado com algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 337-341, 2002.

ARTIGO 2: INDICADORES DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DA FIBRA DO ALGODOEIRO FERTIRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA SANITÁRIA

RESUMO: Problemas decorrentes das descargas de resíduos alimentares humanos em corpos hídricos são fatores preocupantes, por reduzir a qualidade da água, principalmente na região semiárida. Como alternativa viável, a utilização agrícola de águas residuárias pode minimizar problemas ambientais e fornecer nutrientes bem como parte da exigência hídrica de plantas cultivadas. Assim, objetivou-se verificar a influência da água residuária sanitária tanto na forma bruta (ARB) quanto tratada, em nível terciário (ART), em substituição à adubação potássica mineral em cobertura, sobre os indicadores de produção e qualidade tecnológica da fibra do algodoeiro NuOpal BG RR[®]. O experimento foi conduzido em Janaúba - MG, no delineamento em blocos casualizados constituído por 5 tratamentos (T0: Água limpa e adubação mineral; T1: 100% e T2: 150% de ART no fornecimento do K em cobertura; T3: 100% e T4: 150% de ARB no fornecimento do K em cobertura), com quatro repetições. Pode-se substituir a adubação potássica em cobertura aplicando 100% da dose potássica recomendada via ART, sem afetar a produtividade e a qualidade da fibra, sendo complementada a cobertura nitrogenada. Ao se empregar a ARB, além de não afetar a qualidade da fibra, há incremento de até 43,6% na produtividade do algodão, sendo dispensada a cobertura nitrogenada.

PALAVRAS-CHAVE: Algodão em pluma; produtividade; tecnologia da fibra; esgoto bruto; esgoto de tratamento terciário.

ARTICLE 2: INDICATORS OF FIBER PRODUCTION AND QUALITY OF COTTON FERTILIZED WITH SANITARY WASTEWATER

ABSTRACT: Problems arising from discharges of human food wastes in water bodies are worrying factors, by reducing water quality, especially in the semiarid region. As a viable alternative, the agricultural use of the wastewater can minimize environmental problems and provide nutrients as well as part of the water requirement of crops. Thus, this study aimed to verify the influence of sanitary wastewater both in raw form (ARB) and treated in tertiary level (ART), replacing the mineral potassium fertilizer topdressing, on indicators of fiber production and technological quality of the NUOPAL

BG RR[®] cotton. The experiment was conducted in Janaúba - MG, in a randomized block design consisting of five treatments (T0: Clean water and mineral fertilizer; T1: 100% and T2: 150% of ART in providing topdressing K, T3: 100% and T4: 150% of ARB in providing topdressing K), with four replications. Potassium fertilizer topdressing can be replaced applying 100% of the recommended potassium dose via ART, without affecting fiber productivity and quality, being complemented with the nitrogen topdressing. When employing the ARB, in addition to not affecting the quality of the fiber, there is an increase of up to 43.6% on cotton productivity, dismissing the nitrogen topdressing.

KEYWORDS: Cotton lint; productivity; fiber technology, raw sewage, wastewater tertiary treatment.

2.1. INTRODUÇÃO

Devido ao aumento populacional e desenvolvimento econômico, é crescente a demanda por alimentos e vestuários. Ao mesmo tempo, problemas decorrentes das descargas de resíduos alimentares humanos direta ou indiretamente em corpos hídricos torna-se fator preocupante, por contribuir para a redução da qualidade das águas superficiais ou subterrâneas. O lançamento de esgoto em cursos d'água é prática comum em todo o Brasil, tanto em cidades que apresentam sistema de tratamento quanto naquelas somente com sistema de coleta, fazendo o lançamento, sem tratamento algum. Em Minas Gerais, mais de 90% dos pontos de lançamento de água residuária sanitária (AR) coletada nos municípios têm os leitos dos rios como destino final (BRASIL, 2010).

A utilização agrícola de águas residuárias, além de minimizar esses problemas ambientais, pode reduzir o uso de adubos minerais e de água limpa na agricultura irrigada em regiões semiáridas (FERREIRA *et al.*, 2005; FIGUEIREDO *et al.*, 2005; KIZILOGLU *et al.*, 2008). Esta redução no uso de adubos minerais é possível em decorrência da elevada concentração de nutrientes na AR (AZEVEDO *et al.*, 2005; LEAL *et al.*, 2009; VARALLO *et al.*, 2012), desde que a mesma seja manejada de forma criteriosa (MATOS, 2006).

Dentre as plantas cultivadas, o algodoeiro é uma das recomendadas para a fertirrigação com AR devido ao seu principal produto não ser utilizado para a alimentação humana (ALVES *et al.*, 2005; FERREIRA *et al.*, 2005). Além disso, as cultivares modernas são exigentes em nutrientes quando se buscam altas produtividades (AQUINO *et al.*, 2012a; AQUINO *et al.*, 2012b; ROSOLEM & WITACKER, 2007; BATISTA *et al.*, 2010; SANTOS *et al.*, 2012).

No Brasil, dentre as cultivares modernas, tem aumentado a disponibilidade de materiais de algodoeiro geneticamente modificado, desde a liberação do primeiro, em 2005 (MCTI, 2012). No entanto, são raros os estudos do comportamento desses materiais no campo, quando fertirrigados com AR.

Minas Gerais destaca-se como o quinto maior produtor de algodão do Brasil, com produção estimada em 30.000.000,00 kg de algodão em fibra na safra 2012/2013 (CONAB, 2013). O governo estadual, por meio do programa mineiro de incentivo à cotonicultura (PROALMINAS), tem estimulado a implantação de algodoeiras, proporcionando isenção de impostos sobre produtos acabados por elas que, por sua vez,

pagam bônus de 7,85% sobre o índice de preços CEPEA/Esalq aos produtores de algodão no Estado (CARVALHO *et al.*, 2012).

A maioria dos cotonicultores de Minas Gerais são agricultores familiares, correspondendo a 63,6% do total (CARVALHO *et al.*, 2012), localizados principalmente na região norte do estado, onde também é crescente a instalação de rede de coleta e tratamento de esgotos. Assim, alternativas que possibilitem a redução no custo de produção da lavoura aliadas à minimização de impactos ambientais, devido ao lançamento de esgoto em cursos d'água ou em sumidouros pontuais, contaminando águas superficiais e/ou subterrâneas, podem promover ganhos aos produtores e à sociedade.

Diversos trabalhos são relatados na literatura visando à produtividade do algodoeiro em que houve aplicação de AR na agricultura (ALIKHASI *et al.*, 2012; ALVES *et al.*, 2005; AZEVEDO *et al.*, 2005). Todavia, percebe-se que a maioria deles tem a água residuária tratada (ART), como principal utilização. Além disso, o critério utilizado busca o atendimento principal da demanda hídrica da cultura, o que pode comprometer a sustentabilidade do processo produtivo a médio e longo prazo devido ao acúmulo de elementos indesejáveis no solo. Entretanto, após filtragem, quando utilizada via sistema de irrigação localizada, para diminuição dos riscos de entupimento dos emissores, a água residuária bruta (ARB) pode ser interessante devido à maior concentração de nutrientes e material orgânico (KIZILOGLU *et al.*, 2008). Além disso, com a disposição final criteriosa desse afluyente na agricultura, podem-se evitar gastos na construção de estações para tratamento das águas residuárias (AR) de comunidades rurais.

Quanto ao aspecto nutricional, o fósforo tende a aumentar o comprimento da fibra e o potássio regulariza o ciclo da cultura e aumenta o teor de celulose nas paredes internas das fibras, refletindo na melhoria de outros caracteres econômicos, aumentando a produção, massa de um capulho, comprimento da fibra, uniformidade de comprimento e finura (AQUINO *et al.*, 2012a; AQUINO *et al.*, 2012b; ROSOLEM & WITACKER, 2007; SANTOS *et al.*, 2012). Associada aos aspectos produtivos, a adubação nitrogenada aumenta o vigor das plantas durante o desenvolvimento vegetativo, culminando em aumento de produtividade e melhoria no comprimento, resistência e finura das fibras (AZEVEDO *et al.*, 2005; PEREIRA *et al.*, 2012).

O período crítico para a obtenção de algodão com boa qualidade física da fibra se estende do auge do florescimento até a colheita, devendo as plantas estar em boas

condições de nutrição, livres do ataque de pragas e doenças, sem dias chuvosos e encobertos, com temperaturas acima de 20 °C (BELTRÃO & AZEVEDO, 2008).

Diante do exposto, objetivou-se verificar a influência de água residuária sanitária bruta (ARB) e efluente de tratamento terciário (ART), em substituição à adubação potássica mineral em cobertura, sobre os indicadores de produção e qualidade tecnológica da fibra do algodoeiro transgênico NuOpal BG RR[®].

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado na área experimental da Copasa/Unimontes, localizada ao lado da ETE de Janaúba - MG, latitude 15° 46' 12,6" S, longitude 43° 19' 13,5" W e altitude de 530 m, em área anteriormente cultivada com pastagem degradada há mais de cinco anos. O clima é classificado como Aw, tropical com inverno seco, de acordo com a classificação de Köppen. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2006).

Foi feita a correção do solo com calcário dolomítico (1.500 kg ha⁻¹), 41 dias antes da semeadura (CFSEMG, 1999). No dia seguinte, foi feita a sua incorporação com duas subsolagens, cruzadas, com hastes espaçadas 0,50 m entre si, até a profundidade de 0,65 m, aproveitando a umidade do solo proporcionada por 48 mm de chuva, nos quatro dias anteriores. Aos 38 dias antes da semeadura foram realizadas duas gradagens, cruzadas. Esta sequência possibilitou o destorroamento e o nivelamento do solo, incorporando o calcário e controlando as plantas daninhas remanescentes.

A semeadura foi em 30/04/2012, após o solo atingir teor de água equivalente ao da capacidade de campo, com a aplicação de 62,7 mm de água limpa, dividida em três lâminas de irrigação.

Utilizou-se a cultivar de algodão NuOPAL BG RR (Monsanto[®]), ciclo precoce a médio, fibra média, resistente a lepidópteros e ao herbicida glifosato. A semeadura foi manual, com 20 sementes por metro linear (70% de germinação, 40% de vigor), com 0,90 m entre linhas, na profundidade de 0,03 m. As sementes deslintadas foram tratadas com inseticida e fungicida.

No sulco de plantio, foram aplicados 100,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (333,3 kg ha⁻¹ do formulado NPK 4-30-10), sendo a adubação nitrogenada (20,0 kg ha⁻¹ de N)

complementada com ureia, na dose de $14,8 \text{ kg ha}^{-1}$, e a potássica ($40,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O) com o cloreto de potássio, na dose de $11,6 \text{ kg ha}^{-1}$, conforme CFSEMG (1999).

O ciclo cultural se iniciou em 04/05/2012, quando mais de 80% das plântulas emergiram, sendo desbastadas para 9 plantas m^{-1} linear, equivalente a 100.000 plantas ha^{-1} , aos 21 dias após a emergência (DAE).

Para a aplicação da AR e complementação das irrigações na cultura, foi usado um sistema de irrigação por gotejamento, semiautomatizado, com mecanismo de filtragem constituído por dois filtros de areia, com taxa de filtragem lenta igual a $6,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e um filtro de disco 120 *mesh*, hidrômetro de 2", válvula de retenção de 2", injetor hidráulico de fertilizantes, manômetros de glicerina e pontos de tomada de pressão. Apesar de ter sido utilizado um único sistema de irrigação, as águas foram aplicadas de forma individualizada, tendo o cuidado de se fazer a limpeza da tubulação em cada troca de água com descarga em dois sumidouros, sendo o primeiro localizado próximo do sistema de filtros para as retrolavagens, e o segundo, no final da área experimental.

Foi utilizada uma linha lateral com 5,9 m de comprimento para cada fileira de plantas, no espaçamento de 0,90 m e composta por tubogotejadores modelo Naantif[®] com diâmetro interno igual 0,014 m, não autocompensante, cilíndrico, com pré-filtro, de vazão média (q_e) igual a $5,87 \text{ L h}^{-1}$ à pressão de 204 kPa, com emissores espaçados 0,40 m entre si.

O manejo da irrigação, cujo turno de rega era de dois dias, foi feito com o auxílio do aplicativo Irriplus[®], com o qual se determinou a demanda hídrica do algodoeiro (ETc), utilizando-se o modelo de Penman-Monteith-FAO (ALLEN *et al.*, 2006) para o cálculo da ET_o, multiplicando-o pelos coeficientes de cultivo (Kc), de localização da irrigação (Kl) e do solo (ks). Estimou-se a eficiência de aplicação mediante avaliações de uniformidade de irrigação a campo, em 96,0% (BERNARDO *et al.*, 2006). Mediante os resultados de ETc, Ea e q_e , foram calculadas as lâminas líquidas, as lâminas brutas acumuladas no turno de rega e os tempos de funcionamento do sistema de irrigação. Decorridas as aplicações, as lâminas líquidas de AR foram recalculadas a partir dos tempos de funcionamento.

Aos 9 e 57 DAE, foram abertas trincheiras no final de três linhas laterais aleatórias, doze horas depois da última irrigação, medindo-se, com fita milimétrica, a largura da faixa molhada pelos emissores a cada 0,05 m de profundidade e calculando-se a porcentagem de área molhada média pela divisão entre a largura máxima e o espaçamento entre linhas laterais (MERRIAN; KELLER, 1978).

Aos 133 DAE, foi feito o corte da irrigação, com aproximadamente 55% das maçãs abertas e 30% fisiologicamente maduras (BELTRÃO & AZEVEDO, 2008).

A água para irrigação foi obtida da rede de abastecimento da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA - MG) em Janaúba – MG, aduzida do reservatório Bico da Pedra.

A ART foi captada por condução em gradiente, via 200 m de tubulação de PVC, desde a segunda lagoa de maturação da ETE - Janaúba (último estágio do tratamento, antes do lançamento no rio Gorutuba) até o conjunto motobomba localizado na área experimental. A ARB, igualmente conduzida, foi captada após o medidor de vazão, na saída do sistema de tratamento preliminar.

A ETE Janaúba é composta por tratamento preliminar (grade e desarenador), calha *parshall* com medidor de vazão ultrassônico, reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), lagoa facultativa e duas lagoas de maturação, e possui capacidade para tratar AR urbana típica com vazão contínua de até 48,4 L s⁻¹.

O controle de plantas daninhas, o monitoramento e o controle de pragas e doenças foram feitos em momento oportuno ao longo do ciclo da cultura, seguindo recomendações de Beltrão & Azevedo (2008) e Peixoto *et al.* (2009).

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos de fertirrigação da cultura foram os descritos a seguir: a) T0: Água limpa (AL) e cobertura com adubação mineral (AM); b) T1: 100% do potássio em cobertura via ART; c) T2: 150% do potássio em cobertura via ART; d) T3: 100% do potássio em cobertura via ARB e; e) T4: 150% do potássio em cobertura via ARB. Utilizou-se água de abastecimento para a complementação da exigência hídrica da cultura.

O potássio foi definido como elemento referência, após análise da AR, considerando-se os nutrientes exigidos pela cultura e as quantidades limites dos elementos constituintes da AR, aplicadas no solo anualmente (MATOS, 2006).

A parcela experimental foi composta por seis linhas de plantas, com 0,90 m entre linhas, 5,90 m de comprimento e 0,11 m entre plantas, totalizando 31,86 m². Para a área útil foram utilizadas as quatro linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 1 m das extremidades da linha, totalizando 14,04 m² de área útil.

Os tratamentos foram diferenciados aos 35 DAE, aplicando-se a AR e as adubações em cobertura na testemunha. Até os 100 DAE, foram feitas 22 aplicações de AR (em média, 2,4 aplicações por semana).

Na testemunha, foram feitas seis adubações minerais de cobertura, totalizando 50,0 kg ha⁻¹ de N (111,1 kg ha⁻¹ de ureia) e 40,0 kg ha⁻¹ de K₂O (69,0 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio), conforme CFSEMG (1999). Essas mesmas doses de N e K₂O foram usadas para calcular as quantidades de AR aplicadas nos tratamentos, à exceção do T1 que recebeu dose adicional de 15,5 kg ha⁻¹ de N (34,44 kg ha⁻¹ de ureia), aos 76 DAE, pois com a concentração do N na ART, a dose final do nutriente ficaria abaixo das fornecidas nos demais tratamentos.

Mensalmente foram coletadas amostras simples da AR no final de uma das linhas laterais, durante o horário das aplicações, sendo colocadas em recipientes apropriados. Os recipientes foram acondicionados em caixas de isopor com gelo e enviados imediatamente ao laboratório para as análises de N total, P total, K total, Na, Ca, B, Fe, demanda química de oxigênio (DQO), pH e condutividade elétrica (CE_{AR}), seguindo metodologias descritas em APHA *et al.* (2005). De posse dos resultados das análises da AR do mês anterior, eram calculadas as lâminas de fertirrigação com a AR nos respectivos tratamentos.

Aos 75 DAE, ocasião do florescimento, foi coletada a quinta folha verdadeira de cada uma das plantas marcadas nas parcelas experimentais, sendo acondicionadas em sacos de papel e enviadas ao laboratório para análises químicas (CFSEMG, 1999).

Aos 150 DAE foram coletados 3 capulhos (terço inferior, médio e superior) em cada uma das 16 plantas previamente marcadas na parcela útil, totalizando 48 capulhos. Essas plantas tiveram o número total de capulhos contabilizados, obtendo-se o número médio por planta. Após pesagem, o algodão foi descaroçado, obtendo-se a massa da fibra que foi enviada ao laboratório para análises tecnológicas em equipamento HVI (*high volume instrument*), conforme metodologia descrita por Beltrão & Azevedo (2008).

No ato da colheita de todas as plantas da parcela útil, ocorrida aos 150 DAE (Figura 1.B), outra amostra contendo 9 capulhos (três capulhos por planta em três plantas) teve a massa obtida e foi levada para estufa de secagem a 65 °C por 72 horas, acrescida de 1 hora a 105 °C, para obtenção do teor de água. O algodão colhido teve a massa medida e, depois da obtenção do teor de água foi feita a correção para 8,5% (ABNT NBR 12331:1991). A partir das massas do algodão em caroço e fibra das amostras descaroçadas, foi calculada a massa média de capulho e o rendimento de fibra, depois de corrigido o teor de água. De posse do rendimento e da massa de algodão em caroço da parcela útil, foi calculada a produtividade de algodão em fibra.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos a até 5% pelo teste F, foram aplicados testes para comparar os tratamentos entre si (Tukey) e com a testemunha (Dunnett).

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O diâmetro máximo observado da frente de molhamento ocorreu a 0,20 m de profundidade, sendo igual a 0,42 m aos 9 DAE e 0,47 m aos 57 DAE do algodoeiro (Figura 2.1). Tal comportamento é explicado pelos diferentes volumes aplicados para atender à exigência hídrica da cultura em duas fases distintas do ciclo vegetativo antes das avaliações, uma vez que na primeira foi igual a 2,5 L gotejador⁻¹ e na segunda, 5,1 L gotejador⁻¹. Esses resultados corroboram os verificados por Barreto *et al.* (2008) e Maia *et al.* (2010) em Latossolo Vermelho. Assim, a média da faixa molhada observada ficou em aproximadamente 50%.

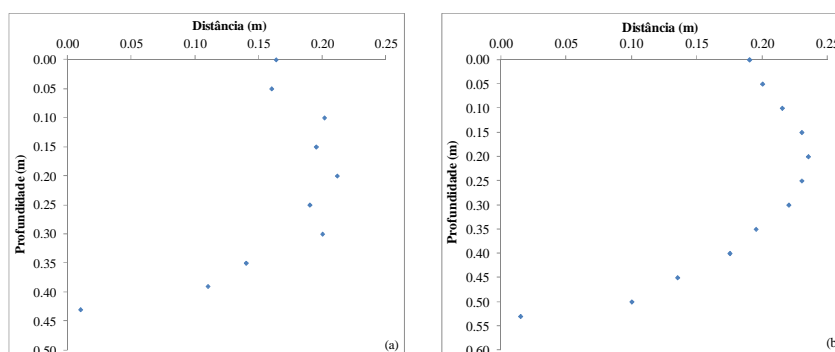


FIGURA 2.1. Distância do emissor e profundidade alcançada pela frente de molhamento de sistema de irrigação por gotejamento em Latossolo Vermelho eutrófico, aos 9 (a) e 57 DAE (b), do algodoeiro fertirrigado com água residuária sanitária.

Ao longo do ciclo da cultura, contado a partir da emergência das plântulas, foram aplicadas lâminas líquidas totais de 491,7 mm, incluindo precipitações ocorridas entre os 10 e 16 DAE, objetivando atender a sua exigência hídrica (Figura 2.2a). Os valores da ETo oscilaram entre 1,8 e 6,2 mm d⁻¹ e os da ETc entre 0,6 e 4,4 mm d⁻¹. Das lâminas totais aplicadas, 24,1 e 36,1% foram com ART e 22,5 e 33,8% com ARB nos tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente, aplicados entre 35 e 100 DAE, divididos em 22 aplicações (Figura 2.2b). Pode-se notar na Figura 2.2b que nas sete últimas fertirrigações as lâminas do T3 e do T4 superaram as dos tratamentos com ART. Adotou-se tal medida no intuito de igualar o fornecimento final de K pois, como houve

atraso no recebimento dos resultados desse constituinte na AR, as concentrações utilizadas para o cálculo das lâminas até então estavam superestimadas.

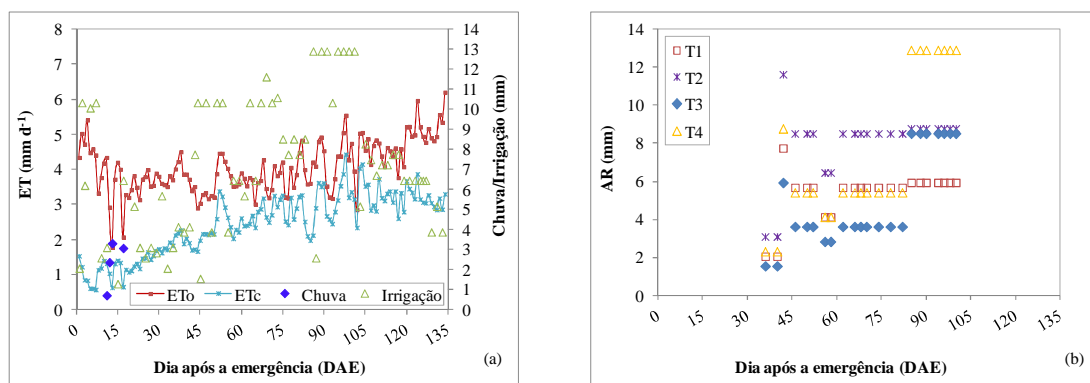


FIGURA 2.2. Evapotranspiração de referência (ETo) e da cultura (ETc), precipitação efetiva e lâminas líquidas de irrigação (a) e de água residuária (AR) (b) ao longo do ciclo do algodoeiro.

Os resultados médios dos principais constituintes observados na AR foram: a) ARB: 92,3 mg L⁻¹ de nitrogênio total; 13,4 mg L⁻¹ de fósforo; 30,3 mg L⁻¹ de potássio; 47,3 mg L⁻¹ de sódio; 3,2 mg L⁻¹ de cálcio; 73,0 mg L⁻¹ de óleos e graxas; 3,0 mg L⁻¹ de ferro; 642,7 mg L⁻¹ de DQO; pH igual a 7,2 e CE igual a 1,4 dS m⁻¹; b) ART: 32,7 mg L⁻¹ de nitrogênio total; 9,0 mg L⁻¹ de fósforo; 29,5 mg L⁻¹ de potássio; 60,9 mg L⁻¹ de sódio; 5,1 mg L⁻¹ de cálcio; 10,8 mg L⁻¹ de óleos e graxas; 1,1 mg L⁻¹ de ferro; 187,3 mg L⁻¹ de DQO; pH igual a 7,4 e CE igual a 1,2 dS m⁻¹. Nota-se que a ARB se apresentou mais rica em material orgânico e nitrogênio total e com menor conteúdo de potássio. Todos os constituintes analisados situam-se nas faixas normalmente reportadas na literatura para AR sanitária (ALIKHASI *et al.*, 2012; ALVES *et al.*, 2005; AZEVEDO *et al.*, 2005; KIZILOGLU *et al.*, 2008; MATOS, 2006; VARALLO *et al.*, 2012).

Com a aplicação da AR estimou-se o aporte de nitrogênio total ao solo variando de 37,5 (T1) a 93,5 kg ha⁻¹ (T4), de fósforo na forma de P₂O₅ entre 23,8 (T1) e 55,0 kg ha⁻¹ (T4), sódio entre 52,7 (T3) a 103,1 kg ha⁻¹ (T2), cálcio entre 4,6 (T3) e 6,8 kg ha⁻¹ (T2), ferro entre 1,3 (T1) e 4,9 kg ha⁻¹ (T4) e material orgânico em termos de DQO entre 212,8 (T1) e 1036,7 kg ha⁻¹ (T4). O aporte do elemento referência potássio na forma de K₂O foi de 40,2 kg ha⁻¹ (T1), 60,0 kg ha⁻¹ (T2), 38 kg ha⁻¹ (T3) e 57,1 kg ha⁻¹ no T4. Estas cargas inferiores à estipulada inicialmente para os tratamentos T3 (40 kg ha⁻¹ de K₂O) e T4 (60 kg ha⁻¹ de K₂O) são atribuídas ao atraso no recebimento dos resultados das análises de AR, visto que, especialmente no mês de agosto, para finalizar

as aplicações estimou-se a concentração desse constituinte em 35 mg L⁻¹ e, no entanto, foi 30,4 mg L⁻¹ na ARB.

Nas análises dos conteúdos foliares de N, P, K, Ca, B, Fe e Na, realizadas no florescimento (75 DAE), não se constatou diferença entre tratamentos ou blocos para nenhum dos elementos avaliados (Tabela 2.1). Isso permite inferir que nessa data os elementos extraídos pelas plantas eram basicamente advindos dos conteúdos já existentes no solo (Fe, Na) e/ou fornecidos via calagem e adubação inicial (N, P, K, Ca). Além disso, é possível afirmar também que o suprimento de N e K via AR naquela ocasião se equiparou ao mineral, possibilitando igual absorção pelas plantas.

TABELA 2.1. Resumo da análise de variância e médias de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), ferro (Fe) e sódio (Na), encontrados em folhas de algodoeiro, aos 75 DAE, em tratamentos com adubação potássica em cobertura.

FV	GL	Quadrado Médio					
		N	P	K	Ca	Fe	Na
Bloc.	3	0,593	0,002	0,040	0,067	130,37	12541,40
Trat.	4	0,256 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,164 ^{ns}	0,078 ^{ns}	79,97 ^{ns}	3116,20 ^{ns}
Res.	12	0,282	0,001	0,154	0,036	198,05	5211,38
CV (%)		10,55	11,56	20,87	6,46	17,47	24,54
Trat.	Média						
	----- dag kg ⁻¹ -----			----- mg kg ⁻¹ -----			
T0		4,81 A a	0,27 A a	1,74 A a	2,94 A a	87,40 A a	254,56 A a
T1		4,84 A a	0,29 A a	2,10 A a	2,90 A a	82,62 A a	307,71 A a
T2		5,02 A a	0,31 A a	1,65 A a	3,16 A a	76,76 A a	295,88 A a
T3		5,44 A a	0,26 A a	2,09 A a	2,81 A a	77,06 A a	283,44 A a
T4		5,02 A a	0,32 A a	1,84 A a	2,84 A a	79,03 A a	329,46 A a
Média		5,03	0,29	1,88	2,93	80,58	294,21

^{ns} Não significativo a 5%, pelo teste F. T0: água limpa e adubação mineral; T1: 100% da cobertura potássica via ART; T2: 150% da cobertura potássica via ART; T3: 100% da cobertura potássica via ARB; T4: 150% da cobertura potássica via ARB; Médias seguidas pela mesma letra maiúscula da testemunha (T0) na coluna, não diferem dela, pelo teste de Dunnett e médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Os níveis críticos de N, P, K, Ca e Fe na quinta folha do algodoeiro (folha índice) são 3,2 dag kg⁻¹, 0,17 dag kg⁻¹, 1,5 dag kg⁻¹, 2 mg kg⁻¹ e 70 mg kg⁻¹, respectivamente, para produtividade esperada de 980 kg ha⁻¹ de algodão em fibra, assumindo rendimento de fibra igual a 39,2%, cujas recomendações de calagem e fertilização foram seguidas no presente trabalho (CSFEMG, 1999). Portanto, de acordo com esse critério de interpretação, as plantas de todos os tratamentos se encontravam com níveis adequados dos elementos avaliados, no dia anterior à última cobertura nitrogenada e potássica na testemunha.

Em coleta de amostras de solo feita aos 30 DAE, observou-se conteúdo médio de sódio igual a 0,11 cmol_c dm⁻³ na camada de 0-0,40 m. Por esta existência no solo e pela

alta mobilidade em solução (JÁCOME *et al.*, 2003; RODRIGUES *et al.*, 2012), o acúmulo foliar no T0 se equiparou ao dos tratamentos em que houve aplicação de AR, cujos aportes de sódio estimados até aos 75 DAE variaram entre 19,3 kg ha⁻¹ (T3) e 49,6 kg ha⁻¹ de Na (T2).

Houve efeito de tratamentos sobre os resultados de produtividade do algodão em fibra, rendimento de fibra e massa de capulho, não havendo efeito para o número de capulhos por planta (Tabela 2.2).

TABELA 2.2. Resumo da análise de variância e médias de produtividade de algodão em fibra, kg ha⁻¹ (Fibra), rendimento de fibra, em decimal (Rend.), massa de capulho, g (Capulho) e número de capulhos por planta (CpPta) de algodão submetido a diferentes fontes de adubação potássica em cobertura.

FV	GL	Quadrado Médio			
		Fibra	Rend.	Capulho	CpPta
Bloc.	3	114762,5	4,006 x 10 ⁻⁵	0,142	1,450
Trat.	4	165656,3*	2,703 x 10 ^{-4*}	0,337*	2,633 ^{ns}
Res.	12	47227,02	7,514 x 10 ⁻⁵	7,95 x 10 ⁻²	1,045
CV (%)		15,28	1,97	5,49	15,63
Trat.	Médias				
T0	1143,05 A b	0,4484 A b	4,92 A a	5,48 A a	
T1	1378,08 A ab	0,4449 A ab	4,89 A a	6,23 A a	
T2	1345,80 A ab	0,4435 A ab	4,98 A a	6,30 A a	
T3	1601,19 B ab	0,4414 A ab	5,45 B a	7,53 A a	
T4	1641,09 B a	0,4271 B a	5,46 B a	7,15 A a	
Média	1421,84	0,4411	5,14	6,54	

* Significativo a 5% e ^{ns} não significativo, pelo teste F; T0: água limpa e adubação mineral; T1: 100% da cobertura potássica via ART; T2: 150% da cobertura potássica via ART; T3: 100% da cobertura potássica via ARB; T4: 150% da cobertura potássica via ARB; Médias seguidas pela mesma letra maiúscula da testemunha (T0) na coluna, não diferem dela, pelo teste de Dunnett e médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Na comparação das médias dos tratamentos em que houve aplicação de AR com a testemunha (T0), maiores valores de produtividade e massa de capulho foram alcançados pelo T3 e T4 (Tabela 2.2). Mesmo o T4 ficando com menor rendimento de fibra (42,71%), sua produtividade situou-se 43,6% acima do T0. A produtividade do T3 ficou 40,1% acima da alcançada pelo T0. O T3 e o T4 proporcionaram produtividades de fibra acima da média alcançada em Minas Gerais (1.411 kg ha⁻¹) e no Brasil (1.347 kg ha⁻¹), na safra 2011/2012 (CONAB, 2013). Isso ocorreu possivelmente devido aos maiores conteúdos de N e P disponibilizados por esses tratamentos (70,1 e 93,5 kg ha⁻¹ de N; 36,5 e 55 kg ha⁻¹ de P₂O₅, para T3 e T4, respectivamente) ao longo do ciclo, comparados ao T0 (50 kg ha⁻¹ de N e 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em cobertura), uma vez que, por estarem diretamente relacionados à fotossíntese, proporcionam maiores acúmulos de

açúcares, óleos e fibras nas estruturas reprodutivas do algodoeiro, culminando em maiores massas de capulho, refletindo no aumento de produtividade (AQUINO *et al.*, 2012a; BELTRÃO & AZEVEDO, 2008; SANTOS *et al.*, 2012). Além do mais, a combinação dos componentes massa de capulho e número de capulhos por planta também contribuiu para a maior produtividade do algodoeiro em que houve aplicação de ARB, já que a população final média constatada em todos os tratamentos ficou próxima de 100.000 plantas ha⁻¹.

Os tratamentos em que houve aplicação de ART (37,5 kg ha⁻¹ de N + 15,5 kg ha⁻¹ de N mineral; 44,3 kg ha⁻¹ de N; 23,8 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 35,6 kg ha⁻¹ de P₂O₅, para T1 e T2, respectivamente) se equiparam ao T0 em termos de produtividade, rendimento de fibra, massa de capulho e capulhos por planta, comprovando também o efeito fertilizante da ART nos aspectos produtivos do algodoeiro. Resultados semelhantes quanto a AR para produtividade também foram obtidos por outros autores (ALIKHASI *et al.*, 2012; FERREIRA *et al.*, 2005; FIGUEIREDO *et al.*, 2005).

Na comparação entre médias de todos os tratamentos, observa-se que as produtividades e rendimentos de fibra dos tratamentos em que houve aplicação de ART se equiparam às dos tratamentos com aplicação de ARB (Tabela 2.2). Porém, pelos maiores conteúdos de N, P, K e menores conteúdos de sódio observados na ARB, a exigência nutricional da cultura é atendida com menores doses da ARB, inclusive com 150% da exigência em K (T4), o que pode minimizar problemas de acúmulo de sódio no solo, decorrentes de aplicações sucessivas de AR. Ressalta-se que o aporte de sódio ao solo pode promover alterações na sua condição física, devido à dispersão de argila (LEAL *et al.*, 2009; VARALLO *et al.*, 2012).

Pela sensibilidade do teste de Tukey (DMS = 0,6358), não foi acusada diferença significativa entre os tratamentos para a massa de capulho (Tabela 2.2). Nota-se na literatura, que há divergência entre os resultados de pesquisa utilizando esta última variável. Alikhasi *et al.* (2012) verificaram diferença superior em tratamento com mistura de AL e ART nas proporções respectivas de 33% e 66% (4,9 g capulho⁻¹) em relação à aplicação de AL com cobertura nitrogenada (3,8 g capulho⁻¹) na cultivar MEHR. O aporte estimado de N, P e K no tratamento correspondente à mistura citada resultou em aproximadamente 112,3 kg ha⁻¹ de N (N-NH₄ + N-NO₃); 46 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 135,7 kg ha⁻¹ de K₂O. Já no tratamento com AL e cobertura nitrogenada feita aos 62 DAE e 90 DAE, o aporte estimado a partir das informações disponibilizadas pelos autores foi de 156,7 kg ha⁻¹ de N (128,8 kg ha⁻¹ de N mineral + N-NH₄ + N-NO₃); 11,5

kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 13,4 kg ha⁻¹ de K₂O. O solo utilizado pelos autores possuía baixos conteúdos de matéria orgânica e fósforo, e bom de potássio.

Resposta da massa de capulho também foi registrada por Batista *et al.* (2010), em experimento com doses de P e sistemas de irrigação; e Pereira *et al.* (2012), com doses crescentes de esterco bovino (0 a 40.000 kg ha⁻¹, contribuindo com 0 a 680 kg ha⁻¹ de N, 0 a 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 0 a 980 kg ha⁻¹ de K₂O). Por outro lado, Aquino *et al.* (2012b), Jácome *et al.* (2003) e Santos *et al.* (2012) notaram que o parcelamento de P, aumento da salinidade na água de irrigação e doses de P não interferem nesta variável para as cultivares Delta Opal, CNPA Precoce 1 e CNPA 7H. Com isso, tudo indica que a interferência de tratamentos na massa de capulhos está associada a fatores genéticos bem como a condição inicial do solo, posição em que eles se encontram na planta e suprimento dos nutrientes N, P e K durante as fases de formação e de maturação dos frutos.

O rendimento de fibra constatado nos tratamentos encontra-se acima da média de Minas Gerais, que é de 39,2%, conforme CONAB (2013). O mais baixo rendimento apresentado pelo T4 (42,71%), comparado ao T0 (44,84%), pode ser atribuído às maiores disponibilidades de nutrientes, sobretudo o N, por estimular o fluxo de fotoassimilados para as estruturas de crescimento das plantas. Isso, além de maior proporção de fotoassimilados para as reservas das sementes, culmina em maior acúmulo de massa nestas em relação à deposição de celulose nas fibras (BELTRÃO & AZEVEDO, 2008). Uma das cultivares mais plantadas em Minas Gerais é a 'Delta Opal' que apresenta relativamente mais baixo rendimento de fibras que a empregada no presente experimento, conforme pode ser verificado em outros trabalhos (AQUINO *et al.*, 2012a; AQUINO *et al.*, 2012b; BATISTA *et al.*, 2010).

A semelhança entre tratamentos para o número de capulhos por planta (Tabela 2.2) pode ser atribuída ao suprimento de nutrientes no solo, principalmente N, P e K, que durante a floração (Tabela 2.1) e frutificação pode ter proporcionado adequada retenção de frutos pelas plantas em todos os tratamentos. Comportamento contrário foi observado por outros autores tanto com AR quanto com doses de nutrientes e qualidade de água (ALIKHASI *et al.*, 2012; ALVES *et al.*, 2005; AQUINO *et al.*, 2012a; AQUINO *et al.*, 2012b; BATISTA *et al.*, 2010; FIGUEIREDO *et al.*, 2005; JÁCOME *et al.*, 2003). Nos três primeiros trabalhos citados anteriormente, foram observados que, com o aumento do suprimento de P no solo, aliado à disponibilidade de água, há aumento no pegamento e retenção de estruturas reprodutivas do algodoeiro.

Não se constatou diferença significativa entre tratamentos para comprimento de fibra (UHML), uniformidade de comprimento (UI), resistência ao rompimento (STR), finura da fibra (MIC), grau de reflectância (Rd), grau de amarelecimento (+b) e porcentagem da amostra coberta por impureza (Área), observando-se somente efeito de blocos para uniformidade de comprimento e grau de reflectância (Tabela 2.3).

Efeito não significativo de tratamentos, sobre pelo menos uma das características tecnológicas analisadas nas fibras do algodoeiro também foi observado por outros autores (ALIKHASI *et al.*, 2012; AZEVEDO *et al.*, 2005; ROSOLEM & WITACKER, 2007; PEREIRA *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2012).

Ao contrário do ocorrido no presente trabalho, Azevedo *et al.* (2005), comparando irrigação com ART e AL + AM, encontraram maiores médias de ART para UHML (fibras longas), UI (fibras mais uniformes) e Rd (brancura mais alta). Porém, mais baixo MIC (fibra menos fina) foi observado no tratamento submetido a ART. Os autores concluíram que a ART proporcionou melhora na qualidade da fibra do algodoeiro.

TABELA 2.3. Resumo da análise de variância e médias de comprimento de fibra (UHML), uniformidade de comprimento (UI), resistência ao rompimento (STR), finura (MIC), grau de reflectância (Rd), grau de amarelecimento (+b) e porcentagem da amostra coberta por impureza (Área) relacionadas à qualidade tecnológica do algodão submetido a diferentes fontes de adubação potássica em cobertura.

FV	GL	Quadrado Médio						
		UHML	UI	STR	MIC	Rd	+b	Área
Bloc.	3	0,179	1,952	2,696	0,156	1,858	0,131	7,2x10 ⁻⁵
Trat.	4	0,179 ^{ns}	0,690 ^{ns}	1,019 ^{ns}	0,063 ^{ns}	0,686 ^{ns}	0,178 ^{ns}	1,2x10 ^{-4ns}
Res.	12	0,213	0,181	1,209	0,049	0,349	0,088	1,2x10 ⁻⁴
CV (%)		1,54	0,50	3,64	6,39	0,72	3,85	52,88
Trat.	Média							
	(mm)	(%)	(gf tex ⁻¹)	(µg pol ⁻¹)	(Rd)	(+b)	(%)	
T0	29,79Aa	84,87Aa	30,05Aa	3,58Aa	81,23Aa	7,80Aa	0,018Aa	
T1	29,82Aa	84,69Aa	30,78Aa	3,41Aa	82,23Aa	7,55Aa	0,015Aa	
T2	30,11Aa	85,00Aa	30,65Aa	3,58Aa	82,07Aa	7,40Aa	0,018Aa	
T3	30,22Aa	84,74Aa	29,53Aa	3,45Aa	81,73Aa	7,78Aa	0,028Aa	
T4	30,21Aa	84,71Aa	30,10Aa	3,28Aa	81,47Aa	7,93Aa	0,025Aa	
Média	30,03	84,8	30,22	3,46	81,74	7,69	0,02	

^{*}Significativo a 5%, pelo teste F; ^{ns} Não significativo; T0: água limpa e adubação mineral; T1: 100% da cobertura potássica via ART; T2: 150% da cobertura potássica via ART; T3: 100% da cobertura potássica via ARB; T4: 150% da cobertura potássica via ARB; Médias seguidas pela mesma letra maiúscula da testemunha (T0) na coluna, não diferem dela, pelo teste de Dunnett e médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Mediante interpretação apresentada por Beltrão & Azevedo (2008), o algodoeiro do presente estudo apresentou fibras com comprimento médio (29 mm < UHML ≤ 32 mm), muito uniformes (UI > 46%), com média resistência ao rompimento (27 gf tex⁻¹ <

STR \leq 30 gf tex⁻¹), finas (3,0 $\mu\text{g pol}^{-1}$ < STR \leq 3,9 $\mu\text{g pol}^{-1}$). Devido à combinação do grau de reflectância e de amarelecimento, foram classificadas em branca tipo 4 código 21 USDA e muito baixa percentagem de impurezas (Tabela 2.3). Esta classificação das fibras proporciona boa aceitação por parte da indústria algodoeira que pode remunerar melhor o produtor.

Como houve semelhança entre tratamentos para todas as variáveis utilizadas para atestar a qualidade física da fibra do algodão (Tabela 2.3), pode-se inferir que o suprimento de N, P e K durante a formação e maturação da fibra foi adequado já que esses nutrientes são essenciais na produção, transporte e deposição de fotoassimilados nos frutos e posterior acúmulo de celulose nas paredes internas da fibra, conforme Beltrão & Azevedo (2008); Pereira *et al.* (2012); Rosolem & Witacker (2007) e Santos *et al.* (2012).

Apesar das baixas percentagens de impurezas observadas nos tratamentos (Área), na ocasião da colheita percebeu-se saída de restos de brácteas junto do algodão, o que parece ser um problema relacionado ao material genético utilizado. Além disso, notou-se também acamamento de plantas em todos os blocos.

2.4. CONCLUSÕES

A adubação potássica recomendada em cobertura para o algodoeiro (40 kg ha⁻¹ de K₂O) pode ser substituída por 100% da dose via água residuária tratada (ART), sem afetar a produtividade e a qualidade tecnológica da fibra, devendo ser complementada parte da cobertura nitrogenada.

A água residuária bruta (ARB) no algodoeiro, além de substituir a adubação potássica recomendada em cobertura (40 kg ha⁻¹ de K₂O), pode proporcionar incremento de 43,6% na produtividade de algodão em fibra quando usada no atendimento de 150% da dose recomendada, sem afetar a qualidade tecnológica da fibra, com baixo risco de alterar a condição física do solo, sendo dispensada a cobertura nitrogenada (50 kg ha⁻¹ de N).

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALIKHASI, M.; KOUCHAKZADEH, M.; BANIANI, E. The effect of treated municipal wastewater irrigation in non-agricultural soil on cotton plant. **Journal of Agriculture Science and Technology**. v. 14, p. 1357-1364, 2012.
- 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**. Rome: FAO, 2006. 320 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).
- ALVES, W. W. A.; DANTAS NETO, J.; ANDRADE, A. R. S.; MADEIROS, L. B.; AZEVEDO, C. A. V.; SANTOS, J. W.; BELTRÃO, N. E. M. Componentes da produção do algodão de fibra marrom irrigado com água residuária tratada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, suplemento, p. 207-211, 2005.
- APHA [AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION]; AWWA [AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION]; WEF [WATER ENVIRONMENT FEDERATION]. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005. 1268 p.
- AQUINO, L. A. de; AQUINO, R. F. B. A.; SILVA, T. C.; SANTOS, D. F. dos; BERGER, P. G. Aplicação do fósforo e da irrigação na absorção e exportação de nutrientes pelo algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 355-361, 2012a.
- AQUINO, L. A. de; BERGER, P. G.; NEVES, J. C. L.; LIMA, T. C.; AQUINO, R. F. B. A. A. Parcelamento de fósforo em algodoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 1, p. 1-8, 2012b.
- AZEVEDO, M. R. Q. A.; KONIG, A.; BELTRÃO, N. E. M.; CEBALLOS, B. S. O.; AZEVEDO, C. A. V.; TAVARES, T. L. Características tecnológicas da fibra do algodão herbáceo sob efeito da adubação nitrogenada e irrigação com água residuária tratada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 202-206, 2005.

BARRETO, C. V. G.; SAKAI, E.; PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B. Técnica de avaliação de bulbo úmido por múltiplos cortes em trincheira. **Irriga**, v. 13, n. 2, p. 160-169, 2008.

BATISTA, C. H.; AQUINO, L. A. de; SILVA, T. R.; SILVA, H. R. F. Crescimento e produtividade da cultura do algodão em resposta a aplicação de fósforo e métodos de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 4, p. 197-206, 2010.

BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de (ed.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 2 v., 1309 p.

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

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística – IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008**. Rio de Janeiro, RJ. 219p. 2010. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/default.shtm>>. Acesso em: 08 jan. 2013.

CARVALHO, C. de *et al.* **Anuário brasileiro do algodão 2012**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2012. 136 p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (CFSEMG). RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira 2012/2013: grãos, quinto levantamento**. Brasília: Conab, 2013. 27 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa-SPI, 2 ed., 2006. 306 p.

FERREIRA, O. E.; BELTRÃO, N. E. de M.; KONIG, A. Efeitos da aplicação nitrogenada de água residuária e nitrogênio sobre o crescimento e produção do algodão herbáceo. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 9, n. 1/3, p. 893-902, 2005.

FIGUEIREDO, I. C. de M.; LIMA, V. L. A.; BELTRÃO, N. E. de M.; ARAÚJO, M. G. F. de; SANTOS, T. S. S.; AZEVEDO, C. A. V. Uso da água residuária tratada e do biossólido no algodão colorido: produção e seus componentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, suplemento, p. 288-291, 2005.

JÁCOME, A. G.; OLIVEIRA, R. H.; FERNANDES, P. D.; GONÇALVES, A. C. A. Comportamento produtivo de genótipos de algodão sob condições salinas. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 187-194, 2003.

KIZILOGLU, F. M.; TURAN, M.; SAHIN, U.; KUSLU, Y.; DURSUN, A. Effect of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. **Agricultural Water Management**, 95, p. 716-724, 2008.

LEAL, R. M. P.; HERPIN, U.; FONSECA, A. F. da; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 307-316, 2009.

MAIA, C. E.; LEVIEN, S. L. A.; MEDEIROS, J. F.; DANTAS NETO, J. Dimensões de bulbo molhado na irrigação por gotejamento superficial. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 149-158, 2010.

MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas do Estado de Minas Gerais, DEA/UFV, 2006. 140p. (Série Caderno Didático, 38).

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). COMISSÃO TÉCNICA NACIONAL DE BIOSSEGURANÇA (CTNBio). **Algodão**. 2012. Disponível em: < <http://www.ctnbio.gov.br/index.php/content/view/14783.html>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

PEIXOTO, M. F.; BARBOSA, R. V.; OLIVEIRA, R. R. da C.; FERNANDES, P. M.; COSTA, R. B. da. Amostragem do ácaro rajado *Tetranychus urticae* Koch (*Acari*:

Tetranichidae) e eficiência de controle de acaricidas no seu controle na cultura do algodoeiro irrigado. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 2, p. 24-32, 2009.

PEREIRA, J. R.; ARAÚJO, W. P.; FERREIRA, M. M. M.; LIMA, F. V.; ARAÚJO, V. L.; SILVA, M. N. B. Doses de esterco bovino nas características agrônômicas e de fibras do algodoeiro herbáceo BRS Rubi. **Revista Agroambiente**, v. 6, n. 3, p. 195-204, 2012.

RODRIGUES, C. R. F.; SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, E. N.; DUTRA, A. T. B.; VIÉGAS, R. A. Transporte e distribuição de potássio atenuam os efeitos tóxicos do sódio em plantas jovens de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 223-232, 2012.

ROSOLEM, C. A.; WITACKER, J. P. T. Adubação foliar com nitrato de potássio em algodoeiro. **Bragantia**, v. 66, n. 1, p. 147-155, 2007.

SANTOS, F. C. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; NOVAIS, R. F. de; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S.; SILVA FILHO, J. L. Fontes, doses e formas de aplicação de fósforo para o algodoeiro no cerrado da Bahia. **Revista Ceres**, v. 59, n. 4, p. 537-543, 2012.

VARALLO, A. C. T.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. de L. Mudanças nas características físico-químicas de um latossolo vermelho-amarelo distrófico após a irrigação com água de reúso na cultura da alface-crespa (*Lactuca sativa*, L.). **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 2, p. 271-279, 2012.

ARTIGO 3: ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS NO SOLO PROMOVIDAS PELA FERTIRRIGAÇÃO DO ALGODOEIRO COM ÁGUA RESIDUÁRIA SANITÁRIA

RESUMO: A utilização agrícola de águas residuárias auxilia no fornecimento de nutrientes às plantas e na redução de problemas ambientais, por evitar o lançamento de poluentes em corpos receptores e por reduzir o uso de água de fontes de melhor qualidade. Porém, quando não usada de forma criteriosa pode promover alterações no solo devido aos seus constituintes. Assim, objetivou-se analisar o perfil de um solo cultivado com algodoeiro, após a aplicação de água residuária sanitária bruta (ARB) e tratada, em nível terciário (ART), no semiárido mineiro. O delineamento em blocos casualizados (DBC) foi constituído por cinco tratamentos (fornecimento de 100% e 150% da dose de potássio (K) em cobertura via ART e ARB, e a testemunha com adubação mineral) e quatro repetições. Foram avaliadas algumas características do solo em quatro camadas, sendo que a ARB e a ART não promoveram excesso de constituintes químicos no solo. O tratamento correspondente a 150% da dose de K via ART aumentou o conteúdo de sódio até a profundidade de 0,60 m. O fornecimento de 150% da dose de K via ARB, pelo melhor equilíbrio químico, reduziu o pH do solo nos primeiros 0,20 m e no conteúdo de ADA até 0,60 m de profundidade.

PALAVRAS-CHAVE: esgoto bruto; esgoto tratado; Latossolo.

ARTICLE 3: PHYSICAL AND CHEMICAL CHANGES IN THE SOIL PROMOTED BY COTTON FERTIGATION WITH SANITARY WASTEWATER

ABSTRACT: Agricultural use of wastewater helps in providing nutrients to plants and reducing environmental problems, for avoiding the release of pollutants into receiving water bodies and reducing the use of better quality water sources. However, when not used in an orderly manner, it can promote changes in the soil due to its constituents. Thus, this study aimed to analyze the profile of a soil cultivated with cotton plants, after the application of raw sanitary wastewater (ARB) and treated in tertiary level (ART), in the semiarid region of Minas Gerais. The randomized block design (RBD) consisted of five treatments (providing 100% and 150% of the potassium top-dressing via ART and

ARB, and a control with mineral fertilizer) and four replications. Some soil characteristics were evaluated in four layers, being that ARB and ART did not promote excessive chemical constituents in the ground. The treatment corresponding to 150% of the potassium dose via ART increased sodium content until the depth of 0.60 m. Supplying 150% of recommended potassium via ARB, due to the best chemical balance, reduced soil pH in the first 0.20 m and the WDC content at 0.60 m deep.

KEYWORDS: raw sewage, treated sewage; Oxisol.

3.1. INTRODUÇÃO

A disposição no solo constitui uma das práticas mais antigas de tratamento, destino final e ou reciclagem de esgotos sanitários. Na Inglaterra, no início do século XIX, as primeiras experiências com aplicação de esgoto eram conhecidas como “fazendas de esgotos”. Na Austrália, em Melbourne, um sistema em operação desde 1897 – “Werribee Farm”, recebe 510 milhões de litros de esgoto por dia e ocupa uma área de 10.850 ha de pastagens para um rebanho de 13000 bovinos e 3000 ovinos (BASTOS, 2003).

A utilização agrícola das águas descartadas pelas atividades humanas permite fornecer nutrientes e suprir parte das necessidades hídricas das plantas, auxiliar na redução dos problemas ambientais (evitando o lançamento de poluentes em cursos hídricos), bem como reduzir o uso de outras fontes de água de melhor qualidade.

Porém, a disposição final de água residuária urbana seja na forma bruta (ARB) ou tratada (ART), em solo receptor, de forma frequente e em altas doses, pode promover alterações físicas, químicas e/ou físico-químicas devido ao conteúdo de elementos químicos e material orgânico presentes (FERREIRA *et al.*, 2011; LEAL *et al.*, 2009; MEDEIROS *et al.*, 2011; SANDRI *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2010). Dentre as alterações, destacam-se o risco de salinização e impermeabilização do solo, dispersão de argilas e o desequilíbrio de nutrientes (ALMEIDA NETO *et al.*, 2009; DUARTE *et al.* (2008); KIZILOGLU *et al.*, 2008; MEDEIROS *et al.*, 2005a; SILVA *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2010; VARALLO *et al.* (2012); XU *et al.*, 2010).

Por isso, devem-se estabelecer critérios de aplicação com o objetivo de compatibilizar a frequência, a dose e a exigência da cultura em nutrientes para que haja redução do acúmulo dos contaminantes químicos no solo, além de monitorar os componentes do solo (FONSECA *et al.*, 2007; MEDEIROS *et al.*, 2005b; VARALLO *et al.*, 2010).

Em Janaúba, norte de Minas Gerais, a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) tem gerado diversas demandas de pesquisa para o uso agrícola de efluente da estação de tratamento de esgoto (ETE) sob sua responsabilidade. A ETE-Janaúba é composta por reator UASB, seguido por uma lagoa facultativa fotossintética e duas lagoas de maturação, dimensionada para $48,4 \text{ L s}^{-1}$.

A área de produção do algodoeiro no norte de Minas Gerais tem crescido nos últimos anos devido ao incentivo do governo do estado, sendo o cultivo feito principalmente por pequenos produtores. Pelo principal produto comercial não ser

comestível, a aplicação de água residuária (AR) na cultura tanto para o fornecimento de nutrientes quanto para parte do suprimento hídrico pode ser alternativa viável (MEDEIROS *et al.*, 2011).

Diante do exposto, objetivou-se analisar o perfil de um Latossolo Vermelho eutrófico, cultivado por algodoeiro herbáceo, submetido à aplicação de água residuária sanitária bruta (ARB) e tratada, em nível terciário (ART), em Janaúba – MG, Brasil.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado no final de abril de 2012, na área experimental da Copasa/Unimontes, localizada ao lado da ETE de Janaúba - MG, latitude 15° 46' 12,6" S, longitude 43° 19' 13,5" W e altitude de 530 m, em área anteriormente com pastagem degradada em período superior a cinco anos. O clima é classificado como Aw, tropical com inverno seco, de acordo com a classificação de Köppen. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2006), cujos atributos iniciais se encontram na Tabela 3.1.

TABELA 3.1. Atributos físicos, químicos e físico-químicos iniciais do solo.

Prof. (cm)	pH _{H2O}	¹ MO dag kg ⁻¹	² P mg dm ⁻³	² K	² Na	³ Ca cmol _c dm ⁻³	³ Mg	³ Al
0-20	6,2	1,3	2,3	260	0,1	2,8	0,9	0
20-40	5,5	0,7	2,0	140	0,1	2,2	0,7	0
Prof. (cm)	⁴ H+Al cmol _c dm ⁻³	⁵ SB	⁶ CTC _e	⁷ T	⁸ V %	⁹ m	¹⁰ B mg dm ⁻³	³ Cu
0-20	2,2	4,5	4,5	6,7	67	0	0,3	1,0
20-40	2,2	3,4	3,4	5,6	61	0	0,4	0,9
Prof. (cm)	³ Fe mg dm ⁻³	³ Mn	³ Zn	¹¹ P _{rem} mg L ⁻¹	¹² CE dS m ⁻¹	Areia dag kg ⁻¹	Silte	Argila
0-20	23,7	10,8	0,8	35,2	0,3	52,0	25,7	22,3
20-40	24,8	3,9	0,4	30,6	0,2	49,6	20,1	30,3
Prof. (cm)	¹³ P _{Macro} m ³ m ⁻³	¹⁴ P _{Micro}	¹⁵ P _t	¹⁶ ρ _s kg dm ⁻³	¹⁷ CC m ³ m ⁻³	¹⁸ PMP		
0-20	0,1315	0,2924	0,4239	1,61	0,2746	0,1917		
20-40	0,1115	0,3035	0,4150	1,57	0,2549	0,1672		

¹Matéria orgânica, determinada por colorimetria; ²Extrator: Mehlich-1; ³Extrator: KCl 1 mol/L; ⁴pH SMP; ⁵SB: Soma de bases; ⁶CTC_e: CTC efetiva; ⁷T: CTC a pH 7; ⁸V: Saturação por bases; ⁹m: Saturação por alumínio; ¹⁰Extrator: BaCl₂; ¹¹Fósforo remanescente, determinado em solução equilíbrio de P; ¹²CE: Condutividade elétrica do extrato saturado do solo, na proporção de 1 (solo):0,5 (água). ¹³P_{macro}: Macroporosidade; ¹⁴P_{micro}: Microporosidade; ¹⁵P_t: Porosidade total medida; ¹⁶ρ_s: Massa específica do solo; ¹⁷Capacidade de campo determinada a campo; ¹⁸Ponto de murcha permanente.

Após a retirada das plantas daninhas, foram aplicados, a lanço, 1.500 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT = 104,45%, 41 dias antes da semeadura (CFSEMG, 1999). No dia seguinte, foi feita sua incorporação com duas subsolagens, cruzadas, com hastes espaçadas 0,50 m entre si, até a profundidade de 0,65 m, aproveitando a umidade do solo decorrente de 48 mm de chuva, nos quatro dias anteriores. Aos 38 dias antes da semeadura foram realizadas duas gradagens, cruzadas. Essa sequência possibilitou o destorroamento e nivelamento do solo, incorporando o calcário e controlando as plantas daninhas remanescentes.

A semeadura foi feita em 30/04/2012, após o solo atingir o teor de água equivalente ao da capacidade de campo, com a aplicação de 62,7 mm de água limpa, dividida em três lâminas de irrigação.

Utilizou-se a cultivar de algodão NuOPAL BG RR (Monsanto®), ciclo precoce a médio, fibra média, resistente a lepidópteros e ao herbicida glifosato. A semeadura foi manual, com 20 sementes por metro linear (70% de germinação, 40% de vigor), com 0,90 m entre linhas, na profundidade de 0,03 m. As sementes deslintadas foram tratadas com Imidacloprid 600 FS (imidacloprido, 4,5 mL kg⁻¹ do produto comercial - p. c.) e Cercobin 500 SC (tiofanato metílico, 3,0 mL kg⁻¹ p. c.).

No sulco de plantio, foram aplicados 100,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (333,3 kg ha⁻¹ do formulado NPK 4-30-10), sendo complementado com 20,0 kg ha⁻¹ de N (14,8 kg ha⁻¹ de ureia) e 40,0 kg ha⁻¹ de K₂O (11,6 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio), conforme CFSEMG (1999).

O ciclo cultural iniciou-se em 04/05/2012, quando mais de 80% das plântulas emergiram, sendo desbastadas para 9 plantas m⁻¹ linear (equivalente a 100.000 plantas ha⁻¹).

A aplicação da AR e complementação das irrigações na cultura foi feita por um sistema de irrigação por gotejamento, semiautomatizado, com mecanismo de filtragem constituído por dois filtros de areia com taxa de filtragem lenta igual a 6,1 m³ m⁻² h⁻¹ e um filtro de disco 120 *mesh*, hidrômetro de 2", válvula de retenção de 2", injetor hidráulico de fertilizantes, manômetros de glicerina e pontos de tomada de pressão.

Embora tenha sido utilizado somente um sistema de irrigação, as águas foram aplicadas de forma individualizada, tendo o cuidado de se fazer a limpeza da tubulação em cada troca de água com descarga em dois sumidouros, sendo o primeiro localizado próximo do sistema de filtros para as retrolavagens e o segundo no final da área experimental.

Foi utilizada uma linha lateral com 5,9 m de comprimento para cada fileira de plantas, no espaçamento de 0,90 m e composta por tubogotejadores modelo Naantif[®] com diâmetro interno igual 0,014 m, não autocompensante, cilíndrico, com pré-filtro, de vazão média (q_e) igual a 5,87 L h⁻¹ à pressão de 204 kPa, com emissores espaçados 0,40 m entre si.

O manejo da irrigação, cujo turno de rega era de dois dias, foi feito com o auxílio do aplicativo Irriplus[®], com o qual se determinou a demanda hídrica do algodoeiro (ETc), utilizando-se o modelo de Penman-Monteith-FAO (ALLEN *et al.*, 2006) para o cálculo da ETo. Estimou-se a eficiência de aplicação (Ea) mediante avaliações de uniformidade de irrigação a campo, como sendo 96,0% (BERNARDO *et al.*, 2006). Mediante os resultados de ETc, Ea e q_e , foram calculados lâminas líquidas, lâminas brutas acumuladas no turno de rega e tempos de funcionamento do sistema de irrigação. Decorridas as aplicações, as lâminas líquidas de AR foram recalculadas a partir dos tempos de funcionamento.

Aos 9 e 57 DAE foram abertas trincheiras no final de três linhas laterais aleatórias, doze horas depois da última irrigação, medindo-se com fita milimétrica a largura da faixa molhada a cada 0,05 m de profundidade pelos emissores e calculando-se a porcentagem de área molhada média pela divisão entre a largura máxima e o espaçamento entre linhas laterais (MERRIAN & KELLER, 1978). A porcentagem de área molhada média ficou em 50%. Aos 133 DAE, foi feito o corte da irrigação, com 55% das maçãs abertas e 30% fisiologicamente maduras (BELTRÃO & AZEVEDO, 2008).

A água utilizada para a irrigação era proveniente da rede de abastecimento da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA - MG) em Janaúba – MG, captada no reservatório Bico da Pedra.

A ART foi captada por condução em gradiente, via 200 m de tubulação de PVC, desde a segunda lagoa de maturação da ETE da COPASA (último estágio do tratamento, antes do lançamento no rio Gorutuba) até o conjunto motobomba localizado na área experimental. A ARB, igualmente conduzida, foi captada após o medidor de vazão, no sistema de tratamento preliminar.

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos de fertirrigação da cultura foram os descritos a seguir: a) T0: Água limpa e cobertura com adubação mineral; b) T1: 100% do potássio em cobertura via ART; c) T2: 150% do potássio em cobertura via ART; d) T3: 100% do

potássio em cobertura via ARB; e) T4: 150% do potássio em cobertura via ARB. Utilizou-se água de abastecimento para o restante da exigência hídrica da cultura.

Os tratamentos foram diferenciados aos 35 DAE, aplicando-se pelo sistema de irrigação, as águas residuárias e as adubações em cobertura na testemunha. Até os 100 DAE, foram feitas 22 aplicações de água residuária (em média, 2,4 aplicações por semana).

Na testemunha, foram feitas seis adubações minerais de cobertura, totalizando 50,0 kg ha⁻¹ de N (111,1 kg ha⁻¹ de ureia) e 40,0 kg ha⁻¹ de K₂O (69,0 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio), conforme CFSEMG (1999). Essas mesmas doses de N e K₂O foram usadas para calcular as quantidades de águas residuárias aplicadas nos tratamentos, à exceção do T1 que recebeu dose adicional de 15,5 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, aos 76 DAE, para atingir a dose recomendada.

Mensalmente, foram coletadas amostras simples da AR no final de uma das linhas laterais, durante o horário das aplicações, sendo transferidas para recipientes apropriados, acondicionados em caixas de isopor com gelo e enviados ao laboratório para as análises de N total, N amoniacal, N nítrico, P total, K total, Na, Ca, Cu, Fe e B, segundo APHA *et al.* (2005). De posse dos resultados das análises da AR do mês anterior, eram calculadas as lâminas de fertirrigação com a AR nos respectivos tratamentos.

Foram coletadas aleatoriamente quatro amostras simples de solo dentro da parcela útil, na faixa molhada pelos emissores, distantes aproximadamente 0,05 m das fileiras de plantas, nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m aos 30 DAE e, 0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m aos 13 dias após a colheita (ocorrida aos 149 DAE). As quatro amostras simples formaram uma amostra composta para determinação da argila dispersa em água (ADA), condutividade elétrica (CE), granulometria (areia, silte e argila), pH em água, matéria orgânica (MO), P, K, H+Al, Na, Ca, Mg e Fe, conforme Donagema *et al.* (2011), obtendo-se a soma de bases, saturação por bases (V) e porcentagem de saturação por sódio (PST).

Os valores dentro de cada camada foram submetidos à análise de variância e testes de média para comparar os tratamentos entre si (Tukey) e com a testemunha (Dunnett), com uso do aplicativo SAEG 9.1.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cinco dias antes do início das aplicações dos tratamentos, foram coletadas amostras nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m das parcelas experimentais, não havendo diferença significativa entre os tratamentos para nenhuma das variáveis estudadas (Tabela 3.2). Isso comprova que a calagem e adubação de plantio foram uniformes em todas as parcelas experimentais.

TABELA 3.2. Resumo da análise de variância e médias de pH em água (pH_{H2O}), matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), saturação por bases (V), condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE), argila dispersa em água (ADA), percentual de sódio trocável (PST), areia, silte e argila no perfil do solo, realizadas aos 30 DAE do algodoeiro, antes da diferenciação dos tratamentos com adubação potássica via AR.

Prof. (cm)	FV	GL	Quadrado médio							
			pH _{H2O}	MO (dag kg ⁻¹)	P (mg dm ⁻³)	K (mg dm ⁻³)	Fe (mg dm ⁻³)	Na (cmol _c dm ⁻³)	Ca (cmol _c dm ⁻³)	V (%)
0-20	Bloc.	3	0,20	0,08	3,74	5600,58	30,26	0,0005	0,52	94,98
	Trat.	4	0,07 ^{ns}	0,12 ^{ns}	1,78 ^{ns}	1352,45 ^{ns}	32,57 ^{ns}	0,0005 ^{ns}	0,22 ^{ns}	16,38 ^{ns}
	Res.	12	0,18	0,06	2,21	7359,58	10,07	0,0005	0,25	27,11
CV (%)			6,02	16,19	61,27	34,06	14,24	21,30	13,01	6,41
Média			7,08	1,6	2,43	251,9	22,28	0,11	3,88	81,3
20-40	Bloc.	3	0,06	0,12	0,20	1847,78	15,71	0,002	0,17	12,45
	Trat.	4	0,16 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,55 ^{ns}	4722,67 ^{ns}	5,34 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,28 ^{ns}	39,93 ^{ns}
	Res.	12	0,18	0,07	0,29	3952,74	6,39	0,001	0,16	34,83
CV (%)			6,71	30,93	38,16	37,86	14,45	32,73	11,99	36,64
Média			6,4	0,9	1,4	166,1	17,5	0,11	3,4	73,6
			CE (dS m ⁻¹)	ADA (dag kg ⁻¹)	PST (%)	Areia (dag kg ⁻¹)	Silte (dag kg ⁻¹)	Argila (dag kg ⁻¹)		
0-20	Bloc.	3	0,13	8,12	0,12	42,72	44,60	88,85		
	Trat.	4	0,12 ^{ns}	3,42 ^{ns}	0,10 ^{ns}	16,18 ^{ns}	26,68 ^{ns}	31,13 ^{ns}		
	Res.	12	0,08	3,88	0,07	10,34	17,81	22,73		
CV (%)			29,84	26,08	20,58	6,18	16,42	21,43		
Média			0,97	7,56	1,33	51,8	25,4	22,8		
20-40	Bloc.	3	0,01	7,57	0,36	18,18	30,18	19,80		
	Trat.	4	0,02 ^{ns}	1,54 ^{ns}	0,15 ^{ns}	12,80 ^{ns}	20,08 ^{ns}	3,68 ^{ns}		
	Res.	12	0,03	2,36	0,27	5,60	10,98	7,51		
CV (%)			29,23	14,45	32,06	4,78	16,44	9,04		
Média			0,58	10,64	1,64	49,0	20,6	30,4		

^{*}Significativo a 5%, ^{**}significativo a 1% e ^{ns} não significativo, pelo teste F.

A aplicação de calcário dolomítico e a adubação de plantio (formulação NPK 4-30-10), ureia e cloreto de potássio, comparadas aos resultados da primeira amostragem de solo (Tabela 3.1), elevaram a saturação por bases e a condutividade elétrica nas duas camadas.

A elevação da CE ocorreu em função, principalmente, da fonte salina de potássio. No bloco 2 houve superioridade de saturação por bases em relação aos demais, talvez pelo maior conteúdo de matéria orgânica, já que, mesmo sem diferença significativa na ANAVA, percebia-se coloração mais escura pela melanização na camada de 0-0,20 m.

As concentrações médias de alguns constituintes das águas residuárias foram: a) ARB: 92,3 mg L⁻¹ de nitrogênio total; 13,4 mg L⁻¹ de fósforo; 30,3 mg L⁻¹ de potássio; 47,3 mg L⁻¹ de sódio; 3,2 mg L⁻¹ de cálcio; 73,0 mg L⁻¹ de óleos e graxas; 3,0 mg L⁻¹ de ferro; 642,7 mg L⁻¹ de DQO; pH igual a 7,2 e CE igual a 1,4 dS m⁻¹; b) ART: 32,7 mg L⁻¹ de nitrogênio total; 9,0 mg L⁻¹ de fósforo; 29,5 mg L⁻¹ de potássio; 60,9 mg L⁻¹ de sódio; 5,1 mg L⁻¹ de cálcio; 10,8 mg L⁻¹ de óleos e graxas; 1,1 mg L⁻¹ de ferro; 187,3 mg L⁻¹ de DQO; pH igual a 7,4 e CE igual a 1,2 dS m⁻¹. Nota-se que a ARB apresentou maior concentração de material orgânico e nitrogênio total e menor concentração de sódio.

Visando atender à demanda de potássio nos tratamentos em que houve aplicação de AR, foram aplicadas lâminas variando entre 110,6 (T3) e 177,4 mm, no T2 (Tabela 3.3). A maior lâmina de ART foi necessária, devido à sua menor concentração de potássio, o que proporcionou maior aporte de nitrogênio nos tratamentos submetidos à ARB bem como de fósforo, na forma de P₂O₅; de óleos e graxas; de ferro e de DQO (material orgânico), conforme pode ser verificado na Tabela 3.4. Comportamento contrário foi observado para o aporte de potássio, na forma de K₂O; o cálcio e o sódio, sendo os tratamentos submetidos à ART superiores aos da ARB. O maior aporte de sódio ocorreu no tratamento correspondente a 150% do fornecimento de potássio via ART (T2), em razão do conteúdo médio de sódio ser 29% maior na ART em relação à ARB. Além disso, também houve a maior demanda de ART para atender à carga de potássio nesse tratamento.

TABELA 3.3. Lâminas líquidas de águas residuárias (AR), precipitação efetiva (Chuva), lâminas líquidas complementares de irrigação (AL) e lâminas totais aplicadas nas parcelas experimentais, durante o ciclo do algodoeiro.

Trat.	AR	Chuva	AL	Total
	----- mm -----			
T0	0,0	9,4	482,3	491,7
T1	118,5	9,4	363,8	491,7
T2	177,4	9,4	304,9	491,7
T3	110,6	9,4	371,7	491,7
T4	166,3	9,4	316,1	491,7

T0: Água limpa e cobertura com adubação mineral; T1: 100% do potássio em cobertura via ART; T2: 150% do potássio em cobertura via ART; T3: 100% do potássio em cobertura via ARB; T4: 150% do potássio em cobertura via ARB.

Ao final do experimento, não foi observada diferença significativa entre tratamentos para o conteúdo de matéria orgânica e fósforo em nenhuma das camadas analisadas (Tabela 3.5). Para o pH, potássio, cálcio e saturação por bases, houve diferença somente nos primeiros 0,20 m do perfil. Na camada de 0,20-0,40 m houve diferença para o ferro e o sódio que também ocorreu nas camadas de 0-0,20 m e 0,40-0,60 m. Na última camada não houve diferença entre tratamentos para nenhuma das variáveis.

TABELA 3.4. Doses totais (kg ha^{-1}) dos constituintes químicos nitrogênio total (N), fósforo (P_2O_5), potássio (K_2O), sódio (Na), cálcio (Ca), óleos e graxas (O&G), ferro (Fe) e matéria orgânica (MO), fornecidos via adubação mineral (AM) e aporte ao solo via água residuária (AR) nos tratamentos.

Trat.	N*			P ₂ O ₅			K ₂ O			Na		
	AM	AR	Soma	AM	AR	Soma	AM	AR	Soma	AM	AR	Soma
T0	70,0	0,0	70,0	100,0	0,0	100,0	80,0	0,0	80,0	0,0	0,0	0,0
T1	35,5	37,5	73,0	100,0	23,8	123,8	40,0	40,2	80,2	0,0	69,0	69,0
T2	20,0	44,3	64,3	100,0	35,6	135,6	40,0	60,0	100,0	0,0	103,1	103,1
T3	20,0	70,1	90,1	100,0	36,5	136,5	40,0	38,0	78,0	0,0	52,7	52,7
T4	20,0	93,5	113,5	100,0	55,0	155,0	40,0	57,1	97,1	0,0	79,3	79,3

Trat.	Ca			O&G			Fe			DQO		
	AM	AR	Soma	AM	AR	Soma	AM	AR	Soma	AM	AR	Soma
T0	410,5	0,0	410,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T1	410,5	4,6	415,1	0,0	16,7	16,7	0,0	1,3	1,3	0,0	212,8	212,8
T2	410,5	6,8	417,4	0,0	25,1	25,1	0,0	2,0	2,0	0,0	318,1	318,1
T3	410,5	4,1	414,6	0,0	73,3	73,3	0,0	3,3	3,3	0,0	689,4	689,4
T4	410,5	6,2	416,7	0,0	110,1	110,1	0,0	4,9	4,9	0,0	1036,7	1036,7

*Corresponde ao nitrogênio disponibilizado para a cultura, conforme Matos (2006), adaptado; T0: Água limpa e cobertura com adubação mineral; T1: 100% do potássio em cobertura via ART; T2: 150% do potássio em cobertura via ART; T3: 100% do potássio em cobertura via ARB; T4: 150% do potássio em cobertura via ARB.

O material orgânico acrescentado pela AR foi insuficiente para promover alteração significativa do seu conteúdo no solo entre tratamentos (Tabela 3.6). Conceitualmente, a DQO pode ser usada para estimar o conteúdo de matéria orgânica de águas residuárias (MATOS, 2006). Neste sentido, para efeito de comparação, assumindo todo o seu aporte como o de matéria orgânica, nota-se que houve acréscimo de $1.036,7 \text{ kg ha}^{-1}$ no T4 (Tabela 3.4). Esse aporte é relativamente baixo, visto que alterações no conteúdo de matéria orgânica nos primeiros 0,05 m do solo ocorrem a partir da adição mínima de 5.200 kg ha^{-1} de resíduo sólido (DAMATTO JUNIOR *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2009). Portanto, realmente não era esperada alteração.

Além disso, durante os 62 dias compreendidos entre a última aplicação da AR e a coleta das amostras de solo, a maior parte do material orgânico adicionado ao solo pode ter mineralizado pela relação carbono/nitrogênio normalmente inferior a 30/1

(DUARTE *et al.*, 2008; SANTOS *et al.*, 2009). Ressalta-se que na ocasião das coletas de solo, as plantas de algodoeiro ainda não tinham sido arrancadas, gerando pouco incremento de material orgânico no solo.

TABELA 3.5. Resumo da análise de variância para pH em água (pH_{H2O}), matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e saturação por bases (V) no perfil do solo, realizadas depois da colheita do algodoeiro submetido a diferentes fontes de adubação potássica em cobertura.

Prof. (cm)	FV	GL	Quadrado médio							
			pH _{H2O}	MO (dag kg ⁻¹)	P (mg dm ⁻³)	K (mg dm ⁻³)	Fe (mg dm ⁻³)	Na (cmol _c dm ⁻³)	Ca (cmol _c dm ⁻³)	V (%)
0-20	Bloc.	3	0,100	0,233	2,187	1168,18	2,83	0,0018	0,148	17,12
	Trat.	4	0,379*	0,048 ^{ns}	0,701 ^{ns}	3070,25*	17,04 ^{ns}	0,005*	0,376*	95,45*
	Res.	12	0,088	0,096	1,72	721,18	7,09	0,001	0,104	19,62
	CV (%)		4,48	21,55	36,97	19,36	14,90	25,30	9,15	5,80
20-40	Bloc.	3	0,009	0,107	0,741	733,13	1,61	0,000	0,251	24,05
	Trat.	4	0,117 ^{ns}	0,063 ^{ns}	0,107 ^{ns}	1252,13 ^{ns}	5,89*	0,004*	0,133 ^{ns}	45,33 ^{ns}
	Res.	12	0,071	0,027	0,276	981,93	1,71	0,001	0,110	33,43
	CV (%)		4,14	20,26	30,65	25,37	8,84	29,46	11,47	8,46
40-60	Bloc.	3	0,038	0,086	1,606	396,98	0,958	0,0005	0,193	15,73
	Trat.	4	0,153 ^{ns}	0,044 ^{ns}	1,437 ^{ns}	953,88 ^{ns}	1,827 ^{ns}	0,005**	0,247 ^{ns}	66,93 ^{ns}
	Res.	12	0,241	0,032	0,977	543,94	2,357	0,0005	0,341	73,69
	CV (%)		8,11	38,21	70,35	30,00	10,19	19,44	20,78	13,69
60-80	Bloc.	3	0,027	0,054	0,926	82,73	1,02	0,0005	0,113	5,13
	Trat.	4	0,117 ^{ns}	0,032 ^{ns}	1,687 ^{ns}	469,30 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,0005 ^{ns}	0,117 ^{ns}	62,38 ^{ns}
	Res.	12	0,223	0,017	0,826	240,73	1,34	0,0005	0,351	58,18
	CV (%)		8,10	43,87	65,39	26,17	7,89	21,30	21,86	12,20

*Significativo a 5%, **significativo a 1% e ^{ns} não significativo, pelo teste F.

O conteúdo de fósforo disponível no solo encontra-se muito baixo em todo o perfil (CFSEMG, 1999), apesar do incremento de até 55 kg ha⁻¹ de P₂O₅ proporcionado pela AR, além da adubação de sementeira (Tabela 3.6).

O fósforo adicionado via AR, embora tenha sido quantificado como fósforo total, predomina nas formas orgânica e íon ortofosfato (VON SPERLING, 2005). Parte dos ortofosfatos, ao entrarem em contato com a fração coloidal do Latossolo, constituída por oxi-hidróxidos de ferro e alumínio, pode ser adsorvida a ela e, devido ao elevado pH do meio, associado à disponibilidade de cálcio (Tabela 3.6) também pode reagir com esse cátion, tornando-se insolúvel (NOVAIS *et al.*, 2007). Apesar de o extrator utilizado (Mehlich-1) solubilizar essa fração de fósforo ligada ao cálcio, os mesmos autores afirmam que, por outro lado, o extrator pode subestimar o conteúdo de fósforo devido ao efeito tamponante do solo sobre o extrator ácido, além da entrada rápida de íons SO₄²⁻ em sítios não ocupados pelo fosfato. Em relação à forma orgânica do fósforo, comportamento semelhante ao da matéria orgânica, descrito anteriormente, pode ter ocorrido.

Sandri *et al.* (2009) observaram resultados semelhantes nos primeiros 0,20 m do solo com aplicação de ART em dois ciclos de cultivo de alface. No presente trabalho, a despeito de não ter sido feita quantificação no perfil do solo antes da diferenciação dos tratamentos até a profundidade de 0,80 m (Tabela 3.2), pode-se inferir que o fósforo aportado ficou retido nas camadas iniciais do solo devido à baixa mobilidade e a fração não aproveitada pela cultura pode ter reagido com cátions (Ca^{2+}) e se tornado indisponível (NOVAIS *et al.*, 2007).

TABELA 3.6. Médias de pH em água ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$), matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e saturação por bases (V) no perfil do solo, após a colheita do algodoeiro submetido a diferentes fontes de potássio em cobertura.

Prof. (cm)	Trat	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	MO	P	K	Fe	Na	Ca	V
			(dag kg^{-1})	(mg dm^{-3})	(mg dm^{-3})	(mg dm^{-3})	($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	(%)
0-20	T0	6,6Aab	1,5Aa	3,2Aa	161,0Aa	16,1Aa	0,10Ab	4,0Aa	77,5Aab
	T1	7,0Aa	1,3Aa	3,3Aa	155,8Aa	17,5Aa	0,15Aab	3,5Aab	80,5Aa
	T2	6,9Aa	1,5Aa	3,2Aa	160,0Aa	15,8Aa	0,18Ba	3,6Aab	79,0Aa
	T3	6,5Aab	1,5Aa	4,1Aa	110,0Ba	20,1Aa	0,10Ab	3,5Aab	76,8Aab
	T4	6,2Ab	1,5Aa	4,0Aa	107,0Ba	20,0Aa	0,10Ab	3,1Bb	68,0Bb
Média	6,6	1,5	3,5	138,8	17,9	0,13	3,5	76,4	
20-40	T0	6,3Aa	0,7Aa	1,5Aa	129,8Aa	13,4Aa	0,10Aa	3,1Aa	68,0Aa
	T1	6,6Aa	0,7Aa	1,6Aa	138,5Aa	14,7Aa	0,13Aa	2,9Aa	69,8Aa
	T2	6,6Aa	1,0Aa	1,8Aa	139,5Aa	13,9Aa	0,18Ba	3,1Aa	72,8Aa
	T3	6,4Aa	0,9Aa	1,9Aa	100,5Aa	16,0Ba	0,10Aa	2,8Aa	67,8Aa
	T4	6,3Aa	0,8Aa	1,8Aa	109,3Aa	16,0Ba	0,10Aa	2,7Aa	63,5Aa
Média	6,4	0,8	1,7	123,5	14,8	0,12	2,9	68,4	
40-60	T0	5,8Aa	0,4Aa	1,3Aa	82,8Aa	15,7Aa	0,10Aa	2,9Aa	62,3Aa
	T1	6,2Aa	0,5Aa	1,3Aa	93,8Aa	14,4Aa	0,10Aa	2,9Aa	65,0Aa
	T2	6,3Aa	0,6Aa	2,5Aa	89,3Aa	15,9Aa	0,18Bb	3,1Aa	68,0Aa
	T3	6,0Aa	0,4Aa	1,0Aa	59,0Aa	14,8Aa	0,10Aa	2,6Aa	61,8Aa
	T4	5,9Aa	0,5Aa	1,0Aa	64,0Aa	14,6Aa	0,10Aa	2,5Aa	57,0Aa
Média	6,1	0,5	1,4	77,8	15,1	0,12	2,8	62,8	
60-80	T0	5,6Aa	0,2Aa	1,1Aa	61,0Aa	14,0Aa	0,10Aa	2,6Aa	58,8Aa
	T1	6,0Aa	0,4Aa	1,2Aa	74,3Aa	15,0Aa	0,10Aa	2,9Aa	65,5Aa
	T2	6,0Aa	0,3Aa	2,5Aa	63,8Aa	15,3Aa	0,13Aa	2,9Aa	67,5Aa
	T3	5,7Aa	0,2Aa	0,9Aa	48,3Aa	14,2Aa	0,10Aa	2,5Aa	58,8Aa
	T4	5,9Aa	0,4Aa	1,2Aa	49,3Aa	14,9Aa	0,10Aa	2,7Aa	62,0Aa
Média	5,8	0,3	1,4	59,3	14,7	0,11	2,7	62,5	

T0: Água limpa e cobertura com adubação mineral; T1: 100% do potássio em cobertura via ART; T2: 150% do potássio em cobertura via ART; T3: 100% do potássio em cobertura via ARB; T4: 150% do potássio em cobertura via ARB. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula da testemunha (T0) na coluna, dentro da camada, não diferem dela, pelo teste de Dunnett e médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, dentro da camada, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Além disso, os níveis de fósforo disponível no solo não foram alterados, havendo tendência de aumento apenas nos tratamentos com ARB. Resultado semelhante foi relatado por Medeiros *et al.* (2011), ao aplicarem diferentes diluições de águas residuárias tratadas de suinocultura (ARS) em Latossolo Vermelho Amarelo cultivado por algodoeiro BRS Camaçari, chegando ao aporte de P_2O_5 estimado em 746 kg ha^{-1} ao

final de dois ciclos de cultivo, em tratamento que recebeu 100% do efluente no atendimento à exigência hídrica da cultura.

Para o pH do solo, nos primeiros 0,20 m não houve diferença entre os tratamentos submetidos a AR e a testemunha mineral (Tabela 3.6). Porém, em relação ao pH, o T4 (6,2) foi menor que o T1 e o T2, sendo igual ao T0 e T3. Nas demais camadas tendeu à redução, sem diferir entre tratamentos, semelhante ao observado por Medeiros *et al.* (2005a). Xu *et al.* (2010) verificaram que as áreas submetidas à aplicação de ART há mais tempo apresentaram redução significativa do pH em todo o perfil do solo. O pH do solo sem aplicação da ART situou-se entre 6,5 e 7,0 enquanto que o solo submetido à ART, após 20 anos de aplicação constante, apresentou pH entre 5,4 e 6,3, sendo menor a 0,90 m de profundidade.

Ratificando os resultados de pH constatados no presente trabalho, Kiziloglu *et al.* (2008) verificaram alterações no pH da camada de 0-0,30 m do solo irrigado com AR, havendo formação de acidez com uso de ARB. É comum o abaixamento do pH do solo em áreas cuja aplicação de resíduos orgânicos brutos não estabilizados é recente ou contínua e em doses elevadas, devido a fase inicial de degradação do material orgânico ser ácida, por produzir dióxido de carbono e ácidos orgânicos (MATOS, 2006).

Na camada de 0-0,20 m os conteúdos de potássio nos tratamentos em que houve aplicação de ARB foram menores que no T0 (Tabela 3.6). No T0, a média observada foi 161, no T2 foi 160 e no T4 foi 107 mg dm⁻³, sendo considerados esses conteúdos muito bom, muito bom e bom, respectivamente (CFSEMG, 1999). Antes do início das aplicações de AR nos tratamentos, o conteúdo de potássio tanto na camada 0-0,20 quanto na 0,20-0,40 m era considerado muito bom (Tabela 3.2). Como os aportes desse nutriente via AR ficaram próximos aos estabelecidos, isto é, do T2 igual a 60 kg ha⁻¹ de K₂O e T4 igual a 57,1 kg ha⁻¹ de K₂O (Tabela 3.4) e não foi feita quantificação nas plantas ao final do ciclo, provavelmente as maiores quantidades de N e P disponibilizadas pelo T4 tenham proporcionado elevação na absorção do potássio, sendo este exportado no algodão (ROSOLEM & WITACKER, 2007). O mesmo raciocínio é válido para o T3.

De modo semelhante ao observado no presente trabalho, Medeiros *et al.* (2011) registraram mais alto conteúdo de potássio no solo em tratamento com 100% de água residuária de suinocultura (ARS) no algodoeiro (aporte de 1.493 kg ha⁻¹ de K₂O), comparado com a testemunha mineral, na camada de 0-0,20 m. No restante do perfil não houve diferença entre os tratamentos, tendendo a reduzir o conteúdo com a

profundidade. Devido a essa redução, os autores afirmaram que não houve lixiviação de íons potássio.

Os maiores conteúdos de ferro solúvel (19,4%) ocorreram no solo dos tratamentos submetidos à aplicação de ARB, na camada de 0,20-0,40 m, comparados ao T0 (Tabela 3.6), em função do maior aporte de ferro (Tabela 3.4). Em relação ao início das adubações de cobertura (Tabela 3.2), os conteúdos de ferro ficaram 19,7% e 15,4% mais baixos nas camadas 0-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente. Nos tratamentos submetidos à ARB, a diferença na camada de 0,20-0,40 m foi 8,6% menor, devido ao maior conteúdo desse elemento naquela AR. A aplicação de ARB geralmente eleva o conteúdo de ferro no solo (KIZILOGLU *et al.*, 2008), mas também há situações sem alteração (MEDEIROS *et al.*, 2011). Sua elevação pode favorecer o cultivo agrícola como também pode promover fitotoxidez, por ser micronutriente (NOVAIS *et al.*, 2008).

Os conteúdos de cálcio e a saturação por bases na camada de 0-0,20 m do T4 foram menores que no T0 (Tabela 3.6). O cálcio no T4 ficou significativamente igual aos tratamentos T1, T2 e T3. Já a saturação por bases no T4 diferiu dos tratamentos T1 e T2 (Tabela 3.6). Os níveis de cálcio e a saturação por bases em todos os tratamentos encontraram-se bons ao final do ciclo da cultura (CFSEMG, 1999).

Como a produtividade de algodão em caroço do T4 (3.843,1 kg ha⁻¹) foi 50,8% superior a do T0 (2.548,6 kg ha⁻¹) e o conteúdo de cálcio no solo ficaram 22,5% abaixo do T0, talvez as plantas do T4 tenham exportado mais Ca e, conseqüentemente, mais baixo conteúdo foi observado ao final do ciclo. Outra explicação pode estar associada ao prolongamento do ciclo no T4, proporcionado pelo fornecimento de nitrogênio e fósforo, ter propiciado maior absorção de cálcio. Em relação à coleta realizada aos 30 DAE (Tabela 3.2), ao final do ciclo, o conteúdo de cálcio no T4 se encontrava 20,1% mais baixo e o T0, 3,1% acima. No geral, é importante notar que seus conteúdos, ao final do ciclo, se mantiveram em níveis adequados (CFSEMG, 1999).

O cálcio adicionado ao solo, em sua maioria proveniente de fonte calcária (Tabela 3.4), apresenta baixa mobilidade no solo (NOVAIS *et al.*, 2007). Por isso, não se observaram diferenças significativas nas demais camadas avaliadas.

Os conteúdos mais baixos de nutrientes ao final do ciclo do algodoeiro são indícios de que podem ser aplicadas maiores doses de água residuária na cultura, sobretudo a ARB, visando suprir sua exigência nutricional e repor os nutrientes do solo, promovendo a sustentabilidade do processo produtivo.

Os percentuais de saturação por bases mais altos no T1 e no T2 são explicados pelo maior aporte de sódio veiculado pela ART, além dos conteúdos de potássio e cálcio ficarem um pouco acima dos tratamentos submetidos à ARB. Comparados aos percentuais observados aos 30 DAE (Tabela 3.2), no T4 houve redução de 16,4% na saturação por bases, nos primeiros 0,20 m do perfil do solo.

Devido ao maior aporte de sódio nos tratamentos em que houve aplicação de ART, seu conteúdo médio no T2 foi superior ao do T0 nas camadas 0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, ficando também acima dos tratamentos submetidos à ARB (Tabela 3.6). O maior acúmulo de sódio até os 0,60 m de profundidade pode ser explicado pelo monitoramento da irrigação, pois as lâminas aplicadas tinham por objetivo elevar o teor de água do solo até a condição de capacidade de campo nos primeiros 0,40 m do perfil. Como o sódio, por ser muito móvel no solo em condições úmidas (FERREIRA *et al.*, 2011; PIZARRO, 1978), tende a se acumular na periferia do bulbo molhado e as coletas de solo foram feitas dentro da faixa molhada pelos emissores, parte dele ficou retido também na camada de 0,40-0,60 m, onde em teste de campo se notou a maior profundidade do bulbo (0,53 m, Figura 2.1b).

Um dos problemas do sódio, comumente presente em quantidades elevadas em águas residuárias, quando associado a baixos incrementos de outros cátions no complexo sortivo do solo, é alterar a sua condição física, devido ao risco de dispersão de argila (FERREIRA *et al.*, 2011; FONSECA *et al.*, 2007; KIZILOGLU *et al.*, 2008; LEAL *et al.*, 2009; MEDEIROS *et al.*, 2005b; MEDEIROS *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2010; VARALLO *et al.*, 2010). Nesse sentido, foram analisadas algumas variáveis associadas a estas alterações pretendendo o monitoramento do solo (Tabela 3.7).

Na camada de 0,40-0,60 m houve aumento da CE no T2, comparado ao T0. A PST no T2 ficou mais alta que no T0, nas camadas 0-0,20 e 0,40-0,60 m, sendo que nesta última camada também ficou superior aos demais tratamentos (Tabela 3.8). Esse aumento da PST e da CE na camada de 0,40-0,60 m pode ser explicado pelo acúmulo de sais provenientes da ART na periferia da faixa molhada pelos emissores. A PST e a CE do solo são usadas para a sua classificação quanto à salinidade e sodicidade (PIZARRO, 1978). De acordo com esse autor, normalmente os solos apresentam PST abaixo de 7% e CE abaixo de 2 dS m⁻¹. Portanto, os tratamentos aplicados não promoveram alteração na classe de solo, de forma semelhante aos resultados encontrados por Silva *et al.* (2010) e Varallo *et al.* (2012). Todavia, principalmente

devido ao aporte de sódio, aplicações sequenciais podem proporcionar comprometimento do solo.

Provavelmente devido à absorção de nutrientes pelas plantas, ao final do ciclo percebeu-se redução de 45,3% e 27,6% nos valores de CE, comparada à coleta feita antes da diferenciação dos tratamentos, nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente (Tabela 3.2). Já para a PST, nessas camadas houve aumento de 30,8% e 15,2%, em função principalmente do incremento de Na⁺ no complexo sortivo do solo.

Para a areia, silte e argila não se observou alteração em profundidade (Tabela 3.7 e Tabela 3.8) em função do avançado grau de intemperismo e à mineralogia oxídica do Latossolo, com predominância de oxi-hidróxidos de ferro e alumínio, como a hematita, goethita e gibbsita. Os Latossolos dificilmente sofrem mudanças em tão pouco tempo, sendo mais comum a alteração na estrutura, pelo aumento do risco de dispersão de argila quando da aplicação de água rica em sódio (ALMEIDA NETO *et al.*, 2009).

TABELA 3.7. Resumo da análise de variância para as variáveis condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE), argila dispersa em água (ADA), percentual de sódio trocável (PST), areia, silte e argila, realizadas no perfil do solo depois do cultivo do algodoeiro submetido a diferentes fontes de adubação potássica em cobertura.

Prof. (cm)	FV	GL	Quadrado Médio					
			CE (dS m ⁻¹)	ADA (dag kg ⁻¹)	PST (%)	Areia (dag kg ⁻¹)	Silte (dag kg ⁻¹)	Argila (dag kg ⁻¹)
0-20	Bloc.	3	0,04	7,83	0,48	26,53	18,18	8,85
	Trat.	4	0,04 ^{ns}	23,65 ^{**}	0,92 [*]	4,80 ^{ns}	20,08 ^{ns}	17,18 ^{ns}
	Res.	12	0,02	3,65	0,18	9,20	33,48	37,98
	CV (%)		28,82	18,41	24,52	5,86	26,12	23,66
20-40	Bloc.	3	0,03	6,22	0,04	7,87	5,33	3,07
	Trat.	4	0,03 ^{ns}	20,53 [*]	0,99 ^{ns}	8,45 ^{ns}	7,95 ^{ns}	9,63 ^{ns}
	Res.	12	0,01	5,12	0,37	8,28	8,25	14,36
	CV (%)		24,40	16,08	32,39	5,92	15,61	11,48
40-60	Bloc.	3	0,037	2,86	0,18	8,98	4,18	10,73
	Trat.	4	0,04 ^{**}	22,57 [*]	0,88 ^{**}	5,83 ^{ns}	3,83 ^{ns}	5,80 ^{ns}
	Res.	12	0,005	5,52	0,12	5,86	28,23	30,73
	CV (%)		19,31	16,79	19,59	5,48	27,74	15,11
60-80	Bloc.	3	0,062	1,67	0,06	9,27	22,40	16,20
	Trat.	4	0,008 ^{ns}	8,94 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,83 ^{ns}	4,63 ^{ns}	6,58 ^{ns}
	Res.	12	0,015	7,38	0,12	3,39	17,86	23,91
	CV (%)		37,26	17,25	19,82	4,29	23,48	12,51

^{*}Significativo a 5%, ^{**} significativo a 1% e ^{ns} não significativo, pelo teste F.

O solo se enquadra na classe textural franco-argilo-arenosa na superfície e com o aumento do conteúdo de argila no perfil atinge a classe franco argiloso na camada de 0,60-0,80 m, porém, este gradiente não é suficiente para caracterizar presença de B textural ou nítico (EMBRAPA, 2006).

O T4 apresentou o menor valor de ADA em relação ao T0, com argila floculada mais elevada até 0,60 m de profundidade (Tabela 3.8). Isso provavelmente aconteceu pelo maior aporte de sólidos (suspensos, coloidais e dissolvidos) promovido pela ARB que, além de propiciar a obstrução (selamento) de poros na superfície do solo (sólidos suspensos = óleos e graxas), podem translocar no perfil (fração coloidal e dissolvida) proporcionando também a floculação de argila, por formar pontes entre as partículas, por meio de cátions ligantes (MATOS, 2006; SOUZA *et al.*, 2010; TRAVIS *et al.*, 2010). Comparada ao T0, a redução média no conteúdo de ADA até a profundidade supracitada é de 37,6%, o que pode ser considerado vantajoso ao solo. Inclusive, diante desse resultado, pode-se pensar na utilização da ARB para recuperar solos com problemas de dispersão de argila.

TABELA 3.8. Médias de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE), argila dispersa em água (ADA), percentual de saturação de sódio (PST), areia, silte e argila, realizadas no perfil do solo depois do cultivo do algodoeiro submetido a diferentes fontes de adubação potássica em cobertura.

Prof. (cm)	Trat.	CE (dS m ⁻¹)	ADA (dag kg ⁻¹)	PST (%)	Areia (dag kg ⁻¹)	Silte (dag kg ⁻¹)	Argila (dag kg ⁻¹)
0-20	T0	0,53Aa	12,69Aa	1,30Ab	51,5Aa	24,5Aa	24,0Aa
	T1	0,53Aa	10,94Aa	2,15Aab	50,0Aa	22,8Aa	27,2Aa
	T2	0,68Aa	10,49Aab	2,35Ba	52,5Aa	23,5Aa	24,0Aa
	T3	0,53Aa	11,50Aa	1,43Aab	52,5Aa	18,8Aa	28,7Aa
	T4	0,40Aa	6,29Bb	1,45Aab	52,5Aa	21,3Aa	26,2Aa
	Média	0,53	10,38	1,74	51,8	22,2	26,1
20-40	T0	0,38Aa	16,35Aa	1,55Aa	48,3Aa	19,8Aa	32,0Aa
	T1	0,50Aa	14,28Aab	2,05Aa	46,3Aa	19,3Aa	34,5Aa
	T2	0,53Aa	12,39Bab	2,70Aa	49,8Aa	19,0Aa	31,3Aa
	T3	0,33Aa	16,13Aab	1,58Aa	49,8Aa	17,8Aa	32,5Aa
	T4	0,38Aa	11,20Bb	1,58Aa	49,0Aa	16,3Aa	34,8Aa
	Média	0,42	14,07	1,89	48,6	18,4	33,0
40-60	T0	0,28Aa	14,46Aab	1,55Ab	46,0Aa	19,3Aa	34,7Aa
	T1	0,38Aa	14,39Aab	1,55Ab	44,3Aa	17,8Aa	38,0Aa
	T2	0,53Ba	14,80Aab	2,63Ba	44,3Aa	19,0Aa	36,8Aa
	T3	0,33Aa	16,34Aa	1,65Ab	43,5Aa	19,3Aa	37,3Aa
	T4	0,30Aa	9,99Bb	1,58Ab	42,8Aa	20,5Aa	36,8Aa
	Média	0,36	14,00	1,79	44,1	19,2	36,7
60-80	T0	0,38Aa	16,83Aa	1,63Aa	43,3Aa	19,8Aa	37,0Aa
	T1	0,35Aa	15,84Aa	1,63Aa	42,5Aa	18,0Aa	39,5Aa
	T2	0,38Aa	16,46Aa	2,05Aa	42,5Aa	17,0Aa	40,5Aa
	T3	0,28Aa	16,46Aa	1,63Aa	43,5Aa	17,3Aa	39,3Aa
	T4	0,30Aa	13,15Aa	1,70Aa	42,8Aa	18,0Aa	39,3Aa
	Média	0,34	15,75	1,73	42,9	18,0	39,1

T0: Água limpa e cobertura com adubação mineral; T1: 100% do potássio em cobertura via ART; T2: 150% do potássio em cobertura via ART; T3: 100% do potássio em cobertura via ARB; T4: 150% do potássio em cobertura via ARB. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula da testemunha (T0) na coluna, dentro da camada, não diferem dela, pelo teste de Dunnett e médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, dentro da camada, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

3.4. CONCLUSÕES

A aplicação de águas residuárias sanitárias na forma bruta filtrada (ARB) e tratada filtrada, em nível terciário (ART), ao suprir a exigência potássica em cobertura do algodoeiro, não promoveu excesso dos demais constituintes químicos no solo, até a profundidade de 0,80 m.

Apesar de não ter sido aplicado em excesso, o tratamento correspondente a 150% da dose de potássio em cobertura via ART proporcionou aumento do conteúdo de sódio nas camadas de 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, da PST nas camadas de 0-0,20 e 0,40-0,60 m e da CE na camada de 0,40-0,60 m, podendo comprometer a qualidade do solo e/ou das águas subterrâneas depois de aplicações sucessivas.

O fornecimento de ARB correspondendo a 150% da dose de potássio promoveu redução no pH do solo nos primeiros 0,20 m do perfil analisado e redução no conteúdo de argila dispersa até a profundidade de 0,60 m.

3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.** Rome: FAO, 2006. 320 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).

ALMEIDA NETO, O. B.; MATOS, A. T.; ABRAHÃO, W. A. P.; COSTA, L. M.; DUARTE, A. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1571-1581, 2009.

APHA [AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION]; AWWA [AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION]; WEF [WATER ENVIRONMENT FEDERATION]. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 21 ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005. 1268 p.

BASTOS, R. K. X. (coord.) **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura.** Rio de Janeiro: ABES-Rima / PROSAB. 2003. 253p.

BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de (ed.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 2 v., 1309 p.

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

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (CFSEMG). RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

DAMATTO JÚNIOR, E. R.; VILLAS BÔAS, R. L.; LEONEL, S.; FERNANDES, D. M. Alterações em propriedades de solo adubado com doses de composto orgânico sob cultivo da bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 3, p. 546-549, 2006.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (org.). **Manual de métodos de análises de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

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**, v. 12, n. 3, p. 302-310, 2008.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa-SPI, 2 ed., 2006. 306 p.

FERREIRA, D. C.; SOUZA, J. A. R. de; BATISTA, R. O.; CAMPOS, C. M. M.; MATANGUE, M. T. A.; MOREIRA, D. A. Nutrient inputs in soil cultivated with coffee crop fertigated with domestic sewage. **Revista Ambiente & Água**, v. 6, n. 3, p. 77-85, 2011.

FONSECA, A. F. da; HERPIN, U.; PAULA, A. M. de; VICTÓRIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 2, p. 194-209, 2007.

KIZILOGLU, F. M.; TURAN, M.; SAHIN, U.; KUSLU, Y.; DURSUN, A. Effect of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower

(*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. **Agricultural Water Management**, 95, p. 716-724, 2008.

LEAL, R. M. P.; HERPIN, U.; FONSECA, A. F. da; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 307-316, 2009.

MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas do Estado de Minas Gerais, DEA/UFV, 2006. 140p. (Série Caderno Didático, 38).

MEDEIROS, S. de S.; GHEYI, H. R.; PÉREZ-MARTIN, A. M.; SOARES, F. A. L.; FERNANDES, P. D. Características químicas do solo sob algodoeiro em área que recebeu água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1047-1055, 2011.

MEDEIROS, S. de S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C. L.; MATOS, A. T. de; SOUZA, J. A. A. de. 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, 2005a.

MEDEIROS, S. de S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; SOUZA, J. A. A. de., SOUZA, J. A. de; MATOS, A. T. de. Comportamento dos atributos químicos do solo em resposta à aplicação de água residuária de origem doméstica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, suplemento, p. 268-273, 2005b.

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

NOVAIS, R. F.; ALVARES V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007, 1017 p.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Madrid: Editora Agrícola Española, 1978, 521 p.

ROSOLEM, C. A.; WITACKER, J. P. T. Adubação foliar com nitrato de potássio em algodoeiro. **Bragantia**, v. 66, n. 1, p. 147-155, 2007.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Alterção química do solo irrigado por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 755-764, 2009.

SANTOS, A. J. M.; OLIVEIRA, M. R. de; BACKES, C.; GODOY, L. J. G. de; BÜLL, L. T.; KIIHL, T. A. M. Características químicas e físicas de um solo após colheita de tapetes de grama esmeralda adubada com lodo de esgoto. **Revista Eletrônica de Agronomia**, v. 16, n. 2, p. 21-30, 2009.

SILVA, D. F.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; CECON, P. R.; MOREIRA, D. A. Disponibilidade de sódio em solo com capim tifton e aplicação de percolado de resíduo sólido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 10, p. 1094-1100, 2010.

SOUZA, J. A. A. de; BATISTA, R. O.; RAMOS, M. M.; SOARES, A. A. Alterações nas características físicas do solo decorrentes da aplicação de esgoto doméstico tratado. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 32, n. 4, p. 361-366, 2010.

TRAVIS, M. J.; WIEL-SHAFRAN, A.; WEISBROD, N.; ADAR, E.; GROSS, A. Greywater reuse for irrigation: Effect on soil properties. **Science of the Total Environment**, v. 408, p. 2501-2508, 2010.

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**, v. 14, n. 4, p. 372 – 377, 2010.

VARALLO, A. C. T.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. de L. Mudanças nas características físico-químicas de um latossolo vermelho-amarelo distrófico após a irrigação com água de reúso na cultura da alface-crespa (*Lactuca sativa*, L.). **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 2, p. 271-279, 2012.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005. 452p.

XU, J.; WU, L.; CHANG, A. C.; ZHANG, Y. Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: a preliminary assessment. **Journal of Hazardous Materials**, 183, p. 780-786, 2010.

CONCLUSÕES GERAIS

Nas condições do semiárido mineiro, com a cultivar de algodoeiro NuOpal BG RR utilizada no presente estudo, pode-se concluir que os tratamentos submetidos à ARB, por aportarem mais nutrientes, proporcionaram plantas mais vigorosas e mais produtivas que aquelas submetidas à cobertura potássica mineral, sem alterações negativas nos atributos do solo. Para a obtenção de maiores produtividades do algodoeiro NuoPal BG RR, recomenda-se a substituição da adubação potássica mineral em cobertura pela dose equivalente a 150% do recomendado para a cultura, fornecida via ARB, sendo atendida também a necessidade da cultura em nitrogênio. Pode-se substituir a adubação potássica mineral em cobertura pela dose equivalente a 100% do fornecimento do potássio requerido via ART, sem comprometimento da qualidade do solo, devendo ser complementada a exigência em nitrogênio via fonte mineral. Quando da aplicação em cultivos sucessivos, o uso da ART pode ser mais propenso no comprometimento do processo produtivo, devido ao desequilíbrio químico no solo proporcionado pelo sistema de tratamento.

ANEXO

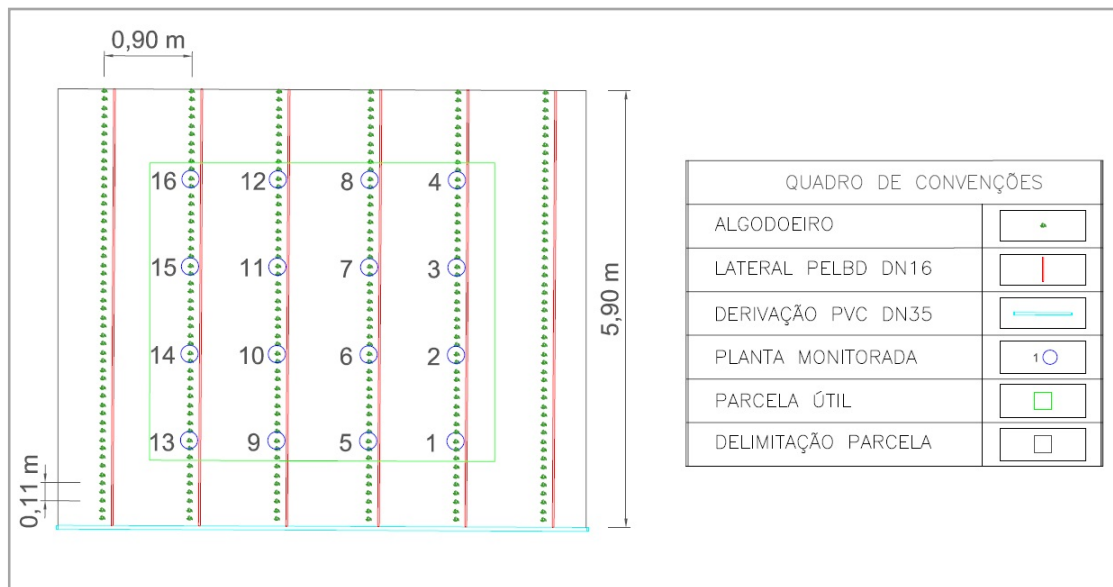


FIGURA 1.A. Croqui de uma parcela experimental com plantas marcadas para as avaliações de crescimento.



FIGURA 1.B. Vista parcial das parcelas experimentais do algodoeiro dois dias antes da colheita (a) e de uma parcela útil quatro dias depois da colheita (b).