



II-332 - APLICABILIDADE DE UM SISTEMA DE REÚSO DE ÁGUA PAISAGÍSTICO PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Andréa Narítza Silva Marquim de Araujo

Engenheira Civil, Especialista em Gestão e Controle Ambiental pela Universidade de Pernambuco, Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília, Analista de Infra-Estrutura – Departamento de Engenharia de Saúde Pública da FUNASA.

Endereço: SQN 315, Bloco C, apto 506, Asa Norte – Brasília - DF, CEP: 70774-030. e-mail: annaritza@hotmail.com / andrea.araujo@funasa.gov.br

RESUMO

O presente trabalho enfoca a aplicação do reúso de água urbano na irrigação paisagística, tendo como motivação a busca por fontes alternativas de água, face à previsão de escassez desse recurso no Distrito Federal.

O principal objetivo da pesquisa foi avaliar os efeitos sobre o sistema solo-água-plantas e o potencial do tratamento, pelo próprio sistema de reúso de água, a partir da construção e operação de unidades experimentais, envolvendo a irrigação com águas residuárias recuperadas.

As unidades experimentais independentes, onde se cultivou a espécie florífera *Dahlia pinnata*, foram concebidas de forma a possibilitar a coleta da água percolada para o monitoramento do processo.

Durante o experimento, realizou-se a caracterização da água de irrigação (efluentes do tratamento de esgotos nos níveis primário, secundário e terciário, coletados na Estação de Tratamento de Esgotos de Brasília-Norte, água do lago Paranoá e água do sistema público de abastecimento da Asa Norte) e o acompanhamento do desenvolvimento das plantas por meio da medição de parâmetros indicadores de crescimento, bem como a evolução da fertilidade do solo.

A determinação do manejo da irrigação baseou-se na medição da tensão superficial e do teor de umidade do solo.

Como principais conclusões da pesquisa, destacam-se: (1) a intermitência adotada no manejo da irrigação pode ter influenciado positivamente no tratamento; (2) o melhoramento das características do solo pela aplicação de águas residuárias em curto espaço de tempo; (3) a tendência ao acúmulo progressivo de sódio no solo pelo reúso de água; e (4) a forma tradicional de cultivo (irrigação com água combinada com adubação do solo com NPK) apresentou a pior condição de contaminação da água subterrânea, pelas altas concentrações de nitrato encontradas na água percolada.

PALAVRAS-CHAVE: reúso de água; irrigação paisagística; fertirrigação.

1. INTRODUÇÃO

O Distrito Federal encontra-se entre os estados brasileiros que estão em situação definida como “estresse hídrico”. Essa situação é acentuada pelo consumo de água diário por habitante excessivamente elevado, principalmente em Brasília, pela ausência de mananciais de grande porte na região e pela ocorrência de prolongados períodos de estiagem.

A manutenção de áreas verdes, públicas ou particulares, também contribui para o aumento da demanda hídrica urbana, devido aos requerimentos de irrigação. Dessa forma, a busca por fontes alternativas e o uso racional da água constituem fatores imprescindíveis para suprir as demandas hídricas de Brasília.

A presente pesquisa investiga o reúso de água para a irrigação paisagística, visando avaliar os efeitos no sistema solo-água-plantas, provenientes da irrigação com águas residuárias submetidas a diferentes níveis de tratamento.

2. METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa envolveu um experimento piloto localizado na Estação Experimental de Biologia da Universidade de Brasília, conduzido no período de seca, acompanhando um ciclo de vida de quatro meses da espécie florífera *Dahlia pinnata*, durante os meses de julho a outubro de 2003.



O experimento foi esquematizado de forma a possibilitar a realização do reúso de água para fins paisagísticos sob condições controladas, empregando um sistema de irrigação com águas residuárias, submetidas a diferentes níveis de tratamento (efluente primário, efluente secundário e efluente terciário), e do lago Paranoá, visando avaliar o comportamento do sistema frente à irrigação com diferentes tipos de água.

O local para instalação do espaço de pesquisa foi delimitado próximo ao lago Paranoá, na Estação Ecológica da UnB, abrangendo uma área de aproximadamente 90 m², onde foram dispostos os recipientes que constituíram as unidades de cultivo.

A área de pesquisa foi isolada com cerca vazada, de forma a impedir a entrada de pessoas alheias ao projeto, bem como animais de pequeno e grande porte. O local foi isento de sombra e de anteparos para controle do vento, tendo em vista se aproximar das condições reais promovidas nos canteiros típicos de Brasília.

As unidades experimentais receberam o mesmo delineamento experimental (em blocos), com seis tratamentos e três repetições, totalizando dezoito unidades de cultivo. Os tratamentos referiram-se ao tipo de água de irrigação e à adubação do solo com NPK + calagem, e podem ser resumidos da seguinte forma:

- Tratamento 1 (T1) – irrigação com esgoto primário;
- Tratamento 2 (T2) – irrigação com esgoto secundário;
- Tratamento 3 (T3) – irrigação com esgoto terciário;
- Tratamento 4 (T4) – irrigação com água do lago Paranoá;
- Tratamento 5 (T5) – irrigação com água de abastecimento + adubação no solo com NPK + calagem; e
- Tratamento 0 testemunha (T0) – irrigação com água de abastecimento.

Segundo Bernardo (1989), a caracterização da água a ser utilizada na irrigação é um fator de grande importância para que sejam identificados os seus efeitos sobre o sistema solo-água-plantas, além das interferências na infra-estrutura física do projeto de irrigação. A correta interpretação dessas informações poderá indicar a origem de muitas das interferências no desempenho do sistema, quer sejam positivas ou negativas.

Nesse sentido, para o reúso, faz-se a classificação da água residuária a ser utilizada, em fase anterior à implantação do sistema, segundo os padrões indicados para cada modalidade específica, possibilitando verificar se as necessidades nutricionais requeridas pela cultura estão sendo atendidas, assim como os efeitos de toxicidade provocados pelo excesso de alguns constituintes, mediante a quantificação das cargas aplicadas.

A água de irrigação foi primeiramente caracterizada, a partir da realização de análises quinzenais de parâmetros de qualidade relevantes ao tipo de uso, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo das Análises e Parâmetro de Qualidade

RESUMO DAS ANÁLISES	
Parâmetros Analisados	DBO, DQO, pH, Cloretos, Série de Sólidos, Série de Nitrogênio, Fósforo Total, Na, Ca, Mg, K, Condutividade, Coliformes Totais e termotolerantes, Temperatura.
Coleta de Amostras	Quinzenal
Nº de Análises	184
Referência	APHA/AWWA/WPCF (1999)

Em seguida, foi realizada a classificação dos efluentes segundo a metodologia descrita por Bernardo (1989), e a comparação com os balizamentos indicados pelos principais padrões de reúso adotados, buscando identificar a adequabilidade dos efluentes quanto ao reúso paisagístico.

Foi realizado o acompanhamento visual do crescimento das plantas e a medição de tamanho, diâmetro e número de folhas, incluindo a verificação da manifestação de doenças.



Amostras da água de irrigação e da água percolada no sistema foram coletadas e analisadas quanto aos parâmetros: DBO, DQO, amônia, nitrito, nitrato, fósforo total, cloretos, cálcio, magnésio, potássio, sódio, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, condutividade elétrica, pH, além de ter sido feita a classificação da água de irrigação a partir dos valores de RAS e condutividade elétrica. Quanto ao controle bacteriológico, foram analisados coliformes totais e fecais. Também foi realizado o monitoramento mensal da fertilidade do solo e da contaminação por helmintos e protozoários no final do período da pesquisa.

O controle operacional do sistema foi baseado nos seguintes aspectos:

- medidas diárias da tensão no solo;
- medidas diárias de umidade do solo;
- medidas semanais do crescimento vegetal, incluindo observação dos sintomas de doenças e de carência nutricional;
- medidas quinzenais de qualidade da água de reúso; e
- medidas quinzenais qualitativas da água drenada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Sistema Planta

Nas unidades experimentais que serviram de testemunha, foram observados os efeitos da carência nutricional, evidenciados pelo baixo rendimento da cultura e por sintomas de clorose, denotando a deficiência de nitrogênio entre outros nutrientes.

No final do ciclo da cultura, foram observados os sintomas de uma doença, provavelmente o oídio, de acordo com as indicações encontradas por Araújo e Rodrigues (2002), o qual provocou a deterioração da parte aérea das plantas, levando-as à morte mais rapidamente.

Verificou-se, também, a presença de pulgões, que são insetos sugadores da seiva, na face inferior das folhas, brotos, e forquilhas, e ao longo dos galhos, principalmente nas plantas que receberam irrigação com águas residuárias.

Não foram constatados sintomas comuns de toxidez por elementos nutritivos nas plantas, segundo indicações propostas por Souza e Carvalho (1985). Entretanto, para melhor averiguação, seria necessário ter realizado a análise do tecido foliar em conjunto com a análise de fertilidade do solo.

Em função desses aspectos, verifica-se que as plantas não apresentaram resistência à incidência de pragas e doenças, assim como, para uma melhor análise dos sintomas de deficiência e toxidez por parte de elementos presentes na água de irrigação, seria necessária a realização periódica da análise do tecido celular das folhas em conjunto com a análise de solo.

3.2 Sistema Água

As transformações ocorridas na água de irrigação após percolar a camada de solo, podem auxiliar na identificação da eficiência da complementação do tratamento e no diagnóstico das interferências sobre o desenvolvimento das plantas, além de propiciarem um melhor conhecimento dos processos que ocorrem no solo.

Solos que recebem alta concentração de matéria orgânica e nutrientes têm, em pouco tempo, seu desempenho como processo de tratamento prejudicado, exigindo, quando isso ocorrer, uma interrupção na atividade de disposição. Por isso, é necessário que a aplicação das águas residuárias esteja sendo realizada em turnos de rega que considerem as características do solo (Coraucchi et al., 1999b). Nesse sentido, buscou-se realizar primeiramente a irrigação diária para em seguida adotar um turno de rega menos freqüente, avaliando-se os efeitos desse manejo sobre o processo de tratamento realizado pelo reúso, como já constatado por outros autores.

Nas Figuras 1 a 14 são apresentados os valores médios dos parâmetros de qualidade analisados para cada tipo de água de irrigação, indicando a variação entre eles.

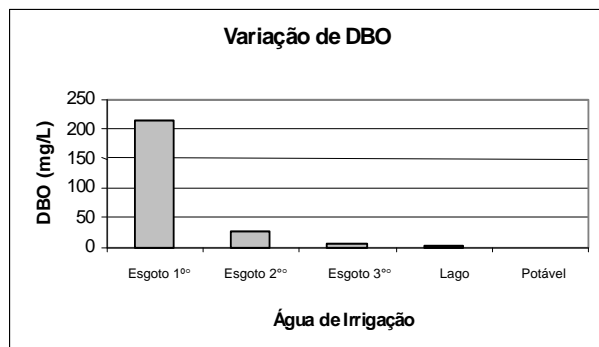


Figura 1 - Comparação entre Tratamentos – DBO

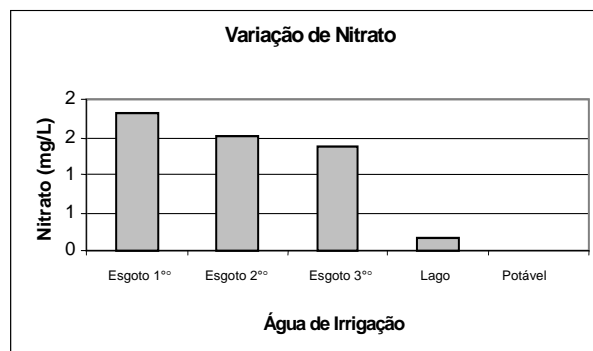


Figura 5 - Comparação entre Tratamentos – Nitrato

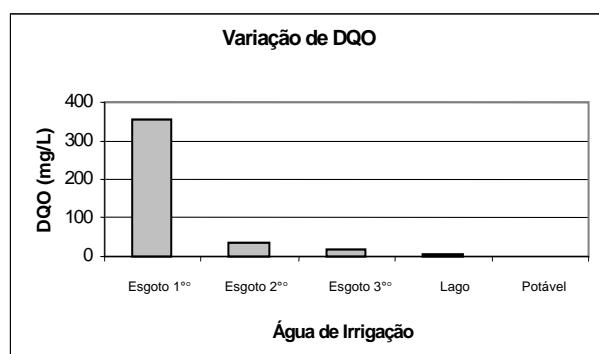


Figura 2 - Comparação entre Tratamentos – DQO

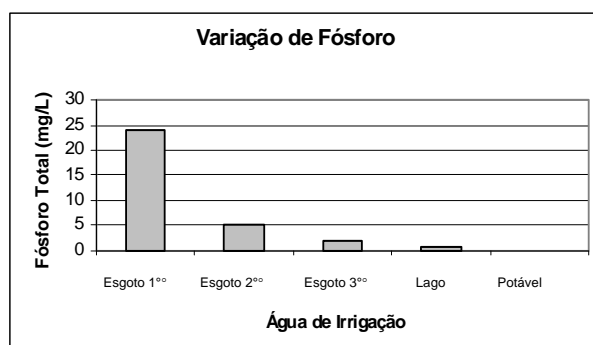


Figura 6 - Comparação entre Tratamentos - Fósforo Total

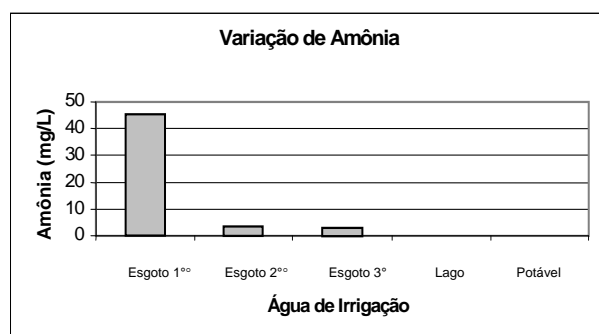


Figura 3 - Comparação entre Tratamentos – Amônia

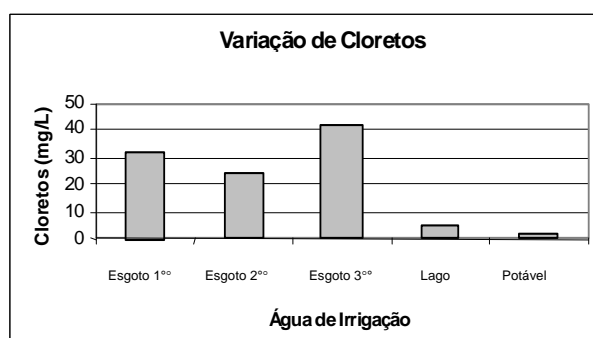


Figura 7 - Comparação entre Tratamentos – Cloretos

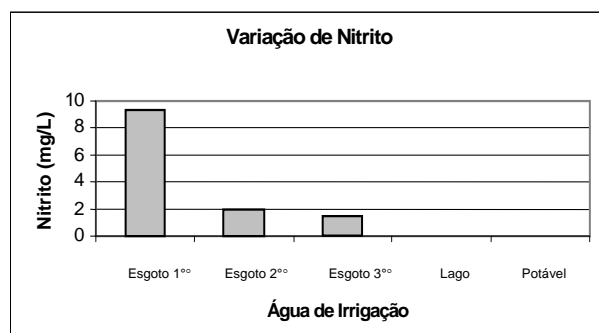


Figura 4 - Comparação entre Tratamentos - Nitrito

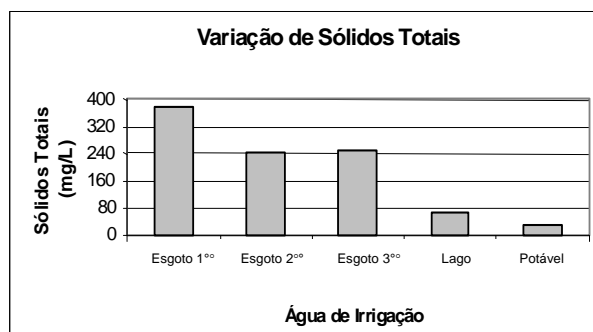


Figura 8 - Comparação entre Tratamentos - Sólidos Totais

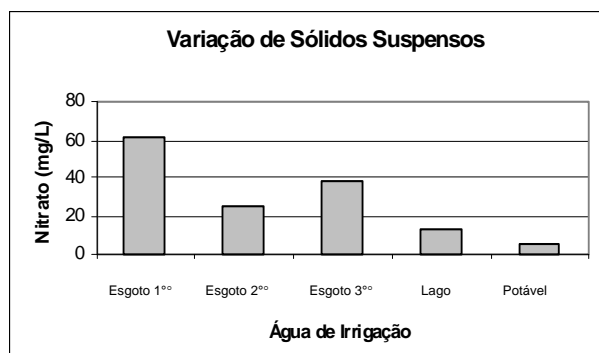


Figura 9 - Comparação entre Tratamentos - Sólidos Suspensos

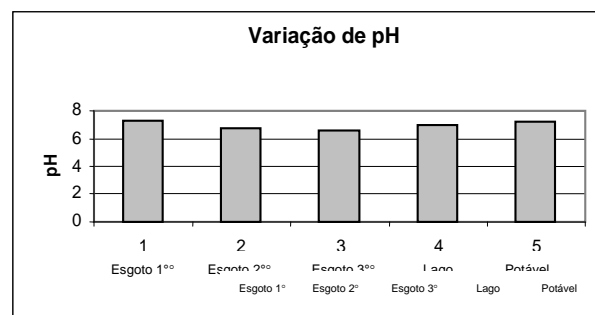


Figura 12 - Comparação entre Tratamentos - pH

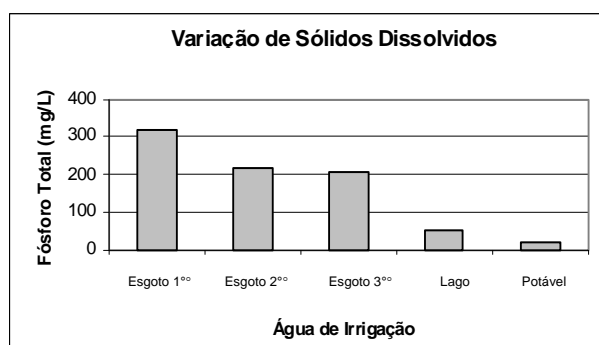


Figura 10 - Comparação entre Tratamentos - Sólidos Dissolvidos

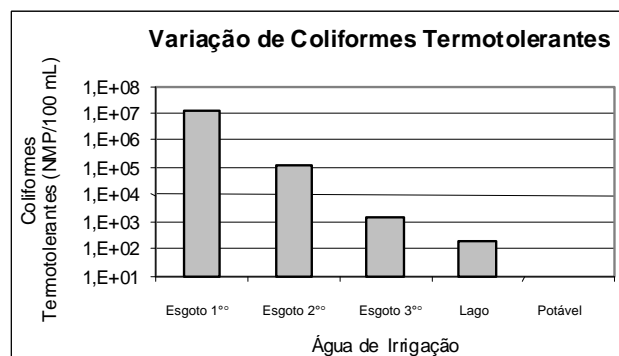


Figura 13 - Comparação entre Tratamentos - Coliformes Termotolerantes

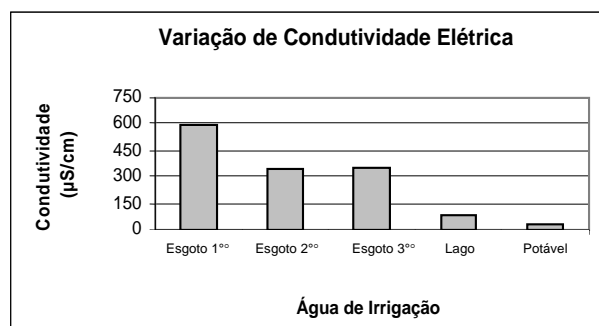


Figura 11 - Comparação entre Tratamentos - Condutividade

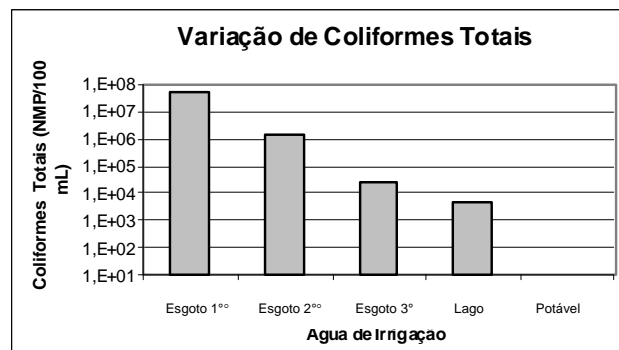


Figura 14 - Comparação entre Tratamentos - Coliformes Termotolerantes



Para complementar a apresentação dos resultados, na Tabela 2 são apresentadas as comparações entre as características gerais da água de irrigação utilizada no período da pesquisa e dos efluentes percolados.

Além disso, apresenta-se a diferença entre o valor contido na água de irrigação e o presente no efluente de percolação, para cada parâmetro de qualidade da água, indicando a capacidade de tratamento do sistema.

Tabela 2 – Evolução da Qualidade da Água

Parâmetro	Esgoto Primário		Esgoto Secundário		Esgoto Terciário	
	Média Irrigação	Média Percolação	Média Irrigação	Média Percolação	Média Irrigação	Média Percolação
DBO	213,33	26,83	27,60	5,31	5,92	2,66
	Remoção (%)	87,42	Remoção (%)	80,78	Remoção (%)	55,05
DQO	352,83	7,42	38,50	0,00	19,50	0,00
	Remoção (%)	97,90	Remoção (%)	100,00	Remoção (%)	100,00
Amônia	45,33	0,05	3,52	0,03	2,88	0,05
	Remoção (%)	99,90	Remoção (%)	99,24	Remoção (%)	98,40
Nitrito	9,33	0,15	1,95	0,10	1,48	0,07
	Remoção (%)	98,40	Remoção (%)	95,01	Remoção (%)	95,27
Nitrato	1,82	8,44	1,52	6,01	1,38	8,93
	Aumento (%)	363,83	Aumento (%)	295,29	Aumento (%)	546,94
Fósforo Total	24,07	0,52	4,81	0,59	1,54	0,55
	Remoção (%)	97,84	Remoção (%)	87,70	Remoção (%)	64,61
Cloretos	31,75	5,93	24,02	7,33	41,58	6,11
	Remoção (%)	81,33	Remoção (%)	69,49	Remoção (%)	85,30
Sólidos Totais	374,17	417,44	239,33	310,50	244,17	369,56
	Aumento (%)	11,57	Aumento (%)	29,74	Aumento (%)	51,35
Sólidos Suspensos	61,17	129,67	25,50	89,17	38,00	69,28
	Aumento (%)	111,98	Aumento (%)	249,67	Aumento (%)	82,31
S. D. Totais	313,00	293,33	213,83	221,33	206,17	300,28
	Remoção (%)	6,28	Aumento (%)	3,51	Aumento (%)	45,65
Condutividade	590,17	443,89	336,67	317,89	346,83	439,17
	Remoção (%)	24,79	Remoção (%)	5,58	Aumento (%)	26,62
pH	7,20	6,62	6,70	6,60	6,60	6,46
	Remoção (%)	8,03	Remoção (%)	1,57	Remoção (%)	2,06
Coliformes Totais	5,65E+07	1,50E+05	1,51E+06	5,00E+03	5,40E+04	2,35E+02
	Remoção (%)	99,74	Remoção (%)	99,67	Remoção (%)	99,56
Coliformes Termotolerantes	6,42E+06	9,69E+03	9,99E+05	5,10E+02	6,13E+03	8,31E+01
	Remoção (%)	99,85	Remoção (%)	99,95	Remoção (%)	98,65

* Valores médios resultantes de seis observações quinzenais.

Para a presente pesquisa, apesar do sistema ter oferecido, desde o início, um alto índice na remoção de matéria orgânica, verificou-se que, após adotar turnos de rega menos frequentes (de três em três dias), o aumento na remoção de DQO e DBO mostrou-se ainda mais significativo, passando de 91% para o esgoto primário para 100% no caso da DQO e de 85% para 95% quanto à DBO.

No que se refere aos esgotos secundário e terciário, desde o princípio dos experimentos já apresentavam remoção de 100% na DQO. Entretanto, a remoção de DBO passou de 76% e 50% para 72% e 36%, para os esgotos secundário e terciário, respectivamente, indicando que as taxas de remoção iniciais para T2 e T3 não dependeram totalmente da aeração do solo.



A partir da análise de percolados verificou-se o aumento da concentração de nitrato para T1, variando entre 270% e 350%, para T2 e T3 existiram incrementos da ordem de 550% e 600%, respectivamente, enquanto T5 apresentou aumento em torno de 600%.

Dessa forma, verificou-se que não houve grande remoção de nitrogênio amoniacal em T2 e T3, enquanto T5 apresentou um aumento na concentração de nitrato nos percolados, cerca de 5 vezes maior que o observado no para T1, indicando que a forma tradicional de cultivo apresenta um potencial de contaminação do lençol subterrâneo, por nitratos, superior à aplicação do reuso, inclusive para o esgoto primário.

Em relação à remoção de microrganismos patogênicos, pode-se dizer que o sistema de tratamento ora testado mostrou-se bastante eficiente. Verificou-se uma diminuição de até três casas logarítmicas na concentração de coliformes totais da água após percorrer o perfil do solo. Para T1, T2 e T3, foram observadas reduções de coliformes totais de 10^7 para 10^4 , de 10^6 para 10^3 e de 10^4 para 10^2 , respectivamente. Para coliformes fecais, as remoções foram de 10^6 para 10^3 , 10^6 para 10^2 e 10^4 para 10^1 , para T1, T2 e T3.

A partir de todos os comentários feitos sobre o desempenho do sistema, no que tange ao tratamento no solo, pode-se concluir que o esgoto primário apresenta-se como uma forma potencial para a realização da fertirrigação no cultivo da *Dahlia pinnata*. Contudo, novos experimentos deverão ser realizados com o objetivo de investigar mais profundamente os fatores que foram tidos como prejudiciais, principalmente as altas concentrações de nitrogênio e a possibilidade de contaminação por microorganismos patogênicos.

3.2 Sistema Solo

O solo utilizado na pesquisa foi classificado como solo de textura argilosa, segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Lopes, 1989), além de ter apresentado características de baixa fertilidade, como esperado para um solo de região de Cerrado.

As análises químicas do solo que recebeu irrigação com águas residuárias, efetuadas após o ciclo da cultura, à profundidade de 20 cm, apresentaram aumento nos valores de troca catiônica (CTC), soma de bases trocáveis (S) e saturação de bases (V), indicando um aumento da capacidade do solo em reter cátions em forma trocável, além do incremento de nutrientes vegetais como Mg, K, e outros.

Dessa forma, observou-se que houve um melhoramento significativo na fertilidade do solo, bem como nas suas características físicas, pela incorporação de matéria orgânica em um curto período de tempo, indicando que o reuso, nas condições da pesquisa, propiciou a correção parcial do solo.

A análise parasitológica de contaminação dos solos que receberam irrigação com águas residuárias (T1, T2 e T3) mostrou que o turno de rega adotado (intermitente), aparentemente, foi favorável para a não proliferação dos microrganismos patogênicos, devido aos resultados negativos para ovos de helmintos e cistos de protozoários. Entretanto, antes de se tirar conclusões precipitadas, indica-se avaliar o efeito da contaminação em longo prazo, incluindo a persistência desses microrganismos no solo.

Nesse sentido, o estudo realizado por Paganini (2003) também constatou a ausência em relação à presença de ovos de helmintos e cistos de protozoários, nas amostras coletadas na superfície e a 30 cm de profundidade, surpreendendo o autor. Isso pode ter ocorrido devido ao efeito da dissecação (desidratação), em razão do período de três dias de secagem a cada dia de rega, podendo induzir ao raciocínio de que a forma de tratamento proposta pode estar minimizando os riscos provenientes da contaminação.

Contudo, os resultados da presente pesquisa não foram suficientes para formar uma opinião consolidada quanto à influência da intermitência da irrigação na diminuição dos riscos potenciais associados à contaminação por ovos de helmintos e cistos de protozoários.

4. CONCLUSÕES

O efeito benéfico das águas residuárias no aumento da produtividade das plantas foi verificado para todas as variáveis mensuradas, possibilitando a conclusão de que o aporte de nutrientes associado ao reuso foi significativo, em função das transformações quase sempre positivas, das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.



Verificou-se que, nas condições do experimento, houve diferenças significativas, ao nível de significância de 5% para os tratamentos T1, T2, T3 e T5 entre si e com relação aos tratamentos T0 (testemunha) e T4. No entanto, o tratamento T4 apresentou comportamento similar a T0, quanto ao desenvolvimento das plantas.

As plantas submetidas ao tratamento T5 apresentaram rendimento significativamente maior, com relação ao tratamento T1, ao nível de significância de 5%, indicando que ainda é preciso determinar uma taxa de aplicação ideal para o aporte de nutrientes associado ao reúso de água, para promover um melhor rendimento da cultura, tendo em vista obter valores mais próximos daqueles observados para a forma tradicional de cultivo (água potável + adubação no solo com NPK + calagem).

Verificou-se uma boa eficiência por parte do tratamento no solo, no que se refere à remoção de matéria orgânica e coliformes totais e fecais.

Embora a pesquisa tenha encontrado dados favoráveis ao reúso paisagísticos, recomenda-se dar continuidade ao experimento, envolvendo dispositivos para monitoramento da aerobiose no solo, assim como a implantação de artifícios capazes de controlar o nível de água no solo. Seria interessante também, acompanhar um ciclo da cultura em um canteiro original, simultaneamente ao acompanhamento das unidades experimentais, bem como a realização das condições de risco da atividade, desde o manuseio até a persistência dos organismos patogênicos no solo e na parte aérea da planta.

Pelo exposto, identifica-se a necessidade em desenvolver pesquisas específicas para cada tipo de cultura, incluindo a determinação de taxa de aplicação ideal para cada espécie cultivada. No caso de espécies de flores, sabe-se que fatores como salinidade e pH interferem diretamente no desempenho das plantas, por se tratarem de culturas mais sensíveis.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA/AWWA/WPCF (1999). *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, 20^a edition, Washington, DC, EUA.
2. ARAÚJO, G. H. M. F. e RODRIGUES, M. G. R. (2002). "Pragas e Doenças de Plantas Ornamentais". In: *"Manual de Jardinagem e Produção de Mudanças do DPJ"*. NOVACAP (2002). Brasília, DF. (94-101) pp.
3. BERNARDO, S. (1989). *Manual de Irrigação*. 5^a edição, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 596p.
4. CORAUCCI, B. F., CHERNICHARO, C. A. L., NETO, C. O. A., NOUR, E. A., ANDREOLI, F. N., SOUZA, H. N., MONTEGGIA, L. O., von SPERLING, M., LUCAS, M. F., AISSE, M. M., FIGUEIREDO, R. F. de F., e STEFANUTTI, R. (1999b). "Tecnologia do tratamento de águas residuárias no solo: infiltração rápida, irrigação e escoamento superficial." In: *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*. PROSAB: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro. (357- 408) p.
5. EMBRAPA (1997). *Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos*. 2 edição revisada e atualizada, Rio de Janeiro, 212 p.
6. LIMA, A. O., SOARES, B. J., GRACO, J. B., GALIZZI, J. e CANÇADO, J. R. (1992). *Métodos de Laboratório Aplicados à Clínica*. Editora Guanabara Koogan S. A., Rio de Janeiro.
7. LOPES, A. S. (1989). *Manual de Fertilidade do Solo*. Tradução de: *Soil fertility manual*, Potash Phosphate Institute, 1978. 155 p.
8. PAGANINI, W. S. (2003). "Reúso de água na agricultura." In: *Reúso de água*. Editores: Pedro Caetano Sanches Mancuso e Hilton Felício dos Santos. Barueri, SP: Manole. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. (339-402) p.
9. SOUZA, P. I. M. e CARVALHO (1985). "Nutrição Mineral de Plantas". In: *Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo*. Goedert, W. J. (1985). São Paulo: Nobel; Brasília: -EMBRAPA, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. (75-98)pp.