

II-475 - ALTERNATIVAS PARA O APROVEITAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DO EFLUENTE DE UM SISTEMA DE METANIZAÇÃO DE RESÍDUOS ALIMENTARES

Andrés Felipe Torres Franco⁽¹⁾

Engenheiro ambiental, Mestre em Engenharia Ambiental e sanitária. Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG.

Lucas Antônio de Oliveira Melgaço⁽¹⁾

Químico, Mestre em Engenharia Ambiental e Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG

César Rossas Mota Filho⁽¹⁾

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal De Minas Gerais

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo⁽¹⁾

Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal De Minas Gerais

Endereço⁽¹⁾: Escola de Engenharia da UFMG Bloco 1 4º Andar Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Avenida Presidente Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – Belo Horizonte – Minas Gerais CEP: 31270-901 - Brasil - e-mail: anfettorres@gmail.com

RESUMO

Um Sistema de Metanização de Resíduos Alimentares (SMRA) compreendido por um reator anaeróbio (RA), reator UASB e Filtros foi monitorado por um período de 6 meses a fim de caracterizar o efluente final produzido (digestato). Duas alternativas de tratamento do digestato visando a obtenção de subprodutos com valor agregado foram testadas em escala laboratorial. A primeira foi um tratamento biológico por meio de um inóculo misto Algas+Lodo Ativado enquanto a segunda foi um processo de precipitação química mediante adição de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. A aplicação do inóculo misto produziu eficiências de remoção de DQO, NAT e P-Total de 96%, 72% e 31%, enquanto a precipitação com $\text{Ca}(\text{OH})_2$ em doses de 800 mg permitiu eficiências de 36%, 16%, 100%, respectivamente. Os resultados sugerem que à aplicação de um tratamento algal com ocorrência de pH básicos seguida do processo de precipitação química pode ser uma alternativa sustentável para a recuperação de nutrientes do digestato da metanização de RA.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos alimentares, digestato, nutrientes.

INTRODUÇÃO

A Digestão Anaeróbia (DA) tem sido aplicada para o tratamento de resíduos orgânicos, incluindo resíduos alimentares (RA). Isto se deve especialmente a possibilidade de produzir e recuperar subprodutos com valor agregado como o biogás, biomassa e nutrientes que podem aplicar-se na produção de energia, biocombustíveis, produção de rações para animais, fertilizantes para a agricultura, etc. (ROVINS, 2006; TAMPIO *et al.*, 2016). Uma das principais limitações a respeito da aplicação da DA para o tratamento de RA é o gerenciamento do efluente digerido anaerobicamente (digestato), que é produzido em grande quantidade e apresenta altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, especialmente amônia e fósforo (ZHAO *et al.*, 2015; TAMPIO *et al.*, 2016).

A disposição inadequada do digestato nos solos, ou em corpos d'água produzem impactos ambientais como a eutrofização, alteração das propriedades físico-químicas dos solos limitando a agricultura e outros usos, além de constituir uma perda de nutrientes com potencial de aproveitamento. A partir disso, algumas pesquisas têm avaliado diferentes tecnologias para o pós-tratamento e a disposição final do digestato da DA de RA, incluindo sua recirculação, precipitação química, *stripping*/absorção de amônia, produção de algas, entre outros (ZHAO *et al.*, 2015; BOUSEK *et al.*, 2016). Contudo, ainda é necessário identificar os melhores cenários e condições para a aplicação de cada tecnologia (HUANG *et al.*, 2016; TAMPIO *et al.*, 2016).

Desde 2014 na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) está em operação um sistema de metanização que recebe os resíduos alimentares provenientes dos restaurantes universitários (SMRA). O SMRA é composto por uma unidade de metanização de resíduos (pMethar) e outra de aproveitamento energético. O biogás produzido na pMethar é queimado, ou coletado e armazenado para produção de eletricidade. Atualmente, poucas alternativas têm sido avaliadas para o tratamento e disposição sustentáveis do digestato gerado pela DA dos RA, especialmente aquelas que visam ao aproveitamento do conteúdo de nutrientes e a geração de subprodutos com valor agregado. O objetivo do presente estudo foi avaliar o potencial de duas alternativas de tratamento visando a recuperação de nutrientes e o reuso do efluente de um sistema de metanização de resíduos alimentares a fim de incrementar a sustentabilidade econômica e ambiental desse processo.

MATERIAIS E MÉTODOS

A plataforma de metanização de resíduos orgânicos (pMethar) recebe cerca de 500Kg por semana dos resíduos alimentares provenientes dos restaurantes do campus universitário da UFMG. A pMethar é composta pelas unidades de: 1) triagem/homogeneização; 2) sistema de metanização de duplo estágio (biodigestor anaeróbico e reator UASB); 3) separador sólido-líquido. Na 1ª etapa o resíduo é pesado e os materiais inertes (plástico, papel, etc.) são removidos. Em seguida, o resíduo é triturado com adição de água e direcionado para um tanque de alimentação onde é homogeneizado. Na 2ª etapa a mistura (resíduo+água) é bombeada para o sistema de metanização com vistas a produção de biogás. A fase líquida do sistema de metanização é encaminhada para o separador sólido-líquido que consiste em um filtro lento de areia, tijolos e brita nº4. Nesta etapa o biossólido é retido e o líquido percolado é encaminhado para o pós-tratamento (Figura 1).

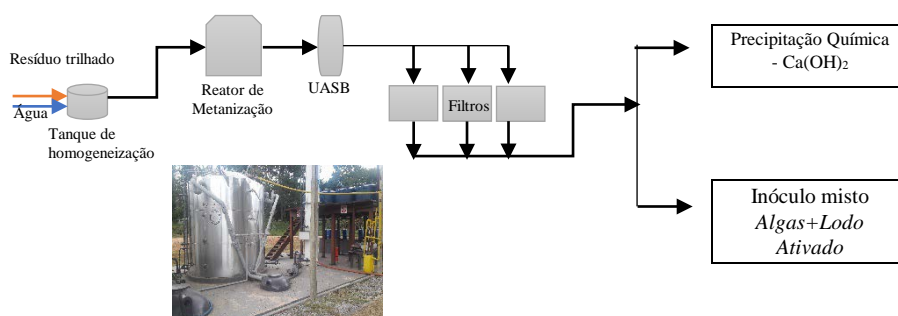


Figura 1. Sistema de metanização e das alternativas avaliadas para o aproveitamento do efluente

Com o propósito de caracterizar o efluente das diferentes etapas da pMethar, avaliou-se durante o período (Abril-Outubro/2016) os parâmetros pH, Temperatura, DQO, ST, STV, NAT, N-NO₂, N-NO₃ e P-Total, de acordo com o protocolo estabelecido pelo Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). Foram coletadas amostras do efluente do biodigestor anaeróbico, reator UASB e filtros, com frequência semanal. Para a avaliação do potencial de recuperação de nutrientes e reuso do efluente, consideraram-se alternativas de pós-tratamento respaldadas em testes laboratoriais. As alternativas de pós-tratamento avaliadas foram um tratamento biológico através do uso de um inóculo misto de microalgas e lodo ativado, e um tratamento físico-químico de precipitação química, a partir da adição de hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂).

Os testes laboratoriais para aplicação do inóculo misto consistiram em ensaios em batelada com duração de 8 dias visando avaliar o desempenho no tratamento do efluente final do sistema na remoção de DQO, NAT, P-total, N-NO₃ e *E. coli*. Para isso, avaliaram-se três reatores: um reator somente com inóculo de Algas, outro reator com inóculo de Lodos Ativados sem areação (L.A) e um reator com uma mistura dos dois inóculos em proporção de 1:40 (Algas+Lodo Ativado). O inóculo de Algas foi obtido de uma lagoa de polimento operada no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS, COPASA-UFMG) utilizada para o tratamento de esgoto doméstico de um equivalente populacional de 500 hab. Caracterizações prévias do inóculo demonstraram que a comunidade fitoplanctônica está dominada pelos gêneros *Chlorella*, *Lepocynclis*, *Trachelomonas*, *Phacus*, *Euglena* e o domínio Cyanobacteria. Trabalhos prévios também evidenciaram a presença de baterias heterótrofas e bactérias nitrificantes e desnitrificantes no lodo acumulado na unidade (Rodrigues et al., 2016). O Lodo Ativado foi coletado da estação de tratamento (ETE) do município de Betim,

a qual consta de um sistema de Lodos Ativado Convencional. O lodo foi mantido em aeração por 5 dias antes de ser misturado com o inóculo algal, o qual foi coletado do fundo do produto do sedimentado depois de 1 dia. Os reatores foram mantidos em garrafas de vidro com volume útil de 500 mL e mantidas em agitação constante a 80 rpm. As medições foram realizadas em amostras filtradas a fim de se avaliar a potencialidade de reuso da biomassa algal na produção de biogás no reator anaeróbio. Também mediram-se diariamente variáveis de controle dos reatores, OD, Condutividade, pH, SST e SSV e Clorofila-a inicial do inóculo algal e dos reatores no dia 8.

O pós-tratamento físico-químico consistiu em um ensaio de precipitação química em pH alcalino usando diferentes dosagens de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Os ensaios foram realizados em duplicata em erlenmeyers com 150 mL do efluente da pMethar e em diferentes dosagens de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (0, 200, 400, 600, 800 mg). Os frascos foram mantidos sob agitação constante a 190 rpm em incubadora shaker durante 6 horas. Amostras foram retiradas antes e após o ensaio a fim de avaliar os parâmetros pH, DQO, NH_3 , P-Total e série de sólidos.

RESULTADOS OBTIDOS

DESEMPENHO OPERACIONAL DA PMETHAR

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização do efluente da pMethar. O reator UASB apresentou eficiências de remoção de 32.6% e 41.1% dos conteúdos de sólidos e DQO, respectivamente. A remoção de P-Total foi de 46.3%, possivelmente associado a retenção de sólidos no sistema de separação sólido-líquido. Poucas transformações do conteúdo de nitrogênio foram observadas, os quais, junto com o remanescente de fósforo no efluente agregam potencial para o reuso do efluente (fertilização, ou água de processo), e para a recuperação de nutrientes.

Tabela 1. Desempenho do sistema de metanização de resíduos alimentares do campus Pampulha da UFMG

Parâmetro		ST	SV	pH	DQO	NAT	N- NO_2^-	N- NO_3^-	P _T	C. Totais	E. Coli
		g/L		und	mg/L					NMP/100 mL	
Efluente Biodigestor	N	13	13	21	13	17	17	14	5	-	
	Med	3.3	1.7	7.4	2145.2	821.6	0.1	10	147	-	
	Desv	0.7	0.3	0.3	1447.5	155.9	0.2	7.1	16.5	-	
	Min	2.3	1.2	7	363.3	584.1	0	0	122.2	-	
	Max	4.5	2.1	8.1	6473	1204.5	0.7	32.5	165.8	-	
Efluente UASB	N	13	13	21	13	17	17	14	5	-	
	Med	2.5	1.4	7.7	1297.3	826.7	0.2	12.2	91.4	-	
	Desv	0.5	0.2	0.3	1304.7	158.7	0.5	6.1	31.4	-	
	Min	1.4	0.8	7.3	298.3	556.7	0	2.1	54.5	-	
	Max	3.8	1.6	8.3	4900	1229.2	2.1	22	126.9	-	
Efluente Filtro	N	13	13	21	13	17	17	14	5	5	5
	Med	2.3	1.4	7.85	1161.6	737	19.8	60.3	62.6	58678	1730
	Desv	0.3	0.2	0.48	1094.8	180.2	19.8	89.2	28.8	28658	3460
	Min	1.9	1.4	7.48	277.5	430.9	0.5	12.7	38.2	24890	0
	Max	2.8	1.6	9.77	3750	1044.3	75.5	285.5	102.5	101000	8650

Inóculo Alga+Lodo Ativado para o tratamento do digestato

Em relação ao potencial de pós-tratamento, os testes laboratoriais de desempenho de um inóculo misto *Algas+Lodo Ativado* apresentaram em 8 d resultados em relação à remoção de DQO de 96%, 72% de transformação de NAT e 31.6% em relação a P-Total, produzindo concentrações finais de 36.5 mgDQO/L, 48.3 mgNAT/L e 11.9 mgP-Total/L. A Tabela 2 apresenta os resultados gerais obtidos para esses parâmetros. Adicionalmente, os reatores apresentaram valores de *E. coli* de 4.1×10^2 (algae), 1.09×10^3 (A.S+Algae) e 29.4×10^{-3} (A.S). Por outro lado, a Tabela 3 apresenta as condições de pH, SSV, OD e condutividade desenvolvidas pelos reatores durante o teste. A clorofila-a medida para o inóculo algal foi de 2059.3 $\mu\text{g/L}$, enquanto que os valores registrados nos reatores no dia 8 foram de 1207.8 $\mu\text{g/L}$ (Algas), 234.2 $\mu\text{g/L}$ (Lodo Ativado), 878.4 $\mu\text{g/L}$ (Algas+ Lodo Ativado).

Tabela 2. Desempenho geral dos reatores biológicos

Reator	DQO (mg/L)			NAT (mg/L)			P-Total (mg/L)			N-NO ₃ (mg/L)	
	Efluente filtro (inicial)	Final	% Rem	Efluente Filtro (inicial)	Final	% Rem	Efluente filtro (inicial)	Final	% Rem	Efluente filtro (inicial)	Final
Algas	440	10	98%	160.9	153.99	4%	19.0	10.8	43.2	0	2
Lodo Ativado	506.7	146.5	71%	137.7	106.8	22%	29.7	25.6	13.8	35	0
Algas+Lodo Ativado	870	36.5	96%	172.6	48.3	72%	17.4	11.9	31.6	31	88

Tabela 3. Variáveis de controle medidas nos reatores biológicos

Variável		Reator Algas			Reator Lodo Ativado			Reator Algas+Lodo Ativado		
		N	Média	σ	N	Média	σ	N	Média	σ
DO	(mg/L)	8	1.76	2.06	7	0.3	0.23	8	0.58	0.55
Cond	(uS/cm ²)	8	3.15	0.17	8	3.94	0.1	8	3.42	0.08
TSS	(g/L)	8	0.38	0.29	8	6.73	1.23	8	2.57	0.15
VSS	(g/L)	8	0.25	0.11	8	4.5	0.79	8	1.89	0.09
pH	(unid)	8	7.99-8.98		8	7.32-8.90		8	7.74-8.90	

TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DO DIGESTATO POR ALCALINIZAÇÃO

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos no ensaio de precipitação química com Ca(OH)₂. A dose de 800 mg proporcionou o maior aumento no pH do efluente do filtro, aumentando-o em quase 4 unidades. Em relação a remoção de DQO, as dosagens de 600 e 800 mg de Ca(OH)₂ apresentaram os melhores resultados, com eficiências de 13,5% e 36,5 %, respectivamente. A adição de Ca(OH)₂ contribuiu também para a remoção de amônia, sendo os tratamentos de 400 e 800 mg os que permitiram maior remoção do nutriente com eficiências de 9,0% e 16,6%. Por outro lado, em todos os ensaios onde o Ca(OH)₂ foi adicionado observou-se remoção significativa de P-total. As dosagens de 600 e 800 mg obtiveram as melhores remoções de P-total, respectivamente 74,9 % e 100,0%.

Tabela 4. Resultados do experimento de precipitação química com diferentes dosagens de hidróxido de cálcio

Tratamento	pH (und)	DQO (mg/L)	P-total (mg/L)	NAT (mg/L)
Efluente Filtro	7.79 ± 0.02	863.75 ± 52.77	38.61 ± 1.65	1231.04 ± 110.41
0	8.39 ± 0.01	778.33 ± 12.50	23.33 ± 2.17	1009.79 ± 37.91
200 mg	8.93 ± 0.01	657.50 ± 6.94	7.26 ± 3.70	1060.41 ± 50.83
400 mg	9.16 ± 0.03	832.50 ± 12.50	13.10 ± 1.10	969.58 ± 15.00
600 mg	9.55 ± 0.03	678.33 ± 48.61	9.06 ± 2.45	998.12 ± 5.12
800 mg	11.3 ± 0.05	499.16 ± 4.16	1.35 ± 4.11	888.75 ± 8.88

DISCUSSÃO

O sistema de metanização apresentou um desempenho aceitável na transformação dos resíduos sólidos provenientes do processamento dos resíduos alimentares dos restaurantes do campus universitário. Pesquisas anteriores já demonstraram a capacidade do sistema para produção de biogás e geração de energia elétrica (233-601 m³CH₄tSV⁻¹ e 2055 kWh.mês⁻¹, de acordo com Ferreira, 2015). Outras plataformas similares vêm sendo utilizadas no mundo como uma alternativa sustentável para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos (ex. dos Santos et al., 2016, Zhang et al., 2014, Yirong et al., 2013; Arsova, 2010). Porém, poucos trabalhos apresentam alternativas para o tratamento e o aproveitamento dos resíduos produzidos durante o processo, destacando-se a recirculação do efluente (dos Santos et al., 2016), e o aproveitamento dos sólidos produzidos como fertilizantes no solo (Gude, 2015). Nesse sentido, as eficiências apresentadas pelo reator UASB e o

sistema de filtragem confirmam o potencial do sistema na redução da carga de sólidos e matéria orgânica no efluente do reator de metanização, produzindo biogás com potencial de aproveitamento.

As tecnologias algais têm sido aplicadas previamente no tratamento de efluentes digeridos anaerobicamente (de Godos et al., 2010) e inóculos mistos de Algas e Lodos Ativados têm sido empregados especialmente para o tratamento de esgotos domésticos (Su et al., 2011). As altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes no digestato e sua baixa relação C/N são uma condição favorável para o metabolismo das comunidades microalgais (de Godos et al., 2009). Dessa forma, as diluições iniciais do digestato geraram condições adequadas para a atividade algal, reduzindo o risco de inibição relacionado a altas concentrações de amônia, ou elevada turbidez (Sheets et al., 2015).

Os resultados do teste de desempenho do inóculo misto de *Algas+Lodo Ativado* sugerem que as microalgas forneceram oxigênio para a remoção da matéria orgânica, feita por meio da atividade de bactérias heterotróficas aeróbias, as quais mantiveram sua atividade graças ao fornecimento de oxigênio da atividade fotossintética das microalgas, que por sua vez usaram o CO₂ produzido pela respiração bacteriana. Embora a remoção de matéria orgânica tenha sido maior no reator de solo Algas em comparação com Algas+Lodo Ativado, nesse reator a simbiose de algas e bactérias incentivou a ocorrência de transformações de N que aumentaram as concentrações de nitratos no efluente. Além disso, as condições de pH nos reatores Algas e Algas+Lodo ativado produto da atividade fotossintética permitiram a volatilização da amônia devida ao aumento do pH, gerando altas taxas de redução do conteúdo de amônia. O aumento de pH produzido pela atividade algal também permitiu uma maior inativação de *E. coli* no reator Algas+Lodo Ativado devido a que valores próximos a 10 terem um efeito rápido (Mendonça et al., 1994). Os altos valores de pH também contribuíram a aumentar a eficiência de remoção de P-Total devido à formação de precipitados de fosfatos em conjunto com o uso por parte da biomassa algal, o que tem sido evidenciado previamente em águas residuárias com altas concentrações de fósforo (Moutin et al., 1992; Li et al., 2014),

O tratamento físico-químico proposto pretendeu remover e recuperar o nutriente fósforo presente no efluente, de forma a adequar as concentrações deste aos padrões de lançamentos vigentes. Em relação aos testes realizados, pode-se destacar o ligeiro aumento (7.79 para 8.39) observado no frasco controle (0 mg Ca(OH)₂), que pode ser justificado pela possível diminuição da concentração do CO₂ dissolvido, devido a turbulência gerada pela agitação empregada (190 rpm). Além disso, foi observada uma remoção de P-total e NH₃, respectivamente 5.22% e 35.4% no mesmo frasco de controle como consequência do aumento do pH. Embora o principal objetivo do tratamento foi a remoção de fósforo, observaram-se resultados significativos na remoção de DQO e NAT. A doses de 800 mg gerou os melhores resultados na remoção nos três parâmetros. Em relação a DQO, a remoção pode ser explicada pela co-precipitação de matéria orgânica, presente como sólido em suspensão, juntamente com os fosfatos formados. A remoção de NAT ocorreu devido a volatilização em forma de NH₃ devido ao aumento do pH, visto que em pH superiores a 11 o equilíbrio amônia-água estará deslocado de forma a favorecer a formação de amônia livre (NH₃(g)). Já em relação a P-Total, em todos os ensaios onde o Ca(OH)₂ foi adicionado observou-se a remoção significativa associada à formação de fosfatos de cálcio insolúveis, como a hidroxiapatita (Ca₅(PO₄)₃(OH)), comprovada pelo aumento significativo nos sólidos do sistema (310% em relação ao efluente do filtro).

Espera-se que o precipitado formado que é rico em fósforo e matéria orgânica, possa ser utilizado na agricultura como fertilizante e/ou corretor de solos. Os resultados sugeriram que a etapa de precipitação química pode ser parte de um processo integrado no qual pode-se favorecer: i) A remoção de P-PO₄ do sistema na etapa de alcalinização do efluente com Ca(OH)₂, uma vez que há possibilidade de formação e precipitação de hidroxiapatita e outros fosfatos insolúveis. Além disso, espera-se também remover parte da matéria orgânica presente, sobretudo como sólidos em suspensão a partir da sua co-precipitação; ii) remover o NH₃ em colunas de *stripping* e otimizar o processo em termos dos parâmetros pH, temperatura e razão ar/líquido; iii) recuperar a NH₃ como sulfato de amônio - que pode ser usado como fertilizante a partir da absorção em solução ácida (*gas scrubber*).

Ao se comparar a aplicação das alternativas biológicas e físico-químicas avaliadas para o tratamento do digestato visando a recuperação de nutrientes, estima-se que as duas apresentam vantagens e desvantagens. O tratamento biológico do digestato por meio do inóculo misto Algas+Lodo Ativado apresentou altas eficiências na remoção de DQO, NAT, P-Total e ainda *E. coli*, porém a implementação do processo pode não ser custo-eficiente devido aos requerimentos energéticos, gastos operacionais e as dificuldades na separação e

aproveitamento da biomassa algal gerada durante o tratamento. Já a precipitação de $P-PO_4$ por meio da aplicação de $Ca(OH)_2$ é um processo mais simples operacionalmente, mas não consegue alcançar altas eficiências na transformação de amônia e deve ser acoplado a uma etapa posterior como o *stripping* em colunas.

Contudo, uma alternativa viável seria o uso complementar dos dois métodos de tratamento. O tratamento algal com controle operacional para favorecer a precipitação de $P-PO_4$ em condições básicas de pH pode diminuir o requerimento de aplicação posterior de $Ca(OH)_2$. O processo poderia fechar-se com a coluna de *stripping* para assegurar a qualidade final do efluente e permitir recuperação de amônia em forma de sulfato de amônio.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

A *pMethar* é uma alternativa sustentável para o aproveitamento de resíduos alimentares por meio da produção de biogás com potencial para geração de energia térmica e/ou elétrica. A aplicação de tecnologias algais é uma alternativa viável para o tratamento do resíduo líquido produzido no sistema, e fornece potencial de aproveitamento, tanto da biomassa como do efluente líquido. O tratamento combinado de precipitação e *stripping*/absorção visando a recuperação de nitrogênio e fósforo, apresenta igual potencial para a recuperação de NH_3 , e a possibilidade de geração de hidroxiapatita e outros fosfatos insolúveis, geram um valor agregado que pode aumentar significativamente a sustentabilidade do sistema. Pesquisas em escala piloto são necessárias para desenvolver e otimizar a aplicação destas tecnologias no tratamento dos subprodutos da metanização de resíduos alimentares.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais), ao Programa de Pós-Graduação em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SMARH-UFGM) pelo apoio no desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARSOVA, L. (2010). Anaerobic digestion of food waste: Current status, problems and an alternative product (Doctoral dissertation, Columbia University).
2. APHA (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater, 22st ed. Washington: APHA, American Water Works Assoc. and Water Environment Federation.
3. DE GODOS, I., ARBIB, Z., LARA, E., & ROGALLA, F. (2016). Evaluation of High Rate Algae Ponds for treatment of anaerobically digested wastewater: Effect of CO_2 addition and modification of dilution rate. *Bioresource Technology*, 220, 253-261.
4. DOS SANTOS REIS, A., GAVAZZA, S., & SANTOS, S. M. (2016). Anaerobic treatment of food waste in pilot scale. *Water Practice and Technology*, 11(4), 774-783.
5. FERREIRA (2015). Avaliação de um sistema de metanização de resíduos alimentares com vistas ao aproveitamento energético do biogás (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais).
6. GUDE, V. G. (2015). Energy positive wastewater treatment and sludge management. *Edorium Journal of Waste Management*, 1, 10-15.
7. BOUSEK, J.; SCROCCARO, D.; SIMA, J.; WEISSENBACHER, N. e FUCHS, W. Influence of the gas composition on the efficiency of ammonia stripping of biogas digestate. *Bioresour Technol*, v.203, Mar, p.259-66. 2016.
8. HUANG, W.; HUANG, W.; YUAN, T.; ZHAO, Z.; CAI, W.; ZHANG, Z.; LEI, Z. e FENG, C. Volatile fatty acids (VFAs) production from swine manure through short-term dry anaerobic digestion and its separation from nitrogen and phosphorus resources in the digestate. *Water Research*, v.90, 3/1/, p.344-353. 2016.
9. JIANG, A.; ZHANG, T.; ZHAO, Q.-B.; LI, X.; CHEN, S. e FREAR, C. S. Evaluation of an integrated ammonia stripping, recovery, and biogas scrubbing system for use with anaerobically digested dairy manure. *Biosystems Engineering*, v.119, 3//, p.117-126. 2014.
10. LI, W. W., YU, H. Q., & HE, Z. (2014). Towards sustainable wastewater treatment by using microbial fuel cells-centered technologies. *Energy & Environmental Science*, 7(3), 911-924.

11. MOLINUEVO-SALCES, B.; MAHDY, A.; BALLESTEROS, M. e GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, C. From piggery wastewater nutrients to biogas: Microalgae biomass revalorization through anaerobic digestion. *Renewable Energy*.
12. MOUTIN, T., GAL, J. Y., EL HALOUANI, H., PICOT, B., & BONTOUX, J. (1992). Decrease of phosphate concentration in a high rate pond by precipitation of calcium phosphate: theoretical and experimental results. *Water Research*, 26(11), 1445-1450.
13. ROVINS, C. CLOSING THE LOOP ON ANAEROBIC DIGESTION. *BioCycle*, v.47, n.4, p.66-69. 2006.
14. SHEETS, J. P., YANG, L., GE, X., WANG, Z., & LI, Y. (2015). Beyond land application: Emerging technologies for the treatment and reuse of anaerobically digested agricultural and food waste. *Waste Management*, 44, 94-115.
15. SHIN, S. G., HAN, G., LIM, J., LEE, C., & HWANG, S. (2010). A comprehensive microbial insight into two-stage anaerobic digestion of food waste-recycling wastewater. *water research*, 44(17), 4838-4849.
16. SU, Y., MENNERICH, A., & URBAN, B. (2012). Synergistic cooperation between wastewater-born algae and activated sludge for wastewater treatment: influence of algae and sludge inoculation ratios. *Bioresource technology*, 105, 67-73.
17. TAMPIO, E.; MARTTINEN, S. e RINTALA, J. Liquid fertilizer products from anaerobic digestion of food waste: mass, nutrient and energy balance of four digestate liquid treatment systems. *Journal of Cleaner Production*, v.125, 7/1/, p.22-32. 2016.
18. YIRONG, C., BANKS, C. J., & HEAVEN, S. (2013). Comparison of mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of food waste. *AD13 Recovering (bio) Resources for the World*.
19. ZHANG, C.; SU H., BAEYENS J., AND TAN T. (2014). Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 38: 383-392..
20. ZHAO, Q.-B.; MA, J.; ZEB, I.; YU, L.; CHEN, S.; ZHENG, Y.-M. e FREAR, C. Ammonia recovery from anaerobic digester effluent through direct aeration. *Chemical Engineering Journal*, v.279, 11/1/, p.31-37. 2015.