

II-455 - WETLANDS CONSTRUÍDAS COMO PÓS TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS: ESTUDO DE CASO DE UM HOTEL CAMPESTRE DE PEQUENO PORTE

Altair Rosa⁽¹⁾

Mestre em Gestão Urbana e Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo/USP. Professor do Departamento de Engenharia Ambiental da Pontifícia Universidade Católica do Paraná/PUCPR.

Lohanna Zadureski de Carvalho

Engenheira Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná/PUCPR.

Julio Cezar Rietow

Engenheiro Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná/PUCPR.

Guilherme Sampogna Mohor

Engenheiro Ambiental e Mestrando em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo/USP.

Fabiana de Nadai Andreoli

Doutora em Educação pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná/PUCPR. Coordenadora do Curso de Engenharia Ambiental da Pontifícia Universidade Católica do Paraná/PUCPR.

Endereço⁽¹⁾: Rua/Av. Nome do Logradouro, Número do Logradouro e/ou Complemento - Bairro - Cidade - Estado - CEP: 20000-000 - País - Tel: +55 (xx) 4444-3333 - Fax: +55 (xx) 4444-5555 - e-mail: **exemplo@informar somente o endereço do Autor Principal.**

RESUMO

A qualidade das águas no Brasil tem sido afetada devido ao crescente volume de despejos de efluentes no sistema de águas superficiais. O tratamento de efluentes no Brasil está, principalmente, focado no tratamento convencional, ofertado pela esfera pública, no meio urbano, e quando possui, por fossas sépticas ou sumidouros no meio rural. A fim de auxiliar a suprir este déficit, vêm sendo estudada a inserção “técnicas alternativas” conhecidas internacionalmente como wetlands ou nacionalmente como zonas de raízes, terras úmidas ou alagados construídos para compensação dos efeitos da poluição sobre rios e o meio ambiente em geral. Pensando nesta deficiência, esta pesquisa visa, através da elaboração, implantação e monitoramento de um sistema de tratamento, wetland de fluxo subsuperficial horizontal ascendente avaliar a evolução na melhoria da qualidade do efluente doméstico provindo da estação de tratamento de um hotel campestre de pequeno porte. Foram realizadas coletas na entrada e saída do sistema e após as análises laboratoriais pré-estabelecidas para o efluente coletado. Os resultados foram comparados com a legislação vigente para obter-se a real eficiência do sistema. Os resultados apresentaram melhora significativas para alguns dos parâmetros analisados com 77% para turbidez, 80% para DBO, 53% para DQO e 36% para fósforo. Com os resultados obtidos é possível concluir que com a maturação do sistema a eficiência se torna mais expressiva.

PALAVRAS-CHAVE: Wetlands construídas, pós-tratamento de efluentes, zona de raízes.

INTRODUÇÃO

A qualidade das águas no Brasil tem sido afetada devido ao crescente volume de despejos de efluentes e despejos no sistema de águas superficiais, aumentando a presença de várias substâncias poluidoras que alteram as características naturais dos recursos hídricos, de entre as águas poluídas cabe destacar as poluídas por nitrogênio, fósforo, metais e materiais orgânicos, que podem ser eliminados ou controlados com sistemas de tratamento com wetlands (YAMAMOTO, 2005).

Este cenário não é restrito aos grandes centros urbanos, apesar de a maioria dos governos municipais não poderem ajudar na construção de um sistema de esgoto nas áreas rurais, muitas vezes por falta de recursos, a legislação e fiscalização ocorrem da mesma forma do que nas regiões urbanas e por isso é necessário a busca por tecnologias alternativas para tratamento de efluentes, onde a própria residência, indústria ou comércio deve construir o seu próprio sistema (SNIS, 2012).

O lançamento de efluentes sem tratamento prévio em corpos receptores tem alterado a qualidade dos recursos hídricos. Trazendo consequências negativas como problemas a saúde humana, com doenças de veiculação hídrica que são facilmente transmitidas e podem causar até mesmo mortes, problemas aos ecossistemas onde a introdução de poluentes interfere no ciclo natural de organismos e da água.

Historicamente, o tratamento de efluentes no Brasil esteve focado no tratamento ofertado pela esfera pública, no meio urbano, e quando possui, por fossas sépticas ou sumidouros e no meio rural. Recentemente os centros de pesquisa brasileiros em qualidade de águas e efluentes buscam adaptar as chamadas de “técnicas alternativas” conhecidas internacionalmente como wetlands ou nacionalmente como zonas de raízes, terras úmidas, alagados construídos etc. para compensação dos efeitos da poluição sobre rios e o meio ambiente em geral.

Observa-se que há ainda uma grande lacuna entre o modelo de tratamento tradicional e os chamados tratamentos alternativos. Essa lacuna se acentua entre os órgãos responsáveis pelo tratamento convencional e os adeptos ao tratamento alternativo, principalmente, para comprovar a eficiência do tratamento proposto e as formas de dimensionamento de métodos alternativos.

Apesar dos incontestáveis sucessos das engenharias sanitária e ambiental na recuperação ambiental, ainda se faz necessário adotar técnicas alternativas ao sistema de tratamento de efluentes usados nas cidades. Estas devem ser trazidas à realidade brasileira, ou seja, deve ser de baixo custo de implantação, usar materiais facilmente encontrados, ser de fácil execução e exigir baixo investimento financeiro.

Pensando nesta deficiência, esta pesquisa visa, através da elaboração, implantação e monitoramento de um sistema de tratamento, wetland, avaliar a evolução na melhoria da qualidade do efluente doméstico provindo da estação de tratamento de um hotel campestre de pequeno porte, comprovando que trata-se de uma tecnologia alternativa eficiente para ser implantada no pós-tratamento.

WETLANDS

De acordo com a Convenção de Ramsar ou Convenção sobre Zonas Úmidas, no ano de 1971 na cidade de Ramsar, no Irã, zonas úmidas são definidas como:

Toda a extensão de pântanos, charcos e turfas ou superfícies cobertas de água, de regime natural ou artificial, permanentes ou temporárias, com água parada ou corrente, doce, salobra ou salgada, que podem compreender as regiões ribeirinhas ou costeiras adjacentes, assim como as ilhas ou extensões de áreas marinhas de uma profundidade superior a 100 metros em mare baixa (RAMSAR, 1971).

Para Botkin e Keller (2011) wetland é um termo abrangente para zonas úmidas, pântanos, brejos, marismas e piscinas vernais e uma das suas principais características é de ser úmida pelo menos uma parte do ano, por esse motivo possuem um tipo de solo e vegetação específico.

Segundo Salatti (2003) as principais funções desse tipo de habitat são: capacidade de regularização dos fluxos d'água, capacidade de modificar e controlar a qualidade da água, reprodução e alimentação da fauna aquática, proteção da biodiversidade e controle de erosão.

Existem dois tipos de zonas de raízes, as naturais e as construídas. As wetlands naturais são um universo de habitats úmidos que estão sujeitos a inundações periódica ou permanentemente, o solo é alagado e coberto por macrófitas (PIO; ANTONY; SANTANA, 2013).

Para Salatti (2003) as wetlands construídas são a simulação de ecossistemas naturais, porém oferecem melhores oportunidades, pois é possível maximizar a eficiência e escolher a vegetação e também são projetadas visando remover poluentes orgânicos e inorgânicos das águas contaminadas (PIO; ANTONY; SANTANA, 2013).

Por essas razões as wetlands são introduzidas de maneira artificial, pois pode ser considerada a alternativa ecológica mais comum para o tratamento de efluentes em nível domiciliar ou pequenas comunidades (FERREIRA; PAULO, 2009).

O sistema tem capacidade de remover poluentes como a DBO, organismos patogênicos, materiais em suspensão, nutrientes, metais pesados e compostos orgânicos tóxicos (LAUTENSCHLAGER, 2001).

Algumas vantagens do sistema são o baixo custo operacional e manutenção, são esteticamente agradáveis às pessoas (BOTKIN; KELLER, 2011), reduz concentrações de sedimentos em até 95%, fósforo total e nitrato presentes na água superficial (CECH, 2013) e ainda apresentam confiabilidade superior a alguns métodos tradicionais de tratamento da engenharia, pois pode tratar mais de um tipo de poluente simultaneamente (LIM; WONG, 2001).

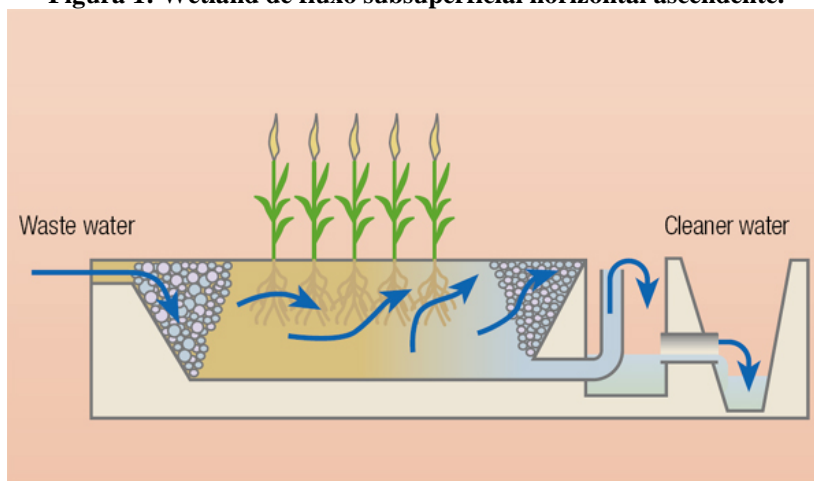
Como desvantagens podem-se citar a necessidade de uma grande área para a implantação, a possível presença de mosquitos e até a resistência de contaminantes que eventualmente possam estar presos ao sedimento, resultando numa acumulação indesejada (SILVESTRE; PEDRO DE JESUS, 2002). Sua eficiência ainda está suscetível à sazonalidade e a espera para o real estabelecimento das plantas (DUARTE, 2002).

Existem diversos tipos de wetlands construídas, para este trabalho o modelo que se mostrou mais apropriado foi o de fluxo subsuperficial horizontal ascendente.

Esse sistema é composto por pedras e pedriscos onde estão cultivadas as plantas do sistema. Possui boa eficiência de remoção de sólidos suspensos e DBO, e em alguns casos de remoção de nitrogênio e fósforo (BRIX, 1993). Para Tilley et. al (2008) esse sistema apresenta vantagens já que o espaço para a construção é menor do que as wetlands de fluxo superficial, não há presença de mosquitos e vetores, já que o efluente não entra em contato com o ar, não há a necessidade de eletricidade, porém como desvantagem tem-se a necessidade de um tratamento primário.

O sistema ascendente recebe o efluente pela parte inferior e a saída pela parte superior. Segundo Brix (1993) e Salatti e Filho (1996) esse tipo é muito utilizado no tratamento secundário e terciário de esgoto, pois diminui os custos do tratamento primário convencional, também porque evita o contato direto com o efluente a ser tratado e elimina o mau odor. A Figura 1 (LIMNOWET, s/d) apresenta um esquema da wetland de fluxo subsuperficial horizontal ascendente.

Figura 1: Wetland de fluxo subsuperficial horizontal ascendente.



Os mecanismos de remoção envolvidos são sedimentação (remove sólidos, DBO, DQO, patógenos, nitrogênio, fósforo e metais pesados); filtração (remove sólidos, DBO, DQO, patógenos, nitrogênio, fósforo e metais pesados); precipitação (dissolução do fósforo e de metais); oxidação (remove DQO, hidrocarboneto de petróleo); decomposição microbiana (remove DBO e DQO) e metabolismo da planta (remove fósforo, nitrogênio e metais).

O nitrogênio é removido do sistema pela nitrificação, segundo Sousa (2003) “a transformação de nitrogênio é feita através do metabolismo das bactérias que consomem carbono, nitrogênio e fósforo”. Para Tilley et. al (2008) as raízes e caules também servem para retirar nitrogênio. Segundo Bachand e Horne (2000) em wetlands construídas “a remoção de nitrogênio varia de 25 a 85% e está diretamente relacionada ao tempo de detenção”.

O fósforo é retirado com o crescimento das plantas, que o incorporam nos seus tecidos, a sua retirada pelos microrganismos é rápida e varia com o crescimento destes. Ele estimula o crescimento das plantas e provocam um acréscimo de biomassa e detritos (RICHARDSON; MARSHALL, 1986). Outros processos importantes para a remoção do fósforo é a sedimentação e a sorção (SOUSA, 2003).

A remoção de sólidos acontece através da filtração e da sedimentação, os quais têm relação com a baixa velocidade na qual os esgotos seguem. A filtração consiste na retenção física dos sólidos em suspensão nas unidades de tratamento e a sedimentação é um processo em que os sólidos que possuem uma densidade elevada, seguem para o fundo da unidade (KADLEC; KNIGHT, 1996).

Para a remoção de patógenos existe o decaimento natural, a sedimentação, a irradiação solar (TILLEY et. al., 2008), característica química desfavorável da água, efeitos da temperatura e pH (KADLEC; KNIGHT, 1996).

Sobre o tipo de vegetação que compõe uma wetland, segundo o International Biological Programme (IBP) as macrófitas são as espécies mais utilizadas. Para a escolha devem-se levar em conta alguns fatores como a tolerância da planta quanto ao efluente ou água, potencial de crescimento, disponibilidade da espécie na região de implantação, custo e plantio (PIO; ANTONY; SANTANA, 2013). Para Fibbi et. al. (2012) as três espécies mais utilizadas são: *Phragmites australis*, *Typhasp.*, e *Juncus spp.*, isso é, as canas, taboas e juncos, respectivamente, devido à rápida taxa de crescimento.

A parte aérea das plantas (tecidos) é capaz de reduzir o crescimento de fitoplâncton, tem potencial estético de paisagismo e de armazenamento de nutrientes. Os tecidos da planta em contato com o efluente ou água promovem a filtração, retiram nutrientes e liberam oxigênio devido à fotossíntese (aumento da taxa de degradação aeróbia da matéria orgânica). As raízes e rizomas em contato com o solo previnem contra erosão, retiram nutrientes e liberam oxigênio, consequentemente auxiliando na degradação aeróbia da matéria orgânica e na nitrificação (PIO, ANTONY, SANTANA, 2013).

As plantas mais usuais nos sistemas de wetland são a taboa (*Typha spp.*), a cana (*Phragmites communis*) e o junco (*Scirpus spp.*).

METODOLOGIA

O percurso metodológico da pesquisa contemplou uma pesquisa exploratória na bibliografia e em campo. As informações levantadas in loco foram confrontadas com as referências da revisão bibliográfica visando compreender a relevância e as dificuldades da implementação de um sistema de wetlands construídos. O estudo de caso dividiu-se em quatro etapas principais:

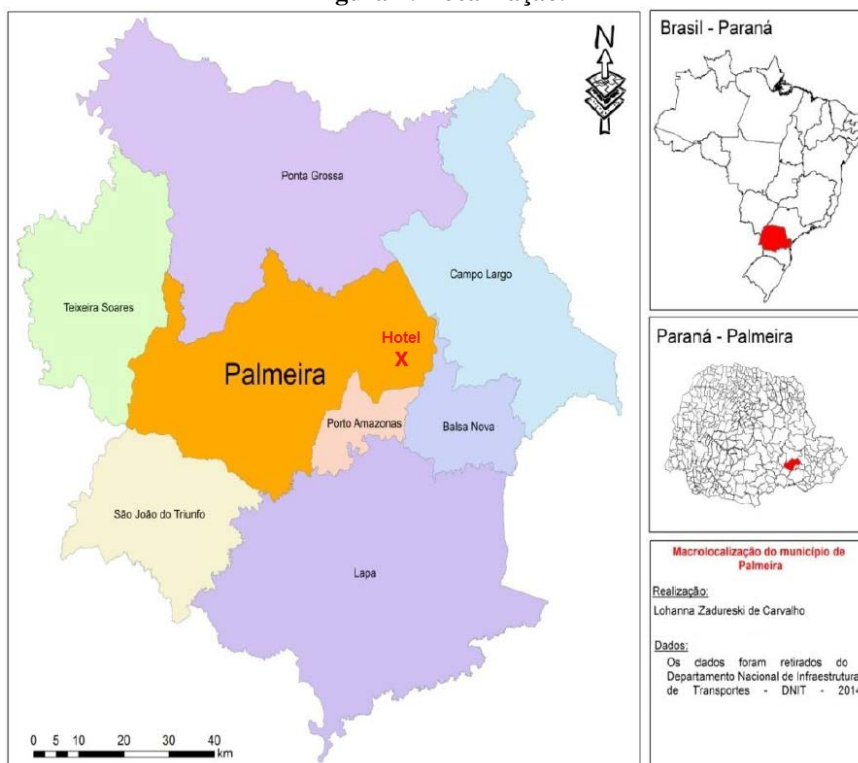
- a) Concepção do projeto: depois de realizado o embasamento teórico a etapa seguinte foi acoplar as informações e conhecimentos adquiridos, projetando e dimensionando as estruturas propostas, considerando as particularidades da área, a escolha dos materiais, das plantas, da localização, do clima e da eficiência desejada;
- b) Escolha dos materiais e plantas: optou-se pela utilização de materiais de baixo custo e plantas nativas ou facilmente adaptáveis à região. O material foi doado pelo Hotel Campestre Leão de Judá e pela empresa Maccaferri – Engineering a better solution.
- c) Execução do projeto: refere-se à implementação do projeto. A mão de obra utilizada para a execução foi própria do hotel.
- d) Monitoramento do sistema: refere-se ao monitoramento do desempenho da wetland, verificando e comparando a eficiência alcançada.

LOCALIZAÇÃO

O hotel localiza-se na cidade de Palmeira, região sul do Paraná (Figura 2). Segundo IBGE (2010) a população do município é de 32.123 habitantes sendo 19.375 na área urbana e 12.748 na área rural. As principais atividades são a agropecuária e pecuária.

O hotel possui 60.000 m² de área verde e infraestrutura, com capacidade para 580 pessoas.

Figura 2: Localização.



DIMENSIONAMENTO

A técnica escolhida foi o de fluxo subsuperficial horizontal ascendente, segundo Brix (1993) e Salatti e Filho (1996) esse tipo é muito utilizado no tratamento secundário e terciário de esgoto, pois diminui os custos do tratamento primário convencional, também porque evita o contato direto com o efluente a ser tratado e elimina o mau odor. O hotel possui um sistema de tratamento de efluentes convencional, constituído por fossa séptica, seguido de filtro biológico anaeróbio e caixa de cloração, essa técnica foi escolhida. A escolha deu-se pelas características do efluente, a eficiência final desejada, interesse paisagístico e interesse da utilização.

Para a construção do sistema utilizou-se a metodologia de Reed (1992), onde ele apresenta uma tabela (Tabela 1) com parâmetros e seus padrões, segundo a técnica escolhida.

Tabela 1 – Parâmetros e padrões para dimensionamento de wetlands

Parâmetros	Tipos de wetlands	
	Fluxo superficial	Fluxo subsuperficial
Tempo de detenção (dia)	5 – 14	2 – 7
Altura da coluna d'água (m)	0,1 – 0,5	0,1 – 1,0
Area requerida (ha.m ⁻³ .dia ⁻¹)	0,002 – 0,014	0,001 – 0,007
Carga hidráulica	7 – 60	2 – 30

Para calcular a vazão de entrada no sistema, utiliza-se a equação 1 (VON SPERLING, 2005):

$$Q = \frac{c \cdot P \cdot q}{1000} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: Q = vazão (m³.dia⁻¹); c = coeficiente de retorno; P = população; q = vazão per capita (l.hab⁻¹.dia⁻¹).

O dimensionamento foi feito para uma população de 90 pessoas. Segundo Von Sperling (2005), o coeficiente de retorno varia de 40% a 100%, com isso adotou-se valor de 85%. Ainda segundo Von Sperling (2005) o

consumo per capita em áreas rurais varia de 90 a 140 (l.hab⁻¹.dia⁻¹), com isso adotou-se o menor valor (90) porque não é um lugar com pessoas todos os dias. O valor da vazão (Q) encontrado foi de 6,89 (m³.dia⁻¹).

Com o tempo de detenção é possível calcular o volume necessário da wetland. Segundo Marques (1999), as equações 2 e 3 ajudam a calcular.

$$td = \frac{Vv}{Q} \quad \text{Equação 2} \quad Vv = n \cdot V \quad \text{Equação 3}$$

Onde: td = tempo de detenção (dia); Vv: Volume de vazios (m³); Q = vazão; n = porosidade do leito; V = volume (m³).

Considerando o tempo de detenção de 2 dias e vazão de 6,89, tem-se um volume de vazios de 13,78 m³. Sendo a porosidade do leito de 75%, o volume total é de 18 m³.

A metodologia apresenta como intervalo de área 0,001 a 0,007 hectares, como o hotel deseja utilizar a menor área possível o valor adotado é 0,001, ou seja, área de 70 m².

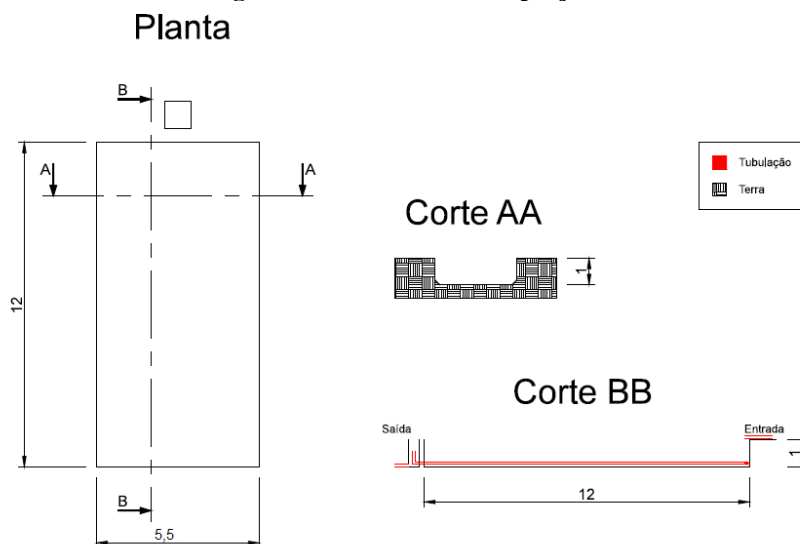
Para o cálculo da profundidade, utilizou-se a equação 4.

$$V = C \cdot L \cdot P \quad \text{Equação 4}$$

Onde: V = volume (m³); C = comprimento (m); largura (m); profundidade (m).

Com o volume de 70 m³, comprimento de 12 m e largura de 6 (m), encontra-se a profundidade de 97 cm, ou seja, 1 metro.

Figura 3: Planta e corte do projeto.



PROCEDIMENTO EM CAMPO – CONSTRUÇÃO

Os materiais usados para a construção do sistema foi treze canos de PVC de 6 metros, 9 joelhos, 6 têes e 3 luvas todos com diâmetro 75 mm. Lona plástica de 16x8, 26 m³ de brita numero 2, 26 m³ de areia grossa, 7 m³ de terra preta, 60 mudas de taboa e 20 mudas de copo de leite, lembrando que toda mão de obra é do próprio hotel.

Escavou-se uma lagoa de 12 metros de comprimento, 6 metros de largura e 1 metro de profundidade. A lagoa foi impermeabilizada com uma lona plástica, no fundo do sistema foi colocada uma tubulação perfurada com

broca 8 mm e em cima foram colocadas 5 camadas de materiais e espessuras diferentes.

A primeira camada foi de brita número 2, pois não há a possibilidade de entupir a tubulação, essa camada tem espessura de 30 cm. A segunda camada foi de areia grossa, também com espessura de 30 cm. A terceira camada foi novamente de brita número 2, com espessura de 15 cm e a quarta camada com 15 cm de areia grossa e por último uma camada de substrato, terra preta, com espessura de 10 cm onde as plantas foram enraizadas.

As plantas usadas no sistema foram a taboa e o copo de leite, pois são facilmente encontradas na região. Foi dado um período de aproximadamente um mês, para que as plantas enraizassem e então foi liberado o fluxo de efluente.

A Figura 4 apresenta a área de implantação, buraco escavado, colocação da lona plástica, colocação da geomembrana, tubulação de efluente bruto, geotêxtil entre camadas, primeira camada do sistema (brita), segunda camada do sistema (areia), terceira camada do sistema (brita), quarta camada do sistema (areia), quinta camada do sistema (substrato) e a plantação de taboa e copo de leite.

Figura 4: Etapas da construção.



ANÁLISES LABORATORIAIS

No mês de setembro de 2014 foram realizadas três coletas, dia 05/09, 16/09 e 30/09, em dois pontos, na entrada do sistema e na saída. Os parâmetros escolhidos para análise físico-química são: pH, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo, nitrogênio total, temperatura, oxigênio dissolvido (OD) e turbidez. Para análises bacteriológicas: coliformes termo tolerantes.

O laboratório utilizado para as análises da qualidade do efluente foi o TECLAB análises ambientais, localizado em São José dos Pinhais, região metropolitana da cidade de Curitiba. Todo custo foi pago pelo próprio hotel.

O método utilizado pelo laboratório para análise das amostras é o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2012).

Depois de realizada as coletas e com os resultados prontos, com o apoio de uma planilha eletrônica, foram feitas tabelas com o número da coleta, parâmetro analisado, valor de entrada, valor de saída, valor máximo permitido pela Resolução CONAMA 357/2005, 430/2011 e CEMA 70/09, unidades e a eficiência obtida em cada parâmetro analisado.

RESULTADOS

O modelo escolhido para construção mostrou-se eficiente, uma vez que tratou o efluente no sistema, apresentando eficiência em vários parâmetros analisados, não apresentou mau odor nem em área próxima e nem no sistema propriamente dito e também não houve proliferação de mosquitos.

Após a construção do sistema foram plantadas 20 mudas de *Zantedeschia aethiopica* (copo de leite) e 20 mudas de *Typha domingensis* (taboa). Notou-se que após um mês do plantio as plantas não conseguiram se enraizar e se desenvolver no sistema, devido ao clima frio na região no mês de julho. Mesmo com esse cenário, a primeira coleta foi realizada, apresentando maior eficiência aos parâmetros físicos, como a turbidez.

Ao analisar os resultados da primeira coleta e notar que a eficiência do sistema não foi tão significativa, foram plantadas mais 30 indivíduos de taboas, porém dessa vez elas já estavam grandes e com raízes profundas, contudo esperaram-se somente 15 dias para a fixação das raízes, uma vez que era o tempo para a próxima coleta.

Os resultados da segunda coleta apresentaram valores muito inferiores ao da primeira coleta, por exemplo a DQO apresentou valor de 250 mg/L na primeira coleta e de <10 mg/L na segunda, com isso houve uma busca do que poderia ter ocorrido. Constatou que na semana da coleta choveu na região e que parte das águas pluviais foi para a estação de tratamento do hotel causando a diluição do efluente.

A terceira e última coleta foi a que apresentou os melhores resultados, acredita-se que isso se deu devido a melhor fixação da última plantação, já que estavam há 30 dias plantadas. A Tabela 2 apresenta um resumo das três coletas realizadas, com seus valores de entrada, valores de saída, eficiência, eficiência média e observações já descritas.

Destaca-se que na primeira etapa as mudas não enraizaram, na segunda etapa houve chuvas intensas e incluíram-se mais trinta plantas e na terceira etapa houve a morte de dez plantas.

É possível notar que os valores de DBO e DQO apresentaram melhoras nas três coletas, desconsiderando a segunda coleta devido à diluição do efluente por águas pluviais, a maior eficiência para DQO apresenta-se na terceira coleta com valor de 53% e para DBO na 1ª coleta com valor de 39%.

O fósforo teve melhor eficiência na primeira coleta, a mesma que apresentou os valores mais altos, sendo 7,8 mg/L na entrada e 5,0 mg/L na saída do sistema, esses valores justificam-se com o alto valor de DQO (250 mg/L). Segundo Haandel e Marais (1999), a proporção de fósforo e DQO no esgoto sanitário apresentam valores de 0,02 e 0,03 mgP.L-1 de DQO, isso é, quanto maior o valor de DQO maior o de fósforo. A segunda e a terceira coleta apresentaram menor eficiência na remoção de fósforo, contudo os valores diminuíram indicando que as plantas começaram a absorver o fósforo presente no sistema,

A primeira coleta não apresentou melhora no parâmetro nitrogênio total e sim uma piora de 0,5 mg/L, tendo como eficiência 0%. Esse aumento pode ter sido ocasionado devido ao não enraizamento das plantas, com isso as raízes não estavam trabalhando na remoção de nitrogênio. As duas próximas coletas já começam a apresentar eficiência, apesar da segunda coleta apresentar somente 2% a terceira coleta aumentou para 18% e

também expressa o valor mais baixo de saída do sistema (5,6 mg/L). Justificando assim que as raízes das plantas começaram a trabalhar.

As raízes das plantas introduzem cerca de 5 g.m-2 por dia de oxigênio, sendo este um valor médio anual (VAN KAICK, 2002), com isso é possível entender o motivo do aumento de OD no sistema. A primeira e segunda coletas são as que apresentam eficiência na adição de OD, chegando a 40% e 36%, respectivamente. Os valores não são expressivos, mas justifica-se que a causa do baixo valor de OD na saída do sistema na primeira coleta se dá devido ao alto valor de DBO no sistema (95 mg/L) e também porque as plantas não haviam se enraizado, com isso era necessário o alto consumo de OD. Na terceira coleta nota-se a diminuição de OD, mais uma vez é possível a justificativa devido ao aumento de DBO que há da segunda para a terceira coleta, isso é, de <2 mg/L para 28,5 mg/L.

A turbidez mostrou eficiência nas três coletas, sendo 77%, 48% e 62%, respectivamente. A menor eficiência aconteceu na segunda coleta devido à diluição do efluente, o que fez com que o mesmo estivesse menos turvo. Segundo Miebs (2007) a turvação da água é causada por materiais em suspensão (lama, areia, matéria orgânica) e possuem tamanhos diferentes. Entende-se assim que a eficiência de 77% da remoção de turbidez se deu pela retenção dos materiais em suspensão pelas camadas de areia e brita.

Os coliformes termotolerantes também tiveram eficiência nas três coletas, sendo a maior delas na terceira coleta, chegando a 21%, mesmo com o aumento de 90% da carga lançada no sistema.

Tabela 2: Dados das análises da saída do esgoto tratado convencional e tratado no sistema de wetlands.

Coleta	Amostragem	pH	DQO	DBO	P	NT	T°C	OD	uT	Coliformes
1	Entrada	6,74	330	155,7	7,8	11,5	16,4	0,3	218	970
	Saída	6,57	250	95	5	12	16,9	0,5	51	860
	Eficiência %	-	24	39	36	0	-	40	77	11
2	Entrada	6,72	10	<10	4,12	12,2	18,9	2,16	84,1	1000
	Saída	6,52	<10	<2	3,32	11,9	19,5	3,36	44	860
	Eficiência %	-	40	80	19	2	-	36	48	14
3	Entrada	7,13	116	38,9	1,68	6,8	18	5,12	77,5	1900
	Saída	6,73	55	28,5	1,49	5,6	19,3	2,21	29,5	1500
	Eficiência %	-	53	27	11	18	-	0	62	21
-	Eficiência média %	-	39	49	22	7	-	25	62	15

Os resultados foram comparados à legislação vigente (Resoluções CONAMA 357/2005, 430/2011 e CEMA 70/2009), a Tabela 3 apresenta os resultados da primeira coleta. Dos nove parâmetros analisados cinco deles encontram-se maior que o valor máximo permitido pela lei. A DQO apresenta 50 mg/L a mais, a DBO 45 mg/L, o fósforo 4,95 mg/L, o nitrogênio 8,3 mg/L e OD 4,5 mg/L. Com isso a primeira coleta não atende a legislação vigente.

Tabela 3: Primeira coleta.

Parâmetros	Entrada sistema	Saída sistema	VMP	Unidade
pH	6,74	6,57	5-9	-
DQO	330	250	200	mg/L
DBO	155,7	95	50	mg/L
P	7,8	5	0,05	mg/L
NT	11,5	12	3,7, pH<7,5	mg/L
T	16,4	16,9	<40	°C
OD	0,3	0,5	>5	mg/L
Turbidez	218	51	100	UNT
Coliformes termotolerantes	970	860	1000/ml	NMP/100ml ²

A Tabela 4 apresenta os resultados da segunda coleta. Dos nove parâmetros analisados na segunda coleta somente três ficaram acima do valor máximo permitido por lei. O fósforo 3,27 mg/L acima, o nitrogênio total 8,2 mg/L acima e o OD 1,64 mg/L abaixo. Com isso, esta coleta também não cumpre integralmente a legislação.

Tabela 4: Segunda coleta.

Parâmetros	Entrada sistema	Saída sistema	VMP	Unidade
pH	6,72	6,52	5-9	-
DQO	10	<10	200	mg/L
DBO	<10	<2	50	mg/L
P	4,12	3,32	0,05	mg/L
NT	12,2	11,9	3,7, pH<7,5	mg/L
T	18,9	19,5	<40	°C
OD	2,16	3,36	>5	mg/L
Turbidez	84,1	44	100	UNT
Coliformes termotolerantes	1000	860	1000/ml	NMP/100ml ²

A Tabela 5 apresenta os resultados da terceira coleta. Nota-se que quatro parâmetros estão acima do VMP. Novamente o fósforo com 1,44 mg/L a mais, o nitrogênio com 1,9 mg/L a mais, OD com 2,79 mg/L a menos e pela primeira vez coliformes termotolerantes com 500 NMP/100ml² a mais. Novamente a coleta não atende integralmente a legislação.

Tabela 5: Terceira coleta.

Parâmetros	Entrada sistema	Saída sistema	VMP	Unidade
pH	7,13	6,73	5-9	-
DQO	116	55	200	mg/L
DBO	38,9	28,5	50	mg/L
P	1,68	1,49	0,05	mg/L
NT	6,8	5,6	3,7, pH<7,5	mg/L
T	18	19,3	<40	°C
OD	5,12	2,21	>5	mg/L
Turbidez	77,5	29,5	100	UNT
Coliformes termotolerantes	1900	1500	1000/ml	NMP/100ml ²

Os três parâmetros que nas três coletas não alcançaram o VMP apresentaram melhoria. Na primeira coleta o fósforo ficou 4,95 mg/L acima do valor máximo permitido contra 1,44 mg/L na última coleta, o que mostra uma melhora de 71%. Já o nitrogênio apresentava 8,3 mg/L a mais na primeira coleta e na terceira apenas 1,9 mg/L apresentando melhora de 77%. O oxigênio dissolvido apresentou melhora de 64% da primeira para a segunda coleta e de 38% da primeira para a terceira coleta e uma piora de 70% da segunda coleta para a terceira. O que confirma que ao passar do tempo o sistema tem melhorado sua eficiência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área aonde o sistema foi construído possui declividade e umidade. Apesar de ter sido batido o nível para a construção, o sistema não ficou totalmente reto, o que fez com que o efluente entrasse no sistema e não ascendesse perfeitamente. Boa parte do efluente ia diretamente para a parte mais baixa do sistema, lado oposto de onde o efluente bruto entrava, mas quando cavava no sistema, era possível visualizar que havia efluente em todo o sistema.

Apesar disso, a pesquisa contribuiu com resultados relevantes para a temática, onde apresenta as análises do efluente na saída do sistema. As maiores eficiências de remoção encontradas foram 77% para turbidez, 80% para DBO, 53% para DQO e 36% para fósforo. Os parâmetros de fósforo, nitrogênio e oxigênio dissolvido apresentaram progressivamente melhoria, entende-se com isso que a vegetação teve influência para remoção desses parâmetros.

Quanto a legislação, os parâmetros pH, temperatura e turbidez nas três coletas cumpriram a legislação, já a DBO e DQO enquadraram-se a partir da segunda coleta.

O crescimento da vegetação utilizada, a taboa e o copo-de-leite, foram satisfatórios e observou-se que as mudas plantadas se adaptaram mais facilmente do que as plantas mais antigas plantadas no sistema. Isso é as mudas se desenvolveram e cresceram, em dois meses após a plantação chegando a 30 cm e as mais antigas

acabaram não vingando. Para melhorar ainda mais a eficiência do sistema serão plantadas mais taboas e copos de leite para que o sistema possa absorver mais nutrientes.

Apesar dos valores de eficiência não serem muito significativos, observa-se que com a maturação do sistema, o sistema se torna mais eficiente. Com isso, acredita-se que as próximas coletas trarão resultados ainda melhores e que os nove parâmetros analisados cumpram a legislação pertinente. Apesar do problema da declividade e da pouca quantidade de plantas os resultados adquiridos foram satisfatórios, concluindo que o sistema de wetlands construídos de fluxo subsuperficial horizontal ascendente é eficiente para pós-tratamento de efluentes domésticos e que quanto mais maturado estiver, melhores serão os resultados dos parâmetros analisados. Sugere-se ainda que novas pesquisas e acompanhamento do sistema sejam realizadas futuramente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRIX, H. Waste Water treatment in Constructed Wetlands System Design: Removal Processes and Treatment Performance. In: Constructed Wetlands for Water Quality Improvement. Ed. By Gerald A. Moshiri. Lewis Publishers, 1993.
2. BOTKIN, D.; KELLER, E. Environmental science: Earth as a living planet. 7th ed. Wiley, 2011.
3. CECH, T. Principles of water resources: history, development, management, and policy. Wiley, 2013.
4. DUARTE, S. Estudo das Potencialidades das Zonas Húmidas Artificiais no Tratamento de Efluentes Aquícolas, Monografia de final de Curso, Departamento de Engenharia Biológica e Química, Licenciatura em Engenharia do Ambiente, Portugal, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2002.
5. FERREIRA, C. A.; PAULO, P. L. Eficiência de wetlands construídos para o tratamento domiciliar de água cinza com condifuração diferenciada. Iniciação científica. Departamento de Hidráulica e Transportes. Licenciatura em Engenharia Ambiental, Univerisade Federal de Mato Grosso do Sul, 2009.
6. FIBBI, D.; DOUMETT, S.; CHECCHINI, L.; GONNELLI, C.; COPPINI, E.; BUBBA, M.D. Distribution and mass balance of hexavalent and trivalent chromium in a subsurface, horizontal flow constructed wetland operating as post-treatment of textile wastewater for water reuse. Journal of Hazardous Materials, v.199-200, p. 209-216, 2012.
7. HAANDEL, A. V.; MARAIS, G.. O comportamento do sistema de lodo ativado. Campina Grande. EPGRAF, 1999.
8. IBGE. Palmeira. Disponível em: <idades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=411770>. Acesso em: 20 out. 2014.
9. KADLEC, R. H.; KNIGHT, R. L. Treatment Wetlands. Boca Raton: Lewis Publishers, 1996.
10. LAUTENSCHLAGER, S. R. Modelagem do desempenho de “wetlands” construídas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2001.
11. LIM, P. E.; WONG, T. F.; LIM, T. F. Oxygen demand, nitrogen and copper removal by free-water-surface and subsurface-flow constructed wetlands under tropical conditions. Environment International, v.26, p.425-431. 2001.
12. LIMNOWET. Wetlands LIMNOWET. Disponível em: <http://www.limnos.si/rastlinske_cistilne_naprave.php>. Acesso em: 04 mai. 2015.
13. MARQUES, D. da M.. Terras Úmidas Construídas de Fluxo Subssuperficial. In: CAMPOS, José Roberto. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
14. MIEB. Análises físico-químicas: cor, turbidez, pH, temperatura, alcalinidade e dureza. Disponível em: <http://www.biologica.eng.uminho.pt/TAEL/downloads/analises/cor%20turbidez%20ph%20t%20alcalinidade%20e%20dureza.pdf>. Acesso em 10 out. 2014.
15. PIO, M.; ANTONY, P.; SANTANA, G.P. Wetlands construídas (terras alagadas): Conceitos, tipos e perspectivas para remoção de metais potencialmente tóxicos de água contamina: uma revisão. Scientia Amazonia, v.2, n.1, xx-xx, 2013.
16. RAMSAR. About the ramsar convention. Disponível em: <http://www.ramsar.org/about-the-ramsar-convention>. Acesso em 25 ago. 2014.
17. REED, S. Constructed Wetland design: the first generation. Wat. Env. Res., V.64, n. 6, p. 776-781, 1992.
18. RICHARDSON, C. J.; MARSHALL, P. E. Process controlling movement, storage, and export of phosphorous in a fen peatland. Ecology Monograph. v.56, n.4, p.279-302, 1986.

19. SALATTI, E. FILHO; SALATI E. "Secondary and Terciary Treatment of Urban Sewage Utilizing the HDS Systems WithUpflow Transport". In: International Conference on Wetland System for Water Polution Control, 5. Vienna, Austria. Proceeding. Vienna, Autria, IAWO, 1996. Volume I.
20. SALATTI, E. Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas. *Biológica*, v. 62, n.1/2, p. 113-116, 2003.
21. SILVESTRE, A.; PEDRO DE JESUS, M. Tratamento de Águas Residuais Domésticas em Zonas Húmidas Artificiais. Monografia de Final de Curso, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Biológica e Química, 2002.
22. SNIS. Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2012. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=103>>. Acesso em: 20 out. 2014.
23. TILLEY, E. et al. Compendium of sanitation systems and technologies. Swiss federal institute of aquatic science and technology (EAWAG). Dubendorf, Switzerland. 2008.
24. VAN KAICK, T. S. Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná. 2002. 128 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2002.
25. VON SPERLING, M.. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte. Universidade Federal de Minas Gerais, 452 p., 2005.
26. YAMAMOTO, C. R. G. Impacto na Melhoria da Qualidade da Água Considerando Sistematização das Várzeas: Estudo de Caso na Bacia do Alto Iguaçu. 2005. 160f. Monografia (Especialização em Gerenciamento Municipal de Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.