

AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DE UM REATOR EM BATELADAS SEQUENCIAIS

Patrícia Braun¹; Sebastião Roberto Soares¹; Guilherme Zanghelini^{1,2}

¹ Grupo de Pesquisa em Avaliação do Ciclo de Vida (CICLOG). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, Brasil.

² EnCiclo Soluções Sustentáveis Ltda. Palhoça, Brasil.

Resumo: os sistemas de tratamento de efluentes são utilizados há anos para reduzir os riscos de contaminação e os impactos no ambiente. Os investimentos em pesquisa na área resultaram em novas tecnologias, bem como o aprimoramento daquelas mais antigas. Porém, os esforços geralmente se limitam a atingir maiores eficiências, deixando de lado os impactos causados pela própria estação. Com isso, até pouco tempo atrás não se considerava os efeitos causados pelo próprio sistema. Portanto, os profissionais da área passaram a incorporar novos critérios e abordagens na escolha das técnicas disponíveis. Uma das formas de avaliar os impactos de maneira global, é através da Análise de Ciclo de Vida (ACV). A ACV é uma metodologia de apoio à tomada de decisão capaz de avaliar os impactos ambientais causados por um processo, produto ou serviço. O objetivo desse trabalho é avaliar o ciclo de vida de um sistema de tratamento de efluentes domésticos composto por reator em bateladas sequenciais, desde a sua construção, operação e posterior demolição. O reator estudado pertence ao Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos da UFSC e está localizado no campus Trindade em Florianópolis – SC. A unidade funcional é 1 m³ de efluente tratado. Utilizou-se o software *SimaPro* para realizar a Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV). O método escolhido para caracterização e normalização foi o CML 2000. Após uma análise geral de todas as categorias, o estudo direcionou para o aquecimento global, acidificação, depleção da camada de ozônio, eutrofização e demanda acumulada de energia. Os resultados da análise apontaram dois processos como gargalos do sistema, o consumo de energia na fase de operação e o gerenciamento do lodo.

Palavras-chave: Avaliação de Ciclo de Vida; ACV; Tratamento de Efluentes Domésticos; Reator em Bateladas Sequenciais.

1. INTRODUÇÃO

Um dos recursos naturais que mais sofre com a expansão da atividade industrial e uso indiscriminado de matérias-primas é a água. O uso desse elemento está relacionado com uma série de atividades, como produção de energia e alimentos, desenvolvimento industrial, atividades agrícolas, consumo humano, navegação, diluição e transporte de resíduos. A expansão populacional e a urbanização, juntamente com o aumento da necessidade para irrigação e produção de alimentos, são os fatores que provocam maior pressão sobre o uso dos recursos hídricos (TUNDISI, 2003).

Pensando no ciclo hidrológico, após os usos antrópicos, em sua grande maioria, tem-se alterações nos aspectos quantitativos e qualitativos da água. O lançamento desse resíduo líquido não tratado em rios e lagos causam a eutrofização, afetando assim a saúde humana e os custos para tratamento de água (TUNDISI, 2003). De acordo com Tucci (2008) a falta de coleta e tratamento de esgoto, e a deterioração da qualidade da água são alguns dos principais problemas no gerenciamento das águas urbanas.

As estações de tratamento de efluente têm como função melhorar a qualidade dos resíduos líquidos, reduzindo os impactos causados no ambiente. Diversas alternativas estão disponíveis para o tratamento de esgoto, cada uma com características específicas, variando, por exemplo, o consumo energético e de reagentes químicos, geração de lodo e emissões gasosas, tornando a escolha um grande desafio, uma vez que são muitas as variáveis que interferem na sustentabilidade ambiental dos processos (GUTIERREZ, 2014; DIXON; SIMON; BURKITT, 2003). Desta forma, indicar o melhor tratamento do ponto de vista do processo para auxiliar a tomada de decisão não é uma tarefa simples.

Na busca por tecnologias limpas, redução do consumo de matéria-prima e energia e uma produção sustentável existem diversas metodologias. Uma forma de realizar essa avaliação é através do estudo completo do ciclo de vida do produto, desde a aquisição da matéria-prima até seu descarte final. Nesse contexto, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) apresenta-se como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão, expandindo a visão tradicional, para uma um foco mais amplo, envolvendo toda a cadeia produtiva, ou seja, “do berço ao túmulo” (UNEP, 2011; USEPA, 2006, ABNT, 2009a).

A aplicação da ACV é reconhecida pela série ISO 14040 (ABNT, 2009a; ABNT, 2009b) que apresenta princípios e diretrizes para aplicação da ferramenta. A norma define quatro fases da aplicação da ACV: definição do objetivo e escopo, análise de inventário (ICV), avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV) e interpretação. Diversos autores de diversas áreas do conhecimento apontam a ACV como a metodologia de maior potencial para a avaliação de desempenho ambiental de produtos pela sua robustez e flexibilidade de aplicação. Guineé et al (2011) explicam que governos de todo o mundo incentivam o uso da ACV, que por sua vez tem se tornado um elemento central na política ambiental ou em ações voluntárias.

1.1 Tratamento de efluentes e o ciclo de vida

A diversidade de usos da água em uma comunidade, bem como a maneira em os resíduos são gerenciados no local, afeta diretamente na composição do efluente. Em geral, os componentes que exigem maior atenção são patógenos, matéria orgânica, óleos e graxas, nutrientes, compostos inorgânicos, e sólidos (VON SPERLING, 2007a; NATIONAL SMALL FLOWS CLEARINGHOUSE, 1997). São esses elementos que exigem que o efluente seja tratado antes de ser lançado nos corpos d’água, como rios, lagos e lagoas (VON SPERLING, 2014).

No Brasil, as estações de tratamento de efluentes (ETE) mais comuns restringem-se ao nível secundário, predominando os processos biológicos com foco na remoção de matéria orgânica e possivelmente nutrientes. A escolha do tratamento, além de visar atender critérios legais, depende de uma série de fatores, destacando critérios técnicos e econômicos. No entanto, von Sperling (2014) menciona outros aspectos como sustentabilidade ambiental e sustentabilidade da estação que devem ser levados em conta, porém relata que os mesmos não são considerados críticos na decisão, sendo a sustentabilidade ambiental mais importante em países desenvolvidos em relação aos países em desenvolvimento.

Um dos sistemas mais utilizados neste nível de tratamento é o lodos ativados. Existem diversas variantes do sistema, entre elas: lodos ativados convencional, aeração prolongada e fluxo intermitente (reator em batelada sequencial), podendo ser usado também como pós tratamento de efluentes anaeróbios (VON SPERLING, 2002). Os reatores em bateladas sequenciais (RBS) operam em fluxo intermitente, sendo compostos por um único tanque em que ocorrem todas as etapas do processo de lodos ativados. O RBS opera em ciclos formado por diversas etapas com duração definida. O processo básico envolve enchimento, reação, sedimentação, retirada e repouso (USEPA, 1999).

As principais vantagens desse sistema são a possibilidade de obter um efluente clarificado em apenas um tanque, ocupando pouca área; flexibilidade de operação, permitindo que o reator suporte grandes variações de carga; e possível redução de custos com produtos químicos. Dentre as desvantagens, destaca-se a exigência de mão de obra especializada e elevada sofisticação da operação, acarretando em alto consumo energético; elevado nível de manutenção; e presença de sólidos no efluente tratado, prejudicando a eficiência do processo (USEPA, 1999).

Nos sistemas biológicos, a oxidação da matéria orgânica presente no efluente resulta em novas células, CO₂ e/ou CH₄ e água (USEPA, 2010). Além desses, dependendo das condições de operação, o N₂O também pode ser gerado. O gás carbônico em processos aeróbios provém da degradação dos compostos orgânicos, do consumo de eletricidade na operação do sistema e/ou da linha de tratamento do lodo (GUPTA; SINGH, 2012). O gás metano é gerado nos processos de degradação anaeróbios, não sendo comum nos processos aeróbios. Porém, pode estar presente nos sistemas em o lodo é tratado por digestores anaeróbios (CAKIR; STENSTROM, 2005) O óxido nitroso é associado a degradação dos compostos nitrogenados, sendo mais comum durante a desnitrificação, que consiste na conversão do nitrato em nitrogênio gasoso e ocorre em condições anóxicas (DAUDT, 2015). Os processos microbiológicos são responsáveis por uma parcela significativa das emissões globais de N₂O (BLIEFERT; PERRAUD, 2001 apud TALLEC et. al., 2006). Parte da matéria orgânica presente no efluente é absorvida e convertida em biomassa. Esse subproduto do processo de tratamento é conhecido como lodo, e no caso de ser resultante do tratamento secundário, denomina-se lodo secundário. O sucesso do processo de tratamento de efluente pode ser prejudicado pela falta de controle do lodo gerado, pois esse material apresenta grande potencial poluidor se não tratado e destinado adequadamente (VON SPERLING, 2007a).

Os primeiros estudos de ACV aplicados ao tratamento de efluentes são da década de 90 (COROMINAS et al., 2013). O estado da arte dos estudos da ACV em sistemas de tratamento de esgoto apresentado por Gutierrez (2014) mostra que são recentes estes trabalhos e que não há consenso entre os pesquisadores em relação às variáveis adotadas e considerações assumidas. Renou et al. (2007) elaborou uma comparação entre construção, operação e demolição de uma ETE, incluindo variações no cenário de disposição do lodo.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o ciclo de vida de um sistema de tratamento efluentes doméstico composto por reator em bateladas sequenciais, envolvendo os processos de construção, operação e posterior demolição.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de produto definido neste trabalho é um processo de tratamento de efluentes doméstico, formado por Reator em Bateladas Sequenciais com Grânulos (RBSG), com capacidade de tratar 55 litros de efluente bruto por ciclo. O sistema de tratamento estudado localiza-se no campus Trindade da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e está sendo monitorado pelo Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos (LABEFLU) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. O sistema contém um poço de visita da CASAN, tanque de armazenamento, tanque intermediário com misturador e reator em bateladas sequencias com grânulos aeróbios (RBSG). A Figura 1 apresenta um esquema do piloto.

O reator opera em ciclos de quatro horas, sendo entre 3h30min à 3h35min com aeração mecânica. O volume útil do reator é de 98 litros, sendo constituído por uma coluna cilíndrica de acrílico, com 2,18 m de altura útil e 25 centímetros de diâmetro interno. A altura total do reator é de 3,00 m.

A unidade funcional estabelecida é um metro cúbico de esgoto tratado, considerando que o sistema garante eficiência mínima para atender os padrões de lançamento estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/11.

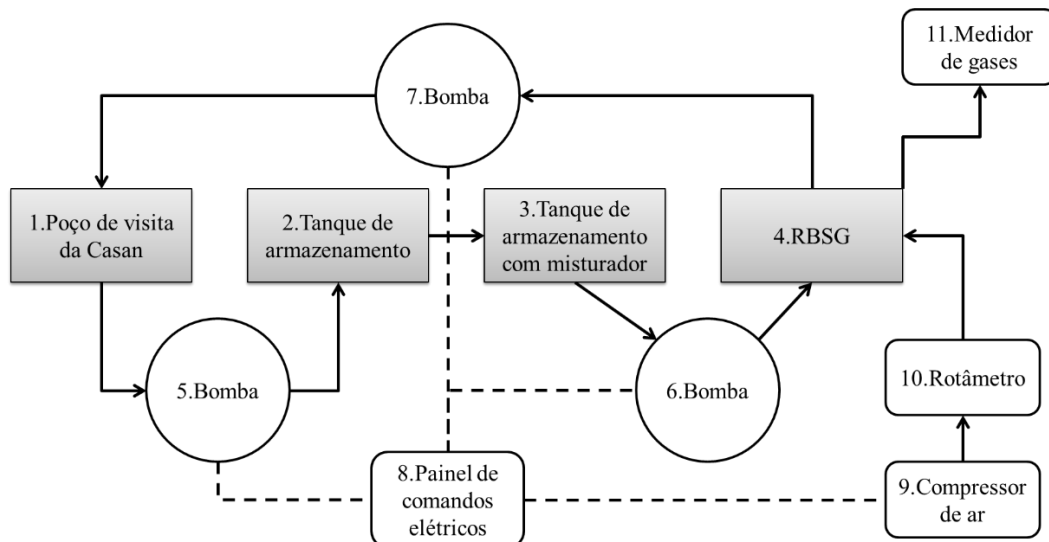


Figura 1. Esquema do processo de tratamento

Três etapas foram consideradas na fronteira do sistema: construção, operação e fim de vida. A Figura 1 apresenta o fluxograma com as entradas e saídas de cada uma das etapas elementares. A linha tracejada indica a fronteira do sistema.

- Na etapa de construção incluiu-se os principais materiais necessários para construção do sistema e do abrigo no qual o mesmo está instalado. As quantidades foram estimadas com base em manuais técnicos e lojas de materiais de construção. Não foram incluídas na análise os equipamentos eletromecânicos (bombas e compressor de ar) devido à dificuldade de encontrar dados sobre os produtos no mercado.
- Na etapa de operação considerou-se a emissão direta de gás carbônico e óxido nítrico, o transporte e destinação do lodo para aterro sanitário e o consumo de energia elétrica. Não foi incluído na fronteira do sistema a manutenção dos equipamentos.
- Para o fim de vida foi considerado a destinação dos resíduos de entulho para aterro, sem separação de possíveis materiais para reciclagem.

Os parâmetros de qualidade do efluente foram determinados duas vezes por semana durante o período de monitoramento, seguindo os procedimentos de análises recomendado pelo *Standard Methods* (APHA, 2005). As amostras coletadas foram analisadas no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC. Para este trabalho utilizou-se os valores médios relatados por Daudt (2015). O período de coletas realizadas pelo laboratório foi de 181 dias entre setembro de 2013 e março de 2014.

O consumo de energia foi anotado diariamente através do painel de controle. Dessa forma não foi possível separar o consumo de cada equipamento, uma vez que todas as bombas e o compressor estavam ligados ao painel.

O monitoramento da emissão de N_2O foi realizado por 97 dias através de medidor de gases. A frequência de medição foi duas vezes na semana. Com os dados coletados, verificou-se a emissão média por ciclo do reator.

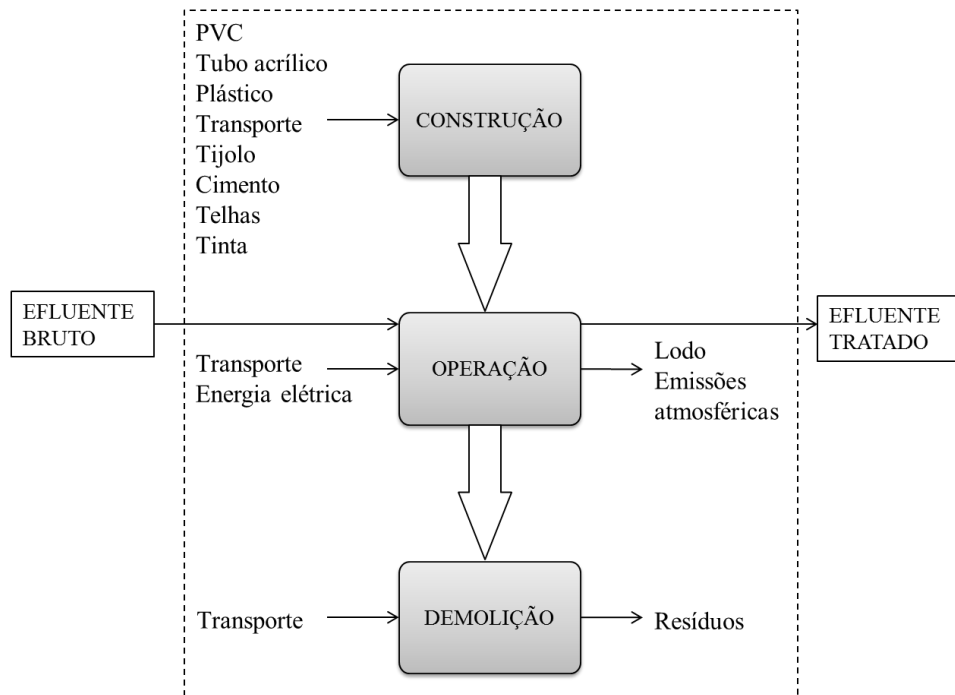


Figura 2. Fluxograma do processo

A emissão de gás carbônico foi calculada a partir de relação estequiométrica com a DBO_5 presente no efluente. De acordo com USEPA (2010) é emitido 44 kg de CO_2 para cada 32 kg de DBO_5 removida. Quando todos os dados foram levantados, os mesmos foram relacionados com a unidade funcional $1\ m^3$ de efluente tratado, considerando um período de 20 anos de operação (RENOU et. al., 2007; FOLEY et. al., 2010). Nesse caso, o volume total de efluente tratado foi de 2410,65 m^3 . Portanto, após efetuado o levantamento das entradas e saídas, dividiu-se os valores pelo volume total tratado no período.

O software utilizado para modelagem e a AICV foi o *SimaPro*. Entre os 45 estudos revisados por Corominas et al. (2013) o método mais utilizado é o CML, sendo usado em 19 dos 26 trabalhos que descreveram o método de AICV. Diante disso, os dados do inventário foram modelados através do método CML 2 *baseline* 2000, acrescido da categoria de demanda acumulativa de energia (DAE). Com relação as categorias de impacto, as mais utilizadas são: aquecimento global, acidificação e eutrofização (COROMINAS et. al., 2013). Devido ao alto consumo energético do sistema, considerou-se incluir a categoria de demanda acumulada de energia. Por fim, escolheu-se a depleção da camada de ozônio.

Três cenários foram analisados para a destinação final do lodo. Inicialmente, considerou-se o cenário de disposição em aterro sanitário. Posteriormente, como alternativas aos resultados dessa avaliação, elaborou-se outros cenários considerando a incineração e a disposição no solo.

3. RESULTADOS

O inventário de ciclo de vida contém a quantificação das entradas e saídas dos processos do sistema. Após a coleta de dados e os procedimentos de cálculo, elaborou-se o inventário. A Tabela 1 apresenta as entradas e saídas de cada etapa.

Os dados do inventário foram modelados com auxílio do software *SimaPro*, através do método CML 2000, acrescido da categoria de demanda acumulativa de energia (DAE). A Tabela 2 apresenta os resultados para as categorias definidas no escopo. Conforme

pode ser notado, em todas elas, predomina a etapa de operação variando entre, aproximadamente, 75% a 86% de contribuição.

Tabela 1. Inventário de ciclo de vida das três etapas, construção, operação e demolição

Fluxo	Descrição	Quantidade	Unidade
Construção			
PVC	Tubo	0,03650	kg/m ³
Tubo acrílico	PMMA	0,00345	kg/m ³
Plástico	Fibra de vidro, reforçado com resina poliéster	0,03879	kg/m ³
Tijolo	Cerâmica	3,00135	kg/m ³
Cimento		0,39927	kg/m ³
Telhas	Cerâmica	0,50281	kg/m ³
Tinta	Acrílico	0,00627	kg/m ³
Transporte	Dos materiais até o local	0,0243	tkm
Operação			
Energia elétrica	Bombas e compressor	30,73	kWh/m ³
Transporte	Do lodo até aterro	1,21	tkm
Lodo	Destinado em aterro	0,039	kg/m ³
Emissões atmosféricas	Óxido nítrico	0,00164	kg/m ³
Emissões atmosféricas	Gás carbônico	0,223	kg/m ³
Demolição			
Transporte	Destinado em aterro	0,179	tkm
Resíduos	Entulho	3,98	kg/m ³

A etapa de demolição se mostrou desprezível em relação as demais (construção e operação), sendo a maior contribuição na depleção da camada de ozônio com 2,89%. Nas demais categorias a demolição representa menos de 1%. Esse resultado é reflexo do cenário considerado nesta análise. Apesar da pequena participação nos impactos totais, a fase de demolição ainda possui margem para melhorias. Conforme mencionado por Renou et. al. (2007), a descaracterização de ETE depende das características locais, em muitos casos os tanques podem ser usados para outros fins, diminuindo consideravelmente o volume de entulho gerado. Além disso, não foi considerado a possibilidade de reciclagem dos materiais plásticos, por exemplo. Bonton et al. (2012) relatou ganhos ambientais para esta fase ao considerar a reciclagem do alumínio.

Conforme mencionado por Renou et al. (2007), a descaracterização de ETE depende das características locais, em muitos casos os tanques podem ser usados para outros fins, diminuindo consideravelmente o volume de entulho gerado. Além disso, não foi considerado a possibilidade de reciclagem dos materiais plásticos, por exemplo.

Tabela 2. Resultado da análise para todas categorias de impacto

Categoria de impacto	Construção		Operação		Demolição		Total
	Valor	%	Valor	%	Valor	%	
AC (kg SO ₂ eq)	0,0063	18,47%	0,0275	80,88%	0,0002	0,65%	0,0340
EU (kg PO ₄ ²⁻ eq)	0,0017	14,43%	0,0098	85,08%	5,64E-05	0,49%	0,0115
AG (kg CO ₂ eq)	1,6789	13,51%	10,6986	86,12%	0,0450	0,36%	12,4224
DCO (kg CFC-11 eq)	1,00E-07	30,38%	2,21E-07	66,72%	9,58E-09	2,89%	3,31E-07
DAE (MJ eq)	21,5381	23,34%	70,0087	75,86%	0,7343	0,80%	92,2811

A construção apresentou maior impacto nas categorias de depleção da camada de ozônio e demanda acumulada de energia, com respectivamente, 30% e 23% (Tabela 2). Renou et al. (2007) encontrou resultados semelhantes para essa etapa ao avaliar um

sistema de lodos ativados convencional, incluindo tratamento preliminar e gerenciamento do lodo.

A fase de operação é que representa maior contribuição em todas as categorias (Tabela 2). Em termos de valores absolutos, a categoria de aquecimento global apresenta resultado significativo, totalizando um impacto potencial de 12,42 kg CO₂ eq.

Embora possa haver variações na definição do escopo dos estudos de ACV para tratamento de efluentes, esse padrão entre a construção, operação e demolição é semelhante ao encontrado em outros trabalhos, por exemplo Vlasopoulos et al. (2006), Renou et al. (2008), Lundie, Peters e Beavis (2004), e Bonton et al. (2011).

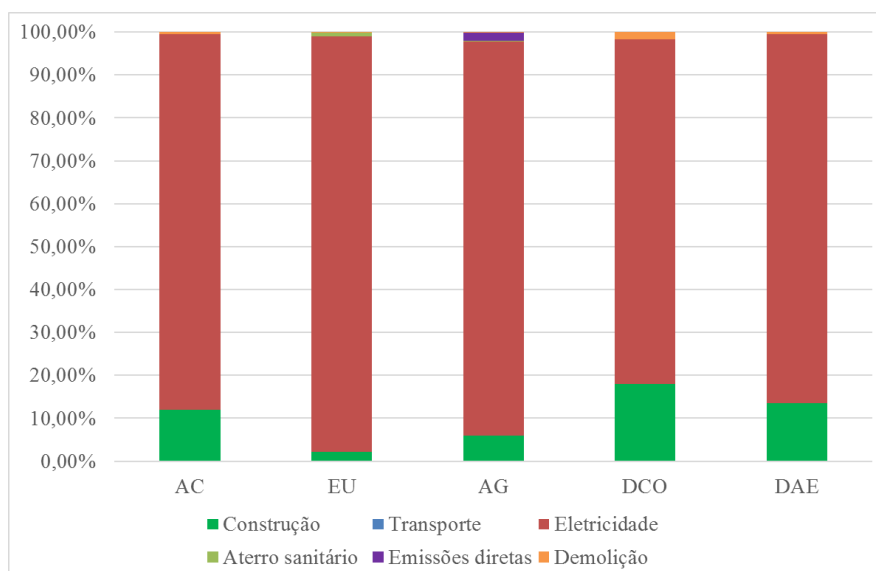


Figura 3. Gráfico normalizado para as cinco categorias consideradas neste estudo

A Figura 3 apresenta o gráfico para as categorias definidas no escopo deste trabalho, AC, EU, AG, DCO e DAE, com o desmembramento da fase de operação em transporte, eletricidade, aterro sanitário e emissões diretas.

O maior responsável pelos impactos na fase de operação é o consumo de energia direto, sendo este o principal gargalo do sistema. Sendo a matriz energética brasileira composta em cerca de 80% por hidrelétricas, têm-se os impactos dessa atividade associados as categorias. A decomposição da matéria que fica nas áreas alagadas contribui para as categorias de acidificação, eutrofização e aquecimento global. A operação das usinas também gera emissões atmosféricas que contribui para o aquecimento global (FRAGOMENI; GOELLNER, 2009).

As emissões de CO₂ e N₂O contabilizadas no inventário são responsáveis pelas emissões diretas na categoria de aquecimento global (Figura 3). No entanto, nota-se que apesar de serem significativas, representam menos de 2% da categoria. Isso mostra que outras atividades envolvidas no ciclo de vida deste processo apresentam maior potencial de poluição do que a operação do reator em si.

Apesar da disposição do lodo não ter resultado em grande participação nos impactos, optou-se por analisar outros cenários de disposição final deste resíduo, uma vez que em escala real o volume descartado seria potencialmente maior.

A Figura 4 apresenta a comparação dos três cenários. Todas as demais variáveis permaneceram iguais. O gráfico mostra que para o volume de lodo considerado para destinação não há grandes variações em termos de impactos ambientais para as três alternativas escolhidas nesta comparação. A Figura 4 indica a incineração como sendo uma alternativa menos impactante que as demais, em uma análise preliminar. Portanto, é

preciso realizar uma análise mais criteriosa da qualidade dos dados antes da tomada de decisão. Tchobanoglou e Kreith (2002) apresentam a incineração como grande potencial na redução de impactos, especialmente ao aproveitar a energia térmica do processo.

Além do mais, se considerar a substituição de fertilizante químico ao aplicar o lodo no solo, poderia haver alteração do cenário, possivelmente reduzindo os impactos desse método.

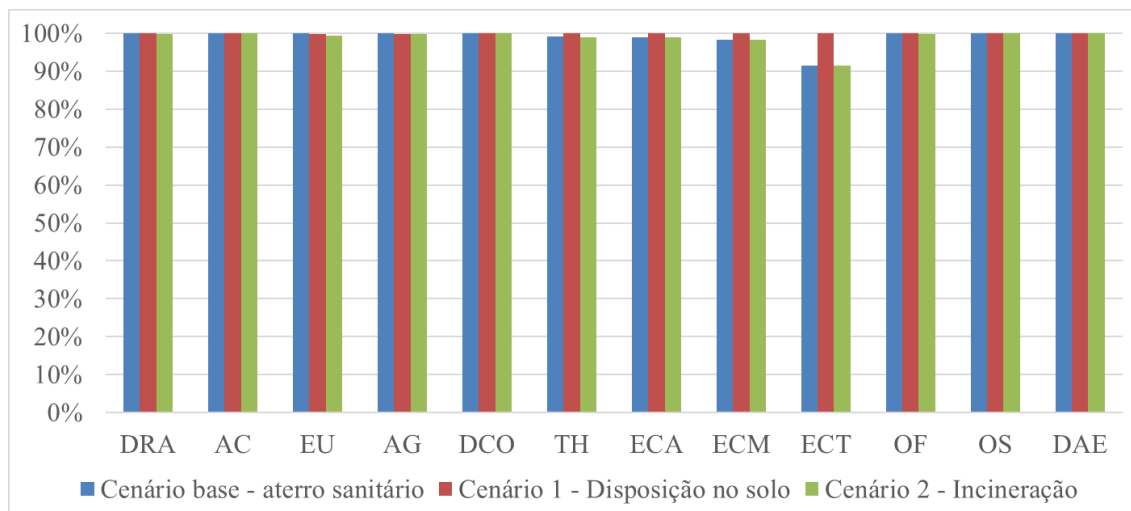


Figura 4. Comparação entre os três cenários

Outro fator que precisa ser levado em conta é em relação ao tratamento do lodo. Processo intermediários poderiam ser adotados, visando a redução no volume de material a ser destinado, bem como melhorando a qualidade e aumentando o potencial de utilização para adubo (VON SPERLING, 2007b). Neste caso, os processos devem ser analisados à luz da ACV para verificar os *trade-offs* entre ganhos e perdas ambientais.

4. CONCLUSÕES

A busca por melhores eficiências nos processos de tratamento de efluentes pode acarretar custos ao ambiente devido ao consumo energético e de produtos químicos. Avaliar a sustentabilidade das tecnologias existentes é uma forma de aprimorar os processos em termos de desempenho ambiental.

Conforme os resultados apresentados, o consumo de energia do processo foi um dos maiores responsáveis pelos impactos ambientais nas categorias avaliadas. Mesmo em categorias de impacto como o Aquecimento Global, onde as emissões diretas de CO₂ e N₂O-N do tratamento apresentavam potencial aparente de geração de impacto, a ACV demonstrou que os esforços de melhoria devem focar em outras frentes. Dessa forma, recomenda-se aprofundar os estudos considerando a possibilidade de utilização de outras fontes de energia, inclusive aproveitamento do biogás gerado no tratamento do lodo.

Apesar do lodo não ter sido um gargalo do processo, deve ser dada atenção a este resíduo pelo seu potencial poluidor, principalmente pela sua disposição em aterro e os efeitos causados pela degradação da matéria orgânica (lixiviado, emissões, etc.). Na busca pela sustentabilidade das estações, deve ser considerado este composto, visando reduzir o volume gerado, bem como o tratamento e disposição desse material. Dos cenários considerados para a destinação do lodo, a opção de incineração foi a que se mostrou melhor em termos de impactos ambientais em todas as categorias. Já disposição em aterro, mesmo com uma parcela de cogeração de energia, apresentou pior desempenho em relação as demais alternativas avaliadas.

Apesar das incertezas associadas ao estudo, percebe-se que a ACV é uma boa ferramenta para avaliar os impactos em sistemas de tratamento de efluentes. Por fim, ressalta-se que os resultados encontrados são condicionados as considerações assumidas para realização deste estudo.

5. REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR ISO 14040: **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a. 10 p.

ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR ISO 14044: **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida –Requisitos e orientações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b. 46 p.

APHA – American Public Healthy Association. Standard Methods for the examination of water and wastewater. Washington, 2005, 21ª ed.

BONTON, A. et al. Comparative life cycle assessment of water treatment plants. **Desalination**, v. 284, p. 42–54, 2012.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 430/11**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Oficial da União, 16 de maio de 2011, p. 89.

CAKIR, F.y.; STENSTROM, M.k. Greenhouse gas production: A comparison between aerobic and anaerobic wastewater treatment technology. **Water Research**, [s.l.], v. 39, n. 17, p.4197-4203, out. 2005. Elsevier BV.

COROMINAS, L. et al. Life cycle assessment applied to wastewater treatment: State of the art. **Water Research**, v. 47, n. 15, p. 5480–5492, 2013.

DAUDT, Gilberto Caye. Desempenho e emissões de óxido nitroso de reator em bateladas sequenciais com grânulos aeróbios para tratamento de esgoto sanitário. 2015. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

DIXON, Andrew; SIMON, Matthew; BURKITT, Tom. Assessing the environmental impact of two options for small-scale wastewater treatment: comparing a reedbed and an aerated biological filter using a life cycle approach. **Ecological Engineering**, [s.l.], v. 20, n. 4, p.297-308, set. 2003. Elsevier BV.

FOLEY, Jeffrey et al. Comprehensive life cycle inventories of alternative wastewater treatment systems. **Water Research**, [s.l.], v. 44, n. 5, p.1654-1666, mar. 2010. Elsevier BV.

FRAGOMENI, Claudia; GOELLNER, Claud. O impacto no meio ambiente pela atividade da geração de energia elétrica pelo uso de recursos hídricos. **Justiça do Direito**, [s.l.], v. 23, n. 1, p.76-85, jan. 2009.

GUINEÉ, J; HEIJUNGS, R; HUPPES, G; ZAMAGNI, A; MASONI, P; EKVALL, TO; RYDBERG, T. 2011. **Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future**. *Environ. Sci. Technol.* 2011, 45, 90–96.

GUPTA, Diksha; SINGH, SantoshKumar. Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment Plants: A Case Study of Noida. **JournalOfWaterSustainability**. Sydney, p. 131-139. jun. 2012.

GUTIERREZ, K.; G. **Análise e gerenciamento de impactos ambientais no tratamento de esgoto doméstico mediante avaliação de ciclo de vida**. 2014. 112 f. Tese (Doutorado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1026D.PDF>>. Acesso em: 03 set. 2015.

LUNDIE, Sven; PETERS, Gregory M.; BEAVIS, Paul C.. Life Cycle Assessment for Sustainable Metropolitan Water Systems Planning. **Environmental Science & Technology**, [s.l.], v. 38, n. 13, p.3465-3473, jul. 2004. American Chemical Society (ACS).

NATIONAL SMALL FLOWS CLEARINGHOUSE. Basic wastewater characteristics. **Pipeline**, Morgantown, v. 8, n. 4, p.1-8, set. 1997.

RENOU, S. et al. Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA. **Journal Of Cleaner Production**. Paris, p. 1098-1105. ago. 2007.

TALLEC, G., GARNIER, J., BILLEN, G. & GOUSAILLES, M. Nitrous oxide emission from secondary activated sludge in nitrifying conditions of urban wastewater treatment plants: effect of oxygenation level. **WaterResearch** 40, 2972-2980, 2006.

TCHOBANOGLOUS, George; KREITH, Frank. **Handbook of solid waste management**. 2. ed. Nova Iorque: McGraw-hill, 2002. 16 v.

TUCCI, Carlos E. M.. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 63, n. 22, p.97-112, jun. 2008. Quadrimestral. Disponível em: <<http://www.iea.usp.br/revista/institucional/edicoes>>. Acesso em: 29 mar. 2016.

TUNDISI, José Galizia. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 55, n. 4, p.31-33, dez. 2003.

UNEP, United Nation Environmental Program; SETAC, Society Of Environmental Toxicology And Chemistry (França). Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases: A basis for greener processes and products. [S. l.]: ImprimerieEscourbiac, 2011. 160 p.

USEPA. Greenhouse gas emissions estimation methodologies for biogenic emissions from selected source categories: Solid waste disposal, wastewater treatment and ethanol fermentation. [S. l.]: Usepa, 2010. Rascunho.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Life cycle assessment: principles and practice**. EPA/600/R-06/060, 2006.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Wastewater technology fact sheet: sequencing batch reactors**. EPA/932/F-99/073, 1999.

VLASOPOULOS, N. et al. Life cycle assessment of wastewater treatment technologies treating petroleum process waters. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 367, n. 1, p.58-70, 15 ago. 2006. Elsevier BV.

VON SPERLING, M. **Basic principles of wastewater treatment**. Londres: IWA published, 2007a. 208 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v.1. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 472 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias).

VON SPERLING, M. **Lodos ativados**, v.4. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002. 428 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias).

VON SPERLING, M. **Sludge treatment and disposal**.Londres: IWA published, 2007b. 256 p.