

## **VI-059 - UTILIZAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA EM SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

**Bernardo Costa Mundim<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PEA/UFRJ). Doutorando em Engenharia Ambiental no PEA/UFRJ.

**Isaac Volschan Junior**

Professor Titular do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

**Bettina Susanne Hoffmann**

Professora Adjunta do Departamento de Processos Orgânicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Travessa Jorge Fernandes, 65 - Centro - Monte Carmelo - MG - CEP: 38500-000 - Brasil - Tel: +55 (34) 99168-6255 - e-mail: [bernardo.mundim@gmail.com](mailto:bernardo.mundim@gmail.com)

### **RESUMO**

Os sistemas de esgotamento sanitário (SES) são imprescindíveis para minimizar e evitar a degradação ambiental, todavia, eles também geram impactos ambientais, os quais dependem da tipologia desses sistemas. Sendo assim, instrumentos que avaliam o desempenho ambiental de SES são necessários, sendo a avaliação do ciclo de vida (ACV) uma importante ferramenta para tal. Nesse contexto, este artigo teve como objetivo analisar a utilização da metodologia de avaliação do ciclo de vida em sistemas de esgotamento sanitário. A metodologia consistiu em pesquisar e selecionar estudos que contemplassem exclusivamente a ACV em todas as etapas do esgotamento sanitário. Os estudos foram pesquisados em bases de dados nacionais e internacionais através da combinação de diversas palavras-chaves, sendo que eles deveriam ser a partir de 2013. Após selecionar os estudos, avaliaram-se as características dos mesmos. Foram selecionados somente 2 artigos, que possuem diferentes abordagens. Conclui-se que: (i) apesar do método de ACV ser importante para avaliar o desempenho ambiental de um sistema, sua utilização no âmbito de SES ainda é muito incipiente no mundo; (ii) dados de entrada, unidade funcional e análise de incerteza devem ser bem definidos para se realizar adequadamente uma ACV; e, (iii) as etapas de coleta e transporte de esgoto sanitário não podem ser negligenciadas em estudos de ACV de SES.

**PALAVRAS-CHAVE:** ACV, Sustentabilidade, Esgotamento Sanitário.

### **INTRODUÇÃO**

Os sistemas de esgotamento sanitário (SES), que compreendem a coleta, o transporte e o tratamento de esgoto sanitário, são essenciais para minimizar e evitar a degradação da qualidade ambiental, uma vez que quando o esgoto sanitário não é coletado, transportado e tratado adequadamente, causa diversos impactos ambientais, como: doenças de veiculação hídrica, eutrofização de corpos d'água, toxicidade, depleção de oxigênio, etc. No entanto, apesar dos SES contribuírem para se ter um meio ambiente ecologicamente equilibrado, eles também geram impactos ambientais durante suas vidas úteis, da construção até a demolição. Dentre esses impactos, têm-se: mudanças climáticas, depleção hídrica, eutrofização, depleção de recursos minerais, transformação e uso de área natural (TSUTIYA E ALEM SOBRINHO, 2011; JORDÃO E PESSÔA, 2014; VON SPERLING, 2014).

Os impactos ambientais dependem das tipologias dos sistemas de esgotamento sanitário, que em geral podem ser classificados quanto à/ao (TSUTIYA E ALEM SOBRINHO, 2011; TCHOBANOGLIOUS E LEVERENZ, 2013; JORDÃO E PESSÔA, 2014; VON SPERLING, 2014):

- Gestão da infraestrutura de esgoto sanitário: sistema centralizado ou sistema descentralizado;
- Forma de coleta e transporte de esgoto sanitário: sistema unitário, sistema separador parcial ou sistema separador absoluto;

- Nível de tratamento de esgoto sanitário: preliminar, primário, secundário e terciário.

Nesse contexto, instrumentos que avaliam o desempenho ambiental de sistemas de esgotamento sanitários são necessários porque possibilitam caracterizar os impactos positivos e negativos associados às etapas do esgotamento sanitário, o que fornece subsídios para se tomar melhores decisões quanto a sustentabilidade de SES.

Dentre os instrumentos de avaliação ambiental, destaca-se a avaliação do ciclo de vida (ACV), que, ao longo das últimas décadas, ganhou popularidade como uma ferramenta de avaliação para a sustentabilidade ambiental (GUINÉE *et al.*, 2011). Tal fato pode ser evidenciado pelo crescente número de publicações e banco de dados que apoiam sua implementação desde o seu início na década de 1960 (COROMINAS *et al.*, 2013).

A ACV é uma metodologia para quantificar os aspectos ambientais e os impactos ambientais potenciais associados aos diversos estágios de um produto, serviço ou processo, através do levantamento e quantificação da energia e dos materiais necessários (entradas) e dos resíduos e das emissões liberados ao meio ambiente (saídas), desde a aquisição de matérias-primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem até a disposição final, isto é, do berço ao túmulo, expressão frequentemente utilizada nesta temática (ABNT, 2009a; COROMINAS *et al.*, 2013; GUTIERREZ, 2014).

No final dos anos 90, a pressão cresceu para padronizar as metodologias de ACV, o que levou ao desenvolvimento de uma metodologia geral de ACV na série 14000 da *International Organization for Standardization* (ISO) (COROMINAS *et al.*, 2013).

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) incorporou as normas técnicas ISO referentes à ACV, sendo: ABNT NBR ISO 14040 e ABNT NBR ISO 14044 (ABNT, 2009a, 2009b).

No âmbito da aplicação da avaliação do ciclo de vida em sistemas de esgotamento sanitário, destaca-se o estudo elaborado por Corominas *et al.* (2013), que apresenta uma revisão crítica de artigos relevantes publicados sobre o tema. Todavia, observa-se que dentre os 45 artigos analisados pelos autores, a grande maioria é dedicada para a aplicação da ACV em estações de tratamento de esgoto sanitário (ETEs), e somente 4 artigos contemplam de modo exclusivo todas as etapas que configuram um sistema de esgotamento sanitário.

## OBJETIVO

Analisar a utilização da metodologia de avaliação do ciclo de vida em sistemas de esgotamento sanitário.

## METODOLOGIA

O método escolhido para o desenvolvimento deste estudo foi a revisão integrativa porque possibilita a síntese e análise do conhecimento científico já produzido sobre a temática investigada. Além disso, permite que os leitores obtenham informações e, em consequência, avaliem a relevância dos procedimentos utilizados na elaboração da revisão bibliográfica (BOTELHO *et al.*, 2011).

De acordo com Botelho *et al.* (2011), o método da revisão integrativa é composta pelas seguintes etapas: (i) identificação do tema e seleção da questão de pesquisa; (ii) estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão; (iii) identificação dos estudos pré-selecionados e selecionados; (iv) categorização dos estudos selecionados; (v) análise e interpretação dos resultados; e, (vi) apresentação da revisão/síntese do conhecimento.

Ante as etapas supracitadas, preliminarmente, definiu-se que o tema a ser estudado seria a utilização da avaliação do ciclo de vida em sistemas de esgotamento sanitário. No entanto, os estudos a serem considerados deveriam ser a partir do ano de 2013 e contemplar exclusivamente a ACV em todas as etapas do esgotamento sanitário, dessa maneira, pretendeu-se selecionar somente estudos recentes e com enfoque em sistemas de esgotamento sanitário.

Para buscar os estudos sobreditos, utilizaram-se as seguintes combinações de palavras-chave: (i) *life cycle assessment + wastewater system*; (ii) *life cycle assessment + sewage system*; (iii) *LCA + wastewater system*; (iv)

LCA + *sewage system*; e, (v) LCA + UWS. É importante mencionar que os acrônimos LCA e UWS significam *life cycle assessment* e *urban wastewater system*, respectivamente.

Utilizando as combinações de palavras-chave descritas acima, buscaram-se artigos na *ScienceDirect* e *SpringerLink*. Escolheram-se essas bases de dados porque são internacionais e dispõem de textos completos, mediante o acesso remoto ao Portal de Periódicos da Capes.

Com intuito de contemplar também estudos na língua portuguesa, buscaram-se artigos na base de dados nacional SciELO, por meio das seguintes combinações de palavras-chave: (i) avaliação do ciclo de vida + sistema de esgotamento sanitário; (ii) avaliação do ciclo de vida + sistema de esgoto; (iii) ACV + sistema de esgotamento sanitário; (iv) ACV + sistema de esgoto; (v) ACV + SES. Além disso, pesquisaram-se artigos publicados nos Anais do VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, que ocorreu em junho de 2018.

Nesse contexto, selecionaram-se os estudos e leram-se os mesmos na íntegra. Dessa maneira, pôde-se extrair e analisar as principais informações de cada artigo, a saber: objetivo; país; fronteira do sistema; processos considerados; fases incluídas; unidade funcional; banco de dados do inventário do ciclo de vida (ICV); *software* de cálculos; método de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV); categorias de impacto ambiental; análise de incerteza; e, conclusões.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos critérios de inclusão e exclusão dos artigos e nas bases de dados, encontraram-se somente 2 estudos, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1: Objetivo e país das referências estudadas.**

REFERÊNCIA	OBJETIVO	PAÍS
Lam <i>et al.</i> (2015)	Comparar os impactos ambientais de sistemas de segregação de correntes e outras alternativas de sistemas de esgotamento sanitário	Japão
Risch <i>et al.</i> (2015)	Comparar os impactos ambientais gerados pela construção, operação e demolição de um sistema de esgotamento sanitário	França e Espanha

De acordo com a Tabela 1, observa-se que há poucos estudos que abordam a ACV e todas as etapas do esgotamento sanitário, exclusivamente. Tal fato corrobora com o estudo elaborado por Corominas *et al.* (2013), uma vez que esses autores identificaram somente 4 artigos dentre os 45 analisados que, de modo exclusivo, aplicam a ACV na totalidade dos sistemas de esgotamento sanitário. Os outros 41 artigos têm diferentes enfoques, como: tratamento de esgoto; tratamento, transporte e disposição de lodo; e, dentre outros.

Nesse sentido, infere-se que o uso da avaliação do ciclo de vida exclusivamente nas etapas de coleta, transporte e tratamento de esgoto sanitário ainda é muito incipiente no mundo, o que torna necessário o desenvolvimento de estudos nesse âmbito para promover a sustentabilidade dos SES.

Os autores veem a inferência sobredita com uma maior preocupação porque dentre as referências estudadas, nenhuma é brasileira, o que possivelmente demonstra que a ACV ainda não é considerada para avaliar o desempenho ambiental de sistemas de esgotamento sanitário no Brasil, apesar da ABNT dispor de normas ISO sobre ACV desde 2009 (ABNT, 2009a, 2009b).

Nota-se também que os países envolvidos no desenvolvimento da temática em questão são países desenvolvidos, provavelmente pelo fato de já possuírem níveis satisfatórios de esgotamento sanitário e, portanto, podem concentrar seus esforços na otimização do desempenho ambiental de SES.

Como mencionado anteriormente, a metodologia de avaliação do ciclo de vida é normatizada pela ISO, todavia, somente Risch *et al.* (2015) citaram e seguiram as orientações das normas. Sendo assim, entende-se que apesar da ACV ser normatizada pela ISO desde 1997 (ISO, 2019), não são todos os profissionais que utilizam as normas, o que não é o mais adequado, visto que a normatização é relevante porque define os princípios e a estrutura de uma ACV, o que possibilita que essa metodologia seja aplicada dentro de determinados requisitos e critérios.

A Tabela 2 apresenta a fronteira do sistema, processos considerados e fases incluídas de cada referência estudada.

**Tabela 2: Fronteira do sistema, processos considerados e fases incluídas das referências estudadas.**

REFERÊNCIA	FRONTEIRA DO SISTEMA	PROCESSOS CONSIDERADOS <sup>1</sup>	FASES INCLUÍDAS
Lam <i>et al.</i> (2015)	Coleta, transporte e tratamento de esgoto sanitário	SC+RE+TP+T1+T2+T3+TL+DL	Construção e operação
Risch <i>et al.</i> (2015)	Coleta, transporte e tratamento de esgoto sanitário	RE+EE+TP+T1+T2+T3+TL+DL	Construção, operação e demolição

<sup>1</sup> SC = segregação de correntes; RE = rede de esgoto; EE = estação elevatória de esgoto; TP = tratamento preliminar; T1 = tratamento primário; T2 = tratamento secundário; T3 = tratamento terciário; TL = tratamento de lodo; DL = disposição de lodo.

Ante a Tabela 2, constata-se que os artigos abordaram todas as etapas do esgotamento sanitário, o que era esperado, dado que selecionaram-se estudos que contemplassem apenas a coleta, transporte e tratamento de esgoto sanitário.

Verifica-se ainda que Lam *et al.* (2015) avaliaram a segregação de correntes, processo que faz parte dos sistemas descentralizados de esgotamento sanitário. Essa avaliação é bastante válida, pois, é imperativo que sistemas centralizados e descentralizados de esgotamento sanitários sejam avaliados e comparados a luz da sustentabilidade. Essa vertente vem sendo apreciada, conforme estudo elaborado por Thibodeu *et al.* (2014).

Quanto as fases incluídas, observa-se que o artigo elaborado por Risch *et al.* (2015) é mais completo por também considerar a fase de demolição. São poucos os estudos que incluem essa fase na ACV (COROMINAS *et al.*, 2013). De acordo com os resultados de Risch *et al.* (2015), não é possível inferir se a demolição pode ou não ser negligenciada porque esses autores unificaram os impactos ambientais gerados pela construção e demolição, apesar de tais impactos terem sido expressivos e, portanto, não negligenciáveis. Dessa maneira, estudos futuros que abordem separadamente os impactos ambientais de cada fase podem ser interessantes.

A unidade funcional, banco de dados do inventário do ciclo de vida, *software* de cálculos e método de avaliação do impacto do ciclo de vida de cada referência estudada são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3: Unidade funcional, ICV, *software* e AICV das referências estudadas.**

REFERÊNCIA	UNIDADE FUNCIONAL	ICV	SOFTWARE	AICV
Lam <i>et al.</i> (2015)	m <sup>3</sup> de esgoto tratado por pessoa por ano	Dados primários e dados secundários: literatura	Não especificado	LIME-2
Risch <i>et al.</i> (2015)	peças equivalentes por dia	Dados primários e dados secundários: literatura e Ecoinvent v2.2	SimaPro 7.3	ReCiPe Midpoint (H) e Endpoint (H) v1.07

Com base na Tabela 3, constata-se que as unidades funcionais adotadas foram diferentes, porém, podem ser correlacionadas. Unidades funcionais que envolvam pessoas equivalentes são as mais utilizadas em estudos de ACV que abordam o esgotamento sanitário (COROMINAS *et al.*, 2013). Assim sendo, infere-se que a seleção desse parâmetro depende do objetivo do estudo bem como da afinidade dos autores com as variáveis que compõem uma unidade funcional.

Todavia, entende-se que o m<sup>3</sup> de esgoto tratado seria a unidade funcional mais adequada porque a geração de esgoto por pessoa, que leva a pessoas equivalentes, depende de região, cultura, poder aquisitivo e etc., logo, dois valores iguais de pessoas equivalentes podem não representar a mesma geração de esgoto. Tal fato pode dificultar o entendimento bem como ocasionar interpretações equivocadas.

Todos os inventários de ciclo de vida possuem dados secundários, o que de fato é compreensível, pois, há diversas variáveis envolvidas na construção, operação e demolição de SES, consequentemente, muitas das vezes não se têm disponível informações, recursos e capacitação técnica para levantar, qualificar e quantificar dados primários.

No entanto, salienta-se a importância de utilizar dados que reflitam a realidade do caso em estudo para o desenvolvimento de uma ACV fidedigna, visto que os dados podem influenciar bastante no resultado final. Caso use dados secundários, sugere-se avaliá-los com criticidade.

Somente Risch *et al.* (2015) especificaram o *software* utilizado: o SimaPRO, que é um dos mais antigos a possibilitar a aplicação da ACV, estando mais consolidado (SIMAPRO, 2018).

Com relação aos métodos de AICV, constata-se que não há predominância de nenhuma metodologia, portanto, infere-se que sua utilização depende de diversos fatores, como: categorias de impacto ambiental contempladas, facilidade de entendimento e uso e dentre outros.

Lam *et al.* (2015) utilizaram as seguintes categorias de impacto ambiental: acidificação, eutrofização e mudanças climáticas.

Ao passo que Risch *et al.* (2015) optaram pelas seguintes categorias de impacto ambiental: acidificação terrestre; depleção da camada de ozônio; depleção de combustíveis fósseis; depleção de recursos minerais; depleção hídrica; ecotoxicidade de água doce; ecotoxicidade marinha; ecotoxicidade terrestre; eutrofização de água doce; eutrofização marinha; formação de material particulado; formação de oxidantes fotoquímicos; mudanças climáticas; radiação ionizante; toxicidade humana; transformação de área natural; uso de solo agrícola; e, uso de solo urbano. Ademais, esses autores consideraram ainda as três áreas de proteção, sendo: saúde humana, qualidade do ecossistema e escassez de recursos.

A grande diversidade de categorias de impacto ambiental, ou seja, o não consenso das referências estudadas quanto aos impactos ambientais associados aos SES, remete a dúvida de quais seriam os impactos ambientais realmente relevantes para esta temática. Essa dúvida se torna ainda mais pertinente pelo fato de que Lam *et al.* (2015) e Risch *et al.* (2015) não justificaram suas escolhas.

Nesse contexto, entende-se que é importante que a seleção das categorias de impacto ambiental leve em conta o objetivo do estudo e as particularidades do local onde se pretende realizar uma ACV.

No que tange a incerteza dos resultados de cada referência estudada, somente Risch *et al.* (2015) realizaram análise de incerteza através da *Pedigree Matrix* e Monte Carlo. Infere-se que é pertinente a realização de análise de incerteza em estudos de ACV, posto que é um procedimento sistemático para quantificar a incerteza introduzida nos resultados de uma análise de inventário do ciclo de vida pelos efeitos cumulativos da imprecisão dos modelos, incerteza das entradas e variabilidade dos dados (ABNT, 2009a).

Por fim, têm-se as conclusões dos artigos:

- Lam *et al.* (2015) concluíram que o sistema que contempla o processo de segregação de correntes teve o melhor desempenho em todas as categorias de impacto ambiental consideradas. Além disso, os resultados demonstraram que os impactos ambientais gerados nas fases de construção dos sistemas foram menores do que os gerados nas fases de operação em todas as categorias de impacto ambiental selecionadas;
- Risch *et al.* (2015) concluíram que quando se realiza um inventário abrangente das etapas de coleta e transporte de esgoto sanitário, tais etapas contribuem de maneira significativa para a geração de impactos ambientais. Neste estudo, elas tiveram maiores contribuições do que a etapa de tratamento de esgoto sanitário em metade das categorias de impacto ambiental selecionadas. Os autores concluíram ainda que a fase de construção do sistema de coleta e transporte de esgoto foi a maior responsável por 2 das 3 áreas de proteção, a saber: saúde humana e qualidade do ecossistema, enquanto para a escassez de recursos, a fase de construção e operação da estação de tratamento de esgoto foi a principal contribuinte.

Ante as conclusões supramencionadas, nota-se que os artigos obtiveram resultados divergentes no âmbito dos impactos ambientais gerados pelas fases de construção e operação de um sistema de esgotamento sanitário. Porém, destaca-se que os sistemas de esgotamento sanitário estudados por Lam *et al.* (2015) visava atender 2000 habitantes numa área de 20 hectares. Já o sistema de esgotamento sanitário avaliado por Risch *et al.* (2015) objetivava atender 5200 habitantes numa área de 240 hectares.



É importante salientar que os resultados obtidos por Risch *et al.* (2015) foram contestados por Langeveld (2015), que concluiu que os impactos ambientais gerados pela coleta e transporte de esgoto sanitário não seriam tão relevantes se suas vidas úteis fossem maiores (50 a 100 anos) e se suas tipologias e construções fossem diferentes.

Nesse cenário, infere-se que a configuração do sistema de esgotamento sanitário influencia na geração de impactos ambientais, inclusive as etapas de coleta e transporte de esgoto sanitário, logo, tais etapas não podem negligenciadas em estudos de ACV de SES, conforme constatado por Risch *et al.* (2015).

## CONCLUSÕES

Este artigo tem como objetivo analisar a utilização da metodologia de avaliação do ciclo de vida em sistemas de esgotamento sanitário, com seu desenvolvimento pôde-se concluir que:

- A utilização da metodologia de ACV na coleta, transporte e tratamento de esgoto sanitário ainda é muito incipiente no mundo, tendo ainda menos importância no Brasil, o que não contribui para o desenvolvimento da sustentabilidade de SES;
- A unidade funcional mais utilizada em estudos de ACV que abordam o esgotamento sanitário é pessoas equivalentes. No entanto, entende-se que o m<sup>3</sup> de esgoto tratado seria a unidade funcional mais adequada;
- Dados secundários são bastantes utilizados no desenvolvimento das avaliações do ciclo de vida, o que é compreensível pelas diversas variáveis envolvidas na construção, operação e demolição de um SES, todavia, destaca-se a importância de utilizar dados que refletem a realidade do caso em estudo, para que se tenha uma ACV fidedigna;
- Diversas categorias de impacto ambiental são utilizadas, o que deixa a dúvida de quais impactos ambientais associados aos SES seriam de fato pertinentes para esta temática;
- A análise de incerteza é relevante em estudos de ACV para quantificar a incerteza introduzida nos resultados de uma análise de inventário do ciclo de vida;
- As etapas de coleta e transporte de esgoto sanitário não podem negligenciadas em estudos de ACV de sistemas de esgotamento sanitário.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.
2. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009b.
3. BOTELHO, L.L.R., CUNHA, C.C.A., MACEDO, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. *Gestão e Sociedade*, v. 5, n. 11, p. 121-136, ago. 2011.
4. COROMINAS, Ll., 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, n. 15, p. 5480-5492, jul. 2013.
5. GUINÉE, J.B., HEIJUNGS, R., HUPPES, G., ZAMAGNI, A., MASONI, P. *Life cycle assessment: past, present, and future. Environmental Science and Technology*, v. 45, n. 1, p. 90-96, 2011.
6. GUTIERREZ, K.G. Análise e gerenciamento de impactos ambientais no tratamento de esgoto doméstico mediante avaliação de ciclo de vida. Belo Horizonte, 2014. Tese de Doutorado-Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos-Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
7. ISO – *International Organization for Standardization*. ISO 14040:1997. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/23151.html>>. Acesso em: 24 mar. 2019.
8. JORDÃO, E.P., PESSÔA, C.A. Tratamento de esgotos domésticos. 7. ed. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014. 1050 p.
9. LAM, L., KURISU, K., HANAKI, K. *Comparative environmental impacts of source-separation systems for domestic wastewater management in rural China. Journal of Cleaner Production*, v. 104, p. 185-198, 2015.

10. LANGEVELD, J. *Comment on "Life cycle assessment of urban wastewater systems: Quantifying the relative contribution of sewer systems"*. *Water Research*, v. 84, p. 375-377, 2015.
11. RISCH, E., GUTIERREZ, O., ROUX, P., BOUTIN, C., COROMINAS, L. *Life cycle assessment of urban wastewater systems: Quantifying the relative contribution of sewer systems*. *Water research*, v. 77, p. 35-48, 2015.
12. SIMAPRO. SimaPro. Disponível em: <<https://simapro.com/>>. Acesso em: 11 out. 2018.
13. TCHOBANOGLOUS, G., LEVERENZ, H. *The rationale for decentralization of wastewater infrastructure*. In: LARSEN, T.A., UDERT, K.M., LIENERT, J. *Source separation and decentralization for wastewater management*. Londres: IWA Publishing, 2013. p. 101-115.
14. THIBODEAU, C., MONETTE, F., GLAUS, M. *Comparison of development scenarios of a black water source-separation sanitation system using life cycle assessment and environmental life cycle costing*. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 92, p. 38-54, 2014.
15. TSUTIYA, M.T., ALEM SOBRINHO, P. *Coleta e transporte de esgoto sanitário*. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011. 548 p.
16. VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 472 p.