

II-005 - ANÁLISE DO CUSTO DE CICLO DE VIDA INERENTE AO TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL DO LODO BIOLÓGICO E BIOGÁS, PROVENIENTES DE ETE QUE EMPREGA REATOR UASB

Karina Guedes Cubas do Amaral⁽¹⁾

Química Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Especialista em Sistema de Gestão Ambiental pela FAE. Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela UTFPR. Doutoranda em Recursos Hídricos e Meio Ambiente pela UFPR.

Miguel Mansur Aisse⁽²⁾

Engenheiro Civil pela UFPR. Mestre em Engenharia Civil - Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos –USP. Doutor em Engenharia Civil - Engenharia Hidráulica pela Universidade de São Paulo. Professor da Universidade Federal do Paraná, junto ao Programa de Pós-Graduação – PPGERHA.

Gustavo Rafael Collere Possetti⁽³⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Engenheiro Eletricista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre e doutor em Ciências pela UTFPR. Gerente da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). Professor do Programa de Mestrado Profissional em Governança e Sustentabilidade do Instituto Superior de Administração e Economia do Mercosul (ISAE-FGV).

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Hidráulica e Saneamento (PPGERHA) , Universidade Federal do Paraná. - Jardim das Américas, Curitiba – PR. 80050-540. Brasil. E-mail: ka_cubas@hotmail.com - País - Tel: +55 (41) 3361 3144

RESUMO

Reatores de manta de lodo anaeróbico de fluxo ascendente (UASB), usados no tratamento de esgoto, geram dois subprodutos que podem ser utilizados: lodo e biogás. Atualmente, no Brasil, a maior parte desse lodo resultante é descartada em aterros sanitários, enquanto o biogás é comumente conduzido para queimadores abertos de baixa eficiência. O objetivo do presente estudo foi realizar a análise do custo do ciclo de vida de quatro diferentes cenários de tratamento e destinação final do lodo biológico e biogás. A unidade funcional utilizada foi o tratamento e gerenciamento dos subprodutos (lodo biológico e biogás) ao tratar 1 m³ de efluente doméstico. O cenário base (lodo sendo higienizado através da estabilização alcalina prolongada e destinado para agricultura) é o cenário com o menor custo do ciclo de vida. O alto custo dos cenários 1 (utilização do calor do biogás para secagem do lodo), 2 e 3 (utilização do calor da combustão do lodo biológico) se deve à etapa de higienização onde o valor de aquisição do equipamento para a secagem do lodo utilizando-se o calor do biogás e do lodo representa 56%.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo biológico, biogás, análise do custo de ciclo de vida.

INTRODUÇÃO

A tecnologia de reatores de manta de lodo (UASB/RALF) é a segunda mais empregada em termos de número de instalações de estações de tratamento de esgotos no Brasil (NOYOLA et al., 2012; BRASIL, 2017) e representa 94,6% das Estações existentes no Paraná (ROSS, 2015). A tecnologia apresenta como característica a geração de lodo biológico adensado e estabilizado e geração de biogás rico em metano, sendo este último ainda pouco aproveitado o seu poder calorífico. Atualmente, na maioria das ETEs do Brasil, o biogás é queimado em flare e emitido para a atmosfera. Os dois subprodutos precisam ser gerenciados de forma ambientalmente correta, sanitariamente segura e economicamente viável (POSSETTI et al., 2015).

A Análise do Custo do Ciclo de Vida pode ser definida como um método de calcular o custo total da propriedade durante toda a vida útil de um ativo (ONG et al., 2012). Nessa conceituação, é considerado, além do custo inicial, todos os subsequentes custos esperados, significantes, assim como o valor residual e quaisquer outros benefícios quantificáveis a serem derivados. A utilização deste tipo de avaliação pode auxiliar na verificação dos custos existentes em cada etapa de ciclo de vida de um determinado produto, ajudando no reconhecimento de gastos com aquisição, operação, manutenção, transporte e disposição final. Nos estudos de

CCV, os custos são convertidos para o Valor Presente Líquido (VPL), que é uma ferramenta para comparar o valor monetário atual de um investimento para o valor desse investimento no futuro (HUPPES et al., 2004; ONG et al., 2012; LIM et al., 2008; NGUYEN et al., 2017).

Este estudo tem como objetivo realizar a análise do Custo de Ciclo de Vida – CCV da fase operacional do tratamento e destinação final do lodo biológico e biogás, sendo um cenário base, onde o biogás é apenas queimado em *flare*, e três cenários onde este é reutilizado na própria ETE.

METODOLOGIA

A ETE sob investigação se situa no município de Curitiba – PR, atendendo a Bacia do Ribeirão Padilha. A ETE possui capacidade para tratar 440 L/s de esgoto doméstico, atendendo uma população de até 235.000 habitantes. No que diz respeito ao tratamento preliminar do esgoto, a ETE é dotada de duas grades mecanizadas com espaçamento de 3 mm e um desarenador tipo Dorr - Oliver. Para a etapa de tratamento biológico do esgoto, possui seis reatores tipo UASB (tratamento secundário) e duas lagoas facultativas aeradas (pós-tratamento). O lodo biológico produzido nos reatores UASB e na lagoa aerada é periodicamente descartado, sendo adensado (adensador por gravidade) e, posteriormente, desaguado em uma centrífuga. Após, o lodo é submetido ao processo de estabilização alcalina prolongada - EAP na denominada UGL (BITTENCOURT, 2014), armazenado e disposto na agricultura. O biogás, gerado pelos reatores UASB, é queimado em *flare* aberto, com uma eficiência de aproximadamente 50% (KAMINSKI, 2017).

A unidade funcional do estudo é o gerenciamento dos subprodutos, lodo biológico e biogás, gerados ao tratar 1 m³ de efluente doméstico, englobando as fases de tratamento e destino final. Os fluxos de referência são de 0,052 Nm³ de biogás e 2,51 kg de lodo biológico, obtidos de reator anaeróbio tipo UASB. Os fluxos foram obtidos através de levantamento realizado na ETE, de porte médio, estudada no decorrer dos anos de 2014 e 2015. O limite do sistema, destacando o estudo de caso e cenários propostos, é apresentado na Figura 01.

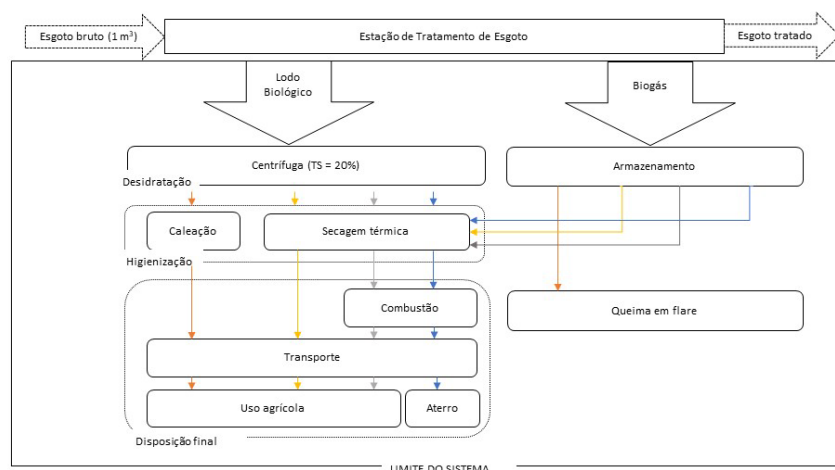


Figura 1. Cenários considerados neste estudo com relação ao tratamento e destinação do lodo biológico e biogás.

Legenda : Cenário base (➡) Lodo sendo desaguado na centrífuga, submetido à EAP e destinado na agricultura. O biogás é queimado em flare aberto.

Cenário 1 (➤) Biogás é utilizado como fonte de calor para a secagem do lodo biológico em secador rotativo. O lodo seco é destinado na agricultura. O excedente do biogás é queimado em flare aberto.

Cenário 2 (➡) É realizada a combustão do lodo para a utilização do calor na secagem do lodo desaguado. As cinzas são destinadas na agricultura.

Cenário 3 (➡) Semelhante ao cenário 2, sendo as cinzas destinadas no aterro sanitário.

O cenário base corresponde ao estudo de caso da ETE estudada. O cenário 1 corresponde à rota onde o biogás gerado é utilizado como fonte de calor para a secagem do lodo em secador rotativo. O lodo seco e higienizado é encaminhado para a agricultura. O cenário 2 corresponde à rota onde é realizada a combustão do lodo para

utilização do calor na secagem do lodo desaguado. O poder calorífico não é suficiente, sendo utilizado um percentual do biogás gerado. As cinzas são destinadas para a agricultura. O cenário 3 é semelhante ao cenário 2, sendo a destinação final das cinzas o aterro sanitário.

O inventário econômico foi elaborado pelo método de análise dos custos do ciclo de vida – ACCV. O método é baseado na Análise do Ciclo de Vida, mas considera os custos econômicos no lugar dos impactos ambientais. Foram levantados os custos referentes ao consumo de energia, produtos químicos, pessoal, aquisição dos equipamentos e manutenção. Os dados referentes aos custos e consumo de produtos foram fornecidos pela SANEPAR e levantados com os fornecedores dos produtos. Os valores foram transformados para o Valor Presente Líquido, utilizando a taxa de *Wheighted Average Cost of Capital* (WACC), que é de 8,62% (AGEPAR, 2017). Os custos de aquisição incluíram as etapas de fornecimento, obra civil e instalação. Os valores de aquisição e instalação foram levantados com o fornecedor do secador rotativo (ALBRECHT, 2017a; ALBRECHT, 2017b). Os custos de operação incluíram basicamente os custos do pessoal, consumo de energia elétrica e produtos químicos. As despesas com energia elétrica referem-se à consumida pelo tratamento e a de demanda. Os custos da energia elétrica consumida e demanda foi levantado na Fatura da Companhia referente ao mês de junho de 2017. Foram levantados também os custos com as despesas da utilização de produtos químicos no processo e as despesas com o pessoal que está vinculado direta ou indiretamente à operação de tratamento do lodo biológico. O custo de manutenção para o cenário base foi levantado junto com a SANEPAR referente ao ano de 2016. Para os demais cenários, foi considerado um valor de 2% do valor de investimento do secador rotativo (ONG et al., 2012).

Para cada alternativa de processo analisada foram calculados o Custo Total (CT), soma de todos custos de aquisição, operação e manutenção anual. Foi considerado também o custo da destinação final do lodo biológico, contemplando o custo de transporte e combustíveis utilizados. Nos cenários onde é aplicada a destinação agrícola, foi considerado os custos com as análises laboratoriais e apoio agrônomo. Após o levantamento dos custos, os valores foram convertidos para a unidade funcional.

RESULTADOS

Os custos do tratamento e destinação final do lodo e biogás foram obtidos junto à SANEPAR, referente ao ano de 2016. Os valores detalhados (anual) estão no Apêndice B. Os valores (em reais) de cada etapa do tratamento e destino final, por unidade funcional (tratamento e destino final dos subprodutos ao tratar 1 m³ de efluente) são demonstrados na Tabela 01.

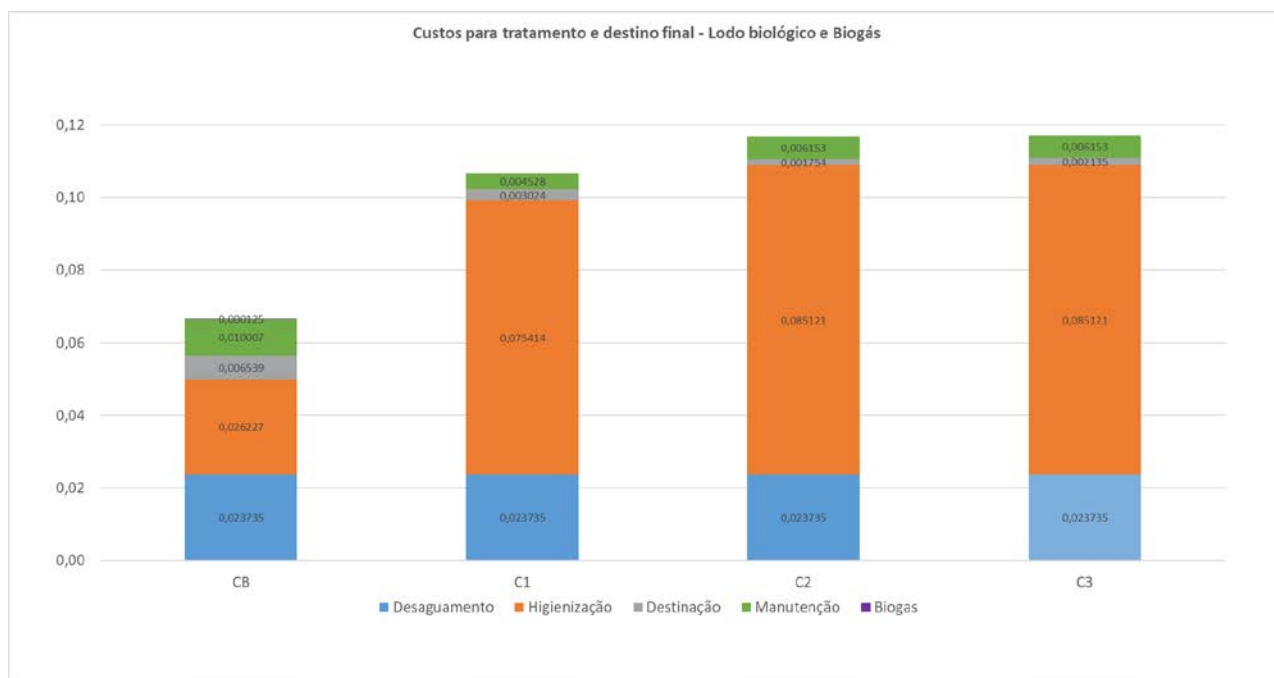
Para o cálculo do custo de aquisição da centrífuga (etapa de desaguamento de todos os cenários), utilizou-se o valor apresentado por BARÉA (2013) e atualizado pelo índice INCC. Foi considerado uma vida útil do equipamento de 20 anos.

Para o custo de energia elétrica consumida, foi considerado o horário de ponta (0,66 R\$/kwh) e horário fora de ponta (0,46 R\$/kwh) e uma alíquota de ICMS de 29%.

Tabela 01. Custo para tratamento e destinação final do lodo biológico e biogás (R\$/UF).

Etapas		CB		C1		C2		C3				
Lodo biológico												
Desaguamento	Centrífuga	Aquisição	0,005525	Centrífuga	Aquisição	0,005525	Centrífuga	Aquisição	0,005525	Centrífuga	Aquisição	0,005525
		Energia consumida	0,001988		Energia consumida	0,001988		Energia consumida	0,001988			
		Energia demanda	0,000497		Energia demanda	0,000497		Energia demanda	0,000497			
		Polímero	0,001619		Polímero	0,001619		Polímero	0,001619			
		Pessoal	0,014106		Pessoal	0,014106		Pessoal	0,014106			
		Total	0,023735		Total	0,023735		Total	0,023735		Total	0,023735
Higienização	EAP	Aquisição	0,013873	Secador rotativo sem combustão	Aquisição	0,042577	Secador rotativo com combustão	Aquisição	0,052284	Secador rotativo com combustão	Aquisição	0,052284
		Cal	0,006443		Energia consumida	0,013473		Energia consumida	0,013473			
		Mistura Cal+lodo	0,000937		Energia demanda	0,002443		Energia demanda	0,002443			
					Produto químico	0,002815		Produto químico	0,002815			
					Pessoal	0,014106		Pessoal	0,014106			
		Total	0,021254		Total	0,075414		Total	0,085121		Total	0,085121
Destinação	Uso agrícola	Análises laboratoriais	0,000943	Uso agrícola	Análises laboratoriais	0,000943	Uso agrícola	Análises laboratoriais	0,000943	Aterro	Transporte e disposição	0,002135
		Transporte	0,00386		Transporte	0,001435		Transporte	0,000560			
		Lancer	0,001243		Lancer	0,000462		Lancer	0,000180			
		Apoio agrônômico	0,000493		Apoio agrônômico	0,000183		Apoio agrônômico	0,000072			
		Total	0,006539		Total	0,003024		Total	0,001754		Total	0,002135
Manutenção	Manutenção	0,010007	Manutenção	0,004528	Manutenção	0,006153	Manutenção	0,006153				
Biogás												
Biogás	0,000125	0	0	0								
TOTAL	0,06166	0,1067	0,116764	0,117144								

Os valores dos custos do ciclo de vida dos cenários são apresentados na Figura 02. Os valores estão apresentados em R\$/UF.



Obs: CB: Cenário base; C1, C2, C3: Cenários estudados.

Figura 2. Custos para tratamento e destino final do lodo biológico nos 4 cenários (R\$/UF).

Conforme apresentado na Tabela 01 e na Figura 02, o cenário base apresenta o menor custo para o tratamento e destino final do lodo biológico e biogás. A maior contribuição do custo para esse cenário é a etapa de desaguamento (38%), onde o custo com funcionários representa 59% do valor total. Foi considerado, de acordo com o levantado junto à SANEPAR, um total de 4 funcionários para a etapa de desaguamento na centrífuga. Na etapa de higienização, a aquisição do barracão para armazenamento do lodo é a mais significativa, representando 65% dessa etapa. Na destinação final, o custo de transporte é o mais significativo, representando 59% do total dessa etapa.

Para a estimativa do custo da aquisição do barracão para armazenamento e realização da EAP (cenário base), foram observadas as dimensões encontradas na ETE em estudo.

No cenário 1, o custo elevado se deve à etapa de higienização do lodo biológico (71%), onde a aquisição representa 56% desta etapa, o gasto energético 21% e pessoal 19%. Com relação ao custo para destinação do lodo biológico, este diminuiu 54% em relação ao cenário base, em virtude da diminuição do volume do lodo a ser destinado.

No cenário 2, o aumento do valor se deve ao valor da aquisição do equipamento para a combustão do lodo biológico. O custo para a destinação diminuiu 42% em virtude da diminuição do volume a ser destinado, com relação ao cenário base.

O custo de destinação do lodo seco, através do calor do biogás, (C1) é 42% mais elevado em comparação com o cenário 2 em virtude de um maior volume a ser destinado em comparação das cinzas. O custo para a destinação das cinzas em aterro é 18% mais caro que a destinação agrícola.

Na etapa de destinação agrícola foi considerado os custos para transporte, lacer, análises laboratoriais (sendo 1 lote de lodo para análise por bimestre) e apoio agrônomo ao agricultor para aplicação do lodo biológico.

CONCLUSÕES

O cenário base (lodo sendo higienizado através da EAP e destinado na agricultura) é o cenário com o menor custo do ciclo de vida, porém apresenta o maior custo para a destinação do lodo. A etapa que mais contribui para o custo é o desaguamento em centrífuga, onde o custo com funcionários tem a maior representatividade.

O alto custo dos cenários 1, 2 e 3 se deve ao valor de aquisição do equipamento para a secagem do lodo utilizando-se o calor do biogás (C1) e do lodo (C2 e 3). O custo de destinação do lodo biológico no cenário 1 diminui 54% e no cenário 2 diminui 73% em comparação com o cenário base em virtude do menor volume de lodo/cinza a ser destinado. O custo para a destinação das cinzas em aterro é 18% mais caro que a destinação agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGEPAR – Agência Reguladora do Paraná. Nota Técnica Final RTP - 01/2017. Primeira revisão tarifária periódica da SANEPAR, 2017.
2. Albrecht. Proposta Técnica/Comercial No 226/2017.
3. Albrecht. Proposta Técnica/Comercial No 182/ 2017.
4. BITTENCOURT, S. Gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná: Aplicabilidade da Resolução CONAMA 375/06. 190f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2014
5. BRASIL. Agência Nacional de Águas. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas / Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental . -- Brasília: ANA, 2017.
6. HUPPES G., VAN ROOIJEN M., KLEIJN R., HEIJUNGS R., DE KONING A., VAN OERS L. Life Cycle Costing and the environment. Report of a Project Commissioned by The Ministry of VROM-DGM, 2004.
7. KAMINSKI, G.F. Queima eficiente de biogás gerado em reatores UASB em queimador enclausurado. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, 2017.
8. LIM, S.; PARK, D.; PARK, J.M. Environmental and economic feasibility study of a total wastewater treatment network system. Journal of Environmental Management 88, 2008.
9. NGUYEN, T.A.; KURODA, K.; OTSUKA K. Inclusive Impacts Assessment for the Sustainability of Vegetable Oil-based Biodiesel - Part I: Linkage Between Inclusive Impact Index and Life Cycle Sustainability Assessment. Journal of Cleaner Production, 2017.
10. NOYOLA, A.; PADILLA-RIVERA A.; MORGAN-SAGASTUME, J. M. L.; GUERECA, L.P.; HERNANDEZ-PADILLA, F. Typology of Municipal Wastewater Treatment Technologies in Latin America. Clean – Soil, Air, Water, 40 (9), 926–932, 2012.
11. ONG, H.C.; MAHLIA, T.M.I.; MASJUKI, H.H.; HONNERY, D. Life cycle cost and sensitivity analysis of palm biodiesel production. Fuel 98, 2012.
12. POSSETTI, G.R.C.; RIETOW, J.C.; GERVASONI, R.; ALTHOFF, C.A.; CARNEIRO, C. Investigação experimental de um sistema piloto de secagem térmica de lodo movido a biogás. Anais... Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015.
13. ROSS, B. Z. L. Escuma de reatores anaeróbios tratando esgotos domésticos: produção, caracterização e disposição final. Tese (Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) Universidade Federal do Paraná. 2015.