

II-001 - WETLAND NO PÓS-TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

Fillippe Mota de Carvalho ⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental-UniFOA. Especialista em Direito Ambiental-UGF. Mestre em Engenharia Ambiental-UFRJ.

Juacyara Carbonelli Campos

Professora adjunta da Escola de Química - Bloco E - sala E 206 Ilha do Fundão - CEP 21941-909 – juacyara@eq.ufrj.br.

Camille Ferreira Mannarino

Professora visitante do Depto. de Eng. Sanitária e do Meio Ambiente/UERJ, DSc.em Saúde Pública e Meio Ambiente – camille@eng.uerj.br

Endereço ⁽¹⁾: Rua do Comércio, 17 - Centro - Angra dos Reis - RJ Tel: +55 (24) 3368-6509 - e-mail: fillippe@poli.ufrj.br

RESUMO

Os *wetlands* são sistemas que procuram imitar algumas das funções existentes nos meios naturais, em particular a capacidade de degradação da matéria orgânica e de nutrientes (fósforo e nitrogênio). O trabalho, em escala piloto, foi realizado na Estação de Tratamento de Esgoto do bairro Jacuecanga, na cidade de Angra dos Reis-RJ, onde foi construído um sistema de *wetland* por fluxo subsuperficial como pós-tratamento de efluente sanitário proveniente de um sistema primário de tratamento. O *wetland* possui 10 m² de área, contendo a macrófita emergente Taboa (*Typha*). Além dos parâmetros de qualidade, foi monitorado o índice pluviométrico para balanço hídrico do sistema. A eficiência média de remoção de poluentes obtidas no sistema *wetland* após 07 meses de monitoramento alcançou os seguintes valores em termos de concentração: DBO₅ (73%), DQO (70%), nitrogênio amoniacal (61%), fosfato (20%), sólidos suspensos totais (46%) e sólidos suspensos voláteis (56%), e em termos de carga poluidora, este percentual aumenta em média aproximadamente 21%. A qualidade do efluente final em termos de concentração média encontrou-se os seguintes valores: DBO₅ (16 mg/L), DQO (64 mg/L), nitrogênio amoniacal (7 mg/L), fosfato (4 mg/L), sólidos suspensos totais (56 mg/L) e sólidos suspensos voláteis (21 mg/L). A redução média da vazão entre a entrada e a saída do *wetland*, no período de observação, foi na ordem de 26%. O presente estudo mostrou que *wetlands* de fluxo subsuperficial podem efetivamente serem utilizados como pós-tratamento de esgoto sanitário, sobretudo em pequenas comunidades em função de requerer pouca manutenção, ser de construção e operação fácil, ter custo relativamente baixo e integrar-se ao paisagismo local.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Esgoto, Remoção de Poluentes, *Wetland*.

INTRODUÇÃO

O saneamento no Brasil ainda está muito aquém do ideal, principalmente em relação à coleta e ao tratamento do esgoto sanitário. Embora o abastecimento de água potável, atinja 81,1% da população, índices bem inferiores caracterizam a coleta de esgoto sanitário – em cerca de 46,2% da população, e o tratamento de esgoto sanitário apenas 37,9% (SNIS 2012). Na cidade de Angra dos Reis-RJ, aproximadamente 45% da população é atendida com coleta de esgoto sanitário, sendo o sistema do Sistema Autônomo de Água e Esgoto de Angra dos Reis (SAAE/AR), a companhia responsável pelo esgotamento sanitário (SNIS 2012).

A fisiografia da região de Angra dos Reis facilitou a instalação de diversos núcleos populacionais através da ocupação em áreas não contíguas, ao longo da BR 101- Rodovia Rio Santos, e ainda insulares como é o caso da Ilha Grande, fato este que configura limitações para a implantação de sistemas convencionais de coleta (rede) e de tratamento de esgotos. Assim, há necessidade de implantação de sistemas alternativos descentralizados e operados localmente.

A escolha de uma tecnologia para tratamento de esgoto deve ser feita com base em aspectos importantes que dependem das características populacionais e socioeconômicas da região, do nível de desenvolvimento regional, além de aspectos técnicos, como sua eficiência, facilidade operacional e de manutenção.

Comparado com sistemas de tratamento convencionais, os *wetlands* construídos são de baixo custo, de fácil operação e manutenção, e têm um grande potencial para aplicação em países em desenvolvimento, particularmente em pequenas comunidades rurais (KIVAISI, 2001).

Wetlands naturais são ecossistemas onde o terreno encontra-se saturado e submerso em água por tempo suficiente para manter a sobrevivência de uma comunidade vegetal. Os pântanos, mangues e brejos são exemplos naturais de *wetlands*. Uma *wetland* construída é aquela cuja finalidade específica é o controle da poluição e o manejo de resíduos em um local diferente de onde existe uma *wetland* natural (USEPA, 1993).

Dentre os tipos de *wetlands* construídos, destacam-se os *wetlands* horizontais de fluxo subsuperficial que é um conceito largamente aplicado e que potencialmente promovem tratamento satisfatório, quando dimensionadas corretamente e se utilizam materiais adequados para sua construção e operação (DORNELLAS, 2004).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de um sistema *wetland* de fluxo subsuperficial como pós-tratamento de esgoto sanitário de um sistema de tratamento primário, através da implantação e acompanhamento do sistema piloto implantado na ETE do bairro Jacuecanga em Angra dos Reis-RJ.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho, em escala piloto, foi realizado na Estação de Tratamento de Esgoto do bairro Jacuecanga, nas coordenadas: 22°59'38.90"S e 44°14'9.25"O, na cidade de Angra dos Reis-RJ.

Construção do reator *wetland*

O aparato experimental foi constituído por uma unidade de *wetland* em alvenaria, impermeabilizada externamente com lona plástica e internamente com massa impermeabilizante, utilizando ainda como insumos: 0,5 m³ de argila, 3 m³ de brita n°2, 3,5 m³ de solo, 1 reservatório de 1.000 L, tubos e conexões em PVC com diâmetros de 50 e 60 mm.

O reator *wetland* de 10 m² área superficial possui as seguintes dimensões: 5 m de comprimento, 2 m de largura e 1 m de altura, possuindo inclinação de 3%. O *wetland* foi preenchido com 0,05 m de argila, 0,2 m de brita n° 2, 0,35 m de solo retirado da cava onde fora instalado o sistema e ainda mais 0,1 m de brita n° 2 na superfície do reator. A camada de argila tem a função de ajudar na impermeabilização do fundo do reator, com a camada de solo como substrato para as plantas e ainda as camadas de britas potencializando a distribuição uniforme do fluxo subsuperficial. A camada superior de brita tem ainda a função de evitar a presença de insetos e a produção de odor. Parte do efluente proveniente da saída do decantador primário da ETE é conduzido por gravidade até o reservatório de 1.000 L (mil litros) para homogeneização e alimentação do reator. Válvula para controle de vazão foi instalada na entrada e na saída do reservatório, que também possui válvula para limpeza de fundo e um extravasor de segurança, conforme mostra a Figura 1a. A tubulação de entrada, perpendicular ao comprimento do reator, foi toda perfurada de forma a uniformizar a distribuição do efluente e se encontra a 0,6 m de altura (na camada superior de brita n°2). O dreno de saída perpendicular ao reator foi também perfurado para melhor captar o efluente após passagem pelo sistema e se encontra a 0,07 m de altura (na camada inferior de brita n°2). Para a coleta do efluente final e regulagem da altura da lâmina de água residual no *wetland*, foi construído um poço de visita onde se encontrava a tubulação de saída do sistema. Essa tubulação foi interligada a tubulação de drenagem através de joelho que a torna articulada e permitiam o controle da altura da lâmina do efluente pelo princípio dos vasos comunicantes. Neste ponto também foram realizadas medições semanais de vazão de saída do sistema através de método direto, usando balde graduado e cronômetro. Foi estabelecida a altura da tubulação de saída em 0,7 m, de forma a nivelar com o limite útil do *wetland*, ou seja, no nível da camada superior de brita.

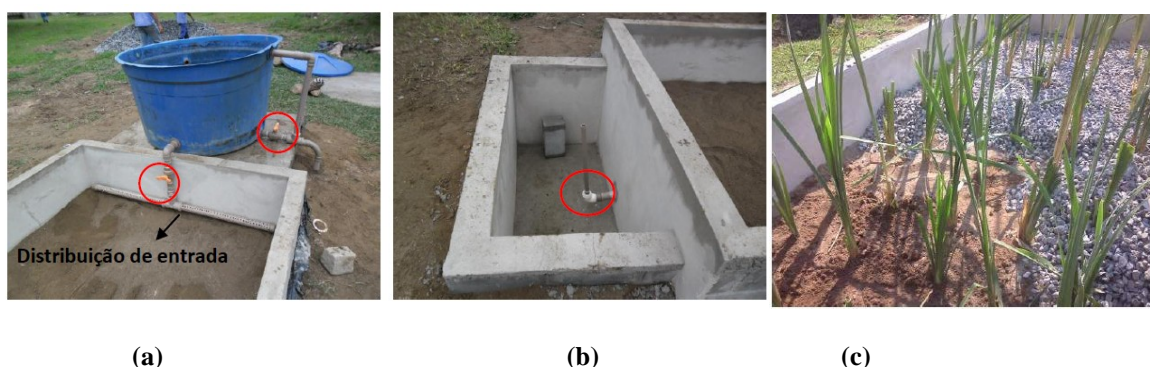


Figura 1 – Construção reator - (a): Reservatório para armazenamento e homogeneização do efluente. Ainda sem a camada superior de brita. (b) Caixa coletora de amostra de saída. (c) detalhe da planta.

Plantio das Taboas

A planta escolhida para o estudo foi a macrófita emergente Taboa (*Typha*), pelo fato de ser uma planta adaptada a ambientes alagados, apresentar rápido crescimento e ainda por ser uma espécie facilmente encontrada nos charcos terrenos da região de Angra dos Reis - RJ.

As plantas utilizadas foram retiradas em um ambiente natural alagado, às margens da BR 101, no bairro Bracuí, com distância aproximada de 30 km da ETE. A coleta foi realizada com auxílio de pás e cavadeiras, com cuidado para a preservação das partes anatômicas das plantas, especialmente as raízes e os rizomas, sendo transportadas imediatamente por caminhão de pequeno porte até a ETE onde o sistema *wetland* já estava preparado para o plantio.

Após chegada à ETE, as plantas foram imediatamente plantadas uniformemente no substrato do *wetland*, com 0,05m de altura de seu sistema radicular, somente após este plantio foi colocada a camada superior de brita, com cuidados para não prejudicar as macrófitas plantadas.

Foi utilizado a densidade de 6 plantas por m², totalizando assim 60 plantas no sistema. Algumas plantas que se encontravam aparentemente menos saudáveis foram podadas manualmente com auxílio de facão, permanecendo seu caule com 0,5 m de altura.

Definição das Vazões de Operação e Tempo de Residência

A vazão de entrada (reservatório) foi fixada na vazão de 500 L/dia (quinhentos litros por dia) e a vazão de saída (caixa coletora) foi medida com frequência semanal, sendo realizada através do método direto, usando balde graduado e cronômetro. Para conhecer o volume útil de vazios do reator *wetland*, o mesmo completamente seco, foi alimentado com efluente através do reservatório, demarcando-se o volume de efluente necessário do início do processo até o processo de despejo na caixa coletora de saída. Conhecendo assim o volume útil de vazios de aproximadamente 2.000L (dois mil litros), calculando assim o tempo de residência no sistema *wetland* de 4 dias.

De forma resumida, a Tabela 1 ilustra as características operacionais do sistema *wetland* construído.

Tabela 1: Características operacionais para o sistema *wetland*:

Parâmetro	Unidade	Valor
Altura total dos leitos	m	1,0
Altura dos substratos (altura útil)	m	0,7
Comprimento	m	5,0
Largura	m	2,0
Área superficial	m ²	10,0
Volume de brita (camada superior)	m ³	1,0
Volume de solo	m ³	3,5
Volume de brita (camada inferior)	m ³	2,0
Volume de argila	m ³	0,5
Volume útil de vazios	m ³	2,0
Vazão de entrada	m ³ /d	0,5
Tempo de retenção hidráulico	dias	4,0
Taxa de aplicação hidráulica	m ³ /m ² .dia	0,05

Coleta de amostras e metodologia analítica

Após a aclimação das plantas, iniciou-se o monitoramento de campo do sistema com análises semanais do efluente de entrada e saída – através de um medidor multiparâmetros: pH, temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade. De forma a diminuir interferência externa para o parâmetro oxigênio dissolvido, foi instalado perpendicular ao leito do sistema, próximo a saída, um tubo em PVC, de forma que a sonda do medidor multiparâmetro adentrasse o sistema e medir o valor diretamente do fluxo subsuperficial (dentro do sistema), sem a interferência da queda do efluente caso a medição fosse externa.

Foram realizadas coletas com frequência semanal para análise dos parâmetros, DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), nitrogênio amoniacal, fosfato, sólidos suspensos totais e sólidos suspensos voláteis e metais pesados (chumbo total, cromo total, mercúrio total, cádmio total e arsênio total).

Foram coletadas amostras no período aproximado de 07 meses, através de 27 laudos laboratoriais. As amostras de efluentes foram coletadas na entrada do reservatório e no poço de visita na saída do *wetland*. Os dados trabalhados neste estudo referem-se, essencialmente ao efluente de entrada e saída do sistema *wetland*, ou seja, o efluente do decantador primário da ETE é considerado como afluente do sistema em estudo.

Foi realizada também, a leitura do índice pluviométrico local através de um pluviômetro de 150 mm instalado dentro do *wetland*. Para se medir a evapotranspiração real, foi calculada a diferença das vazões de entrada e de saída, considerando a vazão adicional causada pela chuva, que foi calculada pela multiplicação da altura de chuva medida no pluviômetro pela área superficial do *wetland* (10 m²).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 2 e 3 apresentam o resumo com as médias dos resultados do monitoramento de campo e ainda laboratorial, expressos em termos de concentração e em cargas poluidora de alguns parâmetros, ao longo do período de monitoramento.

Tabela 2: Resumo dos resultados médios das análises de campo dos pontos de alimentação (entrada), do interior do *wetland* (meio) e de saída. Os campos com traço não foram contemplados no projeto.

Pontos	Vazão (L/dia)	Temperatura (°C)	O ₂ (mg/L)	pH	Condutividade (uS/cm)
Média Entrada	500,0	26,4	0,8	7,1	611,2
Média Meio	—	25,8	1,2	7,0	—
Média Saída	367,1	26,3	—	7,0	606,4

Tabela 3: Resumo dos resultados médios das análises laboratoriais dos pontos de alimentação (entrada) e saída, ao longo do período de monitoramento, dos parâmetros contemplados no estudo com suas respectivas eficiência média.

Ponto	DBO (mg/L)	DBO (mg/dia)	DQO (mg/L)	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	N-NH ₄ ⁺ (mg/dia)	Fosfato (mg/L)	Fosfato (mg/dia)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
Média Entrada	63,7	31850,0	217,5	19,8	9929,4	4,46	2231,5	104,6	48,30
Média Saída	16,9	5977,1	64,2	7,6	2527,5	3,5	1280,6	56,1	20,9
Eficiência	73,4%	81,2%	70,4%	61,7%	74,5%	20,4%	42,6%	46,3%	56,5%

pH e Temperatura

Os valores médios de pH encontrados foram de 7,1 e 7,0, respectivamente na entrada e na saída do reator, enquanto os valores médios de temperatura foram de 26,4°C na entrada e 26,3 °C na saída do reator. Os valores de pH de saída registrados, apresentaram oscilação entre 6,2 a 7,2, numa faixa próxima à neutralidade.

Condutividade

Os valores de condutividade são relacionados, sobretudo, com a presença de íons em solução e estão intrinsicamente ligados com a redução de sólidos dissolvidos nos efluentes. Não é um parâmetro controlado pelas leis ambientais vigentes. Nesse trabalho a condutividade de entrada no *wetland* variou, entre 305 a 888 mg/L (média de 611,2 mg/L), enquanto que a de saída oscilou entre 202 e 855 mg/L (média de 606 mg/L).

Oxigênio Dissolvido

Os valores encontrados de oxigênio dissolvido medido na entrada do *wetland* variaram entre 0,2 a 2,0 mg/L (média de 0,8 mg/L) e, o meio do reator *wetland*, entre 0,4 a 3,5 mg/L (média 1,2 mg/L). Este aumento já era esperado devido ao efeito da fotossíntese realizada pelas plantas, liberando o oxigênio no meio. Os valores de pH e temperatura apresentaram-se aproximadamente constantes ao longo do período de monitoramento e nos pontos de análise do sistema (entrada, meio do reator e saída).

DBO

Apesar de os padrões de lançamento exigidos na legislação ambiental vigente no Estado do Rio de Janeiro, serem avaliados em termos de concentrações de poluentes, deve-se ressaltar que os impactos reais causados ao corpo hídrico são mais influenciados pelas cargas de poluentes lançadas. Grandes volumes, mesmo com menor concentração, podem ser muito mais danosos ao meio do que maiores concentrações presentes em descartes com pequenos volumes, num mesmo intervalo de tempo.

A DBO medida na entrada do reator variaram entre 5,8 a 155,8 mg/L (média de 63,7 mg/L) e, na saída, entre 3,0 e 38,9 mg/L (média 16,9 mg/L). O fato da ETE do bairro onde está sendo realizado o projeto, possuir

considerável influência de águas pluviais através de sua rede coletora, pode explicar os valores baixos e variáveis de concentração de DBO na entrada do *wetland*. O percentual médio de remoção em termos de concentração foi de 73,4%. Analisando-se a remoção em termos de carga poluidora, o percentual sobe para 81,2%.

DQO

A DQO de entrada no *wetland* variou, no período de observação, entre 116,4 e 447,2 mg/L (média de 217,5 mg/L), enquanto que a de saída oscilou entre 28,9 e 131,8 mg/L (média de 64,2 mg/L). O percentual de remoção em termos de concentração de DQO obtidos no *wetland* 70,4%.

Nitrogênio Amoniacal

O valor médio registrado para a concentração de entrada de amônia foi de 19,8 mg/L, e de saída, de 7,6 mg/L, variando entre 0,02 a 44,2 mg/L (entrada), e entre 0,01 a 26,4 mg/L (saída), caracterizando uma remoção no *wetland*, de 61,7%. E em termos de carga poluidora essa porcentagem sobe para 74,6%.

Fosfato

Os valores de Fosfato medidos na entrada do *wetland* variaram entre 1,9 a 10,7 mg/L (média de 4,4 mg/L) e, na saída do *wetland*, entre 0,03 a 11,7 mg/L (média 3,55 mg/L). O percentual médio de remoção de Fosfato em termos de concentração foi de 20,4%, e em termos de carga poluidora em 42,6%.

Sólidos Suspensos Totais e Sólidos Suspensos Voláteis

Os níveis de concentração de sólidos não é registrado pela legislação vigente. Porém, estão ligados às concentrações de outros poluentes, como por exemplo matéria orgânica e sais, de modo que os teores de sólidos são referências para os padrões de remoção exigidos para os poluentes a eles correlacionados.

Os valores médios dos sólidos suspensos totais ao longo do período de monitoramento na entrada do *wetland*, foi de 104,6 mg/L, variando entre 12 e 358 mg/L, e na saída do *wetland* de 56,1 mg/L, variando entre 5 e 227 mg/L. O percentual médio de remoção de sólidos suspensos totais foi de 46,3%.

Os valores médios dos sólidos voláteis ao longo na entrada do *wetland*, foi de 48,3 mg/L, variando entre 8 e 170 mg/L, e na saída do *wetland* de 20,98 mg/L, variando entre 5 e 90 mg/L. O percentual médio de remoção de sólidos suspensos totais foi de 56,5%.

Metais Pesados

Com relação aos metais pesados (chumbo total, cromo total, mercúrio total, cádmio total e arsênio total), mesmo não sendo uma preocupação em relação a efluente sanitário doméstico, houve interesse no monitoramento destes, por haver próximo a localização da ETE, um grande estaleiro e estruturas de apoio naval, e uma possível presença destes compostos em alta concentração poderiam ser tóxicas para as macrófitas a serem utilizadas. Porém, ao longo de todo o monitoramento todos os valores apresentados para arsênio total, chumbo total, cádmio total, cromo total e mercúrio total, ficaram abaixo de seus limites de quantificação, sendo respectivamente, 0,01, 0,009, 0,004, 0,01 e 0,0006 mg/L, eliminando assim a possibilidade de toxicidade por metais pesados do efluente a ser tratado.

Taboas

As taboas utilizadas no processo se mostraram bastante resistente às variações de qualidade do afluente sanitário do *wetland*. A vegetação não apresentou sinais de morte, com algumas poucas folhas com sinais de clorose. Ao término do período de operação as macrófitas estavam com altura superior a 2,0 m.

Resultados de balanço hídrico

Com a vazão fixada em 500 L/dia e através da medição semanal da vazão de saída foi possível observar a influência da precipitação pluviométrica na vazão de saída. Foi encontrado uma vazão média de saída de 368 L/dia, variando-a sua menor vazão à 255 L/dia (10ª semana de operação, onde não houve registro de chuva durante a semana) e sua maior vazão à 450 L/dia (12ª semana de operação, onde houve 202 mm de chuva durante a semana), uma diferença na ordem de 43%. A média de precipitação pluviométrica ao longo de todo o

período de estudo foi de 63 mm/dia, considerando a vazão de precipitação pluviométrica através da área superficial do *wetland* (10 m²), temos uma vazão média de 63 L/dia.

Comparando as vazões obtidas na entrada e na saída do *wetland*, nota-se a redução entre seus valores, que é devido essencialmente à ação solar através da evaporação do efluente pela macrófita (evapotranspiração) e diretamente a partir da superfície do solo. Deve ser lembrado que a parcela de evaporação que ocorre nas superfícies livres não é significativa neste tipo de *wetland* trabalhado uma vez em que ele é operado com fluxo subsuperficial.

A redução média da vazão entre a entrada e a saída do *wetland*, no período de observação, foi na ordem de 26%. Isso significa dizer que 74% do esgoto que entra no *wetland* e despejado como efluente, a ser descartado diretamente no corpo receptor.

Ressalta-se que para os cálculos de balanço hídrico, as perdas por infiltração foram consideradas desprezíveis, já que o fundo da unidade foi impermeabilizado com camada de argila, e as paredes do reator foram revestidos com impermeabilizante.

Evapotranspiração

Para se medir a evapotranspiração real, foi calculada a diferença de vazões de entrada e saída, considerando a vazão adicional causada pela chuva, que foi calculada pela multiplicação da altura de chuva medida no pluviômetro pela área superficial do *wetland* (10 m²). Foi encontrada uma evapotranspiração média de 39% ao longo de todo o período de monitoramento (Outubro a Maio). Considerando a evapotranspiração específica para cada estação climática ao longo do período de monitoramento, ou seja, Primavera (Outubro e Novembro), Verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) e Outono (Março, Abril e Maio), encontrou-se respectivamente as médias de 39%, 43% e 32%. A Tabela 4 ilustra o balanço hídrico para cada estação climática ao longo do período de monitoramento.

Tabela 4: Balanço hídrico com as vazões de entrada, saída, precipitação e evapotranspiração, ao longo do período de estudo.

Vazão entrada	Vazão saída		Vazão precipitação		Vazão Evapotranspiração	
L/dia	Média (L/dia)	Faixa de variação (L/dia) Min. e Máx.	Média (L/dia)	Faixa de variação (L/dia) Min. e Máx.	Média (L/dia)	Faixa de variação (L/dia) Min. e Máx.
Todo período de monitoramento (Outubro a Maio)						
500	368	255 a 450	63	0 a 288	195	110 a 338
Primavera (Outubro e Novembro)						
500	358	303 a 443	55	0 a 115	197	110 a 291
Verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro)						
500	373	255 a 450	87	0 a 288	214	134 a 338
Outono (Março, Abril e Maio)						
500	370	350 a 440	30	0 a 115	160	140 a 196

Analizando o potencial de redução de vazões, principalmente em regiões de clima tropical, como é o caso em questão, onde as elevadas temperaturas potencializam os efeitos da perda de líquido por evapotranspiração, o sistema de *wetland* implantado pode ser uma boa alternativa na redução de carga orgânica no despejo de efluente sanitário.

CONCLUSÕES

Comparando as vazões obtidas na entrada e na saída do *wetland*, nota-se a redução entre seus valores, que é devido essencialmente à ação solar através da evaporação do efluente pela macrófita e diretamente a partir da superfície do solo. Deve ser lembrado que a parcela de evaporação que ocorre nas superfícies livres de água não é significante no *wetland* trabalhado uma vez em que ele é operado com fluxo subsuperficial. Neste mesmo balanço hídrico, observa-se a influência da precipitação no aumento da vazão de saída do projeto.

As remoções de poluentes obtidas, em termos de concentração, no *wetland*, foram na ordem de 70,4% para DQO, 46,3% para sólidos suspensos totais, 56,5 % para sólidos suspensos voláteis, 73,4% para DBO, 61,7 para amônia e 20,4 para fosfato. Analisando-se os três últimos parâmetros (DBO, Amônia e fosfato) em termos de carga poluidora, ou seja, considerando o efeito de redução de volume do afluente ao *wetland* em relação ao seu efluente, a remoção percentual do sistema aumenta respectivamente para 81,2%, 74,6% e 42,6%.

As taboas utilizadas no processo se mostraram bastante resistente às variações de qualidade do afluente sanitário do *wetland*. A vegetação não apresentou sinais de morte, com algumas poucas folhas com sinais de clorose, durante o período de monitoramento.

Desta forma, considerando todo o exposto, tem-se que o sistema *wetland* de fluxo subsuperficial horizontal utilizado como pós tratamento de esgoto sanitário, apresenta viabilidade de implantação em comunidades carentes e isoladas, onde sistemas convencionais de coleta e tratamento centralizado são inviáveis, sendo considerado ideal para pequenas comunidades, em função de requerer pouca manutenção, ser de construção e operação fácil, ter custo supostamente baixo e integrar-se ao paisagismo local. E, sobretudo, mostram-se compatíveis com a realidade técnica e econômica de muitos municípios brasileiros, como é o caso do município de Angra dos Reis-RJ. Destaca-se ainda, que não foi utilizado qualquer produto químico e tampouco energia elétrica no referido estudo.

RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

Para a continuidade das pesquisas e aprimoramento operacional, algumas recomendações e sugestões podem ser feitas, a saber:

- detalhamento da capacidade de introdução de oxigênio pelas plantas no interior da unidade, confirmando que seu aumento é devido ao efeito da fotossíntese realizada pelas plantas, e ainda pela introdução de ar através da camada superficial do substrato;
- avaliação da dinâmica de progressão da remoção dos poluentes ao longo da extensão das *wetlands*, bem como a utilização de diferentes vazões, avaliando a capacidade máxima suporte dos sistemas em suportarem condições extremas para qualidade das águas residuárias;
- um período mais extenso para a obtenção de dados, principalmente pelo fato deste estudo não contemplar um ciclo com todas as estações do ano;
- conhecimento dos custos finais de construção, com progressões financeiras contemplando atendimento de acordo com o número populacional;
- análise da possibilidade de reutilização do efluente final do sistema para fins mais nobres, como o aproveitamento agrícola, em tanques de piscicultura, ou simplesmente para irrigação de jardins e limpeza de vias públicas;

- outra medida seria a adoção de leitos de distribuição de maiores comprimentos para permitir uma mistura e melhor distribuição do afluente. Dimensões maiores permitiriam também eventual sedimentação de materiais sólidos no próprio leito de distribuição;

- para um bom funcionamento do sistema de forma descentralizada, deve ser elaborado um manual de operação e manutenção do sistema, de forma que o responsável possa solucionar possíveis problemas de funcionamento. O responsável pela operação do sistema pode inclusive, após capacitação, ser morador da própria comunidade.

Em relação à macrófita utilizada, deve ser observada as seguintes recomendações:

- retirada sistemática dos restos das podas da superfície do leito filtrante evitando que ocorra sua decomposição e aporte de material orgânico particulado e solúvel para o interior da *wetland*, principalmente nos períodos chuvosos;

- remoção de vegetação oportunista em *wetlands* que não são cultivadas com macrófitas. Essa vegetação, geralmente rasteira, potencialmente poderia causar colmatção em pontos da superfície do leito e aportar material para seu interior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA (2005), Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF), 21th ed., New York.
2. CAMPOS, Juacyara Carbonelli, Ferreira, João Alberto, Manarinno, Camille Ferreira(2003), Uso de *wetland* de fluxo sub-superficial no tratamento de chorume por lodo ativado. Trabalho Final de Mestrado em Engenharia Ambiental Modalidade: Dissertação.
3. COLE, S. The emergency of treatment *wetlands*. Environ. Sci. Technology, vol. 32, n. 9. 218–223, 1998.
4. DORNELAS, FL, avaliação do desempenho de *wetlands* horizontais subsuperficiais como pós tratamento de efluentes de reatores uasb, Belo Horizonte: Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, 2003.
5. DZ 215.R4 do INEA-RJ (2007). Diretriz de Controle de Carga Orgânica Biodegradável em Efluentes Líquidos de Origem não Industrial.
6. KIVAIISI, A. K. The potential for constructed *wetlands* for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. Ecological Engineering, v. 16, p. 545–560, 2001.
7. SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Coleta dados, 2010, publicação, 2012.
8. USEPA (1993). Subsurface Flow Constructed *Wetlands* for Wastewater Treatment: A technology assesment. United States Environmental Protection Agency. 87 p.