



II-111 – EFICIÊNCIA DE ESPÉCIES VEGETAIS E SENTIDOS DE FLUXO NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO POR ZONA DE RAÍZES

Lorena Lemes Martins⁽¹⁾

Bióloga, Tecnóloga em Gestão Ambiental, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, Escola de Engenharia Civil, UFG, Goiânia, GO.

Rogério de Araújo Almeida⁽²⁾

Engenheiro Agrônomo, Especialista em Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólido e Líquido, Mestre e Doutor em Agronomia, Professor da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, UFG, Goiânia, GO.

Douglas Pereira da Silva Pitaluga⁽³⁾

Tecnólogo em Construção Civil, Especialista em Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólido e Líquido, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, Escola de Engenharia Civil, UFG, Goiânia, GO.

Endereço⁽¹⁾: Rua Pandora, Qd. S-1, Lote 11 - Residencial Cruzeiro do Sul - Alphaville Flamboyant - Goiânia - GO - CEP: 74884-666 - Brasil - Tel: (62) 32565932 - e-mail: loren_llm@hotmail.com

RESUMO

O presente estudo objetivou avaliar a eficiência das espécies vegetais *Typha angustifolia* L. (taboa) e *Phragmites australis* Cav. Trin. ex. Steud (caniço), em suas combinações, em dois sentidos de fluxo (ascendente e descendente), no tratamento de esgoto sanitário, em um sistema do tipo zona de raízes, de fluxos sub-superficial vertical, concernente aos atributos: matéria orgânica, coliformes e nitrogênio. O experimento foi conduzido na Estação de Pesquisas em Tratamento de Esgotos com Plantas – Eptep, da Universidade Federal de Goiás – UFG, localizada na Estação de Tratamento de Esgotos – ETE Samambaia, em Goiânia, GO. Esgoto sanitário bruto proveniente da parte inicial da lagoa facultativa da ETE foi bombeado no fundo de módulos de tratamento preenchidos com areia lavada e plantado com taboa ou caniço. Após subir pelo substrato vegetado (fluxo vertical ascendente) o esgoto era drenado e conduzido a novos módulos de tratamento, igualmente preenchidos e vegetados com uma das espécies, todavia sendo aplicado na superfície e drenado pelo fundo (fluxo vertical descendente). A taxa de aplicação de esgoto foi de 80 Litros/m².dia, correspondendo a uma área de estação de tratamento de 2m² por habitante. Um ano após a implantação do sistema, por um período de seis meses, amostras do esgoto foram coletadas após passar pelas sequências de fluxo, cada uma com uma combinação das duas espécies vegetais, para avaliação dos teores de atributos do esgoto e cálculo da eficiência no seu tratamento. Não houve diferença significativa entre as eficiências das combinações das espécies vegetais. As eficiências percentuais médias na redução de OD (56,4%), DBO (72,7%), DQO (65,7%) e Coliformes Termotolerantes (87,0%) foram inferiores àquelas encontradas na literatura. A eficiência percentual média na remoção de nitrogênio amoniacal foi satisfatória. Conclui-se que o sistema avaliado apresenta baixa eficiência no tratamento do esgoto bruto, exceto para nitrogênio amoniacal (64,3%).

PALAVRAS-CHAVE: Fitoremediação, zona de raízes, taboa, caniço.

INTRODUÇÃO

A alteração humana no planeta Terra é substancial e crescente. Entre um terço e metade da superfície terrestre tem sido transformada por sua ação. A concentração de dióxido de carbono na atmosfera tem aumentado cerca de 30% desde o começo da Revolução Industrial e mais da metade de toda água superficial tem sido usada pela humanidade. Verifica-se que o crescimento da população humana tem acarretado um aumento crescente nas demandas, tanto do ecossistema aquático como terrestre (VITOUSEK et al., 1997; NOGUEIRA, 2003).

Segundo Fernandes (1997) a expansão demográfica e o desenvolvimento tecnológico trazem como consequência imediata, o aumento do consumo de água e a ampliação constante do volume produzido de esgotos. Estes últimos, uma vez não submetidos a tratamento adequado, favorecem a eutrofização dos corpos receptores desencadeando desequilíbrios ecológicos e degradação da biota aquática.

Nozaki (2007) afirma que a maioria das doenças associadas à ausência de saneamento básico está relacionada à água contaminada. Deste modo a população encontra-se obrigada a buscar, encontrar e aplicar alternativas de tratamento de esgotos, que sejam eficientes, autônomas e economicamente viáveis.

Entre as soluções mais atrativas evidenciam-se os tratamentos que simulam fenômenos que ocorrem espontaneamente na natureza. Tais sistemas podem ser denominados de *wetlands*, alagados construídos, leitos cultivados, enraizadas construídas ou tratamento por zona de raízes e apresentam várias vantagens quando comparados aos sistemas convencionais. Produzem efluentes de boa qualidade, apresentam baixos custos de construção e pouco ou nenhum consumo de energia elétrica, podem ser implantados e operados por pessoas de menor nível técnico, são sistemas mais flexíveis e menos susceptíveis às variações nas taxas de aplicação de esgoto do que os sistemas convencionais (ARIAS; BRIX, 2003; NOGUEIRA, 2003; ALMEIDA, 2005).

O presente estudo objetivou avaliar a eficiência de duas espécies vegetais no tratamento do esgoto sanitário, em um sistema do tipo zona de raízes. Especificamente, objetivou-se avaliar a eficiência das espécies *Typha angustifolia* L. (taboa) e *Phragmites australis* Cav. Trin. ex. Steud (caniço) em suas combinações possíveis e dois sentidos de fluxo (ascendente e descendente), no tratamento de esgoto sanitário, em um sistema do tipo zona de raízes, de fluxos sub-superficial vertical, concernente aos atributos: matéria orgânica, coliformes e nitrogênio.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação de Pesquisas em Tratamento de Esgotos com Plantas – Eptep, da Universidade Federal de Goiás – UFG, localizada na Estação de Tratamento de Esgotos – ETE Samambaia, operada pela Saneamento de Goiás S.A. – Saneago, no município de Goiânia, Goiás.

A estação experimental (Figura 1) possui vinte e quatro módulos de tratamento, agrupados em seqüências de dois módulos (módulos iniciais e finais). Cada módulo é constituído por uma caixa d'água em fibra de amianto, da marca comercial Eternit, com um metro cúbico de capacidade volumétrica. As caixas foram dispostas na superfície do solo, devidamente equidistantes umas das outras e preenchidas com camadas sobrepostas de substrato (com brita número 3 no fundo, na seqüência brita número 1, areia lavada e novamente brita número 1, na superfície) até cinco centímetros de sua borda superior (volume reservado para águas de chuva).

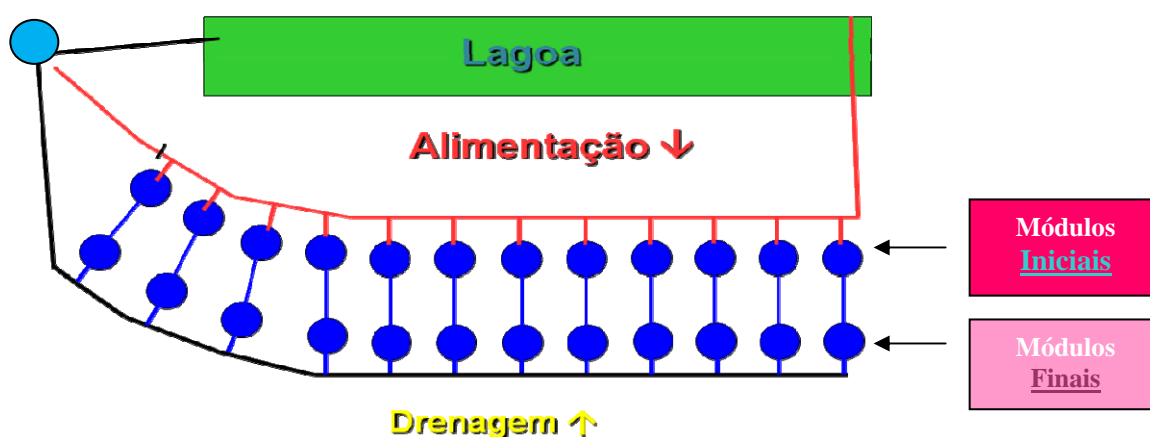


Figura 1: Esquema da Estação de Pesquisas em Tratamento de Esgotos com Plantas – Eptep/UFG, onde se realizou o experimento.

Nos módulos iniciais de tratamento foram introduzidos tubos de PVC de 25 mm de diâmetro, diagonalmente até o centro do fundo de cada caixa, dentro da camada de brita número 3. Este tubo destinava-se à aplicação do esgoto bruto. No meio da camada superior de substrato, composta pela brita número 1, foi posicionado um tubo de drenagem, com diâmetro de 50 mm, destinado a coletar o esgoto tratado e conduzi-lo para fora da caixa, direcionando-o aos módulos finais de tratamento num tubo de PVC de 50 mm de diâmetro.



Nos módulos finais de tratamento, o tubo de drenagem foi instalado no fundo das caixas, sendo envolto pela camada de brita número 3. Na parte externa do tubo de drenagem foi adaptada uma união soldável, um joelho de 90° e um tubo de PVC (60 cm de comprimento, posicionado verticalmente). Na parte central do tubo foi conectado um pequeno registro de esfera e na extremidade superior um “Tê” com redução para 25 mm e uma mangueira (Figura 2). O registro permitia a coleta de amostras de esgoto tratado para análises. A mangueira destinava-se à drenagem do esgoto tratado e à manutenção do nível interno de esgoto dentro do módulo de tratamento, o que era determinado pelo posicionamento do “Tê”.



Figura 2: Parte externa do sistema de drenagem dos módulos finais de tratamento. Em detalhe o tubo de controle do nível de esgoto dentro da caixa e o registro amostrador.

Todos os módulos de tratamento foram vegetados com as espécies vegetais *Typha angustifolia*, conhecida por taboa, que apresentou melhor desempenho dentre quatro espécies avaliadas por Almeida (2005) e Almeida; Oliveira; Kliemann (2007), em Goiânia, e *Phragmites australis*, conhecida por caniço, que tem sido utilizada nas estações de tratamento de esgotos por plantas em Goiás e em outras regiões do país.

As mudas das espécies vegetais foram transplantadas na terceira semana de fevereiro de 2007, sendo inseridas nos primeiros 10 cm da areia lavada, logo abaixo da camada superior de brita número 1, em população de 8 plantas por caixa para a taboa e 12 plantas por caixa para o caniço. As mudas de taboa foram coletadas na barragem do córrego Samambaia, em área da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da UFG. Já as mudas de caniço foram coletadas na estação de tratamento de esgotos de uma empresa particular, em Goiânia, GO. As sequências de módulos possuem as combinações das duas espécies vegetais (Quadro 1), com três repetições.

Não foi realizada a irrigação dos módulos durante o período inicial de desenvolvimento das plantas, sendo a umidade mantida pela precipitação pluvial até o enraizamento das mudas. Durante o primeiro mês, as plantas que morreram foram substituídas, de forma a manter a população inicial de plantas. A aplicação de esgoto iniciou-se após quinze dias do plantio e seu nível dentro dos módulos de tratamento foi mantido 5 cm abaixo da superfície do substrato (pela posição do tubo de drenagem nos módulos iniciais e pelo posicionamento do “Tê” nos módulos finais), com vistas a se evitar a proliferação de mosquitos e maus odores.

A lâmina de aplicação de esgoto foi ordenada por uma unidade de bombeamento com controle automático de tempo, realizando aplicações três vezes ao dia, resultando numa taxa de aplicação de $80 \text{ L m}^{-2}\text{dia}^{-1}$, o que corresponde a uma área de estação de tratamento de 2 m^2 por habitante.



Quadro 1: Combinações das espécies vegetais avaliadas no tratamento de esgoto sanitário num sistema do tipo zona de raízes.

Número	Repetição	Módulos de tratamento	
		Inicial ¹	Final ²
1	1	Taboa	Taboa
2		Caniço	Caniço
3		Caniço	Taboa
4		Taboa	Caniço
5	2	Taboa	Taboa
6		Caniço	Caniço
7		Taboa	Caniço
8		Caniço	Taboa
9	3	Caniço	Caniço
10		Taboa	Taboa
11		Taboa	Caniço
12		Caniço	Taboa

¹ fluxo vertical ascendente; ² fluxo vertical descendente.

O esgoto a ser tratado foi coletado diretamente da lagoa facultativa da ETE Samambaia (na parte inicial da lagoa, entre os tubos de entrada, sendo considerado esgoto bruto) e bombeado aos módulos de tratamento, por meio do tubo de PVC (diâmetro de 25 mm), sendo aplicado no fundo dos módulos iniciais. O esgoto subia internamente nos módulos, passando pelas camadas de substrato, até chegar à camada superior de brita, de onde era drenado e conduzido aos módulos finais. Nestes, a aplicação dava-se na superfície e o esgoto percolava, passando pelas camadas de substrato, até a camada inferior de brita número 3, de onde era drenado.

Assim, o esgoto foi tratado por um primeiro módulo de tratamento, com fluxo vertical ascendente, com uma determinada espécie vegetal, e novamente tratado em um segundo módulo de tratamento, com fluxo vertical descendente e nova espécie vegetal, que poderia ser igual à primeira. Após passar pelas seqüências dos módulos de tratamento, o líquido era reunido e devolvido à lagoa facultativa, de onde fora coletado.

A partir do dia 13 de maio de 2008, cerca de um ano após a implantação do experimento, realizaram-se coletas mensais de amostras do esgoto, por um período de seis meses. A amostragem se deu no final de cada uma das seqüências de módulos (12 pontos de coleta), nos registros amostradores dos módulos finais, e na linha de alimentação (1 ponto de coleta que representa o esgoto antes de ser submetido aos tratamentos). As amostras foram submetidas a análises laboratoriais para caracterização e cálculo de eficiência dos tratamentos.

Foram avaliadas a eficiência percentual de cada combinação de plantas no tratamento dos seguintes atributos do esgoto: Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Coliformes Termotolerantes e Nitrogênio Amoniacal. Tais parâmetros de monitoramento foram analisados conforme metodologias determinadas pelo *Standard methods for the examination of water and wastewater* (AWWA; APHA; WPCI, 1998).

RESULTADOS

As eficiências das combinações de plantas na remoção dos atributos do esgoto estão apresentadas na Tabela 1. Não houve diferença significativa entre as eficiências das combinações das espécies vegetais.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO₅) E OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

A média percentual na remoção de DBO₅ foi de 72,7% enquanto que a média de redução de OD foi de 56,4%.

De acordo com Vymazal et al. (1998) os compostos orgânicos presentes em sistemas de alagados construídos podem ser degradados tanto aerobicamente quanto anaerobicamente, sendo que o oxigênio requerido para a degradação aeróbica é obtido diretamente da atmosfera através da difusão deste gás pela rizosfera de



macrófitas. Entretanto verifica-se que a remoção da DBO_5 neste estudo ocorreu necessariamente por vias anaeróbias, uma vez que os valores referentes à eficiência na redução do parâmetro Oxigênio Dissolvido foram reduzidos.

Solano; Soriano; Ciria (2004) acompanharam o desempenho de um alagado construído de fluxo subsuperficial plantado com taboa e caniço durante um período de dois anos, aplicando-se 75 litros diários de esgoto doméstico por metro quadrado e adotando na análise dos resultados o Teste de Tukey-Kramer. No verão do primeiro ano observaram uma remoção de 81% e 75% de DBO_5 em leitos plantados com taboa e caniço respectivamente. No segundo ano os leitos que apresentavam caniço obtiveram remoção de 93% de DBO_5 e os leitos constituídos por taboa 92% de remoção para este atributo, não ocorrendo diferença significativa para a remoção de DBO_5 entre os tratamentos, assim como neste trabalho.

Tais autores destacam ainda que menores remoções de DBO_5 são atribuídas à baixa disponibilidade de oxigênio oferecida aos microrganismos na degradação da matéria orgânica, ou seja, quebra dos compostos carbonáceos. Observa-se que a baixa disponibilidade de oxigênio dissolvido também é observada neste estudo o que provavelmente contribuiu para menores reduções da DBO_5 .

Tabela 1: Médias de eficiência percentual¹, agrupamento², D.M.S.³ e C.V.⁴ para os atributos⁵, verificados no tratamento de esgoto sanitário por zona de raízes⁶. Goiânia, GO. 2009.

TRATAMENTOS	DBO_5	OD	DQO	COLIF.	N. AMON.
S1: Taboa - Taboa	76,6 a	54,1 a	62,3 a	83,3 a	69,3 a
S2: Caniço - Caniço	61,3 a	54,0 a	68,6 a	96,0 a	53,6 a
S3: Caniço - Taboa	82,6 a	57,1 a	70,4 a	92,2 a	76,9 a
S4: Taboa - Caniço	70,5 a	60,6 a	61,5 a	76,5 a	57,5 a
Média	72,7	56,4	65,7	87,0	64,3
D.M.S	33,7	12,0	20,3	22,5	48,3
C.V	16,4	7,5	10,9	9,1	26,5

¹Eficiência Percentual = $100 (\text{entrada} - \text{saída}) / \text{entrada}$; ²Agrupamento: Médias seguidas por mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer a 5% de probabilidade; ³DMS: Diferença Mínima Significativa; ⁴CV: Coeficiente de Variação; ⁵Atributos: DBO_5 : Demanda Bioquímica de Oxigênio, OD: Oxigênio Dissolvido, DQO: Demanda Química de Oxigênio, COLIF.: Coliformes Termotolerantes, N.AMON.: Nitrogênio Amoniacal; ⁶Fluxo vertical ascendente seguido de fluxo vertical descendente.

Meira et al. (2001) ao pesquisarem leitos de fluxo subsuperficial plantados com taboa obtiveram uma remoção para DBO_5 de 76,9% e 83,6% com um período de detenção de 5 e 10 dias. Tal valor encontrado considerando a planta e o tempo de detenção (4,6 dias) é semelhante ao obtido neste experimento. Possivelmente, pode-se considerar que se o tempo de detenção tivesse sido maior talvez a redução da DBO_5 também pudesse ter sido maior.

No entanto outros autores têm obtido melhores resultados na remoção da DBO. Costa et al. (2003) ao analisarem um sistema de fluxo subsuperficial cultivados com taboa obtiveram uma redução média significativa de 88% em termos de DBO_5 . Brix; Arias; Johansen (2003) em um sistema de fluxo subsuperficial horizontal construído para tratar águas de uma pequena comunidade, utilizando caniço, obtiveram eficiência na remoção de DBO_5 superior a 95%.

Verifica-se que somente o tratamento S3 (Caniço-Taboa) adequou-se ao exigido pelo decreto estadual nº 1.745, que dispõe sobre prevenção e controle da poluição do meio ambiente. Tal decreto estabelece como padrão de lançamento para DBO_5 , o valor de $60,0 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$, sendo que este valor poderá ser ultrapassado desde que o sistema de tratamento reduza carga poluidora em termos de DBO_5 em no mínimo 80% (GOIÁS, 1979).

DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

A média percentual na remoção da DQO foi de 65,7%.



Sikora et al. (1995) desenvolveram uma pesquisa com alagados construídos de fluxo subsuperficial em Muscle Shoals, Alabama e verificaram que o tempo de retenção requerido para se obter cerca de 90% de redução da DQO é de 5,3 a 9 dias, considerando-se as condições climáticas daquela localidade. Koottatep et al. (2001) em um de seus estudos com leitos cultivados observaram que a remoção da DQO com um período relativamente curto de retenção dependia da capacidade de filtração e não do limitado tempo de permanência do esgoto no alagado para a biodegradação orgânica. Possivelmente se o tempo de retenção do esgoto nos leitos cultivados deste estudo fosse maior, provavelmente obteríamos uma eficiência maior na remoção de DQO.

Haberl; Langergraber (2003) analisaram um alagado construído de fluxo vertical plantado com caniço na região superior da Áustria, durante o período de 1992 a 1997. Em tal experimento obtiveram remoções para DQO que variaram de 86 a 95%. Verhoeven; Meuleman (1999) em um sistema de fluxo vertical por infiltração cultivado com caniço na Holanda, encontraram para DQO uma eficiência de remoção de 81%. Os resultados obtidos por tais autores são superiores aos encontrados neste estudo para remoção da DQO.

COLIFORMES TERMOTOLERANTES

A média percentual na remoção de coliformes termotolerantes foi de 87,0%.

Verifica-se que os microrganismos patogênicos presentes nos esgotos são eliminados através de significativo decaimento natural, das condições desfavoráveis a que são expostos nos leitos construídos, exposição aos raios ultravioletas, adsorção, filtração pelo meio suporte, sedimentação e predação por microrganismos. Entretanto, vale salientar que a eficiência na remoção de bactérias em alagados construídos é decorrente da população influente sendo que a eficiência é alta quando a população influente também é, mas apresenta eficiências negativas uma vez que a população influente é inferior que as taxas de produção de bactérias no local (MANSOR, 1998; VYMAZAL et al., 1998; CUNHA, 2006).

Destaca-se que as plantas representam uma função ativa na remoção de microrganismos patogênicos, quando comparados a sistemas não plantados. Os biofilmes presentes nas raízes proporcionam melhores substratos do que a superfície dos cascalhos para a atividade microbiana, uma vez que as plantas liberam substâncias que aumentam o desenvolvimento de bactérias especializadas na rizosfera. Há evidências ainda de algumas plantas que liberam também metabólitos secundários com propriedades antibióticas (ARIAS; BRIX, 2003; BÉCARES, 2006).

No entanto outros autores obtiveram remoções superiores às encontradas neste estudo. Arias et al. (2003) ao construir um alagado de fluxo vertical cultivado com caniço nas regiões circunvizinhas a Århus (Dinamarca), observaram uma remoção para Coliformes totais, Coliformes fecais e *Streptococcus fecalis* que variou de 99,5 a 99,9%, sugerindo uma boa capacidade do sistema na remoção de bactérias patogênicas. Solano; Soriano; Ciria (2004) ao analisarem o desempenho de um alagado construído de fluxo subsuperficial considerando uma taxa de aplicação de 75 mm dia⁻¹ obtiveram no primeiro ano durante o verão, 98% de remoção de coliformes termotolerantes para os tratamentos com taboa e 91% para caniço. Enquanto que para o verão do segundo ano aplicando-se a mesma taxa as remoções foram de 93% para ambas as espécies.

NITROGÊNIO AMONIACAL

A média percentual na remoção de nitrogênio amoniacal foi de 64,3%.

De acordo com Brix (1994) a remoção de nitrogênio em alagados construídos de fluxo subsuperficial é geralmente cerca de 30 a 40%, no entanto pôde-se observar que para os tratamentos ora analisados a média de remoção de nitrogênio amoniacal considerando o mesmo tipo de fluxo, foi superior a tais valores.

Entretanto verifica-se que os resultados obtidos para os tratamentos neste estudo foram superiores aos encontrados por outros autores. Brix; Schierup (1990) ao analisarem um alagado construído cultivado com caniço na Dinamarca obtiveram somente 17% de remoção de nitrogênio amoniacal. Brix; Arias; Johansen (2003) em um sistema de fluxo subsuperficial cultivado com caniço para tratar águas de uma pequena comunidade na Dinamarca obtiveram 38% de remoção de nitrogênio amoniacal. Brix (2003) ao avaliar o desempenho de um leito plantado com caniço para tratar esgoto obteve 36% de remoção deste parâmetro.



Belmont et al. (2004) em um alagado em escala piloto para tratar o esgoto doméstico de uma pequena comunidade em Nativitas, México, obteve $54,8 \pm 7,0\%$ de remoção de nitrogênio amoniacal.

Sikora et al. (1995) ao estudarem um alagado de fluxo subsuperficial constituído por um controle e por dois esquemas de policulturas (P1: *Scirpus acutus*, *Phragmites communis* e *Phalaris arudinacea*; P2: *Typha* sp, *Scirpus atrovirens georgianus* e *Scirpus cyperinus*) verificaram que para se obter cerca de 90% de remoção de nitrogênio amoniacal foi requerido um tempo de detenção de 8 a 33 dias.

O tempo de detenção do esgoto utilizado neste estudo foi de 4,6 dias o que resultou nas respectivas remoções, sugere-se que caso o tempo de detenção fosse superior ao utilizado seria possível obter melhores remoções, uma vez que o aumento da eficiência na remoção do nitrogênio amoniacal pode ser conseguido mediante aumento do tempo de detenção (SIKORA et al., 1995; SOLANO; SORIANO; CIRIA, 2004; ALMEIDA, 2005).

Verifica-se, entretanto, que a presença das plantas e seu tipo podem contribuir na remoção de nitrogênio amoniacal. Tal fato ocorre por meio do consumo deste elemento pela planta e incorporação em sua biomassa (GERSBERG et al., 1986; LEE; SCHOLZ, 2007).

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Não houve diferença significativa entre as eficiências das combinações das espécies vegetais.

As eficiências percentuais médias na redução de OD (56,4%), DBO₅ (72,7%), DQO (65,7%) e Coliformes Termotolerantes (87,0%) foram inferiores aquelas reportadas na literatura.

A eficiência percentual média na remoção de nitrogênio amoniacal (64,3%) foi superior à média encontrada na literatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, R.A. Substratos e plantas no tratamento de esgoto por zona de raízes. Goiânia, 2005. Tese de doutorado - Universidade Federal de Goiás, 2005.
2. ALMEIDA, R.A.; OLIVEIRA, L.F.C.; KLIEMANN, H.J. Eficiência de espécies vegetais na purificação de esgoto sanitário. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 37, n.1, p. 1-9, mar. 2007. Disponível em: <http://www.agro.ufg.br/pat>. Acesso em: 27 abr. 2009.
3. AWWA; APHA; WPCI. Standard methods for examination of water and wastewater. 20.ed. Washington D.C., 1998.
4. ARIAS, C. A.; BRIX, H. Humedales artificiales para el tratamiento de águas residuales. Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina, v.13, p. 17-24, 2003.
5. ARIAS, C.A.; CABELLO, A.; BRIX, H.; JOHANSEN, N-H. Removal of indicator bacteria from municipal wastewater in an experimental two-stage vertical flow constructed wetland system. Water Science and Technology, v. 48, n. 5, p. 35-41, 2003.
6. BÉCARES, E. Limnology of natural systems for wastewater treatment. Ten years of experiences at the Experimental Field for Low-Cost Sanitation in Mansilla de las Mulas (Léon, Spain). Limnética, v. 25, n. 1 e 2, p. 143-154, 2006.
7. BELMONT, M.A.; CANTELLANO, E.; THOMPSON, S.; WILLIAMSON, M.; SÁNCHEZ, A.; METCALFE, C.D. Treatment of domestic wastewater in a pilot-scale natural treatment system in central Mexico. Ecological Engineering, v. 23, p. 299-311. 2004.
8. BRIX, H. Use of constructed wetlands in water pollution control: historical development, present status, and future perspectives. Wat. Sci. Tech., v. 30, n. 8., p. 209-223, 1994.
9. BRIX, H. Danish experiences with wastewater treatment in constructed wetlands. 1st International seminar on the use of aquatic macrophytes for wastewater treatment in constructed wetlands. Lisboa, 37 p. 2003.



10. BRIX, H.; ARIAS, C.A.; JOHANSEN, N-H. Experiments in a two-stage constructed wetland system: nitrification capacity and effects of recycling on nitrogen removal. In: VYMAZAL, J. Wetlands – nutrients, metals and mass cycling. Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers, p. 237-258. 2003.
11. BRIX, H.; SCHIERUP, H. Soil oxygenation in constructed reed beds: The role of macrophyte and soil-atmosphere interface oxygen transport. In: COOPER, P.F.; FINDLATER, B.C. Constructed wetlands in water pollution control. London: Pergamon Press, p. 53-66. 1990.
12. COSTA, L.L.; CEBALLOS, B.S.O.; MEIRA, C.M.B.S.; CAVALCANTI, M.L.F. Eficiência de wetlands construídos com dez dias de detenção hidráulica na remoção de colifagos e bacteriófagos. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 3, n. 1, p. 1-22. 2003.
13. CUNHA, C.A.G. Análise da eficiência de um sistema combinado de alagados construídos na melhoria da qualidade das águas. São Carlos, 2006. Dissertação de mestrado - Universidade de São Paulo, 2006.
14. FERNANDES, C. Esgotos Sanitários. João Pessoa: UFPB/ Editora Universitária, 434p. 1997.
15. GERSBERG, R.M.; ELKINS, B.V.; LYON, S.R.; GOLDMAN, C.R. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. Wat. Res., v. 20, n. 3, p. 363-368. 1986.
16. GOIÁS. Decreto nº 1.745, de 06 de dezembro de 1979. Aprova o regulamento da lei nº 8.544, de 17 de outubro de 1978, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Goiânia, GO, 06 dez, 1979. Disponível em: <<http://www.agenciaambiental.go.gov.br/legislacao>>. Acesso em: 27 abr. 2009.
17. HABERL, R.; LANGERGRABER, G. Secondary treatment with vertical flow systems. In: HABERL, R.; GREGO, S.; LANGERGRABER, G.; KADLEC, R.H.; CICALINI, A-R.; DIAS, S.M.; NOVAIS, J.M.; AUBERT, S.; GERTH, A.; THOMAS, H.; HEBNER, A. Constructed wetlands for the treatment of organic pollutants. J. Soils & Sediments, v. 3, n. 2, p. 109-124. 2003.
18. KOOTTATEP, T.; POLPRASERT, C.; OANH, N.T.K.; HEINSS, U.; MONTANGERO, A.; STRAUSS, M. Septage dewatering in vertical-flow constructed wetlands located in the tropics. Water Science and Technology, v. 44, n. 2-3, p. 181-188. 2001.
19. LEE, B.H.; SCHOLZ, M. What is the role of Phragmites australis in experimental constructed wetland filters treating urban runoff? Ecological Engineering, v. 29, p. 87-95, 2007.
20. MANSOR, M.T.C. Uso de leitos de macrófitas no tratamento de águas residuárias. Campinas, 1998. Dissertação de mestrado - Faculdade de Engenharia Agrícola, 1998.
21. MEIRA, C.M.B.; CEBALLOS, B.S.O.; OLIVEIRA, H.; SOUZA, J.T.; KÖNIG, A. Despoluição de águas superficiais contaminadas com esgoto doméstico usando wetlands construídos. II Workshop Sobre Biodegradação. Anais... Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p. 387-390. 2001.
22. NOGUEIRA, S.F. Balanço de nutrientes e avaliação de parâmetros biogeoquímicos em áreas alagadas construídas para o tratamento de esgoto. Piracicaba: CENA/USP, 2003. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, 2003.
23. NOZAKI, V.T. Análise do setor de saneamento básico no Brasil. Ribeirão Preto, 2007. Dissertação de mestrado - Universidade de São Paulo, 2007.
24. SIKORA, F.J.; TONG, Z.; BEHRENDTS, L.L.; STEINBERG, S.L.; COONROD, H.S. Ammonium removal in constructed wetlands with recirculating subsurface flow: removal rates and mechanisms. Water Science Technology, v. 32, n. 3, p. 193-202, 1995.
25. SOLANO, M.L.; SORIANO, P.; CIRIA, M.P. Constructed wetlands as a sustainable solution for wastewater treatment in small villages. Biosystems Engineering, v. 87, n. 01, p. 109-118, 2004.
26. VERHOEVEN, J.T.A.; MEULEMAN, A.F.M. Wetlands for wastewater treatment: Opportunities and limitations. Ecological Engineering, v.12, p. 5-12. 1999.
27. VITOUSEK, P.M.; MOONEY, H.A.; LUBCHENCO, J.; MELILLO, J.M. Human domination of Earth's Ecosystems. Science, v. 277, n. 5325, p. 494-499, 1997.
28. VYMAZAL, J.; BRIX, H.; COOPER, P.F.; HABERL, R.; PERFLER, R.; LABER, J. Removal mechanisms and types of constructed wetlands. In: VYMAZAL, J.; BRIX, H.; COOPER, P.F.; GREEN, M.B.; HABERL, R. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe. Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers, p. 17-66. 1998.