

XI-017 – ESTIMATIVA DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO PELO USO DOS SUBPRODUTOS DE REATORES UASB: LODO EXCEDENTE E BIOGÁS

André Pereira Rosa⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental. Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Lívia Cristina da Silva Lobato

Engenheira Civil. Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais.

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

Weber Francisco Fonseca

Operador da ETE *Laboreaux*. Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itabira - MG

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⁾: Av. Antônio Carlos, 6627 - UFMG/EE/DESA Bloco 2, sala 4541 - Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP: 31270-901 - Brasil - Tel: (31) 3409-1025 - e-mail: andrerosa@ufmg.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo quantificar o potencial energético dos subprodutos biogás e lodo gerados na ETE *Laboreaux*, localizada na cidade de Itabira (MG). A estação compreende unidades de tratamento preliminar (gradeamento e desarenador) e unidades de tratamento biológico anaeróbio e aeróbio em sequência (reator UASB, filtro biológico percolador - FBP e decantador secundário). O potencial energético referente ao biogás foi determinado a partir dos dados de produção volumétrica e de composição. O lodo desidratado foi coletado em cinco dias distintos após a desidratação do material na unidade de filtro prensa e o poder calorífico superior (PCS) determinado em bomba calorimétrica. A produção volumétrica de biogás gerado nos reatores UASB, no período avaliado, foi da ordem de $433 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, e a sua composição foi de 78 % de CH_4 , 7 % de CO_2 e uma mistura de outros constituintes (maior parte N_2) de 10 %. A partir desses dados calculou-se o potencial energético proveniente do biogás que foi da ordem de $3.377 \text{ MJ} \cdot \text{d}^{-1}$. A demanda de energia para o funcionamento da ETE é de $1.393 \text{ MJ} \cdot \text{d}^{-1}$, o que corresponde a 40% do potencial energético do biogás gerado nos reatores UASB. O lodo desidratado no filtro prensa apresentou umidade de 57 % e poder calorífico superior (PCS) de $8,9 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ e inferior (PCI) de $1,9 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Para o período monitorado de operação do filtro prensa foi observada uma produção de lodo desidratado de $3.900 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$. O potencial energético estimado com a queima do lodo é de $7.800 \text{ MJ} \cdot \text{d}^{-1}$. Para a ETE, o potencial total para os dois subprodutos é de $22.919 \text{ MJ} \cdot \text{d}^{-1}$. As principais alternativas para o uso do biogás em benefício da estação correspondem à conversão da energia em eletricidade (ex.: para o funcionamento de elevatórias de esgoto) e em calor para a secagem e higienização do lodo. O lodo seco quando queimado poderia, com ou sem recuperação da energia térmica, alcançar uma redução de volume a ser disposto da ordem de 46,2 %.

PALAVRAS-CHAVE: Potencial energético, reatores UASB, biogás, lodo.

INTRODUÇÃO

Em decorrência do incremento das unidades de tratamento de esgoto doméstico, operando através de reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (reatores UASB), identifica-se um incremento da geração de alguns subprodutos deste processo: biogás e lodo.

A busca da melhoria na qualidade do efluente final (aumento da retenção das impurezas nas plantas de tratamento) contribui para o aumento da geração de lodo. O conseqüente 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 estação de tratamento de esgoto (ETE) (WERTHER e OGADA, 1997). 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.

Observa-se, de forma geral, que a escolha do destino final para o lodo leva em consideração apenas interesses e alternativas dos responsáveis pelo gerenciamento do lodo nas unidades de tratamento. 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 (WERTHER e OGADA, 1999). 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 (FYTILI e ZABANIOTOU, 2008). De acordo com Chao e Less (2004), o poder calorífico superior e inferior para uma torta de lodo com 70 % de umidade é de $12,9 \text{ MJ.kg}^{-1}$ e $11,9 \text{ MJ.kg}^{-1}$, respectivamente, e apesar de ser considerado um resíduo de potencial energético não muito elevado, a torta de lodo mantém-se em processo constante de combustão.

Dentre as principais razões para a remoção de umidade do lodo destaca-se a redução do volume, do custo de transporte e de disposição final, e o aumento do poder calorífico (ANDREOLI *et al.*, 2001). Neste contexto, podem ser destacados os processos térmicos para tal fim, como a secagem térmica, até mesmo fazendo uso do biogás gerado nas estações como fonte de combustível.

De acordo com De Sena *et al.* (2007), o uso do lodo de estações de tratamento de efluentes como combustível alternativo na cogeração de energia vem sendo estudado por diversos autores, porém seu emprego ainda não é bem difundido, situação semelhante ocorre com o biogás gerado nessas estações. Sendo assim, um melhor gerenciamento dos subprodutos - lodo e biogás - ainda é requerido, frente à necessidade de estudos sobre o tratamento e aproveitamento energético do biogás e, também, do lodo excedente.

De acordo com Stasta *et al.* (2006), o crescimento do tratamento térmico de lodo de ETE nos países europeus é evidente, sendo que este resíduo é considerado potencial para uso como fonte de energia. Avalia-se que o estudo e escolha de alternativas mais interessantes do ponto de vista do gerenciamento de lodo podem garantir a autossuficiência energética de uma ETE, além da possibilidade de utilização do excesso de energia para ser repassada e vendida à rede de distribuição, a depender de estudos sobre a qualidade da energia gerada (HOUDKOVÁ *et al.*, 2008).

A aplicabilidade do uso de processos térmicos como disposição final de lodo de ETE é dada em função do seu poder calorífico e de sua composição imediata. O poder calorífico superior do lodo de ETE é da ordem de 17 MJ.kg^{-1} para lodo primário, 15 MJ.kg^{-1} para lodo ativado e 11 MJ.kg^{-1} para um lodo digerido por processos aeróbios, anaeróbios ou pelo uso de cal (WERLE & WILK, 2010).

Segundo Noyola *et al.* (2006), o biogás de reatores anaeróbios apresenta uma composição de metano (70 a 80 %), nitrogênio (10 a 25%), devido a parcela de N_2 dissolvida no esgoto doméstico, e dióxido de carbono (5 a 10 %). O poder calorífico do metano é $35,9 \text{ MJ.m}^{-3}$, já o do biogás com 60 % de metano é $21,5 \text{ MJ.m}^{-3}$, correspondendo a cerca de 70% do poder calorífico do gás natural. Na sua composição o biogás pode conter ainda sulfeto de hidrogênio (H_2S) (1000 a 2000 ppm), que é altamente corrosivo a equipamentos, como caldeiras, tubulações e peças de motores. Segundo Holm-Nielsen *et al.* (2009), o conteúdo de H_2S no biogás, em níveis superiores a 300-500 ppm, podem causar danos as técnicas de conversão de energia.

Sabe-se que o aproveitamento energético do biogás ainda é muito insipiente no Brasil, apesar de se ter grande domínio do processo anaeróbio, sendo que a grande maioria dos aterros sanitários e das estações de tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais apenas coleta e queima o biogás gerado. De acordo com Tsagarakis e Papadogiannis (2006), a produção média de energia proveniente da conversão do biogás gerado em biodigestores anaeróbios de lodo correspondeu a 15,9 % (1582 kWh.d^{-1}) da energia total demandada pela estação de Iraklio na Grécia, considerando-se o pleno funcionamento do gerador instalado. Uma das principais vantagens da produção de energia em ETE relaciona-se ao fato de que toda a eletricidade gerada pode ser consumida no próprio local, sem a interferência de uma rede de distribuição (TSAGARAKIS, 2007). Adicionalmente, a digestão anaeróbia do lodo de esgoto doméstico pode, em muitos casos, produzir biogás suficiente para atender à demanda de energia necessária para a operação da planta (METCALF e EDDY, 2003).

Para Salomon e Lora (2009) as principais vantagens da produção de energia elétrica pelo uso do biogás são: (i) geração descentralizada, com a geração de energia próxima da fonte consumidora, (ii) possibilidade de lucro adicional devido à produção de energia e comercialização com companhias energéticas, (iii) redução no consumo de energia pela planta produtora, (iv) potencial de uso de processos para a cogeração de energia e (v) redução das emissões de metano para a atmosfera.

A sustentabilidade energética é um dos principais pontos a ser desenvolvido no futuro das ETE, com especial destaque para o uso do lodo, principal subproduto dos processos de tratamento, e insumo para a produção de energia. Destaca-se a mudança de paradigma para o destino final do lodo, onde 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 (COURTAUD *et al.*, 2010). No que tange o biogás, o potencial energético deste subproduto confere a principal justificativa para o aproveitamento desta parcela na transformação em outras formas de energia.

Estima-se que 30 % do gasto operacional de uma ETE estão relacionados com a parcela energética. Diante de uma situação de efetiva preocupação com a minimização dos gastos com combustíveis fósseis, custos e aumento da demanda de energia para o tratamento mais eficiente de efluentes, destaca-se a preocupação vigente com a concepção das unidades de tratamento e sua operacionalidade com vistas ao aumento da eficiência energética e redução dos gastos no tratamento (METCALF e EDDY, 2003). Diante desse contexto, esse trabalho tem como objetivo contribuir com a estimativa do potencial energético gerado tanto pelo biogás como pelo lodo desidratado de uma estação de tratamento de esgoto doméstico.

MATERIAL E MÉTODOS

Esse trabalho está sendo realizado na ETE *Laboreaux* em 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 biogás gerado nos reatores UASB, atualmente, é queimado antes de ser lançado para a atmosfera, desperdiçando o seu potencial energético. O lodo dos decantadores secundários é recirculado aos 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. Na unidade existem ainda 4 leitos de secagem com área total de 600 m^2 utilizados em caso de problemas operacionais do filtro prensa. A Figura 1 mostra uma vista geral das unidades da ETE *Laboreaux*.



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

Caracterização do biogás

A produção volumétrica de biogás foi medida diariamente a partir de um medidor portátil de vazão posicionado na linha de gás em um ponto anterior ao queimador (*flare*) (Figura 2a), desta forma a produção avaliada é equivalente a geração de biogás de todos os reatores UASB da ETE.

As amostras de biogás foram coletadas em duplicata por meio de seringas plásticas equipadas com válvulas de três vias, em um ponto anterior ao queimador. A caracterização do biogás com vistas à verificação do seu potencial energético foi realizada por meio de análises via cromatografia gasosa, sendo determinados os percentuais de CH₄, CO₂ e mistura de gases. As análises de composição do biogás foram realizadas, em média, três vezes ao mês.

Caracterização do lodo

Para a determinação do potencial de um combustível faz-se necessário o conhecimento de suas características químicas e térmicas fundamentais, sendo apresentada pela composição imediata, composição elementar e do poder calorífico, seja ele superior (PCS) ou inferior (PCI).

O lodo prensado foi amostrado em quatro diferentes dias na caçamba onde o mesmo era depositado, antes de seguir para o aterro sanitário. A coleta foi realizada com a amostragem de três pedaços de placas, as quais eram maceradas e misturadas para a realização das análises de umidade, poder calorífico superior e composição imediata, sendo todos os testes realizados em triplicata. Também foi realizada a coleta de uma amostra de lodo do leito de secagem com o objetivo de comparar as características básicas dos diferentes tipos de lodo gerado na ETE.

De acordo com o plano de descarte da estação, 19 m³ de lodo anaeróbio são encaminhados diariamente para a desidratação no filtro prensa (Figura b) ou nos leitos de secagem (Figura c), de acordo com a necessidade.



Figura 2: Pontos de amostragem: (a) Queimador de biogás; (b) Filtro-prensa; (c) Leito de secagem

O PCS teórico para o lodo foi estimado seguindo relação proposta por Parikh *et al.* (2005), o qual faz uso de uma correlação empírica utilizando 100 tipos de combustíveis sólidos para tal proposição (Equação 1), enquanto que os resultados do PCS medidos foram obtidos em bomba calorimétrica.

$$PCS = 0,3536 F + 0,1559 V - 0,0078 C \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

F= teor de carbono fixo (%)

V= teor de carbono volátil (%)

C= teor de cinzas (%)

Diante da variação de PCI com a umidade, Cortez *et al.* (2008) apresentam um modelo para a conversão do PCS (base seca) para o PCI (base de trabalho), como segue na Equação 2.

$$PCI_t = [(PCS_s - \lambda \cdot (r + 0,09 \cdot H_s)) \cdot (100 - W_t) / 100] \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

PCI_t = poder calorífico inferior, base de trabalho

PCS_s = poder calorífico superior, base seca

λ = calor latente da água (2,31 MJ.kg⁻¹ a 25 °C)

$$r = W_t / (100 - W_t)$$

W_t = umidade na base de trabalho

H_s = % de hidrogênio, base seca.

Na ausência de dados da composição elementar, a parcela de hidrogênio pode ser expressa pela relação $(0,052 F + 0,062 V)$, de acordo com Parikh *et al.* (2007). A metodologia utilizada para a determinação da umidade e da composição imediata foi a NBR 8.112 sobre métodos de ensaio de carvão vegetal.

RESULTADOS

Potencial energético do biogás

Algumas estatísticas descritivas referentes aos dados de vazão de esgoto e concentração de DQO afluente à ETE, vazão e composição de biogás gerado nos reatores UASB são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Estatística descritiva da composição do biogás

Estatísticas	Vazão de esgoto ($m^3.d^{-1}$)	Concentração DQO _{afluente} ($mg.L^{-1}$)	Vazão de biogás ($m^3.d^{-1}$)	% CH ₄	% CO ₂	% Mistura
Número de dados	448	119	396	31	31	31
Média aritmética	6.507	540	433,0	78,2	6,8	9,7
Mediana	6.259	555	412,6	79,2	7,1	8,8
Mínimo	3.823	118	240,0	70,3	5,1	6,0
Máximo	12.101	1.341	732,0	82,5	8,3	15,9
Percentil 25%	5.651	464	350,0	76,7	6,0	7,3
Percentil 75%	7.100	627	496,3	79,9	7,3	12,5

A figura 3 apresenta a série histórica para as vazões médias de esgoto bruto e biogás para o período de fevereiro de 2010 a abril de 2011 (dias operacionais 601 a 1048). Os resultados obtidos para a composição do biogás em porcentagens de CH₄, CO₂ e mistura de outros constituintes, para o mesmo período, são apresentados no gráfico *box plot* contido na Figura 4.

A vazão de esgoto afluente à estação apresentou um valor médio de $6.507 m^3.d^{-1}$. No mesmo período, a produção volumétrica de biogás gerado nos reatores UASB apresentou um valor médio de $433 m^3.d^{-1}$. A composição média de biogás nesse mesmo período foi de 78 % de CH₄, 7 % de CO₂ e uma mistura de outros constituintes de 10 %.

Na Tabela 2 é apresentado o balanço energético para a ETE *Laboreaux*, considerando a demanda de energia na estação e o potencial energético gerado, calculado a partir dos dados de monitoramento da vazão de biogás e do percentual de CH₄.

Tabela 2: Balanço energético para a ETE *Laboreaux*

Balanço energético	Unidades	Valores
Vazão afluente de esgoto	$m^3.d^{-1}$	6.507
Vazão de biogás	$m^3.d^{-1}$	433
Demanda de energia	MJ.d ⁻¹ (kWh.d ⁻¹)	5.017 (1.393)
Potencial energético calculado	MJ.d ⁻¹ (kWh.d ⁻¹)	12.156 (3.377)

1 kJ = 0,2388 kcal; 1 kJ = 0,2777 Wh

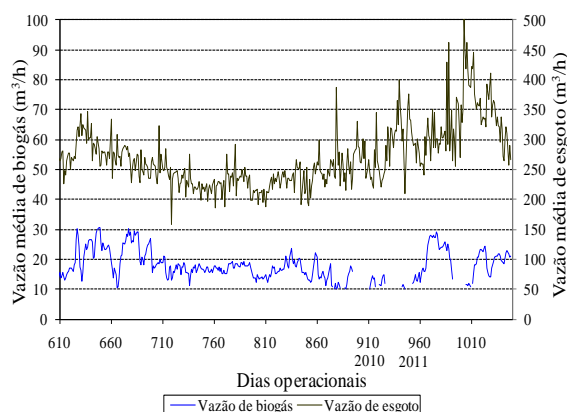


Figura 3: Série histórica das vazões de biogás e de esgoto afluente à ETE

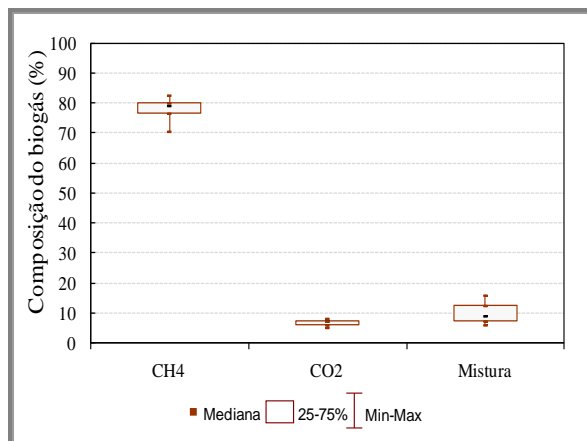


Figura 4: Box plot da composição do biogás

Conforme se pode apreender a partir dos dados da Tabela 5, o potencial energético do biogás gerado na ETE *Laboreaux* da ordem de 12.156 MJ.d^{-1} (3.377 kWh.d^{-1}) é 2,4 vezes superior à demanda energética da estação. Todavia, a possibilidade de geração de eletricidade, a partir do biogás, para utilização na estação dependerá principalmente das eficiências, dos custos e dos requisitos de purificação dos equipamentos disponíveis no mercado.

As principais possibilidades de conversão do biogás em energia são: (i) combustão direta com geração de calor (caldeiras e secadores térmicos) e (ii) geração combinada de eletricidade e calor (motores de combustão interna, turbinas e micro-turbinas). Entretanto, a seleção da melhor alternativa deve passar por um balanço das vantagens e desvantagens de cada alternativa, a partir de critérios como faixa de potência disponível no mercado, faixa usual de aplicação, custos de implantação, operação e manutenção, eficiência total de geração de eletricidade e calor, consumo de biogás etc.

Considerando uma eficiência de geração de eletricidade de 30%, valores usuais para as alternativas de conversão energética do biogás (motores de combustão interna, microturbina e turbina a gás), a parcela do potencial energético do biogás da estação convertido a biogás seria de 3.647 MJ.d^{-1} (1013 kWh.d^{-1}), o que corresponde a 72% da demanda energética de toda a estação. Embora a energia gerada não seja suficiente para suprir toda a demanda energética da estação, a mesma poderia ser utilizada para alimentar, por exemplo, as estações elevatórias de esgoto do sistema. Ressalta-se que ao considerar a possibilidade de recuperação e utilização do calor proveniente dos gases de exaustão dos equipamentos de conversão, as eficiências podem atingir níveis mais elevados, da ordem de 65 a 75%. Esse calor pode ser utilizado, por exemplo, em processos de secagem e higienização térmica do lodo excedente do sistema.

Foram calculadas, ainda, a partir dos dados de monitoramento, as relações unitárias de produção de metano, de biogás e de energia para ETE *Laboreaux* no período avaliado, as quais podem fornecer subsídios quando da avaliação da alternativa mais viável para a conversão energética do biogás (Tabela 3).

Tabela 3: Relações unitárias de produção de metano, de biogás e de energia nos reatores UASB

Relações unitárias	Unidades	Valores
Volume de metano por vazão esgoto	m^3/m^3 esgoto tratado	0,05
Volume de metano por DQO aplicada	m^3/kgDQO aplicada.	0,09
Volume de biogás por vazão esgoto	m^3/m^3 esgoto tratado	0,06
Volume de biogás por DQO removida	m^3/kgDQO aplicada.	0,12
Potencial de produção de energia por volume esgoto tratado	kWh/m^3 esgoto tratado	0,52
Potencial de produção de energia por massa de DQO aplicado	kWh/kgDQO aplicada	0,96
Potencial de produção de energia volume de biogás produzido	kWh/m^3 biogás	7,80
Potencial de produção de energia por volume esgoto tratado	MJ/m^3 esgoto tratado	1,87
Potencial de produção de energia por massa de DQO removida	MJ/kgDQO aplicada	3,46
Potencial de produção de energia volume de biogás produzido	MJ/m^3 biogás	28,07

Observa-se pela Tabela 4 que os reatores UASB apresentam uma produção volumétrica estimada de biogás de $0,06 \text{ m}^3$ por m^3 de esgoto tratado e um potencial de recuperação de energia de $1,9 \text{ MJ}$ por m^3 de esgoto tratado.

Potencial energético do lodo

Na Tabela 4 são apresentados os resultados de composição imediata, umidade e poder calorífico das amostras de lodo da ETE *Laboreaux*.

Tabela 4: Resultados de composição imediata e poder calorífico para lodo de leito de secagem e filtro prensa da ETE *Laboreaux*

Amostra	Composição imediata (%)			Umidade (%)	Poder calorífico (MJ/kg)	
	<i>Voláteis</i>	<i>Cinzas</i>	<i>Fixos</i>		<i>PCS</i> *	<i>PCI</i> **
Leito de secagem 1	42,6	50,6	6,8	11,3	9,1	7,3
Filtro prensa 1	42,0	54,1	4,0	58,0	7,5**	1,6
Filtro prensa 2	42,2	54,3	3,5	56,0	8,9	2,4
Filtro prensa 3	43,4	54,0	2,6	57,2	8,8	2,2
Filtro prensa 4	46,6	52,7	0,7	57,8	7,1**	1,2
Filtro prensa (média)	43,6	53,8	2,7	57,3	8,9	1,9

PCS (Poder calorífico superior), PCI (Poder calorífico inferior)

* valor medido em bomba calorimétrica.

** valor teórico calculado segundo Parikh *et al.* (2005).

Pode-se observar que a contribuição de cinzas nas amostras de lodo é predominante, em adição o lodo do filtro prensa possui um valor médio de 53,8 % (cinzas), enquanto que a amostra de leito de secagem possui um teor de 50,6 %, diferença esta que pode ser atribuída ao uso de produtos químicos no condicionamento do material para prensagem, cloreto férrico (FeCl_3) e cal. Para a estação faz-se uso de $4,7 \text{ L FeCl}_3 \cdot \text{m}^{-3} \text{ lodo} \cdot \text{d}^{-1}$ e $5,3 \text{ kg cal} \cdot \text{m}^{-3} \text{ lodo} \cdot \text{d}^{-1}$.

O PCS é maior para o lodo removido no leito de secagem ($9,1 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$), enquanto o filtro prensa possui um valor médio dentre as amostragens feitas de $8,9 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. A reduzida umidade do lodo do leito de secagem (11,3 %) gera um PCI da ordem de $7,3 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, enquanto a composição amostrada no lodo de filtro prensa corresponde a um valor médio de $1,9 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Em uma análise geral, observa-se que o poder calorífico das distintas formas de lodo da ETE *Laboreaux* apresenta valores inferiores a outras formas de biomassa. De acordo com Cortez *et al.* (2008), os valores de PCI para lenha seca ao ar, esterco bovino e bagaço de cana são de 8,2, 13,6 e $17,3 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectivamente.

Em comparação com outros estudos de potencial energético de lodo de ETE, observa-se que os valores estão abaixo dos reportados em literatura. De acordo com Houdkova *et al.* (2008), o PCS e PCI para lodo adensado e estabilizado em unidade anaeróbia foi de 12,2 e $11,2 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectivamente. Para Courtaud *et al.* (2010), o PCS do lodo foi de $17,5 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. A ETE *Laboreaux*, município de Itabira-MG, trata esgoto tipicamente doméstico, mas recebe ainda uma contribuição de efluentes do beneficiamento de minérios, o que pode explicar, de forma geral, o teor de cinzas no lodo da ETE mais elevado que os reportados por Cortez *et al.* (2008) para a caracterização do lodo.

Na Tabela 5 são apresentados os principais resultados referentes à rotina de operação do filtro prensa, o período avaliado compreende de out./2010 a abr./2011.

Para todos os dias do monitoramento, 90 ao todo, observam-se valores médios diários de 3.900 kg de lodo desidratado na unidade de filtro prensa, 4,3 prensadas (quantidade de vezes pela qual houve o funcionamento do filtro prensa por dia) e um equivalente de 900 kg de lodo desidratado por operação do filtro prensa. De posse de todos os dados de caracterização do lodo de filtro prensa, pôde-se calcular o potencial energético gerado na estação, destacando que para este estudo somente foi considerado o lodo gerenciado no filtro prensa e removido em caçambas, visto que o leito de secagem é utilizado somente no caso de paralisações do filtro prensa.

Tabela 5: Resultados da massa desidratada de lodo no filtro prensa e número de prensadas no período de out/2010 a abr/2011

Mês	Massa desidratada (ton.mês ⁻¹)	Nº prensadas por mês	Massa lodo (kg) por prensada	Desvio padrão
Out/10	43,1	48,0	897,3	59,0
Nov/10	73,9	82,0	901,6	43,5
Dez/10	83,6	94,0	889,5	28,9
Jan/11	58,9	65,0	905,5	25,6
Fev/11	61,5	68,0	904,4	26,0
Mar/11	7,4	8,0	925,0	91,9
Abr/11	20,6	23,0	897,0	32,4

Diante de uma produção média de 3.900 kg.d⁻¹ de lodo a 57,3 % de umidade e um poder calorífico inferior de 1,9 MJ.kg⁻¹, estima-se que a ETE, somente com a contribuição de lodo produzido pelo sistema, poderia gerar 7.410 MJ.d⁻¹ de energia pela queima direta desse material. O potencial energético estimado para o lodo corresponde a 60% do potencial energético do biogás (12.156 MJ.d⁻¹).

Caso o material prensado fosse encaminhado a algum tratamento térmico, com ou sem recuperação de energia, as cinzas geradas no processo de combustão, teor verificado médio de 53,8 %, poderiam ser enviadas ao aterro sanitário, havendo uma redução de 46,2 % na massa de material a ser disposta, posto que a quantidade diária de lodo desidratado corresponde a 3,9 ton.d⁻¹ com 57 % de umidade ou 1.677 kg.d⁻¹ (massa seca).

CONCLUSÕES

- O potencial energético do biogás gerado nos reatores UASB da ETE *Laboreaux*, considerando uma eficiência elétrica dos equipamentos de conversão de energia da ordem de 30%, corresponde a 72% da demanda energética de toda a estação. Sendo assim, o potencial energético do biogás poderia ser utilizado, por exemplo, nas estações elevatórias de esgoto do sistema, reduzindo os custos provenientes da demanda de energia dessas unidades.
- O lodo anaeróbico desidratado em filtro prensa apresentou elevado teor de cinzas, acima dos valores reportados na literatura, o que influencia de forma direta no poder calorífico do material. Estudos devem ser realizados para verificar se os efluentes provenientes da atividade de mineração na cidade de Itabira contribuem para tal condição.
- Diante da possibilidade de tratamento térmico do lodo removido na unidade de filtro prensa, com ou sem recuperação de energia, haveria uma contribuição com a redução da massa a ser disposta no aterro sanitário de 46,2 %, trazendo benefícios no gerenciamento do lodo da estação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C.V.; von SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Eds) Lodo de esgoto: tratamento e disposição final. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 2001. 484 p., (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.6).
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8112 - Carvão vegetal - Análise imediata. Rio de Janeiro, 1986.
3. CHAO, I.R.S.; LESS, J.J. O potencial de utilização de lodo de tratamento de esgoto como redutor de poluentes atmosféricos na indústria cimenteira. Saneas. p. 27–34, 2004.
4. CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S.; GÓMEZ, E.O. Biomassa para energia. Campinas: Editora Unicamp, 2008. 732 p.
5. COURTAUD, L.; PEREGRINA, C.; CREST, M.; SABLAYROLLES, M.L.; AUDIC, J.M.; ARLABOSSE, P. Alternative fuels derived from organic waste: the case of sewage sludge characterization as a potential energy source. In: 13th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY FROM BIOMASS AND WASTE, 2010, Venice, Italy. Proceedings...Italy, 2010.
6. DE SENA, R. F.; CLAUDINO, A.; MORETTI, K.; BONFANTI, I. C.; MOREIRA, R. F. P. M.; JOSÉ, H. J. Biofuel application of biomass obtained from a meat industry wastewater plant through the flotation

- process - A case study. *Resources Conservation and Recycling*. 2007. doi:10.1016/j.resconrec.2007.07.002.
7. FYTILI, D.; ZABANIOTOU, A. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v.12, p. 116–140, 2008.
 8. HOLM-NIELSEN, J.B.; AL SEADI, T.; OLESKOWICZ-POPIEL, P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology*. v. 100, p. 5478-5484, 2009.
 9. HOUDKOVÁ, L.; BORAN, J.; UCEKAJ, V.; ELSASER, T.; STEHLIK, P. Thermal processing of sewage sludge - II. *Applied Thermal Engineering*. v. 28, p. 2083–2088, 2008.
 10. METCALF & EDDY Inc. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th edition, McGraw Hill, New York. 2003. 1818 p.
 11. NOYOLA, A., MORGAN-SAGASTUME, J.M.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J.E. Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odour control and energy/resource recovery. *Reviews in Environmental Sciences and Bio/Technology*. v.5, p. 93-114. 2006.
 12. PARIKH, J.; CHANNIWALA, S.A.; GHOSAL, G.K. A correlation for calculating Elemental composition from proximate analysis of biomass materials. *Fuel*. v. 86, p. 1710-1719, 2007.
 13. PARIKH, J.; CHANNIWALA, S.A.; GHOSAL, G.K. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. *Fuel*. v. 84, p. 487-494, 2005.
 14. STASTA, P.; JAROSLAV, B.; LADISLAV B.; PETR S.; JAROSLAV O. Thermal processing of sewage sludge. *Applied Thermal Engineer*. v. 26, p; 1420–1426, 2006.
 15. SALOMON, K.R.; LORA, E.E.S. Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. *Biomass and Bioenergy*. v.33, p.1101-1107. 2009.
 16. TSAGARAKIS, K.P.; PAPADOGIANNIS, Ch. Optimal number of energy generators for biogas utilization in wastewater treatment facility. *Energy, Conversion and Management*. v. 48, p. 2694-2698, 2007.
 17. WERLE, S.; WILK, R. A review of methods for the thermal utilization of sewage sludge: The Polish perspective. *Renawable energy* (2010), doi:10.1016/j.renene.2010.01.019.
 18. WERTHER, J., OGADAB, T. Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*. v. 25, p. 55–116, 1999.