



INFLUÊNCIA DA TAXA DE RECIRCULAÇÃO DE LIXIVIADO NA DEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Jessica Lara Nunes de Souza¹ (jessicalarans@gmail.com), Tatiane Cristina Dal Bosco¹ (tatianebosco@utfpr.edu.br), Bruno de Oliveira Freitas¹ (brunofreitas@utfpr.edu.br), Flávia Gonçalves² (flavia_goncalves.fg@hotmail.com)

1 Universidade Tecnológica Federal do Paraná

2 Universidade Estadual de Londrina

RESUMO

Há divergências de opiniões na área técnica relacionada à operação de aterros sanitários quanto à viabilidade da recirculação de lixiviado no maciço. Deste modo, três reatores em escala laboratorial foram utilizados como unidade de simulação de uma célula de aterro sanitário e foi avaliada a influência de diferentes taxas de recirculação de lixiviado (sem recirculação, 50% e 100% de recirculação) no processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos e produção de biogás utilizando um reator anaeróbio como unidade de simulação de uma célula de aterro sanitário. Os resultados indicam que, em 55 dias de estudo, houve a ocorrência de degradação dos resíduos em todos os reatores, porém mais intensa nos reatores com recirculação de lixiviado. A ausência de recirculação promoveu a lavagem e diluição dos constituintes do lixiviado. A recirculação de 100% do lixiviado influenciou na inibição da produção de biogás. A produção acumulada de biogás foi estatisticamente superior no reator com recirculação de 50%, apontando este tratamento como vantajoso para a aceleração da digestão anaeróbia dos resíduos e produção de biogás.

Palavras-chave: Aterro sanitário; Digestão anaeróbia; Estabilização de resíduos sólidos.

INFLUENCE OF LEACHATE RECIRCULATION ON MUNICIPAL SOLID WASTE BIODEGRADATION AND BIOGAS PRODUCTION

ABSTRACT

There are differences of opinion in the technical field related to the landfill operation and the viability of leachate recirculation in mass. Thus, three reactors in laboratory scale were used as simulation unit of a landfill cell and evaluate the influence of different leachate recirculation rates (without recirculation, 50% and 100% recirculation) on the anaerobic digestion of waste solid urban and biogas using an anaerobic reactor as simulation unit of a landfill cell. The results indicate that within 55 days of study, the waste degradation occurred in all reactors, but more intense in the leach reactors with recirculation. The absence of recirculation promoted leachate washing and dilution of the constituents. The recirculation of the leached influenced 100% inhibition of biogas production. The accumulated production of biogas was statistically higher in the reactor with recirculation of 50%, indicating this treatment as advantageous for the acceleration of the anaerobic digestion of waste and production of biogas.

Keywords: Landfill; Anaerobic digestion; Stabilization of solid waste.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por bens de consumo está intimamente relacionada ao aumento da geração de resíduos sólidos urbanos, trazendo à tona questões relacionadas ao seu gerenciamento e disposição adequada (LANGE E AMARAL, 2009).

O aterro sanitário é um método de disposição final de resíduos cujas características construtivas e operacionais específicas visam minimizar os efeitos adversos ao ambiente. Dentre as principais

características do aterramento de resíduos sólidos tem-se a capacidade de minimizar os efeitos de suas duas principais fontes de poluição: o lixiviado e o biogás (POVINELLI e SOBRINHO, 2009).

A fim de acelerar a estabilização dos resíduos, o aterro pode ser operado de modo a favorecer as condições de biodegradação da matéria orgânica. Tal ideia vem sendo difundida há alguns anos devido à busca por sustentabilidade para a atividade (BENBELKACEM et al., 2010). A recirculação do lixiviado proveniente da decomposição anaeróbia dos resíduos no aterro sanitário pode ser descrito como um processo de inoculação de biomassa, que tem como vantagem o fato de já estar aclimatada ao substrato a ser degradado e aos fatores de inibição, caracterizando-se como uma das técnicas mais conhecidas e empregadas na promoção da digestão acelerada dos resíduos sólidos urbanos confinados em aterros (CINTRA, 2003).

Para que a aceleração da degradação do resíduo seja efetiva, a taxa de recirculação deve ser escolhida cuidadosamente (BILGILI, DEMIR e ÖZKAYA, 2007). Taxas elevadas promovem a solubilização dos resíduos novos e a aceleração do estabelecimento de condições metanogênicas (THOBANOGLIOUS, 2002), bem como o acúmulo de nitrogênio amoniacal (BENBELKACEM et al., 2010). Porém, se muito lixiviado for recirculado pode ocorrer um desbalanceamento entre as fases acidogênica e metanogênica, levando ao acúmulo de ácidos orgânicos e álcool, tornando o meio tóxico para os organismos metanogênicos (SPONZA e AGDAG, 2003). Sendo assim, estudos com taxas de recirculação de lixiviado em aterros sanitários tornam-se necessários.

2. OBJETIVO

Avaliar a influência de diferentes taxas de recirculação de lixiviado no processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos e na produção de biogás utilizando reatores anaeróbios como unidades de simulação de células de aterro sanitário.

3. METODOLOGIA

3.1 Montagem dos reatores e parâmetros operacionais

A confecção dos reatores anaeróbios de resíduos sólidos urbanos (RSU) em escala laboratorial baseou-se nos trabalhos realizados por Cintra (2003), Souto (2005) e Barcelos (2009).

Três reatores (Figura 1) foram construídos com recipientes de polietileno de alta densidade (PEAD), com altura de 49 cm, diâmetro de 35 cm, cujo volume útil aproximado era de 47 litros. Nas tampas de pressão, dotadas de anel metálico para vedação, foram instalados sistemas para a simulação de chuva, recirculação de lixiviado e condução do biogás ao gasômetro. Na parte externa, o sistema era composto por registro hidráulico e conexão para mangueiras de poliuretano (PU). Na parte interna, havia um distribuidor dos líquidos inseridos, para que estes atingissem de forma homogênea a superfície de preenchimento dos reatores. Na parte inferior dos reatores foi instalada uma torneira para coleta de lixiviado. Por fim, o sistema utilizado para a quantificação da produção de biogás baseou-se no método de deslocamento de volume.

Para o preenchimento dos reatores utilizou-se composição gravimétrica baseada nos valores obtidos por Salsa (2013) para os resíduos gerados em um condomínio horizontal situado zona sul de Londrina. Os percentuais representativos de cada categoria da composição gravimétrica estão expressos na Tabela 1.

Ao fundo dos reatores foi acomodada uma camada de brita número 0 (6 cm de altura), atuando como dreno do lixiviado. Em seguida foi adicionado em uma camada única os resíduos sólidos urbanos compactados e, novamente, uma camada de brita, visando uma melhor distribuição do lixiviado recirculado e da simulação de chuva.

A compactação dos resíduos foi manual, com o auxílio de um bloco maciço de madeira. A quantidade de resíduo inserida nos reatores R1, R2 e R3 foi: 12,33 kg, 12,27 kg e 12,32 kg, respectivamente, ocupando uma altura de 26 cm (compactação média de 493,12 kg.m⁻³).

Figura 1: Esquema do reator anaeróbio utilizado no estudo

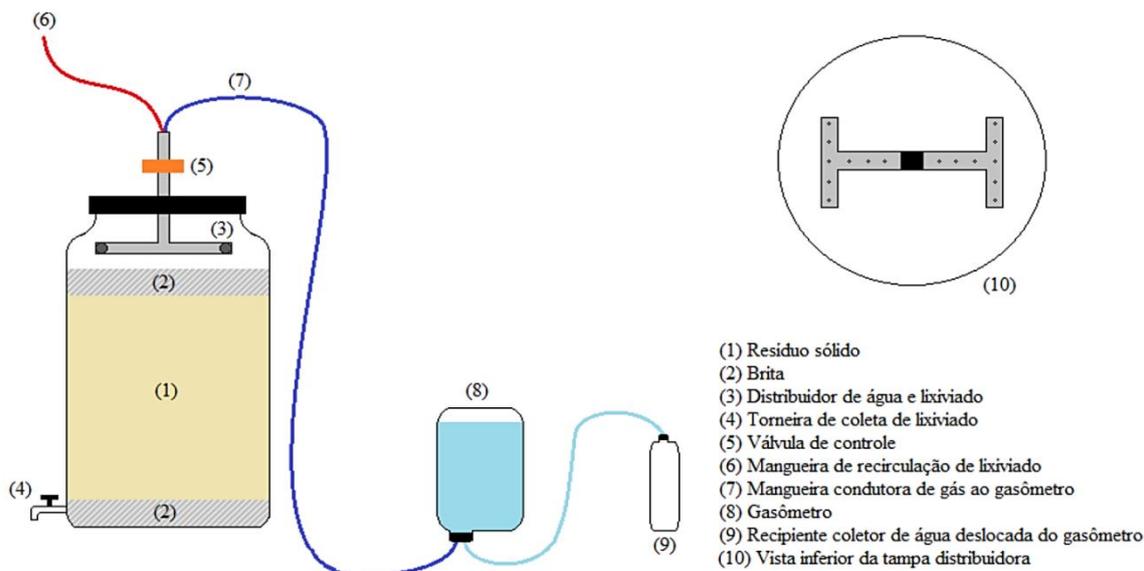


Tabela 1: Composição gravimétrica utilizada no estudo

Material	% em massa	Massa por reator (kg)
Papel/papelão	10,54	1,50
Vidro	4,57	0,65
Metal	1,15	0,48
Plástico	5,23	0,74
Isopor	0,47	0,07
Orgânico	74,14	10,54
Outros (1)	3,90	0,55

(1) Categoria composta por maravalha e tecido, nas porcentagens de 75% e 25%, respectivamente.

Os reatores foram submetidos a diferentes condições operacionais: R1 – com recirculação de 100% do volume de lixiviado produzido; R2 – com recirculação de 50% do volume de lixiviado produzido; e R3 – sem recirculação de lixiviado, este último atuando como reator controle.

No início da operação dos reatores padronizou-se a simulação de chuva em dias intercalados, a fim de umedecer a massa de resíduos, possibilitando a produção de lixiviado. O volume de água utilizado na simulação de chuva foi determinado a partir de dados históricos de precipitação da cidade de Londrina obtidos pelo Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR (2014). A precipitação anual encontrada, 610 mm, foi dividida igualmente entre os meses do ano para se trabalhar com a precipitação média anual. Considerando a área da superfície transversal do reator, determinou-se que 0,326 L seriam aplicados nos dias pré-estabelecidos, totalizando 15 dias/mês. À água aplicada foi adicionada uma solução desclorificante para que não houvesse inibição do crescimento da comunidade microbiana.

A torneira coletora (parte inferior do reator) permaneceu aberta até que o início da produção de lixiviado fosse verificada, depois sendo aberta somente nos dias em que era realizada a recirculação. Tal recirculação foi feita a partir do esgotamento do lixiviado, medição do volume produzido e recirculação de acordo com o tratamento do reator (100%, 50% e sem recirculação). Como ao longo do experimento foi verificada a acidificação do lixiviado, realizou-se a correção do pH para valores entre 7 e 8, antes da recirculação, por meio da adição de uma solução de hidróxido de sódio.

A simulação de chuva e a recirculação de lixiviado foram realizadas em dias alternados, observando ocorrência mínima de três repetições de cada processo na semana. O experimento teve duração de 55 dias.

3.2 Monitoramento dos reatores

Foram monitorados: a fração orgânica da massa de resíduos, a produção de biogás e as características do lixiviado (Tabela 2).

Tabela 2: Parâmetros de monitoramento, metodologias e periodicidades das análises.

Conteúdo analisado	Parâmetro	Método	Periodicidade	Referência
Fração orgânica do resíduo	pH	Potenciométrico	Inicial / Final ⁽¹⁾	Tedesco et al. (1995)
	CE	Condutimétrico	Inicial / Final ⁽¹⁾	Tedesco et al. (1995)
	ST e SV	2540 G	Inicial / Final ⁽¹⁾	APHA; AWWA e WEF (2012)
	COT	Mufla / Fator de conversão	Inicial / Final ⁽¹⁾	Carmo e Silva (2012)
	NT	-	Inicial / Final ⁽¹⁾	Malavolta, Vitti e Oliveira (1997)
Lixiviado	Produção de Lixiviado	Determinação de volume	3 x semana	-
	pH	4500- H ⁺ B	3 x semana	APHA; AWWA e WEF (2012)
	CE	Condutimétrico	Inicial / Semanal ⁽²⁾	Tedesco et al. (1995)
	ST / SV	2540 B / 2540 E	Semanal	
	DQO	5220 D	Semanal	APHA; AWWA e WEF (2012)
	AVO	2320 A	Semanal ⁽²⁾	
	N-amoniacoal	4500-NH ₃ B	Semanal ⁽²⁾	
Biogás	Produção de Biogás	Deslocamento de volume	3 x semana	Girardi Neto et al. (2014)

Notas: CE – Condutividade elétrica; ST – Sólidos totais; SV – Sólidos voláteis; COT – Carbono orgânico total; NT – Nitrogênio total; DQO – Demanda química de oxigênio; AVO – Ácidos voláteis orgânicos; N-amoniacoal – Nitrogênio amoniacoal. ⁽¹⁾ Ao final do experimento, análise realizada na fração orgânica acrescida de papel/papelão e maravalha, devido à impossibilidade de separação - estágio avançado de degradação dos resíduos. ⁽²⁾ Análises realizadas depois de decorridos 35 dias do início do experimento.

Foi aplicado Teste t, com intervalo de 95% de confiança, para avaliar diferença estatística na produção acumulada de biogás dos reatores.

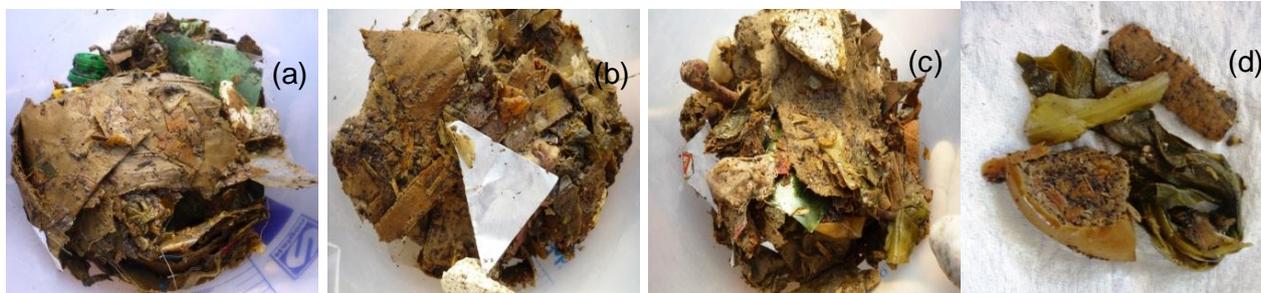
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao abrir os reatores no 55º dia de estudo, uma avaliação do aspecto visual dos resíduos pode ser feita. No R1 e R2 (Figura 2 – (a) e (b)), cujas taxas de recirculação foram de 100 e 50%, respectivamente, a maior parte da matéria orgânica estava descaracterizada e representava uma mistura do material orgânico, do papel/papelão, da maravalha e do tecido. Já no R3, sem recirculação, a matéria orgânica, em sua maioria, estava distinguível, sendo possível até mesmo a identificação de pedaços de cascas, legumes e folhagens (Figuras 2 – (c) e (d)).

Os resultados obtidos na caracterização inicial, montagem do experimento, caracterização final, término do experimento (Tabela 3), indicam que a fração orgânica inicial caracterizou-se pelo alto teor de umidade e matéria orgânica biodegradável, elevada condutividade elétrica e baixo pH, resultados estes que corroboram com o descrito por Sotti (2014), que analisou a digestão

anaeróbia dos resíduos orgânicos do restaurante universitário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Londrina, em tratamentos associados ou não a efluente sanitário.

Figura 2: Aspecto dos resíduos após o experimento



Notas: Material retirado dos reatores (a) R1; (b) R2 e (c) R3. Em (d) a identificação de pedaços de cascas, legumes e folhagens.

Tabela 3: Caracterização inicial e final da fração orgânica dos resíduos dos reatores

Amostra	pH	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	ST (%)	SV (%)	COT (%)	NT (%)
Inicial	4,29	2187,33	24,25	94,20	43,06	5,35
R1 final	5,10	18,70	27,00	92,42	42,24	4,73
R2 final	5,44	16,19	32,50	93,87	42,91	3,35
R3 final	4,61	19,09	31,44	93,18	42,59	3,89

Os valores de pH da massa de resíduos demonstraram ligeiro aumento após o processo de digestão anaeróbia, porém permaneceram ácidos. Esta observação é explicada por Tchobanoglous e Kreith (2002) que citam que os baixos valores de pH são característicos da fase ácida do processo de degradação anaeróbia, devido à conversão da matéria orgânica hidrolisada em ácidos orgânicos.

Observou-se um aumento na concentração de sólidos totais no resíduo final e isto se deve ao processo de degradação, com perda de água pelo sistema de drenagem na forma de lixiviado, na forma de vapor d'água e na fração consumida na formação do biogás (SANTOS, 2010; SOTTI, 2014). O menor aumento na concentração de sólidos totais no R1 explica-se pela ocorrência de saturação da massa de resíduos decorrente do montante maior de líquido inserido no mesmo, onde foi feita a recirculação de 100% de lixiviado produzido.

O teor de SV, COT e NT foram menores nos três reatores em relação ao resíduo inicial, indicando a ocorrência da degradação dos resíduos (TCHOBANOGLIOUS e KREITH, 2002; CINTRA, 2007).

A produção de lixiviado nos reatores é apresentada na Figura 3. A tendência de produção acumulada está condizente com os resultados de Bilgili, Demir e Özkaya (2007), considerando as devidas proporções dos reatores. Percebe-se que não houve grande variação da produção entre os reatores, ainda que o montante de líquido inserido tenha sido diferente entre os reatores. No entanto, após o 35º dia, foi possível notar que a produção acumulada passou a refletir os tratamentos aplicados, sendo maior em R1, onde a recirculação era 100%, e menor em R3, onde não houve recirculação, o que pode estar relacionado ao fato da recirculação acelerar a degradação dos resíduos e conseqüentemente gerar mais lixiviado.

A variação dos parâmetros pH, condutividade elétrica e DQO do lixiviado ao longo do período de estudo está apresentada na Figura 4.

O pH do lixiviado, assim como na fração orgânica da massa de resíduo avaliada, manteve-se ácido durante todo o experimento, evidenciando a predominância da fase ácida da biodigestão anaeróbia, característica esta condizente com lixiviado provenientes de aterros sanitários jovens (TCHOBANOGLIOUS e KREITH, 2002; LANGE E AMARAL, 2009). Sam e Onay (2001) e Chan,

Chu e Wong (2001) também obtiveram baixos valores de pH em seus estudos para curtos períodos de monitoramento como deste experimento.

Figura 3: Produção de lixiviado ao longo do estudo

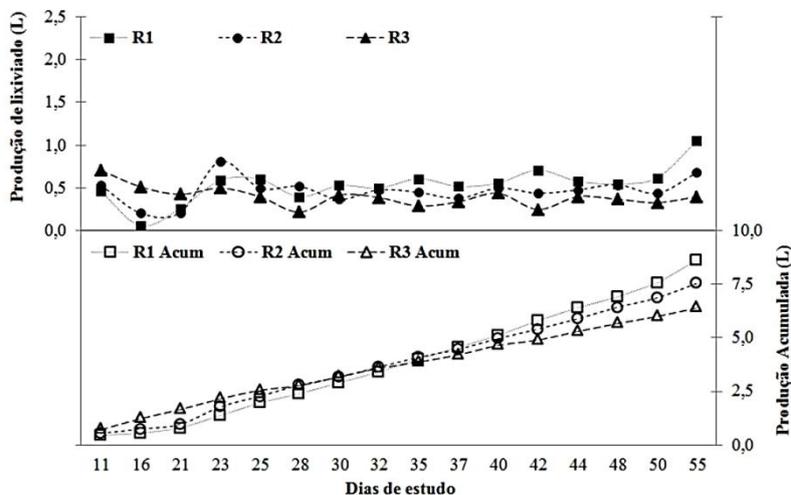
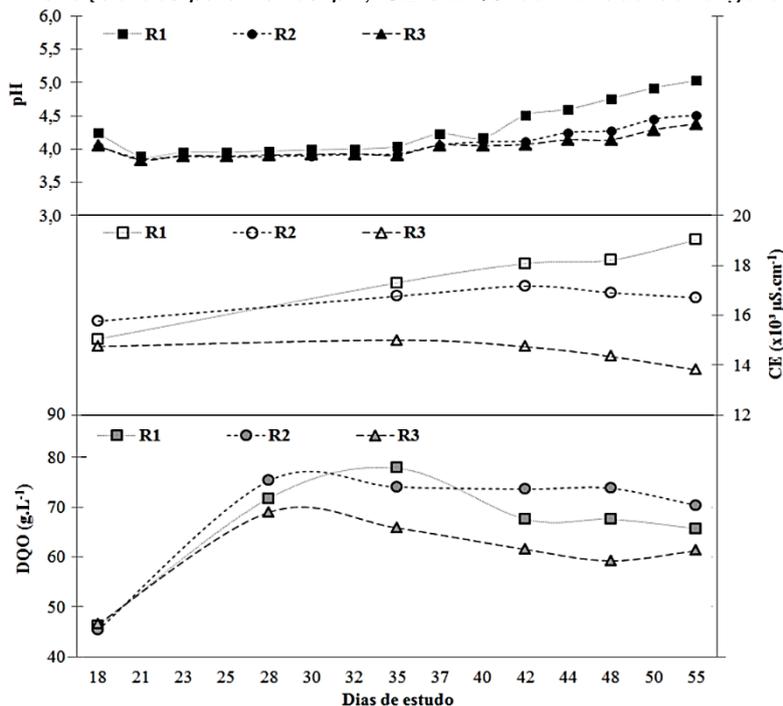


Figura 4: Variação dos parâmetros pH, CE e DQO do lixiviado ao longo do estudo



A diminuição inicial dos valores de pH deve-se ao estabelecimento da condição acidogênica nos reatores, própria do início da biodigestão anaeróbia. Posteriormente, o ligeiro aumento dos valores está relacionado ao início da produção de biogás, por meio da ação das bactérias metanogênicas acetotróficas (TCHOBANOGLIOUS e KREITH, 2002; CHERNICHARO, 1997). No início do experimento o comportamento do pH nos reatores foi semelhante. No entanto, o aumento passou a ser mais pronunciado nos reatores onde ocorreu a recirculação do lixiviado com pH corrigido, especialmente em R1 (maior volume de lixiviado recirculado). Sam e Onay (2001), ao analisarem o efeito do emprego de diferentes taxas de recirculação de lixiviado na degradação dos resíduos em um reator anaeróbio chegaram a resultados semelhantes ao deste trabalho, uma vez que o

reator operado com recirculação de lixiviado com pH corrigido a uma maior frequência de aplicação resultou em um aumento significativo no pH. Bilgili, Demir e Özkaya (2007), que também avaliaram o efeito da recirculação do lixiviado na degradação aeróbia e anaeróbia de resíduos sólidos, obtiveram valores de pH entre 4-6 nos 30 primeiros dias de análise, com aumento deste valor quando decorrido maiores períodos de tempo.

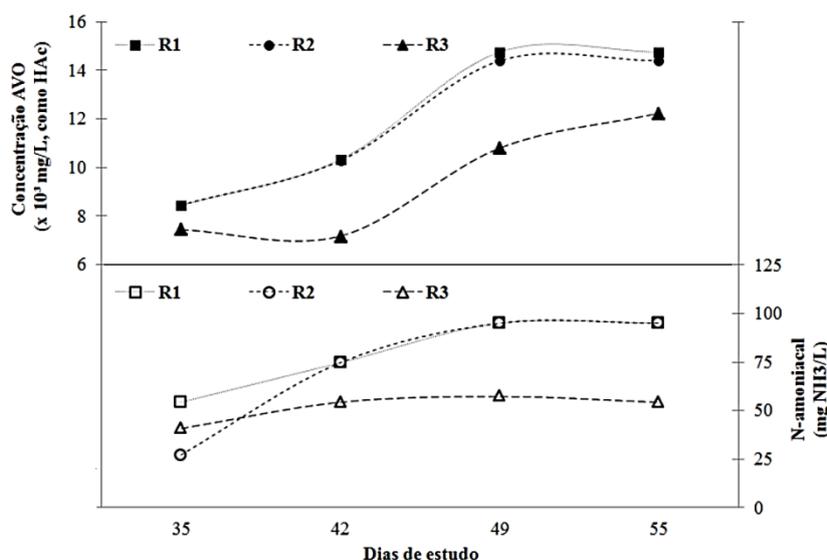
Os parâmetros condutividade elétrica e DQO também demonstraram tendência esperadas, conforme a literatura. De acordo com Tchobanoglous e Kreith (2002), a dissolução dos ácidos orgânicos no lixiviado durante a fase ácida, leva ao aumento destes dois parâmetros, fato este observado inicialmente nos três reatores. Após esta fase, com o início da geração de biogás, consumo de ácidos e conseqüente aumento do pH, os valores de DQO e condutividade elétrica tendem a reduzir (LANGE E AMARAL, 2009). Novamente foi possível observar a ocorrência de tal queda de valores determinados para os parâmetros no decorrer do experimento, exceto nos valores de condutividade elétrica do R1, que manteve tendência de aumento.

A dissolução dos sais presentes nos resíduos contribuiu para a alta condutividade elétrica observada no lixiviado. Outro fator que certamente exerceu influência neste parâmetro, em R1 e R2, foi o uso do NaOH na correção do pH do lixiviado. Observa-se ainda que em R1 este fator pode ter causado um maior impacto devido ao grande volume de lixiviado recirculado. Elevadas concentrações de sais no lixiviado devem ser evitados, pois podem prejudicar os processos biológicos devido ao efeito osmótico sobre os microrganismos responsáveis pela degradação dos resíduos (SANTOS, 2010).

Já a concentração de DQO dos reatores atingiu valores muito acima das observadas em aterros reais (LANGE E AMARAL, 2009), no entanto, outros trabalhos, como o de Sponza e Agdag (2003), também observaram valores elevados de DQO ao avaliar o efeito de diferentes taxas de recirculação e não recirculação de lixiviado na degradação anaeróbia de resíduos e produção de biogás. Por fim, os menores valores de DQO obtidos em R3 assemelham-se ao resultado de Sam e Onay (2001), que justificaram tal comportamento devido à "lavagem" constante do reator em virtude da inserção periódica de água (simulação de chuva).

Na Figura 5 são apresentados os valores de concentração de ácidos voláteis como HAC (ácido acético) do lixiviado. Observa-se um aumento expressivo na concentração de ácidos voláteis nos três reatores. No entanto, cabe ressaltar que houve uma maior concentração destes ácidos nos reatores R1 e R2, provavelmente devido ao acúmulo nos reatores quando realizada a recirculação de lixiviado.

Figura 5: Variação dos parâmetros AVO e N-amoniaco do lixiviado ao longo do estudo

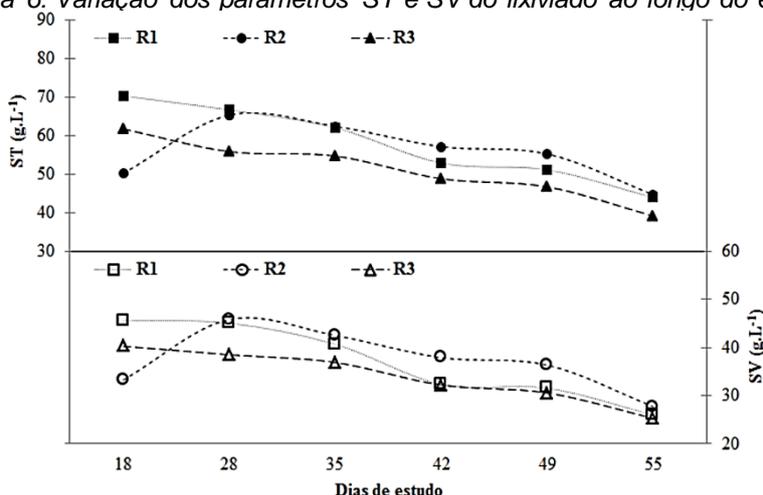


Ainda na Figura 5 pode ser observada a variação da concentração de nitrogênio amoniacal do lixiviado nos reatores. O aumento na concentração de N-amoniacal observado no início do experimento para todos os reatores deve-se à decomposição da matéria orgânica contendo nitrogênio (SAM E ONAY, 2001; SANTOS, 2010; LANGE E AMARAL, 2009). Mesmo que os valores obtidos assemelham-se aos de Santos (2010), os mesmos encontram-se abaixo dos valores referenciados por outros autores (SPONZA e AGDAG, 2003; BILGILI, DEMIR e ÖZKAYA, 2007). Acredita-se, no entanto, que isso se deve ao curto período de análise, onde a degradação dos compostos nitrogenados não estava ainda pronunciada.

A constância da concentração de N-amoniacal para R1 e R2 nas duas últimas análises, bem como os menores valores de concentração para R3, foram comportamentos também observados por Sam e Onay (2001). Os autores alegam que a reintrodução de amônia nos reatores com a recirculação de lixiviado é responsável por manter os valores de concentração constantes nas fases iniciais de degradação. Já em relação às menores concentrações no reator sem recirculação, mais uma vez os autores alegam que se deve à lavagem do reator pela inserção de água periodicamente (simulação de chuva).

Quanto aos sólidos totais e sólidos voláteis observou-se a tendência de diminuição ao longo do experimento (Figura 6), indicando novamente a degradação da matéria orgânica presente nos resíduos.

Figura 6: Variação dos parâmetros ST e SV do lixiviado ao longo do estudo

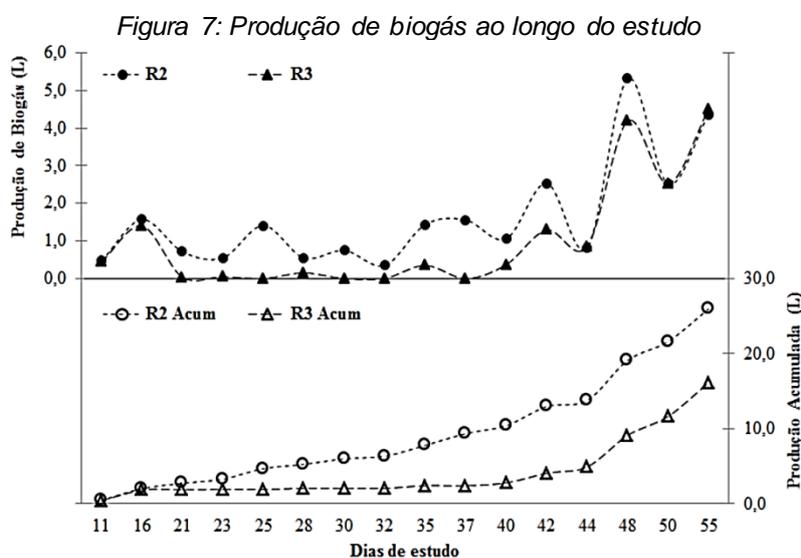


Neste experimento constatou-se que R1 resultou em valores inferiores aos obtidos para R2, o que poderia indicar melhor desempenho na degradação dos resíduos. No entanto, comparando todos os tratamentos o reator R3 apresentou os menores valores para este parâmetro, durante todo o experimento. Sponza e Agdag (2003) apresentaram uma justificativa para tal comportamento enfatizando que a fase acidogênica tende a ser mais pronunciada nos aterros com recirculação, quando comparados aos aterros convencionais. Isto se deve ao maior teor de umidade e à distribuição uniforme desta na massa de resíduos, proporcionada pela recirculação, resultando num maior contato lixiviado-resíduo e, conseqüentemente, em uma maior concentração dos seus constituintes.

Por fim, o monitoramento do biogás produzido foi iniciado no 24º dia de estudo, após o fechamento da válvula. O reator R1 não provocou deslocamento de líquido do gasômetro em nenhum momento do experimento. Ao se abrir o registro para a verificação da produção de gás era possível perceber alívio de pressão dentro do reator, indicando a produção de gás, porém em quantidade insuficiente para o deslocamento de líquido. A possibilidade de vazamento do biogás neste reator foi verificada e descartada, uma vez que pontos de vazamentos não foram encontrados. A recirculação de 100% do lixiviado produzido pode ter influenciado negativamente a atividade dos microrganismos envolvidos na geração de biogás. Os maiores resultados de R1

quanto a ácidos voláteis e à condutividade elétrica, parâmetros que interferem diretamente na atividade microbiana, fez com que este reator não obtivesse êxito na produção de biogás (SPONZA E AGDAG, 2003; SANTOS, 2010). Além disso, o curto período de realização do experimento pode ter sido crucial para a não formação de biogás em R1, não excluindo a possibilidade de produção de biogás no reator na ocorrência de um período maior de monitoramento.

A variação na produção de biogás dos reatores R2 e R3 pode ser observada na Figura 7. Nota-se que a produção de R2 foi superior à de R3 durante praticamente todo o experimento. A produção acumulada segue a mesma tendência, sendo visível a superioridade de produção de biogás em R2, onde foi empregada a recirculação de 50% do lixiviado gerado, sobre o R3, onde não houve recirculação. A produção de biogás inferior no R3 evidencia a ocorrência de lavagem do substrato do reator, mencionada anteriormente. Nesta condição os nutrientes essenciais à atividade dos microrganismos provavelmente foram carreados, limitando tal atividade microbiana de estabilização dos resíduos (SAM e ONAY, 2001).



Ao aplicar o Teste t, com intervalo de 95% de confiança, foi comprovada diferença estatística na produção acumulada de biogás em R2 e R3. Estando a taxa de degradação dos resíduos diretamente relacionada à produção de biogás (CHAN, CHU e WONG, 2001; TCHOBANOGLIOUS e KREITH, 2002; BENBELKACEM et al., 2010), pode-se afirmar que recirculação de lixiviado no R2 a uma taxa de 50% contribuiu para a aceleração da degradação dos resíduos.

5. CONCLUSÃO

Houve degradação dos resíduos em todos os reatores, porém mais intensa em R1 e R2, onde aplicou-se recirculação de lixiviado. A recirculação nestes reatores promoveu a manutenção de altas concentrações dos constituintes do lixiviado, enquanto que a ausência de recirculação (R3) promoveu sua lavagem e diluição. A recirculação de 100% do lixiviado produzido em R1 influenciou negativamente a inibição da produção de biogás. A produção acumulada de biogás foi estatisticamente superior em R2 se comparado com R3, apontando este tratamento como vantajoso para a aceleração da digestão anaeróbia dos resíduos e produção de biogás.

REFERÊNCIAS

- APHA – American Public Health Association; AWWA – American Water Works Association; WEF – Water Environment Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington: American Public Health Association, 2012.
- BARCELOS, B. R. de. **Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos**. 2009. 75 f. Dissertação (Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- BENBELKACEM, H.; BAYARD, R.; ABDELHAY, A.; ZHANG, Y.; GOURDON, R. Effect of leachate injection modes on municipal solid waste degradation in anaerobic bioreactor. **Bioresource Technology**, v.101, p.5206–5212, 2010.
- BILGILI, M.S.; DEMIR, A.; ÖZKAYA, B. Influence of leachate recirculation on aerobic and anaerobic decomposition of solid wastes. **Journal of Hazardous Materials**. v. 143, p. 177–183, 2007.
- CARMO, D. L. do; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v.36, n.4, p.1211-1220, 2012.
- CHAN, G.Y.S.; CHU, L.M.; WONG, M.H. Effects of leachate recirculation on biogas production from landfill co-disposal of municipal solid waste, sewage sludge and marine sediment. **Environmental Pollution**. v.118, p.393–399, 2002.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997.
- CINTRA, I. S. **Estudo da influência da recirculação de chorume cru e chorume inoculado na aceleração do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos**. 2003. 352 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.
- IAPAR. **Médias históricas em estações do IAPAR – Londrina**. Disponível em <http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Londrina.htm> Acesso em 26 nov. 2014.
- GIRARDI NETO, J. et al. Quantificação de biogás em reatores anaeróbios através do método de deslocamento de volume de água. **Revista de estudos ambientais (Online)**. v.16, n.1, p.45-53, jan./jun. 2014. 9p.
- LANGE, L.C.; AMARAL, M.C.S. Geração e características do lixiviado. In: **Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras** / Luciana Paulo Gomes (coordenadora). Rio de Janeiro/RJ: ABES. 2009. 360p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: Potafos, 1997.319p.
- POVINELLI, J.; SOBRINHO, P.A. Introdução. In: **Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras** / Luciana Paulo Gomes (coordenadora). Rio de Janeiro/RJ: ABES. 2009. 360p.
- SALSA, N. S. **Caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares em diferentes formas de habitação**. 2013. 95 f. Monografia (Graduado em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Londrina, Londrina, 2013.
- SAN, I.; ONAY, T. T. Impact of various leachate recirculation regimes on municipal solid waste degradation. **Journal of Hazardous Materials**. v. 87, p. 259-271, out 2001.
- SANTOS, V. C. **Projeto, construção e instrumentação de um lisímetro em escala de laboratório para estudos em resíduos sólidos**. 2010. 105 f. Monografia (Graduado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2010.
- SOUTO, G. D. B. **Efeito da variação gradual da taxa de recirculação do lixiviado em reatores anaeróbios híbridos na digestão da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos**. 2005. 91 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil – Área: Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SOTTI, G. de. **Biogás de digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos de restaurante universitário com efluente sanitário.** 2014. 59 f. Monografia (Graduado em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Londrina, Londrina, 2014.

SPONZA, D. T.; AGDAG O. N. Impact of leachate recirculation and recirculation volume on stabilization of municipal solid wastes in simulated anaerobic bioreactors. **Process Biochemistry**, Vol. 19, n. 12, p. 2157–2165, 2004.

TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, Frank. **Handbook of solid waste management.** 2 ed. New York: McGraw-Hill, 2002.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** 2 Ed. Porto Alegre: Departamento de solos UFRGS . 1995, 175p.