

II-498 - POTENCIAL ENERGÉTICO DOS SUBPRODUTOS SÓLIDOS (LODO EXCEDENTE E ESCUMA) DE REATORES UASB: ESTUDO DE CASO DA ETE LABOREAUX - ITABIRA/MG

André Pereira Rosa⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental. Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professor Adjunto do Curso de Engenharia Química da UFV.

Renata Fonseca Padilha

Graduanda em Engenharia Ambiental pela UFMG

Jorge Martins Borges

Engenheiro Mecânico. Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UFMG. Diretor Técnico do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itabira – MG

Gilberto Caldeira Bandeira de Melo

Engenheiro químico, Dr.-Ing. pela Universidade de Karlsruhe, Alemanha. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Engenheiro Civil e Sanitarista. Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle upon Tyne – UK. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Peter Henry Rolfs, s/n. Campus Universitário, Departamento de Química. sala 214 – Viçosa/MG - CEP: 36.570-000 - Brasil - Tel: (31) 3409-2370 - e-mail: andrerosa@ufv.br

RESUMO

Este trabalho objetivou o estudo das propriedades energéticas dos subprodutos sólidos (lodo e espuma) gerados a partir da operação de reatores UASB na ETE *Laboreaux* (População equivalente de 70.000 habitantes), localizada na cidade de Itabira/MG – Brasil. As amostras de lodo foram coletadas na saída do filtro prensa e a espuma coletada em dois pontos do sistema que compõe o gerenciamento de espuma (peneira estática e leito de secagem), a caracterização das propriedades energéticas foi realizada pela determinação do Poder Calorífico Superior (PCS), Poder Calorífico Inferior (PCI), composição elementar (CHNO) e composição imediata. Para o lodo, o PCI real médio, na base de trabalho, foi de 2,0 MJ.kg⁻¹, a partir do material com umidade de 58,7%. A espuma removida da peneira estática apresentou umidade de 84,5% e um PCI, base de trabalho, de 0,8 MJ.kg⁻¹. A camada de espuma desidratada no leito de secagem apresentou umidade média de 20,1% conferindo um PCI, base de trabalho, de 5,4 MJ.kg⁻¹. Os resultados evidenciam que os subprodutos sólidos gerados a partir de reatores UASB possuem boas propriedades energéticas.

PALAVRAS-CHAVE: Aproveitamento energético, reator UASB, lodo, espuma.

INTRODUÇÃO

Em decorrência do incremento de estações de tratamento de esgoto doméstico que utilizam reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (reatores UASB), identifica-se um incremento da geração dos subprodutos sólidos deste processo: lodo e espuma.

A busca da melhoria na qualidade do efluente final contribui para o aumento da geração de lodo. O consequente aumento nos gastos de transporte e disposição final desse subproduto condiciona uma busca mais acurada de tecnologias e aprimoramento de processos que garantam maior eficiência no gerenciamento do lodo de estações de tratamento de esgoto (ETE). O lodo excedente dos reatores UASB, embora estabilizado e produzido em menores quantidades quando comparado aos sistemas aeróbios de tratamento, ainda necessita das etapas de desidratação e, eventualmente, de higienização em caso de uso agrícola, devido à presença de patógenos. Dentre as formas de destino final de lodo, destacam-se como sendo as mais empregadas o envio para aterro sanitário, disposição no oceano, incineração e reciclagem do material como fertilizante. Apesar desse cenário, vale destacar uma tendência crescente do uso de processos alternativos no gerenciamento de

lodo de ETE, tais como a combustão, oxidação úmida, pirólise, gaseificação e cocombustão, para tanto, a identificação do potencial energético do lodo é de grande relevância (MANARA e ZABANIOTOU, 2012).

A espuma é uma camada composta pelos materiais flutuantes presentes no afluente, tais como cascas de frutas, pontas de cigarro, cabelo, ceras, sabões. A formação de espuma em reatores UASB pode ocorrer em duas regiões distintas, a saber (CHERNICHARO, 2009): (i) na superfície dos decantadores, e (ii) no interior do separador trifásico. Em adição, a espuma se caracteriza como sendo um material de difícil quantificação, devido à heterogeneidade dos seus constituintes e a inexistência de metodologias específicas para sua caracterização. Aponta-se que, em virtude dos elevados teores de óleos e graxas e de sua composição orgânica, há indicativos favoráveis para a valorização da espuma do ponto de vista energético (SANTOS, 2014).

A sustentabilidade energética é um dos principais pontos a serem desenvolvidos no futuro das ETE, com especial destaque para o uso do lodo como insumo para a produção de energia. Destaca-se a mudança de paradigma para o destino final do lodo, uma vez que o material caracterizado, até então, como um resíduo passível de aterramento, passa a ser avaliado como uma fonte de energia após o seu tratamento dentro das etapas de gerenciamento do lodo (ROSA, 2013). No que tange à espuma, as pesquisas avançam no sentido de caracterizar este material e de inserir o descarte de espuma nas rotinas operacionais das estações, sendo o seu potencial energético ainda pouco estudado (SANTOS, 2014). Nesse contexto, esse trabalho tem como objetivo contribuir com o estudo do potencial energético gerado pelos subprodutos sólidos, lodo desidratado e espuma, em uma estação de tratamento de esgoto doméstico.

MATERIAL E MÉTODOS

Esse trabalho foi realizado na ETE *Laboreaux* – Itabira/ Minas Gerais, dimensionada para atendimento de uma população de 123.000 habitantes (313 L.s^{-1}), a ser atingida em 2029, com uma primeira etapa de implantação dimensionada para a população de 70.000 habitantes (170 L.s^{-1}). Essa estação apresenta fluxograma simplificado, compreendendo unidades de tratamento preliminar (gradeamento e desarenador), unidades de tratamento biológico anaeróbio e aeróbio em sequência (reator UASB, filtro biológico percolador - FBP e decantador secundário). O lodo dos decantadores secundários é retornado para os reatores UASB, onde é adensado e estabilizado, seguindo, após o descarte, para a etapa de desidratação, realizada por filtro-prensa e, por fim, para o aterro sanitário. A espuma acumulada no interior dos separadores trifásicos é removida por um dispositivo hidrostático e disposta em um leito de secagem para a desidratação. A Figura 1 mostra uma vista geral das unidades da ETE *Laboreaux*.



Figura 1: Vista geral das unidades da ETE *Laboreaux*.

Caracterização do lodo

O lodo foi quantificado pela pesagem do caminhão transportador após o carregamento de cada caçamba de estocagem do lodo desidratado, antes do envio para o aterro sanitário da cidade de Itabira. O monitoramento

para a caracterização do lodo foi realizado de abril de 2011 a junho de 2012, com amostragens realizadas quinzenalmente. Estas consistiram da coleta de três pedaços de placas de lodo desidratado no filtro prensa, as quais eram maceradas, misturadas e enviadas para o laboratório.

Caracterização da espuma

A espuma utilizada nos estudos foi removida do interior dos separadores trifásicos de um dos reatores da ETE *Laboreaux*, por meio de um dispositivo hidrostático, conforme descrito por Rosa *et al.* (2012). A fim de permitir a sua caracterização, a espuma foi direcionada para um sistema piloto de peneiramento e desidratação, conforme mostrado na Figura 2 e descrito detalhadamente em Santos (2014). A peneira estática foi inserida no sistema com a finalidade de retenção dos sólidos grosseiros e redução de volume do material para disposição final. A unidade também se presta ao favorecimento da quantificação da espuma durante os descartes.

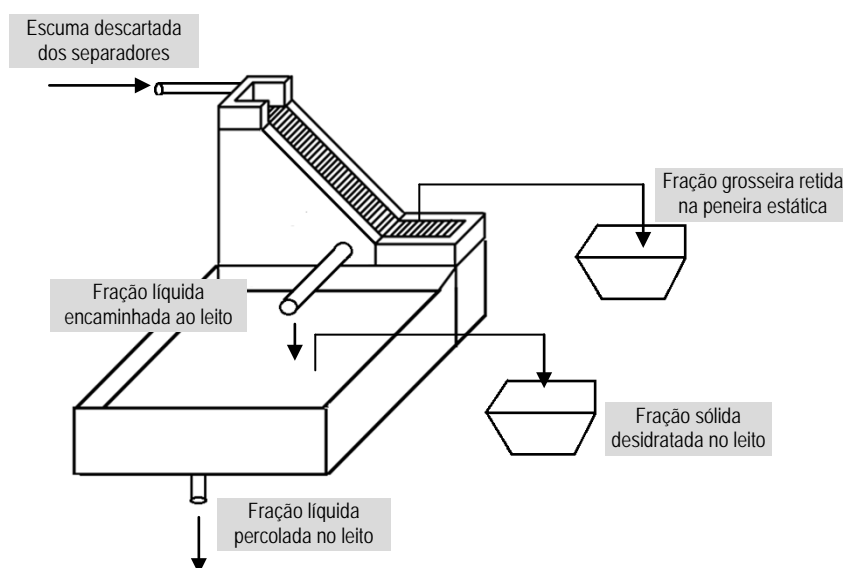


Figura 2: Esquema ilustrativo do sistema de peneiramento e desidratação da espuma composto de peneira estática e leito de secagem.

Fonte: SANTOS (2014)

A caracterização da espuma foi realizada de forma composta, ao longo da duração dos testes de descarte, e com a coleta de três frações de placas de espuma desidratada no leito de secagem. Com o objetivo de determinar o potencial energético destes resíduos fez-se necessário o conhecimento de suas características químicas e térmicas fundamentais, sendo expressa através da composição elementar, composição imediata e do poder calorífico, além da umidade. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

A determinação da umidade foi feita de acordo com os procedimentos estabelecidos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA/WEF, 2005), a composição elementar (CHNO) foi determinada em Analisador CHNS modelo 2400, Série II, Perkin Elmer e a composição imediata (sólidos fixos, voláteis e cinzas) de acordo com a Norma Brasileira - NBR 8112 (ABNT, 1986). O poder calorífico superior real (PCS) do lodo, base seca (b.s.) foi determinado em laboratório com o uso de uma bomba calorimétrica adiabática (PARR 2081). O poder calorífico superior (PCS_s) e inferior (PCI_s) teóricos foram determinados de acordo com as equações propostas pela fórmula de Dulong e por Cortez *et al.* (2008), respectivamente, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Procedimento de cálculo para a determinação do poder calorífico superior e inferior teóricos para o lodo e a escuma na ETE *Laboreaux*.

Parcelas	Equações	Observações
Poder Calorífico Superior (PCS) teórico	$PCS_s = [337,3 \times C + 1.418,9 \times (H - O/8) + 93,1 \times S + 23,3 \times N] / 1.000$	PCS _s = Poder calorífico superior, (MJ.kg ⁻¹), b.s. C = Teor de carbono (%), b.s. H = Teor de hidrogênio (%), b.s. O = Teor de oxigênio (%), b.s. S = Teor de enxofre (%), b.s. N = Teor de nitrogênio (%), b.s.
Poder Calorífico Inferior (PCI) teórico	$PCI_t = [(PCS_s - \lambda \times (r + 0,09 \times H_s)) \times (100 - W_t) / 100]$ $r = \frac{W_t}{(100 - W_t)}$	PCI _t = Poder calorífico inferior (MJ.kg ⁻¹), b.t. PCS _s = Poder calorífico superior (MJ.kg ⁻¹), b.s. λ = calor latente da água (2,31 MJ.kg ⁻¹ a 25°C) r = Razão entre teor de sólidos e teor de umidade no lodo desidratado H = Teor de hidrogênio (%), b.s. W _t = Teor de sólidos no lodo desidratado (%), b.t.

Legenda: b.s.: base seca, b.t.: base de trabalho (umidade real da amostra após a coleta). Os dados da composição elementar são apresentados em % de massa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Potencial energético do lodo

A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva para a caracterização do lodo gerado na unidade de desaguamento por filtro prensa na ETE *Laboreaux*. De forma complementar, os gráficos box-plot (Figuras 3 e 4) apresentam a variabilidade dos resultados de composição imediata e elementar do lodo prensado. Identifica-se que o lodo apresentou um PCI real médio de 2,0 MJ.kg⁻¹, a partir do material com umidade de 58,7%.

Em comparação com outros tipos de biomassa, os valores de carbono (C= 43,0 %) e hidrogênio (H= 7,8%) do lodo caracterizado nesse estudo, em base combustível (desconsideradas as cinzas), apresentaram-se inferiores aos do eucalipto (C= 49,3%; H=5,9%), casca de arroz (C= 53,7%; H= 5,8%), bagaço de cana (C= 49,3%; H=5,9%) conforme reportado por Jenkins (1990) *apud* Cortez *et al.* (2008). Ao se comparar com outros tipos de lodo biológico, observa-se que os valores de carbono e nitrogênio se encontram abaixo dos valores de caracterização de lodo reportados por Groß (2008) e Fonts *et al.* (2009), entretanto o teor de hidrogênio é elevado quando comparado a Groß (2008), Fonts *et al.* (2009), Courtland *et al.* (2010).

Tabela 2: Estatística descritiva dos resultados de caracterização do lodo desidratado gerado na ETE *Laboreaux*.

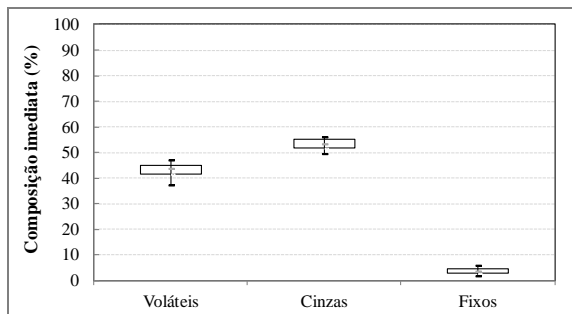
Estatística	Composição imediata % em massa (b.s)			Umidade %	Poder calorífico (MJ.kg ⁻¹)				Composição elementar, % em massa (b.s)				
	Voláteis	Cinzas	Fixos		Teórico		Real		C	H	N	O*	Cinzas**
Média	42,9	53,3	3,8	58,7	7,4	1,7	8,7	2,0	19,8	3,6	2,1	20,5	54,0
Nº dados	31	31	31	29	27	27	26	24	19	19	19	19	19
Mediana	43,7	53,3	3,6	58,2	7,4	1,5	8,6	1,9	19,6	3,5	2,0	20,0	53,9
σ	4,0	3,1	1,9	5,9	0,9	1,4	1,2	0,8	1,6	0,3	0,5	2,0	3,2

b.s.: base seca, b.t.: base de trabalho. PCS (poder calorífico superior), PCI (poder calorífico inferior), σ (desvio padrão em relação ao valor médio).

*Determinado por diferença. **Considerados os dados medidos de cinzas para os dias que houve caracterização de composição elementar.

O diagrama de van Krevelen, concebido para a análise do nível de carbonificação de diferentes tipos de combustível (VAN KREVELEN e SCHUYER, 1957), avalia as propriedades energéticas dos combustíveis livre de água e cinzas. A Figura 5 evidencia que a relação H/C é compatível com a caracterização de lodo biológico desidratado em outras pesquisas, enquanto que a razão O/C é significativamente maior. Uma possível explicação é o fato de que o reator UASB na ETE *Laboreaux* recebe o lodo secundário gerado a partir dos filtros biológicos percoladores (aeróbios). O lodo apresenta características similares às reportadas por Judex *et al.* (2012) para a ETE de Balingen (Alemanha), a qual possui recuperação energética dos subprodutos

lodo e biogás, com a cogeração de energia em um MCI, a partir da mistura do biogás da digestão anaeróbia e do syngas gerado na gaseificação do lodo.



□ Média □ 25% - 75% ▬ 10% - 90%

Figura 3: Composição imediata do lodo desidratado por filtro prensa na ETE Laboreaux, em base seca.

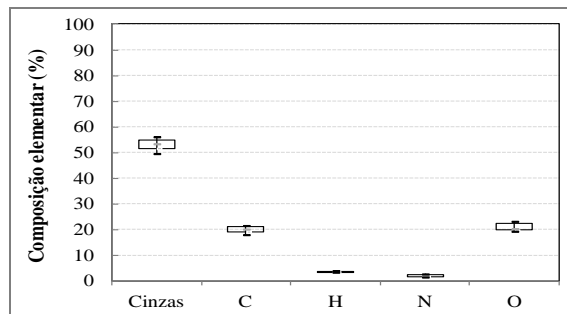
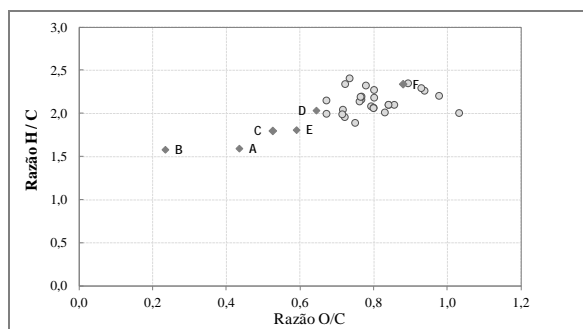


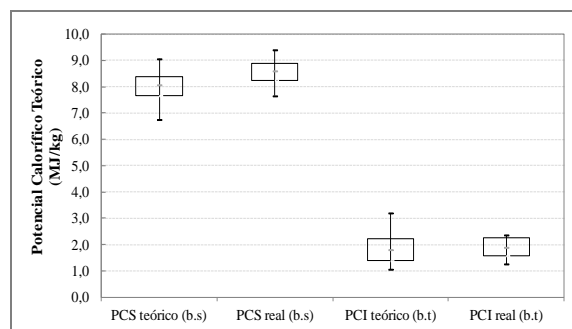
Figura 4: Composição elementar do lodo desidratado por filtro prensa na ETE Laboreaux, em base seca.

No que se refere aos resultados de potencial energético do lodo, nota-se, em linhas gerais, que os valores medidos em laboratório são ligeiramente superiores aos estimados pela equação de Dulong (Figura 6). O PCI_{real} (base de trabalho – b.t.) do lodo da ETE Laboreaux ($2,0 \text{ MJ.kg}^{-1}$ a uma umidade de 58,7%) é inferior ao reportado por Fontes *et al.* (2009), de $7,7 \text{ MJ.kg}^{-1}$ a uma umidade de 5,3%, o que evidencia a influência da secagem sobre o poder calorífico.



Fonte: (A) Dogru *et al.* (2002); (B) Houdkova (2008); (C) Courtland *et al.* (2010); (D) GROß *et al.* (2008); (E) Fontes *et al.* (2009); (F) Judex *et al.* (2012).

Figura 5: Correlação das razões atômicas de H/C e O/C para o lodo de filtro prensa da ETE Laboreaux e comparação com outros autores.



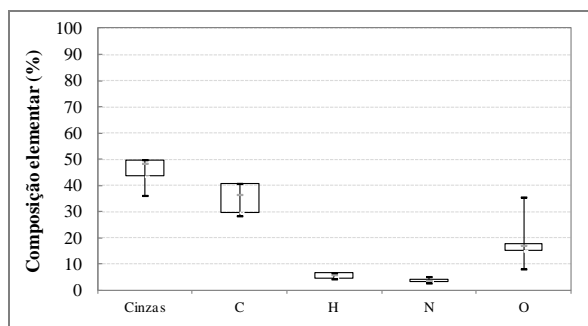
□ Média □ 25% - 75% ▬ 10% - 90%

Figura 6: Poder calorífico superior e inferior, teóricos e reais, para o lodo de filtro prensa da ETE Laboreaux.

Considerando a secagem do lodo para umidade final de 10% e teor de hidrogênio de 3,6%, o PCI_{real} (b.t.) do lodo seco final corresponderia a $4,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$. Este seria o valor energético do lodo para uso em geração térmica (caldeiras, aquecedores, etc.) ou em termelétricas. No caso de ETES, a baixa demanda interna por energia térmica não justifica a queima do lodo para uso próprio, e a quantidade de lodo gerado não viabiliza a geração termelétrica. No entanto, o lodo seco poderá ser destinado a usuários comerciais ou industriais locais ou regionais, para substituir lenha ou carvão e, neste caso, mesmo que não haja retorno financeiro, a simples destinação energética do lodo representa uma economia, pois deixaria de ser transportado e disposto em aterro.

Potencial energético da espuma

Avaliou-se que a espuma removida na peneira possui boas propriedades energéticas, o que foi atestado pela maior contribuição de carbono e hidrogênio em sua constituição elementar e menor teor de cinzas na sua constituição, em comparação com a caracterização da espuma retida no leito de secagem, conforme indicado nas Figuras 7 e 8. A Figura 9 apresenta a comparação da composição imediata para os dois pontos avaliados (peneira estática e leito de secagem).



□ Média □ 25% - 75% ▬ 10% - 90%

Figura 7: Composição elementar da espuma retida na peneira estática, em base seca.

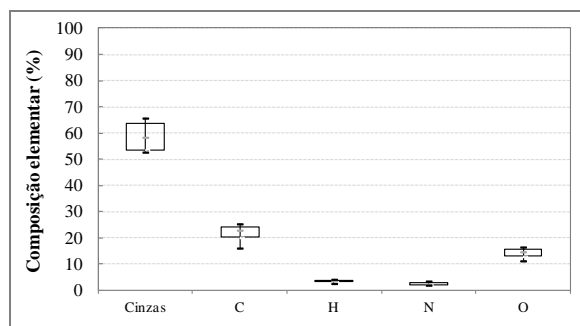


Figura 8: Composição elementar da espuma retida no leito de secagem, em base seca.

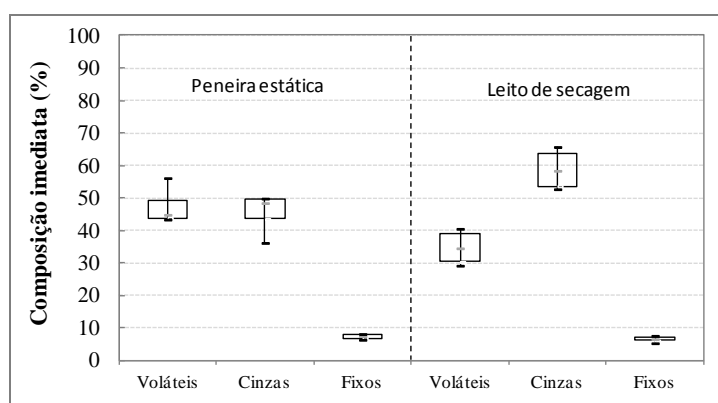


Figura 9: Composição imediata da espuma proveniente da peneira estática e do leito de secagem.

Em adição, a Figura 10 apresenta os poderes caloríficos superior e inferior, teóricos e reais, para a espuma retida na peneira estática e no leito de secagem. A espuma da peneira estática com teor médio de umidade igual a 84,5% apresentou maior poder calorífico superior, base seca, indicando a importância do processo de separação das fases a fim de garantir a valorização energética deste subproduto do tratamento anaeróbio. Caso a espuma retida na peneira fosse devidamente seca, por exemplo, até um teor de umidade de 35,0%, o PCI, base de trabalho, passaria de $0,8 \text{ MJ.kg}^{-1}$ a $7,1 \text{ MJ.kg}^{-1}$. A camada de espuma desidratada no leito de secagem apresentou umidade média de 20,1% conferindo um PCI, base de trabalho, de $5,4 \text{ MJ.kg}^{-1}$.

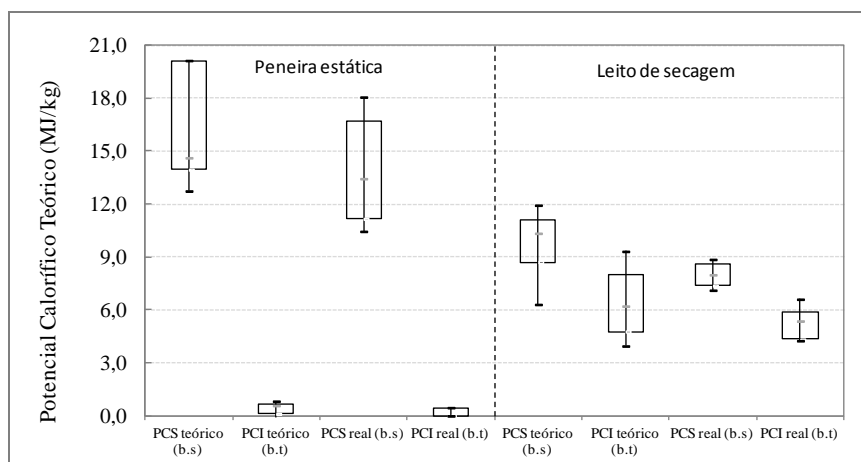


Figura 10: Poder calorífico superior e inferior, teóricos e reais, para a espuma retida na peneira estática e no leito de secagem na ETE Laboreaux.

De acordo com a comparação realizada, a espuma retida na peneira apresenta elevada umidade e poderia ser valorizada energeticamente mediante secagem. Para a espuma no leito, tem-se uma maior facilidade de se obter

um material com baixa umidade em função da desidratação, garantindo melhores resultados de PCI. Cabe destacar que o aproveitamento energético das frações de espuma deveria ainda considerar a massa típica (kg.d^{-1}) produzida em cada um dos pontos, o que não foi objeto deste estudo, entretanto, em linhas gerais, identifica-se que o potencial energético (MJ.d^{-1}) gerado no leito de secagem seria maior em função da maior quantidade de material produzido quando se comparado ao acumulado na peneira.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à FAPEMIG pelo apoio à pesquisa.

CONCLUSÕES

Como resultado da caracterização do potencial energético dos subprodutos sólidos, lodo e espuma, a partir do estudo de caso da ETE *Laboreaux*, conclui-se que:

- O lodo produzido em ETEs é fonte potencial de energia. Quando recuperado energeticamente apresenta benefícios diretos, dentre eles a redução do volume enviado ao aterro sanitário e o potencial de geração de calor e de eletricidade a se começar pela própria estação.
- Os resultados obtidos em relação às características energéticas da espuma permitiram evidenciar que a esta, apresenta-se como uma fonte potencial de energia, a partir da fração grosseira retida na peneira e após a desidratação, evidenciando a mudança de paradigma para o seu destino final, considerado até então um rejeito passível de aterramento.
- Os subprodutos sólidos removidos de reatores UASB apresentam características do ponto de vista energético que apontam para a possibilidade de uso desses materiais para fins de recuperação energética, tendo em vista os benefícios econômicos e ambientais que podem ser auferidos.
- As propriedades energéticas desses subprodutos apontam para um maior interesse na caracterização do lodo e da espuma em nível laboratorial, podendo se incorporar às análises de rotina em uma ETE a determinação do poder calorífico, composição imediata e elementar, quando se fizer possível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHERNICHARO, C.A. L.; ALMEIDA, P.G.S.; LOBATO, L.C.S.; COUTO, T.C; BORGES, J.M. (2009). Experience with the design and start up of two full-scale UASB plants in Brazil: enhancements and drawbacks. *Water Science and Technology*, 60 (2), 507-515.
2. GARCIA, G.P.; SOUZA, C.L.; GLORIA, R.M.; CHERNICHARO, C.A.L; SILVA, S.Q (2012). Biological oxidation of sulphides by microorganisms present in the scum layer of UASB reactors treating domestic wastewater. *Water Science and Technology*, 66 (9), 1871-1878.
3. GONÇALVES, R.F.; LUDUVICE, M.; VON SPERLING, M. – Capítulo 5: Remoção de umidade de lodos de esgotos - In: Andreoli, C. V. (Coord) – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Vol. 6: Lodo de esgoto: tratamento e disposição final – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p.
4. HALALSHEH, M.; KOPPEL, J.; DEN ELZEN, J.; ZEEMAN, G.; FAYYAD, M; LETTINGA, G. (2005) Effect of SRT and temperature on biological conversions and the related scum-forming potential. *Water Research*, 39, 2475-2482.
5. LETTINGA, G.; HULSHOFF POL, L.W. (1991) UASB - Process design for various types of wastewaters. *Water Science Technology*, 24, (8), 87-107.
6. PEREIRA, J. O. Estudo quantitativo e qualitativo de espuma acumulada por reatores UASB em escala de demonstração tratando esgotos domésticos, 2007. 80 p.Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.
7. ROSA, A.P.; LOBATO, L.C.S.; CHERNICHARO, C.A.L.; MARTINS, D.C.R.B; MACIEL, F.M; BORGES, J.M. (2012). Improving performance and operational control of UASB reactors via proper sludge and scum discharge routines. *Water Practice Technology*, 7 (3), 11 p.

8. ROSA, A. P.; MARTINS, D. C. R. B.; ALMEIDA, P. G. S; VENTURA, H. C.; CHERNICHARO, C. A. L. (2011). Estabelecimento de rotina operacional para remoção de espuma nos reatores UASB da ETE *Laboreaux* Itaboraí/MG. In: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011, Porto Alegre. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
9. SATO, N.; OKUBO, T.; OHASHI, A; HARADA, H. (2006). Prospects for a self-sustainable sewage treatment system: case study on full-scale UASB system in India's Yamuna River Basin. *J. Environ. Manage.* 80, 198-207.
10. SANTOS, A. V. Remoção, Tratamento e Valoração de espuma Proveniente de Reatores UASB Aplicados ao Tratamento de Esgoto Doméstico. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.
11. SILVA, S. Q.; ZERBINI, A. M.; GODINHO, V. M; CHERNICHARO, C. A. L. (2005). “Caracterização morfológica de microrganismos presentes em espuma de reatores UASB tratando esgotos domésticos.” *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. II-206, Campo Grande, Brasil.
12. SOUZA, C. L.; SILVA, S.Q.; AQUINO, S.F.; CHERNICHARO, C.A.L. (2006) Production and characterization of scum and its role in odour control in UASB reactors treating domestic wastewater. *Water Science and Technology*, 54 (9), 201-208.
13. VAN LIER, J.B.; VASHI, A.; VAN DER LUBBE, J.; HEFFERNAN, B. (2011). Anaerobic sewage treatment using UASB reactors: Engineering and operational aspects. In: Fang, H.H.P. (Editor) *Environmental anaerobic technology: applications and new developments*; Imperial College Press - London-UK. p 59-87.