

VALIDAÇÃO DE UM MODELO DE DIMENSIONAMENTO DE WETLANDS DE MACRÓFITAS AÉREAS PARA SEPARAÇÃO ÁGUA-ÓLEO

L.A. NASCIMENTO¹; A. E. de MOURA¹; L.A. SARUBBO²; V. A. dos SANTOS².

¹CGTI - Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação

²Universidade Católica de Pernambuco - Departamento de Engenharia Química
E-mail para contato: lais.an@yahoo.com.br

RESUMO – *Wetlands* construídos povoados por macrófitas aéreas da espécie *Eichhornia crassipes* (Aguapé) são indicados como uma opção no tratamento de águas residuárias oleosas. Propõe-se neste trabalho o dimensionamento desses *wetlands* por analogias com condutos livres, reatores semicontínuos e tanques de decantação contínua. O tempo de poda das macrófitas foi modelado com base na cinética de uma reação de primeira ordem. A solução numérica da equação de dimensionamento proposta foi obtida com auxílio da ferramenta Solver (Excel®). Com a construção de quatro (4) protótipos de *wetlands* em policarbonato, de 3,0 m de comprimento por 0,8 m de largura por 0,6 m de altura (0,4 m de lâmina d'água), foram realizados testes experimentais de tratamento de águas oleosas. Os resultados mostraram que as mudas resistiram bem às condições impostas e que assimilaram de forma eficiente os íons presentes na água, removendo os poluentes.

1. INTRODUÇÃO

Como exemplo de método para recuperação de efluentes oleosos, os *wetlands* construídos, cópias artificiais feitas pelo homem dos *wetlands* naturais, têm apresentado diversos benefícios por aperfeiçoarem a exploração dos ciclos biogeoquímicos que ocorrem normalmente nos sistemas naturais, de forma que seu regime hidrológico seja controlado. (BUENO, 2013).

Para a construção de protótipos de *wetlands* construídos foi proposto um modelo de dimensionamento baseado em analogias de funcionamento de condutos livres e decantadores contínuos (BAPTISTA; PINTO, 2003), uma vez que o comportamento do efluente nos *wetlands*, como proposto neste trabalho, assemelha-se ao apresentado nesses equipamentos.

Após a validação teórica da equação de dimensionamento proposto, foi confeccionado um protótipo de *wetland* construído onde foi avaliada a sua operação. Entre os aspectos observados, o controle do pH da água dos *wetlands* construídos e da densidade das mudas de *Eichhornia crassipes* (PEDROSO, 2010), representaram grande importância para o bom funcionamento do sistema de separação água-óleo.

O objetivo deste trabalho foi elaborar um modelo de dimensionamento para *wetlands* construídos para o tratamento de águas oleosas, permitindo a construção de protótipos e a determinação e modelagem do tempo de poda das macrófitas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Elaboração do Modelo de Dimensionamento em Planilha Eletrônica

O modelo de dimensionamento foi elaborado com base em três analogias por semelhanças operacionais:

- a) Canal livre - O movimento não depende da pressão interna, mas da inclinação do fundo do *wetland* e da superfície do líquido.
- b) Decantador contínuo - as duas fases entram continuamente por uma extremidade do *wetland* construído, sendo a fase orgânica retida pelas macrófitas ao longo do tempo de residência, caracterizando uma decantação. A relação entre comprimento e o diâmetro hidráulico permite a existência de condições adequadas de separação entre as fases.
- c) Reator semicontínuo - caracterizado pela permanência da fase orgânica em contato com as macrófitas aéreas (regime batelada) e um fluxo contínuo da fase aquosa.

A geometria adotada para o *wetland* construído foi de um canal de formato retangular, com uma razão entre a largura e a altura da ordem de 2.

O modelo de dimensionamento encontra-se na Equação 1:

$$L_w = \frac{I}{k \cdot n} \left(\frac{b \cdot h}{b + 2 \cdot h} \right)^{2/3} \cdot \sqrt{I} \cdot \ln \left(1 - \frac{C_E - C_S}{C_S} \right) \quad (1)$$

Em que:

n = coeficiente de rugosidade de Manning

b = largura do canal, m

h = altura da lâmina de água no canal, m

I = declividade do canal, m/m

k = Constante de velocidade de consumo do poluente, s⁻¹

C_E = concentração do poluente na entrada do *wetland*, ppm

C_S = concentração do poluente na descarga do *wetland*, ppm

Através da ferramenta Solver do *software* Microsoft Office Excel foram testados valores de comprimento total de um *wetland* construído (L_w) que proporcionassem uma concentração

aceitável de poluente na descarga (Cs). Os dados utilizados para o desenvolvimento da Equação (1) se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros utilizados na equação de dimensionamento.

Parâmetro	Valor	Unidade
Comprimento do <i>wetland</i> construído (Lw)	12 ^a	m
Altura da lâmina d'água (h)	0,4	m
Largura do <i>wetland</i> construído (b)	0,8	m
Coefficiente de rugosidade de Manning (n)	0,009 ^b	-
Declividade do <i>wetland</i> construído (I)	0,005	m/m
Concentração de óleo na alimentação (CE)	20 ^c	ppm
Concentração de óleo na saída (CS)	10 ^c	ppm
Vazão do <i>wetland</i> construído (Q)	0,000833	m ³ /s

Fonte: Galvão, 2009

^a O valor utilizado de 12 metros corresponde a soma dos comprimentos dos 4 tanques de 3 metros cada que compõem o sistema de *wetlands* construídos.

^b O valor escolhido foi o do coeficiente para tubos de vidro, devido a semelhança com o material utilizado na construção.

^c Os valores de concentração do óleo mineral tiveram como base o valor limite de 20 mg/L (20 ppm), definido na Resolução CONAMA nº 430/2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.

2.2 Construção dos Protótipos

O arranjo experimental foi composto por quatro *wetlands* construídos com geometrias de canais retangulares (Figura 1). Os protótipos feitos de policarbonato possuem as seguintes medidas: paredes com 0,01 m de espessura, 3 m de comprimento, 0,8 m de largura e 0,6 m de altura. Os protótipos foram conectados através de mangueiras de silicone, por onde ocorreu a circulação da mistura água-óleo impulsionada por uma bomba hidráulica. O nível da lâmina d'água foi mantido em 0,4 m com auxílio de uma torneira bóia para caixa d'água. A distribuição da água oleosa foi projetada para ser efetuada através de uma tubulação perfurada disposta transversalmente na entrada do primeiro protótipo, de modo que o efluente percorresse a totalidade do leito no sentido longitudinal, ao longo do qual se processou o tratamento, melhorando a eficiência da separação água-óleo.

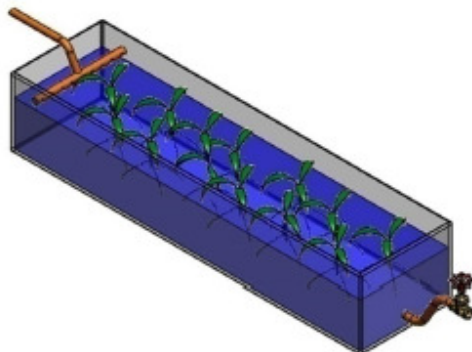


Figura 1 - Esquema com componentes básicos do protótipo de *wetland* construído.

2.3 Determinação do Tempo de Poda

Inicialmente foram colocadas 35 mudas de *Eichhornia crassipes* em cada protótipo com 2,4 m², preenchendo 50% de suas áreas (1,2 m²). O espaço livre (50% da área) foi utilizado para o estudo do tempo necessário de poda.

A quantidade de mudas de *Eichhornia crassipes* dobra a cada 14 dias, aproximadamente (KAWAI; GRIECO, 1983). Portanto, um *wetland* construído com 50% de espaço livre terá sua área totalmente preenchida neste intervalo. Logo, o tempo necessário para reduzir a metade o espaço inicialmente livre será de 7 dias (Figura 2).

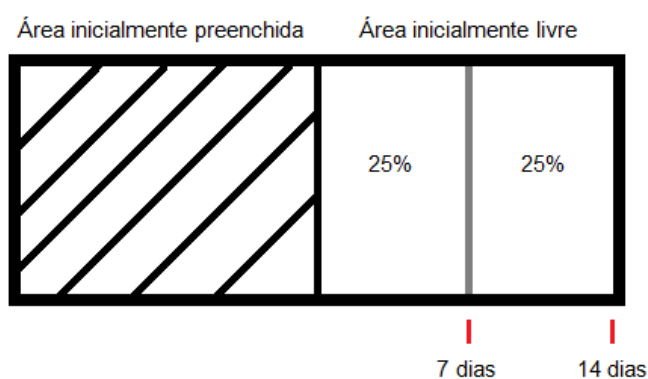


Figura 2 - Preenchimento da área livre superficial do *wetland* construído pelas macrófitas

Observa-se na Figura 2 que após 7 dias o *wetland* construído ficará 75% preenchido pelas mudas de *Eichhornia crassipes*. De acordo com um estudo realizado por Kawai e Grieco (1987), o *wetland* construído será mais eficiente quando estiver aproximadamente 70% ocupado pelas macrófitas.

O tempo de poda foi determinado através da Equação 2, baseada na cinética de primeira ordem:

$$\ln A = \ln A_0 - k_{\text{redução}} \cdot t \quad (2)$$

Em que:

A_0 - área inicial livre (sem macrófitas), m²

A - área livre após um determinado tempo, m²

t - tempo, dias

$k_{\text{redução}}$ - constante de redução da área livre, d⁻¹.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da resolução da Equação (1) na ferramenta Solver da planilha eletrônica Excel, foi encontrado o valor de 0,155 s⁻¹ para a constante de velocidade de consumo do poluente (k). Fixando este valor, foram variadas as concentrações de óleo na alimentação (CE) entre a faixa de 40 a 20 ppm afim de determinar qual comprimento é necessário para reduzir estas concentrações de óleo para 10 ppm na saída (CS) dos *wetlands* construídos (Figura 3). Observa-se que para obter uma concentração satisfatória na saída é necessário que o comprimento do *wetland* construído seja capaz de proporcionar um tempo suficiente para retenção do poluente.

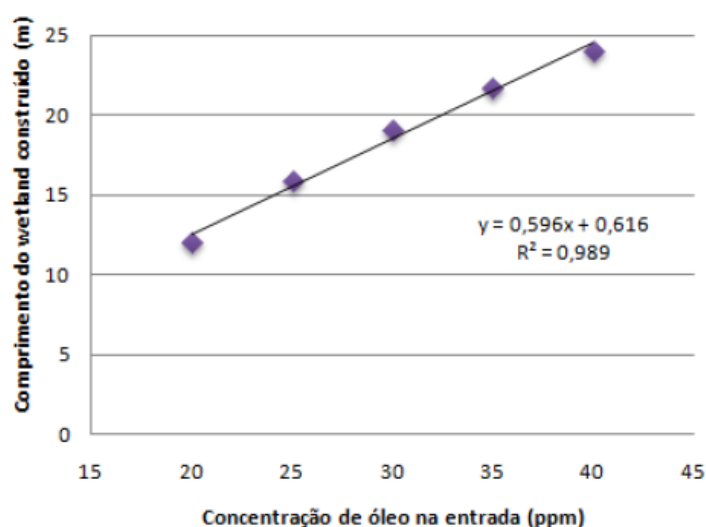


Figura 3 - Comportamento do comprimento do wetland construído em relação a variação de concentrações de óleo na entrada

A constante de redução da área livre ($k_{\text{redução}}$) foi determinada através da Equação 2. Para o intervalo de tempo estudado (tempo necessário para reduzir a área livre pela metade), obteve-se $k_{\text{redução}}$ igual a $0,099 \text{ d}^{-1}$. Isto significa que a cada um dia, aproximadamente $0,099 \text{ m}^2$ da área do *wetland* é ocupada pelas macrófitas.

4. CONCLUSÕES

A ferramenta Solver da planilha eletrônica Excel permitiu uma validação dos parâmetros escolhidos para o modelo de dimensionamento do *wetland* construído proposto. Através dos resultados obtidos da equação de dimensionamento foi possível concluir que a operação do *wetland* construído se assemelha a de um decantador horizontal contínuo líquido-líquido devido ao fato da captação da água tratada se dar pela base com um acúmulo de óleo na lâmina d'água, separando as fases.

A partir da determinação da constante de redução de área livre concluiu-se que é necessário realizar a poda das macrófitas a cada 7 dias, visando manter a área 70% coberta pelas mudas. Além de controlar a densidade das macrófitas, a poda mantém o pH ótimo para o cultivo das mesmas, uma vez que o pH é influenciado pela disponibilidade de matéria orgânica na água do meio, devido a liberação de CO_2 decomposição das plantas e posterior formação de ácido carbônico, acidificando a água.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação e ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional de Petróleo para o Setor Petróleo e Gás (PRH-28) pelos suportes financeiros e bolsas.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, M.B.; PINTO, M.M.L. Pinto. *Fundamentos de Engenharia Hidráulica*. 2a. rev. Belo Horizonte: UFMG/Escola de Engenharia, 2003. 437 p.

BUENO, Rodrigo de Freitas. *Aplicação de Wetlands Construídos como Sistemas Descentralizados no Tratamento de Esgoto*. Disponível em: < <http://www.abes-sp.org.br/arquivos/evento210613/02.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2014.

FOGLER, H Scott. *Elementos de Engenharia das Reações Químicas*. 4. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

GALVÃO, Ana Fonseca. *Comportamento Hidráulico e Ambiental de Zonas Húmidas Construídas Para o Tratamento de Águas Residuais*. 2009. 310 p. - Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia do Ambiente. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

KAWAI, H.; GRIECO, V. M. Utilização do aguapé para tratamentos de esgoto doméstico. Estabelecimento de critérios de dimensionamento de lagoa de aguapé e abordagem de alguns problemas operacionais. *Revista DAE*, São Paulo. n. 135, p. 79-90, 1983.

PEDROSO, Geovani Aguiar. *Utilização do aguapé e da cal no tratamento da água residuária do café processado por via úmida*. 2010. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção de grau de tecnólogo em Cafeicultura. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul de Minas Gerais, Muzambinho, 2010.