

**II-081 - WETLANDS CONSTRUÍDOS COMO ALTERNATIVA DE
REMEDIÇÃO MAIS LIMPA PARA ÁGUAS RESIDUÁRIAS: ESTUDOS DE
ANÁLISE DE CICLO DE VIDA**

Matheus Wink

Acadêmico do Curso de Química Licenciatura – Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC.

Elizandro Oliveira Silveira

Biólogo, Mestrando em Tecnologia Ambiental – Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC

Filipe Vargas Zerwes

Engenheiro Amb., Mestrando em Tecnologia Ambiental – Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC

Lourdes Teresinha Kist

Química, Doutora em Química Inorgânica – Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC

Ênio Leandro Machado⁽¹⁾

Químico Industrial, Doutor em Engenharia – Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC

Endereço⁽¹⁾: Universidade de Santa Cruz do Sul, Mestrado em Tecnologia Ambiental, Avenida Independência, 2293. Bairro Universitário. Santa Cruz do Sul - RS - CEP: 96815-900 - Brasil - Tel: (51) 3717-7545 - e-mail: enio@unisc.br

RESUMO

Os estudos de Análise de Ciclo de Vida (ACV) foram feitos para o tratamento de efluentes em propriedade rural localizada no Vale do Rio Pardo, Rio Grande do Sul. Esta região é caracterizada pelo cultivo intensivo de fumo em pequenas propriedades rurais. Em uma destas propriedades, com cinco habitantes foi construída unidade integrada de tratamento de efluentes visando potencializar o reuso das águas residuárias. Esta unidade foi constituída dos processos *UASB/Biofiltro Anaeróbio/Wetlands Construídos de Fluxo Subsuperficial/UV*. Para os parâmetros de carga poluente DQO, DBO₅, NTK, fósforo total as reduções da ação poluente foram superiores a 90% com tempo de detenção hidráulico nos *wetlands* de 10,2 dias. Os efluentes tratados potencializam reuso como classe 3 da norma 13969/97, podendo ser classe 2 com a cloração. Quanto a ACV, a principal contribuição de danos ambientais do sistema *Captação do Efluente Bruto/UASB/BF/WCFHSS/UV* vem da fase de construção, com 34 Pt para a saúde humana e 35,4 Pt para os recursos necessários para a construção. Materiais sustentáveis para construção, recuperação de energia do gás metano nos compartimentos anaeróbios devem ser melhorias pesquisadas para o sistema com os *wetlands*.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Ciclo de Vida, *Wetlands* Construídos, Saneamento Rural.

INTRODUÇÃO

Várias tendências na implantação de processos sustentáveis abordam a possibilidade de recuperação de materiais, energia e nutrientes. Este potencial para recuperar os recursos é importante em saneamento sustentável e particularmente no tratamento de águas residuais. Estudos que identificam tecnologias de tratamento que combinam baixos custos, alta eficiência e um índice de pressão ambiental menor são de grande valor. Para as áreas rurais, sistemas de tratamento integrado constituído de reatores anaeróbios e *Wetlands* Construídos (WCs) podem atingir estas características.

Para avaliar a eficácia, aplicabilidade e sustentabilidade ambiental dos sistemas integrados, em termos de análise de ciclo de vida (ACV), foi construído em propriedade rural localizada na cidade de Vera Cruz, RS, sistema de tratamento com reator anaeróbio de manta de lodo (UASB), filtro anaeróbio de fluxo ascendente (BF), quatro *wetlands* construídos com fluxo horizontal subsuperficial (WCFHSS) e dois fotorreatores para desinfetar a água para reúso. Com base no monitoramento analítico o sistema mostrou elevada eficiência com reduções de Demanda Química de Oxigênio (DQO), que foram entre 93% e 97%, enquanto que a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) apresentou valores entre 97-98%. Além disso, 97% de NTK, com 100% de N-NH₃, e mais do que 78% do fósforo total foram removidos a partir do efluente bruto.

Os limites do sistema, incluindo as fases de construção e operação, foram avaliados por ACV usando o *software* SimaPro 7.3.3 com o método de avaliação que incluiu a etapa de Caracterização. Os resultados indicaram que a *construção* do UASB / BF / WCFHSS / UV tem impacto maior do que a *operação* do sistema em termos de *mudanças climáticas* e *toxicidade humana*, especialmente os processos anaeróbios e a fotoirradiação utilizando lâmpadas germicidas.

Considerando-se a *operação* do sistema de tratamento, os processos anaeróbios tiveram a maior contribuição para os efeitos ecotoxicológicos e de eutrofização. Simplificações da etapa anaeróbia, da desinfecção de águas residuais e de dispositivos que permitam a recuperação de energia a partir de biometanização devem ser considerados para melhorar ainda mais o sistema de remediação.

METODOLOGIA

O reator anaeróbico (UASB) e biofiltro (BF) usados neste estudo foram feitos de fibra de vidro e tinham volumes de 400 e de 210 L, respectivamente. O reator BF foi preenchido com cascalho (diâmetro de 64-100 mm). O gás gerado no processo anaeróbio foi drenado por meio de um tubo de PVC de 24 mm de altura de dissipação de 6 m. Os WCs foram organizados para ter fluxo horizontal subsuperfície. Quatro unidades de zonas húmidas sequenciais foram construídos sobre o solo utilizando uma membrana de vedação de PEAD com 1,6 mm de espessura. O meio de suporte de filtro foi composto por uma camada de 30 cm de cascalho (64-100 mm) e sobreposto por uma camada de 30 cm de cascalho (20-40 mm). O sistema hidráulico usado na distribuição e coleta consistiu em tubos de PVC perfurados e flanges com um diâmetro de 40 mm.

A *Hymenachne grumosa* (Nees) Zu foi escolhida como a macrófita por causa de suas características desejáveis para tratamento de água baseados em zonas húmidas, como relatado por Silveira (2010). A dimensão da zona húmida foi baseada na carga orgânica dos efluentes, indicando um intervalo de área de 3 a 5 m² por pessoa (VYMAZAL, 2005). O estudo realizado por Sousa et al. (2004) foi consultado na elaboração do sistema atual, pois a carga aplicada de DQO nesse estudo variou de 5,01-9,45 g DQO m⁻² dia⁻¹. Para os ensaios de desinfecção, dois fotorreatores de PVC com diâmetro de 100 mm foram construídos e ligados em série. Estes reatores foram equipados com lâmpadas de 30 W (254 nm), sendo que foram dispostas concentricamente em reatores tubulares.

Um resumo das principais características dos WCs estudados é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Dados dos parâmetros de construção para os WCs

Parâmetros	Valores
Altura total do suporte	1,00 m
Altura da camada líquida	0,60 m
Comprimento	5,00 m
Largura	1,00 m
Porosidade total do meio filtrante	0,5083%
Volume total do leito	12,00 m ³
Volume útil do leito	1,525 m ³
Volume efetivo de trabalho	6,10 m ³
Área superficial total	20,00 m ²
Área superficial de cada unidade	5,00 m ²
Vazão Afluente	0,60 m ³ dia ⁻¹
Tempo de Detenção Hidráulico	10,17 dias

Para monitorar o sistema, foram avaliados os seguintes parâmetros, em termos de concentração, para cada ponto de amostragem: demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), fósforo, pH e coliformes totais (APHA / AWWA / WPCF, 2012).

Os dados para ACV foram associados com a unidade de *Ecoinvent SimaPro 7.3.3* e com os chamados *midpoint* e *endpoint*. Os dados para o ACV foram diferenciados para identificar os efeitos relevantes relacionados com a construção do sistema ou o desempenho dos processos WCs. O cálculo de referência foi considerado com 1 m³ de águas residuárias tratadas. As Tabelas 2 e 3 apresentam os dados para o inventário ACV.

Tabela 2: Inventário compartimentado para o sistema UASB / BF / SACFSS / UV

Compartimento	Material	Quantidade (kg)
<i>Recolhimento do Efluente</i>	Tubo (PVC)	0,6
	PEAD (caixa separadora de gordura)	0,8
<i>UASB/BF</i>	UASB e BF- reatores (Fiberglass)	80
	Tubo (PVC)	1,5
	Conexão (PE)	0,4
	Geomembrana (PEAD)	12
<i>WCFHSS 1-4</i>	Tubo (PVC)	0,4
	Conexão (PE)	0,1
	Britas (números 1 e 4)	3000
	Bomba (70 W)	3
<i>Unidade UV ($\lambda = 254 \text{ nm}$, 30 W)</i>	Cabo elétrico	5
	Lâmpadas de vapor de mercúrio (30 W)	0,15
	Célula fotovoltaica (4 m ²)	4

Tabela 3: Inventário compartimentado de análises dos efluentes para o sistema UASB / BF / WCFHSS / UV.

Pontos de Amostragem (Figura 1) → Parâmetro ↓	Efluente Bruto	UASB/BF	WCFHSS 1-2	WCFHSS 3-4	UV ($\lambda = 254 \text{ nm}$)**	Resolução CONSEMA/RS* 128/06 $Q \leq 20 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$
DQO (mg L ⁻¹ O ₂)	1074.47	356.9	94.47	15.68	9.60	≤ 330
DBO₅ (mg L ⁻¹ O ₂)	903.68	262.53	95.17	4.68	4.23	≤ 120
P total (mg L ⁻¹)	16.64	5.87	4.24	1.87	1.27	$\leq 4^{***}$
NTK (mg L ⁻¹)	232.86	47.70	19.67	1.12	1.04	≤ 20
Coliformes totais (MPN/100 mL)	1.2×10^6	8.2×10^6	2.2×10^5	1.0×10^2	<18	$\leq 10^5$

* = CONSEMA Conselho Estadual de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul, Brasil. ** Este é o efluente final tratado para descarregar. *** Valor Limite para $Q \leq 100 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$

Os parâmetros gerais listados na Tabela 2 foram utilizados como referência de pessoas equivalentes (PE): a carga orgânica biodegradável de 60g de oxigênio por dia expresso em uma demanda bioquímica de oxigênio de cinco dias, DBO₅.d⁻¹ (Directiva Europeia de 1991).

O período funcional para a unidade **UASB / BF / WCFHSS / UV** foi calculado com base em estudos anteriores (Lopsik et al., 2013).

RESULTADOS OBTIDOS

ACV do sistema UASB / BF / WCFHSS / UV

As avaliações aqui apresentadas foram selecionadas para a etapa *endpoint*, relacionando o método de *Caracterização*. As avaliações de efeitos ambientais do sistema de tratamento de estudo, foram investigadas

por adição dos efeitos relevantes associadas com a *construção* das subunidades, como pode ser observado na Figura 1.

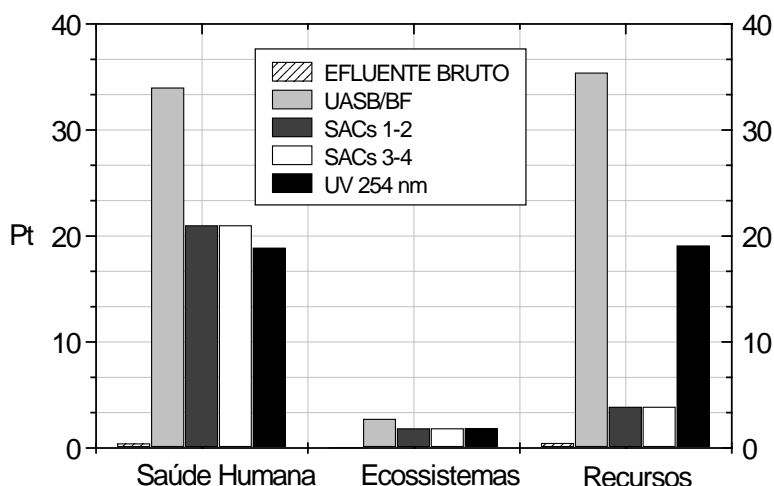


Figura 1: Comparações com os grupos de efeitos associados a cada etapa do processo de tratamento de efluentes somente para a construção do sistema (Captação do Efluente Bruto/UASB/BF/ WCFHSS/UV - Recipe endpoint V1.06).

Os efeitos ambientais associados com a construção do sistema dão conta que a etapa UASB / BF e UV respondam por mais de 80% dos efeitos totais de impactos ambientais do sistema, principalmente por causa do material de fibra de vidro do produto comercial comprado. A construção de um sistema simplificado com um tanque séptico pode mitigar este efeito e recuperar energia (incluindo biometanização), além de recuperar enxofre como S_8 a partir das emissões de H_2S , (SZARBLEWSKI et al., 2012).

Aspectos relacionados à destruição da camada de ozônio, a radiação ionizante, e consumo de metal são negativamente associados com os efeitos da unidade UV (254 nm). A biomassa gerada nos WCs pode ser usada como alimento para animais ou fertilizantes. Em relação à recuperação de nutrientes, Masi (2009) relata o potencial de acúmulo de 0,1-0,45 t / ha de nitrogênio e 0,01-0,07 t / ha de fósforo na cultura da cana. Com a *H. grumosa*, foi possível recuperar 0,19 t / ha para o nitrogênio e 0,14 t / ha para o fósforo.

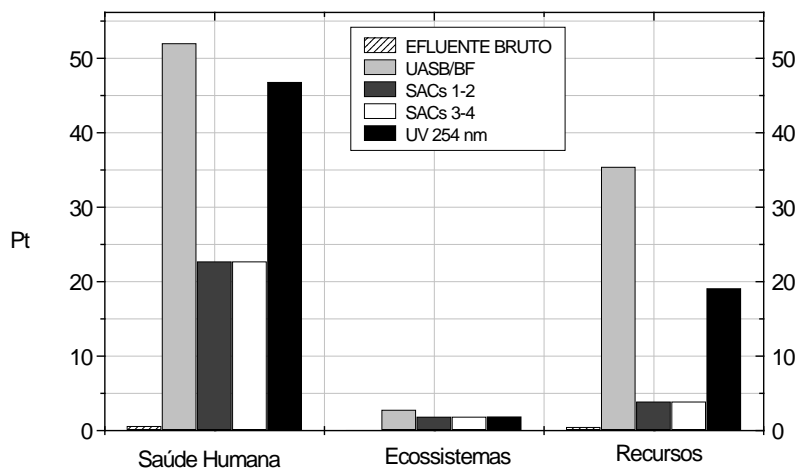


Figura 2: ACV para as etapas de construção e operação da unidade Captação do Efluente Bruto/UASB/BF/WCFHSS/UV - Recipe endpoint V1.06.

Configurando o projeto para recuperar energia a partir de metano gerado nos processos anaeróbios se reduz significativamente os efeitos do sistema sobre a saúde humana. A construção de unidades anaeróbias com resíduos recicláveis vai reduzir também os efeitos associados em recursos para *construção* da unidade **UASB / BF / WCFHSS / UV**.

Um benefício adicional deste processo é a possibilidade de estabelecer um sistema que reutiliza a água residuária tratada, associando as perdas de água apenas com a evapotranspiração.

A ETE estudada apresenta várias potencialidades de ações sustentáveis: a reutilização de efluentes tratados, a recuperação de energia a partir de metano a partir de etapas anaeróbias - UASB e BF, usar nutrientes do material vegetal dos CWs e o potencial tratamento de biossólidos dos sistemas sépticos (Philippi et al., 2013). No entanto, sem a avaliação ACV, não seria possível determinar os tipos de impacto associados com a construção de tais sistemas, tais como o efeito de estufa e ecotoxicidade. Assim, além de repensar a forma de simplificar o sistema, há necessidade de investigar mais amplamente a ecotoxicidade do efluente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A principal contribuição de danos ambientais do sistema *Captção do Efluente Bruto/UASB/BF/CWFSS/UV* vem da fase de construção, com 34 Pt para a saúde humana, e 35,4 Pt para os recursos necessários para a construção. Para os ecossistemas, nos passos de *construção* e de *operação*, a ACV mostrou 2,76 Pt, especialmente no tratamento UASB / BF.

Os aspectos do CC, FE e ME apresentaram-se mais significativos para a etapa de ponto médio. Já na fase terminal, o CC, FE e CCE² foram os parâmetros mais críticos. A unidade **UASB / BF / SACFSS / UV** reduziu efetivamente os índices de eutrofização e a extensão da depleção de oxigênio dissolvido, além de estabelecer um processo de reutilização de águas residuais tratadas.

Aplicando a ACV foram identificadas modificações que podem ser adotadas para aumentar a sustentabilidade de uma estação de tratamento de águas residuais rural. O uso de células fotovoltaicas de terceira geração também pode minimizar os efeitos significativos da unidade UV 254 nm, mantendo a água com níveis de coliformes termotolerantes inferiores a 18 NMP, que foram observados neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao CNPq com o financiamento para o projeto número 481620/2013-3.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA/AWWA/WPCF, 2012, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1,496 p. Directive, European Council. COUNCIL DIRECTIVE of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment (91/271/EEC) (OJ L 135, 30.5.1991, p. 40) 2013. Available from <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1991L0271:20081211:EN:PDF>
2. LOPSIK, K., T. U. Life cycle assessment of small-scale constructed wetland and extended aeration activated sludge wastewater treatment system: International Journal of Environmental Science and Technology, v. 10, p. 1295-1308, 2013.
3. MASI, F. "Water reuse and resources recovery: the role of constructed wetlands in the Ecosan approach." Desalination no. 246 (1-3):27-34, 2009
4. SILVEIRA, D. S., 2010, Estudos fenológicos da macrófita *hymenachne grumosa* na aplicação de sistemas alagados construídos (sac's) para o tratamento de efluentes secundários de campus universitário, University of Santa Cruz do Sul (UNISC), Santa Cruz do Sul, Brazil.
5. SZARBLEWSKI, M. S., SCHNEIDER, R. C. S. e MACHADO E. L. Métodos para a Remoção de Sulfeto de Hidrogênio de Efluentes Gasosos Aplicáveis a Reatores Anaeróbios: Revista Jovem pesquisador, v. 1, p. 64-74, 2012.

6. VYMAZAL, J. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment: Ecological Engineering, v. 25, p. 478-490, 2005.
7. PHILIPPI, L. S., MAGRI, M. E., SUNTTI, C., FOGOLARI, O. and ZAGUINI, J. G. Alternativas de gerenciamento seguro de lodos de esgoto sob a ótica do saneamento descentralizado: Caderno de pesquisa em engenharia de saúde pública), v. 7^o, p. 244 p.,2013.

² CC – Mudanças climáticas; FE – Ecotoxicidade aquática; ME – Ecotoxicidade marinha; CCE – Mudanças climáticas nos ecossistemas.