

**NOTA TÉCNICA:****APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS SUBPRODUTOS, LODO E BIOGÁS, A PARTIR DO TRATAMENTO ANAERÓBIO DE EFLUENTES PELO USO DE PROCESSOS TERMOQUÍMICOS**André Pereira Rosa¹, Renato Cruz Neves² & Carlos Augusto de Lemos Chernicharo³1 - Engenheiro Ambiental, Professor Adjunto da UFV/Viçosa-MG, andrerosa@ufv.br2 - Bacharel em Tecnologia em Materiais, Doutorando do PhD Program in Bioenergy (USP/UNICAMP/UNESP), renatocruzneves@gmail.com3 - Engenheiro Civil, Professor Titular da UFMG/Belo Horizonte-MG, calemos@desa.ufmg.br**Palavras-chave:**Biomassa
conversão termoquímica
conversão bioquímica**RESUMO**

O processo anaeróbio tem sido amplamente utilizado no Brasil para o tratamento de efluentes sanitários e industriais em virtude de suas vantagens já reconhecidas. Em contrapartida, seus principais subprodutos gerados, lodo e biogás, têm tido como principais alternativas de destino final o aterro sanitário e a queima direta, respectivamente, o que resulta em elevados gastos com transporte e desperdício de seu potencial energético. Considerando os benefícios referentes à recuperação energética do lodo, os processos termoquímicos têm ganhado destaque, sendo que os mais relevantes são a pirólise, a gaseificação e a combustão. No que se refere ao biogás, a recuperação deste subproduto para fins energéticos pode contribuir com a geração de energia térmica e/ou elétrica, em adição, o uso conjunto dos subprodutos podem conferir benefícios às plantas de tratamento sob a perspectiva ambiental, técnica e econômica ao favorecer o gerenciamento dos mesmos e reduzir a demanda por outras fontes de energia. Esta nota técnica tem o objetivo de apresentar algumas das configurações fazendo uso das principais tecnologias de processos termoquímicos aplicadas ao lodo, e seu uso consorciado com a recuperação do biogás em benefício das unidades que promovem o tratamento de efluentes pela via anaeróbia.

Keywords:Biomass
thermochemical conversion
biochemical conversion**ENERGY RECOVERY FROM BY-PRODUCTS, SLUDGE AND BIOGAS, FROM ANAEROBIC TREATMENT OF EFFLUENTS USING THERMOCHEMICAL PROCESSES****ABSTRACT**

The anaerobic process has been widely used in Brazil for the treatment of domestic and industrial effluents due to its advantages already recognized. In contrast, the landfill and direct burning are the final by-product destination of the sludge and biogas, respectively, which results in high expenses with transportation and waste of its energetic potential. Considering the advantages related to the energetic recovery of sludge, thermochemical processes have been highlighted where the most relevant are pyrolysis, gasification, and combustion. Regarding biogas, the recovery of this byproduct for energy purposes can contribute to the generation of thermal and/or electric energy. In addition, the joint use of these byproducts can offer benefits to plants treatment from the environmental, technical, and economic perspective favoring their management and reducing the demand for other energy sources. This technical note aims to present some configurations, making use of the main technologies of thermochemical processes applied to the sludge and its use with the recovery of biogas in favor of units that promote the treatment of effluents by the anaerobic route.

INTRODUÇÃO

As diversas características favoráveis do processo anaeróbio, como baixa produção de sólidos, baixo consumo de energia, baixos custos de operação, tolerância a elevadas cargas orgânicas, conferem aos reatores anaeróbios um grande potencial de aplicabilidade no tratamento de águas residuárias, tanto concentradas como diluídas. Dentre as tecnologias anaeróbias mais utilizadas no mundo, destaca-se o emprego dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo – RAFA, com sigla em inglês UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), no tratamento de águas residuárias provenientes de indústrias do setor agrícola, alimentícias e de bebidas, além do próprio esgoto doméstico (CHERNICHARO, 2007). O emprego de biodigestores dos modelos indiano, chinês e canadense tem notável destaque, em especial no setor agrícola e ambiente rural.

Em um sistema anaeróbio, do total de matéria orgânica que entra no sistema, medida como DQO, cerca de 50 a 80% é convertida em biogás, o qual possui elevadas concentrações de metano (CH_4) e apresenta elevado potencial de aproveitamento energético. Ao contrário dos sistemas aeróbios, apenas uma pequena parcela da matéria orgânica afluente ao sistema é convertida em novas células microbianas – lodo (cerca de 5 a 15%). O material não convertido em biogás e biomassa deixa o reator como material não degradado (10 a 30%) (CHERNICHARO, 2007). Destaca-se, portanto, que o tratamento anaeróbio de águas residuárias leva à geração dos subprodutos lodo e biogás, sendo que esforços que promovam o gerenciamento destes subprodutos são de grande relevância.

Na grande maioria dos casos, o lodo anaeróbio proveniente do tratamento de águas residuárias, após desidratação, é caracterizado como resíduo, sendo normalmente encaminhado para disposição final em aterros sanitários. O biogás, por sua vez, é normalmente queimado, sendo raros os casos de aproveitamento para fins energéticos na realidade brasileira.

Este cenário tem sido cada vez mais questionado

no Brasil, nos últimos anos, haja vista a tendência moderna de se buscar viabilizar o aproveitamento tanto do lodo quanto do biogás para a produção de energia em benefício das unidades de tratamento de efluentes, muito embora os estudos nessa área ainda não sejam bem difundidos (DE SENA *et al.*, 2007). O lodo é considerado uma importante matéria-prima para processos termoquímicos, tais como a gaseificação, a pirólise e a combustão, pois estes processos reduzem o volume de lodo e podem ser utilizados para produção de energia para diversos fins (TRINH *et al.*, 2013). Estes processos termoquímicos, juntamente com o coprocessamento com outras biomassas, possibilitam a redução dos problemas relacionados com elementos inorgânicos e tóxicos, além de questões relacionadas com o teor alto de umidade (MANARA & ZABANIOTOU, 2012).

Avalia-se que o estudo e a escolha de alternativas mais adequadas do ponto de vista do gerenciamento de lodo podem garantir a autossuficiência energética de uma estação de tratamento de efluentes (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).

Este trabalho teve como objetivo apresentar algumas alternativas de aproveitamento energético conjunto dos subprodutos (lodo e biogás) do tratamento anaeróbio de efluentes, considerando-se ainda sua interface com processos termoquímicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta nota técnica foi estruturada para representar as alternativas de aproveitamento energético conjunto do biogás e do lodo, as quais são apresentadas na forma de fluxogramas com as possíveis configurações e arranjos para o gerenciamento dos subprodutos gerados a partir do tratamento anaeróbio. O estudo dos processos termoquímicos foi realizado a partir de ampla revisão de literatura, e o desenvolvimento das alternativas de aproveitamento ocorreu a partir

da *expertise* dos autores, além dos conhecimentos adquiridos em visitas técnicas e das características e potenciais dos processos termoquímicos estudados (pirólise, gaseificação e combustão).

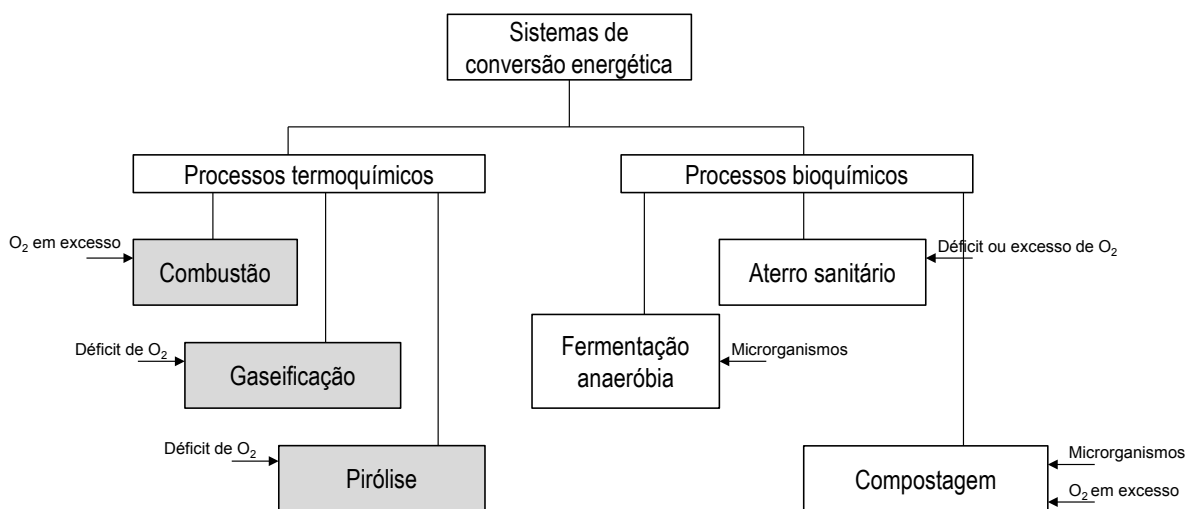
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta de forma esquemática os processos de conversão energética que podem ser aplicados aos lodos provenientes do tratamento anaeróbio por meio de processos termoquímicos ou bioquímicos. Tem-se como principal meta das conversões energéticas a redução da matéria orgânica a CO_2 e H_2O . Em adição, a Figura 2 apresenta um fluxograma com os principais processos e formas de conversão de calor e energia.

As principais características dos processos termoquímicos de pirólise, gaseificação e

combustão são apresentadas na Tabela 1. Nota-se que as reações possuem influência basicamente da variação da temperatura e do nível de oxigênio, influenciando, por sua vez, na distribuição dos subprodutos gerados. ROSA *et al.* (2016) apresentam as principais vantagens e desvantagens dos processos termoquímicos, assim como uma análise comparativa para diversos aspectos entre esses processos.

No processo de combustão do lodo, a água é completamente evaporada e o material orgânico é oxidado, em temperaturas altas, formando CO_2 e H_2O . O calor liberado nas reações exotérmicas produz vapor de água, que, ao ser aproveitado, pode gerar eletricidade em turbinas a vapor para produção de eletricidade, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis, devido ao aproveitamento do calor gerado (CHUNBAO & LANCASTER, 2011).



Fonte: Adaptado de ELIAS (2009)

Figura 1. Rotas de conversão energética para lodo.

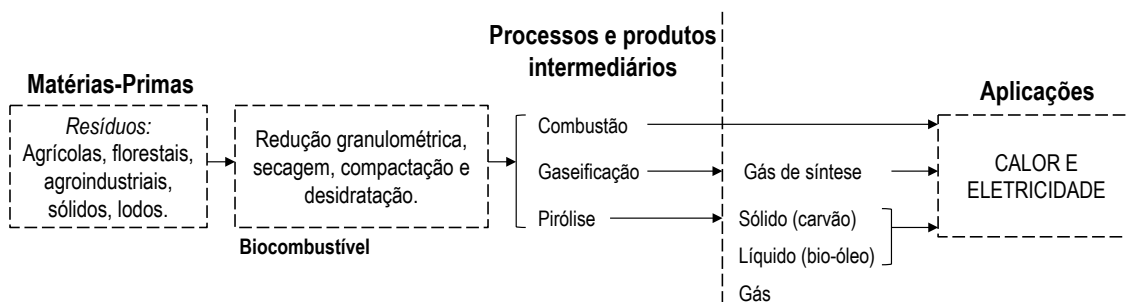


Figura 2. Conversão do lodo em calor e eletricidade via processos termoquímicos.

Tabela 1. Comparação dos processos termoquímicos com foco em lodo secundário de ETE.

| Parâmetro de comparação | Pirólise | Gaseificação | Combustão |
|---------------------------------|--|---|--|
| Requerimento de secagem prévia | Sim ¹ | Sim | Não |
| Temperatura de operação (°C) | 400-800 | 800-1.400 | 850-950 ² |
| Pressão para operação | Ambiente ou ligeiramente inferior/superior ³ | Ambiente | Ambiente |
| Condições de reação | Ausência de oxigênio | Deficiência de oxigênio, possível adição de H ₂ O, CO ₂ | Ar ou oxigênio |
| Subprodutos típicos (%) | Gás (até 50), Carvão (até 40), bio-óleo ⁵ (até 40) | Gás de síntese (até 90), Carvão (até 30), Alcatrão (até 5) | Cinzas (até 30), Gases de exaustão (até 90) |
| Produtos gasosos | CH ₄ , CO ₂ , H ₂ O, etc. | CO, H ₂ , CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, NO _x etc. | N ₂ , O ₂ , CO ₂ , H ₂ O, SO ₂ , NO _x etc. |
| Quantidade dos gases produzidos | Variável ⁴ | Muito alta | Muito alta |
| Utilidade dos gases | Cogeração | Cogeração, síntese para produção de combustíveis líquidos | Recuperação de calor |
| Utilidade dos líquidos | Cogeração, upgrade de bio-óleo, produção de biolama para o gaseificador | - | - |
| Utilidade dos sólidos | Cogeração, Agricultura, produção de carvão ativado, composição asfáltica, etc. | Cogeração, Agricultura, composição asfáltica | Agricultura, composição asfáltica |

¹Requerimento de 150°C para um nível de 25% de sólidos. ²Temperatura mínima, a máxima depende de condições de chama. ³Depende do principal produto final almejado (vapores ou sólidos). ⁴ Depende da pressão e velocidade de aquecimento do substrato (rápida ou lenta). ⁵ Composição de álcoois, aldeídos, fenóis à temperatura ambiente.

Fonte: Adaptado de CHUNBAO & LANCASTER (2011), GARCIA *et al.* (2005), SHEMAFE *et al.* (2015), FUNKE *et al.* (2016).

Apesar do lodo apresentar um poder calorífico inferior a outras fontes de biomassa (HOUDKOVA *et al.*, 2008; ROSA *et al.*, 2016), o uso do subproduto com fins energéticos poderia contribuir com a redução de gases de efeitos estufa, visto que o resíduo deixaria de ser encaminhado a aterros sanitários e digeridos pela via anaeróbia, além de ser uma fonte de energia renovável (FONTS *et al.*, 2012). As principais alternativas para o aproveitamento energético do lodo relacionam-se com a queima direta do material, o uso do subproduto como fonte de energia em cimenteiras e a cocombustão do lodo com outras fontes de biomassa (STASTA *et al.*, 2006; SAMOLADA *et al.*, 2016). Esta última alternativa vem ganhando cada vez mais importância (FONTS *et al.*, 2012).

No que se refere a gaseificação, o emprego de matérias-primas de fácil aquisição e baixo custo oferecem vantagens a este processo, o qual possui eficiência relacionada com as condições físicas do combustível utilizado. Nesse contexto, destaca-se o lodo gerado em unidades de tratamento anaeróbio, o qual tem sido utilizado de forma crescente, em especial nos países da Europa, como fonte de energia e redução dos volumes produzidos (FYTILI & ZABANIOTOU, 2008; LUMLEY *et al.*, 2014; SAMOLADA *et al.*, 2016).

No uso do lodo como matéria prima para a gaseificação, são evidentes os potenciais de uso e suas vantagens, em especial pelo uso do gás liberado na gaseificação em benefício da produção de energia elétrica, assim como o uso do calor

liberado para a secagem do lodo (AZNAR, 1998; MANARA & ZABANIOTOU, 2012).

Os produtos obtidos durante a pirólise (gases, líquidos e sólidos) são gerados em proporções diferentes, dependendo dos parâmetros considerados como, por exemplo, a temperatura final do processo; pressão de operação do reator; o tempo de residência das fases sólidas, líquidas e gasosas dentro do reator; o tempo de aquecimento e a taxa de aquecimento das partículas de biomassa; o ambiente gasoso e as propriedades iniciais da biomassa. Destes, a temperatura é o parâmetro de maior relevância (TRINH *et al.*, 2013). O principal objetivo no processo de pirólise é a obtenção de produtos com densidade energética mais alta e melhores propriedades do que aquelas da biomassa inicial (VIEIRA, 2011). O carvão produzido apresenta geralmente um elevado poder calorífico, da ordem de 30 MJ kg^{-1} , possibilitando o seu uso na geração de calor e eletricidade ou a sua conversão em carvão ativado, após processamento adequado (CHUNBAO & LANCASTER, 2011).

De acordo com KIM & PARKER (2008), a pirólise de lodo é um processo termoquímico inovador e contribuiu para o gerenciamento do lodo e de energia. Estudos em escala piloto e bancada indicam que aproximadamente metade da matéria orgânica na constituição do lodo pode ser convertida, via pirólise, em bioenergia útil (bio-óleo ou gás), e que o residual de matéria orgânica fica predominantemente contido nos resíduos pirolíticos (carvão) na forma estabilizada. Em termos de aspectos operacionais, o emprego dos subprodutos (sólido, líquido e gasoso) dentro ou fora das dependências da ETE/instalação faz da pirólise um processo mais versátil comparado à gaseificação e incineração (CAO & PAWLOWSKI, 2012, ROSA *et al.*, 2016). Além disso, para evitar processos de separação dos voláteis da pirólise, a biolama, que é uma mistura de bio-óleo e biochar, tem sido utilizada em reatores de gaseificação de leito de arraste em um conceito conhecido como bioliq® (FUNKE *et al.*, 2016), tendo como finalidade a produção de gasolina e diesel, além da produção de energia elétrica (DAHMEN *et al.*,

2012).

Vale destacar que os processos termoquímicos, até então empregados para outras fontes de biomassa, têm sido utilizados de forma crescente para o gerenciamento de lodo desidratado de unidades de tratamento de efluentes (NEYENS *et al.*, 2003; GROß *et al.*, 2008). Apesar das alternativas térmicas de aproveitamento energético do lodo, nota-se o uso mais restrito da pirólise e da gaseificação, em detrimento de uma maior aplicação da combustão para fins energéticos ou, até mesmo, da redução de volume do resíduo (ANDRES *et al.*, 2016; WERTHER & OGADA, 1999).

A Figura 3 apresenta a proposta de uso de um reator de pirólise no tratamento do lodo. Nesse processo, tem-se o potencial de geração de produtos combustíveis nas três fases: i) material sólido, como carvão vegetal; ii) fração gasosa, que quando condensada gera a parcela líquida, com potencial de uso como combustível em equipamentos de conversão à eletricidade, a exemplo do motor de combustão interna (MCI), turbina e microturbina; e iii) fração não condensada, que pode ser fonte de energia térmica. Adicionalmente, o biogás pode ser utilizado como combustível alternativo para geração de eletricidade e calor, este último podendo ser aproveitado no processo de secagem.

A Figura 4 apresenta a opção pela cogeração de energia elétrica pelo uso do biogás e a secagem do lodo sendo feita pelo uso dos gases de exaustão do equipamento de conversão.

Diante da condição de maior dificuldade de armazenamento e transporte do gás de síntese gerado no processo de gaseificação, pressupõe-se que o sistema de cogeração de energia seja instalado na própria unidade de tratamento, favorecendo o aproveitamento dos gases de exaustão dos equipamentos de conversão à eletricidade com a finalidade de secagem térmica. A eletricidade gerada poderia ser utilizada nas próprias dependências da planta de tratamento ou encaminhada para a rede de distribuição, quando atendidos os requisitos de qualidade de energia gerada.

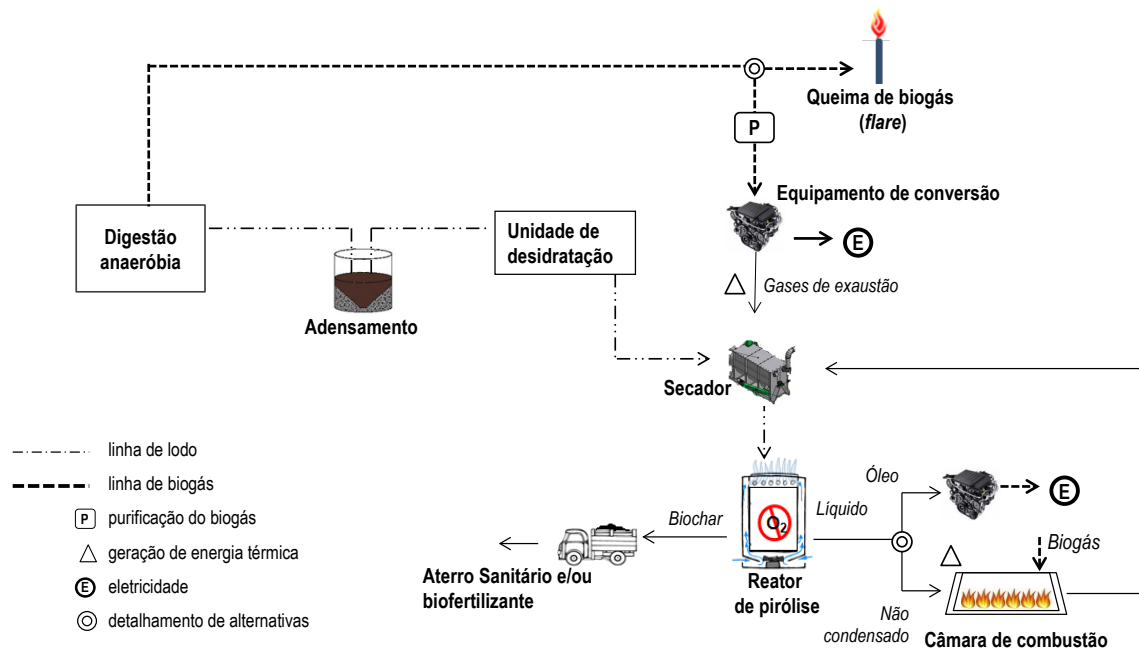


Figura 3. Representação esquemática de possível arranjo para aproveitamento energético do biogás e lodo gerado no tratamento anaeróbico de efluentes com o uso da pirólise.

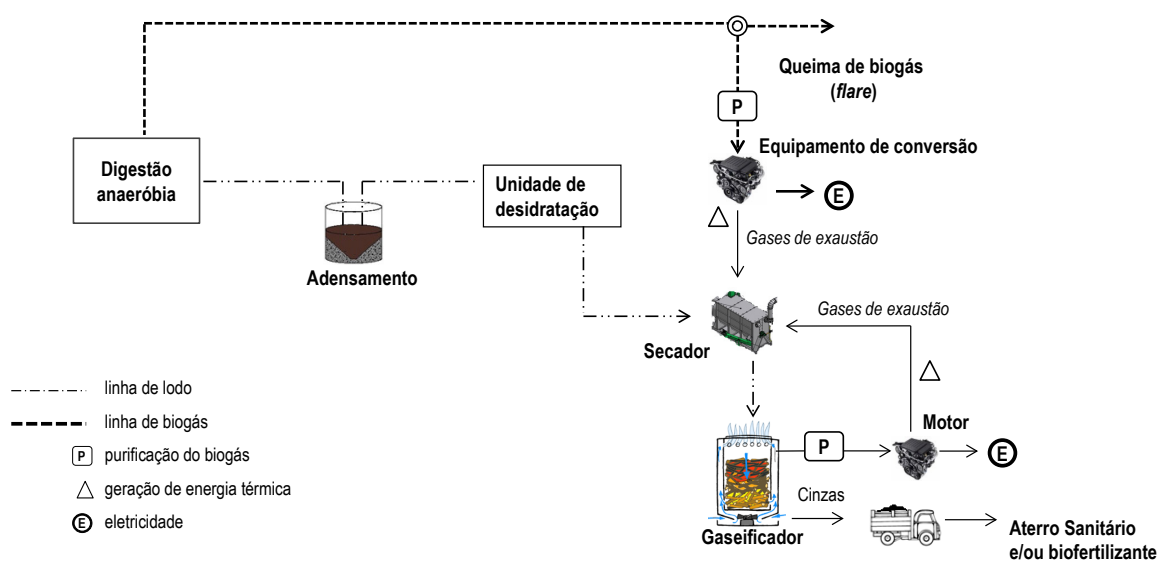


Figura 4. Representação esquemática de possível arranjo para aproveitamento energético do biogás e lodo gerado no tratamento anaeróbico de efluentes com o uso da gaseificação.

A Figura 5 apresenta um sistema combinado de gerenciamento de lodo e biogás, em que as alternativas consorciadas não necessariamente sejam aplicadas de forma simultânea. Para este fluxograma, a câmara de combustão pode operar com o uso do biogás ou do lodo como combustível, com o calor liberado da combustão, podendo então ser utilizado na secagem térmica do lodo. Este, após seco e higienizado, pode ser utilizado como

fonte de energia para o próprio sistema. Faz-se ainda possível o aquecimento de água a partir do calor gerado na câmara de combustão, garantindo a produção de vapor de água e a alimentação de uma turbina, sendo possível a produção de energia elétrica a partir dessa operação ou, até mesmo, o uso do calor dos gases de combustão para a secagem do lodo.

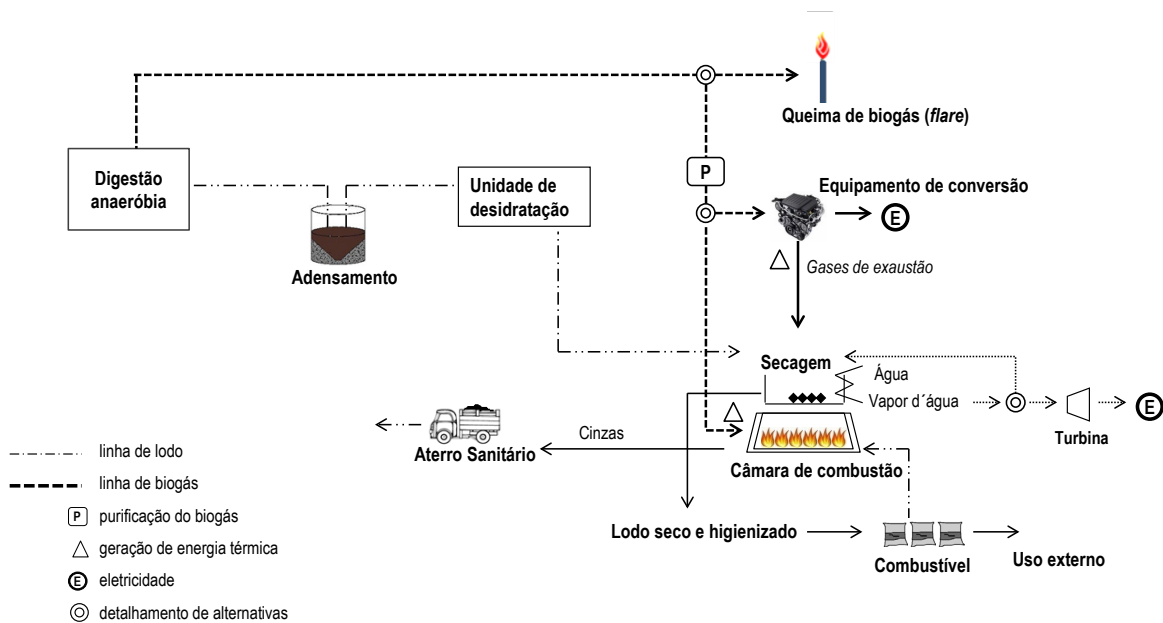


Figura 5. Representação esquemática de possível arranjo para aproveitamento energético do biogás e lodo gerado no tratamento anaeróbio de efluentes com o uso da combustão.

CONCLUSÃO

- Os processos termoquímicos discutidos neste trabalho estão condicionados à quantidade de lodo gerado concomitantemente relacionado às especificidades locais. Os locais mais vantajosos para aplicabilidade dos processos termoquímicos são potencialmente mais vantajosos em unidades de maior porte, pois apresentam elevados gastos de transporte e destinação final do lodo.
- O aproveitamento energético do lodo de forma individual ou, até mesmo, em combinação com outros subprodutos gerados no tratamento anaeróbio, a exemplo do biogás, pode garantir a secagem do próprio lodo e favorecer o desenvolvimento e expansão do uso dos processos termoquímicos para a realidade brasileira.
- O uso do lodo proveniente do tratamento anaeróbio como fonte de energia apresenta vantagens, tais como: a redução do volume final a ser transportado; a conversão de energia na forma térmica e elétrica; e a inertização do lodo quando empregados processos termoquímicos. Os benefícios têm alcance ambiental, social e econômico.

- Além das vantagens associadas ao emprego de sistemas anaeróbio para o tratamento de efluentes com significativo teor de matéria orgânica, são evidentes e relevantes os benefícios do aproveitamento energético de seus subprodutos, os quais ainda têm sido recuperados para tal fim, com limitações.
- Conforme apresentado nesta nota técnica, os processos termoquímicos de pirólise, gaseificação e combustão possuem vantagens como produção de energia térmica e geração de eletricidade para consumo próprio (biorrefinaria, *on-site*, etc.) ou para “exportação”, beneficiando-se de processos integrados em uma mesma planta. Para a operação otimizada de uma planta termoquímica de lodo e biogás, além de fatores como a especificação e operação de equipamento e das características do lodo e biogás, é preciso também avaliar fatores técnicos, econômicos, sociais e ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRÉS, J.M.; ROCHE, E; NARROS, A; RODRÍGUEZ, M.E. Characterisation of tar from sewage sludge gasification. Influence of gasifying conditions: Temperature, throughput, steam and

- use of primary catalysts. *Fuel*, v.180, p.116-126, 2016.
- AZNAR, M.P; CABALLERO, M.A; GIL, J; MARTIN, J.A; CORELLA, J. Commercial steam reforming catalysts to improve biomass gasification with steam oxygen mixtures, 2. Catalytic tar removal. *Ind Eng Chem Res*, v.37, p.2668–2680, 1998.
- CAO, Y; PAWŁOWSKIA, A. Sewage sludge-to-energy approaches based on anaerobic digestion and pyrolysis: Brief overview and energy efficiency assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v.16, p.1657-1665, 2012.
- CHERNICHARO, C.A.L. *Reatores anaeróbios*. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 380p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.5).
- CHUNBAO, C.X; LANCASTER, J. Treatment of Secondary Sludge for Energy Recovery. In: KÜHTZ, S; INTINI, F; BELLINI, S. *Energy Recovery Systems from Industrial Plants Waste*; Matera: Hardcover. 2011, p.289-310.
- DAHMEN, N; DINJUS, E; KOLB, T; ARNOLD, U; LEIBOLD, H; STAHL, R. State of the art of the Bioliq® process for synthetic biofuels productions. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, v.31, p.176-181, 2012.
- 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*, v.52, p.557-569, 2008.
- ELIAS, X. Vías de tratamiento y valorización de fangos de depuradora. In: *Reciclaje de Residuos Industriales: Residuos Sólidos Urbanos y Fangos de Depuradora*, 2009. Cap 11, p.909-997.
- FONTS, I; GEA, G; AZUARA, M; ÁBREGO, J; ARAUZO, J. Sewage sludge pyrolysis for liquid production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.16, p.2781-2805, 2012.
- FUNKE, A; RICHTER, D; NIEBEL, A; DAHMEN, N; SAUER, J. Fast Pyrolysis of Biomass Residues in a Twin-screw Mixing Reactor. *Journal of Visualized Experiments*, v.115, p.1-8, 2016.
- 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.
- GARCIA, J; CASTELLS, X. E; GOYA, J. Impactos Ambientales y energía. In: CASTELLS, X. E. *Tratamiento y valorización energética de residuos*. 2005. Cap.14, p.965-1.133, 2005.
- GROß, B; EDER, C; GRZIWA, P; HORST, J; KIMMERLE, K. Energy recovery from sewage sludge by means of fluidized bed gasification. *Waste Management*, v.28, p.1819-1826, 2008.
- HOUDKOVA, L; BORAN, J; UCEKAJ, V; ELSASER, T; STEHLIK, P. Thermal processing of sewage sludge – II. *Applied Thermal Engineering*. v.28, p.2083-2088, 2008.
- KIM, Y; PARKER, W.A. technical and economic evaluation of the pyrolysis of sewage sludge for the production of bio-oil. *Bioresour Technol*, v.99, p.1409-16, 2008.
- LUMLEY, N.P.G; RAMEY, D.F; PRIETRO, A.L. BRAUN, R.J.; CATH, T.Y; PORTER, J.M. Techno-economic analysis of wastewater sludge gasification: A decentralized urban perspective. *Bioresource Technology*, v.161, p.385-394, 2014.
- MANARA, P; ZABANIOTOU, A. Towards sewage sludge based biofuels via thermochemical conversion – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v.16, p.2.566-2.582, 2012.
- NEYENS, E; BAEYENS, J. A review of thermal sludge pre-treatment processes to improve dewaterability. *Journal of Hazardous Materials*, v. 98, p.51-67, 2003.

- ROSA, A.P; CHERNICHARO, C.A.L; MELO, G.C.B. Contribuição para o aproveitamento energético do lodo de ETEs em processos térmicos. *Revista DAE*, v.198, p.55-62, 2016.
- SAMOLADA, M.C; ZABANIOTOU, A.A; Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece. *Waste Management*, v.34, p.411-420, 2014.
- SHEMFE, M; GU, S; RANGANATHAN, P. Techno-economic performance analysis of biofuel production and miniature electric power generation from biomass fast pyrolysis and bio-oil upgrading. *Fuel*, v.143, p.361-372, 2012.
- STASTA, P; BORAN, J; BEBAR, L; STEHLIK, P; ORAL, J. Thermal processing of sewage sludge. *Applied Thermal Engineering*, v.26, p.1420-1426, 2006.
- TRINH, T.N; JENSEN, P; JOJHANSEN, K.D; KNUDSEN, N.O. Influence of the Pyrolysis Temperature on Sewage Sludge Product Distribution, Bio-Oil, and Char Properties. *Energy Fuels*, v.27, p.1419–1427, 2013.
- VIEIRA, G.E.G; PEDROZA, M.M; SOUSA, J.F.; PEDROZA, C.M. O processo de pirólise como alternativa para o aproveitamento do potencial energético de lodo de esgoto – uma revisão. *Revista Liberato, Novo Hamburgo*, v.12, n.17, p.01-106, 2011.
- WERTHER, J; OGADA, T. Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, v.25, p.55-116, 1999.