

II-298 - UTILIZAÇÃO DE WETLANDS CONSTRUÍDAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZA

Marcia Viana L. Martins⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Faculdade de Engenharia de Itajubá. Mestre em Recursos Hídricos pela Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP (FEC/UNICAMP). Doutora em Aproveitamento Energético pela Faculdade de Engenharia da UNESP (FEG/UNESP). Professora da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Jonathan Haruki Hirayama⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Endereço⁽¹⁾: Av. BPS, 1303 - Pinheirinho - Itajubá - MG - CEP: 37500-903 - Brasil - Tel.: (35) 3629 1479 - e-mail: marciaviana@unifei.edu.br

RESUMO

O reúso de água cinza é uma alternativa de fonte de abastecimento de água que pode ser aplicada para atenuar os problemas de escassez hídrica. Este trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação do sistema reúso de água cinza para fins não potáveis utilizando *wetlands* construídas. Como estudo de caso foi dimensionado um sistema de reúso de águas cinza provenientes dos lavatórios e pias do Bloco M da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI para uso não potável nos vasos sanitários e mictórios. Verificou-se que o volume de água cinza gerado pelo uso da água nas pias e lavatórios é suficiente para suprir as demandas de água nas descargas de vasos sanitários e mictórios. Verificou-se também que o tratamento através de *wetlands* combinadas, WC-FH e WC-FV, é viável tecnicamente, pois fornece as eficiências necessárias para remoção de turbidez e coliformes fecais para atender os padrões de qualidade estabelecidos em norma para uso da água cinza em descargas de vasos sanitários e mictórios. O sistema de reúso proposto mostrou-se viável economicamente com período retorno do investimento de 18 meses.

PALAVRAS-CHAVE: *Wetlands* construídos, reúso, água cinza.

INTRODUÇÃO

O atual cenário de escassez hídrica evidencia a necessidade de buscar outras fontes de abastecimento e uma das alternativas que vem se destacando é o reúso de águas cinza para fins não potáveis. A água cinza constitui-se dos efluentes provenientes de equipamentos hidrossanitários, exceto o de descarga sanitária, e caracteriza-se pelo seu regime regular de fornecimento (PETERS, 2006). Entretanto, para expandir o reúso de águas cinza é necessário um tratamento adequado que minimize os riscos de contaminação e atenda as normas e diretrizes vigentes. Além disso, é importante que o tratamento seja simples e de baixo custo para a adoção generalizada do reúso de águas cinza (YU et al., 2016). As *wetlands* construídas são uma opção tratamento da água cinza que tem se destacado pelo baixo custo de implantação, operação e manutenção e pela eficiência de remoção de matéria orgânica, sólidos totais dissolvidos e microrganismos patogênicos à saúde humana (VYMAZAL, 2005; BEGOSSO, 2009).

OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação do sistema reúso de água cinza para fins não potáveis utilizando *wetlands* construídas. Como estudo de caso foi dimensionado um sistema de reúso de águas cinza provenientes dos lavatórios e pias do Bloco M da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI para uso não potável nos vasos sanitários e mictórios.

METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada uma análise quantitativa do sistema de reúso de água cinza com a finalidade de verificar se o volume de água cinza produzido (pias e lavatórios) atendia a demanda dos usos não potáveis (descarga sanitária e mictórios). Para isto foi quantificado o volume médio de água consumido e o volume

médio de água cinza gerado diariamente em cada dispositivo hidrossanitário do edifício em estudo. Para determinação dos volumes foram utilizados os valores estimados em estudo realizado por Franco (2015) para o mesmo edifício.

Para o tratamento dos efluentes cinza gerados optou-se por utilizar uma adaptação do sistema empregado por Begosso (2009) em experimento realizado pela autora para tratamento de águas residuárias de uma residência de 9 moradores. Para o edifício em estudo foi dimensionado sistema de tratamento da água cinza composto por uma *wetland* construída de fluxo horizontal- WC-FH, por um tanque de alimentação intermitente e por uma *wetland* construída de fluxo vertical- WC-FV.

Tal como Begosso (2009), o dimensionamento da área superficial da *WC-FH wetland* construída de fluxo subsuperficial horizontal, equação 1, foi determinado seguindo a cinética de primeira ordem.

$$A = \frac{Q \cdot (\ln C_o - \ln C_e)}{k_t \cdot p \cdot n} \quad \text{equação (1)}$$

Onde A é área superficial do sistema (m²), Q é a vazão de entrada das águas residuais (L), C_o é a Concentração de DBO_{5,20} (mg L⁻¹) na entrada do sistema; C_e é a Concentração de DBO_{5,20} (mg L⁻¹) na saída do sistema; k_t é constante de reação da cinética de primeira ordem; n é porosidade do substrato (m³ vazio por m³ de material); p é a profundidade do maciço filtrante (m). Para o valor da Demanda Bioquímica de Oxigênio a uma temperatura média de 20 °C durante 5 dias- DBO_{5,20} da água cinza será adotado o valor determinado por Bazzarela (2006). A constante k_t pode ser obtida para as temperaturas desejadas através de equações empíricas. Begosso (2009) propôs utilizar a equação modificada de van't Hoff-Arrhenius (Equação 2).

$$k_t = k_{20} \cdot 1,06^{T-20} \quad \text{equação (2)}$$

Onde T é a temperatura crítica (°C) (a média dos meses mais frios do local onde se pretende colocar o sistema). Adotou-se k₂₀ igual a 1,28.

Uma vez obtido o valor da área superficial (A) e com a profundidade do sistema de leitos cultivados (p) determina-se o volume (V) em m³ (Equação 3).

$$V = A \cdot p \quad \text{equação (3)}$$

Similarmente a Begosso (2009), a WC-FH será composta de 3 camadas de maciço filtrantes denominadas de zona de entrada, leito filtrante e zona de saída, com profundidade (p) de 0,6 metro. Tanto o comprimento da zona de entrada quanto o da zona de saída serão o equivalentes a 1/10 do comprimento total do sistema. O material utilizado como substrato para as camadas do substrato da zona de entrada como para camada da zona de saída serão compostos por brita nº0, enquanto o leito filtrante será preenchido por pedriscos (d₆₀=7,5mm; Cu=D₆₀/D₁₀=1,5; Ks= 3,6 x10⁻³ m s⁻¹; n= 44%). As espécies escolhidas para compor a vegetação são as *Heliconia psittacorum* L.F., *Cyperus isocladius* e *anna sp*, que foram selecionadas por seu valor ornamental paisagístico e a adaptabilidade ao clima.

O sistema de drenagem compõe-se em tubulações de entrada, de 50 mm de diâmetro, com furos de 1 cm de diâmetro na parte superior do tubo, alinhados e com espaçamento de 5 cm entre si. Esta tubulação será posicionada a 0,1 m de profundidade e sua extensão é levemente inferior ao da largura do sistema proposto. A configuração dos tubos de saída é basicamente a mesma, com a diferença que ela será posicionada no fundo do sistema e com os furos voltados para baixo. Deseja-se que o nível hidráulico se mantenha a aproximadamente 0,5 m, porém para que seja possível alterar o nível de acordo com as necessidades do sistema deve ser instalado um sifão flexível na saída do sistema. Por fim, ressalta-se que esta WC-FH deverá ser instalada em uma vala de formato retangular cavada no solo, e que deverá ser concretada para que não haja infiltrações do efluente no solo.

As dimensões da WC-FV serão proporcionais à dimensionada por Begosso (2009), sendo utilizado como fator de proporcionalidade a razão entre a vazão e área superficial, equação 4, e a razão entre o vazão e a área inferior da WC-FV, equação 5.

$$A_{\text{sup}} = Q_{\text{WFCV}} \cdot k_{p1} \quad \text{equação (4)}$$

$$A_{\text{inf}} = Q_{\text{WFCV}} \cdot k_{p2} \quad \text{equação (5)}$$

Onde A_{sup} é a área superficial (m^2), A_{inf} é a área inferior (m^2) e Q_{WFCV} é vazão da WC-FV ($\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$), a constante de proporcionalidade k_{p1} é igual a $3,3 (\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{dia}^{-1})$ e a constante de proporcionalidade k_{p2} é igual a $2,6 (\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{dia}^{-1})$.

A altura da WC-FV adotada será de 1 m para garantir a aeração necessária. A WC-FV também será enterrada no solo para que o sistema seja integrado ao campus, agregando assim um valor paisagístico. Esta unidade contará com 4 camadas distintas, sendo a camada superior de 5 cm de espessura e composta de pedrisco; a camada 2 composta de areia grossa ($D_{60} = 0,85 \text{ mm}$, $Cu = D_{60}/D_{10} = 2,43$; $Ks = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$; $n = 40\%$) e com 60 cm de espessura; a camada 3 composta de pedrisco com 10 cm de espessura; e camada inferior brita nº 0 e com 20 cm de espessura.

Para a WC-FV as espécies vegetais escolhidas serão as mesmas utilizadas por Begosso (2006), *Arundina bambusifolia* e *Alpinia purpurata*. O sistema hidráulico compõe-se em tubulações que serão dispostas de maneira perpendicular ao tubo de alimentação principal. Essa tubulação será de PVC com 25 mm de diâmetro, com furos de 6 mm de diâmetro, virados para baixo, alinhados e com espaçamento de 8,5 cm. O sistema de drenagem do efluente terá uma configuração similar, porém estará localizado no fundo e terá 25 mm de diâmetro, e os furos terão espaçamento de 4 cm entre si e serão voltados para cima.

O sistema de tratamento através de *wetlands* construídas proposto será considerado eficiente se o efluente final atender os requisitos de qualidade da Classe 2 da norma NBR 13.969 (ABNT, 1997), que compreende as águas de reúso para lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes. Para esta classe a turbidez deve ser inferior a 5 UT, coliforme fecal inferior a 500 NMP/100 ml e cloro residual superior a 0,5 mg/L. Ressalta-se que, esta norma não trata especificamente sobre reúso de água, entretanto, ela foi escolhida visto que, no Brasil não há normas ou legislação federal específica sobre o reúso de água (MAY, 2009).

Os parâmetros qualitativos iniciais da água cinza, turbidez e os coliformes termotolerantes, serão obtidas do estudo realizado por Bazzarella (2005). Os parâmetros do efluente final serão obtidos a partir dos parâmetros iniciais aplicados a eficiência de remoção das WC-FH e WC-FV determinadas por Begosso (2009).

Por ultimo será realizada a análise de viabilidade econômica da implantação do sistema de reúso proposto. Serão utilizados os métodos do Valor Presente Líquido – VPL e o *Payback*. O método do VPL (Equação 5) consiste no cálculo da soma do investimento inicial com os valores atualizados de fluxo de caixa ao longo do tempo para uma dada taxa de desconto.

$$VPL = -I_o + \sum \frac{FC}{(1+tx)^{na}} \quad \text{equação (5)}$$

Onde I_o é o investimento, FC é o fluxo de caixa, tx a taxa de juros e na a vida útil dos equipamentos. Quanto maior o VPL, mais atrativo do ponto de vista econômico é o projeto. Por outro lado, valores negativos de VPL indicam que o projeto não é rentável, portanto, não deve ser implantado.

O *payback* é outra forma de avaliar economicamente um projeto. Trata-se do tempo de recuperação do capital investido e pode ser calculado através da equação 6.

$$PB = \frac{I_o}{\sum FC_{\text{anual}}} \quad \text{equação (6)}$$

RESULTADOS

O edifício em estudo consta de 2 pavimentos e abriga salas de aula, laboratórios, salas de professores e a diretoria do Instituto de Recursos Naturais da UNIFEI. Os ambientes que utilizam água e geram efluentes são os banheiros, a copa/cozinha e os laboratórios. O edifício foi executado com dois sistemas distintos para o fornecimento de água, um sistema de distribuição de água potável (bebedouros, lavatórios e pias) e um sistema de água não potável (descarga de vasos sanitários e de mictórios). O edifício possui duas redes distintas de coleta de efluentes, uma rede de coleta de águas negra e amarelas e uma rede coleta de águas cinza. Ressalta-se que, atualmente todo edifício é abastecido somente com água potável proveniente da concessionária e todo esgoto é encaminhado à rede pública de coleta de esgoto, visto que ainda não foi implementado o sistema de tratamento de água de cinza.

O consumo diário de água em cada dispositivo sanitário e o volume diário de água cinza gerada foram obtidos de Franco (2015). O consumo total diário de água não potável é de 1382 L, vasos sanitários e mictórios, e representa 39% do total consumido diariamente. O consumo total de água potável é de 2147 L e são geradas 1565 L de água cinza, considerando a perda de água de 17%. Portanto, verifica-se que o volume de água cinza será suficiente para suprir as demandas de água nas descargas de vasos sanitários e mictórios.

O sistema de tratamento da água de reúso proposto será composto por uma *wetland* construída de fluxo horizontal e uma *wetland* construída de fluxo vertical, estas duas *wetlands* são intermediadas por um reservatório, de 1000 litros, que receberá o efluente tratado da CW-FH e alimentará a CW-FV.

Será adotado um coeficiente de segurança de 1,20 na vazão de projeto das *wetlands* construídas. Logo, o sistema de tratamento será dimensionado para comportar vazões de até $1,88 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ de água cinza. A área superficial da WC-FH para atender esta vazão resultou em $7,57 \text{ m}^2$, equação 1. Adotou-se porosidade n igual a 44% do substrato do leito filtrante do sistema. A $\text{DBO}_{5,20}$ de entrada (água cinza) foi considerada igual a 571 [mg/L], adotado de Bazzarela (2005). Para o cálculo da $\text{DBO}_{5,20}$ de saída foi considerada uma eficiência de remoção 67% na remoção de $\text{DBO}_{5,20}$, similar a de Begosso (2009). Para o cálculo da constante k_i , equação 2, considerou-se a temperatura crítica igual a $16,5^\circ\text{C}$.

O volume (Equação 3) foi obtido considerando uma profundidade de 60 cm. Foi considerado o comprimento 2 vezes maior que a largura do sistema, o que resulta num maior tempo de detenção hidráulica. As dimensões da WC-FH total e das 3 camadas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Dimensões da *wetland* construída de fluxo horizontal e de suas camadas.

	VOLUME [M ³]	ÁREA [M ²]	LARGURA [M]	COMPRIMENTO [M]	PROFUNDIDADE [M]
Total	4,54	7,57	1,95	3,89	0,6
Camada 1	0,46	0,76	1,95	0,39	0,6
Camada 2	3,64	6,07	1,95	3,11	0,6
Camada 3	0,46	0,76	1,95	0,39	0,6

Fonte: Elaborado pelo autor

O resultado do dimensionamento do sistema de WC-FV vertical está apresentado na Tabela 2. As dimensões da área superficial e inferior foram obtidas das equações 4 e 5, respectivamente.

Tabela 2 - Dimensões da *wetland* construída de fluxo vertical total e de suas camadas.

	VOLUME [M ³]	ÁREA SUPERFICIAL [M ²]	ÁREA INFERIOR [M ²]	DIAMETRO SUPERFICIAL [M]	DIAMETRO INFERIOR [M]	ALTURA [M]
CW-FV	5,26	6,21	4,89	2,81	2,50	0,95
Camada 1	0,31	6,21	6,06	2,81	2,78	0,05
Camada 2	3,41	6,06	5,27	2,78	2,59	0,60
Camada 3	0,54	5,27	5,14	2,61	2,56	0,10
Camada 4	1,00	5,14	4,89	2,56	2,50	0,20

Fonte: Elaborado pelo autor

Para análise qualitativa do sistema de reúso de água cinza assumiu-se os valores de turbidez e de coliformes fecais da água cinza similares aos obtidos Bazzarella (2005), sendo turbidez igual a 166 UNT e Coliforme fecal igual a $3,25 \times 10^4$ NMP/100 ml. A estes valores aplicou-se eficiências de remoção das WC-FH e WC-FV obtidas por Begosso (2009). Os resultados do efluente após tratamento estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Eficiência das etapas individuais do sistema e eficiência global.

PARÂMETRO	ÁGUA CINZA (1)	REMOÇÃO CW-FH (%) (2)	REMOÇÃO CW-FV (%) (2)	REMOÇÃO GLOBAL (%) (2)	EFLUENTE FINAL	CLASSE 2 NBR 13.696 (1997)
Turbidez (UNT)	166	69	87	98	3,32	< 5
CT (NMP/100ml)	$3,25 \times 10^4$	90	90	99	325	< 500

(1) Valores adotados de Bazzarella (2005) e (2) valores adotados de Begosso (2009). Fonte: Elaborado pelo autor.

Verifica-se que os resultados teóricos atendem os requisitos de qualidade exigidos na Classe 2 de reúso da norma NBR 13.969 (ABNT, 2007) para utilização do efluente tratado nas descarga de vasos sanitários e mictórios, conforme proposto. Ressalta-se ainda que, é necessário realizar a cloração.

Para a análise de viabilidade econômica foram estimados os custos de implantação e os custos de operação e manutenção do sistema de reúso. Os custos dos materiais (brita, pedrisco, areia, concreto, caixa de água, tubulações e plantas) e equipamentos (bombas) utilizados nos sistemas resultaram em R\$3.090,52. O custo da mão de obra foi estimado em R\$800,00. O custo de implantação total do investimento estimado foi em R\$3.890,52.

O custo de operação do sistema é devido a energia gasta por 2 bombas instaladas no sistema (Bomba d'Água Elétrica Periférica 1/2 HP, 1" - QB60 – Tander). Considerando que as bombas ficarão ligadas 1 hora por dia, que o custo da tarifa de energia elétrica da CEMIG é de R\$0,84/kWh e que o mês tem 20 dias úteis, o custo total de energia mensal será de R\$33,60.

Para a manutenção do sistema estimou-se que serão trocados os substratos das camadas de entrada dos efluentes de ambas *wetlands* construídas anualmente, para evitar a colmatação do sistema gerando assim um custo de manutenção anual de R\$213,00, já com o valor para pagamento de funcionário embutido.

A receita gerada pelo sistema será o valor economizado com as tarifas cobradas pelos serviços de saneamento público, água e esgoto. Como a implantação do sistema de reúso consegue suprir as demandas de descarga de vasos sanitários e mictórios, e será obtida uma economia mensal de 28167,6 litros de água. Considerando que a tarifa por m³ cobrada pela COPASA, para abastecimento de água e tratamento de esgoto em instituições públicas são R\$9,42 e R\$8,48, respectivamente, a receita mensal é de R\$504,20 mensais.

Para o cálculo da viabilidade econômica do investimento utilizou-se o método do valor presente líquido (VPL), para um período de 2 anos, considerando como taxa de juros o valor acumulado de 12 meses do IPCA para setembro de 2016, ou 8,47%. O período de retorno do investimento (*payback*) é de 18 meses. Após este período o projeto irá gerar uma receita líquida de R\$765,53, mostrando-se que o investimento é viável economicamente.

CONCLUSÕES

Este estudo analisou técnica e economicamente a implantação teórica de um sistema de tratamento de águas cinza utilizando *wetlands* construídas para reúso da água provenientes dos lavatórios e pias de um edifício para uso não potável nos vasos sanitários e mictórios. Verificou-se que o volume de água cinza gerado pelo uso da água nas pias e lavatórios é suficiente para suprir as demandas de água nas descargas de vasos sanitários e mictórios. Verificou-se também que o tratamento através de *wetlands* combinadas, WC-FH e WC-FV, é viável tecnicamente, pois fornece as eficiências necessárias para remoção de turbidez e coliformes fecais para atender os padrões de qualidade estabelecidos em norma para uso da água cinza em descargas de vasos sanitários e

mictórios. Verificou-se que o investimento tem um retorno econômico em 18 meses. Assim, conclui-se que o sistema de reúso proposto é viável técnica e economicamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.969: Tanques Sépticos: Unidades de Tratamento Complementar e disposição final dos efluentes líquidos: Projetos, construção e operação. Rio de Janeiro: [s.n.], 1997.
2. BAZZARELLA, B. B. Caracterização e aproveitamento de água cinza para reúso não potável. Vitória, 2005. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.
3. BEGOSSO, L. Determinação de parâmetros de projeto e critérios de dimensionamento e configuração de *wetlands* construídas para tratamento de água cinza. Campo Grande, 2009. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2009.
4. FRANCO, J. M. Estudo de aproveitamento de água cinza do bloco novo do IRN, utilizando filtro de areia. Itajubá 2015. Monografia de graduação - Universidade Federal de Itajubá, 2015.
5. MAY, S. Caracterização, tratamento e reúso de águas cinza e aproveitamento de águas pluviais em edificações. São Paulo, 2009. Tese de doutorado - Universidade de São Paulo, 2009.
6. PETERS M. R. Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial. Florianópolis, 2006. Dissertação de mestrado - Centro Tecnológico-Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental Universidade Federal de Santa Catarina.
7. VYMAZAL, J. *Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. Ecological Engineering*, 25, n. 5, Dez 2005. 478-490. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857405001588>>. Acesso em: 5 maio 2016.
8. YU, Z. L.T., et al. *Performance and Economic Evaluation of a Semibatch Vertical-Flow Wetland for Onsite Residential Bathroom Graywater Treatment. JOURNAL AWWA 2016. American Water Works Association JULY 2016* | <http://dx.doi.org/10.5942/jawwa.2016.108.0079>.