

II-178 - CO-DIGESTÃO DE LODO DE ESGOTO E RESÍDUOS URBANOS E INDUSTRIAIS VISANDO AO AUMENTO DA PRODUÇÃO DE METANO

Natália Carolina da Silveira⁽¹⁾

Química Industrial. Mestranda em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica pela Escola de Química (UFRJ).

Janaina dos Santos Ferreira

Engenheira química. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) Doutoranda em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química (UFRJ).

Isaac Volschan Jr.

Engenheiro Civil e Sanitarista. D.Sc. em Engenharia de Produção (UFRJ). Professor Associado do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica/UFRJ.

Claudinei de Souza Guimarães

Engenheiro Químico. D.Sc. em Química (UFRJ). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Bioquímica, Escola de Química/UFRJ.

Magali Christe Cammarota

Engenheira Química. D.Sc. em Bioquímica (UFRJ). Professor Associado do Departamento de Engenharia Bioquímica, Escola de Química/UFRJ.

Endereço⁽¹⁾: Av. Athos da Silveira Ramos, nº 149, Centro de Tecnologia - Laboratório de Tecnologia Ambiental (LTA), Bloco E, sala 115 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 21941-909 - Brasil - Tel: +55 (21) 3938-7624 - e-mail: quimica.nataliasilveira@gmail.com.

RESUMO

O tratamento de esgotos sanitários vem contribuindo para um contínuo aumento da produção de lodos biológicos. Além deste problema, a atividade humana contribui também para a geração de outros tipos de resíduos sólidos orgânicos como os resíduos de atividades agropecuárias, agrícolas, resíduos industriais não perigosos e resíduos sólidos urbanos (RSU). O aumento da produção de lodo nas ETE e a recente implantação de uma nova e mais restritiva Política Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos (PNRSU) no Brasil, faz com que a gestão e o tratamento desses resíduos sólidos estejam em pleno desenvolvimento. Uma opção interessante para melhorar o rendimento da produção de metano na digestão dos lodos é a co-digestão com outros resíduos de elevado teor orgânico. Este processo pode resultar em maiores rendimentos de metano, mas as condições de mistura precisam ser melhor estudadas em função de modificações nutricionais. Diante disso, o presente trabalho apresenta um estudo da co-digestão de lodo de esgoto com resíduo alimentar em escala de bancada. Diferentes proporções da mistura (volume de lodo: volume de resíduo alimentar) foram avaliadas: 100:0 (controle); 90:10; 80:20; 70:30 e 60:40. O estudo resultou em um aumento considerável na produção de biogás com adição de resíduo alimentar ao lodo, sendo a condição com 90% lodo e 10% resíduo a que apresentou maior produção de metano (266 NL CH₄/kg SV aplicados) comparada à digestão de somente lodo (179 NL CH₄/kg SV aplicados).

PALAVRAS-CHAVE: Co-digestão, lodo de esgoto, metano, resíduo alimentar, rendimento.

INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto consiste de sólidos separados da parte líquida do esgoto durante a etapa de sedimentação primária e do excesso de lodo biológico proveniente do sistema de lodos ativados. Este deve ser tratado antes do descarte para uma devida proteção ambiental (Ramakrishna e Viraraghavan, 2005). Como resultado, um esforço significativo tem sido dedicado para minimizar a geração de lodo e otimizar o tratamento do mesmo.

Dentre as várias opções disponíveis no momento para o tratamento de lodo de esgoto, a digestão anaeróbia é provavelmente a tecnologia mais utilizada (Wang et al., 2008; Brisolara e Qi, 2013; Semblante et al., 2014).

Uma opção interessante para melhorar o rendimento da produção de metano é a co-digestão. Este processo é bem conhecido, resultando em rendimentos muito mais elevados de metano quando os resíduos de alimentos e

outros tipos similares de resíduos orgânicos são combinados com lodo (Fountoulakis et al., 2010). Nos últimos anos muitos esforços foram bem sucedidos para a co-digestão do lodo de esgoto com vários outros substratos, tais como os resíduos de produtos de confeitaria (Lafitte-Trouque e Forster, 2000), lodos provenientes da indústria de celulose e papel (Einola et al., 2001), resíduos da produção de café (Neves et al., 2006) e lodos provenientes de estações de tratamento de indústrias de processamento de carne (Davidsson et al., 2008; Luste et al., 2009). Segundo a literatura, o aumento na produtividade de biogás está relacionado positivamente com a adição de subprodutos orgânicos em altas concentrações.

Lebiocka e Piotrowicz (2012) avaliaram a co-digestão anaeróbia de lodo de esgoto com a fração orgânica de resíduos sólidos urbanos em escala laboratorial. A razão de lodo e fração orgânica de 75:25 (em volume) foi a condição limite recomendada pelos autores para garantir a co-fermentação e intensificação da produção de biogás. A adição de 25% da fração orgânica ao lodo aumentou a produção de biogás de 1,21 para 1,51 m³/kg SV removidos. No entanto, ao aumentar a escala de co-digestão, os resultados obtidos foram inferiores aos obtidos na escala laboratorial.

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a co-digestão anaeróbia de diferentes combinações de resíduos orgânicos (começando com resíduo alimentar) e lodo de esgoto.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostragem e caracterização do resíduo alimentar

A co-digestão de lodo foi avaliada com resíduos sólidos provenientes do Restaurante Universitário do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Amostras de aproximadamente 15 kg da fração orgânica dos resíduos eram pré-selecionadas no restaurante. No laboratório, as amostras eram submetidas a uma nova seleção, sendo retirados ossos, papéis, palitos de dente, copos descartáveis e qualquer outro material que não fosse resíduo alimentar. Em seguida, a fim de promover uma redução de tamanho e homogeneização da amostra, o resíduo era triturado em liquidificador com adição de água destilada (o suficiente para iniciar o processo de trituração) e posteriormente submetido a uma caracterização físico-química.

O resíduo alimentar triturado foi caracterizado em termos de pH, umidade, sólidos totais, fixos e voláteis, carbono total, fósforo total, nitrogênio total, óleos e graxas, carboidratos e proteínas. Concentrações de carboidratos e proteínas foram determinadas pelos métodos de Dubois et al. (1956) e Lowry et al. (1951), respectivamente. A quantificação de carbono e nitrogênio foi feita em analisador CHN, Truspec Micro. Para a análise de fósforo as amostras foram digeridas em equipamento apropriado (Digesdahl® Digestion Apparatus, da marca Hach) e o teor de fósforo total determinado por reação colorimétrica de acordo com o método 8048 (Hach). As leituras de absorbância foram realizadas em espectrofotômetro Hach modelo DR-5000. Os demais parâmetros foram quantificados por métodos padrão, de acordo com o Standard Methods (APHA, 2005).

Amostragem e caracterização do lodo

O lodo empregado nos ensaios era proveniente do decantador secundário de um sistema de Lodos Ativados em operação na Estação de Tratamento de Esgoto de Alegria (Rio de Janeiro – RJ). Após coleta, este foi caracterizado em termos de umidade e Sólidos Totais (voláteis e fixos), de acordo com procedimento padrão (APHA, 2005). O lodo apresentou umidade de 96,6% e concentração de Sólidos totais de 18,16 mg/g (11,76 mg/g de sólidos voláteis e 6,4 mg/g de sólidos fixos).

Ensaio de co-digestão de lodo e resíduo alimentar

Os ensaios de co-digestão de misturas de resíduo alimentar e lodo foram conduzidos em escala de bancada em frascos tipo penicilina de 100 mL, contendo 50 mL da mistura. Diferentes misturas foram avaliadas (volume de lodo: volume de resíduo alimentar): 100:0 (controle); 90:10; 80:20; 70:30 e 60:40.

Após introdução da mistura e fechamento dos frascos com batoques de borracha e selos de alumínio, estes eram acoplados a seringas plásticas de 60 mL para medição do volume de biogás produzido. Os frascos foram incubados em sala climatizada a 30°C sem agitação até estabilização da produção de biogás (Figura 1).



Figura 1: Frasco tipo penicilina usado nos ensaios de co-digestão anaeróbia e incubação dos frascos em sala climatizada a 30°C.

Um total de 60 frascos (12 para cada composição de mistura) foi usado. Os volumes de biogás foram medidos diariamente, enquanto pH, N amoniacal e o-fosfato na fase líquida e sólidos voláteis da mistura foram quantificados aos 12, 30 e 40 dias, selecionando-se aleatoriamente 04 frascos de cada condição para abertura e realização das análises. N-amoniacal foi determinado com eletrodo seletivo em analisador de íons Corning, o-fosfato pelo método colorimétrico 4500 C (APHA, 2005) através de reação do orto-fosfato com o reagente molibdato-vanadato, pH por leitura direta em potenciômetro da marca Quimis (modelo Q 400 AS) e sólidos suspensos totais, fixos e voláteis (SST, SSF e SSV) pelos métodos 2540 D e E (APHA, 2005).

Atingida a estabilização da produção de biogás, amostras do biogás acumulado eram tomadas e submetidas à cromatografia gasosa para quantificação do percentual de metano. O biogás foi analisado em equipamento Micro GC VARIAN (CP-4900), empregando coluna PPQ 10m x 0,32mm, detector de condutividade térmica a 250°C, temperatura da coluna de 50°C, temperatura do injetor de 80°C e hélio como gás de arraste.

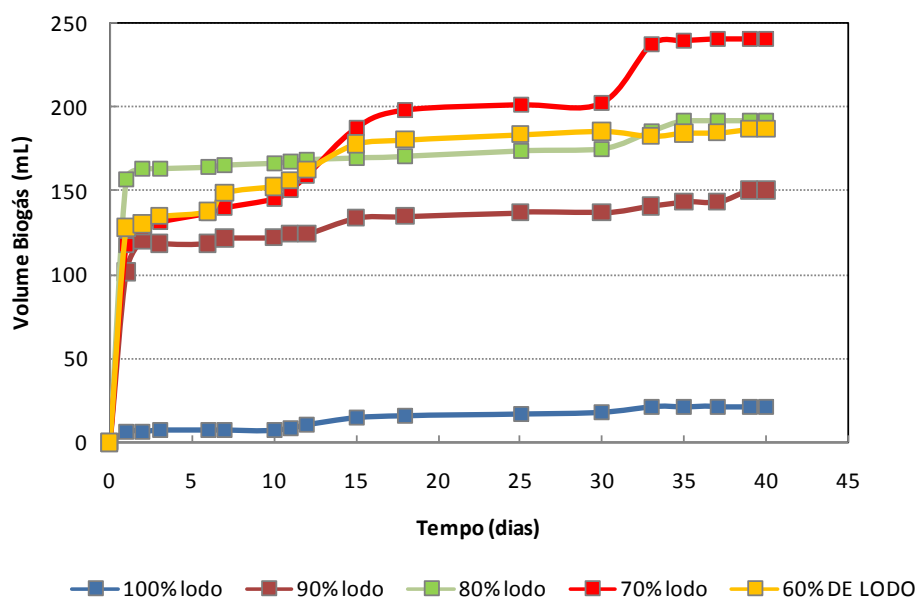
RESULTADOS

Na Tabela 1 é apresentada a composição do resíduo alimentar utilizado nos ensaios. Verifica-se que o resíduo apresenta umidade elevada, embora menor que a do lodo, e pH ácido. As concentrações de N e P são baixas, em relação ao carbono, indicando deficiência de nutrientes para a digestão anaeróbia. A composição química mostra quantidades três vezes maiores de óleos e graxas que proteínas e carboidratos, que apresentam quantidades similares.

Na Figura 2 são apresentados os volumes de biogás obtidos ao longo do tempo para as diferentes misturas de resíduo alimentar e lodo. Verifica-se que a adição de resíduo alimentar ao lodo aumenta consideravelmente o volume de biogás logo no início dos ensaios. Enquanto no ensaio Controle (com 100% lodo) atinge-se um volume de biogás de somente 22 mL após 40 dias de digestão a 30°C, nos ensaios com resíduos o volume final de biogás varia entre 150 e 241 mL. A velocidade inicial de produção de biogás também é muito maior nos ensaios com resíduo alimentar, de 101,5 a 156,9 mL/d contra 7,1 mL/d com 100% lodo.

Tabela 1: Caracterização do resíduo alimentar empregado no estudo.

Análises	Valor
pH	5,15
Umidade (%)	73,2
Carbono (%) ^a	51,6
Nitrogênio (%) ^a	8,0
Fósforo (%) ^a	0,003
Carboidratos (mg/g) ^b	22,33
Proteínas (mg/g) ^b	26,17
Óleos e graxas (mg/g) ^b	69,78
Sólidos Totais (mg/g) ^b	267,68
Sólidos Fixos (mg/g) ^b	16,31
Sólidos Voláteis (mg/g) ^b	251,37

^a g/100 g base seca; ^b mg/g peso úmido.**Figura 2: Evolução da produção de biogás (30°C) para as diferentes misturas de lodo e resíduo alimentar.**

O volume de biogás aumenta com a carga inicial de sólidos voláteis na mistura, conforme apresentado na Figura 3, pois o resíduo alimentar apresenta concentração de sólidos voláteis muito superior à apresentada pelo lodo (cerca de 251 mg/g, contra 12 mg/g do lodo). Uma forte correlação entre SV aplicados e volume de biogás produzido (ou metano, pois os %CH₄ eram similares no biogás produzido nas diferentes misturas) é observada até 60% lodo (ou 40% resíduo) na mistura. Nesta concentração de resíduo obtém-se um volume de biogás muito menor que o esperado, indicando que pode haver um limite para a adição de resíduo alimentar na co-digestão com lodo, em função de alterações nas condições nutricionais (relações C:N, por exemplo), de umidade, e outras que passam a prejudicar a estabilização da mistura. Fatores como temperatura, tempo de retenção hidráulica, composição do substrato, pH do meio, tamanho das partículas, concentração de amônia e de subprodutos formados, podem alterar o processo (Chernicharo, 2007).

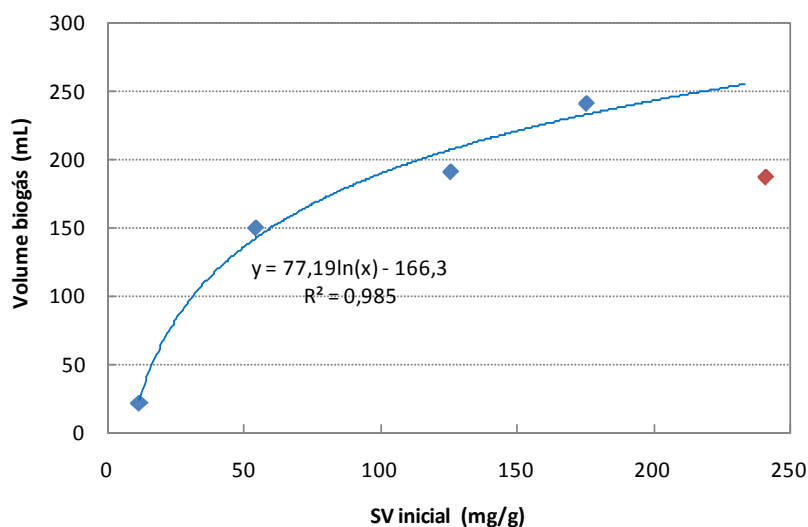


Figura 3: Correlação entre volume de biogás produzido (30°C) e carga de sólidos voláteis inicial.

O resíduo empregado neste estudo apresentava umidade de 73,2%. Portanto, nas misturas com o lodo (com umidade de 96,6%) a umidade variou entre 87,3% e 94,3%. Para que haja maior rendimento na produção de metano, o resíduo submetido à digestão anaeróbia deve apresentar umidade entre 80 e 99%, já que esta influencia diretamente na transferência de massa e oferta de nutrientes para os microrganismos. Assim, é comum que na digestão anaeróbia de resíduos mais secos haja diluição dos mesmos em água ou a mistura com outro resíduo de maior umidade (Mata-Alvarez et al., 2011). Portanto, no presente estudo a umidade se manteve dentro de valores aceitáveis.

Já com relação à alteração das condições nutricionais, o maior percentual de resíduo alimentar pode contribuir com maiores concentrações de nitrogênio na mistura, desbalanceando a relação C/N ideal para a digestão anaeróbia. A razão C/N ideal varia de 20/1 a 30/1 (Li et al., 2011), razões menores revelam um meio muito rico em proteínas ou outros compostos ricos em nitrogênio, que poderiam levar a uma elevada geração de amônia e inibir as arqueias metanogênicas. Razões maiores revelam um meio pobre em nitrogênio, que necessita de suplementação para o bom funcionamento das bactérias. Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram que o resíduo triturado apresentava uma relação C/N muito reduzida e imprópria para a digestão anaeróbia. Valores de nitrogênio em resíduo alimentar, na literatura, costumam ficar entre 2,5 e 13% (LIU et al., 2012; FORSTER-CARNEIRO et al., 2008; KIM et al., 2006).

Deve-se considerar também que na composição do resíduo alimentar podem estar presentes proteínas, carboidratos e gorduras na forma de macromoléculas ou polímeros de estrutura complexa, com velocidades de degradação mais lentas. A hidrólise de tais substâncias a compostos solúveis biogênicos é um fator limitante para a degradação dos resíduos (Park et al., 2005).

Após uma rápida produção inicial de biogás, a velocidade de produção caiu e em seguida ocorreu uma fase de estagnação, que para algumas misturas (60 e 90% lodo) se manteve até o fim do ensaio. Já com as misturas com 70% e 80% lodo, havia uma retomada da produção de biogás após 30 dias de digestão (Figura 2). A estagnação da produção de biogás provavelmente se deve a uma acentuada diminuição do pH da mistura, como mostra a Figura 4. No ensaio controle, o pH oscilou entre 7,0 e 6,5. Já nas misturas com resíduo alimentar o pH caiu para valores entre 3,6 e 4,4 e permaneceu baixo até o fim dos ensaios. À exceção da mistura com menor percentual de resíduo (90% lodo), cujo pH caiu menos (4,6-4,7) e mostrou tendência de aumento, atingindo ao final do ensaio valor de 5,5. Analisando-se o pH aos 40 dias de ensaio, percebe-se uma correlação entre o percentual de resíduo e o pH. À medida que este percentual aumenta (de 100% lodo para 60% lodo, ou seja, de 10% resíduo para 40% resíduo), o pH se torna mais ácido.

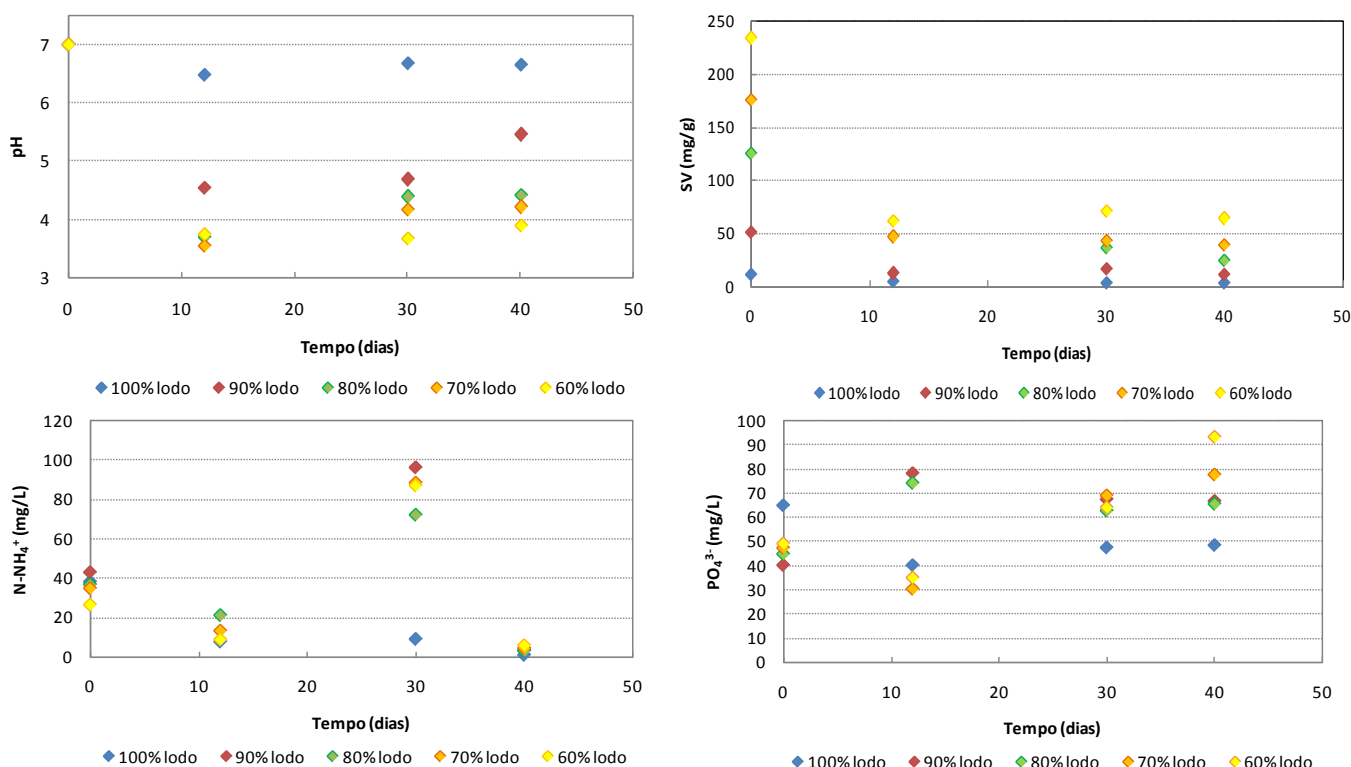


Figura 4: Resultados de pH, Sólidos voláteis, N amoniacal e o-fosfato durante a co-digestão de lodo e resíduo alimentar em diferentes proporções.

O conteúdo orgânico do resíduo, facilmente assimilável pelas bactérias anaeróbias ainda ativas no lodo e no próprio resíduo, pode levar a uma rápida produção de ácidos graxos livres (AGV). Chernicharo (2007) cita que se a queda de pH atinge valores inferiores a 6,0, há favorecimento das bactérias acidogênicas (pH ótimo entre 5,5 e 6,0) e prejuízo para as metanogênicas, que são mais sensíveis a bruscas variações de pH, parando consequentemente a produção de metano. No entanto, na análise de composição do biogás verificaram-se percentuais de metano superiores a 95% em todas as misturas.

A redução da concentração de Sólidos voláteis (SV), mostrada na Figura 4, também indica que não houve inibição acentuada da metanogênese, apesar dos baixos valores de pH. Verificaram-se reduções totais de SV (aos 40 dias) de 65,6% (100% lodo), 76,8% (90% lodo), 80,3% (80% lodo), 76,3% (70% lodo) e 73,1% (60% lodo). A menor redução de SV observada com 60% lodo (ou 40% resíduo), dentre as misturas avaliadas, pode ser devido a modificações das condições nutricionais, como já comentado. Mesmo assim, comparando a redução média das misturas de lodo e resíduo (76,6%) com a redução de lodo puro (65,5%), verifica-se uma maior redução com as misturas de lodo e resíduo.

Na Figura 4 também são apresentadas as concentrações de nitrogênio amoniacal e o-fosfato na fase líquida das misturas ao longo do processo de co-digestão. Com relação ao nitrogênio amoniacal, verifica-se que a variação da concentração com o tempo é similar para as diferentes concentrações de resíduo alimentar no lodo. Com 100% lodo a concentração caiu com o tempo, em função de um processo de estabilização mais demorado e também de menores concentrações de nitrogênio no lodo. Já com as misturas com resíduo alimentar ocorreu uma pequena redução do início para 12 dias, seguida de aumento em 30 dias e novamente decaimento quase total aos 40 dias. Como o resíduo contém nitrogênio orgânico, a amonificação contribui para o aumento da concentração de amônia durante o processo. No entanto, à medida que o resíduo é hidrolisado e solubilizado, aumenta a oferta de substrato e nutrientes biodisponíveis no meio para consumo.

por bactérias ativas presentes no lodo e no resíduo. Durante a digestão ocorre tanto a utilização do resíduo como substrato por microrganismos ativos presentes no resíduo como a estabilização dos sólidos biológicos do lodo. A combinação destes processos resulta em comportamentos distintos para a variação das concentrações de N e P no meio. Analisando as concentrações iniciais e finais médias para todas as condições, verifica-se que com 100% lodo ocorreu uma redução de amônia de 38,0 para 1,3 mg/L, enquanto nas misturas de lodo e resíduo houve uma redução média de 35,4 para 4,5 mg/L.

A concentração de fosfato na fase líquida apresentou comportamentos distintos com o tempo de digestão, dependendo da composição da mistura. Com 100% lodo, a concentração de fosfato diminuiu do início para 12 dias, aumentou levemente até 30 dias e praticamente estabilizou. Com misturas de lodo e baixos percentuais de resíduo (10% e 20% de resíduo), o fosfato aumentou aos 12 dias, decaiu levemente aos 30 dias e estabilizou. Já com as misturas de lodo e percentuais mais altos de resíduo (30% e 40% de resíduo), o fosfato diminuiu pouco até os 12 dias e em seguida aumentou quase linearmente até os 40 dias. Analisando as concentrações iniciais e finais médias para todas as condições, verifica-se que com 100% lodo ocorreu uma redução de fosfato de 65,3 para 48,5 mg/L, enquanto nas misturas de lodo e resíduo houve um aumento médio de 45,4 para 76,0 mg/L. Tal resultado indica uma maior estabilização nas misturas de lodo e resíduo alimentar, conforme verificado pela redução de SV. A quase inexistência de fósforo na composição do resíduo pode ter contribuído para uma estabilização mais rápida dos sólidos, ocasionando a liberação de fosfato solúvel no meio.

A Tabela 2 resume os resultados obtidos com as misturas avaliadas, verificando-se que a condição com 90% lodo e 10% resíduo foi a que apresentou maior produção de metano por SV aplicados; menor percentual de SV na mistura final, quando comparado às demais misturas; boa redução de SV após 40 dias; e menor redução de pH, comparada às demais misturas. Além disto, esta proporção seria mais condizente com os volumes de lodo e resíduo alimentar produzidos.

Tabela 2: Resumo dos resultados da co-digestão de lodo de esgoto e resíduo alimentar.

% lodo	Vol biogás (mL-30°C)	PEM (NL CH ₄ /kg SV aplicados)	%SV final mistura	Redução SV (%)	pH final	N-NH ₄ ⁺ final (mg/L)	PO ₄ ³⁻ final (mg/L)
100	22,0	168,6	52,6	65,6	6,66	1,3	48,5
90	150,5	265,3	75,0	76,8	5,46	4,2	67,0
80	191,5	131,3	84,9	80,4	4,43	3,3	65,8
70	241,0	123,7	87,4	76,3	4,22	4,6	77,9
60	187,3	72,3	90,1	73,1	3,91	5,9	93,4

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que a adição de resíduo alimentar ao lodo aumenta consideravelmente o volume de biogás produzido: 22 mL para o lodo puro em 40 dias contra uma variação de 150 a 241 mL com adição de resíduo. A velocidade inicial de produção de biogás também foi muito maior nos ensaios com resíduo alimentar, de 101,5 a 156,9 mL/d, contra 7,1 mL/d com 100% lodo. Ocorreu uma forte redução do pH no meio, redução esta tão maior quanto o percentual de resíduo misturado ao lodo. No entanto, apesar de verificado um pH ácido (3,6-4,0) nas misturas de lodo e resíduo, na análise de composição do biogás verificou-se percentuais de metano superiores a 95% em todas as misturas. Foi obtida uma maior estabilização nas misturas de lodo e resíduo (76,6% de redução de SV, em média) em comparação com o lodo puro (65,5%). E a condição com 90% lodo e 10% resíduo foi a que apresentou maior produção de metano (265,3 NL CH₄/g SV aplicados); menor percentual de SV (75%) na mistura final, quando comparado às demais misturas; boa redução de SV (76,8%) após 40 dias; e menor redução de pH (de 7,0 para 5,5), comparada às demais misturas. Além disto, esta proporção seria mais condizente com os volumes de lodo e resíduo alimentar produzidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA (American Public Health Association), American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18 ed., New York, 2005.
2. BRISOLARA, K.F., QI, Y. Biosolids and sludge management. *Water Environment Research*, v.85, n.10, p. 1283-1297, oct. 2013.
3. CHERNICHARO, C. A. L., 2007. *Reatores Anaeróbios – Edição Revisada e Ampliada*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, 379p.
4. DAVIDSSON, A., LOVSTEDT, C., IA COUR JANSEN, J., GRUVBERGER, C., ASPEGREN, H. Co-digestion of grease trap sludge and sewage sludge. *Waste Management*. v.28, n.6, p. 986–992, 2008.
5. DUBOIS, M., GILLES, K.A., HAMILTON, J.K., REBERS, P.A., SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related compounds. *Analytical Chemistry*. v.28, n.3, p. 350-356, 1956.
6. EINOLA, J., SALMINEN, E., LUOSTARINEN, S., RINTALA, J. Screening for an optimal combination of municipal and industrial wastes and sludges for anaerobic co-digestion. In: *Proceedings of the 9th World Congress, Anaerobic Digestion 2001, Anaerobic Conversion for Sustainability 1*, p. 357–362, 2001.
7. FORSTER-CARNEIRO, T., PÉREZ, M., ROMERO, L.I. Anaerobic digestion of municipal solid wastes: Dry thermophilic performance. *Bioresource Technology*, v. 99, n.17, p. 8180–8184, nov. 2008.
8. FOUNTOULAKIS, M.S., PETOUSHI, I., MANIOS, T. Co-digestion of sewage sludge with glycerol to boost biogas production. *Waste Management* v.30, n.10, p. 1849-1853, oct., 2010.
9. LAFITTE-TROUQUÉ, S., FORSTER, C.F. Dual anaerobic co-digestion of sewage sludge and confectionery waste. *Bioresource Technology*. v.71, n.1, p. 77–82, jan. 2000.
10. LEBIOCKA, M., PIOTROWICZ, A. Co-digestion of sewage sludge and organic Fraction of municipal solid waste. A comparison between laboratory and technical scales. *Environment Protection Engineering* v.38, n.4, p. 157-162, 2012.
11. LUSTE, S., LUOSTARINEN, S., SILLANPAA, M. Effect of pre-treatments on hydrolysis and methane production potentials of by-products from meat-processing industry. *Journal of Hazardous Materials*. v.164, n.1, p. 247-255, may. 2009.
12. KIM, S-H.; HAN, S-K.; SHIN, H-S. Effect of substrate concentration on hydrogen production and 16S rDNA-based analysis of the microbial community in a continuous fermenter. *Process Biochemistry*, v.41, n.1, p. 199–207, jan. 2006.
13. LOWRY, O.H., ROSEBROUGH, N.J., FARR, A.L., RANDALL, R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*. v.193, p. 265-276, 1951.
14. MATA-ALVAREZ, J., DOSTA, J., MACÉ, S., ASTALS, S. Codigestion of solid wastes: a review of its uses and perspectives including modeling. *Critical Reviews in Biotechnology*, v.31, n.2, p. 99-111, 2011.
15. NEVES, L., OLIVEIRA, R., ALVES, M.M. Anaerobic co-digestion of coffee waste and sewage sludge. *Waste Management*. v.26, p. 176–181, 2006.
16. PARK, C., LEE, C., KIM, S., CHEN, Y., CHASE, H.A. Upgrading of anaerobic digestion by incorporating two different hydrolysis processes. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, v.100, n.2, p 164-167, aug. 2005.
17. RAMAKRISHNA, D.M., VIRARAGHAVAN, T. Strategies for sludge minimization in activated sludge process e a review. *Fresenius Environmental Bulletin*. v.14, n.1, p. 2-12, 2005.
18. SEMBLANTE, G.U., HAI, F.I., NGO, H.H., GUO, W., YOU, S.J., PRICE, W.E., NGHIEM, L.D. Sludge cycling between aerobic, anoxic and anaerobic regimes to reduce sludge production during wastewater treatment: performance, mechanisms, and implications. *Bioresource Technology*. v.155, p. 395-409, mar. 2014.
19. LI, Y., PARK, S.Y., ZHU, J. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v.15, n.1, p. 821-826, jan. 2011.
20. LIU, X., GAO, X., WANG, W., ZHENG, L., ZHOU, Y., SUN, Y. Pilot-scale anaerobic co-digestion of municipal biomass waste: Focusing on biogas production and GHG reduction. *Renewable Energy*. v.44, p. 463–468, aug. 2012.
21. WANG, H., BROWN, S.L., MAGESAN, G.N., SLADE, A.H., QUINTERN, M., CLINTON, P.W., PAYN, T.W. Technological options for the management of biosolids. *Environmental Science Pollution Research*. v.15, p. 308-317, may. 2008.