

II-596 - ANÁLISE DE GANHOS AMBIENTAIS NA OPERAÇÃO DE ETE DESCENTRALIZADA POR MEIO DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

Luciano Matos Queiroz⁽¹⁾

Professor Associado do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA.

Lucas Virgens dos Santos

Engenheiro Sanitarista e Ambiental. Mestre em Engenharia Industrial pela Escola Politécnica da UFBA.

Sabrina Ribeiro do Amaral

Engenheira Química. Mestre em Meio Ambiente, Águas e Saneamento pela Escola Politécnica da UFBA.

Daniele Vital Vich

Professora Adjunta do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Asher Kiperstok

Professor titular do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA.

Endereço⁽¹⁾: Rua Prof. Aristides Novis, 02, 4º andar, sala 9, Federação, Salvador, Bahia - e-mail: lucas.vs@outlook.com

RESUMO

O desempenho ambiental das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) é condicionado unicamente ao atendimento aos padrões descritos pela Resolução CONAMA 430/2011 e, portanto, não é levada em consideração uma visão ampliada de todos os impactos ocorridos ao longo do ciclo de vida operacional. A pesquisa, do tipo estudo de caso, objetivou avaliar os potenciais impactos ambientais de ciclo de vida associados aos distintos cenários de operação de uma ETE descentralizada que trata os esgotos gerados por uma unidade de ensino, situada em Salvador, Bahia. Dois cenários de operação foram considerados. No primeiro, a ETE operou conforme a sua concepção original, ou seja, reatores UASB seguidos de um filtro aerado de leito submerso, e no segundo, os compressores do FAS foram desligados e a ETE passou a operar como reatores UASB seguidos de um filtro anaeróbio. O estudo revelou que a concepção anaeróbio/aeróbio apresentou melhor desempenho ambiental avaliado por meio da ferramenta de ciclo de vida em função das menores quantidades de nutrientes e gases dispostas no meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação de ciclo de vida, Desempenho ambiental, Estação de tratamento de esgotos, Tratamento descentralizado.

INTRODUÇÃO

Embora observem-se avanços significativos desde o início da sua utilização, os sistemas centralizados de coleta e tratamento de esgotos apresentam limitações para a universalização do atendimento com esses serviços em decorrência dos elevados custos de implantação, operação e manutenção, além da intrínseca complexidade operacional que dificulta a sua aplicação em pequenas cidades e em localidades isoladas.

Portanto, as estações de tratamento de esgotos (ETE) descentralizadas estão cada vez mais disseminadas e implantadas nas grandes e pequenas cidades mundiais. Quando comparadas às ETE centralizadas, apresentam as vantagens de ocupar menores espaços, menores custos de implantação, de apresentarem uma operação menos complexa, possibilitarem a implantação em módulos e facilitarem a adoção da prática do reúso da água tratada no local.

No Estado da Bahia, em geral, o tratamento descentralizado dos esgotos domésticos é exigido pelo órgão ambiental competente para a implantação de um empreendimento que produza uma vazão concentrada de esgotos, seja comercial ou residencial, em locais onde inexiste rede de coleta e transporte de esgotos sanitários, de forma a mitigar os impactos ambientais provocados pela disposição final do efluente gerado. Nessas ETE, geralmente, adota-se a combinação de processos de tratamento anaeróbio/aeróbio, dada a facilidade e o baixo custo operacional dos sistemas anaeróbios e a incapacidade desses em atender aos requisitos da legislação ambiental. Todavia, o uso de processos aeróbios no polimento de efluente anaeróbio, demanda uma operação

qualificada, além de elevado investimento energético. Portanto, a combinação de distintos processos anaeróbios de tratamento nas ETE descentralizadas, pode ser operacional e ambientalmente atrativa, tendo em vista que apresenta operação simplificada e menor consumo de energia.

No Brasil, o desempenho ambiental das ETE, sejam centralizadas ou não, é condicionado apenas ao atendimento aos requisitos descritos pela Resolução CONAMA 430/2011 e, portanto, não leva em consideração uma visão ampliada de todos os impactos ambientais ocorridos ao longo do ciclo de vida operacional da ETE. Assim, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) mostra-se uma ferramenta capaz de realizar um estudo mais detalhado sobre todos os impactos causados, desde a chegada do esgoto à ETE, até o seu descarte final, de modo a facilitar o processo de tomada de decisão, não somente entre unidades de tratamento compactas ou convencionais, como também, sob distintas situações operacionais.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi comparar o desempenho ambiental para dois cenários operacionais (anaeróbio/aeróbio e anaeróbio/anaeróbio) de uma ETE descentralizada, que trata os esgotos gerados por uma unidade de ensino, por meio da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

MATERIAL E MÉTODOS

A ETE estudada situa-se nas coordenadas 12°56'9,23" S e 38°24'4,98" O e trata os esgotos gerados por uma instituição de ensino com população flutuante de 1.500 estudantes e 82 funcionários. Conforme a sua concepção original, a ETE é constituída de tratamento preliminar, seguido de dois reatores anaeróbios, um filtro aerado de leito submerso (FAS), um decantador secundário, um filtro de areia e um tanque de desinfecção com aplicação de cloro. A vazão média de esgotos afluente à ETE é igual a 19,2 m³/dia. A Tabela 1 mostra as principais características dos reatores que compõem a ETE.

Tabela 1: Características físicas e operacionais do processo de tratamento de esgotos na ETE.

Etapa de tratamento	Especificações	Altura útil (m)	Volume útil (m ³)	Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) teórico
Gradeamento + caixa de areia + estação elevatória de esgoto	Grades grossas, com espaçamento de 4 cm; caixa de areia circular; duas bombas submersíveis	-	-	-
Reator anaeróbio 1	Reator em PRFV	2,5	14,5	8 horas
Reator anaeróbio 2	Reator em PRFV	2,5	14,5	8 horas
Filtro aerado de leito submerso	Reator em PRFV, preenchido com elementos plásticos	-	10,0	1,4 horas
Decantador secundário	Reator em PRFV	-	7,5	1,4 horas
Tanque de pressurização	Reator em PRFV	-	2,0	30 minutos
Filtro de areia	-	-	-	-
Tanque de desinfecção	Reator em PRFV	-	2,0	30 minutos

Legenda: PRFV – Plástico reforçado com fibra de vidro

Durante o estudo, ocorreram duas etapas de monitoramento. O período compreendido entre os dias 11/07/2017 e 29/08/2017, convencionou-se denominar por Cenário 1 (C1), durante o qual a ETE funcionou conforme a sua concepção original, ou seja, como um sistema combinado anaeróbio/aeróbio, e o período compreendido entre os dias 04/09/2017 e 04/12/2017, por Cenário 2 (C2), no qual o sistema de aeração forçada do FAS foi desligado e a ETE passou a funcionar como um sistema combinado anaeróbio/anaeróbio.

Para a análise do desempenho ambiental de ambos os cenários operacionais da ETE, realizou-se a ACV por meio da aplicação da metodologia descrita pela série de normas ISO 14.040/2009 e 14.044/2009 (ABNT,

2009a; ABNT, 2009b). A unidade funcional definida no estudo, assim como o fluxo de referência, foi o volume (m^3) de esgoto tratado, ao longo de 20 anos, pois se trata da unidade funcional mais utilizada nos estudos de ACV de ETE (COROMINAS et al., 2013; LOPES et al., 2017). A fronteira de primeiro plano do sistema de produto incluiu o inventário da ETE a partir da chegada do esgoto bruto até o ponto de lançamento do efluente tratado no corpo receptor.

Além da metodologia proposta pela série de normas ISO 14.040/2009 e 14.044/2009, adotou-se também a metodologia do cone invertido (KIPERSTOK et al., 2009), a qual apresenta natureza iterativa, ou seja, à medida que novas informações sobre o objeto de estudo são obtidas e novas verificações tornam-se necessárias, são realizadas novas rodadas no software de ACV, com o objetivo de melhorar a análise. A Figura 1 mostra o desenho esquemático dessa metodologia.

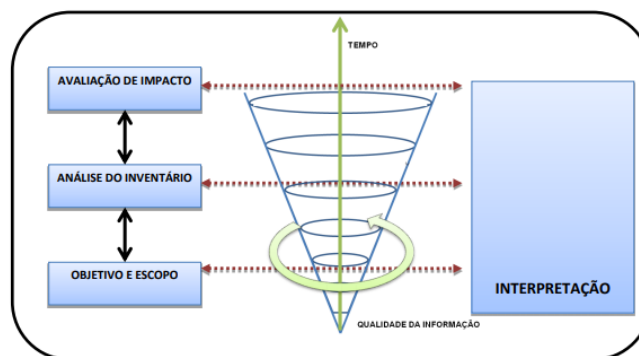


Figura 1: Desenho esquemático descritivo da metodologia de cone invertido.

A fronteira de segundo plano englobou as cadeias produtivas envolvidas na produção de energia e insumos, cujos dados foram obtidos por meio do banco de dados do Ecoinvent® (WERNET et al., 2016) versão 3.3 (MORENO et al., 2016). As fases de construção e descomissionamento da ETE não foram consideradas no estudo, tendo em vista que os impactos de ciclo de vida da fase de construção são sensivelmente inferiores àqueles da fase de operação e que os impactos da fase de descomissionamento são desprezíveis, em relação aos impactos da fase de operação (LOPES et al., 2017). Ademais, não foi possível obter dados sobre a etapa construtiva da ETE estudada. A Figura 2 mostra a fronteira do sistema de primeiro plano da ETE estudada.

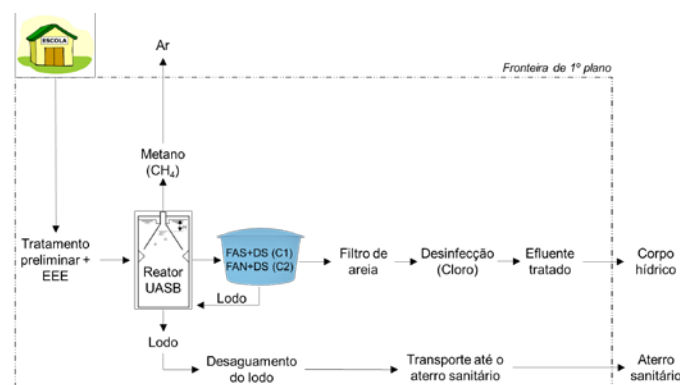


Figura 2: Fronteira do sistema dos cenários de operação da ETE.

Para a realização da ACV, utilizou-se o software SimaPro® 8.4 (GOEDKOOOP et al., 2016), um dos mais utilizados mundialmente nos estudos de ACV aplicados ao tratamento de esgotos (COROMINAS et al., 2013; LOPES et al., 2017) e que inclui uma vasta gama de banco de dados e métodos de avaliação dos impactos do ciclo de vida. Como método de avaliação dos impactos de ciclo de vida (AICV) foi utilizado o CML-IA baseline v3.03 (GUINÉE et al., 2002), para as categorias de impacto *midpoint* aquecimento global, eutrofização, toxicidade humana, ecotoxicidade de água doce e ecotoxicidade marinha. A escolha dessas categorias foi baseada na relação entre as mesmas e as atividades da ETE. Além disso, Corominas et al. (2013) e Lopes et al. (2017) apontam que essas categorias de impacto são as principais avaliadas nos estudos de ACV de ETE. Para a construção do inventário de cada cenário operacional da ETE, de forma a quantificar e

correlacionar todas as entradas e saídas com a unidade funcional, foram adotadas as seguintes premissas:

- O volume total de esgoto tratado foi obtido a partir do valor da média das vazões registradas em um medidor de vazão instalado na ETE multiplicada pelo período de ciclo de vida considerado;
- No Cenário 1, adotou-se a dosagem de 10 mg/L da solução de hipoclorito de sódio no efluente final, devido à ausência de dados em escala real. Já para o Cenário 2, utilizou-se a dosagem de 30 mg/L, a qual foi obtida por Silva (2018) ao realizar um estudo na mesma ETE sobre a demanda de cloro necessária à redução da concentração de bactérias do grupo Coliformes e *Escherichia coli* no efluente final anaeróbio/anaeróbio. Dessa forma, ao se multiplicar a vazão de dosagem pela densidade da solução de hipoclorito de sódio a 15% (1.200 kg/m³) e pelo período de vida útil da ETE, obteve-se o quantitativo total da solução de hipoclorito de sódio, ao longo do ciclo de vida;
- Os dados do consumo de eletricidade de cada cenário foram calculados a partir das potências de cada equipamento, multiplicadas pelos respectivos tempos médios de funcionamento;
- Para o cálculo da quantidade de lodo transportada para disposição em aterro sanitário, calculou-se a massa de sólidos retirada do sistema, considerando uma idade do lodo de 60 dias. Além disso, foi considerado o desaguamento do mesmo por meio de *bags*, de modo a atingir um teor de sólidos de 30%. A distância considerada entre a ETE e o Aterro Metropolitano Centro é igual a 32 km;
- O cálculo da estimativa de produção de biogás nos reatores anaeróbios foi realizado com o auxílio do software ProBio 1.0 (POSSETTI et al., 2015);

Os dados qualitativos do efluente final foram obtidos a partir dos valores das médias das concentrações de demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total *Kjeldahl* (NTK), fósforo total e sólidos em suspensão totais (SST), obtidos a partir do monitoramento semanal do efluente tratado da ETE. A concentração de cloro residual no efluente final no Cenário 1 foi estimada em 0,5 mg/L. Já a quantidade de cloro residual do Cenário 2 foi calculada a partir do resultado do estudo de Silva (2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra os inventários dos cenários de operação da ETE.

Tabela 2: Inventários de ciclo de vida para os cenários de operação da ETE.

	Fluxo	Quantidade C1	Quantidade C2	Correlação C1	Correlação C2	Fonte
Entradas	Hipoclorito de sódio	11.212,80 kg	33.638,40 kg	0,080 kg/m ³	0,240 kg/m ³	C1 - Estimado; C2: Silva (2018)
	Consumo de Eletricidade	317.827,40 kWh	92.987,40 kWh	2,268 kWh/m ³	0,663 kWh/m ³	Calculado
	Transporte do lodo para o aterro	106.262,17 kg.km	106.262,17 kg.km	0,758 kg.km/m ³	0,758 kg.km/m ³	Calculado
Saídas	Metano	9.081,68 kg	14.339,50 kg	0,065 kg/m ³	0,102 kg/m ³	Calculado
	DQO	19.253,78 kg	29.172,90 kg	0,137 kg/m ³	0,208 kg/m ³	
	Sólidos em suspensão	7.090,69 kg	4.912,61 kg	0,051 kg/m ³	0,035 kg/m ³	Análises físico-químicas
	NTK	16.943,94 kg	17.623,72 kg	0,121 kg/m ³	0,126 kg/m ³	
	Fósforo total	1.356,75 kg	1.505,32 kg	0,010 kg/m ³	0,011 kg/m ³	
	Cloro residual	70,08 kg	1.289,47 kg	0,001 kg/m ³	0,009 kg/m ³	C1 - Estimado; C2: Silva (2018)

As principais diferenças entre os inventários dos cenários analisados estão relacionadas ao consumo de eletricidade, ao uso da solução de hipoclorito de sódio, às concentrações de matéria orgânica e nutrientes presentes no efluente tratado e às emissões de metano para o ar.

O efluente tratado no Cenário 2, embora tenha atendido aos padrões para o lançamento de efluente de ETE descritos pela Resolução CONAMA 430/2011, apresentou maiores concentrações de DQO e nutrientes, em relação ao Cenário 1. Esse resultado já era esperado, tendo em vista que a combinação de processos anaeróbios de tratamento não é capaz de remover nitrogênio do esgoto bruto, bem como apresenta menor eficiência de remoção de matéria orgânica, em comparação com a combinação de processos anaeróbios e aeróbios de tratamento.

As emissões de metano foram maiores no Cenário 2, em função do aumento da eficiência de remoção da DQO do esgoto bruto observado nos reatores anaeróbios ao longo do monitoramento. Em relação ao uso da solução de hipoclorito de sódio, a dosagem requerida para a desinfecção do efluente final no Cenário 2, obtida por Silva (2018), foi superior àquela estimada para o Cenário 1, uma vez que se trata de um efluente tratado por meio da combinação de processos anaeróbios. A Avaliação dos Impactos de Ciclo de Vida (AICV) dos dois cenários de operação, com a contribuição relativa de cada processo, por categoria de impacto, é mostrada na Figura 3.

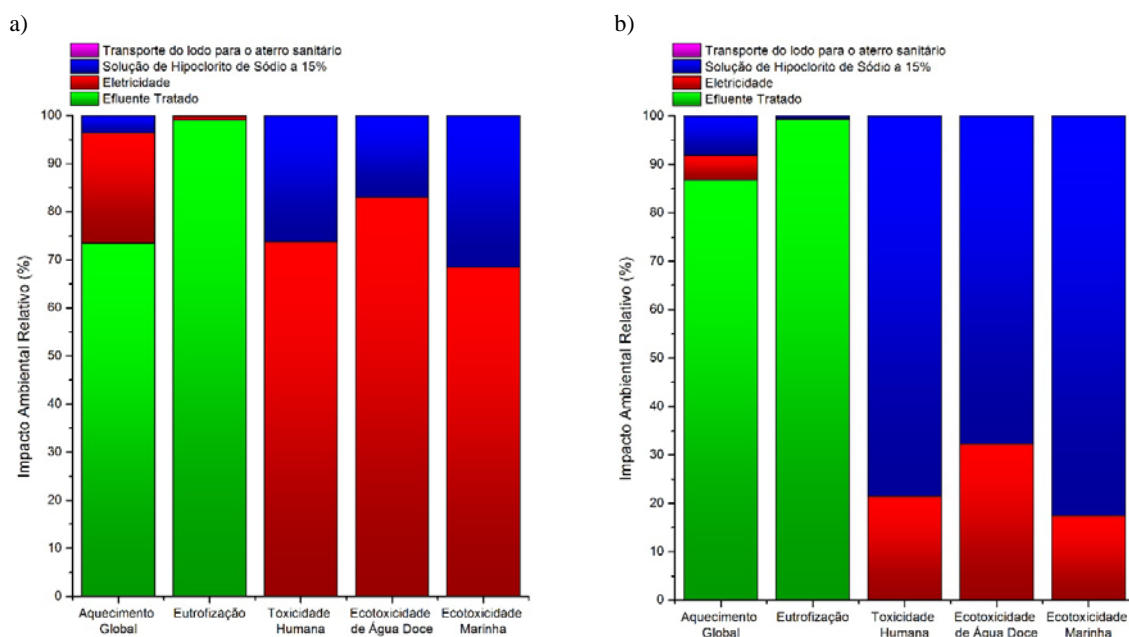


Figura 3: Impactos ambientais do ciclo de vida da operação da ETE: a) Cenário 1; b) Cenário 2.

Na categoria aquecimento global, o principal contribuinte dos impactos foi o descarte final do efluente tratado, com 74% no Cenário 1 e 87% no Cenário 2. Esse aumento de contribuição está relacionado ao maior volume produzido de metano pelos reatores anaeróbios no Cenário 2, uma vez que houve um aumento da eficiência de remoção da DQO do esgoto bruto durante essa fase, e à diminuição do consumo de eletricidade no Cenário 2, visto que o sistema de aeração do FAS foi desligado. Vale ressaltar que o ciclo produtivo de energia de baixa tensão no Brasil, considerado no cálculo dos impactos, é responsável por elevadas emissões de gases de efeito estufa, a exemplo do metano, dióxido de carbono e óxido nítrico.

Na categoria eutrofização, em ambos os cenários, quase a totalidade dos impactos foi provocada pelo descarte final do efluente tratado, dada as concentrações de nutrientes e matéria orgânica presentes no mesmo.

Nas categorias de toxicidade humana, ecotoxicidade de água doce e ecotoxicidade marinha, os principais contribuintes, em ambos os cenários, foram o consumo de eletricidade e o uso da solução de hipoclorito de sódio para desinfecção do efluente tratado. Foi verificada no Cenário 2 a diminuição da contribuição do consumo de eletricidade nos impactos, em comparação com o Cenário 1, resultante do desligamento do sistema de aeração do FAS e do aumento da dosagem requerida para a desinfecção do efluente tratado.

Para todas as categorias analisadas, o transporte do lodo para o aterro sanitário não apresentou contribuição expressiva. Embora essa atividade envolva a emissão de gases de efeito estufa e de substâncias tóxicas aos

diversos compartimentos ambientais, a quantidade de lodo gerada ao longo do ciclo de vida da ETE é muito pequena.

Ao se comparar os impactos normalizados dos cenários estudados, apresentados na Figura 4, embora o menor consumo de eletricidade verificado no Cenário 2 possa sugerir, à primeira vista, um melhor desempenho ambiental de ciclo de vida, o resultado obtido indicou que esse cenário apresentou maior impacto em quase todas as categorias avaliadas, provocados em função da maior concentração de nutrientes e da maior dosagem de hipoclorito de sódio no efluente final. Em relação ao Cenário 1, o aumento nos impactos normalizados foi de 33% na categoria aquecimento global, 8% na categoria eutrofização e 15% na categoria ecotoxicidade marinha.

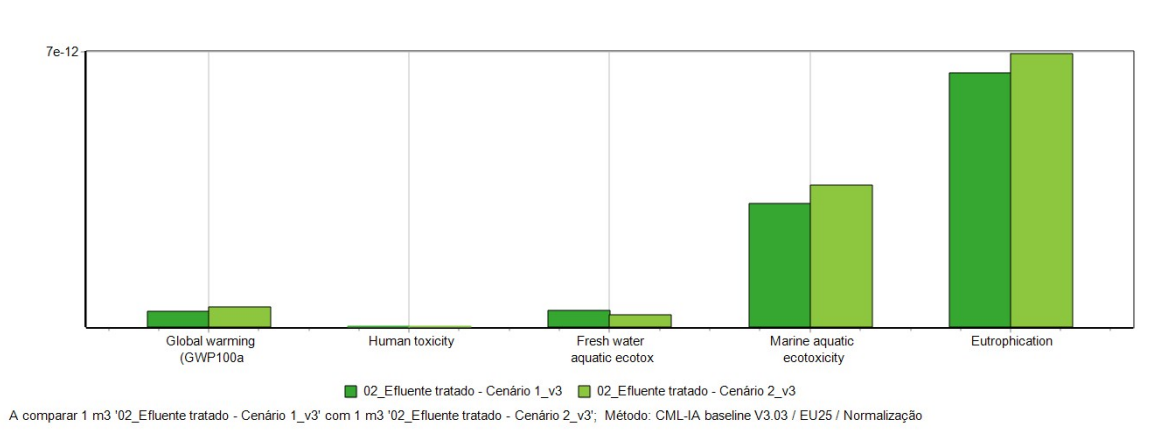


Figura 4: Normalização dos impactos de ciclo de vida.

Dessa forma, observa-se que apesar do consumo de eletricidade da ETE contribuir de forma significativa nos impactos do Cenário 1 nas categorias Toxicidade Humana, Ecotoxicidade de água doce e Ecotoxicidade marinha, a interrupção do fornecimento de oxigênio desligando o sistema de aeração do FAS não acarreta ganhos ambientais nos impactos de ciclo de vida, já que tal ação implica o aumento da dosagem requerida da solução de hipoclorito, para a devida inativação dos organismos patogênicos. Assim, ações de otimização do consumo de eletricidade da ETE no Cenário 1 podem representar melhorias no desempenho ambiental de ciclo de vida.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Em relação aos cenários reais de operação, o desligamento do sistema de aeração do FAS, embora seja vantajoso do ponto de vista econômico, não implicou melhoria no desempenho ambiental de ciclo de vida da ETE, uma vez que proporcionou aumento nos impactos normalizados das categorias aquecimento global (33%), eutrofização (8%) e ecotoxicidade marinha (15%), provocados em função da maior concentração de nutrientes e da maior dosagem de hipoclorito de sódio no efluente final, observadas durante a fase 2 de monitoramento. Assim, a combinação anaeróbio/aeróbio implica em melhor desempenho ambiental de ciclo de vida, entretanto, tal desempenho pode ser ainda melhorado, a partir de ações que promovam uma maior remoção de nitrogênio do efluente final e da otimização do consumo de energia da ETE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14.040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.
2. _____. NBR ISO 14.044: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009b.
3. 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, v. 47, n. 15, p. 5480-5492, 2013.



4. GOEDKOOPT, M.; OELE, M.; LEIJTING, J.; PONSIOEN, T.; MEIJER, E. Introduction to LCA with SimaPro, ed. Pré, Amersfoort, 2016.
5. GUINÉE, J.B.; GORRÉE, M.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; KLEIJN, R.; KONING, A. DE; OERS, L. VAN; WEGENER SLEESWIJK, A.; SUH, S.; UDO DE HAES, H.A.; BRUIJN, H. DE; DUIN, R. VAN; HUIJBREGTS, M.A.J. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISSO standards. Part III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 692 p., 2002.
6. LOPES, T.A.S.; KIPERSTOK, A.; ZANTA, V.M.; QUEIROZ, L.M. Revisão crítica da literatura sobre aplicação da Avaliação de Ciclo de Vida ao tratamento de esgotos. Revista DAE, v. 65, n. 208, p. 47-55, 2017.
7. MORENO-RUIZ, E.; LÉVOVÁ, T.; REINHARD, J.; VALSASINA, L.; BOURGAULT, G.; WERNET, G. Documentation of changes implemented in ecoinvent database v3.3. Ecoinvent, Zürich, Switzerland, 2016.
8. POSSETTI, G.R.C.; CHERNICHARO, C.A.L.; CARNEIRO, C.; RIETOW, J.C.; LUCKOW, R.F.; WAISS, T.C.F.; SOUZA, C.L.; LOBATO, L.C.S. ProBio - Programa de estimativa de produção de biogás em reatores UASB, v. 1.0, 2015.
9. SILVA, C.O. Oxidação por cloro como pós-tratamento de efluentes anaeróbios. 2018. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.
10. WERNET, G.; BAUER, C.; STEUBING, B.; REINHARD, J.; MORENO-RUIZ, E.; WEIDEMA, B. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. The International journal of life cycle assessment, v. 21, p. 1218-1230, 2016.