



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

SILVANIA ARRECO ROCHA

**ALTERAÇÕES NO SOLO, NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DE *Eucalyptus* sp.
DECORRENTES DO USO DE DIFERENTES QUALIDADES DE ÁGUA**

JERÔNIMO MONTEIRO-ES

MARÇO - 2011

SILVANIA ARRECO ROCHA

**ALTERAÇÕES NO SOLO, NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DE *Eucalyptus* sp.
DECORRENTES DO USO DE DIFERENTES QUALIDADES DE ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia
Coorientador: Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira
Coorientador: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio

JERÔNIMO MONTEIRO-ES

MARÇO - 2011

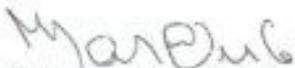
SILVANIA ARRECO ROCHA

**ALTERAÇÕES NO SOLO, NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DE *Eucalyptus* sp.
DECORRENTES DO USO DE DIFERENTES QUALIDADES DE ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais.

Aprovada em 11 de março de 2011


Prof. Dr. Otacilio José Passos Rangel
IFES – Campus de Alegre


Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira
CCA/UFES


Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler
CCA/UFES


Prof. Dr. Roberto Avellino Cecilio
CCA/UFES


Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia
CCA/UFES (Orientador)

AGRADECIMENTOS

*A **Deus**, pela realização de um sonho que ele mesmo sonhou pra mim.*

*Ao meu orientador, professor **Giovanni de Oliveira Garcia**, pela paciência, apoio e amizade.*

*Aos demais **professores e funcionários** do Programa de Pós-Graduação em Ciências florestais, em especial aos professores **Roberto Avelino Cecílio e Marcos Vinicius Winckler Caldeira**.*

*À **Marcela, Marília, Grasiela, Telma, Kamila e Tessa** pela amizade.*

*À **minha família**, pelo amor e apoio, em especial aos meus pais, **João e Izabel**.*

*À **Universidade Federal do Espírito Santo**, pela oportunidade de realização do curso.*

*À **Fíbria Celulose SA** e à **Capes**, pela concessão da bolsa de estudo.*

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. REÚSO AGRÍCOLA DE EFLUENTES	3
2.2. QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO	4
2.3. PROBLEMAS ASSOCIADOS À QUALIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO	5
2.3.1. Salinidade no solo	5
2.3.2. Infiltração da água no solo	6
2.3.3. Toxicidade de íons específicos na planta	7
2.3.4. Excesso de nitrogênio	8
2.3.5. pH fora da faixa adequada para cultura	9
2.3.6. Teores excessivos de ferro	9
2.4. UTILIZAÇÃO DE EFLUENTES DE ESGOTO	9
2.5. PLANTIOS COMERCIAIS DE <i>EUCALYPTUS</i> sp.	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	12
3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA	12
3.3. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO	12
3.4. AVALIAÇÃO DAS ÁGUAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO ...	13
3.5. ANÁLISE DE CRESCIMENTO DAS MUDAS.....	16
3.6. ANÁLISE FOLIAR DAS MUDAS	18
3.7. ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1. QUALIDADE DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO	20
4.2. CRESCIMENTO DAS MUDAS	23
4.3. TEORES DE MACRO E MICRO NUTRIENTES DAS FOLHAS .	29
4.3.1. Nitrogênio	32
4.3.2. Fósforo	33
4.3.3. Potássio	33
4.3.4. Cálcio	34
4.3.5. Magnésio	34
4.3.6. Enxofre	35
4.3.7. Zinco	35
4.3.8. Ferro	36
4.3.9. Manganês	37
4.3.10. Cobre	38
4.3.11. Boro	38
4.4. CARACTERÍSTICAS DO SOLO	39
4.4.1. pH	40
4.4.2. Fósforo	41
4.4.3. Potássio	42
4.4.4. Cálcio	42
4.4.5. Magnésio	43
4.4.6. Soma de bases e capacidade de troca catiônica	

efetiva	43
4.4.7. Acidez potencial e capacidade de troca catiônica a	
4.4.8. Saturação de bases	44
5. CONCLUSÃO	45
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXOS	

RESUMO

ROCHA, Sylvania Arreco. **Alterações no solo, nutrição e crescimento de *Eucalyptus* sp. decorrentes do uso de diferentes qualidades de água.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Orientador: Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia. Coorientador(es): Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio e Prof. Dr. Marcos Vinícius Winckler Caldeira.

O descarte de efluentes pode representar um problema ambiental quando seu destino final são os corpos hídricos. Entretanto, devido à presença de nutrientes em sua composição, o uso agroflorestal pode representar um aumento de produtividade e economia de fertilizantes. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o crescimento inicial e a nutrição de três espécies de *Eucalyptus* sp., quando submetidas à irrigação com diferentes qualidades de água, bem como analisar as mudanças na fertilidade do solo. O delineamento experimental utilizado para montagem do experimento foi inteiramente casualizado no esquema fatorial 2x3x3 (dois períodos de avaliação, três níveis de qualidade de água e três espécies de eucalipto), com três repetições. Mudanças de *E. grandis*, *E. urophylla* e *urograndis* com 90 dias foram plantadas em vasos de 5 L preenchidos com Latossolo Vermelho Amarelo. Vinte dias após o plantio das mudas nos vasos, iniciou-se a irrigação das mudas com as diferentes qualidades de água. Foram realizadas duas análises de crescimento para determinar a altura da parte aérea; o diâmetro do colo; a área foliar; a massa seca da parte aérea; a massa seca da raiz; a massa seca total; a relação entre a parte aérea e a raiz; a taxa de crescimento absoluto; a taxa de crescimento relativo; a razão de área foliar; a taxa de assimilação líquida; a relação entre a altura da parte aérea e o diâmetro do colo; e a porcentagem de raízes. No final do experimento, as folhas das plantas coletadas nas duas avaliações foram encaminhadas ao laboratório para determinação dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco, ferro, manganês, cobre e boro. Também foram determinadas as medidas de pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, acidez potencial, soma de bases, capacidade de troca catiônica efetiva, capacidade de troca catiônica a pH 7, saturação de bases, alumínio e saturação de alumínio. Os resultados indicaram que o efluente de esgoto proporcionou maior crescimento das mudas do que as águas de abastecimento e de piscicultura. Em relação às espécies, o *urograndis* apresentou maior diâmetro do colo, massa seca total, taxa de crescimento absoluto e taxa de assimilação líquida; e assim como o *E. urophylla*, maior taxa de crescimento relativo. Por outro lado, o *E. grandis* e o *E. urophylla* apresentaram maior razão de área foliar e maior relação entre altura da parte aérea e diâmetro do colo. Foram verificados maiores teores foliares de nitrogênio e ferro nas mudas fertirrigadas com efluente de esgoto doméstico, enquanto os teores de cálcio, manganês, cobre e boro foram maiores nas mudas irrigadas com água de abastecimento e nas mudas fertirrigadas com água de piscicultura. No solo, apenas o teor de potássio foi afetado pela qualidade de água utilizada, sendo maior com a utilização do efluente de esgoto e água de piscicultura.

Palavras-chave: Reúso de água, fertirrigação, economia de insumos

ABSTRACT

ROCHA, Sylvania Arreco. **Changes in soil, nutrition and growth of *Eucalyptus* sp. due to the use of different water qualities.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Orientador: Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia. Coorientador(es): Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio e Prof. Dr. Marcos Vinícius Winckler Caldeira.

The discard of effluent can represent an environmental problem when its final destination is the hydric resources. However, due to the presence of nutrients in its composition, the agroforestry use may represent an increase in productivity and fertilizer economy. Accordingly, this research aims to study the initial growth and nutrition of three species of *Eucalyptus* sp. when subjected to irrigation with different water qualities, and analyzes changes in soil fertility. The experimental design used in the experiment was randomized in a factorial $2 \times 3 \times 3$ (two periods of three levels of water quality and three species of eucalyptus), with three replications. Seedlings of *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* and *urograndis* with 90 days were planted in 5 L pots filled with Oxisol. Twenty days after planting, the seedlings started to be irrigated with different water qualities. Two growth analysis were performed to determinate the shoot height, stem diameter, leaf area, shoot dry weight, root dry mass, total dry weight, index between shoot and root, absolute growth rate, relative growth rate, leaf area ratio, liquid assimilation rate, index between shoot height and diameter and percentage of roots. In the end of the experiment, the plant leaves collected on the two tests were sent to the laboratory to determine the levels of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, zinc, iron, manganese, copper and boron. In addition, soil samples were sent to the laboratory to determine the levels of pH, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, potential acidity, total bases, effective cation exchange capacity, cation exchange capacity at pH 7, base saturation, and saturation in aluminum. The results indicated that the sewage effluent gave a higher growth than the water supply and fish farming water. For the species, *urograndis* showed greater root mass, total dry matter, absolute growth rate, liquid assimilation rate, and as well as *E. urophylla*, higher relative growth rate. Furthermore, *E. grandis* and *E. urophylla* had higher leaf area ratio. With regard to leaf analysis, higher levels of leaf nitrogen and iron in seedling fertigated with sewage effluent were found, while the levels of calcium, manganese, copper and boron were higher in the seedlings irrigated with tap water and fertigated with fish farming water. In soil, only the potassium was affected by the quality of water used, being higher with the use of sewage effluent and fish farming water.

Keywords: Water reuse, fertigation, saving inputs

1. INTRODUÇÃO

Os usos múltiplos e as necessidades de água para atender às demandas relativas ao crescimento populacional e às indústrias e agricultura têm gerado forte pressão sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Do consumo total de água doce, uma parcela importante é direcionada às indústrias; outra parcela significativa é direcionada ao uso urbano para higiene pessoal, consumo e limpeza, dentre outros. Porém, o maior uso de água ocorre nas atividades agrícolas (cerca de 70% do total), destacando-se a irrigação de culturas, a dessedentação de animais e ambiência nos sistemas de exploração zootécnica.

Historicamente, as cidades têm sido os principais centros poluidores e contaminadores dos recursos hídricos, receptores de toda a espécie de descarte das atividades humanas.

O descarte de efluentes agropecuários e domésticos sem tratamento representa sério problema ambiental. Entretanto, estes efluentes podem trazer em sua composição, elementos químicos com características desejáveis, pois são considerados fontes de nutrientes agrícolas. Dentre os de maior interesse estão o fósforo, o nitrogênio, o potássio, o zinco, o boro e o enxofre, que podem ser fornecidos às plantas por meio da fertirrigação. A adição de matéria orgânica é outro fator que melhora a estrutura do solo, aumentando a sua capacidade de retenção de água.

A utilização de efluentes na agricultura já é prática comum em muitos países, fazendo parte de programas governamentais de gestão de recursos hídricos, como é o caso de Israel, Egito, Austrália, Arábia Saudita, Tunísia e Chile (PESCOD, 1992; HESPANHOL, 2002). No entanto, no setor florestal, o uso de efluentes como fonte de nutrientes é pouco difundido, talvez porque o uso da irrigação não seja necessário em algumas etapas da produção, apesar de incorporar uma gama de vantagens ao produto final.

O Brasil é um país com grande vocação florestal, alcançando excelente produtividade, quer seja pelo clima favorável, quer seja pelas técnicas utilizadas. Para algumas espécies, como as do gênero *Eucalyptus*, tais técnicas são as mais bem desenvolvidas do mundo (SILVA *et al.*, 2010). Em

2009, os plantios com espécies florestais no Brasil atingiram 6.782.500 hectares, dos quais 4.515.730 foram ocupados pelo eucalipto (ABRAF, 2010).

Os povoamentos florestais, geralmente, são implantados em solos de baixa fertilidade, frequentemente depauperados por longos anos de agricultura e pecuária. Estes solos trazem consigo modificações em suas propriedades físico-químicas, como esgotamento nutricional e desestabilidade de agregados, que podem levar a uma redução na produtividade do povoamento florestal.

Nesse sentido a ideia do reúso florestal de efluentes tem evoluído para se tornar um fator integrante na preservação e no uso racional dos recursos hídricos, suprimindo a demanda de água e parte da demanda de nutrientes, diminuindo assim, os custos com aquisição de insumos agrícolas.

Porém, para que se obtenha o melhor desempenho no desenvolvimento da cultura, é necessário o controle dos teores de macro e micronutrientes nas plantas, de modo a evitar problemas de toxicidade; e no solo, para se evitar contaminação. Além destes, outros problemas tais como aumento da salinidade do solo, baixa taxa de infiltração, presença de íons potencialmente tóxicos (cloreto, sódio e boro), alterações no pH, poderiam ser evitados.

Assim, visando à utilização de diferentes qualidades de água de irrigação como fonte de nutrientes para as plantas, esta pesquisa teve como objetivo avaliar alterações no solo, o estado nutricional e o crescimento de *Eucalyptus* sp.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. REÚSO AGRÍCOLA DE EFLUENTES

Os crescentes aumentos da população, da urbanização e da industrialização têm gerado cada vez mais resíduos, principalmente lodo de esgotos, lixos urbanos e industriais, e efluentes, entre outros. Para a correta disposição de tais resíduos, faz-se necessário a busca por alternativas de descartes ambientalmente corretos (COSTA, 2007).

O reúso agrícola apresenta-se como uma boa alternativa para o descarte de efluentes, pois além de possibilitar a disposição ambientalmente correta do resíduo, aumenta a fertilidade do solo e fornece nutrientes para as plantas, gerando benefícios econômicos (ASSANO *et al.*, 1996).

O uso de efluentes em irrigação, isoladamente ou em mistura de águas, é prática relativamente comum em regiões com deficiência hídrica nos EUA. O Brasil, por sua vez, tem verificado o uso de efluentes em irrigação mais como uma forma de disposição e tratamento de efluentes ou como uma maneira de se aproveitar os nutrientes contidos nesses efluentes, esta última numa modalidade de fertirrigação (TELLES & DOMINGUES, 2006).

No reúso como fertirrigação, contribui-se para o aumento da produção de alimentos e fibras, recuperação de áreas improdutivas e ampliação de áreas irrigadas, e preservação e proteção do meio ambiente (TELLES & DOMINGUES, 2006).

Apesar de o reúso planejado ser amplamente difundido e utilizado mundialmente, no Brasil, mesmo com escassez dos recursos hídricos em algumas regiões, esta prática não tem sido utilizada de forma intensiva (DUARTE *et al.*, 2008). Entretanto, vários trabalhos têm sido desenvolvidos nessa linha, demonstrando que o uso de efluentes na agricultura apresenta resultados positivos.

Rego *et al.* (2005) obtiveram melhor produtividade de *Citrullus vulgaris* Schrad (melancia) com a utilização de efluente de esgoto tratado acrescido da metade da adubação recomendada pela análise de solo do que com a utilização de água de poço acrescida da quantidade total da adubação recomendada.

Azevedo *et al.* (2007) verificaram que a fertirrigação de *Zea mays* (milho) apenas com efluente de esgoto tratado proporcionou um incremento da produtividade de 144% em relação à produção alcançada quando se utilizou somente água de abastecimento.

Sousa *et al.* (2006), obtiveram os mesmos resultados de área foliar e peso de frutos de *Capsicum annuum* L. (pimentão) tanto com a utilização de água de poço artesiano com adubação orgânica, quanto com a utilização de efluente de reator UASB sem adubação.

Quanto à utilização de efluentes na fertirrigação de espécies florestais, a maioria dos trabalhos refere-se à etapa de produção de mudas. Porém excelentes resultados têm sido obtidos com a utilização de efluentes na fertirrigação de mudas, conforme observado em alguns trabalhos (LOUGON, 2010; LUCENA *et al.*, 2007; AUGUSTO *et al.*, 2003; AUGUSTO *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2007).

2.2. QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais intensamente utilizados. É fundamental para a existência e manutenção da vida e, para isso, deve estar presente no ambiente em quantidade e qualidade apropriadas (BRAGA *et al.*, 2005).

Nas atividades econômicas do homem, o conceito de qualidade é invariavelmente associado ao uso de um bem ou serviço. Desta associação derivam as definições de qualidade baseadas em adequação ao uso, satisfação do usuário e ao estabelecimento de padrões de qualidade, ou seja, características que definem um bem ou serviço que atende às necessidades do uso a que ele se destina. (BLUM, 2003)

O conceito de qualidade da água refere-se às suas características, que podem afetar sua adaptabilidade para uso específico. Uma água de rio, por exemplo, pode ser considerada de boa qualidade para determinado sistema de irrigação. Mas por sua carga de sedimentos, pode ser considerada inaceitável para uso urbano, antes de ser tratada para extrair tais sedimentos (AYERS & WESTCOT, 1999).

A qualidade da água para irrigação nem sempre é definida com clareza. Para que se possa fazer a correta interpretação da qualidade da água para irrigação, os parâmetros analisados devem estar relacionados aos seus efeitos no solo, na cultura e no manejo da irrigação, os quais serão necessários para controlar ou compensar os problemas relacionados à qualidade da água (BERNARDO *et al.*, 2005).

Os problemas de solo mais comuns, segundo os quais se avaliam os efeitos da qualidade da água relacionados à salinidade, são a taxa de infiltração da água no solo e a toxicidade, além de outros (AYERS & WESTCOT, 1999).

2.3. PROBLEMAS ASSOCIADOS À QUALIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

2.3.1. Salinidade no solo

As águas de irrigação contêm mistura de sais de origem natural; conseqüentemente, os solos irrigados com essas águas encerram mistura similar, mas geralmente em concentrações mais elevadas. A intensidade da acumulação de sais no solo depende da qualidade da água, do manejo de irrigação e da eficiência de drenagem (AYERS & WESTCOT, 1999).

A concentração total de sais da água de irrigação pode ser expressa em partes por milhão (ppm) ou, indiretamente, pela sua condutividade elétrica (CE). Em razão da facilidade e rapidez de determinação, a condutividade elétrica tornou-se o procedimento padrão, a fim de expressar a concentração total de sais para classificação e diagnose das águas destinadas à irrigação (BERNARDO *et al.*, 2005).

Há problemas de salinidade quando os sais se acumulam na zona radicular a uma concentração tal que ocasione perdas na produção. Estes sais são, geralmente, provenientes dos sais contidos nas águas de irrigação ou nas águas de lençol freático (AYERS & WESTCOT, 1999).

Teores excessivos de sais dissolvidos podem resultar em redução da pressão osmótica do solo – o que diminui a absorção de água pela planta, em aumento na toxicidade de íons específicos e na degradação das características físicas do solo (BLUM, 2003). A redução da absorção de água obriga a planta a

utilizar uma elevada quantidade de energia disponível para o ajuste da concentração de sais no interior de seus tecidos para obter água suficiente, resultando em menos energia disponível para o seu crescimento. O problema se agrava sob condições de clima quente e seco (PAGANINI, 2003).

Para se evitar que os sais se acumulem na zona radicular em concentrações perigosas, é necessário lixiviar a quantidade de sais igual ou maior à aplicada com a água de irrigação durante determinado período de tempo. A quantidade de água necessária para lixiviar estes sais depende da sua qualidade e da tolerância das culturas à salinidade (AYERS & WESTCOT, 1999).

2.3.2. Infiltração da água no solo

Problemas de infiltração relacionados à qualidade da água ocorrem quando a taxa de infiltração da água se reduz consideravelmente. Como consequência, a água permanece sobre o solo por um tempo demasiadamente longo, ou então se infiltra muito lentamente, não permitindo que a planta receba a quantidade de água de que necessita para produzir colheitas aceitáveis. A infiltração da água nos solos varia bastante e depende tanto da sua qualidade quanto de outros fatores relacionados ao solo, como estrutura, grau de compactação, teor de matéria orgânica e características químicas (AYERS & WESTCOT, 1999).

A capacidade de infiltração de um solo cresce com o aumento de sua salinidade e decresce com o aumento da razão de adsorção de sódio (RAS) e/ou, com o decréscimo de sua salinidade. Assim, os dois parâmetros, RAS e salinidade, devem ser analisados conjuntamente para que se possa avaliar corretamente o efeito da água de irrigação na redução da capacidade de infiltração de um solo (BERNARDO *et al.*, 2005).

Água com salinidade inferior a 0,5 dS/m e principalmente abaixo de 0,2 dS/m tende a lixiviar os sais e minerais solúveis, incluindo os de cálcio, reduzindo a estabilidade dos agregados e alterando a estrutura do solo (AYERS & WESTCOT, 1999).

Teores relativamente altos de sódio em relação aos de cálcio e magnésio na água de irrigação, normalmente superiores a 3:1, ou mesmo

baixos valores absolutos de cálcio no solo, tendem a prejudicar suas propriedades físico-químicas, desequilibrando-o estruturalmente e por fim, reduzindo sua permeabilidade (RAMALHO FILHO *et al.*, 2005). Segundo Freire *et al.* (2003), a predominância de sódio em relação aos demais cátions, no complexo de troca, pode promover a dispersão e a migração das argilas para as camadas subsequentes do perfil de solo. Tal processo pode ser provocado pela qualidade da água aplicada no solo, seja por precipitação pluvial natural, seja por irrigação ou fertirrigação processo (ALMEIDA NETO, 2009).

Para avaliar os riscos que a água oferece, respectivamente, em termos de indução de salinidade e aumento nos teores de sódio na solução do solo, o valor da condutividade elétrica e o cálculo da razão de adsorção de sódio assumem papel preponderante (OLIVEIRA & MAIA, 1998).

2.3.3. Toxicidade de íons específicos na planta

Os problemas de toxicidade surgem quando certos íons presentes no solo ou na água são absorvidos pelas plantas e acumulados em seus tecidos em concentrações suficientemente altas para provocar danos e reduzir os rendimentos. A magnitude desses danos depende da quantidade de íons absorvidos e da sensibilidade das plantas, sendo as culturas perenes mais sensíveis. Os íons tóxicos contidos comumente nas águas de irrigação são o cloreto, o sódio e o boro (AYERS & WESTCOT, 1999).

A toxicidade mais frequente é a provocada pelo cloreto na água de irrigação. Uma vez no solo, este ânion não causa maiores problemas (RAMALHO FILHO *et al.*, 2005). Como o cloreto possui baixa energia de ligação com os coloides do solo, ele se desloca facilmente através da solução do solo, sendo adsorvido pelas raízes e translocado para as folhas, onde se acumula sob o efeito da transpiração. Se sua concentração excede a tolerância da planta, produzem-se danos com seus sintomas característicos, como necroses e queimaduras nas folhas (AYERS & WESTCOT, 1999).

O boro é um elemento essencial para a nutrição vegetal embora seja requerido em pequenas quantidades (0,03 a 0,04 mg L⁻¹). Porém, em concentrações um pouco maiores, pode ser muito fitotóxico. Logicamente a

concentração que o torna tóxico varia de acordo com a espécie vegetal (RAMALHO FILHO *et al.* , 2005)

Usualmente, o boro, quando existente nos efluentes, apresenta-se na forma de ácido bórico, sendo suficiente para corrigir a deficiência natural do solo. Entretanto, o boro é mais lixiviável no solo do que os outros micronutrientes, podendo passar através do perfil do solo e atingir, juntamente com a água percolada, o lençol freático. Assim, concentrações significativas de boro nos efluentes a serem reutilizados podem causar restrições em sua disposição (PAGANINI, 1997).

O sódio em altas concentrações, além de ser tóxico para as plantas, pode causar desequilíbrio nutricional pela indisponibilidade do cálcio e do potássio (FEIGIN *et al.*, 1991). Os mesmos autores afirmam que o efeito deletério ocorre com maior intensidade nas plantas não lenhosas e árvores frutíferas.

2.3.4. Excesso de nitrogênio

Dentre os nutrientes presentes nos efluentes de esgoto, o nitrogênio é considerado o mais importante e alguns cuidados são oportunos em relação à sua presença em águas de irrigação. Teores excessivos deste elemento na água, apesar de aumentarem a velocidade de crescimento vegetativo, podem retardar a maturação ou provocar colheitas de baixa qualidade (AZEVEDO *et al.*, 2007).

Em relação ao excesso de nitrogênio no solo, um efeito potencialmente negativo é a poluição, particularmente por nitratos de aquíferos subterrâneos, utilizados para abastecimento de água. Isso ocorre quando uma camada insaturada, altamente porosa se situa sobre o aquífero, permitindo a percolação de nitratos. Entretanto, ocorrendo uma camada profunda e homogênea capaz de reter nitratos, a possibilidade de contaminação é bastante pequena. A absorção de nitrogênio pelas culturas reduz a possibilidade de contaminação por nitrato, mas isso depende das taxas de absorção pelas plantas e das taxas de aplicação de esgotos no solo (HESPANHOL, 2006).

2.3.5. pH fora da faixa considerada adequada para cultura

O pH é um índice que caracteriza o grau de acidez ou alcalinidade de um ambiente. No caso das águas de irrigação, o pH normal é entre 6,5 e 8,4. As águas com pH anormal podem criar desequilíbrios de nutrição ou conter íons tóxicos (AYERS & WESTCOT, 1999).

O pH influi no grau de solubilidade de diversas substâncias, na distribuição das formas livres e ionizadas de diversos compostos químicos, definindo inclusive o potencial de toxicidade de vários elementos (LIBÂNIO, 2008).

De acordo com Marques *et al.* (2003), elementos como Fe, Cu, Mn, Zn e Al têm suas disponibilidades reduzidas com a elevação do pH, enquanto que N, P, K, Ca, Mg, S, B, Mo e Cl têm suas disponibilidades aumentadas, em diferentes graus de intensidade. A disponibilidade é máxima quando o valor de pH está próximo à neutralidade.

2.3.6. Teores excessivos de ferro

O ferro é essencial para o crescimento das plantas, porém é requerido em pequenas concentrações. O limite para o teor de ferro na água de irrigação, de forma genérica, é de 2 mg L⁻¹ (AYERS & WESTCOT, 1999).

No entanto, teores acima desse limite tem sua importância relacionada mais à distribuição de água no sistema de irrigação do que à sua fitotoxicidade propriamente dita. Seu maior impacto está restrito ao sistema de irrigação do tipo localizado, porque pode obstruir emissores e formar incrustações em tubulações devido à baixa velocidade do fluxo nesse tipo de sistema, não tendo praticamente influência nos sistemas convencionais (RAMALHO FILHO *et al.*, 2005).

2.4. UTILIZAÇÃO DE EFLUENTES DE ESGOTO

O lodo de esgoto sanitário e seus produtos derivados constituem uma fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas e a sua aplicação no solo pode trazer benefícios para agricultura. Porém, podem conter metais

pesados, compostos orgânicos persistentes e patógenos em concentrações nocivas à saúde e ao meio ambiente.

Os esgotos sanitários contêm 99,9% de água; a fração restante é composta por sólidos orgânicos (cerca de 70%), inorgânicos (cerca de 30%), suspensos e dissolvidos (MARQUES *et al.*, 2003). A composição da fração sólida do efluente de esgoto varia conforme o nível socioeconômico e cultural da população, grau de industrialização da região e do percentual que os esgotos industriais representam do total de esgotos gerados e tratados (MARQUES *et al.*, 2001).

Ao utilizar esgotos sanitários em irrigação, deve-se considerar as possíveis e variadas restrições. A Resolução nº 375 estabelece critérios e procedimentos para o uso, em áreas agrícolas, de lodo de esgoto gerado em estação de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados.

Em relação aos critérios relacionados às taxas de aplicação, deverá ser respeitada a taxa de aplicação anual máxima permitida e as cargas acumuladas teóricas permitidas de substâncias inorgânicas, bem como o monitoramento das áreas de aplicação.

Deverão ser observadas as restrições locacionais, tais como: proximidade de unidades de conservação; zona de transporte para fontes de águas minerais, balneários e estâncias de águas minerais e potáveis; poços rasos e residências; declividade das áreas agrícolas; entre outras.

2.5. PLANTIOS COMERCIAIS DE *Eucalyptus* sp.

A formação de povoamentos florestais com fins econômicos iniciou-se, no Brasil, com a introdução do gênero *Eucalyptus* na região de Rio Claro, SP, pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro, visando a produção de dormentes, postes e lenha para as locomotivas, no início do século XX (PEREIRA *et al.*, 2009).

Atualmente, diversos gêneros florestais são plantados com fins comerciais, tais como: *Pinus*, *Araucária*, *Acácia*, *Hevea*, *Schizolobium*, entre outros. Entretanto, o eucalipto é a essência florestal mais adotada nos programas de reflorestamento no Brasil. Suas características de rápido crescimento, boa adaptação às condições climáticas e edáficas existentes em

expressivas áreas do país, explicam a participação importante desta essência nos povoamentos tecnicamente implantados para fins de reflorestamento (NEVES *et al.*, 1990).

O gênero inclui mais de 700 espécies, mas apenas quatro espécies e alguns híbridos representam aproximadamente 94% dos plantios brasileiros: *Eucalyptus grandis* (55 %), *E. saligna* (17 %), *E. urophylla* (9 %) e *E. viminalis* (2 %) e híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* (11 %) (SILVA & MATOS, 2003).

O *Eucalyptus grandis* é a espécie mais plantada no Brasil e é sem dúvida uma espécie que possui qualidades excelentes, superando qualquer outra em crescimento, quando as condições ambientais são adequadas (MOURA & GARCIA, 2000).

Segundo Moura & Garcia (2000), o interesse pela espécie *E. urophylla* surgiu no Brasil nos últimos anos depois de comprovada a sua alta resistência ao cancro do eucalipto, indicando que a espécie pode ser um bom substituto do *E. grandis*. Além disso, em relação à maioria das espécies de eucalipto introduzidos no Brasil, o *E. urophylla* é a espécie que apresenta a maior estabilidade genética em todas as áreas onde foi testada (MOURA, 2004).

O híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* destaca-se no cenário florestal brasileiro, pelo crescimento rápido, com ciclos de corte entre 6 e 7 anos de idade e por um bom desempenho na produção de celulose e papel (BASSA *et al.*, 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em uma casa de vegetação do Departamento de Engenharia Florestal pertencente à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Este local situa-se a 120 m de altitude, com latitude de 20°47'25" S e longitude de 41°23'48" W, no município de Jerônimo Monteiro, região sul do estado do Espírito Santo.

3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado no esquema fatorial 2x3x3 (dois períodos de avaliação, três padrões de qualidade de água e três espécies de eucalipto) com três repetições.

Os resultados obtidos foram analisados efetuando-se análise de variância e teste de Tukey para as comparações de médias aos níveis de significância de 5% e 1% de probabilidade.

3.3. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido no período de fevereiro a junho de 2010, sendo utilizadas mudas de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e o híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* (urograndis), produzidas em tubetes de polietileno com volume de 0,055 L, por sementeira; no viveiro da área experimental do Centro de Ciências Agrárias da UFES (CCAUFES), localizado no Distrito de Rive em Alegre, Espírito Santo.

Aproximadamente 90 dias após a sementeira do *Eucalyptus sp.*, foi realizado o plantio das mudas em vasos com capacidade de aproximadamente 5 L, preenchidos com Latossolo Vermelho Amarelo, o qual foi destorroado e passado em peneira de 4 mm.

Durante 20 dias, as mudas ficaram em local aberto. Nesta fase, em função das chuvas constantes, por poucas vezes foi necessário irrigar as mudas. Após este período, as mudas foram transferidas para a estufa e

irrigadas diariamente, durante 80 dias, com água de abastecimento, água de piscicultura e efluente de esgoto.

A quantidade de água aplicada nos vasos foi determinada utilizando-se o método de pesagem, em que a diferença dos pesos dos vasos saturados e secos corresponde ao volume de água necessário para elevar o solo à capacidade de campo. O cálculo do volume de água a ser adicionado ao solo foi feito utilizando-se a média de três vasos (controle) previamente identificados para cada qualidade de água utilizada.

Como o crescimento das mudas variou conforme a qualidade de água utilizada, a quantidade a ser aplicada também variou. Durante o experimento foram gastos aproximadamente 250 L de água de abastecimento público, 300 L de efluente de piscicultura e 650 L de efluente de esgoto doméstico tratado.

3.4. AVALIAÇÃO DAS ÁGUAS UTILIZADAS NO EXPERIMENTO

Utilizaram-se águas originárias de três fontes: a) água de abastecimento público, b) água de piscicultura e, c) efluente de esgoto doméstico tratado em reator anaeróbico de fluxo ascendente. A água de abastecimento foi proveniente do sistema de abastecimento interno do Departamento de Engenharia Florestal (Jerônimo Monteiro, ES); a água de piscicultura foi coletada na zona rural do Município de Jerônimo Monteiro e o efluente de esgoto doméstico tratado foi coletado no mesmo município em sua Estação de Tratamento de Esgotos.

A água de piscicultura e o efluente de esgoto doméstico tratado foram armazenados em recipientes de 50 L, e por sua vez, a água de abastecimento foi retirada diretamente das torneiras próximas ao experimento.

Durante o experimento, na ocasião do enchimento e reposição dos recipientes utilizados no armazenamento do efluente de esgoto e da água de piscicultura, foram coletadas amostras simples de 0,2 L de cada qualidade de água para análise, incluindo a água de abastecimento. Utilizaram-se garrafas PETs previamente higienizadas e acondicionadas em isopor durante o trajeto até o laboratório para determinação do pH e da condutividade elétrica, sendo o restante das amostras refrigerado sob temperatura de 0°C (APHA, 2005).

Após o término do experimento, as amostras simples de cada tipo de água foram descongeladas e homogeneizadas formando-se uma amostra composta, sendo estas encaminhadas para o laboratório para determinação dos seguintes constituintes: potássio, sódio, cloreto, ferro, fósforo total, nitrogênio amoniacal, boro, cálcio, magnésio e enxofre; segundo metodologias descritas por APHA (2005).

De posse dos resultados das análises, com base na concentração de Na, Ca e Mg, calculou-se a Razão de Adsorção de Sódio (RAS), utilizando-se a seguinte equação:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (1)$$

em que as concentrações de Na, Ca e Mg na água foram expressas em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$.

Os resultados das análises da água de abastecimento, da água de piscicultura e do efluente de esgoto doméstico tratado encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas das três qualidades de água utilizadas durante o experimento

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
Nitrogênio 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 ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$) ^{0,5}	0,09	0,21	0,35

A discussão dos resultados foi feita com base na classificação proposta por Ayers e Westcot (1999).

Tabela 2. Diretrizes para interpretação da qualidade da água para irrigação

Problemas e constituintes relacionados com	Unidades	Grau da restrição ao uso		
		Nenhuma	Moderada	Severa
Salinidade				
CE da água irrigação (CEa)	dS m ⁻¹	<0,7	0,7 a 3,0	>3,0
Infiltração				
RAS=0 a 3 e CEa =	dS m ⁻¹	>0,7	0,7 a 0,2	<0,2
RAS=3 a 6 e CEa =	dS m ⁻¹	>1,2	1,2 a 0,3	<0,3
RAS=6 a 12 e CEa =	dS m ⁻¹	>1,9	1,9 a 0,5	<0,5
RAS=12 a 20 e CEa =	dS m ⁻¹	>2,9	2,9 a 1,3	<1,3
RAS=20 a 40 e CEa =	dS m ⁻¹	>5,0	5,0 a 2,9	<2,9
Toxicidade íons específicos				
Sódio (Na ⁺)				
Irrigação por superfície	RAS	<69,0	69,0 a 207,0	>207,0
Irrigação por aspersão	mg L ⁻¹	<69,0	>69,0	-
Cloreto (Cl ⁻)				
Irrigação por superfície	mg L ⁻¹	<140,0	140,0 a 350,0	>350,0
Irrigação por aspersão	mg L ⁻¹	<105,0	>105,0	-
Boro (B)	mg L ⁻¹	<7,7	7,7 a 33,0	>33,0
Outros				
Nitrogênio	mg L ⁻¹	< 5,0	5,0 – 30,0	> 30,0
pH		Amplitude normal de 6,5 a 8,4		

Fonte: Adaptado de Ayers e Westcot (1999)

3.5. ANÁLISE DO CRESCIMENTO DAS PLANTAS

Para análise de crescimento das mudas, foram realizadas duas avaliações. A primeira, feita 20 dias após o plantio das mudas nos vasos (nove de cada espécie, totalizando 27 mudas). Já a segunda foi realizada 80 dias após a primeira avaliação. Neste período as mudas foram irrigadas com água de abastecimento e fertirrigadas com água de piscicultura e efluente de esgoto doméstico tratado (nove mudas para cada tipo de água, sendo três por espécie, num total de 27).

As avaliações consistiram na coleta, em cada unidade experimental, da parte aérea e raiz das mudas. Na parte aérea foram determinados a altura, o diâmetro do caule, a massa seca e a área foliar. As raízes, por sua vez, foram lavadas retirando-se o excesso de solo, para 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. A área foliar foi determinada por amostras, na forma de discos de área conhecida, e o seu resultado foi igual à relação entre o peso total das folhas e o peso dos discos multiplicados pela área dos discos (cm²).

Após a determinação das características citadas anteriormente, as plantas foram colocadas em estufa com circulação forçada a 65 °C ± 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), taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento 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 empregadas as seguintes equações:

$$RAF = \frac{AF}{MS \text{ total}} \quad (2)$$

em que:

RAF = razão de área foliar, $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$;

AF = área foliar, cm^2 ; e

MS total = massa seca total, g.

$$TCA = \frac{MSf - MSi}{t} \quad (3)$$

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.

$$TCR = \frac{\ln(MSf) - \ln(MSi)}{t} \quad (4)$$

em que:

TCR = taxa de crescimento relativo, $\text{g g}^{-1} \text{ dia}$.

$$TAL = \frac{MSf - MSi}{t} \times \frac{\ln AFf - \ln AFi}{AFf - AFi} \quad (5)$$

em que:

TAL = taxa de assimilação líquida, $\text{g cm}^{-2} \text{ dia}$;

AFf = área foliar na avaliação final, cm^2 ; e

AFi = área foliar na avaliação inicial, cm^2 .

$$RAD = \frac{H}{D} \quad (6)$$

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.

$$RPA/R = \frac{MSPA}{MSR} \quad (7)$$

em que:

RPA / R = relação entre parte aérea e raiz;

MSPA = massa seca da parte aérea, g; e

MSR = massa seca de raiz, g.

$$PRA = \frac{MSR}{MS \text{ total}} \times 100 \quad (8)$$

em que:

PRA = percentagem de raízes;

3.6. ANÁLISE FOLIAR DAS MUDAS

Para a análise foliar, foram coletadas folhas das mudas antes (mudas com 110 dias de idade) e após a utilização das diferentes qualidades de água (190 dias de idade). As folhas foram secas em estufa a 65°C e encaminhadas ao laboratório para análise dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco, ferro, manganês, cobre e boro; conforme Metodologia utilizada pela EMBRAPA (1999).

3.7. ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

Antes do início da etapa experimental, foi coletada uma amostra de 300 g de solo que foi encaminhada ao laboratório para análise das seguintes

características: pH, enxofre, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, acidez potencial, sódio, carbono, matéria orgânica, ferro, cobre, zinco, manganês e boro, conforme Metodologia utilizada pela EMBRAPA (1999) (Tabela 3).

A partir dos valores obtidos foram calculados os valores de capacidade de troca catiônica a pH 7, soma de bases, saturação de bases, saturação de alumínio e índice de saturação de sódio.

Tabela 3. Atributos químicos do solo utilizado no experimento

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})	11
Boro (mg dm^{-3})	0,28

No final do experimento, para cada vaso de planta utilizado no experimento, foi retirada uma amostra de 300 g de solo, também encaminhada ao laboratório para determinação das seguintes características: pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio, conforme a metodologia mencionada no parágrafo anterior. A partir dos resultados foram calculados: acidez potencial, soma de bases, capacidade de troca catiônica efetiva, capacidade de troca catiônica a pH 7, saturação de bases e saturação de alumínio

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. QUALIDADE DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO

Para a maioria das características avaliadas, o efluente de esgoto doméstico apresentou maiores teores de nutrientes do que as águas de abastecimento e piscicultura (Tabela 1), com destaque para os teores de fósforo e de nitrogênio. Nota-se também que a água de piscicultura apresentou maiores teores de nutrientes do que a água de abastecimento.

Tendo em vista que aproximadamente 0,01% do efluente de esgoto corresponde aos sólidos orgânicos e inorgânicos (MARQUES *et al.*, 2003), o esperado era que o efluente apresentasse maior teor de nutrientes, assim como foi observado.

Também era esperado maior teor de nutrientes na água de piscicultura, do que na água de abastecimento, já que são encontrados nessas águas resíduos oriundos da alimentação dos peixes, além de subprodutos oriundos do metabolismo da fauna aquática.

Embora os nutrientes presentes nos efluentes possam ser utilizados pelas plantas como fonte de nutrientes, alguns cuidados quanto à utilização dessas águas na irrigação de culturas precisam ser considerados.

Dentre as características que determinam a qualidade da água para a irrigação, a concentração de sais solúveis ou a salinidade, é um fator limitante ao desenvolvimento de algumas culturas (SOUZA *et al.*, 2000). Isto porque, além dos riscos de desestruturação da camada superficial do solo, a alta concentração de sais na água de irrigação pode desencadear um estresse hídrico, não pela falta de água, mas por diminuir o potencial osmótico da solução do solo, dificultando a absorção de água pelas plantas.

Em relação à salinidade do solo (Tabela 1), segundo Ayers & Westcot (1999), valores de condutividade menores que $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ não apresentam restrições ao uso na irrigação (Tabela 2).

Os riscos de infiltração no solo causados pela sodicidade da água e/ou dos efluentes são avaliados, segundo Ayers & Westcot (1999), com base nos valores da razão de adsorção de sódio (RAS) e da condutividade elétrica (CE).

Águas com altos valores de razão de adsorção de sódio (RAS) podem causar problemas de infiltração no solo. Contudo é importante lembrar que águas com salinidade inferior a $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ e principalmente abaixo de $0,2 \text{ dS m}^{-1}$ tendem a lixiviar os sais e minerais solúveis, incluindo os de cálcio, reduzindo sua influência sobre a estabilidade dos agregados e a estrutura do solo, e dessa forma resultando em problemas de infiltração pela obstrução dos poros do solo.

Segundo Ayers & Westcot (1999), águas com RAS entre 0 e 3 e condutividade elétrica menor que $0,2 \text{ dS m}^{-1}$ apresentam severa restrição ao uso na irrigação, enquanto águas com o mesmo valor de RAS, porém com condutividade elétrica maior que 0,2 e menor que $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ apresentam moderada restrição ao uso (tabela 2).

Nota-se na Tabela 1, que a água de piscicultura e o efluente de esgoto apresentam moderada restrição ao uso, enquanto a água de abastecimento apresenta severa restrição ao uso (Tabela 2); embora, em curto prazo não tenha sido observado nenhum efeito de dispersão das partículas do solo ou problemas de infiltração.

Assim como no presente trabalho, Sandri *et al.* (2006) também encontraram baixos valores de condutividade elétrica e RAS ($0,56 \text{ dS m}^{-1}$ e $0,88 \text{ (mmolc L}^{-1})^{0,5}$ em efluente de esgoto doméstico tratado por reator anaeróbico compartimentado e em água de depósito de fonte hídrica superficial ($0,05 \text{ dS m}^{-1}$ e $0,17 \text{ (mmolc L}^{-1})^{0,5}$). Entretanto, não foram relatados problemas com a utilização de tais águas na irrigação em relação à característica avaliada.

Quanto a possíveis problemas de toxicidade pelos íons específicos sódio e cloro, os teores observados nos três tipos de água (Tabela 1), de acordo com Ayers & Westcot (1999), não apresentam restrição ao uso na irrigação.

No entanto, em relação à toxicidade por boro, a água de abastecimento e o efluente de piscicultura apresentam moderada restrição ao uso na irrigação (valores maiores que $7,7 \text{ mg L}^{-1}$). Embora, de acordo com a análise foliar das mudas, tenham sido observados teores de boro menores do que o indicado, como adequado para cultura.

Os valores de pH das três qualidades de água (Tabela 1) encontram-se dentro da faixa considerada normal por Ayers & Westcot (1999), que é de 6,5 a 8,4. Observa-se também que os valores de pH ficaram muito próximos entre si, sendo esses ligeiramente básicos.

Quanto aos teores de nitrogênio e fósforo, estes foram considerados altos no efluente de esgoto, pois segundo Ayers & Westcot (1999) teores acima de 30 mg L⁻¹ apresentam severa restrição ao uso na irrigação e segundo Trani (2001) teores de fósforo acima de 30 mg L⁻¹ são considerados críticos.

A análise foliar feita ao final do experimento indica teores de nitrogênio nas mudas fertirrigadas com efluente de esgoto um pouco acima do teor considerado adequado para a cultura. Apesar disto, não foi verificado nenhum sintoma de toxicidade nas mudas.

Teores de nitrogênio semelhantes aos verificados no presente trabalho também foram encontrados por Sousa *et al.* (2006) em efluente de esgoto proveniente de reator UASB (55 mg L⁻¹). Entretanto, embora os teores tenham sido considerados altos; os autores observaram igual crescimento e produtividade de *Capsicum annum* L. (pimentão) com a utilização de efluente de esgoto e com a utilização água de poço artesiano com fertilizantes minerais.

Teores ainda maiores de nitrogênio foram encontrados por Augusto *et al.* (2007) em efluente de esgoto tratado (161,70 mg L⁻¹) e em água com fertilizantes químicos (229 mg L⁻¹) utilizados na fertirrigação de mudas de *E. grandis*. Entretanto, não foi relatado nenhum problema decorrente do uso de tais águas.

De acordo com Duarte *et al.* (2008), em função da presença de compostos nitrogenados no esgoto, eram esperados altos teores de nitrogênio amoniacal no efluente de esgoto. Segundo Ayers & Westcot (1999), os níveis de nitrogênio nas águas residuárias estão entre 10 e 50 mg L⁻¹, particularmente as que provém das águas de uso doméstico ou das fábricas processadoras de alimentos.

Em relação ao fósforo, o teor observado no efluente de esgoto foi maior que o encontrado em outros trabalhos, o que variou de 5,51 a 6,5 mg L⁻¹ (LUCENA *et al.*, 2007; AUGUSTO *et al.*, 2003; LUCENA *et al.*, 2006; AZEVEDO *et al.*, 2007). No entanto, os teores de fósforo nas folhas das mudas e no solo foram iguais àqueles obtidos com as águas de abastecimento e de

piscicultura. Também não foram observados sintomas de toxicidade por fósforo nas mudas ou problemas no solo.

Os teores de ferro encontrados nas três qualidades de água foram iguais (menores que $0,01 \text{ mg L}^{-1}$), conforme Tabela 1. Segundo Wayers & Westcot (1999), o limite para o teor de ferro na água de irrigação, de forma genérica é de 2 mg L^{-1} . Assim, os teores de ferro nas três qualidades de água são considerados baixos, sendo menores que os teores observados por Sandri *et al.* (2006) em água de depósito de fonte hídrica superficial ($0,7 \text{ mg L}^{-1}$).

Em relação aos teores de enxofre observados nas três qualidades de água, nota-se que em comparação com outros trabalhos, cujos teores variaram de $2,0$ a $6,3 \text{ mg L}^{-1}$ (SANDRI *et al.*, 2006; SANDRI *et al.*, 2009; AUGUSTO *et al.*, 2007), estes foram baixos (Tabela 1). No presente trabalho, também foram verificados baixos teores de enxofre nas folhas das mudas.

Quanto ao potássio, nota-se, na Tabela 1, maior concentração no efluente de esgoto do que no efluente de piscicultura, que por sua vez foi maior do que na água de abastecimento. Comparando-se com outros trabalhos, nota-se que teores semelhantes de potássio foram verificados por Duarte *et al.* (2008) em efluentes tratados por diferentes sistemas ($8,78$ a $10,54 \text{ mg L}^{-1}$) e em água potável ($5,80 \text{ mg L}^{-1}$). Os resultados indicaram que tais águas não provocaram alterações significativas nos teores de potássio do solo e mostraram-se adequadas para a irrigação da cultura utilizada.

4.2. CRESCIMENTO DAS MUDAS

O resumo das análises de variância dos dados encontrados para as características de crescimento na primeira e na segunda avaliação encontram-se nas Tabelas A e B, na seção ANEXOS.

De acordo com a análise de variância, as características de crescimento não diferiram entre si para o fator espécie na primeira avaliação (antes da utilização das diferentes qualidades de água).

Tabela 4. Médias das características de crescimento das mudas de *Eucalyptus* sp. obtidas na primeira avaliação (antes da utilização das diferentes qualidades de água de irrigação)

Espécies		
<i>E grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	urograndis
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	0,26 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
Porcentagem 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

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula em linha não diferem entre si, aos níveis de 5% e 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Nota-se na Tabela 4, que as mudas (aos 110 dias) apresentaram o mesmo crescimento.

Na segunda avaliação, após a utilização das diferentes qualidades de água de irrigação (aos 190 dias), houve crescimento diferenciado entre espécies (Tabela 5).

De acordo com o teste de Tukey, as médias das 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 diferiram entre si para o fator espécie, aos níveis de 5% e 1% de probabilidade.

Tabela 5. Médias das características de crescimento das mudas de *Eucalyptus* sp. obtidas na segunda avaliação (após a utilização das diferentes qualidades de água de irrigação durante 80 dias)

Espécies		
<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	urograndis
Altura da parte aérea (cm)		
88,80 A	93,64 A	89,94 A
Diâmetro do colo (cm)		
8,67 B	8,89 B	10,14 A
Área foliar (cm ²)		
7.196,17 A	6.633,87 A	7.318,87 A
Massa seca da parte aérea (g planta ⁻¹)		
11,57 A	13,54 A	15,51 A
Massa seca da raiz (g planta ⁻¹)		
33,86 A	34,71 A	40,38 A
Massa seca total (g planta ⁻¹)		
45,44 B	48,25 B	55,89 A
Taxa de crescimento absoluto (g dia ⁻¹)		
0,56 B	0,59 B	0,69 A
Taxa de crescimento relativo (g g ⁻¹ dia)		
4,28 x 10 ⁻² B	4,5 x 10 ⁻² A	4,82 x 10 ⁻² A
Razão de área foliar (cm ² g ⁻¹)		
140,64 B	131,21 B	116,53 A
Taxa de assimilação líquida (g cm ⁻² dia)		
3 x 10 ⁻⁴ B	3,4 x 10 ⁻⁴ B	4,2 x 10 ⁻⁴ A
Relação entre parte aérea e raiz		
0,40 A	0,40 A	0,40 A
Porcentagem de raízes		
71,97 A	71,39 A	71,76 A
Relação entre altura da parte aérea e diâmetro do colo		
10,55 A	10,49 A	8,92 B

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula em linha não diferem entre si, aos níveis de 5% e 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O urograndis apresentou maior diâmetro do colo, massa seca total, taxa de crescimento absoluto, taxa de assimilação líquida e, juntamente com *E. urophylla*, maior taxa de crescimento relativo. Enquanto o *E. grandis* e o *E. urophylla* apresentaram maior razão de área foliar e maior relação entre altura da parte aérea e diâmetro do colo.

Uma vez que o urograndis foi obtido através do cruzamento do *E. grandis* x *E. urophylla*, tal resultado era esperado, visto que o mesmo reúne características das duas espécies.

De acordo com o teste de Tukey (Tabela 6), com exceção da relação entre parte aérea e raiz, porcentagem de raízes e relação entre altura da parte

aérea e diâmetro do colo, todas as características diferiram entre si para o fator qualidade de água, aos níveis de 5% e 1% de probabilidade.

Nota-se também nas Figuras 1 e 2, que o efluente de esgoto proporcionou maior crescimento das mudas do que as águas de piscicultura e de abastecimento.

Tabela 6. Médias das características de crescimento das mudas 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 ⁻¹ dia)	
3,6 x 10 ⁻² B	3,95 x 10 ⁻² A	6,05 x 10 ⁻² A
	Razão de área foliar (cm ² g ⁻¹)	
115,02 B	123,69 B	149,68 A
	Taxa de assimilação líquida (g cm ⁻² dia)	
3,21 x 10 ⁻⁴ B	3,31 x 10 ⁻⁴ B	4,07 x 10 ⁻⁴ 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

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula em linha não diferem entre si, aos níveis de 5% e 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Considerando-se que o efluente de esgoto apresentou maiores teores de nutrientes do que as demais qualidades de água, principalmente de nitrogênio; era mesmo esperado maior crescimento das mudas fertirrigadas

com o efluente. Segundo Neves *et al.* (1990), a fertilização nitrogenada normalmente promove ganhos no crescimento, controlando o ritmo de crescimento, tamanho e vigor.



Figura 1. Mudanças após a utilização de diferentes qualidades de água de irrigação durante 80 dias (a muda à esquerda foi fertirrigada com efluente de esgoto e a muda à direita foi irrigada com água de abastecimento).



Figura 2. Mudanças após a utilização das diferentes qualidades de água de irrigação durante 80 dias (a muda ao fundo foi fertirrigada com efluente de esgoto e à frente com efluente de piscicultura).

Resultados semelhantes foram obtidos em outros trabalhos com a utilização de efluentes de esgoto. Lougon (2010), ao trabalhar com mudas de *E. grandis* e o *urograndis*, porém com idade de 40 dias, assim 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.

No entanto, diferentemente do presente trabalho, em que a utilização de efluente de esgoto proporcionou maior taxa de crescimento absoluto, taxa de crescimento relativo, razão de área foliar e taxa de assimilação líquida; Lougon (2010) não observou resultados distintos com a utilização das diferentes qualidades de água para essas características.

Para a relação entre a altura da parte aérea e o diâmetro do colo e relação entre parte aérea e raiz, as três qualidades de água não diferiram entre si; por outro lado, Lougon (2010) obteve valores médios maiores com a utilização do efluente de esgoto.

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.

Em alguns 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* (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.

Os mesmos autores (2003) também observaram que a utilização de água de abastecimento e fertilizantes minerais na fertirrigação de mudas de *Copaifera langsdorffii* (Copaíba) e *Croton floribundus* (Capixingui) proporcionou maior crescimento em altura, diâmetro do colo, área foliar, massa seca da raiz e razão raiz/parte aérea do que a utilização de efluente de esgoto doméstico tratado.

Resultados diferentes dos obtidos neste trabalho foram obtidos por Singh & Bhati (2005) em mudas de *Dalbergia sissoo* (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, nessa pesquisa não foram observados sintomas de toxicidade nas plantas fertirrigadas com efluente de esgoto.

4.3 – TEORES DE MACRO E MICRONUTRIENTES NAS FOLHAS

Os resultados da primeira análise foliar das mudas, realizada antes da utilização das diferentes qualidades de água de irrigação, encontram-se nas Figuras 3 e 4. Referem-se aos teores de macro e micronutrientes, respectivamente.

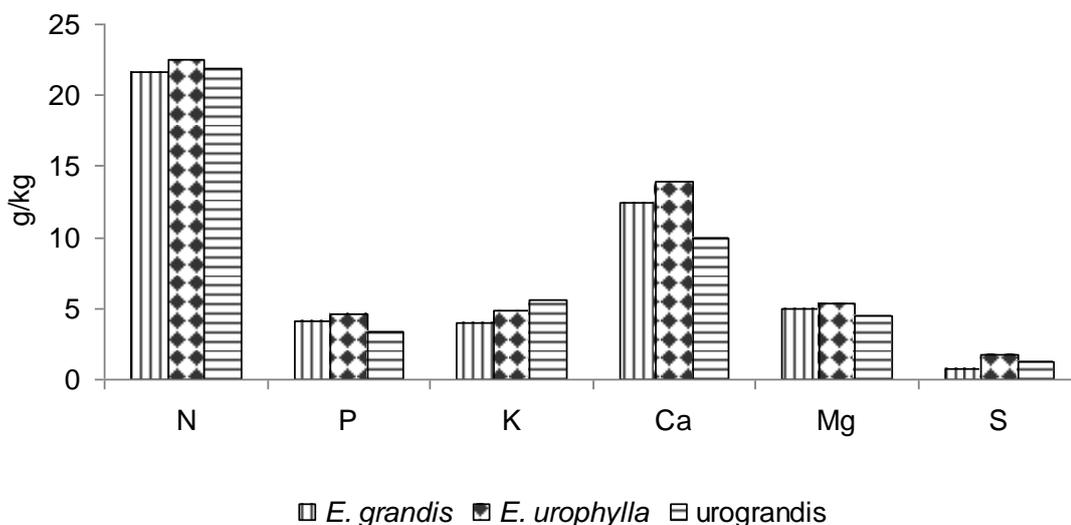


Figura 3. Teores médios de macronutrientes nas folhas das mudas antes da utilização das diferentes qualidades de água de irrigação.

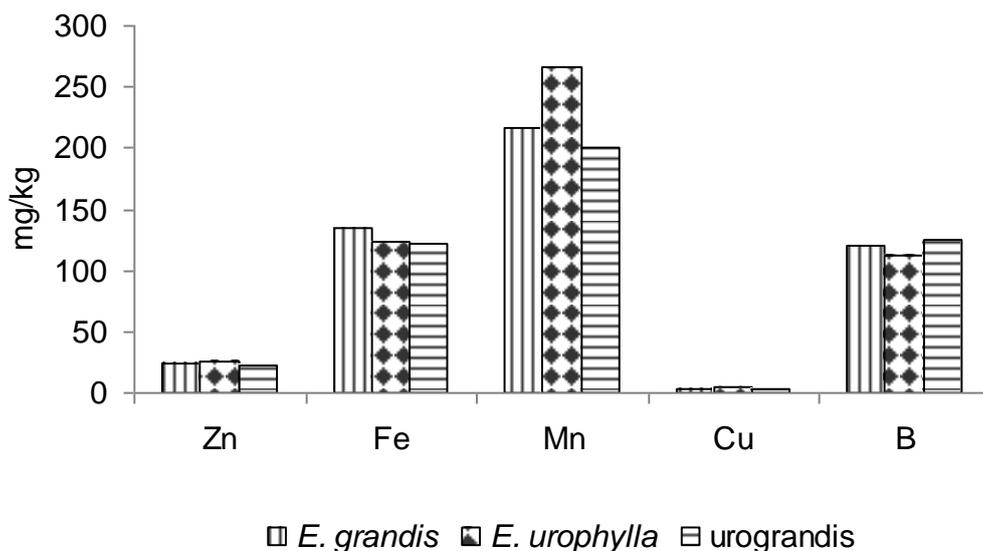


Figura 4. Teores médios de micronutrientes nas folhas das mudas antes da utilização das diferentes qualidades de água de irrigação.

Os resultados obtidos da segunda análise foliar, feita após a utilização das diferentes qualidades de água de irrigação durante 80 dias, encontram-se nas Figuras 5 e 6.

Os resumos das análises de variância dos dados encontrados para os teores dos macro e micronutrientes encontram-se nas Tabelas C, na seção ANEXOS.

De acordo com o Teste de Tukey, os teores de nitrogênio, cálcio, ferro, manganês e boro diferiram entre si para o fator qualidade de água de irrigação, aos níveis de 5% e 1% de probabilidade.

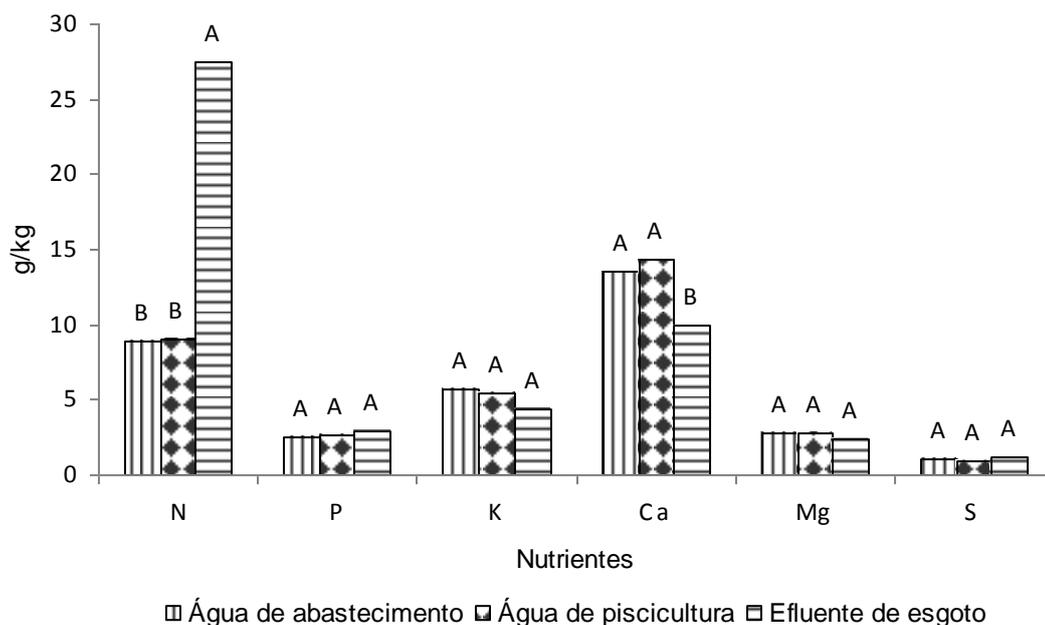


Figura 5. Teores médios de macronutrientes nas folhas das mudas após a utilização das diferentes qualidades de água de irrigação durante 80 dias. Médias seguidas de letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey, aos níveis de 5% e 1% de probabilidade.

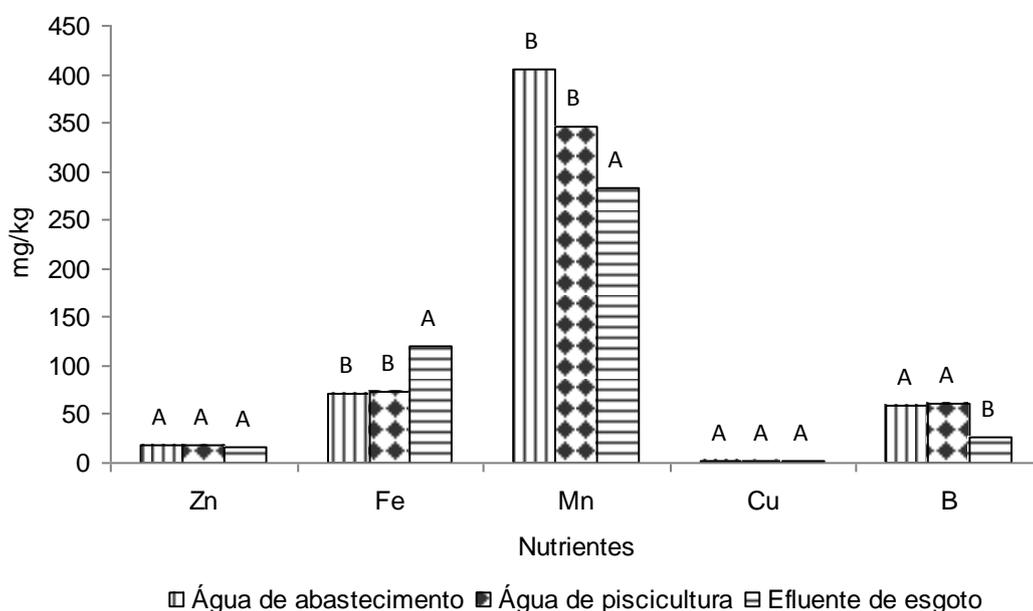


Figura 6. Teores médios de micronutrientes nas folhas das mudas após a utilização das diferentes qualidades de água de irrigação durante 80 dias. Médias seguidas de letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey, aos níveis de 5% e 1% de probabilidade.

4.3.1. Nitrogênio

Os teores de nitrogênio nas folhas das mudas foram maiores quando houve utilização do efluente de esgoto do que quando houve a utilização das águas de abastecimento e piscicultura (Figura 5).

Comparando os teores de nitrogênio obtidos nas duas análises (Figura 3 e 5), observam-se, após a utilização das diferentes qualidades de água, menores teores de nitrogênio 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 nitrogênio 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 & LOPES, 2007).

Logo, é possível que o menor crescimento verificado com a utilização das águas de abastecimento e de piscicultura se deva a uma deficiência de nitrogênio, pois foi verificado nessas águas menor teor de nitrogênio (3 mg L⁻¹) do que no efluente de esgoto (52 mg L⁻¹).

Assim como no presente trabalho, Singhe & Bhati (2005) observaram que a utilização de efluente de esgoto municipal na fertirrigação de *Dalbergia sissoo* (indian rosewood) com 2 anos de idade, proporcionou maior teor foliar de nitrogênio do que a utilização de fonte de água superficial.

Augusto *et al.* (2007) observaram que a utilização de efluente de esgoto doméstico tratado em sistema de subirrigação de mudas de *E. grandis*, proporcionou maior teor de nitrogênio amoniacal nas folhas das mudas do que a utilização de água com fertilizantes minerais, não sendo observado nenhum efeito de toxicidade.

No entanto, Augusto *et al.* (2003), utilizando efluente de esgoto doméstico tratado e água com fertilizantes em sistema de subirrigação de mudas de *Croton floribundus* (capixingui), não observaram diferença nos teores de nitrogênio nas folhas das mudas.

4.3.2. Fósforo

Os teores de fósforo nas mudas foram iguais para utilização das três qualidades de água (Figura 5), 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 3 e 5), 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).

Teores foliares semelhantes aos obtidos no presente trabalho também foram obtidos por Augusto *et al.* (2007) em mudas de *Eucalyptus grandis* fertirrigadas com efluente de esgoto doméstico e com água de abastecimento com fertilizantes minerais. No entanto, os autores verificaram que o efluente de esgoto proporcionou maior teor foliar de fósforo do que a água com fertilizantes. Nenhum efeito de toxicidade foi relatado, assim como no presente trabalho.

4.3.3. Potássio

Os teores de potássio nas folhas foram iguais com a utilização das três qualidades de água (Figura 5)

Assim como no presente trabalho, Singhe & Bhati (2005) observaram que os teores de potássio nas folhas de *Dalbergia sissoo* (indian rosewood) foram iguais tanto com a utilização de efluente de esgoto municipal, como com água de fonte superficial.

No entanto, Augusto *et al.* (2007), utilizando efluente de esgoto e água de abastecimento com fertilizantes minerais na irrigação de mudas de *Eucalyptus grandis* via subirrigação, verificaram maior teor de potássio com a utilização do efluente de esgoto.

Comparando os teores de potássio obtidos nas duas análises (Figuras 3 e 5), 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 nas plantas aqui estudadas.

4.3.4. Cálcio

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 5).

Levando-se em consideração que o teor de cálcio foi igual nas três qualidades de água, é provável que nas mudas que cresceram mais (mudas fertirrigadas com efluente de esgoto) tenha havido um efeito de diluição do cálcio.

No entanto, o teor de cálcio nas mudas fertirrigadas com efluente de esgoto encontra-se 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.

4.3.5. Magnésio

Os teores de magnésio nas folhas das mudas foram iguais com a utilização das três qualidades de água (Figura 5).

Resultados semelhantes aos encontrados no presente trabalho foram obtidos por Augusto *et al* (2007) em folhas de mudas de *E. grandis* fertirrigadas com efluente de esgoto e água com fertilizantes minerais, cujos teores foram iguais entre si.

No entanto, em plantios de *Dalbergia Sissoo* (indian rosewood) com 2 anos de idade, Singh & 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 3 e 5), observam-se após a utilização das três qualidades de água, menores teores de magnésio nas folhas das mudas, ficando estes abaixo do valor considerado adequado para a cultura (4-5 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 CO₂ (MALAVOLTA, 1980).

4.3.6. Enxofre

Os teores de enxofre nas folhas foram iguais para a utilização das três qualidades de água (Figura 5).

No entanto, teores semelhantes aos encontrados no presente trabalho também foram obtidos por Augusto *et al.* (2003) em mudas de *Croton floribundus* (capixingui) e *Copaifera langsdorffii* (copaíba) fertirrigadas com a utilização de efluente de esgoto doméstico tratado e água com fertilizantes químicos. Porém, foram verificados maiores teores de enxofre com a utilização da água com fertilizantes.

Teores de enxofre entre 1,5 a 2,0 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).

4.3.7. Zinco

Os teores de zinco nas folhas foram iguais com a utilização das três qualidades de água de irrigação (Figura 6).

Já em plantio de *Dalbergia Sissoo* (indian rosewood) com 2 anos de idade, Singh & 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 4 e 6), 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, os teores obtidos por Augusto *et al.* (2007) em mudas de *E. grandis*, com a utilização de efluente de esgoto doméstico tratado, 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 indolil 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).

Foi observado em algumas mudas, tanto irrigadas com água de abastecimento, como fertirrigadas com água de piscicultura, encurtamento dos internódios e folhas pequenas.

4.3.8. Ferro

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 6).

Assim como neste trabalho, Singh & Bhati (2005), em plantios de *Dalbergia Sissoo* (indian rosewood) 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 4 e 6), 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.

De acordo com a análise química das águas, os teores de ferro para as três qualidades de água foram os mesmos ($< 0,01 \text{ mg L}^{-1}$). Logo, o esperado seria que os teores de ferro nas plantas 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 ($150 \text{ a } 200 \text{ mg kg}^{-1}$) 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.

4.3.9. Manganês

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 6).

Comparando os teores de manganês obtidos nas duas avaliações (Figuras 4 e 6), observa-se após a utilização das três qualidades de água maior teor de manganês nas folhas das plantas, com destaque para a utilização das águas de abastecimento e piscicultura, que proporcionaram os maiores teores de manganês.

No entanto, os teores de manganês ficaram dentro da faixa considerada adequada para cultura ($100\text{-}600 \text{ mg kg}^{-1}$) por Martinez (1999).

Augusto *et al.* (2007), ao contrário do presente trabalho, verificaram maior teor de manganês em mudas de *E. grandis* fertirrigadas com efluente de esgoto doméstico tratado do que em mudas fertirrigadas com água e fertilizante mineral.

Singh & Bath (2005) utilizando efluente de esgoto municipal e água de canal superficial na irrigação de *Dalbergia sissoo* (indian rosewood) com 2 anos

de idade, também observaram maior teor de manganês nas folhas das plantas fertirrigadas com efluente de esgoto.

4.3.10. Cobre

Os teores de cobre nas folhas das mudas foram iguais para as três qualidades de água (Figura 6).

Comparando os teores obtidos nas duas análises (Figuras 4 e 6), 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 nitrogênio, 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 sendo verificado o mesmo para as mudas fertirrigadas com água e fertilizantes minerais.

No entanto, Singh & Bhati (2005), observaram maiores teores de cobre (43 mg kg⁻¹) em folhas de *Dalbergia Sissoo* (indian rosewood) com a utilização de efluente de esgoto municipal.

4.3.11 Boro

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 6).

Comparando os teores de boro obtidos nas duas análises (Figuras 4 e 6), observa-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 experimento 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 no presente trabalho, os teores de boro nas folhas das mudas fertirrigadas com efluente de esgoto tenham ficado abaixo da faixa considerada adequada para cultura, Augusto *et al.* (2007) obtiveram teores de 53 mg L⁻¹ em mudas de *E. grandis* fertirrigadas com efluente de esgoto doméstico tratado; sendo inclusive, iguais aos teores obtidos com utilização de água com fertilizantes minerais.

Já em mudas de *Copaifera langsdorffii*, Augusto *et al.* (2003) verificaram maiores teores foliares de boro com a utilização de efluente de esgoto doméstico tratado do que com água e fertilizantes minerais.

4.4. CARACTERÍSTICAS DO SOLO

Os resumos das análises de variância dos dados encontrados para as características do solo encontram-se nas Tabelas D na seção ANEXOS.

De acordo com o teste de Tukey, apenas os teores de potássio diferiram entre si para o fator qualidade de água de irrigação, aos níveis de 5% e 1% de probabilidade.

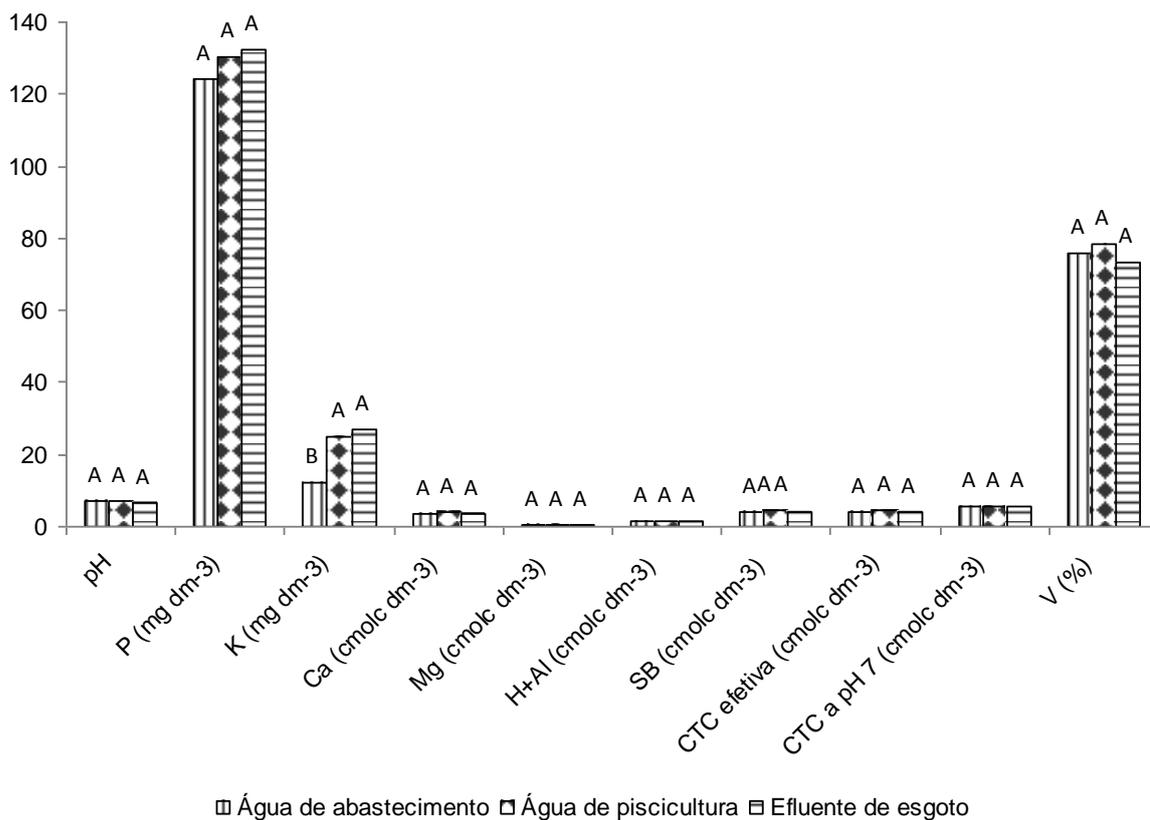


Figura 7. Valores médios das características avaliadas nas amostras de solo após a utilização das diferentes qualidades de água de irrigação durante 80 dias. Médias seguidas de letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey, aos níveis de 5% e 1% de probabilidade.

Os teores de alumínio e de saturação de alumínio no solo, embora tenham sido avaliados, não constam na Figura 7 porque em todas as amostras de solo, os resultados foram sempre iguais a zero.

4.4.1. pH

Os valores de pH do solo foram iguais com a utilização das três qualidades de água (Figura 7).

Porém, de acordo com a análise inicial do solo, nota-se que houve aumento do pH do solo após a utilização das três qualidades de água (Tabela 3 e Figura 7), podendo ser considerado um efeito benéfico. Segundo Troeh &

Thompson (2007), a faixa considerada ótima para as plantas é geralmente entre 6,0 e 7,5, em que todos os nutrientes estão razoavelmente disponíveis.

Valores de pH semelhantes aos encontrados no presente trabalho foram obtidos por Lucena *et al.* (2006) com a utilização de efluente de esgoto municipal tratado e água de abastecimento, na simulação do ambiente de formação de mudas de espécies florestais. Além disso, os autores verificaram que as duas qualidades de água proporcionaram aumento do pH inicial do solo, assim como neste trabalho.

4.4.2. Fósforo

Os teores de fósforo no solo foram iguais com a utilização das três qualidades de água (Figura 7).

Diferente do que se observou no presente trabalho, Santos *et al.* (2007) utilizando água de abastecimento e efluente de esgoto doméstico tratado na produção de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (angico preto) observaram que o efluente de esgoto proporcionou maiores teores de fósforo nos substratos do que a água de abastecimento.

O mesmo foi observado por Singhe & Bhati (2005), que verificaram maior teor de fósforo no solo com a utilização de efluente de esgoto municipal na fertirrigação de *Dalbergia sissoo* (indian rosewood) do que com água de canal superficial; além de observarem aumento do teor inicial de fósforo do solo.

Comparando o teor inicial de fósforo com os teores verificados após a utilização das três qualidades de água (Tabela 3 e Figura 7), observa-se que houve aumento deste nutriente no solo. Inclusive, ficando acima da faixa considerada adequada para solos com textura argilosa (6-10 mg dm⁻³), de acordo com os limites de interpretação do nível de fertilidade adotados pelos laboratórios de análise de solo no Estado do Espírito Santo, segundo Lopes & Guilherme (2004).

4.4.3. Potássio

Os teores de potássio no solo foram maiores com a utilização da água de piscicultura e do efluente de esgoto (Figura 7).

Levando em consideração os resultados das análises químicas da água (Tabela 1), é possível que o menor teor de potássio obtido com a utilização da água de abastecimento se dê em função do menor teor do nutriente verificado nessa água.

Assim como no presente trabalho, Lucena *et al.* (2006), ao simularem o ambiente de produção de mudas de essências florestais em um Neossolo Quartzarênico, observaram menor teor de potássio com a utilização de água de abastecimento do que com efluente de esgoto.

Singhe & Bhati (2005), também observaram menor teor de potássio no solo com a utilização de água de canal superficial na irrigação de *Dalbergia sissoo* (indian rosewood) durante 12 meses do que com a utilização de efluente de esgoto.

Comparando o teor inicial de potássio do solo com os teores verificados após a utilização das três qualidades de água (Tabela 3 e Figura 7), observa-se redução do teor inicial, passando este de médio (31 a 60 mg dm^{-3}) para baixo ($< 30 \text{ mg dm}^{-3}$), segundo Lopes & Guilherme (2004).

Segundo Feigin (1991), mesmo que ocorra aumento no teor de potássio disponível mediante a disposição de efluentes ao solo, a quantidade deste nutriente exigida pelas plantas é tão elevada que dificilmente apenas a irrigação com efluente poderia suprir adequadamente as plantas.

4.4.4. Cálcio

Os teores de cálcio no solo foram iguais para a utilização das três qualidades de água (Figura 7).

Comparando o teor inicial de cálcio no solo com os teores verificados após a utilização das três qualidades de água (Tabela 3 e Figura 7), observa-se que houve aumento no teor de cálcio, passando de baixo ($\leq 1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para médio ($1,6-4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$),

Assim como nesse trabalho, Singhe & Bhati (2005), observaram que a utilização de água de canal superficial e de efluente de esgoto municipal em plantio de *Dalbergia sissoo* (indian rosewood) durante 12 meses proporcionou teores iguais de cálcio no solo. No entanto, o teor inicial de cálcio no solo permaneceu o mesmo no final do experimento.

4.4.5. Magnésio

Os teores de magnésio no solo foram iguais para as três qualidades de água (Figura 7).

O mesmo foi observado por Lucena *et al.* (2006) com a utilização de água de abastecimento e efluente de esgoto municipal tratado na simulação de ambiente de formação de mudas de espécies florestais, em que os teores de magnésio no solo foram iguais.

Da mesma forma, Singhe & Bhati (2005), observaram teores iguais de magnésio no solo após a utilização de água de abastecimento e de efluente de esgoto municipal em plantio de *Dalbergia sissoo* (indian rosewood) durante 12 meses.

De acordo com Lopes & Guilherme (2004), os teores de magnésio verificados após a utilização das três qualidades de água são considerados entre baixos e médios.

4.4.6. Soma de bases e Capacidade de troca catiônica efetiva

A soma de bases e a CTC efetiva do solo foram iguais com a utilização das três qualidades de água.

No entanto, houve aumento da soma de bases, passando esta de baixa ($\leq 2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para média (2,1 a $5,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). A CTC efetiva é considerada média (2,6 a $6,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), segundo Lopes & Guilherme (2004).

Assim como no presente trabalho, Lucena *et al.* (2006) simulando o ambiente de formação de mudas de espécies florestais observaram aumento da soma de bases com a utilização a utilização de água de abastecimento e efluente de esgoto municipal tratado.

4.4.7. Acidez potencial e capacidade de troca catiônica a pH 7

A acidez potencial e a capacidade de troca catiônica foram iguais com a utilização das três qualidades de água.

No entanto, houve redução da acidez potencial e aumento da CTC a pH 7 após a utilização das três qualidades de água, de modo que a CTC a pH 7 passou de baixa ($\leq 4,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para média (4,6 a $10,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), segundo Lopes & Guilherme (2004).

Resultados semelhantes foram obtidos por Lucena *et al.* (2006), que observaram que a utilização de água de abastecimento e de efluente de esgoto no solo, aumentou a CTC a pH 7 e reduziu a acidez potencial em relação a análise inicial de solo. No entanto, maior CTC a pH 7 e menor acidez potencial foi observada no solo em que foi aplicado o efluente de esgoto.

4.4.8. Saturação de bases

A soma de bases foi igual com a utilização das três qualidades de água.

Comparando a saturação de bases inicial do solo com a verificada após a utilização das três qualidades de água (Tabela 3 e Figura 7), observa-se que a saturação aumentou, sendo considerada alta (71 a 90%).

O mesmo foi observado por Lucena *et al.* (2006) com a utilização de água de abastecimento e efluente de esgoto municipal tratado em Neossolo Quartzarênico, simulando o ambiente de formação de mudas de essências florestais. Entretanto, ao contrário do presente trabalho, o efluente de esgoto proporcionou maior saturação de bases no solo.

5. CONCLUSÕES

- ✓ De modo geral, a utilização das três qualidades de água de irrigação proporcionou alterações benéficas no solo, tais como aumento do pH, da soma de bases, da capacidade de troca catiônica a pH 7, da saturação de bases e diminuição da acidez potencial, fósforo, cálcio. Com exceção do teor de potássio, que foi menor com a utilização da água de abastecimento, as três qualidades de água não diferiram entre si;
- ✓ Em relação ao estado nutricional das mudas, a utilização do efluente de esgoto proporcionou maior teor foliar de nitrogênio e de ferro; e a utilização das três qualidades de água proporcionou aumento dos teores de manganês;
- ✓ O efluente de esgoto foi a qualidade de água que proporcionou maior crescimento das mudas;
- ✓ Em relação às espécies, de modo geral, o *urograndis* apresentou maior crescimento que o *E. grandis* e o *E. urophylla*.

6. REFERÊNCIAS

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico da ABRAF**: ano base 2009. Brasília, 2010. 85 p.

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

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington: American Water Works Association, 2005. 1.368 p.

ARAÚJO, B. A. de; SANTOS, J. S. dos; DANTAS NETO, J.; LIMA, V. L. A. de. Produção de mudas de ipê roxo irrigadas com esgoto doméstico tratado. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABES, p. 1-5, 2007.

ARAÚJO, A. P. Eficiência vegetal de absorção e utilização de fósforo, com especial referência ao feijoeiro. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H. ; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**, v. 1, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, p. 163-212, 2000.

ASSANO, T.; MAEDA, M.; TAKAKI, M. Wastewater reclamation and reuse in Japan: overview and implementation examples. **Water Science Technology**, Oxford, v. 34, n. 1, p. 219-226, 1996.

AUGUSTO, D. C. C.; GUERRINI, I. A.; ENGEL, V. L.; ROUSSEAU, G. X. Utilização de águas residuárias provenientes do tratamento biológico de esgotos domésticos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 745-751, 2007.

AUGUSTO, D. C. C.; GUERRINI, I. A.; ENGEL, V. L.; ROUSSEAU, G. X. Utilização de esgotos domésticos tratados através de um sistema biológico na produção de mudas de *Croton floribundus* Spreng. (Capixingui) e *Copaífera langsdorffii*. Desf. (Copaíba). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 335-342, 2003.

AZEVEDO, M. R. Q. A.; KONIG, A.; BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, C. A. V. de; TAVARES, T. L.; SOARES, F. A. L. Efeito da irrigação com água residuária tratada sobre a produção de milho forrageiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 02, n. 01, p. 63-68, 2007.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. Estudos da FAO Irrigação e Drenagem, 29 revisado.

BASSA, A. G. M. C.; SILVA JUNIOR, F. G. da; SACON, V. M. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Pinus taeda* para

produção de celulose Kraft através do processo Lo-Solids. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 75, p. 19-29, 2007.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005, 611 p.

BLUM, J. R. C. Critérios e padrões de qualidade da água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos. **Reúso de água**. Barueri, SP: Manole, 2003. cap. 5, p. 125-174.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L. de; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**: o desafio do desenvolvimento sustentável. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005, 318 p.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF/UENF, 1995, 451 p.

CONAMA. Resolução n° 375/2006, de 29 de agosto de 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano/>. Acesso em: 10 abr. 2011.

COSTA, R. H. P. G. Reúso. In: TELLES, D. D'ALKMIN; COSTA, R. H. P. G. **Reúso da água**: conceitos, teorias e práticas. São Paulo: Blucher, 2007. cap. 7. p. 93-140.

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

EMBRAPA SOLOS. **Manual de Análise Química de Solo, Planta e Fertilizantes**. 1999, 370 p.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent**: management for environmental protection. Berlin: Springer-Verlag, 233 p., 1991.

HESPANHOL, I. Água e saneamento básico. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces do Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. cap. 9, p. 269-324.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil – agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 7, p. 75-95, 2002.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 2. ed. Campinas, SP: Átomo, 2008.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações.** São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004 (Projeto ANDA, Boletim Técnico, 3).

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo.** Tradução: Soil fertility manual. São Paulo: ANDA/PATAFOS, 1989. 153 p.

LOUGON, M. S. **Crescimento de mudas de eucalipto irrigadas com água de diferentes qualidades.** 2010. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

LUCENA, A. M. A. de; GUERRA, H. O. C.; CHAVES, L. H. G.; COSTA, F. X. Análise de um efluente de esgoto tratado e seu efeito em propriedades químicas de um neossolo quartzarênico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 4, p. 409-414, 2006.

LUCENA, A. M. A. de; GUERRA, H. O. C.; CHAVES, L. H. G.; COSTA, F. X. Influência da natureza do substrato e da água de irrigação no crescimento de mudas de flamboyant (*Delonix regia*). **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 3, p. 112-120, 2007.

MALAVOLTA E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

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.; VAN HAANDEL, A. C. 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.** Rio de Janeiro: ABES, RiMA, 2003, cap. 3, p. 61-118.

MARQUES, M. O.; MELO, W. J.; MARQUES, T. A. Metais pesados e o uso de biossólidos na agricultura. In: TSUTIYA, M. T. *et al.* (Ed.). **Biossólidos na agricultura.** São Paulo: SABESP, 2001. cap. 12, p. 365-403.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; 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.

MENDOZA, R. A. M.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral.** 2. ed. rev. ampl., Viçosa: Ed. UFV, 2007, 469 p.

MOURA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000, 112 p.

MOURA, V. P. G. O germoplasma de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no Brasil. **Comunicado Técnico 111**, 2004.

NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M.; NOVAIS, R. F. Fertilização mineral de mudas de eucalipto. In: BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F. de. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. cap. 3, p. 99-126.

OLIVEIRA, M. de; MAIA, C. E. Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v. 2, p. 17-21, 1998.

PAGANINI, W. S. **Disposição de esgotos no solo, através de escoamento à superfície, com utilização de gramíneas**: avaliação de processo quanto aos aspectos sanitários. 1997. 232 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

PAGANINI, W. S. Reúso da água na agricultura. In: **Reúso de água**. Mancuso, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos; PHILIPPI JUNIOR, A. Barueri: Manole, 2003. cap. 10, p. 339-401.

PEREIRA, D. P., REBELLO, A. P. B.; FIEDLER, N. C.; BOLZAN, H. M. R. Atividades silviculturais em povoamentos de eucalipto em áreas inclinadas. In: RODRIGUES, B. P.; FIEDLER, N. C.; BRAZ, R. L. **Tópicos em ciências florestais**. Alegre: CAUFES, 2009, cap. 5, p. 59-74.

PESCOD, M. B. **Wastewater treatment and reuse in agriculture**. Rome: FAO 1992, 125 p. (Irrigation and Drainage Paper, 47).

RAMALHO FILHO, A.; PÉREZ, D. V.; AMARAL, F. C. S.; TAVARES, S. R. L. Parâmetros do sistema relacionados à qualidade e custo de captação da água para irrigação. In: AMARAL, F. C. S. do. **Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação**: enfoque na região semiárida. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005, cap. 4, p. 73-82.

REGO, J. L.; OLIVEIRA, E. L. L. de; CHAVES, A. F.; ARAÚJO, A. P. B.; BEZERRA, F. M. L.; SANTOS, A. B. dos; MOTA, S. Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, (suplemento), p. 155-159, 2005.

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

SANTOS, J. S. dos; ARAÚJO, B. A. de; LIMA, V. L. A.; DANTAS NETO, J. Plantas nativas do bioma caatinga produzidas com esgoto doméstico tratado. **Revista Científica da UFPA**, Curitiba, ano 7, v. 6, n. 1, 2007.

SILVA, A. G. da; PANDOLFI, F.; PENCHEL, R. M.; GONÇALVES, E. O. Qualidade de mudas de essências florestais. In: CHICHORRO, J. F.; GARCIA, G. O.; CALDEIRA, M. V. W.; BAUER, M. O. **Tópicos em ciências florestais**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2010. Cap. 3, p. 83-106.

SILVA, J. de C.; MATOS, J. L. M. de. A madeira de eucalipto na indústria moveleira. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 70, p. 36-40, 2003.

SINGH, G. BHATI, M. Growth of *Dalbergia sissoo* in desert regions of western India using municipal effluent and the subsequent changes in soil and plant chemistry. **Bioresource Technology**, 96, p. 1019-1028, 2005.

SOUSA, J. T. de; LEITE, V. D., LUNA, J. G. de. Desempenho da cultura do arroz irrigado com esgotos sanitários previamente tratados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 107-110, 2001.

SOUSA, J. T. de; CEBALLOS, B. S. O. de; HENRIQUE, I. N.; DANTAS, J. P.; LIMA, S. M. S. Reúso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 89-96, 2006.

TELLES, D. D' A.; DOMINGUES, A. F. Água na agricultura e pecuária. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006, cap. 10, p. 325-365.

TRANI, P. E. Hortaliças folhosas e condimento. In: PEREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. van; ABREU, C. A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, p. 293-310, 2001.

TROEH, F. R.; THOMPSON L. M. **Solos e fertilidade do solo**. São Paulo: Andrei Editora, 2007, 718 p.

ANEXOS

Tabela 1 A. Resumo da análise de variância da altura da parte aérea (APA) e diâmetro do colo (DCO) em função da espécie

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		APA	DCO
Espécie	2	25,38259 ^{ns}	0,1797037E-01 ^{ns}
Resíduo	24	13,56250	0,1172880
Coeficiente de Variação (%)		12,81	17,44

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 2 A. Resumo da análise de variância da área foliar (AFO) e massa seca da parte aérea (MSPA) em função da espécie

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		AFO	MSPA
Espécie	2	21,38577 ^{ns}	0,2670370E-02 ^{ns}
Resíduo	24	230,8504	0,2305093E-01
Coeficiente de Variação (%)		33,25	25,01

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 3 A. Resumo da análise de variância da massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST) em função da espécie

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		MSR	MST
Espécie	2	0,1348148E-02 ^{ns}	0,8866667E-02 ^{ns}
Resíduo	24	0,4642593E-02	1,080600
Coeficiente de Variação (%)		25,48	24,27

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 4 A. Resumo da análise de variância da relação entre parte aérea e raiz (RPAR) e razão de área foliar (RAF) em função da espécie

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		RPAR	RAF
Espécie	2	0,2249669 ^{ns}	44,10969 ^{ns}
Resíduo	24	0,1270679	61,24619
Coeficiente de Variação (%)		15,52	15,73

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 5 A. Resumo da análise de variância da relação entre altura e diâmetro (RAD) e porcentagem de raízes (PRA) em função da espécie

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		RAD	PRA
Espécie	2	2,449379 ^{ns}	22,81586 ^{ns}
Resíduo	24	6,771675	11,88093
Coeficiente de Variação (%)		17,43	11,22

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 1 B. Resumo da análise de variância da altura da parte aérea (APA) e diâmetro do colo (DCO) em função da espécie e da qualidade da água

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		APA	DCO
Água	2	10156,85**	111,7357**
Espécie	2	57,70259 ^{ns}	5,619304*
Água * Espécie	4	130,8087 ^{ns}	1,197659 ^{ns}
Resíduo	18	116,6511	1,301863
Coeficiente de Variação (%)		11,90	12,36

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 2 B. Resumo da análise de variância da área foliar (AFO) e massa seca da parte aérea (MSPA) em função da espécie e da qualidade da água

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		AFO	MSPA
Água	2	0,6737647E+0,9**	1914,166**
Espécie	2	1200698 ^{ns}	34,92828 ^{ns}
Água * Espécie	4	1859662 ^{ns}	4,824670 ^{ns}
Resíduo	18	1184784	19,10251
Coeficiente de Variação (%)		15,44	32,28

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 3 B. Resumo da análise de variância da massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST) em função da espécie e da qualidade da água

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		MSR	MST
Água	2	15127,52**	27795,14**
Espécie	2	112,8366 ^{ns}	263,3390*
Água * Espécie	4	7,783093 ^{ns}	3,946937 ^{ns}
Resíduo	18	32,89650	49,29042
Coeficiente de Variação (%)		15,79	14,08

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 4 B. Resumo da análise de variância da relação entre parte aérea e raiz (RPA/R) e taxa de crescimento absoluto (TCA) em função da espécie e da qualidade da água

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		RPA/R	TCA
Água	2	0,2963729E-01 ^{ns}	4,338279**
Espécie	2	0,8885368E-04 ^{ns}	0,4116231E-01*
Água * Espécie	4	0,3794458E-02 ^{ns}	0,6271152E-03 ^{ns}
Resíduo	18	0,1168141E-01	0,7710006E-02
Coeficiente de Variação (%)		26,91	14,34

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 5 B. Resumo da análise de variância da taxa de crescimento relativo (TCR) e razão de área foliar (RAF) em função da espécie e da qualidade da água

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		TCR	RAF
Água	2	01586430E-02**	2927,817**
Espécie	2	0,6747569E-04*	1328,483**
Água * Espécie	4	0,2559543E-04 ^{ns}	237,4761 ^{ns}
Resíduo	18	0,1682619E-04	106,9960
Coeficiente de Variação (%)		9,05	7,99

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 6 B. Resumo da análise de variância da taxa de assimilação líquida (TAL), relação entre altura e diâmetro (RAD) e porcentagem de raízes em função da espécie e da qualidade da água

Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		TAL	RAD	PRA
Água	2	0,1997686E-07*	1,297805 ^{ns}	69,84641 ^{ns}
Espécie	2	0,3352501E-07**	7,721918*	0,8000946 ^{ns}
Água * Espécie	4	0,6133934E-08 ^{ns}	4,022273 ^{ns}	9,205289 ^{ns}
Resíduo	18	0,3429026E-08	1,540795	26,48521
Coeficiente de Variação (%)		16,58	12,43	7,18

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 1 C. Resumo da análise de variância do nitrogênio (N), do fósforo (P) e do potássio (K) em função da qualidade da água

Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		N	P	K
Água	2	10,31699 **	0,3803704E-02 ^{ns}	0,4272593E-01 ^{ns}
Espécie	2	0,2357037E-01 ^{ns}	0,9514815E-02 ^{ns}	0,3490370E-01 ^{ns}
Água * Espécie	4	0,1282593E-01 ^{ns}	0,3725926E-02 ^{ns}	0,1410370E-01 ^{ns}
Resíduo	18	0,2343333E-01	0,5814815E-02	0,1481481E-01
Coeficiente de Variação (%)		10,11	28,05	23,47

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 2 C. Resumo da análise de variância do cálcio (Ca), do magnésio (Mg) e do enxofre (S) em função da qualidade da água

Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		Ca	Mg	S
Água	2	0,4850333 **	0,3125926E-02 ^{ns}	0,1848148E-02 ^{ns}
Espécie	2	0,1677444 ^{ns}	0,7525926E-02 ^{ns}	0,2048148E-02 ^{ns}
Água * Espécie	4	0,6914444E-01 ^{ns}	0,6703704E-02 ^{ns}	0,1731481E-02 ^{ns}
Resíduo	18	0,9781481E-01	0,2314815E-02	0,9259259E-03
Coeficiente de Variação (%)		24,76	18,09	30,20

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 3 C. Resumo da análise de variância do zinco (Zn), do ferro (Fe) e do manganês (Mg) em função da qualidade da água

Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		Zn	Fe	Mn
Água	2	16,77778 ^{ns}	6745,148**	34051,59*
Espécie	2	2,333333 ^{ns}	925,0370 ^{ns}	38615,26*
Água * Espécie	4	11,61111 ^{ns}	149,0926 ^{ns}	39227,98**
Resíduo	18	13,40741	317,8148	8418,593
Coeficiente de Variação (%)		19,97	20,29	26,64

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 4 C. Resumo da análise de variância do cobre (Cu) e do boro (B) em função da qualidade da água

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		Cu	B
Água	2	1,148148 ^{ns}	3414,336**
Espécie	2	4,037037**	48,56259 ^{ns}
Água * Espécie	4	0,8148148 ^{ns}	111,6426 ^{ns}
Resíduo	18	0,3703704	831,1800
Coeficiente de variação (%)		37,34	13,97

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 1 D. Resumo da análise de variância do pH, do fósforo (P) e do potássio (K) em função da qualidade da água

Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		pH	P	K
Água	2	0,2777778E-01 ^{ns}	167,2715 ^{ns}	551,2593**
Espécie	2	0,3633333*	5,291481 ^{ns}	46,70370 ^{ns}
Água * Espécie	4	0,1111111 ^{ns}	432,2359 ^{ns}	8,148148 ^{ns}
Resíduo	18	0,9407407E-01	247,0481	30,44444
Coeficiente de Variação (%)		4,47	12,17	25,77

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 2 D. Resumo da análise de variância do cálcio (Ca), do magnésio (Mg) e da acidez potencial (H+Al) em função da qualidade da água

Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		Ca	Mg	H+Al
Água	2	0,3033333 ^{ns}	0,7777778E-02 ^{ns}	0,1129333 ^{ns}
Espécie	2	1,990000**	0,1444444E-01 ^{ns}	0,8811111*
Água * Espécie	4	0,5133333 ^{ns}	0,5555556E-02 ^{ns}	0,1618944 ^{ns}
Resíduo	18	0,3370370	0,8518519E-02	0,1720111
Coeficiente de Variação (%)		15,64	17,30	30,00

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 3 D. Resumo da análise de variância da soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_e) e capacidade de troca catiônica a pH 7 (CTC_T) em função da qualidade da água

Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		SB	CTC(t)	CTC(T)
Água	2	0,2891815 ^{ns}	0,2891815 ^{ns}	0,7040370E-01 ^{ns}
Espécie	2	2,214670 ^{**}	2,214670 ^{**}	4,050448 ^{**}
Água * Espécie	4	0,5380204 ^{ns}	0,5380204 ^{ns}	0,7361759 ^{ns}
Resíduo	18	0,3913667	0,3913667	0,6238185
Coeficiente de Variação (%)		15,55	14,55	13,90

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5%

Tabela 4 D. Resumo da análise de variância do índice de saturação de bases (V) em função da qualidade da água

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
		V
Água	2	51,37037 ^{ns}
Espécie	2	151,3704 [*]
Água * Espécie	4	38,64815 ^{ns}
Resíduo	18	33,88889
Coeficiente de Variação (%)		7,68

ns – não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade