

## II-561 - AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ECONÔMICA DO CICLO DE VIDA DE SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO ENVOLVENDO *WETLANDS* CONSTRUÍDOS

### **Juliana Dalia Resende<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Mestre em Engenharia Química pela Escola Politécnica (USP). Doutoranda em Sustentabilidade na EACH/USP.

### **Marcelo Antunes Nolasco<sup>(1)</sup>**

Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de São Carlos. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Livre docente pela Universidade de São Paulo. Professor do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade (EACH/USP)

### **Sérgio Almeida Pacca**

Mestre em Energia pelo Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE-USP). Doutor em Energy and Resources pela University of California, Berkeley. Livre docente pela Universidade de São Paulo. Professor do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade (EACH/USP)

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Arlindo Bétio, 1000 - Jardim Keralux, São Paulo - SP, 03828-000- Tel: (11) 2648-0071 - e-mail: [julianadr@usp.br](mailto:julianadr@usp.br) e [mnolasco@usp.br](mailto:mnolasco@usp.br)

### **RESUMO**

O potencial para causar impactos ambientais é um fator a ser levado em consideração na tomada de decisão em relação a alternativas tecnológicas para o tratamento de esgoto. Uma ferramenta que pode ser utilizada para avaliar o desempenho ambiental dos sistemas de tratamento de esgoto é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A estrutura metodológica para a condução da ACV é regida por quatro fases distintas, sendo que a construção e análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) é o estágio mais demorado da ACV. Essas análises podem ser complementadas pelo Custeio do ciclo de vida (CCV), que permite calcular o custo total de um projeto ao longo de todo o seu ciclo de vida. Nesse trabalho foi realizado um ICV preliminar para duas configurações de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto envolvendo *wetlands* construídos, para as quais foi utilizada a metodologia CCV de modo a analisar os potenciais custos desses sistemas. A avaliação dos resultados do CCV mostrou que os custos de aquisição têm grande influência nos custos totais (representando mais de 89% dos custos totais), devido, sobretudo ao custo de aquisição da área para a instalação dos sistemas. Os ICVs aqui apresentados serão utilizados para a condução de estudos futuros de ACV, de modo a produzir informações que possam dar suporte a processos de tomada de decisão destinados a melhorar os sistemas existentes de tratamento de esgoto ou a seleção de alternativas tecnológicas para novos sistemas.

**PALAVRAS-CHAVE:** ACV, CCV, Custeio do Ciclo de Vida, Descentralizados, *Wetlands*

### **INTRODUÇÃO**

Os *Wetlands* Construídos (WC) são reconhecidos como uma tecnologia promissora para o tratamento descentralizado das águas residuais domésticas. No entanto, diferentes configurações de sistemas envolvendo WC podem ser adotadas, variando desde sistemas simples até sistemas complexos, como os WC aerados artificialmente, dificultando o processo de seleção de alternativas tecnológicas para o tratamento de águas residuárias. Contudo, a análise dos potenciais impactos ambientais relacionados aos sistemas de tratamento de águas residuais utilizando a Ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) pode ajudar os tomadores de decisão na escolha da melhor alternativa<sup>1</sup>.

A ACV é uma metodologia abrangente que consiste nas seguintes etapas: 1) definição de objetivo e escopo; 2) análise do inventário do ciclo de vida (ICV); 3) avaliação de impacto; 4) interpretação dos resultados<sup>5</sup>. A análise ICV (etapa 2) é o estágio mais demorado na ACV, pois é uma etapa iterativa na qual os dados devem ser analisados, revisados e, se necessário, corrigidos. Estudos que visam a realização de ICVs de sistemas de tratamento de águas residuais no Brasil são escassos e os estudos existentes são limitados a poucos sistemas. Esta limitação, conseqüentemente, afeta a qualidade dos estudos nacionais de ACV, uma vez que estes idealmente deveriam ser realizados com o uso de inventários do ciclo de vida regionais.

Contudo, considerar apenas as questões ambientais não é suficiente. Também é necessário considerar os custos potenciais relacionados a todo o ciclo de vida de um projeto. Uma metodologia que pode ser usada para tal finalidade é chamada de Custeio do Ciclo de Vida (CCV). Assim, o objetivo dessa pesquisa é avaliar e comparar o desempenho ambiental e econômico das fases de construção e operação de duas configurações de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto envolvendo *wetlands* construídos e de cenários alternativos propostos para tais sistemas de modo a identificar quais configurações permitem reduzir potenciais custos e impactos ambientais associados a estes. Para tal, estão sendo utilizadas as metodologias de ACV e CCV.

## METODOLOGIA

Os experimentos que estão sendo estudados foram instalados na Cidade Universitária (USP), localizada na cidade de São Paulo. As águas residuais afluentes aos sistemas são provenientes da moradia estudantil e de um dos restaurantes do campus. Nos experimentos, antes de serem conduzidos para os *wetlands* construídos (WC), os efluentes passam por um tanque séptico pré-moldado. Um dos sistemas que estão sendo estudados (denominado Sistema 1), além do tanque séptico é composto por um WC com fluxo subsuperficial vertical seguido por um WC com fluxo superficial horizontal. Os tanques foram construídos em alvenaria (Figura 1) e o sistema possui vazão média de 0,64 m<sup>3</sup>/dia.



**Figura 1. Sistema 1 construído em alvenaria**

O outro sistema (denominado Sistema 2) é constituído por um tanque séptico, seguido por um WC de fluxo livre com aeração forçada, um decantador secundário e um WC de fluxo subsuperficial vertical. Os tanques foram fabricados utilizando fibra de vidro (Figura 2) e o sistema possui vazão média de 1,50 m<sup>3</sup>/dia.

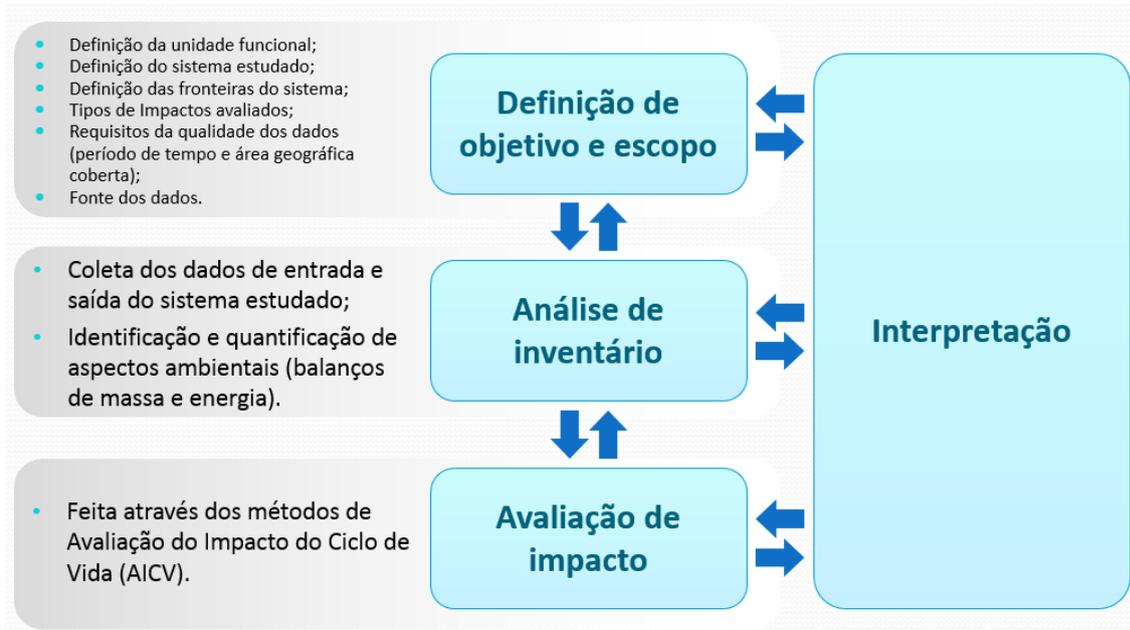


**Figura 2. Sistema 2 fabricado utilizando fibra de vidro**

Estão sendo realizadas análises do desempenho ambiental desses dois sistemas. E, a partir dos resultados de tais análises, e do cruzamento desses resultados com aqueles provenientes da análise de CCV, serão identificados os pontos críticos (aqueles em que foram detectados potenciais impactos ambientais e custos

maiores) e serão propostos cenários alternativos para tais pontos críticos de modo a identificar se é possível reduzir os potenciais impactos ambientais (referentes a determinadas categorias de impacto) e custos associados a tais sistemas, realizando, por exemplo, a substituição de materiais de construção ou tecnologias.

Para a avaliação do desempenho ambiental dos sistemas está sendo utilizada a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), baseada nas normas ISO 14040, 14041 e 14044<sup>4,5,6</sup>. Segundo a norma ISO 14.040 (2009), a estrutura metodológica para a ACV é regida por quatro fases distintas, resumidas na Figura 3.



**Figura 3. Fases da ACV (Fonte: adaptado da norma ISO 14.040/2009a)**

Os dados relativos à quantidade de materiais e equipamentos utilizados para construção de sistemas foram obtidos por meio da consulta a um engenheiro, que trabalhou na construção dos sistemas e de estimativas baseadas em levantamentos e medições de campo. A base de dados *Ecoinvent* será utilizada para a obtenção de dados referentes à produção de materiais e insumos, sendo que, sempre que possível, esses dados serão adaptados à realidade brasileira por meio da substituição de parâmetros gerais (tais como, matriz energética, emissões, entre outros). Os dados operacionais do sistema também foram levantados, de modo a também serem avaliados os potenciais impactos ambientais referentes a essa etapa. Para tal foi feito uma caracterização físico-química do esgoto bruto, do esgoto tratado e do lodo do tanque séptico. Além disso, as emissões atmosféricas provenientes dos sistemas foram estimadas utilizando a metodologia do IPCC<sup>2,3</sup> e o consumo médio de energia elétrica foi estimado. Para a realização dos cálculos relativos à avaliação dos potenciais impactos ambientais dos sistemas será utilizado o software *OpenLCA* versão 1.6. A unidade funcional adotada para a condução dos estudos foi 1 metro cúbico de esgoto a ser tratado durante 20 anos.

Para a análise econômica foi utilizada a metodologia de Custeio do Ciclo de Vida (CCV). Para tal, foi feito um levantamento de custos de aquisição (de área, materiais de construção e equipamentos para operação), instalação, operação e substituição de materiais e equipamentos dos sistemas. Os custos levantados foram convertidos para o valor presente (quando necessário), e posteriormente, foi feita a composição dos custos totais. Os cálculos foram realizados utilizando planilhas do Excel.

A relação entre os fatores de custo, que em conjunto compõem o CCV, considerando as conversões para o Valor Presente, pode ser expressa matematicamente pela eq. (1):

$$CCV = CA + CI + \sum_{i=1}^N \frac{CO}{(1+r)^n} + \sum_{j=1}^{\alpha} \frac{(CR)}{(1+r)^n} \quad (1)$$

Onde:

CA = custo de aquisição para o material ou produto;

CI = custo de fabricação e/ou instalação;

N= duração do ciclo de vida, em anos;

n= ano do evento;

r= taxa real de juros para o período de tempo considerado (N);

CO= custo operacional da unidade durante o ciclo de vida do sistema;

a= número de reposições da unidade durante o ciclo de vida do sistema;

CR= custo de reposição número n, da unidade.

## RESULTADOS OBTIDOS E ESPERADOS

Com relação às análises ambientais foram realizadas as fases 1 e 2 da ACV, ou seja, definição do objetivo e escopo; e análise de inventário. O inventário do ciclo de vida (ICV) dos Sistemas 1 e 2 apresenta a quantidade total (kg) de materiais de construção utilizada considerando uma vida útil dos sistemas de 20 anos. Os tanques do Sistema 1 foram construídos com tijolos cerâmicos maciços (2.034 kg), utilizando brita n.1 (12.289,92 kg) e n.2 (2.124,72 kg) como meio filtrante, tubos de PVC (8,97 kg) e fio de aço (0,32 kg) para suportar os tubos. Já os tanques do Sistema 2 foram feitos de fibra de vidro (144,00 kg) usando brita n.2 ( 8.172,00 kg) e areia grossa (7.200 kg) como um meio filtrante e tubos de PVC (6,93 kg). Os dados do ICV serão utilizados para permitir a avaliação e comparação do desempenho ambiental destes sistemas utilizando a metodologia de ACV.

Já na análise de CCV considerou-se a substituição das bombas e compressores a cada 5 anos e a substituição do meio filtrante a cada 10 anos, tendo sido obtidos os resultados apresentados resumidamente na Tabela 2.

**Tabela 2. Resumo dos custos ao longo do ciclo de vida dos Sistemas 1 e 2.**

Custos	Sistema 1	Sistema 2
Aquisição + Instalação + Operação	R\$ 43.079,83	R\$ 46.512,57
Substituição (após cinco anos)	R\$ 3.034,56	R\$ 1.511,84
Substituição (após 10 anos)	R\$ 284,35	R\$ 278,85
CCV (vinte anos)	R\$ 46.541,18	R\$ 46.959,11

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir da análise dos resultados do CCV, pode-se constatar que o Sistema 2 apresentou um custo ao longo do ciclo de vida ligeiramente superior ao do Sistema 1 (0,9% maior). As análises econômicas mostraram que os custos de aquisição têm grande influência nos custos totais, devido principalmente ao custo da área para instalação dos sistemas. Assumindo que o terreno foi obtido gratuitamente, os custos totais seriam reduzidos em 80% para o Sistema 1 e 75% para o Sistema 2.

## CONCLUSÕES

A ACV e o CCV são ferramentas que podem auxiliar na seleção de alternativas de sistemas de tratamento de esgoto e na proposição de melhorias para os sistemas já existentes. Entretanto, no Brasil poucos estudos com essa temática foram realizados e há uma grande carência de dados de inventários, o que dificulta as análises. A construção de inventários e a realização de estudos de ACV e CCV nacionais, poderão auxiliar nas discussões acerca dos parâmetros exigidos pela legislação ambiental para os sistemas de tratamentos de esgoto e também em relação à necessidade do gerenciamento dos subprodutos produzidos para melhoria do desempenho ambiental e econômico destas unidades. Com o presente estudo pretende-se obter respostas sobre como diferentes escolhas (em relação à configuração dos sistemas de tratamento de esgoto e tipos de materiais

utilizados na construção dos sistemas, por exemplo) podem influenciar nos potenciais impactos ambientais e custos relativos aos sistemas de tratamento de esgoto. Os custos ao longo do ciclo de vida dos sistemas poderão ser comparados com os resultados da análise do desempenho do sistema ambiental dos sistemas, de modo que conclusões mais consistentes possam ser obtidas. Espera-se que este trabalho contribua para o processo de tomada de decisão de projetos de sistemas de tratamento de águas residuais ou na proposição de melhorias aos sistemas existentes, contribuindo, para torná-los mais sustentáveis.

## **AGRADECIMENTOS**

**FINEP** (Projeto RENTED), **CAPES** (Bolsa) e **FAPESP** (Auxílios 10/50635).

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. COROMINAS, L.; FOLEY, J.; GUEST, J.S.; HOSPIDO, A.; LARSEN, H.F.; MORERA, S.; SHAW, A. Life cycle assessment applied to wastewater treatment: State of the art. **Water Research**, n. 47, p. 5480 – 5492, 2013.
2. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. v. 5 (Waste), Japão, 2006.
3. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands**. Report. Suíça, 2013.
4. International Standard Organization (ISO) (2006), Environmental Management - Life Cycle Assessment: Goal and Scope Definition and Inventory Analysis. ISO 14041.
5. International Standard Organization (ISO) (2009a), Environmental management - Life cycle assessment: Principles and framework. ISO 14040.
6. International Standard Organisation (ISO) (2009b), Environmental management - Life cycle assessment: Requirements and Guidelines. ISO14044.