

VI-047 - ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES URBANOS UTILIZANDO MICROALGAS E WETLANDS CONSTRUÍDOS

Naira Dell Osbel⁽¹⁾

Engenheira Ambiental – UNISC-RS.

Elizandro Oliveira Silveira⁽²⁾

Biólogo, Mestre em Tecnologia Ambiental – PPGTA-UNISC-RS

Júlia Fernanda Radtke⁽³⁾

Acadêmica do Curso de Química Industrial – Pesquisadora do Grupo de Ciência e Tecnologia Ambiental GCTA - UNISC/RS.

Carlos Alexandre Lutterbeck⁽⁴⁾

Doutor em Ciências Ambientais – Lüneburg/Alemanha. PPGTA-UNISC-RS

Ênio Leandro Machado⁽⁵⁾

Doutor em Engenharia – UFRGS. Professor do PPGTA-UNISC-RS

Endereço⁽⁵⁾: Avenida Independência, 2293. Bairro Universitário. Santa Cruz do Sul - RS - CEP: 96815-900 - Brasil - Tel: (51) 3717-7545 - e-mail: enio@unisc.br

RESUMO

O uso do *software* SimaPro 8.04 com o método Impact 2002+ foi aplicado para análise do ciclo de vida (ACV) de sistemas combinados de *Wetlands* Construídos. No Cenário 1 foi considerado o sistema Microalgas (MA) + *Wetlands* Construído de Fluxo Vertical. Já no Cenário 2 foram considerados os sistemas UASB + *Wetlands* Construídos de Fluxos Vertical e Horizontal. A unidade funcional foi o volume de efluente tratado, considerando a extrapolação para um fluxo de referência de 20 anos (estimativa de 1200 m³ de efluente final tratado). Foi considerada a adoção do berço ao túmulo para a amplitude da ACV, sem inclusão das estratégias de transporte. Os dados foram de avaliação durante 2 anos para o sistema MA + WCFV e quatro meses para os sistemas RA + WCFV e RA +WCFH. Dentro desta Análise do Ciclo de Vida os fatos que mais chamaram a atenção foram o impacto causado ao meio ambiente na fase de construção (92,3%) relacionados a utilização de polietileno de alta densidade (32,8%) areia (27,2%) e polivinilclorado (18,8%). Já na fase de operação o maior impacto foi a utilização de energia elétrica no sistema Microalgas Pré-*Wetlands* devido a dependência de recursos não renováveis. Em termos de ponderação, o inventário de materiais apresenta 1,1 Pt associados aos Recursos não Renováveis e 0,92 Pt associados com a Saúde Humana. Já em termos de operação a Saúde Humana está associada com 150 mPt dos impactos, enquanto que mudanças climáticas apresentam 80 mPt.

PALAVRAS-CHAVE: *Wetlands* Construídos, Efluentes de Campus Universitário, Impact 2002+, Simapro 8.04, Microalgas.

INTRODUÇÃO

A falta de sistemas de tratamento de esgoto doméstico em pequenos municípios e na zona rural, aliado a atual expansão de condomínios residenciais, reforçam a necessidade de sistemas de tratamento de esgotos domésticos compactos e simplificados no Brasil (GUTIERREZ, 2014). Uma das alternativas é o uso de vegetação para remediação de águas servidas, sendo uma possibilidade na manutenção da qualidade dos recursos hídricos. Esta é uma forma sustentável de gerenciamento integrada dos mesmos e desperta grande interesse no mundo inteiro, surgindo como uma alternativa para o tratamento de efluentes (COSTA, 2004).

Conforme Philippi e Sezerino (2004) a utilização de *wetlands* com macrófitas aquáticas é uma alternativa para a falta de tratamento das águas residuais, que afeta principalmente as zonas rurais do Brasil, sendo que nessas áreas não existem problemas de falta de espaço, mas sim a necessidade de tecnologias simples, econômicas e que exigem pouca energia. A utilização desses sistemas é uma alternativa viável, natural, sustentável e eficaz.

A utilização de microalgas para tratamento de águas servidas também tem se mostrado uma solução sustentável, segundo Sousa (2014), a fixação do dióxido de carbono proveniente dos gases de combustão e a remoção dos nutrientes das águas residuais na produção de microalgas é uma alternativa muito promissora, econômica e ambientalmente, podendo ser utilizada inclusive para a fixação do CO₂ produzido por complexos industriais.

Neste contexto visualiza-se a necessidade de investimento em saneamento e tecnologias ambientais para a minimização dos impactos associados à construção e operação de unidades de tratamento. Para facilitar a escolha do método a ser empregado no tratamento de águas servidas podem-se utilizar ferramentas de análise na área ambiental, destacando-se a metodologia de Análise do Ciclo de Vida que busca identificar os impactos ambientais de um sistema através da contabilização de todos os fluxos de matéria e de energia.

Buscando identificar os impactos relacionados com a remediação por sistemas de Microalgas e *Wetlands* Construídos, foi aplicado neste estudo a ACV, estabelecendo comparativo com mesma unidade funcional e fluxo de referência para o tratamento dos efluentes do campus Central da UNISC. Neste estudo foi utilizado o programa SimaPro® 8.0.4, que permite calcular impactos associados ao processo, verificando possibilidades de prognósticos ambientais.

METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado na Unidade de Tratamento de Efluentes da UNISC, localizada no Bairro Independência, em área urbana do município de Santa Cruz do Sul. Neste estudo foi aplicada a Análise de Ciclo de Vida em 2 Cenários diferentes de tratamento de efluente doméstico, um em escala de bancada com *wetlands* construídos pós-microalgas e o outro em escala piloto com sistema de *wetlands* construídos em série. O estudo foi realizado de acordo com a ABNT NBR ISO 14044 (2009) e ABNT NBR ISO 14040 (2009) da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Para a realização do inventário foram utilizadas referências de trabalhos já realizados dentro da própria Universidade de Santa Cruz do Sul e de outras Universidades como da Universidade Federal da Bahia, utilizando como base o trabalho realizado por Lopes, 2014. Para o sistema em bancada utilizaram-se dados de materiais de construção da unidade de tratamento implementada por Silveira, 2015 e Horn, 2011, tanto da parte operacional quanto da construtiva. Já para o sistema em escala piloto, montado mais recentemente utilizaram-se dados operacionais e construtivos obtidos através de análises encaminhadas a Central Analítica da UNISC e dados fornecidos pela equipe do Grupo de Ciência e Tecnologia Ambiental da UNISC.

A análise do inventário também seguiu orientações da NBR ISO 14.042: 2000, que determina primeiramente que se faça a definição das categorias de impacto, a classificação e a Caracterização. O banco de dados utilizado foi o *Ecoinvent 3*, com o método *Impact 2002+* do Instituto Federal de Tecnologia Suíço (EPFL) e o *software* foi o Simapro 8.04. Os limites do escopo adotados neste trabalho podem ser observados na Figura 1.

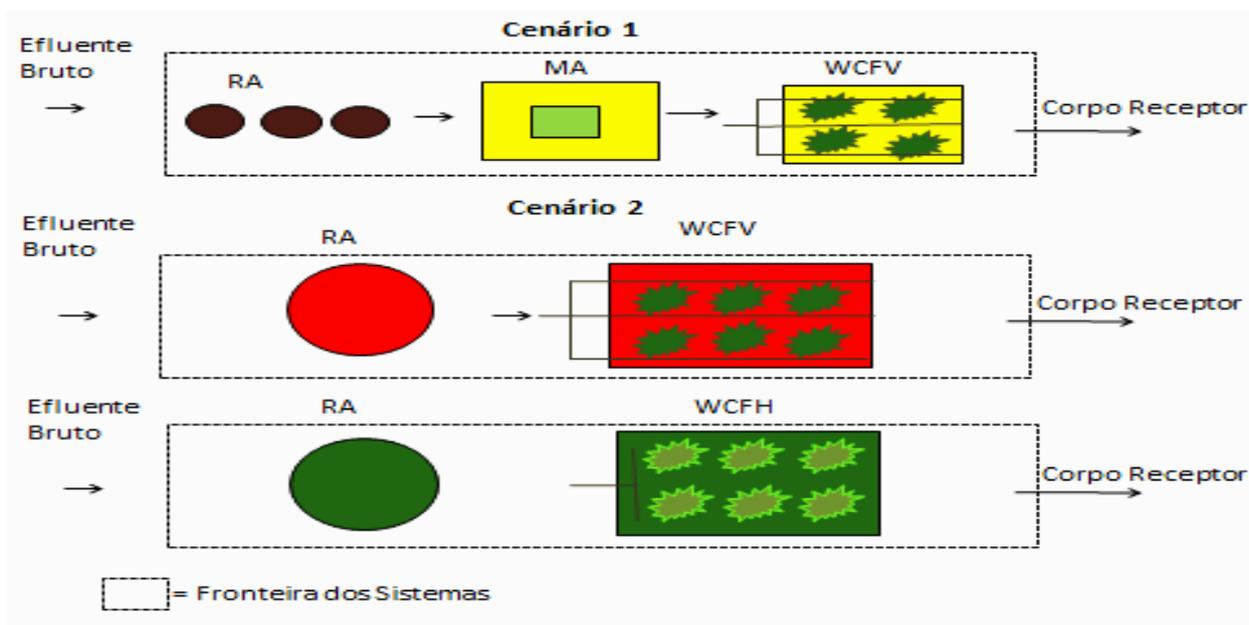


Figura 1: Limites do escopo para os sistemas dos Cenários 1 (MA = WCFV) e 2 (RA + WCFV e RA + WCFH) estudados. RA = Reatores Anaeróbios em Paralelo (volume útil de 180 L); MA = Reator de Microalgas do Tipo Cone com Recirculação, volume útil de 90 L; WCFV = Wetland Construído de Fluxo Vertical, com volume útil de 30 L; WCFH = Wetland construído de fluxo horizontal subsuperficial, com volume útil de 30 L. WCs com leitos de 50 cm, estratificados com britas números 2 e 3 (20 cm cada) e o restante com seixos de 10 de diâmetro médio.

A unidade funcional foi o volume de efluente tratado, considerando a extrapolação para um fluxo de referência de 20 anos (estimativa de 1200 m³ de efluente final tratado). Foi considerada a adoção do berço ao túmulo para a amplitude da ACV, sem inclusão das estratégias de transporte. Os dados foram de avaliação durante 2 anos para o sistema MA + WCFV e quatro meses para os sistemas RA + WCFV e WCFH.

A unidade da Figura 1 utilizou a macrófita *Hymenocleis grumosa*, com densidade de plantio com 9 mudas por m². Os parâmetros analíticos de DQO, DBO₅, N-NH₃, NTK, nitro e nitrito, P total, foram determinados em acordo com APHA/AWWA, 2005. Emissões atmosféricas de CH₄ e óxido nítrico foram também considerados de acordo com o *Intergovernmental Panel Climate Change - IPCC* (2013)

As Figuras 2 e 3 mostram os inventários de carga poluente dos afluentes e efluentes trabalhados.

| PARÂMETROS | EFLUENTE BRUTO |
|---|----------------|
| DQO (mg L ⁻¹ O ₂) | 684,8 |
| DBO ₅ (mg L ⁻¹ O ₂) | 500 |
| N-NH ₄ (mg L ⁻¹) | 64,26 |
| Fósforo Total (mg L ⁻¹) | 7,87 |
| Turbidez (UT) | 118,8 |
| Condutividade (µScm ⁻¹) | 1183 |
| pH | 7,7 |

| PARÂMETROS RA | QUANTIDADE SAÍDA | QUANTITATIVO TOTAL EM 20 ANOS |
|---|------------------|-------------------------------|
| DQO (kg.L ⁻¹ O ₂) | 0,0003402 | 408,24 kg |
| DBO ₅ (kg.L ⁻¹ O ₂) | 0,0003485 | 418,2 kg |
| N-NH ₄ (kg.L ⁻¹) | 0,0000871 | 104,5 kg |
| Fósforo Total (kg.L ⁻¹) | 0,0000065 | 7,8 kg |

| PARÂMETROS MA | QUANTIDADE SAÍDA | QUANTITATIVO TOTAL EM 20 ANOS |
|---|------------------|-------------------------------|
| DQO (kg.L ⁻¹ O ₂) | 0,0004148 | 497,8kg |
| DBO ₅ (kg.L ⁻¹ O ₂) | 0,00053 | 636 kg |
| N-NH ₄ (kg.L ⁻¹) | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Fósforo Total (kg.L ⁻¹) | 4,65E-08 | 5,58 kg |

| PARAMETROS WCFV Pós-Microalga | QUANTIDADE SAÍDA | QUANTITATIVO TOTAL EM 20 ANOS |
|---|------------------|-------------------------------|
| DQO (kg.L ⁻¹ O ₂) | 0,000497 | 596,4 kg |
| DBO ₅ (kg.L ⁻¹ O ₂) | 0,000394 | 472,8 kg |
| N-NH ₄ (kg.L ⁻¹) | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Fósforo Total (kg.L ⁻¹) | 5,20E-08 | 6,24 kg |

Figura 2: Inventário direto dos dados de carga poluente do afluente e dos efluentes trabalhados para a configuração do Cenário 1.

| PARÂMETRO | PÓS UASB | WC 1 - WCFV | WC 2 - WCFHSS |
|---|----------|-------------|---------------|
| DBO ₅ (mg.L ⁻¹ O ₂) | 83,61 | 37,5 | 34,9 |
| DQO (mg.L ⁻¹ O ₂) | 213,98 | 78,11 | 85,92 |
| Fósforo Total (mg.L ⁻¹) | 23,44 | 5,11 | 2,3 |
| Nitrato (mg.L ⁻¹) | 0,4 | 0,2 | 0,2 |
| Nitrito (mg.L ⁻¹) | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| NTK (mg.L ⁻¹) | 89,75 | 10,2 | 3,6 |

| PARÂMETROS | QUANTIDADE SAÍDA | QUANTITATIVO TOTAL EM 20 ANOS |
|---|------------------|-------------------------------|
| DBO ₅ (kg.L ⁻¹ O ₂) | 8,36E-02 | 100,32 kg |
| DQO (kg.L ⁻¹ O ₂) | 2,13E-04 | 255,6 kg |
| Fósforo Total (kg.L ⁻¹) | 2,34E-05 | 28,08 kg |
| Nitrato (kg.L ⁻¹) | 4,00E-03 | 4,8 kg |
| Nitrito (kg.L ⁻¹) | < LD | - |
| NTK (kg.L ⁻¹) | 8,97E-05 | 107,64 kg |

WC 1 - WCFV

| PARÂMETROS | QUANTIDADE SAÍDA | QUANTITATIVO TOTAL EM 20 ANOS |
|---|------------------|-------------------------------|
| DBO ₅ (kg.L ⁻¹ O ₂) | 5,14E-05 | 61,88 kg |
| DQO (kg.L ⁻¹ O ₂) | 0,00011626 | 139,5 kg |
| Fósforo Total (kg.L ⁻¹) | 9,05E-06 | 10,8 kg |
| Nitrato (kg.L ⁻¹) | 1,00E-07 | 0,12 kg |
| Nitrito (kg.L ⁻¹) | < 0,0000001 | < 0,0000001 |
| NTK (kg.L ⁻¹) | 1,26E-05 | 15,12 kg |

WC 2 - WCFHSS

| PARÂMETROS | QUANTIDADE SAÍDA | QUANTITATIVO TOTAL EM 20 ANOS |
|---|------------------|-------------------------------|
| DBO ₅ (kg.L ⁻¹ O ₂) | 7,01E-05 | 84,12 kg |
| DQO (kg.L ⁻¹ O ₂) | 0,00015501 | 186 kg |
| Fósforo Total (kg.L ⁻¹) | 8,38E-06 | 10,1 kg |
| Nitrato (kg.L ⁻¹) | 0,0000001 | 0,12 kg |
| Nitrito (kg.L ⁻¹) | < 0,0000001 | < 0,0000001 |
| NTK (kg.L ⁻¹) | 1,14E-05 | 13,7 kg |

Figura 3: Inventário direto dos dados de carga poluente do afluente e dos efluentes trabalhados para a configuração do Cenário 2.

RESULTADOS

Inventário de massa e energia dos sistemas estudados – Análise de Rede

A relação de contribuição dos materiais de construção e dos efluentes tratados para as unidades estudadas pode ser verificada na Figura 4, representando a chamada análise de rede, com ponto de corte de 0,2%.

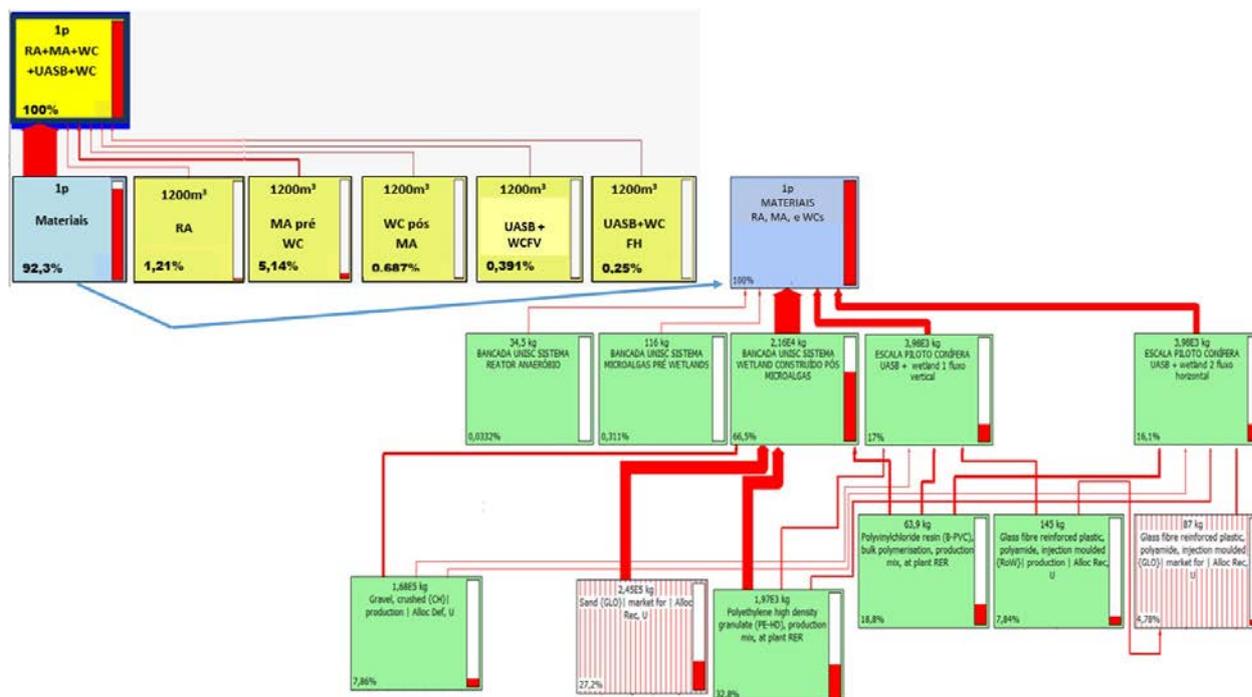


Figura 4: Análise de rede para os sistemas estudados usando Impact 2002+. Inventário de materiais do Ecoinvent 3 com ponto de corte de 0,2%.

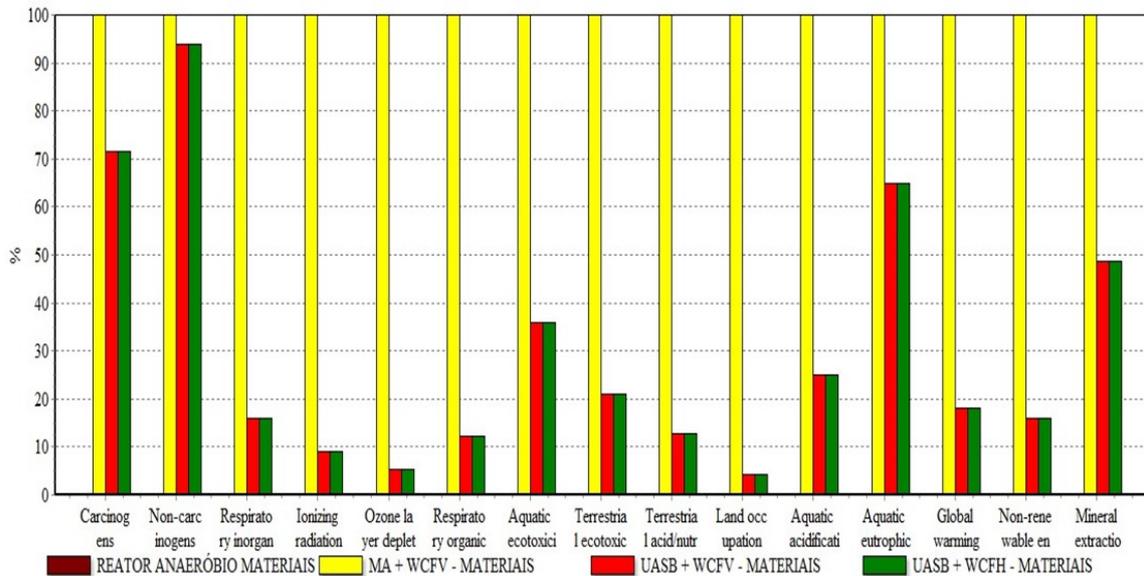
A partir da análise do Inventário de Rede dos sistemas em geral pode-se atribuir o principal fator impactante a utilização de materiais, contribuindo com mais de 90% em relação a operação dos sistemas. Atribui-se a isso o fato de que a utilização de alguns materiais na construção é mais impactante devido a suas origens que estão relacionadas a fontes não renováveis e a processos de extração e fabricação, que geram riscos aos ecossistemas, contaminação do solo, da água e do ar, utilização de energia e geração de compostos agressivos a saúde.

Já o processo não se mostra tão impactante em relação a construção devido ao fato de que nele não é utilizado nenhum tipo de componente químico, utilizando-se apenas do processo natural de depuração dos vegetais e dos microrganismos como forma de recuperação de nutrientes e da qualidade da água.

Os gases de efeito estufa (CH_4 e N_2O), principalmente para o Cenário 2 contabilizaram 52,03 kg para o WCFV e 43,09 kg para o sistema WCFHSS. Este aspecto está associado principalmente a quantidade adicional de PVC para distribuição dos efluentes e ao menor impacto dos efluentes tratados do sistema conforme análise de rede da Figura 4. Mander et al. (2014) considera este aspecto importante quanto as medidas para reduzir o efeito estufa em WCs, principalmente trabalhando com fluxos intermitentes e também com alternância com sistemas de fluxo livre para unidades integradas. O Cenário 1 mostra emissões de CH_4 em 274 kg nos 20 anos, bem como 3 kg de N_2O no mesmo tempo. A maior quantidade se deve aos materiais de construção, especialmente estruturas de aço 1020 para reforço de caixas de PEAD. Isto tem total possibilidade de eliminação em uma reconfiguração do sistema em uma escala dita real, especialmente para aplicação em propriedades rurais.

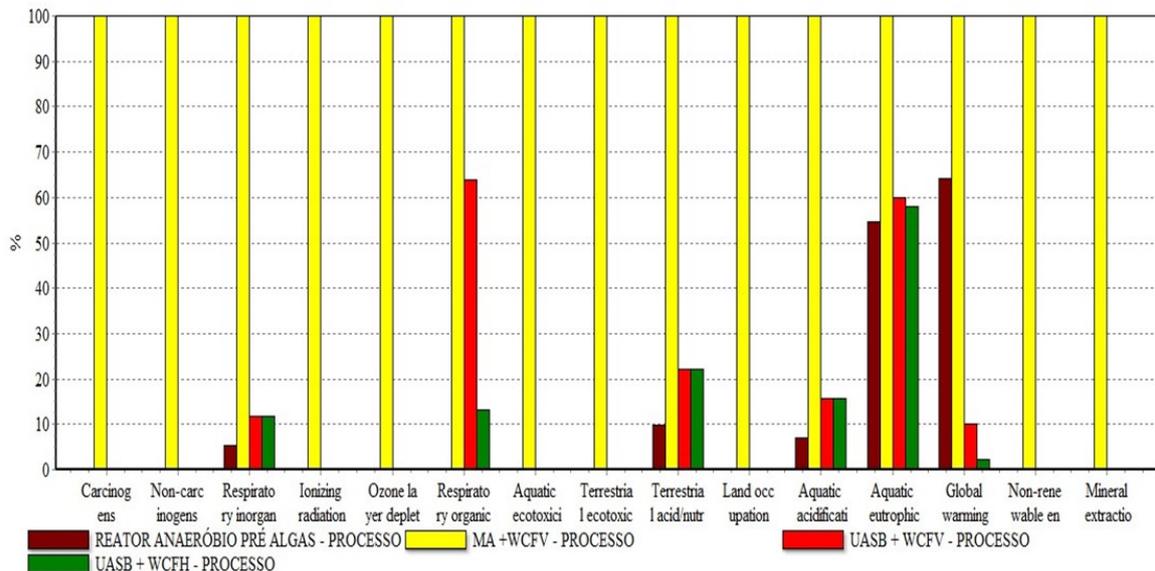
ACV comparativo dos sistemas dos Cenários 1 e 2

Foi considerada a avaliação da etapa de Caracterização dos sistemas, visto que esta é a principal referência de análise em acordo com as recomendações das NBRs 14040 e 14044 (2009). Os resultados são apresentados nas Figuras 5 e 6.



A comparar 1 p 'REATOR ANAERÓBIO MATERIAIS', 1 p 'MA + WCFV - MATERIAIS', 1 p 'UASB + WCFV - MATERIAIS' e 1 p 'UASB + WCFH - MATERIAIS'; Método: IMPACT 2002+ V2.12 / IMI

Figura 5: Análise de Caracterização para os processos dos Cenários 1 e 2 na etapa de avaliação de impactos dos materiais empregados na construção dos sistemas.



A comparar 1 p 'REATOR ANAERÓBIO PRÉ ALGAS - PROCESSO', 1 p 'MA+WCFV - PROCESSO', 1 p 'UASB + WCFV - PROCESSO' e 1 p 'UASB + WCFH - PROCESSO'; Método: IMPACT 2002

Figura 6: Análise de Caracterização para os processos dos Cenários 1 e 2 na etapa de avaliação de impactos da operação dos sistemas.

Na Caracterização da Figura 5, em relação ao uso de materiais, notou-se que o Sistema MA+WCFV é o mais impactante, sendo associado a isso a maior utilização de recursos, principalmente a areia, o PVC e o PEAD. Também está contabilizado nos materiais do inventário deste sistema a utilização de uma bomba para a recirculação dos efluentes no reator com microalgas o que também contribui significativamente. As categorias de impactos onde os sistemas mais aparecem são nos agentes Carcinogênicos, Não Carcinogênicos, Ecotoxicidade Aquática, Eutrofização Aquática e Extração Mineral

Quanto a Figura 6, identificou-se novamente uma prevalência do Sistema MA+WCFV nos impactos analisados de acordo com o método *Impact 2002+*, atribui-se a isso o fato de que esse sistema utiliza energia para a recirculação do efluente no reator com Microalgas o que contribui em todas as categorias analisadas devido a característica impactante da matriz energética considerada pelo SimaPro, sendo esta proveniente da queima de combustíveis fósseis, como o carvão mineral e o gás natural.

Os demais sistemas só pontuaram significativamente nas categorias Inorgânicos e Orgânicos Inaláveis, Acidificação terrestre e Aquática, Eutrofização e Aquecimento Global.

O sistema RA pontuou mais nas categorias Eutrofização devido a sua baixa eficiência em remoção de nutrientes e na categoria Aquecimento Global devido a sua maior emissão de gases, principalmente metano em relação aos outros sistemas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Análise de Ciclo de Vida permite um processo de aprimoramento contínuo dentro das diversas atividades desenvolvidas pelo homem, processo que vai muito além das exigências legais, sendo uma ferramenta de construção para uma sociedade menos destrutiva.

Dentro desta Análise do Ciclo de Vida os fatos que mais chamaram a atenção é o impacto causado ao meio ambiente na fase de construção (92,3%) relacionados a utilização de polietileno de alta densidade (32,8%) areia (27,2%) e polivinilclorado (18,8%). Já na fase de operação o maior impacto foi a utilização de energia elétrica no sistema Microalgas Pré-*Wetlands* devido a dependência de recursos não renováveis.

Na operação o Sistema Microalgas Pré-*Wetlands* aparece com impactos significativos com valores na Radiação Ionizante de 7.547,08 Bq C-14 eq., Ecotoxicidade Aquática com 25.516, 42 Kg TEG water, Ecotoxicidade Terrestre com 8.687,48 kg TEG soil, Energia Não Renovável com 4.647,62 MJ primary, Aquecimento Global com 830, 67 kg CO₂ eq., aparecendo também na fase de operação o Sistema Reator Anaeróbico devido a emissão de metano com 533, 11 kg CO₂ eq.

Na fase de construção os Sistemas MA+WCFV, UASB+WCFV e UASB+WCFH aparecem pontuando de forma mais preocupantes nas Categorias Carcinogênicos, Não Carcinogênicos, Radiação ionizante, Ecotoxicidade aquática, Ecotoxicidade terrestre, Acidificação Terrestre, Ocupação do solo, Aquecimento global, Energia não renovável e Extração mineral.

Sendo que na fase de Construção os valores de pontuação mais significantes são os da Radiação Ionizante com 123.897,7 Bq C¹⁴ eq (MA+WCFV), 11.162,47 Bq C¹⁴ eq. (UASB+WCFV e UASB+WCFH). Na categoria Ecotoxicidade Aquática com 289.885, 96 kg TEG de água (MA+WCFV) e 104.127,79 kg TEG de água (UASB+WCFV e UASB+WCFH). Na categoria Ecotoxicidade Terrestre com 152.688,57 kg TEG de solo (MA+WCFV) e 32.098,23 kg TEG de solo (UASB+WCFV e UASB+WCFH). Na categoria Energia Não Renovável 178.746,46 MJ primário (MA+WCFV) e 28.396,01 MJ primário (UASB+WCFV e UASB+WCFH). Lembrando que na construção do sistema MA+WCFV foi considerada a bomba utilizada para a recirculação, o uso de areia neste sistema também contribuiu para sua pontuação significativa em diversas categorias.

Para a maior sustentabilidade dos Sistemas de Tratamento analisados sugere-se o estudo da utilização de materiais provenientes dos resíduos da construção civil, devidamente classificados, segregados e cominuidos, para a utilização como material suporte nos *Wetlands*, reaproveitando materiais e diminuindo a dependência de extração de novos recursos.

Outro fato importante foi a ação dos gases emitidos pelo Sistema RA (metano principalmente) em relação a categoria Alterações Climáticas, para a solução deste problema indica-se a queima para tornar esse gás menos agressivo ou o aproveitamento energético do mesmo para a recirculação do Sistema MA+WCFV, o que eliminaria a dependência de fontes energéticas não renováveis.

AGRADECIMENTOS

Os estudos desta pesquisa possuem financiamentos do CNPq (481620/2013-3, 406200/2015-7 e 307257/2015-0).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA/AWWA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005.
2. ABNT. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.
3. _____. **NBR ISO 14044**: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro, 2009.
4. COSTA, M. P. S. **Avaliação do potencial de plantas nativas do Brasil no tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais em wetlands construídos**. Campinas, SP: [s. n.], 2004.
5. GUTIERREZ, Katia G. **Análise e Gerenciamento de Impactos Ambientais no Tratamento de Esgoto Doméstico mediante Avaliação de Ciclo de Vida**. 2014. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.
6. IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Adoption and acceptance of the “2013 supplement to the 2006 guidelines: wetlands”*. Accepted Report. Thirty-seventh session of the IPCC. Georgia, 14 - 18 October 2013.
7. LOPES, Thaís A. S. **Avaliação do ciclo de vida de uma ETE composta por Reator UASB seguido de Wetlands Construídos**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2014.
8. Mander, Ü., Dotro, G., Ebie, Y., Towprayoon, S., Chiemchaisri, C., Nogueira, S. F., Jamsranjav, B., Kasak, K., Truu, J., Tournebize, J., Mitsch, W. J. Greenhouse gas emission in constructed wetlands for wastewater treatment: A review *Ecological Engineering* DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.12.006, 2014.
9. PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias**: utilização de filtros plantados com macrófitas. Florianópolis: Editora do Autor, 2004.