

VI-008 - REFLEXÕES SOBRE A ABORDAGEM DO CICLO DE VIDA PARA AVALIAR O DESEMPENHO AMBIENTAL DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Thaís Andrade de Sampaio Lopes⁽¹⁾

Estudante de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Energia e Ambiente e Mestre em Meio Ambiente, Águas e Saneamento pela Universidade Federal da Bahia.

Luciano Matos Queiroz⁽²⁾

Doutor em Engenharia Civil. Professor Adjunto IV do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

Sandro Lemos Machado⁽³⁾

Doutor em Geotecnia. Professor Titular do Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

Asher Kiperstok

Doutor em Engenharia Química/Tecnologias Limpas. Professor Titular do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia

Endereço⁽¹⁾: Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Rua Professor Aristides Novis, no 2, Federação. Departamento de Engenharia Ambiental - 4º andar – Sala 9 - Salvador - Bahia – Brasil. CEP - 40210-630. Tel - (+55) 71 3283-9796. Fax - (+55) 71 3283-9892. e-mail: lmqueiroz@ufba.br.

RESUMO

As regulamentações ambientais brasileiras para tratamento de águas residuárias estabelecem padrões para lançamento dos efluentes tratados nos corpos hídricos, porém, não fazem referência aos impactos ambientais associados à construção e operação da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). O presente trabalho tem como objetivo aplicar a Avaliação de Ciclo de Vida para estimar os potenciais impactos ambientais associados ao tratamento de esgoto em duas ETE de pequeno porte, que atendem empreendimentos habitacionais no município de Lauro de Freitas, Bahia. O estudo foi realizado para as fases de construção e operação das ETE. A unidade funcional definida foi 1,0 m³ de efluente tratado durante 20 anos de vida útil das ETE. O estudo utilizou o programa *SimaPro*[®], o método CML 2000 e o banco de dados do *Ecoinvent*[®] para as categorias de impacto: Depleção Abiótica, Aquecimento Global, Acidificação e Eutrofização. Os resultados mostram que a categoria de maior relevância é a eutrofização. Entretanto, uma das limitações observadas é que a análise é realizada sem considerar a qualidade da água do corpo hídrico receptor. Os resultados mostram que o maior consumo de energia e produtos químicos prejudica o desempenho ambiental das estações. Assim, o estudo permite concluir que para avaliar o desempenho ambiental dos sistemas de tratamento de esgotos é preciso considerar o *trade-off* entre a eficiência do tratamento e padrões de qualidade do efluente, de um lado, e o consumo de energia e uso de químicos durante a operação, do outro.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação de Ciclo de Vida, Desempenho Ambiental, Empreendimentos Habitacionais, Estações de Tratamento de Esgotos.

INTRODUÇÃO

As tecnologias de tratamento de esgotos domésticos possuem diferentes características e desempenhos, gerando diferentes impactos no ambiente. Alguns processos de tratamento de esgotos apresentam alto consumo energético ou usam materiais com alta carga energética embutida, outros, ocupam uma extensa área de terra. As ETE são projetadas para minimizar os impactos ambientais do descarte de efluentes sem tratamento nos compartimentos ambientais, portanto, deveriam ser concebidas para a máxima redução desses impactos, de modo que os impactos envolvidos com a construção e operação fossem considerados e, não apenas, aqueles oriundos do lançamento dos esgotos tratados nos corpos hídricos receptores (Dixon *et al.*, 2003).

A legislação ambiental vigente restringe os valores de concentrações de poluentes, nutrientes e micro-organismos patogênicos com o objetivo de minimizar os impactos ambientais do lançamento de águas residuárias tratadas nos corpos hídricos naturais. Porém, não regulam outros potenciais impactos ambientais

que são ocasionados pela implantação, operação e fim-de-vida das ETE (Foley *et al.*, 2010). No Brasil, as Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) N° 357/2005 e N° 430/2011 estabelecem padrões de lançamento dos esgotos tratados para proteção dos corpos hídricos receptores, e também, não fazem referência aos impactos ambientais associados ao ciclo de vida das ETE. Entretanto, os objetivos dos sistemas de tratamento precisam ir além da proteção da saúde humana e dos corpos hídricos para incluir a minimização do uso dos recursos naturais, reduzindo o consumo de energia e água, uso de produtos químicos, geração de resíduos e permitir a reciclagem dos nutrientes (Lundin *et al.*, 2000).

A de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) se apresenta como uma ferramenta viável para avaliar o desempenho ambiental dos sistemas de tratamento de esgotos (Corominas *et al.*, 2013; Zang *et al.*, 2015). A metodologia trata com abrangência as questões ambientais e permite avaliar de forma integrada os aspectos ambientais e potenciais impactos associados, gerando informações que podem auxiliar na escolha de tecnologias pelos tomadores de decisão e identificar pontos críticos dos processos (Lopsik, 2013).

Além disso, a ACV tem se mostrado válida para avaliar o desempenho ambiental de sistemas de coleta, transporte e tratamento de esgotos, pois utiliza uma abordagem sistêmica ao longo do seu ciclo de vida e permite identificar os potenciais impactos ambientais em escala global e local. A ACV possibilita uma avaliação dos sistemas de tratamento de esgoto que vai além do habitual *trade-off* entre eficiência de tratamento e padrão de qualidade do efluente final, incorporando o consumo de energia e uso de produtos químicos durante a operação e manutenção (Risch *et al.* 2014).

Entretanto, a ferramenta apresenta limitações que devem ser examinadas e aprimoradas, como a definição da unidade funcional, os critérios para a delimitação da fronteira do sistema e considerações de cenários alternativos, a dificuldade de obtenção de dados confiáveis, quais os critérios para definição do que é representativo ou desprezível e a incorporação das especificidades técnicas locais. Na fase de avaliação de impacto, as maiores complicações são: a escolha dos métodos de avaliação e das categorias de impacto e a representatividade da particularidade e dinâmica do ambiente local (Reap *et al.*, 2008).

A aplicabilidade da ACV é demonstrada pelo grande número de publicações de estudos dessa técnica nos sistemas de tratamento de águas residuárias (Corominas, *et al.* 2013). Entretanto, a aplicação de ACV em sistemas de tratamento de esgotos no Brasil é ainda bastante incipiente, o que chama a atenção para a necessidade de mais estudos aplicados à realidade brasileira.

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo aplicar a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para avaliar o desempenho ambiental de duas ETE de pequeno porte, instaladas no município de Lauro de Freitas, Bahia, discutindo a adequação e limitações para aplicação rigorosa da ACV na área do tratamento de esgotos sanitários.

MATERIAL E MÉTODOS

Aplicou-se a ACV para avaliar os impactos ambientais associados ao tratamento de esgoto em duas ETE de pequeno porte instaladas em empreendimentos habitacionais no município de Lauro de Freitas, Bahia. Ambas as ETE são operadas pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA) e atendem populações aproximadas de 1.000 pessoas. Os esgotos domésticos passam por tratamento preliminar para a remoção de sólidos grosseiros e areia, antes de seguir para as ETE. Os efluentes tratados são destinados para o Rio Ipitanga.

A primeira ETE, aqui denominada UASB-WET, é constituída por um reator UASB seguido de quatro unidades de *wetlands* construídos de fluxo horizontal subsuperficial, seguidos de um tanque de contato para aplicação de solução de hipoclorito de sódio para a desinfecção do efluente final. Para a fase de construção da ETE UASB-WET, os materiais empregados considerados como entradas na elaboração do Inventário de Ciclo de Vida (ICV) foram: aço, cimento, areia, brita, água, PVC, madeira, bloco e fibra de vidro. Para a fase de operação, as entradas foram: solução de hipoclorito de sódio, o esgoto bruto, energia e a brita para a substituição dos leitos dos *wetlands*. As saídas do ICV foram: emissões atmosféricas do reator UASB e dos *wetlands* construídos, emissões para a água (parâmetros de descarga do efluente final tratado), brita com biofilme oriunda da substituição dos leitos dos *wetlands*. Os dados dos materiais de construção foram obtidos

do memorial descritivo da ETE e os dados de operação a partir de análises físico-químicas do efluente e visitas técnicas à ETE (Lopes, 2014).

A segunda ETE, aqui denominada UASB-LA, é constituída por um reator UASB, seguido de um processo de lodo ativado (LA), um filtro preenchido com brita para retenção de partículas sólidas, um segundo filtro que capta e solubiliza o H_2S , e, por fim, uma unidade compacta de cloração com aplicação de solução de hipoclorito de sódio para a desinfecção do efluente final. Esse sistema é compacto e hermeticamente fechado e todo o gás produzido é direcionado para o filtro de gás sulfídrico, cujos tanques são construídos em fibra de vidro reforçada. Para a fase de construção da ETE UASB-LA, os materiais considerados como entradas do ICV foram: aço, cimento, areia, brita, água, PVC e fibra de vidro. Para a fase de operação, as entradas consideradas no ICV foram: o esgoto bruto, energia e a solução de hipoclorito de sódio, e as saídas foram as emissões para a água. Os dados dos materiais de construção foram obtidos do memorial descritivo da ETE, os parâmetros de descarga do efluente final a partir da literatura (Von Sperling, 2014) e os demais dados de operação a partir de visitas técnicas.

Definiu-se como unidade funcional o volume de $1,0\text{ m}^3$ de efluente tratado durante o período de 20 anos de operação. Para a correlação de todas as entradas e saídas do ICV com a unidade funcional foi necessário calcular o volume total de esgoto tratado em cada ETE durante 20 anos de operação, e, então, dividir os quantitativos totais das entradas e saídas do ICV pelo volume total de esgoto tratado. Para a ETE UASB-WET o volume total foi igual a 700.800 m^3 de esgoto tratado e para a ETE UASB-LA foi de 992.800 m^3 .

A fronteira do sistema foi delimitada desde o ponto de chegada do esgoto bruto na ETE até o lançamento do efluente final tratado no corpo receptor, incluindo as fases de construção e operação (Figura 1). Estabeleceram-se duas fronteiras do sistema, a fronteira de primeiro plano que inclui o inventário das entradas e saídas das ETE para as fases de construção e operação e a fronteira de segundo plano que compreende, além dos dados do inventário, os processos envolvidos na produção dos materiais e na geração de energia encontrados no banco de dados do Ecoinvent[®] disponíveis no *software* SimaPro[®]. Os resultados da análise compreendem os processos de produção dos materiais e a geração de energia, incluídos na fronteira de segundo plano.

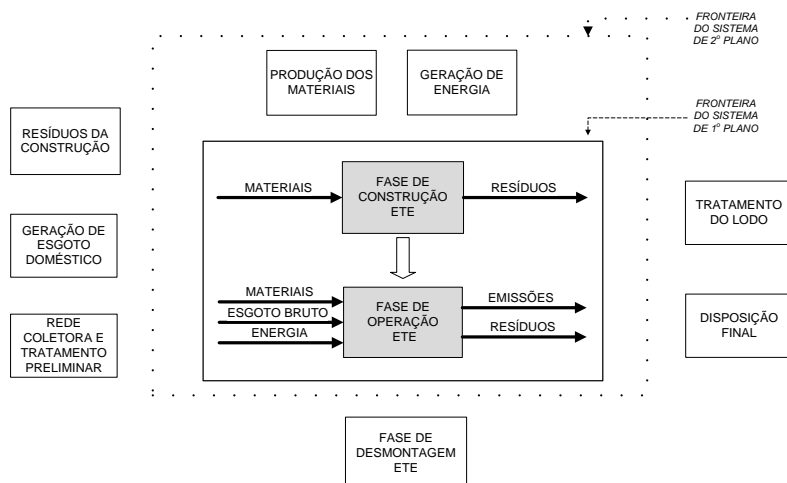


Figura 1- Fluxograma da fronteira do sistema da ETE.

Na fronteira de primeiro plano do sistema não foram quantificados os processos envolvidos na produção de materiais de construção. Por outro lado, os processos disponibilizados no *software* SimaPro[®] provenientes do banco de dados do Ecoinvent[®] já incorporam os processos envolvidos na produção desses materiais e da geração de energia e nesse trabalho foram considerados dentro da fronteira do sistema de segundo plano.

Nesse estudo não foram incluídos materiais ou insumos da geração do esgoto, coleta e transporte dos esgotos até a ETE, nem o tratamento preliminar (gradeamento, caixa de areia e estação elevatória). Ademais, não foram incluídos os resíduos da construção civil e montagem da estação, e a energia e os materiais necessários para bombeamento do efluente final tratado, devido à ausência de dados operacionais. Assim como, a retirada

e o tratamento do lodo gerado na ETE. A fase de fim de vida foi excluída do estudo por seus impactos serem desprezíveis quando comparado com as fases de operação e construção (Lopsik, 2013).

Para a realização da ACV foi utilizado o *software* SimaPro 8.0.1, licença PhD (PRÉ, 2013) que dispõe de um grande número de dados e métodos de avaliação de impacto. O método para ACV usado foi CML, versão CML – IA (baseline) e o banco de dados do Ecoinvent® para avaliar as categorias de impacto de *midpoint*: Depleção Abiótica, Aquecimento Global, Eutrofização e Acidificação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) indica as entradas de material e energia com maior potencial de impacto para as categorias selecionadas, porém, as entradas de recursos e materiais inseridas no SimaPro® 8.0.1 incorporam os processos envolvidos na sua produção, oriundas do banco de dados do Ecoinvent®, sendo assim, contabilizados seus impactos, ainda que com elevada incerteza, pois, os processos disponíveis na base de dados Ecoinvent® não se referem à realidade brasileira, exceto, para a matriz energética.

Como o processo de produção desses materiais, que corresponde à fronteira de segundo plano, é oriundo da base de dados do Ecoinvent®, a matriz energética utilizada é a européia. Portanto, os resultados não são representativos para a realidade local. A dificuldade quando se utiliza uma base de dados que não incorpora os processos locais, é a necessidade de ajustar cada um dos processos na transposição do inventário de ciclo de vida (ICV). Porém, o ajuste de cada processo, dentro da base de dados, pode se tornar inviável quando se tem um grande número de dados e não se tem os dados da realidade local para substituir nos processos envolvidos. Para tanto, Eicker *et al.* (2010) avaliaram a diferença entre um inventário para a realidade brasileira e o banco de dados da Ecoinvent® mostrando que essa base de dados é aplicável para a caracterização de processos brasileiros. Assim, foi assumida a utilização dos dados originários da Ecoinvent® nos processos de segundo plano, justificando a análise da contribuição desses processos para as categorias de impacto selecionadas.

Contudo, pode-se afirmar que a aplicação da ACV é válida para a identificação dos principais pontos críticos na operação das ETE, destacando que o consumo de energia e o uso de produtos químicos são mais impactantes para as categorias de Acidificação e Depleção Abiótica, já para a categoria de Aquecimento Global, a maior contribuição são emissões atmosféricas, no caso da ETE UASB-WET, e o alto consumo de energia na ETE UASB-LA. Para a categoria Eutrofização, a contribuição total é do efluente final tratado devido à presença de concentrações de matéria orgânica e nutrientes remanescentes direcionadas ao corpo receptor (Figura 2).

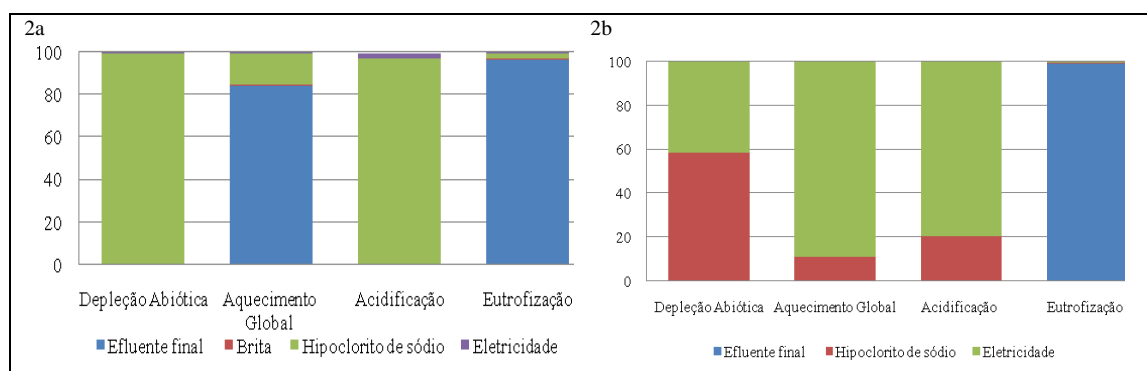


Figura 2 - Fase de operação das ETE (2a- ETE UASB-WET; 2b- ETE UASB-LA).

O uso de solução de hipoclorito de sódio para a desinfecção do efluente final tratado aumenta o potencial de geração de impactos ambientais de ambas as ETE. O uso de produtos químicos demanda consumo de recursos naturais e energia para sua fabricação, e adicional recurso e energia para o transporte até o local da estação. Assim, os resultados apontam que o uso de produtos químicos para a melhoria da qualidade final do efluente diminui o desempenho ambiental das ETE, cabendo aos projetistas considerar a possibilidade de outros métodos de desinfecção como o uso de filtros de areia e aplicação de radiação ultravioleta, por exemplo.

A ACV para a fase de construção das ETE é apresentada na Figura 3. A ETE UASB-WET apresenta a fôrma em madeira e o aço como os materiais de maior potencial de impacto em todas as categorias. O potencial impacto do aço é devido à sua produção, com maior impacto para a produção do aço de liga leve, principalmente, pela adição de Cromo, Molibdênio e Níquel. O potencial de impacto da fôrma em madeira é proveniente das etapas de serragem, produção das toras e do consumo de energia e diesel.

Para a ETE UASB-LA, o concreto foi o material de maior potencial de impacto, o que se deve ao processo de produção do clínquer, do cimento e do próprio concreto, e a fibra de vidro aparece em segundo lugar para todas as categorias analisadas.

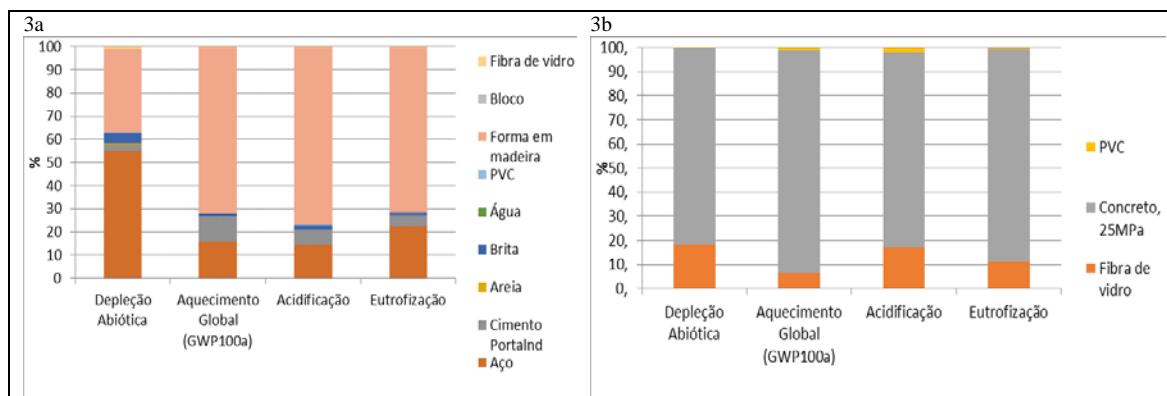


Figura 3- Fase de Construção das ETE (3a- ETE UASB-WET; 3b- ETE UASB-LA).

Entretanto, é preciso destacar que as entradas de materiais incorporam os processos disponíveis na base de dados do Ecoinvent[®], que usam a matriz energética europeia. Essa matriz é ambientalmente mais impactante que a matriz energética brasileira considerada na construção do inventário da fase de operação. A quantificação do consumo de eletricidade usada na construção do inventário da fase de operação de ambas as estações, foi da matriz brasileira, que já está disponível na base de dados da Ecoinvent[®], o que representa um avanço para a aplicação de ACV no Brasil.

Estudos de ACV em ETE realizados em países europeus evidenciam que o consumo de energia é um dos fluxos de maior contribuição, devido às suas matrizes energéticas oriundas da queima de combustíveis fósseis. A matriz energética é uma fonte de discrepâncias entre as avaliações realizadas em diferentes regiões do planeta. A cadeia de produção de energia, a partir de diferentes fontes, em cada país, pode afetar, significativamente, a caracterização dos resultados das categorias de impacto, principalmente, para acidificação, depleção abiótica e aquecimento global (Gallego, *et al.*, 2008).

Além disso, destaca-se a relevância da construção de um banco de dados relativos às diversas etapas de produção dos materiais de construção no Brasil, pois, a extração dos recursos naturais, produção de insumos e a matriz energética são peculiares e o uso de dados e informações obtidos nos Estados Unidos ou na Europa podem levar a impactos ambientais maiores do obtidos com dados brasileiros, principalmente, devido à matriz energética.

A etapa de Normalização da ACV relaciona os resultados dos indicadores de cada categoria em um valor comum de referência, adimensional, resolvendo a incompatibilidade das unidades e permitindo a comparação entre as categorias de impacto. A normalização compara as emissões do estudo realizado em relação às emissões globais para o ano de referência.

Os resultados evidenciam que a maior preocupação para a tomada de decisão no tratamento de esgotos é a qualidade final do efluente, demonstrado pela Eutrofização (Figura 4). Entretanto, Foley *et al.* (2010) ressaltam que o aumento da qualidade final do efluente, quanto à remoção de nutrientes e patógenos, eleva as emissões e o consumo de recursos naturais, e sugerem que é necessária uma compensação entre o consumo de energia e a remoção de nutrientes que minimize o impacto ambiental da categoria Eutrofização.

A categoria Eutrofização é considerada uma categoria de impacto confiável e prioritária para a definição da sustentabilidade de uma tecnologia de tratamento de esgoto. Entretanto, a AICV é atrativa para avaliar o impacto em potencial, mas, o grau de eutrofização do corpo receptor não pode ser inserido no *software* para avaliar o potencial impacto, o que representa uma limitação da ACV. Para a aplicação da ACV como uma ferramenta de suporte de decisão para o tratamento de águas residuárias é importante que a qualidade da água do corpo receptor seja contabilizada para subsidiar a avaliação da modificação do grau de eutrofização.

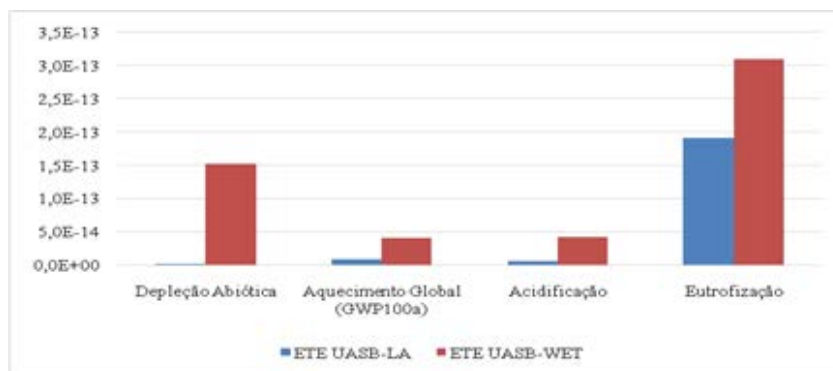


Figura 4- Normalização dos resultados para as duas ETE.

A Figura 4 também permite a comparação entre as duas estações apontando a ETE UASB-WET com maior potencial de impacto do que a ETE UASB-LA, devido ao fato que a ETE UASB-WET apresenta maior consumo de materiais para sua construção, emissões atmosféricas e efluente final com maiores concentrações de nutrientes. Entretanto, vale ressaltar que, quando se usa dados da literatura e não dados reais de eficiência da Estação, a operação da ETE não é incorporada na ACV, portanto, se a operação da ETE não ocorre adequadamente isso pode afetar a eficiência do tratamento e, conseqüentemente, a qualidade final do efluente tratado.

Portanto, a análise criteriosa para a implantação de tecnologias de tratamento de esgotos que abordem os aspectos econômicos, operacionais e ambientais é necessária e imperativa. A incorporação da ACV é valiosa e pode colaborar com a elaboração de políticas públicas que incentivem a escolha de tecnologias que não atendam somente os aspectos econômicos e de qualidade do efluente final, mas também, priorize a redução dos impactos envolvidos em todas as etapas do processo de tratamento.

CONCLUSÕES

A ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida permite comparar diferentes arranjos tecnológicos do sistema de tratamento de esgotos identificando os pontos críticos associados aos processos de tratamento de esgotos, que vai além do *trade-off* entre eficiência e qualidade final do efluente tratado, incluindo o consumo de recursos e energia e as emissões atmosféricas.

O presente estudo conclui que a ETE UASB-WET apresenta maior potencial de impacto devido as emissões de gases estufa para a atmosfera e sua maior concentração de nutrientes no efluente final enviado para o corpo receptor. Conclui também que o uso do desinfetante químico reduz o desempenho ambiental das ETE.

A aplicação da ACV para avaliar o desempenho ambiental das ETE é uma oportunidade para auxiliar na tomada de decisão para implantação e operação das ETE e na elaboração de políticas públicas, que preconizem todos os impactos envolvidos nos sistemas de tratamento.

O estudo destaca a falta de estudos de ACV em ETE no Brasil, destacando a relevância desses estudos, diante da carência de esgotamento sanitário no país, que impacta na saúde pública e no ambiente. O maior desafio na aplicação da ACV em sistemas de tratamento de esgoto é a construção de um banco de dados representativo para a realidade brasileira, diante da falta de dados e métodos brasileiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAVALETT, O., CHAGAS, M.F., SEABRA, J.E.A., BONOMI, A. *Comparative LCA of ethanol versus gasoline in Brazil using different LCIA methods. International Journal Life Cycle Assessment*, v.18. p. 647–658, 2013.
2. COROMINAS, LI., 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*, v.47, p. 5480 – 5492, 2013.
3. DIXON, A., SIMON, M., BURKITT, T. *Assessing the environmental impact of two options for smallscale wastewater treatment: comparing a reedbed and an aerated biological filter using a life cycle approach. Ecological Engineering*, v.20, p. 297- 308, 2003.
4. EICKER M. O.; HISCHIER, R.; KULAY, L. A.; LEHMANN, M.; ZAH, R.; HURNI, H. *The applicability of non-local LCI data for LCA. Environmental Impact Assessment Review*, v. 30, p.192–199, 2010.
5. FOLEY, J., HAAS, D., HARTLEY, K., LANT, P. *Comprehensive life cycle inventories of alternative wastewater treatment systems. Water Research*. v.44, p. 1654 – 1666, 2010.
6. GALLEGO, A., HOSPIDO, I., MOREIRA, M. T., FEIJOO, G. *Environmental performance of wastewater treatment plants for small populations. Resources, Conservation and Recycling*, v.52, p. 931–940, 2008.
7. LOPES, T.A.S. *Avaliação do Ciclo de Vida de uma ETE composta por reator UASB seguido de wetlands construídos*. Salvador, 2014. Dissertação de mestrado - Escola Politécnica - Universidade Federal da Bahia, 2014.
8. LOPSIK, K. *Life cycle assessment of small-scale constructed wetland and extended aeration activated sludge wastewater treatment system. International Journal Environmental Science Technology*, 2013.
9. LUNDIN, M., BENGTTSSON, M., MOLANDER, S. *Life Cycle Assessment of Wastewater Systems: Influence of System Boundaries and Scale on Calculated Environmental Loads. Environmental Science and Technology*, v.34, 180-186, 2000.
10. PRÉ CONSULTANTS. *Introduction to LCA with SimaPro 8*. Califórnia, 2013.
11. REAP, J., ROMAN F, DUNCAN S, BRAS, B. *A survey of unresolved problems in life cycle assessment. Part 1: goal and scope and inventory analysis. International Journal Life Cycle Assessment*, v.13, p. 290–300, 2008.
12. RISCH, E., LOUBET, P., NÚÑEZ, M., ROUX, P. *How environmentally significant is water consumption during wastewater treatment: Application of recent developments in LCA to WWT technologies used at 3 contrasted geographical locations. Water Research*, v.57, p. 20 – 30, 2014.
13. VON SPERLING, M. *Níveis, processos e sistemas de tratamento de esgotos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Vol. 1. 4ª ed. p. 261 – 370. Belo Horizonte: Depto de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 2014.
14. ZANG, Y., LI, Y., WANG, C., ZHANG, W., XIONG, W. *Towards More Accurate Life Cycle Assessment of Biological Wastewater Treatment Plants: A Review. Journal of Cleaner Production*, 2015.