

Crescimento e nutrição foliar de mudas de *Eucalyptus* sp. irrigadas com diferentes qualidades de água

Growth and nutrition leaf of *Eucalyptus* sp. due to the use of different water qualities

Silvania A. Rocha¹, Giovanni O. Garcia², Marcela S. Lougon³, Roberto A. Cecílio³ e Marcos V. W. Caldeira³

¹ Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900 - Brasília - Brasil, E-mail: silvaniarocha@yahoo.com.br

² Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, s/n, cx postal 16, 29.500.000, Alegre - Espírito Santo, Brasil. E-mail: giovanni.garcia@ufes.br, author for correspondence

³ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Governador Lindemberg, 316, Centro, 29.550.000, Jerônimo Monteiro - Espírito Santo, Brasil. E-mail: marcelalougon@gmail.com; roberto.cecilio@ufes.br; mwwcaldeira@gmail.com

Recebido/Received: 2012.08.27

Aceitação/Accepted: 2013.05.23

RESUMO

A utilização de efluentes na irrigação como fontes de nutrientes pode reduzir, ou mesmo eliminar, a necessidade de fertilizantes comerciais. Pesquisas estão sendo desenvolvidas no sentido de avaliar o potencial de uso de diferentes qualidades de água como fontes de nutrientes para as plantas. Neste contexto, realizou-se um ensaio para avaliar o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e *E. 'urograndis'* após 80 dias de utilização de água de abastecimento, água de piscicultura e efluente de esgoto doméstico tratado. Foram analisadas características de crescimento e nutrição foliar em função da espécie e da qualidade da água de irrigação. As características de crescimento avaliadas foram altura da parte aérea, diâmetro do colo, área foliar, massa seca da raiz, massa seca total, massa seca da parte aérea, relação entre parte aérea e raiz, taxa de crescimento absoluto, taxa de crescimento relativo, razão de área foliar, taxa de assimilação líquida, relação entre altura da parte aérea e diâmetro do colo e porcentagem de raízes de cada espécie. De acordo com os resultados, as melhores taxas de crescimento foram obtidas com a utilização de efluente de esgoto doméstico tratado; a espécie *E. 'urograndis'* apresentou maior crescimento para a maioria das características avaliadas. Em relação à análise foliar, as três qualidades de água proporcionaram teores semelhantes de macro e micronutrientes nas folhas das mudas, com exceção do azoto e do boro, cujos teores foram maiores nas mudas fertirrigadas com o efluente de esgoto.

Palavras-chave: fertirrigação, nutrientes, reutilização de água.

ABSTRACT

The use of effluents for irrigation as nutrient sources may reduce, or even eliminate, the need for commercial fertilizers. Research is being undertaken to assess the potential use of water with different qualities as sources of plant nutrients. In this context, we carried out an experiment to study the growth of seedlings of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake and *E. 'urograndis'* after 80 days of use of tap water, water from pisciculture and treated domestic sewage effluent. Growth parameters and mineral composition were analyzed for all species and treatments. The growth characteristics evaluated were shoot height, stem diameter, leaf area, root dry mass, total dry weight, shoot dry weight, the ratio between shoot and root, absolute growth rate, relative growth rate, leaf area ratio, net assimilation rate, ratio between shoot height and diameter and percentage of roots of each species. According to the results, the best growth rates were obtained with the use of treated sewage effluent; *E. 'urograndis'* showed the greatest growth for most parameters evaluated. Regarding leaf analysis, the three types of water led to similar levels of macro and micronutrients in the highest of seedlings, with the exception of nitrogen and boron, whose levels were highest in seedlings fertigated with sewage effluent.

Keywords: fertigation, nutrients, water reuse

Introdução

O eucalipto é a espécie florestal mais adotada nos programas de reflorestamento no Brasil. As características de rápido crescimento, boa adaptação às condições climáticas e edáficas existentes em expressiva área do país, principalmente as da região de cerrado, explicam a participação importante dessa essência nos povoamentos tecnicamente implantados para fins de reflorestamento (Neves *et al.*, 1990).

As florestas plantadas de eucalipto no Brasil atingem, hoje, uma área de 4 515 730 ha e estão em franca expansão na maioria dos estados brasileiros (ABRAF, 2010). Todavia, a crescente redução da disponibilidade de recursos hídricos; os custos elevados dos fertilizantes; a alta demanda por nutrientes em função das extensas áreas utilizadas em plantios comerciais, o que muitas vezes implica aquisição de terras mais baratas e, conseqüentemente, com maiores limitações, interferem na produtividade florestal.

Dentro desse contexto, a utilização de águas de qualidade inferior, tais como esgotos de origem doméstica, águas de piscicultura e drenagem agrícola apresentam-se como uma alternativa para suprir parte da demanda hídrica e de nutrientes. Segundo Blum (2003), essas águas geralmente contêm os nutrientes necessários para o crescimento de plantas, tais como fósforo, azoto, potássio, zinco, boro e enxofre, cujos teores atendem, se não toda, pelo menos boa parte das necessidades das plantas em geral.

Estudos realizados em outros países têm demonstrado a eficiência do uso das águas residuais na fertirrigação de culturas agrícolas, com obtenção de excelentes resultados (Bastos, 1999). Além da fertirrigação aumentar a disponibilidade hídrica e servir como fonte de nutrientes para as plantas, reduzindo assim os custos com a aquisição de fertilizantes químicos comerciais, a aplicação de efluente no solo é vista como uma forma efetiva de controle da poluição (Madeira *et al.*, 2002; Medeiros *et al.*, 2005). Porém, quando se pretende a utilização de esgotos sanitários para irrigação, além dos aspectos de saúde humana e animal, deve ser considerado o potencial fertilizante dos esgotos sanitários, procurando-se o melhor balanço possível entre a demanda e a oferta de água e nutrientes (Bastos e Bevilacqua, 2006). Dessa forma, na utilização de tais águas como fonte de nutrientes torna-se necessário o acompanhamento do crescimento e da nutrição foliar com a finalidade de evitar possíveis problemas de toxicidade nas plantas ou mesmo de deficiência de nutrientes. Na caracterização do estado nutricional das plantas têm sido procurados meios indiretos como alterna-

tiva para o uso dos valores das concentrações dos nutrientes nos tecidos. Número de folhas, diâmetro do caule, altura da planta, área foliar e outras características morfológicas e fisiológicas da planta, em determinada fase do crescimento da cultura, podem servir como indicativos da deficiência de determinado nutriente no solo (Fontes, 2001).

Assim, pensando no aproveitamento dos nutrientes contidos em efluente de esgoto e água de piscicultura, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o crescimento e a nutrição foliar de mudas de *Eucalyptus* sp. submetidas a diferentes qualidades de água de irrigação.

Materiais e Métodos

O ensaio foi conduzido no período de fevereiro a junho de 2010 em estufa localizada no Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Jerônimo Monteiro, localizada na região sul do estado do Espírito Santo, a 120 m de altitude, latitude 20°47'25" S e longitude 41°23'48" W.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado no esquema fatorial 2×3×3 (dois períodos de avaliação, três padrões de qualidade de água e três espécies de eucalipto) com três repetições.

Foram utilizadas mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e o híbrido de *E. grandis* × *E. urophylla* (*Eucalyptus* 'urograndis'), produzidas em tubetes, por sementeira, no viveiro da área experimental do Centro de Ciências Agrárias da UFES (CCAUFES), localizado no Distrito de Rive em Alegre, Espírito Santo.

Mudas com aproximadamente 90 dias foram plantadas em vasos com capacidade de aproximadamente 5 L, preenchidos com Latossolo Vermelho Amarelo previamente adubado, o qual foi destorroado e passado em peneira de 4 mm. A análise química do solo encontra-se no Quadro 1.

Durante 20 dias as mudas ficaram em local aberto. Nesse período, em função das chuvas constantes, poucas vezes foi necessário irrigar as mudas. Após os 20 dias, as mudas foram transferidas para a estufa, onde foram irrigadas diariamente com água de abastecimento, água de piscicultura e efluente de esgoto doméstico tratado em reator anaeróbico de fluxo ascendente durante 80 dias.

A quantidade de água aplicada nos vasos foi determinada utilizando-se o método da pesagem, em que a diferença dos pesos dos vasos saturados e secos correspondeu ao volume de água necessário para

Quadro 1 – Atributos químicos do solo utilizado nos ensaios.

Atributos	Valores
pH	5,5
Enxofre (mg dm^{-3})	27
Fósforo (mg dm^{-3})	2
Potássio (mg dm^{-3})	35
Cálcio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,7
Magnésio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,8
Alumínio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,1
Acidez potencial ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,8
Sódio (mg dm^{-3})	0
Carbono (g kg^{-1})	3,7
Matéria orgânica (g kg^{-1})	6,5
CTC(T) ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	3,41
Soma de bases ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,57
Saturação de bases (%)	46,2
Saturação de alumínio (%)	3,1
Índice de saturação de sódio (%)	0,0
Ferro (mg dm^{-3})	21
Cobre (mg dm^{-3})	0,1
Zinco (mg dm^{-3})	1,1
Manganês (mg dm^{-3})	1,1
Boro (mg dm^{-3})	0,28

e elevar o solo à capacidade máxima de retenção de água. O cálculo do volume de água a ser adicionada ao solo foi feito utilizando-se a média de três vasos (controle) previamente identificados para cada qualidade de água utilizada.

Durante o ensaio foram coletadas amostras de água e encaminhadas para o laboratório para determinação dos seguintes constituintes: potássio, sódio, cloreto, ferro, fósforo total, azoto amoniacal, boro, cálcio, magnésio e enxofre; segundo metodologias descritas por APHA (2005). Também foram determinados os valores de pH e condutividade elétrica e calculada a RAS (razão de adsorção de sódio) (Quadro 2).

Na análise do crescimento das mudas foram realizadas duas avaliações: a primeira 20 dias após o plantio das mudas nos vasos (9 mudas de cada espécie, totalizando 27 mudas) e a segunda 80 dias após a primeira avaliação, período em que as mudas foram irrigadas com água de abastecimento e fertirrigadas com água de piscicultura e efluente de esgoto doméstico tratado (9 mudas para cada tipo de água, sendo 3 mudas por espécie, totalizando 27 mudas).

As avaliações consistiram na colheita, em cada unidade experimental, da parte aérea e raiz das mudas. Na parte aérea foram determinados a altura, o diâ-

metro do caule, a massa seca e calculada a área foliar. Por sua vez, as raízes foram lavadas para retirada do solo, sendo feita a determinação da massa seca.

A altura foi medida por meio de uma régua graduada. O diâmetro do colo foi determinado com o auxílio de um paquímetro digital e a área foliar foi determinada em amostras, na forma de discos de área conhecida, sendo a área foliar igual à relação entre o peso total das folhas e o peso dos discos multiplicados pela área dos discos (cm^2).

Após a determinação das características citadas anteriormente, as plantas foram colocadas em estufa com circulação forçada a $65 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3$ por 72 horas, para obtenção da massa seca das raízes e da parte aérea. De posse dos resultados da massa seca da parte aérea e das raízes, foi realizada uma análise de crescimento conforme metodologias descritas por Benincasa (2003), em que foi determinada a razão de área foliar (RAF), taxas de crescimento absoluto (TCA), relativo (TCR) e assimilação líquida (TAL). Determinou-se também, segundo metodologias propostas por Carneiro (1995), a relação entre altura da parte aérea e diâmetro do colo (RAD), relação entre parte aérea e raiz (RPA/R) e percentagem de raízes (PRA). Para as determinações descritas, foram usadas as seguintes equações:

Quadro 2 – Características químicas das três qualidades de água utilizadas durante o ensaio.

Características avaliadas	Qualidades de Água		
	Abastecimento público	Água de piscicultura	Efluente de esgoto
pH	7,41	7,10	7,62
Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)	0,04	0,12	0,51
Potássio (mg L ⁻¹)	7,42	8,20	12,11
Sódio (mg L ⁻¹)	2,5	5,5	9,4
Cloreto (mg L ⁻¹)	2,12	2,66	3,54
Ferro (mg L ⁻¹)	<0,01	<0,01	<0,01
Fósforo total (mg L ⁻¹)	0,2	0,2	227,0
Azoto amoniacal (mg L ⁻¹)	3	3	52
Boro (mg L ⁻¹)	8,6	7,4	7,9
Cálcio (mg L ⁻¹)	52,1	52,1	52,1
Magnésio (mg L ⁻¹)	2,4	1,2	2,4
Enxofre (mg L ⁻¹)	0,03	0,03	0,07
RAS (cmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	0,09	0,21	0,35

$$\text{RAF} = \frac{\text{AF}}{\text{MS total}} \quad (1) \quad \text{RAD} = \frac{\text{H}}{\text{D}} \quad (5)$$

em que:

RAF = razão de área foliar, cm² g⁻¹;

AF = área foliar, cm²; e

MS total = massa seca total, g.

em que:

RAD = relação entre altura da parte aérea e diâmetro do colo;

H = altura da parte aérea, cm; e

D = diâmetro do colo, cm.

$$\text{RAF} = \frac{\text{AF}}{\text{MS total}} \quad (2) \quad \text{RPA} / \text{R} = \frac{\text{MSPA}}{\text{MSR}} \quad (6)$$

em que:

TCA = taxa de crescimento absoluto, g dia⁻¹;

MSf = massa seca na avaliação final, g;

MSi = massa seca na avaliação inicial, g; e

t = tempo entre duas avaliações, dia.

em que:

RPA / R = relação entre parte aérea e raiz;

MS_{PA} = massa seca da parte aérea, g; e

MS_R = massa seca de raiz, g.

$$\text{TCR} = \frac{\ln(\text{MSf}) - \ln(\text{MSi})}{t} \quad (3) \quad \text{PRA} = \frac{\text{MSR}}{\text{MS total}} \times 100 \quad (7)$$

em que TCR é a taxa de crescimento relativo, g g⁻¹ dia.

em que PRA é a percentagem de raízes;

$$\text{TAL} = \frac{\text{MSf} - \text{MSi}}{t} \times \frac{\ln \text{AFf} - \ln \text{AFi}}{\text{AFf} - \text{AFi}} \quad (4)$$

em que:

TAL = taxa de assimilação líquida, g cm⁻² dia;

AFf = área foliar na avaliação final, cm²; e

AFi = área foliar na avaliação inicial, cm².

Durante o período experimental foram também realizadas duas análises nutricionais das folhas. Uma antes da utilização das diferentes qualidades de água (mudas com 110 dias de idade) e outra 80 dias após a utilização das diferentes qualidades de água (mudas com 190 dias). Na primeira avaliação foram colhidas folhas de 27 mudas, sendo 9 de cada espécie. Já na segunda avaliação, foram colhidas 9 mudas para cada qualidade de água (três de cada

espécie) totalizando 27 mudas. As folhas foram secas em estufa a 65°C e encaminhadas ao laboratório para análise dos teores de azoto, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco, ferro, manganês, cobre e boro; conforme metodologia utilizada pela EMBRAPA (1999).

Análise de dados

Os resultados obtidos foram analisados, estatisticamente, ao nível de significância de 5%, por meio de análise de variância. Usou-se o Teste de Tukey para comparação das médias. As médias das características avaliadas foram comparadas entre as espécies e entre as qualidades de água utilizadas.

Resultados e Discussão

Avaliação do crescimento das mudas

Como resultado da análise de variância dos dados obtidos na primeira avaliação (mudas aos 110 dias), observou-se que as três espécies estudadas não diferiram entre si (Quadro 3). Já na segunda avaliação, após a utilização das diferentes qualidades de água de irrigação (aos 190 dias), houve crescimento diferenciado entre espécies e para utilização das diferentes qualidades de água.

De acordo com o teste de Tukey (Quadro 4), as espécies diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade para as características diâmetro do colo, massa seca total, taxa de crescimento absoluto, taxa de crescimento relativo, razão de área foliar, taxa de assimilação líquida e relação entre altura da parte aérea e diâmetro do colo.

O híbrido *E. 'urograndis'* apresentou maior diâmetro do colo, massa seca total, taxa de crescimento absoluto, taxa de assimilação líquida e, juntamente com a espécie *E. urophylla*, maior taxa de crescimento relativo. Enquanto as espécies *E. grandis* e *E. urophylla* apresentaram maior razão de área foliar e maior relação entre altura da parte aérea e diâmetro do colo. Em relação à qualidade das águas, com exceção da relação entre parte aérea e raiz, percentagem de raízes e relação entre altura da parte aérea e diâmetro do colo, de acordo com o teste de Tukey houve diferença significativa ao nível de 5% para as características avaliadas (Quadro 4).

Considerando que o efluente de esgoto apresentou maiores teores de nutrientes do que os outros dois tipos de água, principalmente de azoto; já era esperado maior crescimento das mudas fertirrigadas com o efluente. Segundo Neves *et al.* (1990), a fertilização azotada normalmente promove ganhos no crescimento, controlando o ritmo de crescimento, tamanho e vigor.

Resultados semelhantes foram obtidos em outros trabalhos com a utilização de efluentes de esgoto.

Quadro 3 – Médias das características de crescimento das mudas das espécies de *Eucalyptus* sp. obtidas na primeira avaliação (antes da utilização das diferentes qualidades de água de irrigação).

<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	<i>E. 'Urograndis'</i>
Altura da parte aérea (cm)		
29,46 A	29,94 A	26,82 A
Diâmetro do colo (cm)		
1,98 A	2,00 A	1,91 A
Área foliar (cm ²)		
47,26 A	45,66 A	44,18 A
Massa seca da parte aérea (g planta ⁻¹)		
0,63 A	0,59 A	0,60 A
Massa seca da raiz (g planta ⁻¹)		
0,27 A	90,26 A	0,28 A
Massa seca total (g planta ⁻¹)		
0,89 A	0,85 A	0,88 A
Razão de área foliar (cm ² g ⁻¹)		
52,02 A	53,54 A	49,17 A
Relação entre parte aérea e raiz		
2,41 A	2,37 A	2,12 A
Percentagem de raízes		
29,62 A	29,98 A	32,54 A
Relação entre altura da parte aérea e diâmetro do colo		
15,10 A	15,34 A	14,34 A

Quadro 4 – Médias das características de crescimento das mudas das espécies de *Eucalyptus* sp. obtidas na segunda avaliação (após a utilização das diferentes qualidades de água de irrigação durante 80 dias).

Qualidades de água		
Água de Abastecimento	Efluente de piscicultura	Efluente de esgoto tratado
	Altura da parte aérea (cm)	
67,32 b	75,79 b	129,28 a
	Diâmetro do colo (cm)	
6,98 b	7,43 b	13,29 a
	Área foliar (cm ²)	
1 859,72 b	2 251,26 b	17 037,92 a
	Massa seca da parte aérea (g planta ⁻¹)	
5,24 b	5,00 b	30,38 a
	Massa seca da raiz (g planta ⁻¹)	
11,34 b	13,98 b	83,63 a
	Massa seca total (g planta ⁻¹)	
16,58 b	18,98 b	114,01 a
	Taxa de crescimento absoluto (g dia ⁻¹)	
0,20 b	0,23 b	1,41 a
	Taxa de crescimento relativo (g g dia ⁻¹)	
3,6 x 10 ⁻² b	3,95 x 10 ⁻² b	4,07 x 10 ⁻² a
	Razão de área foliar (cm ² g ⁻¹)	
115,02 b	123,69 b	149,68 a
	Relação entre parte aérea e raiz	
0,47 a	0,37 a	0,37 a
	Porcentagem de raízes	
68,50 a	73,15 a	73,48 a
	Relação entre altura da parte aérea e diâmetro do colo	
9,71 a	10,42 a	9,84 a

Lougon (2010), ao trabalhar com mudas de *E. grandis* e de *E. 'urograndis'*, porém com idade de 40 dias, tal como no presente trabalho, observou que as mudas fertirrigadas com efluente de esgoto doméstico tratado apresentaram maior altura da parte aérea, diâmetro do colo, área foliar, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e massa seca total.

Araújo *et al.* (2007) também obtiveram maior altura da parte aérea e diâmetro do colo em mudas de *Tabebuia impetiginosa* (ipê-roxo) fertirrigadas durante 105 dias a partir da emergência com efluente de esgoto doméstico tratado do que em mudas irrigadas com água de abastecimento.

Nalguns casos, o uso de efluentes de esgoto na fertirrigação de mudas supera a utilização de fertilizantes. Lucena *et al.* (2007) observaram que a utilização de efluente de esgoto pré-tratado proporcionou maior crescimento em altura, área foliar, massa seca da raiz e massa seca da parte aérea em mudas de *Delonix regia* (Hook.) Raf. (Flamboyant) do que a utilização de fertilizante mineral e fertilizante orgânico. Entretanto, os melhores resultados, geralmente, são obtidos com o uso de fertilizantes, conforme observado por Augusto *et al.* (2007), que verificaram maior crescimento em altura, área foliar, massa seca

da parte aérea, massa seca da raiz e razão raiz/parte aérea em mudas de *E. grandis* fertirrigadas com água e fertilizantes do que com a utilização de efluente de esgoto doméstico tratado.

Resultados diferentes dos obtidos neste trabalho também foram obtidos por Singh e Bhati (2005) em mudas de *Dalbergia sissoo* DC. (indian rosewood) com 24 meses no campo. Os autores observaram que a utilização de efluente de esgoto municipal durante 12 meses proporcionou o mesmo crescimento em altura da parte aérea que a utilização de água superficial de canal e menor crescimento em diâmetro.

Embora tenha sido observado no presente trabalho e nos trabalhos citados acima que o efluente de esgoto proporcionou maior crescimento do que a água de abastecimento, problemas de toxicidade podem ocorrer. Santos *et al.* (2007) comparando o efeito da utilização de duas fontes de água no crescimento de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (angico-preto) observaram sintomas de toxicidade nas mudas fertirrigadas com efluente de esgoto.

No entanto, nesta pesquisa não foram observados sintomas de toxicidade nas plantas fertirrigadas com efluente de esgoto.

Avaliação da nutrição foliar

Os teores de macro e micronutrientes obtidos na primeira análise foliar das mudas, realizada antes da utilização das diferentes qualidades de água de irrigação, encontram-se nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Os teores de macro e micronutrientes obtidos da segunda análise foliar, feita após a utilização das diferentes qualidades de água de irrigação durante 80 dias, encontram-se nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

De acordo com o Teste de Tukey, os teores de azoto, cálcio, ferro, manganês e boro diferiram entre si para o fator qualidade de água de irrigação, ao nível de 5% de probabilidade.

Quanto aos teores de macronutrientes, verificou-se maior teor de azoto nas folhas das mudas fertirrigadas com efluente de esgoto do que nas mudas fertir-

rigadas com água de piscicultura e nas mudas irrigadas com água de abastecimento (Figura 3). Comparando os teores de azoto obtidos nas duas análises (Figura 1 e 3), observam-se, após a utilização das diferentes qualidades de água, menores teores de azoto nas folhas das mudas irrigadas com água de abastecimento e das mudas fertirrigadas com água de piscicultura; ficando estes valores ficaram abaixo da faixa considerada adequada para o eucalipto (14 e 16 g kg⁻¹) por Martinez *et al.* (1999). O azoto é um nutriente essencial à vida vegetal, pois é constituinte de estruturas do protoplasma da célula, da molécula da clorofila, dos aminoácidos, proteínas e de várias vitaminas, além de influenciar as reações metabólicas das plantas, proporcionando aumento do crescimento vegetativo e do rendimento da cultura (Lopes, 1989). É o elemento que mais limita o crescimento dos vegetais na maioria dos solos (Mendonça e Lopes, 2007). Os teores de azoto nas

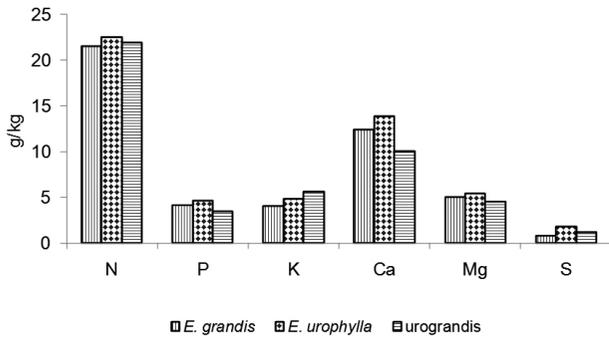


Figura 1 – Teores médios de macronutrientes nas folhas das mudas antes da utilização das diferentes qualidades de água de irrigação.

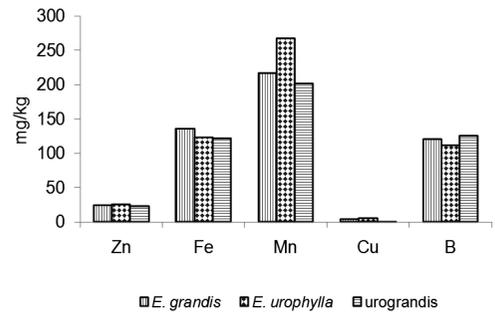


Figura 2 – Teores médios de micronutrientes nas folhas das mudas antes da utilização das diferentes qualidades de água de irrigação.

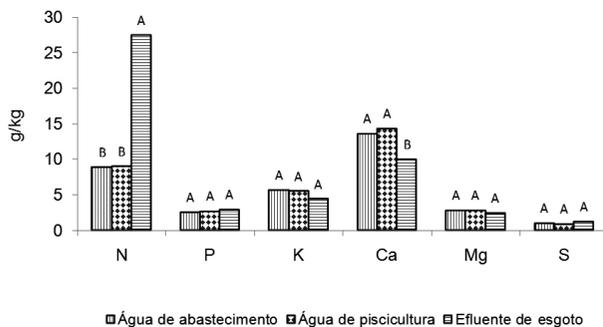


Figura 3 – Teores médios de macronutrientes nas folhas das mudas após a utilização das diferentes qualidades de água de irrigação durante 80 dias.

Por macronutriente, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

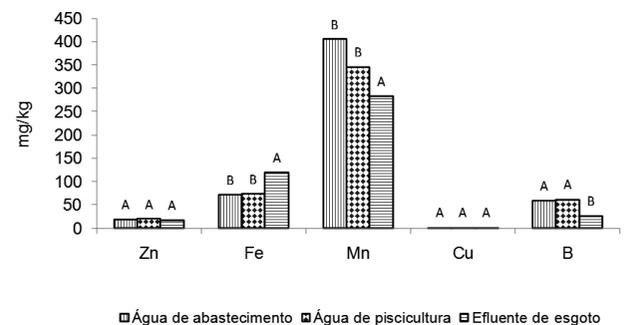


Figura 4 – Teores médios de micronutrientes nas folhas das mudas após a utilização das diferentes qualidades de água de irrigação durante 80 dias.

Por micronutriente, médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

folhas das mudas fertirrigadas com efluente de esgoto ficaram acima da faixa considerada adequada para o eucalipto, no entanto não foram observados sintomas de toxicidade. Os nossos resultados estão de acordo com os obtidos por Singhe e Bhati (2005). Estes investigadores observaram que a utilização de efluente de esgoto municipal na fertirrigação de *Dalbergia sissoo* com 2 anos de idade, proporcionou maior teor foliar de azoto do que a utilização de fonte de água superficial.

Os teores de fósforo nas mudas foram iguais para a utilização das três qualidades de água (Figura 3), apesar do efluente de esgoto ter apresentado maior teor de fósforo (227 mg L^{-1}) do que as águas de abastecimento e piscicultura ($0,2 \text{ mg L}^{-1}$). Comparando os teores de fósforo obtidos nas duas análises (Figuras 1 e 3), observam-se após a utilização das três qualidades de água, menores teores de fósforo nas folhas das mudas. No entanto, os teores ainda são considerados altos para cultura ($1,0$ a $1,2 \text{ g kg}^{-1}$) por Martinez *et al.* (1999).

Os teores de potássio nas folhas foram iguais com a utilização das três qualidades de água (Figura 3). O mesmo foi observado por Singhe e Bhati (2005) com a utilização de efluente de esgoto municipal e água de fonte superficial em plantio de *Dalbergia sissoo* (indian rosewood), cujos teores de potássio nas folhas foram iguais com a utilização das duas qualidades de água. Comparando os teores de potássio obtidos nas duas análises (Figuras 1 e 3), observa-se que após a utilização das três qualidades de água, os teores foram praticamente os mesmos e menores do que o teor considerado adequado para o eucalipto (10 a 12 g kg^{-1}) por Martinez *et al.* (1999). O potássio exerce uma série de funções nas plantas, como regulação da turgidez do tecido, ativação enzimática, abertura e fechamento de estômatos, transporte de carboidratos, entre outras. Os sintomas visíveis de deficiência mais comuns são a clorose das folhas, seguida de necrose das pontas e margens (Malavolta, 1980). Entretanto, tais sintomas não foram detectados na presente pesquisa.

Os teores de cálcio nas folhas foram menores com a utilização do efluente de esgoto do que com a utilização das águas de abastecimento e de piscicultura (Figura 3). Levando-se em consideração que o teor de cálcio foi igual nas três qualidades de água, é provável que tenha havido um efeito de diluição do cálcio em função do maior crescimento observado nessas mudas. No entanto, os teores de cálcio verificados nas mudas fertirrigadas com efluente de esgoto estão dentro na faixa considerada adequada para a cultura (8 a 12 g kg^{-1}) por Martinez *et al.* (1999). Já nas plantas irrigadas com a água de abastecimento

e fertirrigadas com água de piscicultura, os teores encontram-se um pouco acima da faixa considerada adequada.

Os teores de magnésio nas folhas das mudas foram iguais com a utilização das três qualidades de água (Figura 3). No entanto, em plantios de *Dalbergia Sissoo* (indian rosewood) com 2 anos de idade, Singh e Bhati (2005) observaram maior teor de magnésio nas folhas das mudas fertirrigadas com efluente de esgoto municipal do que nas mudas irrigadas com água de fonte superficial. Comparando os teores de magnésio obtidos nas duas análises (Figuras 1 e 3), observam-se que após a utilização das três qualidades de água, os teores de magnésio nas folhas das mudas foram menores que na primeira análise, ficando estes abaixo do valor considerado adequado para a cultura ($4-5 \text{ g kg}^{-1}$) por Martinez *et al.* (1999). O magnésio é um constituinte da clorofila, participa da ativação enzimática, é “carregador” de fósforo. A falta de magnésio inibe a fixação de CO_2 (Malavolta, 1980).

Os teores de enxofre nas folhas foram iguais para a utilização das três qualidades de água (Figura 3). Teores semelhantes aos encontrados no presente trabalho, foram obtidos por Augusto *et al.* (2003) em mudas de *Croton floribundus* (capixingui) e *Copaifera langsdorffii* (copaíba) fertirrigadas com efluente de esgoto doméstico tratado e água com fertilizantes químicos. Da mesma forma, os dois tratamentos não diferiram entre si. Teores de enxofre entre $1,5$ a $2,0 \text{ g kg}^{-1}$ são considerados baixos para o eucalipto, segundo Martinez *et al.* (1999); sendo, portanto, verificados baixos teores de enxofre nas folhas das mudas. O enxofre desempenha um importante papel na estrutura das proteínas, sendo importante nas membranas das células, além de desempenhar importantes funções metabólicas. Sua deficiência causa diminuição na fotossíntese e na atividade respiratória, queda da síntese de proteínas, redução no teor de gorduras, entre outros (Malavolta, 1980).

Em relação aos teores de micronutrientes nas folhas, verificaram-se os mesmos teores de zinco com a utilização das três qualidades de água de irrigação (Figura 4). Já em plantio de *Dalbergia Sissoo* (indian rosewood) com 2 anos de idade, Singh e Bhati (2005) observaram maiores teores foliares de zinco nas mudas fertirrigadas com efluente de esgoto municipal do que nas mudas irrigadas com água de canal superficial. Comparando os teores de zinco obtidos nas duas análises (Figuras 2 e 4), observam-se após a utilização das três qualidades de água, menores teores de zinco. De acordo com os valores de referência apresentados por Martinez *et al.* (1999), os teores estão abaixo da faixa considerada adequada

para o eucalipto (40 a 60 mg kg⁻¹). Embora, no presente trabalho o teor de zinco no efluente de esgoto não tenha sido suficiente para suprir a demanda das mudas, em outra pesquisa conduzida por Augusto *et al.* (2007), foi verificado que os teores médios de zinco em folhas de *E. grandis* ficaram dentro da faixa considerada adequada para cultura (55 mg kg⁻¹); porém maiores teores de zinco foram obtidos com a utilização de água com fertilizantes (131,75 mg kg⁻¹). O zinco é essencial para a síntese do triptofano, que por sua vez é um precursor do AIA (ácido indol acético), o qual é um dos responsáveis pelo aumento no volume celular. Um dos sintomas da carência de zinco consiste no encurtamento dos internódios e na produção de folhas novas, pequenas, cloróticas e lanceoladas (Malavolta, 1980).

Nesta pesquisa foi observado em algumas mudas, tanto irrigadas com água de abastecimento, como fertirrigadas com água de piscicultura, encurtamento dos internós e folhas pequenas.

Os teores de ferro nas folhas das mudas foram maiores com a utilização do efluente de esgoto do que com a utilização das águas de abastecimento e piscicultura (Figura 4). Assim como neste trabalho, Singh e Bhati (2005), em plantios de *Dalbergia Sissoo* com 2 anos de idade, observaram maior teor foliar de ferro nas mudas fertirrigadas com efluente de esgoto municipal do que nas mudas irrigadas com água de canal superficial. Entretanto, comparando os teores de ferro obtidos nas duas análises (Figuras 2 e 4), observam-se após a utilização das águas de abastecimento e de piscicultura, menores teores de ferro nas folhas das mudas. Para a utilização do efluente de esgoto, os teores foram praticamente os mesmos nas duas análises. Levando-se em consideração que os teores de ferro presentes nas três qualidades de água foram os mesmos (<0,01 mg L⁻¹), o esperado é que os teores de ferro nas folhas das mudas fossem semelhantes após a utilização das três qualidades de água. Nota-se também que os teores de ferro ficaram abaixo da faixa considerada adequada para o eucalipto (150 a 200 mg kg⁻¹) por Martinez *et al.* (1999), com a utilização das três qualidades de água. Augusto *et al.* (2007) utilizando água com fertilizantes e efluente de esgoto doméstico tratado na fertirrigação de mudas de *E. grandis*, obtiveram maior teor de ferro nas mudas com a utilização dos fertilizantes. No entanto o teor de ferro nas mudas fertirrigadas com efluente ficou dentro da faixa adequada para cultura.

Os teores de manganês nas folhas das mudas foram maiores com a utilização da água de abastecimento do que com a utilização da água de piscicultura e do efluente de esgoto (Figura 4). Comparando

os teores de manganês obtidos nas duas avaliações (Figuras 2 e 4), observam-se após a utilização das três qualidades de água maior teor de manganês nas folhas das mudas, com destaque para a utilização da águas de abastecimento e piscicultura, que proporcionaram os maiores teores de manganês. É provável que tenha havido acumulação de manganês nos tecidos foliares, porém sendo maior nas mudas fertirrigadas com a água de piscicultura e nas mudas irrigadas com a água de abastecimento, que apresentaram menor crescimento. No entanto, mesmo assim os teores de manganês ficaram dentro da faixa considerada adequada para cultura (100-600 mg kg⁻¹) por Martinez (1999). Ao contrário do observado no presente trabalho, Singh e Bath (2005) utilizando efluente de esgoto municipal e água de canal superficial na irrigação de *Dalbergia sissoo* com 2 anos de idade, verificaram maior teor de manganês nas folhas das plantas fertirrigadas com efluente de esgoto.

Os teores de cobre nas folhas das mudas foram iguais para as três qualidades de água (Figura 4). Comparando os teores obtidos nas duas análises (Figuras 2 e 4), observam-se após a utilização das três qualidades de água, menores teores de cobre. Os teores de cobre nas folhas das mudas ficaram abaixo da faixa considerada adequada para o eucalipto, que segundo Martinez *et al.* (1999) é de 8,0 a 10 mg kg⁻¹. Segundo Malavolta (1980), excesso de azoto, fósforo e zinco na adubação são condições para carência de cobre. Assim como no presente trabalho, Augusto *et al.* (2007) também verificaram baixos teores de cobre (7,0 mg kg⁻¹) em mudas de *E. grandis* fertirrigadas com efluente. Porém, também foram verificados baixos teores de cobre com a utilização de água e fertilizantes minerais. Entretanto, Singh e Bhati (2005), observaram maiores teores de cobre (43 mg kg⁻¹) em folhas de *Dalbergia Sissoo* com a utilização de efluente de esgoto municipal.

Os teores de boro nas folhas das mudas foram maiores com a utilização das águas de abastecimento e piscicultura do que com a utilização do efluente de esgoto (Figura 4). Comparando os teores de boro obtidos nas duas análises (Figuras 2 e 4), observam-se após a utilização das três qualidades de água, menores teores de boro nas folhas das mudas, principalmente nas mudas fertirrigadas com efluente de esgoto. É provável que tenha havido um efeito de diluição de boro, principalmente nas mudas fertirrigadas com efluente de esgoto, que apresentaram maior crescimento. Dessa forma, as mudas fertirrigadas com o efluente de esgoto, ao final do estudo apresentaram teor foliar de boro abaixo da faixa

considerada adequada para a cultura (35-70 mg kg⁻¹) por Martinez *et al.* (1999). Porém, embora os teores de boro nas folhas das mudas fertirrigadas com efluente de esgoto tenham ficado abaixo da faixa considerada adequada para cultura, teores satisfatórios de boro foram obtidos por Augusto *et al.* (2007) em mudas de *E. grandis* fertirrigadas com efluente de esgoto doméstico tratado (53 mg L⁻¹); sendo inclusive, iguais aos teores obtidos com utilização de água com fertilizantes minerais.

Em alguns casos, para alguns nutrientes, o uso de efluente de esgoto como fonte de nutrientes pode superar a utilização de fertilizantes minerais. Augusto *et al.* (2007) verificaram maiores teores de azoto, fósforo, potássio e manganês com a utilização de efluente de esgoto do que com a utilização de água e fertilizantes minerais. Os mesmos autores (2003) também verificaram em mudas de *Copaifera langsdorffii* maiores teores foliares de boro com a utilização de efluente de esgoto doméstico tratado do que com água e fertilizantes minerais.

Conclusões

O estudo efetuado permitiu concluir que o efluente de esgoto foi a qualidade de água que proporcionou maior crescimento das mudas, diferindo significativamente das demais. Por outro lado, não houve diferença significativa no crescimento das mudas com a utilização da água de piscicultura em relação à água de abastecimento. Verificou-se também que as três qualidades de água proporcionaram teores semelhantes de macro e micronutrientes nas folhas das mudas, com exceção do azoto e do boro, cujos teores foram maiores nas mudas fertirrigadas com o efluente de esgoto.

Em relação às espécies, de modo geral, concluiu-se que o *Eucalyptus 'urograndis'* apresentou maior crescimento que o *E. grandis* e o *E. urophylla*.

Referências Bibliográficas

- ABRAF [Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas] (2010) - *Anuário Estatístico da ABRAF: ano base 2009*. Brasília, ABRAF, 85 p.
- APHA [American Public Health Association] (2005) - *Standard methods for examination of water and wastewater*. 21th ed. Washington, American Water Works Association, 1368 p.
- Araújo, B.A.; Santos, J.S.; Dantas Neto, J. e Lima V.L.A. (2007) - Produção de mudas de ipê roxo irrigadas com esgoto doméstico tratado. *In.: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24., Belo Horizonte, ABES, p. 1-5.
- Augusto, D.C.C.; Guerrini, I.A.; Engel, V.L. e Rousseau, G.X. (2007) - Utilização de águas residuárias provenientes do tratamento biológico de esgotos domésticos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden. *Revista Árvore*, vol. 31, n. 4, p. 745-751.
- Augusto, D.C.C.; Guerrini, I.A.; Engel, V.L. e Rousseau, G.X. (2003) - Utilização de esgotos domésticos tratados através de um sistema biológico na produção de mudas de *Croton floribundus* Spreng. (Capixingui) e *Copaifera langsdorffii*. Desf. (Copaíba). *Revista Árvore*, v. 27, n. 3, p. 335-342.
- Bastos, R.K.X. (1999) - Fertirrigação com águas residuárias. *In: Folegatti, M.V. (Coord.) - Fertirrigação: citrus, flores e hortaliças*. Guaíba, Livraria e Editora Agropecuária LTDA, 279 p.
- Bastos, R.K.X. e Bevilacqua, P.D. (2006) - Normas e critérios de qualidade para reúso de água. *In: Florencio, L.; Bastos, R.K.X. e Aisse, M.M. (Ed.) - Tratamento e utilização de esgotos sanitários*. Rio de Janeiro, RJ: ABES, p. 17-62.
- Benincasa, M.M.P. (2003) - *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*. 2^a ed. Jaboticabal, FUNEP, 42 p.
- Blum, J.R.C. (2003) - Critérios e padrões de qualidade da água. *In: Mancuso, P.C.S. e Santos, H.F. (Ed.) - Reúso de água*. Barueri, SP: Manole, p. 125-174.
- Carneiro, J.G.A. (1995) - *Produção e controle de qualidade de mudas florestais*. Curitiba, UFPR/FUPEF, 451 p.
- EMBRAPA SOLOS [Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária] (1999) - *Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes*. Fábio Cesar da Silva (Org.). Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 370 p.
- Fontes, P.C.R. (2001) - *Diagnóstico do estado nutricional das plantas*. Viçosa, UFV, 122 p.
- Lopes, A.S. (1989) - *Manual de fertilidade do solo*. São Paulo, ANDA/PATAFO, 153 p.
- Lougon, M.S. (2010) - *Crescimento de mudas de eucalipto irrigadas com água de diferentes qualidades*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 72 p.
- Lucena, A.M.A. de; Guerra, H.O.C.; Chaves, L.H.G. e Costa, F.X. (2007) - Influência da natureza do substrato e da água de irrigação no crescimento de mudas de flamboyant (*Delonix regia*). *Revista Caatinga*, vol. 20, n. 3, p. 112-120.
- Madeira, C.A.; Peña, M.R. e Mara, D.D. (2002) - Microbiological quality of a waste stabilization pond effluent used for restricted irrigation in

- Valle Del Cauca. *Water Science and Technology*, vol. 45, n.1, p. 139-143.
- Malavolta, E. (1980) - *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo, Agronômica Ceres, 251 p.
- Marques, M.O.; Couracci Filho, B.; Bastos, R.K.X.; Kato, M.T.; Lima, V.L.A. de; Andrade Neto, C.O.; Mendonça, F.C.; Marques, P.A.A.; Marques, T.A.; Bellingiere, P.H. e Van Haandel, A.C. (2003) - Uso de esgotos tratados em irrigação: Aspectos agronômicos e ambientais. *In: Bastos, R.K.X. (coord) - Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura*. ABES, RiMA, Rio de Janeiro, p. 61-118.
- Martinez, H.E.P.; Carvalho, J.G. e Souza, R.B. Diagnose foliar. *In: Ribeiro, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVARES, V.V.H. - Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação*. Viçosa: CFSEMG/UFV, 1999, p. 143-167.
- Medeiros, S.S.; Soares, A.A.; Ferreira, P.A.; Souza, J.A.A.; Souza, J.A. e Matos, A.T. (2005) - Comportamento dos atributos químicos do solo em res-
posta à aplicação de água residuária de origem doméstica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 9 (suplemento), p. 268-273.
- Mendoza, R.A.M. e Lopes, N.F. (2007) - *Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral*. 2ª ed. rev. ampl. Viçosa, UFV, 469 p.
- Neves, J.C.L.; Gomes, J.M. e Novais, R.F. (1990) - Fertilização mineral de mudas de eucalipto. *In: Barros, N. F. de e Novais, R. F. (Eds) - Relação solo-eucalipto*. Folha de Viçosa, Folha de Viçosa p. 99-126.
- Santos, J.S. dos; Araújo, B.A. de; Lima, V.L.A. e Dantas Neto, J. (2007) - Plantas nativas do bioma caatinga produzidas com esgoto doméstico tratado. <http://www.cultura.ufpa.br/rcientifica>. *Revista Científica da UFPA, Curitiba*, ano 7, v. 6, n. 1.
- Singh, G. e Bhati, M. (2005) - Growth of *Dalbergia sissoo* in desert regions of western India using municipal effluent and the subsequent changes in soil and plant chemistry. *Bioresource Technology*, vol. 96, n. 9, p. 1019-1028.