

III-051 - AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA CIDADE DE VÁRZEA GRANDE-MT, UTILIZANDO BIORREATORES DE BANCADA

Evaldo Braz de Figueiredo Junior⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Gestor Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT).

Aldecy de Almeida Santos⁽²⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Mestre em Física e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Mato Grosso (2008). Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco (2012).

Gersina Nobre da Rocha Carmo Junior⁽³⁾

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (1998) e Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (2005).

Mairon Anderson C. C. de Carvalho⁽⁴⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

Endereço⁽²⁾: Av. Fernando Correa da Costa – Campus da UFMT, S/N - Cuiabá - MT - CEP: 7800-000 - Brasil - Tel: (65) 3615 8721- e-mail: aldecy_allmeida@yahoo.com.br

RESUMO

São diversas as variáveis que influenciam no processo de biodegradação, as condições ambientais e operacionais de um aterro influenciam no comportamento microbiano dos processos fermentativos, interferindo nos parâmetros, físicos e físico-químicos inerentes a estes processos. Compreender como estes parâmetros interagem entre si, é importante, visto que para o aproveitamento do biogás gerado a partir da biodegradação dos resíduos sólidos se faz necessário alcançar a máxima eficiência deste processo. Este trabalho teve como objetivo estudar o potencial de geração de biogás produzida a partir da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos, bem como acompanhar o comportamento das variáveis físicas e físico-químicas durante o processo. Para isso, foram confeccionados cinco biorreatores de bancada nas dependências da Universidade Federal de Mato Grosso, em frascos de Erlenmeyer com saída lateral para gás, volume de 125mL e com rolha de borracha na extremidade superior, onde nesta acoplou-se um termômetro do tipo espeto, para monitoramento da temperatura interna e na saída lateral dos frascos. Para aferir a pressão, acoplou-se uma mangueira, fazendo assim um manômetro de tubo em “U”. O procedimento experimental utilizado nesta pesquisa constituiu das etapas de construção dos biorreatores de bancada, instrumentação, testes, ajustes, composição gravimétrica e química dos resíduos, enchimentos e monitoramento dos parâmetros de temperatura, pressão, teor de umidade, pH, sólidos voláteis, e nitrogênio amoniacal. Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstraram que as condições ambientais tiveram grandes influências na produção do biogás, no entanto, norteou os principais fatores intervenientes, externos e internos, no que diz respeito ao processo de biodegradação de resíduos sólidos orgânicos.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos, biogás, biorreator de bancada.

INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são compostos por vários tipos de materiais, sejam inorgânicos, inertes, orgânicos biodegradáveis e recalcitrantes. Alguns desses materiais são degradados, pela ação de mecanismos físicos, químicos e microbiológicos resultando na geração de lixiviado e biogás, sendo que este último é composto, principalmente, por CH₄ e CO₂ que são gases causadores do efeito estufa (GEE), (Firmo, A. L. B. et. al, 2009). Esta contribuição, proveniente dos resíduos sólidos, tem se acentuado nos últimos anos e contribuem para o aquecimento global, sendo o metano presente no biogás bruto mais potente, com um potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao do CO₂ (IPCC, 2001). Logo se conclui que a captura e

combustão do metano e, finalmente, sua transformação em dióxido de carbono através da combustão em queimador, motor gerador, aquecedor industrial ou em outro dispositivo resultam numa diminuição substancial das emissões de GEE.

Porém a problemática envolvida no aproveitamento deste biogás está em não se conhecer o real potencial da geração a partir dos RSU. Para a previsão da geração de biogás nos aterros brasileiros utilizam-se dados provenientes de aterros europeus e norte americanos como parâmetros de entrada dos modelos que na maioria dos casos não refletem as condições de biodegradabilidade e as particularidades dos resíduos locais.

Vários fatores afetam a geração de gases em aterros, dentre eles a composição, temperatura, umidade, disponibilidade de microrganismos, presença de nutriente, geometria e operação do aterro (Firmo, A. L. B. et. al, 2009). A composição gravimétrica e química dos resíduos sólidos consiste no principal parâmetro para a estimativa da geração de biogás. Segundo o IPCC (2006), a matéria orgânica, papel e papelão, têxteis e madeira são os principais componentes responsáveis pela geração de biogás em aterros.

Para a determinação experimental do potencial de geração de gases em resíduos tem-se o ensaio BMP (Biochemical Methane Potentialou/Potencial Bioquímico de Metano), que consiste em avaliar a biodegradabilidade dos resíduos com base na produção total de biogás em condições ótima, conhecendo a composição inicial dos resíduos e as condições de biodegradação que estão submetidos (ALVES, 2008). Com esses resultados tem-se uma curva característica experimental da estimativa da geração de gás a partir de um determinado resíduo, geralmente representada por uma equação exponencial de primeira ordem.

Neste sentido este projeto pretende adquirir um maior entendimento deste processo, o que poderá proporcionar melhoria das condições de biodegradação dos resíduos sólidos, favorecendo, também, a elaboração de projetos que visem a coleta e o aproveitamento energético do biogás para o município de Várzea Grande.

MATERIAIS E MÉTODOS

AMOSTRAGEM

Os resíduos sólidos urbanos foram coletados em apenas uma rota realizada na cidade de Várzea Grande/MT, o trajeto é definido previamente pela empresa responsável pela coleta, os resíduos coletados foram descarregados em uma área destinada ao tratamento das amostras.

A caracterização seguiu conforme a norma NBR 10.007/2004 que dispõe sobre requisitos exigíveis para amostragem de resíduos sólidos. A norma prevê como amostra representativa da parcela do resíduo a ser estudada, obtida através de um processo de amostragem, e que, quando analisada, apresenta as mesmas características e propriedades da massa total do resíduo. Essa homogeneidade foi obtida pela aplicação do método de quarteamento, descrita na mesma norma, da parcela total coletada obtendo-se a parcela final com a finalidade de obter uma amostra representativa para realização dos ensaios.

A partir do quarteamento onde o montante de resíduo foi dividido em quatro partes, escolheu-se aleatoriamente uma delas para fazer a caracterização através das análises gravimétrica, umidade, pH e posterior classificação dos mesmos, conforme descreve Tchobanoglous (1994). Retirou-se as amostras de material a ser analisado, que no caso deste trabalho optou-se por material orgânico. Onde definiu-se previamente a classificação em subcategorias: (1) frutas, verduras, cascas, espigas de milho, (2) comida, (3) folhas, caules, palha de milho, grama, raízes, e (4) outros.

Uma vez classificados, os resíduos foram pesados e levados para o laboratório de Análises Físico Químicas de Águas e Resíduos do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMT, onde foram feitas as análises e o tratamento para incubação.

PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS EM LABORATÓRIO

As etapas para a preparação das amostras estão representadas na figura 1 a seguir:

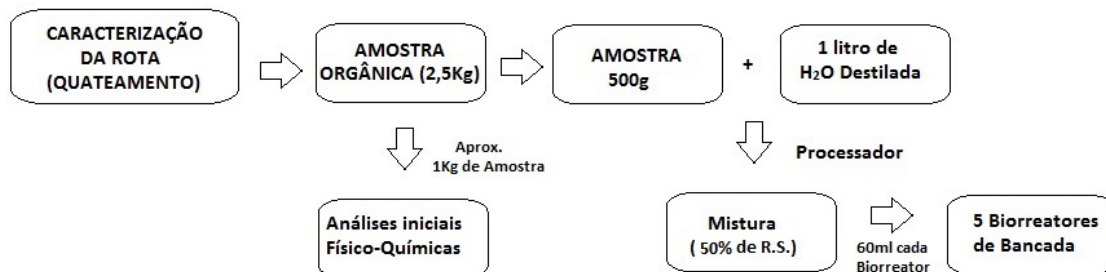


Figura 1: Esquema geral do processamento das amostras de resíduos.

OS BIORREATORES

Para o acompanhamento da evolução da biodegradação nos reatores, fez-se necessário o preparo de amostras “sacrifícios”, onde estas foram abertas e analisadas antes do fim do processo de formação de biogás. Logo, foram confeccionados cinco bioreatores.

Os 5 biorreatores de bancada foram confeccionados, utilizando-se os seguintes materiais: Frasco de Erlenmeyer com saída lateral para gás, volume de 125mL e com um rolha de borracha na extremidade superior, onde nesta acoplou-se um termômetro do tipo espeto, para monitoramento da temperatura interna. Na saída lateral, a fim de aferir a pressão, acoplou-se uma mangueira, fazendo assim um manômetro de tubo em “U”, que foi fixado sobre um painel graduado onde está a escala de leitura. Para garantir a segurança do fechamento dos biorreatores em virtude de possíveis pressões elevadas, uma gaiola de rolha foi colocada após o fechamento dos biorreatores, bem como abraçadeiras de metal na extremidade da mangueira. Na Figura 2 pode ser observado o arranjo experimental com os 5 bioreatores.



- 1: Termômetro Digital
- 2: Rolha de Borracha
- 3: Erlenmeyer com saída lateral pra gás, 125mL
- 4: Gaiola de rolha
- 5: Abraçadeira de metal
- 6: Tubo em ‘U’
- 7: Painel Graduado

Figura 2: Esquema geral dos biorreatores.

Após o preparo da amostra no processador, obteve-se a suspensão aquosa (mistura água + resíduos orgânicos), inoculou-se 60mL desta solução em cada um dos reatores, fechou-se com a rolha de borracha e acoplou-se a mangueira com a braçadeira metálica, envolveu os frascos com papel alumínio.

Os biorreatores foram monitorados diariamente, através das leituras dos manômetros e das leituras dos termômetros, bem como temperatura e pressão ambientes.

Foram feitas análises físico-químicas, nas amostras armazenadas nos biorreatores. A cada 12 dias foi aberto um biorreator para a realização das análises, a fim de se obter a evolução da degradação dos compostos e dos elementos analisados inicialmente.

As análises realizadas foram: pH, sólidos voláteis, teor de umidade, Nitrogênio total e resíduo seco. O biorreatores que passaram por análises foram descartados após a abertura e retirada das amostras, conforme exemplifica o fluxograma de análise a seguir (figura 3):

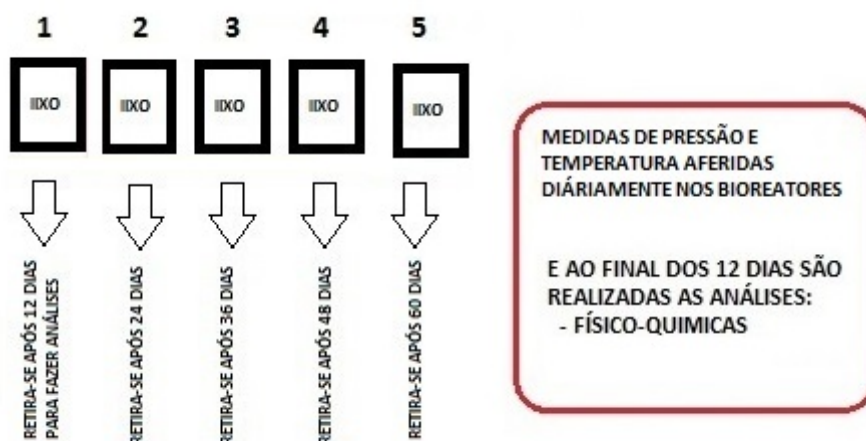


Figura 3: Figura 10: Esquema geral dos biorreatores.

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Após o procedimento de quarteamento dos resíduos foi coletado aproximadamente 2,5kg de amostra que foi homogeneizada e com auxílio de uma faca foram cortadas.

Essa amostra foi encaminhada ao laboratório, para realização das análises de umidade, pH, substância voláteis e nitrogênio amoniacal (Kjeldahl).

RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Na primeira etapa do trabalho foi determinada a composição gravimétrica dos resíduos sólidos recém depositados no lixão de Várzea Grande, MT onde encontrou-se os seguintes dados (Figura 4).

O material presente na composição gravimétrica verificou-se um maior percentual de material orgânico seguido de plásticos, resíduos perigosos, papel/papelão e outros constituintes em menores quantidades. Este percentual de material orgânico (26%) foi baixo se comparado a outras rotas que podem ultrapassar 50% do RSU.

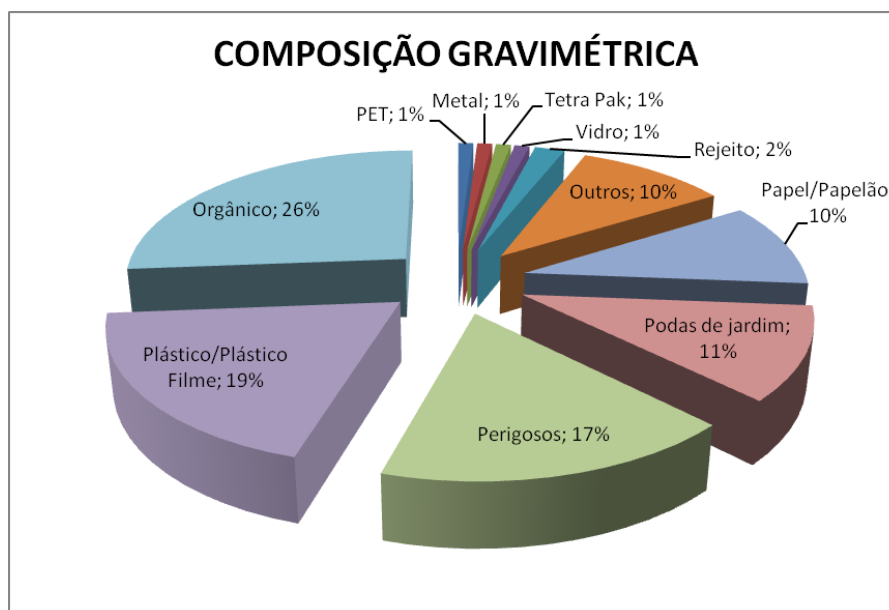


Figura 4: Composição Gravimétrica.

A fração orgânica apresentou as seguintes características químicas (Tabela 1):

Tabela 1. Composição química e física do resíduo.

Variável	Resultado
pH	4,74
Nitrogênio (g/Kg)	2,77
Umidade (%)	78,134
Sólidos Voláteis (%)	44,53

ANÁLISE DA GERAÇÃO DE BIOGÁS

Apesar de todos os cinco biorreatores terem recebido a mesma quantidade e tipo de amostra e serem submetidos às mesmas condições ambientais, os mesmos apresentaram comportamentos distintos, isto é, alguns apresentaram maior taxa de produção de biogás e outros não apresentaram produção significativa fenômenos estes que serão analisados individualmente.

Observa-se que, de maneira geral, houve maior produção de biogás entre o 4º e o 20º dia, diferentemente do ocorrido em Alves (2008) e estudos desenvolvidos por Chen *et al.* (1995), onde 50% do rendimento total de biogás foi produzido em cerca de 10 dias. Atribui-se a este atraso o fato dos reatores não estarem em condições de temperatura estáveis e favorável a máxima atividade bacteriana. Pode-se agregar o fato de que o ar do frasco não ter sido removido, conforme experimento apresentado pelos autores citados acima, tendo portando a fase de adaptação e consumo do ar contido no meio até começar a produção efetiva do sistema.

É importante ressaltar que embora alguns trabalhos retratem a adição de nutrientes para o ensaio BMP, no presente trabalho não houve tal adição. Chen e colaboradores (1995) citados em Alves (2008) relatam que a adição de nutrientes extra e a mistura da amostra podem influenciar no potencial total de biogás, desde que o conteúdo de água e de inóculo não sejam considerados satisfatórios. Os pesquisadores, ao estudarem os efeitos do conteúdo de água, nutrientes, concentração de inóculo e tamanho da amostra sobre a performance de ensaios BMP, verificaram que conteúdo de água, tamanho da amostra e concentração de inóculo estão mais fortemente relacionadas à velocidade de degradação. Sendo assim, nutrientes adicionais podem afetar a produção de gás total para casos de baixo conteúdo de água e baixa concentração de inóculo, mas seu efeito sobre a velocidade de produção de biogás é pequeno.

A maior produção dentre os cinco reatores ocorreu no décimo sexto dia (16°) onde a taxa de geração diária atingiu 2,9 NmL/dia no biorreator B2. Se tratando de valores acumulados para este reator acumulou-se até trigésimo dia 76,9 NmL demonstrando ser o reator com maior produção de biogás do experimento.

Os biorreatores B1 e B4 não tiveram produção de biogás, durante o período de observação. Observou-se pequenas variações nos valores de leitura, o que pode-se concluir que os mesmos apresentaram pequenos vazamentos, que mesmo com reparos emergenciais não foram contidos, tornando impossível acompanhar as produções diárias.

A seguir pode-se observar o comportamento da pressão aferida no Biorreator B1, monitorado por 18 dias, durante este período não foi observada produção de biogás. Houve sim um pequeno declínio das pressões iniciais (pressão inicial 0,0285m.c.a. e pressão final de 0,0125m.c.a.). Como hipóteses para esta perda de pressão pode-se indagar a possibilidade de vazamento no frasco ou ainda presumir que no sistema houve troca de gases com ambiente, ou seja, o ambiente interno do frasco se tornou aeróbio.

O comportamento da pressão aferida no Biorreator 1 pode ser observada na figura 5 a seguir:

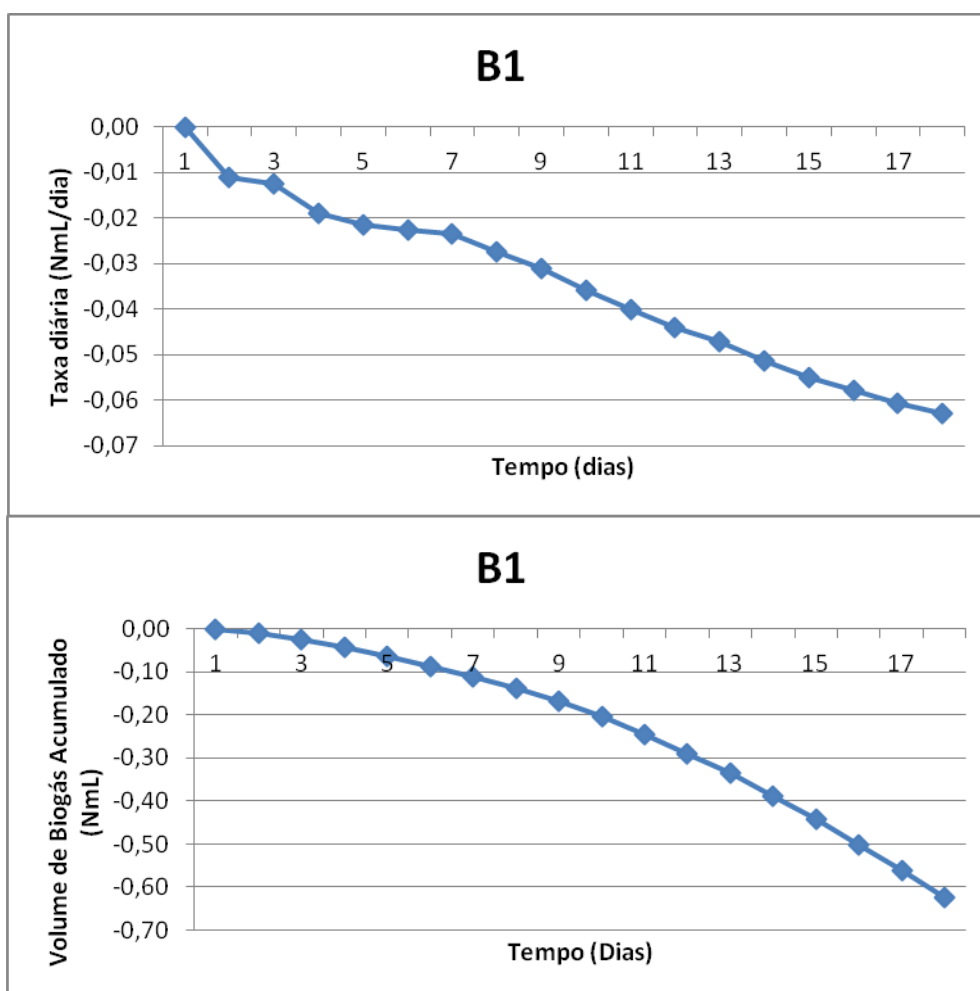


Figura 5: Taxa de produção diária e Volume de Biogás produzido no Biorreator B1.

O biorreator B2 foi monitorado durante 30 dias e observou-se para este reator a maior produção de biogás entre os reatores analisados (76,9NmL) com a maior taxa de geração diária alcançada no 16° dia (2,9NmL/dia). Esta taxa se manteve constante até o 24° dia, que foi quando a produção diária começou o seu declínio, como pode ser observado na figura 6 a seguir:

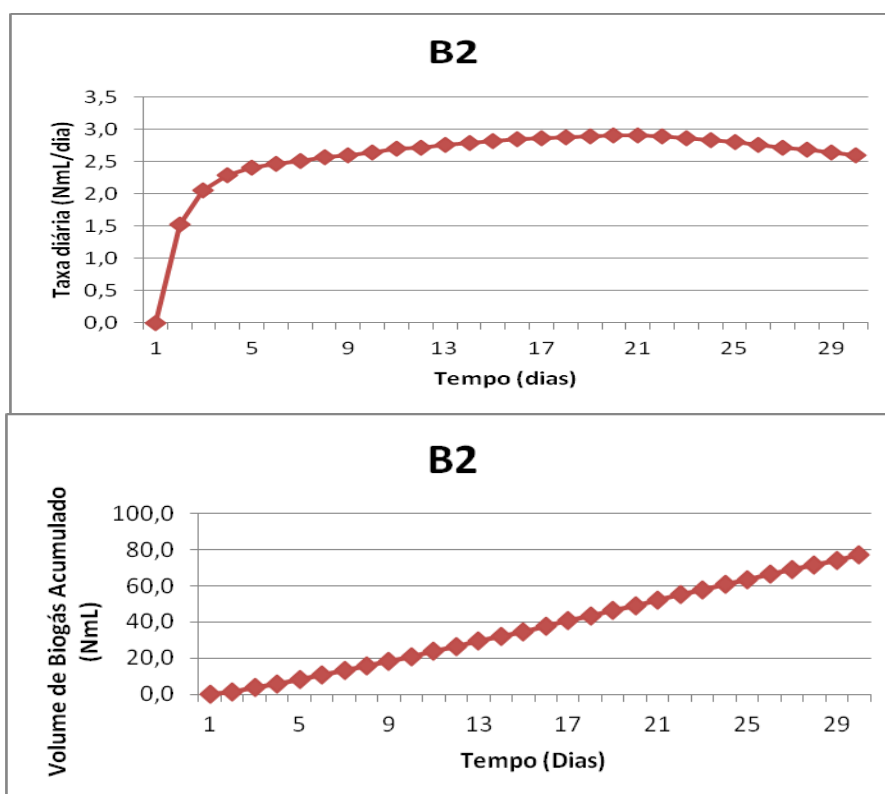


Figura 6: Taxa de produção diária e Volume de Biogás produzido no Biorreator B2.

A figura 7 diz respeito ao comportamento observado no biorreator B3, onde a produção de biogás permaneceu estagnada até o 8º dia, a partir daí teve um crescimento progressivo da taxa diária de produção até atingir a marca de 1,5NmL/dia no 25º dia. A produção total até a data de seu descarte foi de 52,8NmL no 57º dia. A produção diária teve o início do declínio no 36º dia onde a taxa medida foi de 1,4NmL/dia.

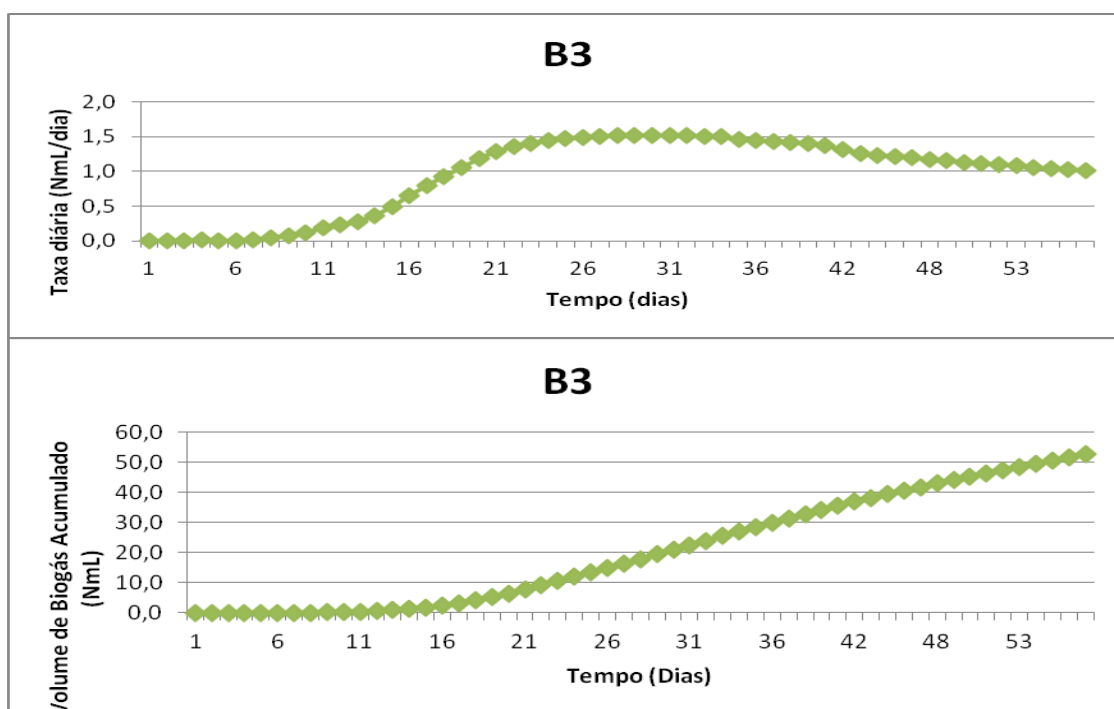


Figura 7: Taxa de produção diária e Volume de Biogás produzido no Biorreator B3.

O biorreator B4 teve comportamento semelhante ao B1, visto que este também não teve produção de biogás. O B4 foi monitorado por 42 dias e durante este período não foi observado acréscimos significativos nas leituras de pressão. Ocorrendo neste reator um pequeno declínio das pressões iniciais (pressão inicial 0,0325m.c.a. e pressão final de 0,0170m.c.a.) (Figura 8).

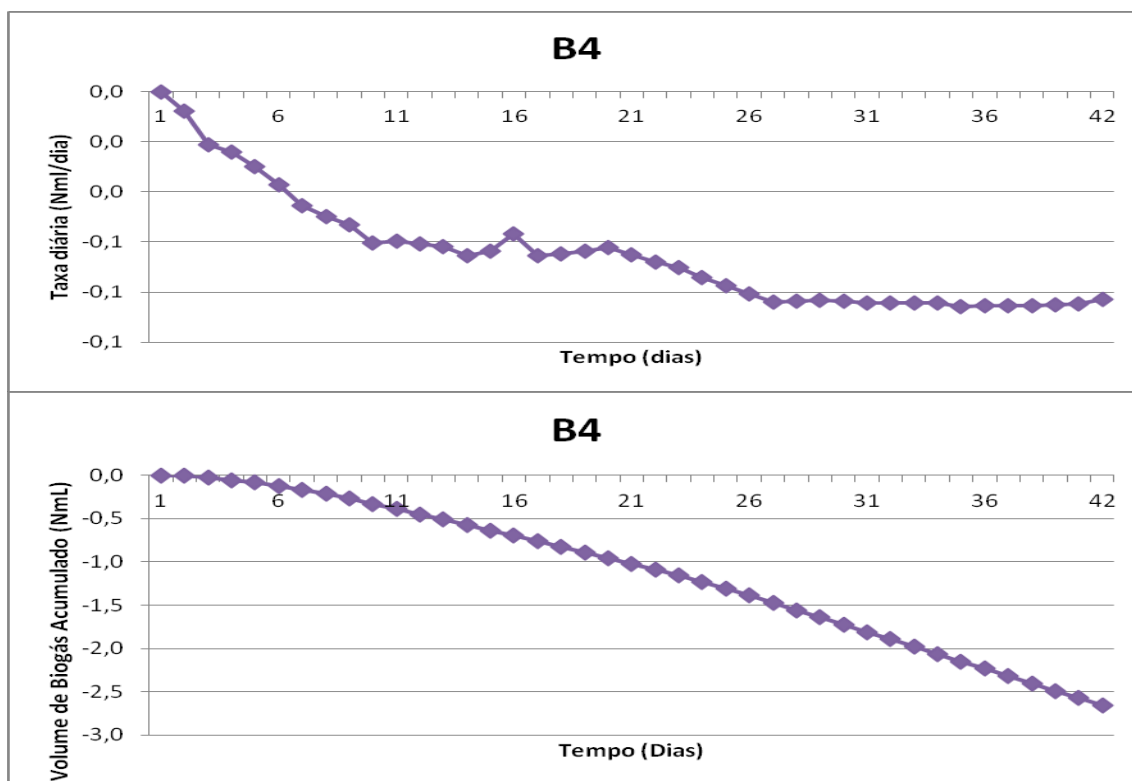


Figura 8: Taxa de produção diária e Volume de Biogás produzido no Biorreator B4.

A taxa diária de 1,8NmL/dia foi a máxima atingida pelo biorreato B5 no 19º dia, este foi o biorreator que ficou em observação pelo maior numero de dias. A produção de biogás, para o período de 60 dias de observação, foi de 73,6NmL e o início da queda de produção diária se deu no 26º dia demonstrado na Figura 9 a seguir.

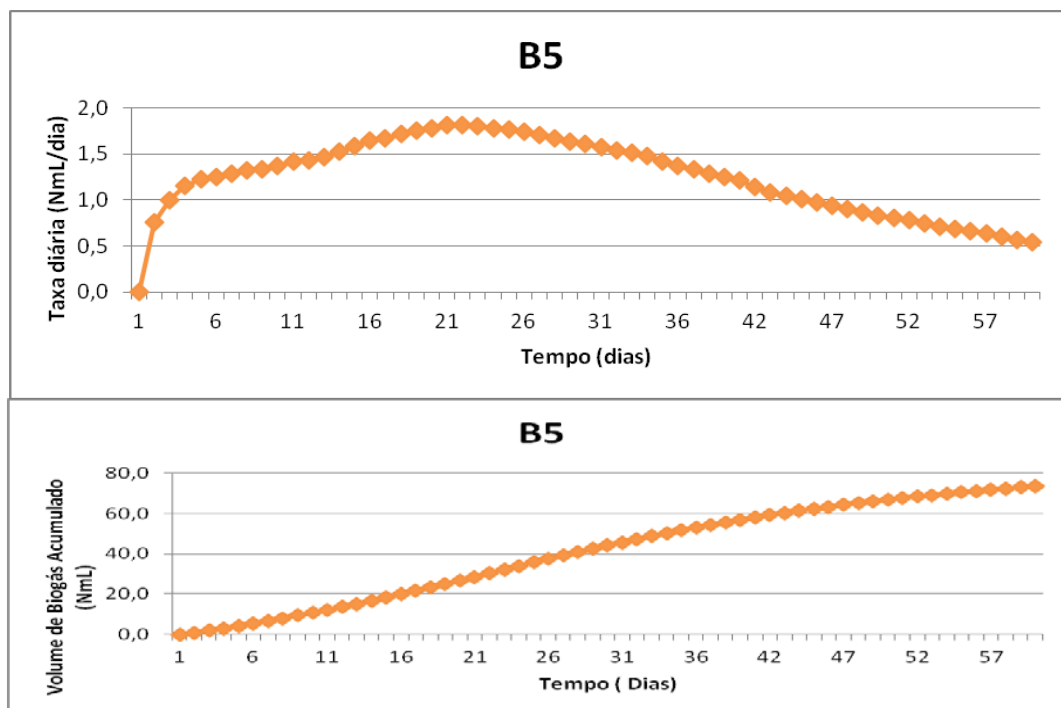


Figura 9:Taxa de produção diária e Volume de Biogás produzido no Biorreator B5.

Comparando-se o B5 com B2 avaliando até o 30° dia de produção, obteve-se as seguintes medidas acumuladas de B5 e B2 respectivamente 44,1NmL e 76,9 NmL, ou seja, o B2 teve uma produção 42,7% maior que o B5 para este mesmo período.

Agora comparando B3 (52,8NmL) com B5 (71,9NmL), teve-se que B5, para observações até o 57° dia, foi 26,6% maior que B3.

E em relação aos reatores B2 e B3 houve uma diferença de 72,7% da geração de biogás acumulada para o período de 30 dias.

A figura 10 mostra a produção de biogás para os biorreatores B2, B3 e B5.

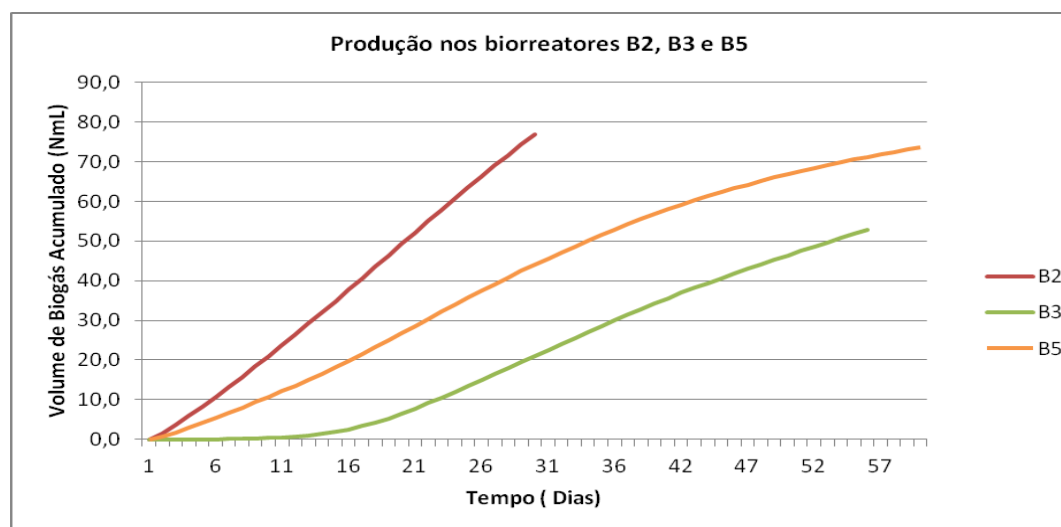


Figura 10: Volume de Biogás produzido nos Biorreatores 2,3 e 5.

Valores de temperatura foram aferidos em três biorreatores, os biorreatores B3, B4 e B5. Para os biorreatores B1 e B2 foi adotada a média de temperatura diária.

As análises realizadas nesse trabalho auxiliaram a verificação do estágio de degradação da matéria orgânica e as condições do meio interno do biorreatores estudados. O pH médio de amostras do lixo coletadas variou entre 4,74 a 4,28 indicando uma fase ácida. Esses resultados estão de acordo com Vilas Boas (1990) que cita dados de pH de lixo na fase anaeróbia não metanogênica (II) numa faixa de 4,2 a 6,5.

A variação de pH ficou entre 4,34 e 4,74 ao longo dos 60 dias de monitoramento. Estes valores mostram que os reatores estavam pouco favoráveis a biodegradação como cita Kjeldsen et al. (2002 apud Ferreira, 2015), ao afirmar que para uma boa degradabilidade, deve-se encontrar valores de pH entre 4,5 a 9,0, a depender da atuação específica de cada microrganismo e em cada fase do processo de degradação anaeróbia, de forma que, existe uma faixa de pH ideal para cada fase do processo.

Tais resultados são de suma importância na compreensão do processo de degradação anaeróbia dos resíduos, tendo em vista, que podem afetar a biodigestão anaeróbia e influenciar nas concentrações de metano gerado, uma vez que, o pH interfere diretamente na atividade enzimática dos microrganismos. O comportamento do pH também está relacionado aos produtos formados a partir das várias fases de degradação da matéria orgânica.

No entanto, é possível observar na figura 11, uma sensível queda no pH logo nos primeiros dias de monitoramento do biorreator, fato que é justificado devido à degradação acontecer de forma rápida, produzindo ácidos orgânicos quase que imediatamente ao início do processo, indicando a baixa capacidade de tamponamento dos materiais.

Segundo Palmisano & Barlaz (1996), estudos sobre o efeito do conteúdo de umidade sobre a produção de metano são muitas vezes confundidos pela influência do pH dos resíduos. Conforme os mesmos autores, a adição de umidade estimula a atividade fermentativa, que pode liderar a um acúmulo de ácidos carboxílicos e acidificar o pH. Dessa forma, um conteúdo de umidade elevado, na ausência do controle do pH, pode resultar na diminuição do tempo requerido para alcançar a fase anaeróbia ácida. Todavia, na ausência de neutralização, a decomposição poderá permanecer “estagnada” nessa fase. Em muitos estudos em escala de laboratório, a respeito dos efeitos da umidade na decomposição dos resíduos, o rendimento do metano tem sido bem abaixo da quantificação em campo em virtude do conteúdo de umidade.

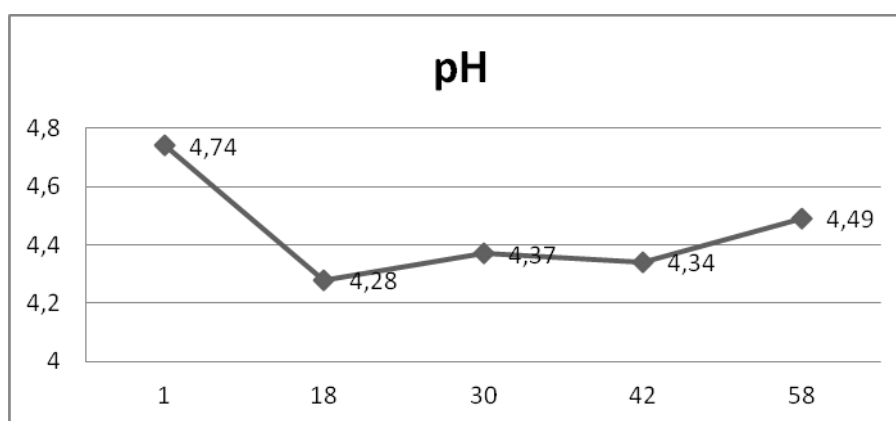


Figura 1: Variação do pH

A temperatura é um importante parâmetro físico a ser considerado na digestão anaeróbia, uma vez que esta pode alterar a atividade metabólica dos microrganismos, influenciar nas taxas das reações enzimáticas e desnaturar enzimas e proteínas em geral (MENEZES, 2012). Havendo faixas ótimas de degradação para cada grupo de microrganismos. De acordo com Chae *et al.* (2008 apud Ferreira, 2015), a temperatura da digestão tem uma influência sobre a produção de biogás, bem como as concentrações de metano presentes no biogás. A

Figura 12 apresenta as variações de temperatura interna e a temperatura ambiente ao longo dos 60 dias de monitoramento do biorreator.

A temperatura dentro dos Biorreatores 3, 4 e 5 tiveram comportamento semelhantes. Mostrando que a temperatura do frasco foi fortemente influenciada pela temperatura ambiente, haja vista que os mesmos apresentaram comportamentos, com relação à produção de biogás, muito distintos.

Analisando a Figuras 12 observa-se que as temperaturas internas no biorreator, estes apresentaram várias oscilações durante todo período de monitoramento, em geral os valores apresentaram-se dentro de uma faixa de limites aceitáveis para que a degradação anaeróbia dos resíduos ocorra, ficando a maioria dos valores dentro da faixa mesofílica, porém com rendimento menor para geração de metano, pois conforme Guedes (2007) e Qian et al. (2002 apud Ferreira, 2015) tais microrganismos aumentam seu rendimento quando a temperatura está entre 35 e 45°C e o pico de temperatura foi de 32,6°C.

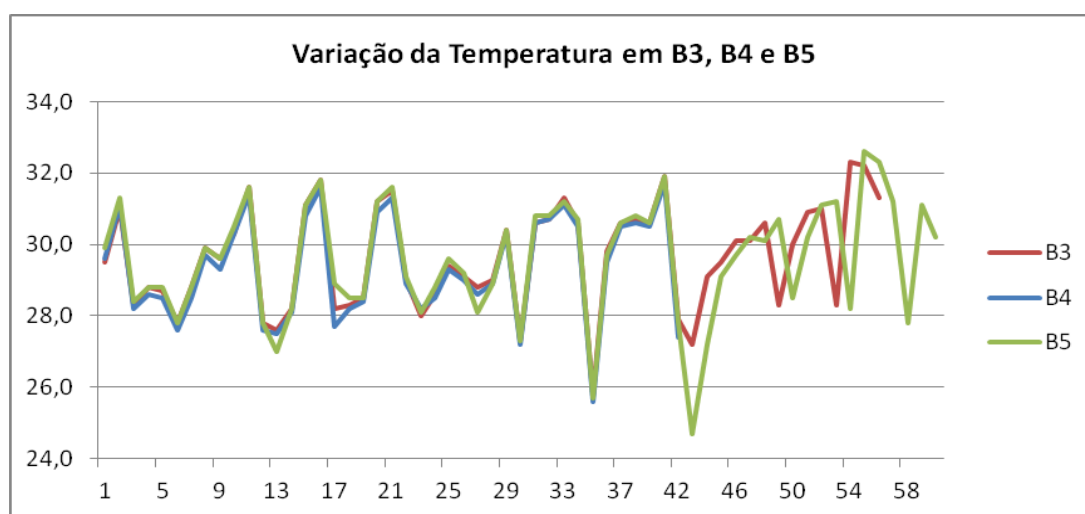


Figura 12: Variação da temperatura em B3, B4 e B5.

O monitoramento do teor de umidade tem como objetivo descobrir o quanto de água esta presente na amostra de resíduos, pois esta pode estimular ou prejudicar a produção de biogás pelos microrganismos (PAES, 2003). Sua importância para o processo de degradação anaeróbia está associada ao fato de favorecer a assimilação de substrato e nutrientes necessários, comportando-se como agente condutor de enzimas e outros metabólitos microbianos importantes no processo de decomposição anaeróbia (LOPES *et al.*, 2003). Os resultados encontrados para o teor de umidade estão representados na Figura 13.

A umidade da amostra era de 78,13%. Após 18 dias o reator B1 apresenta umidade de 32,8% e após essa a umidade sobe para 94,966, 97,931 e 97,636 %, assumindo assim uma taxa praticamente constante de umidade. Observando a Figura 24, notou-se que houve discretas variações dos teores de umidade durante a fase de monitoramento nos biorreatores de bancada. É importante ressaltar que, as pequenas variações que ocorreram, provavelmente devem-se a produção de gases, pois uma fração da umidade é consumida na formação de biogás. De acordo com Tchobanoglous *et al.* (1993), é consumida cerca de 0,165kg de água para cada metro cúbico de gás emitido. Embora o teor de umidade tenha crescido durante o tempo e se apresentado superior ao recomendado na literatura, onde se afirma que maiores taxas de metano são obtidas na faixa entre 40% e 80% de umidade (AUDIBERT, 2011).

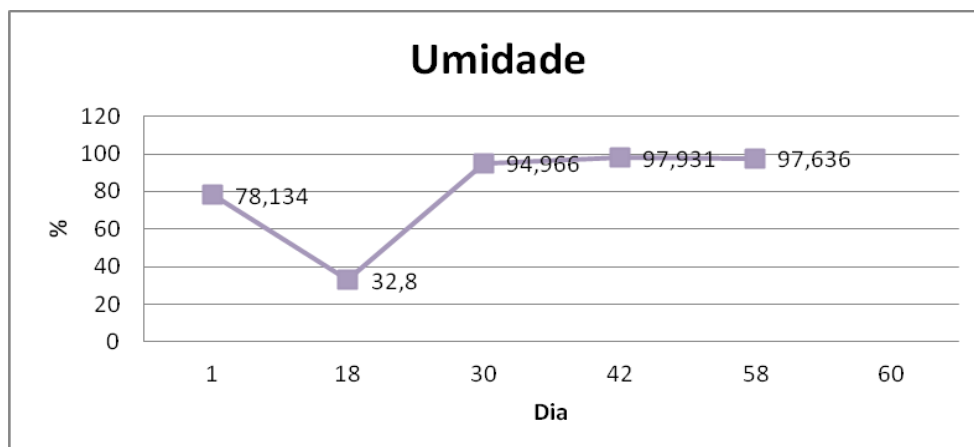


Figura 13: Variação da Umidade.

Os sólidos voláteis são um indicativo da ocorrência da biodegradação dos compostos. O teor e sólidos voláteis determinam de forma indireta a quantidade de matéria orgânica a ser degradada nos resíduos. Desta forma, quanto maior for o teor de sólidos voláteis maior é a quantidade de matéria orgânica a ser degradada (ARAÚJO, 2011). Os resultados encontrados estão descritos na Tabela 2. No caso dos biorreatores estudados, a concentração de sólidos voláteis não pode-se notar um comportamento padrão, visto que os biorreatores B1 e B4 obtiveram concentrações elevadas de SV, mostrando que nos mesmos não ocorreu o processo de biodegradação, justificando assim a não produção de biogás, diferentemente dos valores ocorridos em B2 e B3 que tiveram uma redução na concentração de sólidos voláteis e paralelamente produção de biogás.

Tabela 2. Concentração de Sólidos Voláteis nos biorreatores e amostra.

Dia de Leitura	Identificação	Resultado (%)
1°	Amostra	44,53
18°	B1	97,8
30°	B2	38,649
42°	B4	95,205
58°	B3	62,869

O mesmo pode ser dito para as concentrações obtidas empiricamente para o teor de Carbono, como podemos observar na tabela 3 a seguir:

Tabela 3. Teor de Carbono nos Biorreatores e amostra.

Dia de Leitura	Identificação	Resultado (%)
1°	Amostra	22,265
18°	B1	48,9
30°	B2	19,3245
42°	B4	47,6025
58°	B3	31,4345

Observa-se através da Figura 14, que os biorreatores, na fase inicial, a concentração de nitrogênio amoniacal foi de 10,7mg/l, ocorrendo um declínio até o 30° dia chegando a concentração de 7,84mg/l e a partir deste ponto passa a ter um aumento para 9,08mg/l até o 42° dia e no 58° atinge o valor de 21,3mg/l.

A amônia ocorre em duas formas, que juntas são denominadas nitrogênio amoniacal total, essas duas formas são representadas pelo íon amônio (NH_4^+) que não é tóxico e pela amônia livre (NH_3) que é tóxica, e de acordo com Metcalf & Eddy (1991 apud Duarte, 2014), os altos teores de nitrogênio amoniacal são indicativos

de que ainda há bastante matéria orgânica a ser decomposta. Destaca-se ainda, que nitrogênio amoniacal em altas concentrações pode ocasionar vários problemas, como inibir o desenvolvimento metabólico de diversos grupos de bactérias que atuam nos processos de degradação, porém a sua toxicidade depende tanto da concentração do nitrogênio amoniacal quanto do pH. A toxicidade da amônia pode ter influenciado ligeiramente o desenvolvimento dos micro-organismos presentes na massa de resíduos dos biorreatores, pois segundo Abreu (1994 apud Ferreira, 2015), a concentração de amônia de 10 a 150 mg/L é inibitória para as *Nitrosomonas* sp, já para as *Nitrobacter* sp. valores de 0,1 a 1,0 mg/L pode provocar inibição nesses organismos. Em estudos realizados por Silva (2012), em célula experimental em Campina Grande, sobre avaliação da toxicidade dos resíduos sólidos urbanos, a autora encontrou uma concentração máxima de 200mg/l de nitrogênio amoniacal nos 100 primeiros dias de monitoramento, e logo após esse período ocorreu diminuição nos teores, chegando às concentrações menores que 10mg/l, esses valores são inferiores aos encontrados no presente estudo. Estas diferentes concentrações de nitrogênio amoniacal encontradas nas duas pesquisas são devido às características dos resíduos em estudo, já que um é composto apenas de resíduos orgânicos e o outro dos mais diversos materiais.

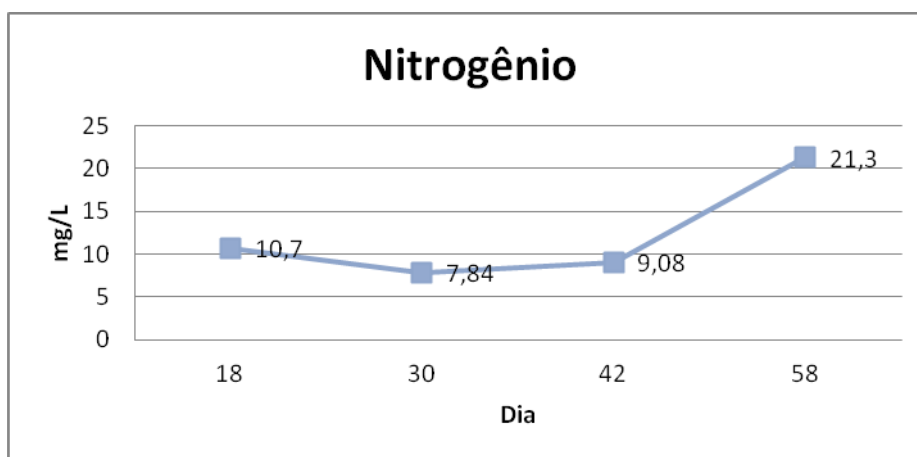


Figura 14: Variação do Nitrogênio Amoniacal

De acordo com Tchobanoglous *et al.* (1994), é na fase inicial, quando ocorre o processo de decomposição dos resíduos, que se tem a maior quantidade de Nitrogênio (N) no meio, porém observa-se que os biorreatores estudados as concentrações de nitrogênio foram baixas (0 a 30 dia), isso pode ser justificado pelo fato que no início do experimento as concentrações de oxigênio encontravam-se baixas, mostrando-se um ambiente anaeróbio, desfavorecendo a formação de nitrogênio amoniacal, já que o processo de nitrificação intermediado por micro-organismos acontece em condições aeróbias. Destaca-se que a concentração elevada de nitrogênio amoniacal pode ocorrer devido ao desequilíbrio na relação carbono/nitrogênio. Neste trabalho a relação C/N é desconhecida (GUEDES, 2007).

CONCLUSÕES

A composição gravimétrica dos resíduos demonstrou que a maior porcentagem de resíduos recém depositados no lixão de Várzea Grande/MT é composta de matéria orgânica (26%), apesar de esta porcentagem ser considerada baixa se comparado a outras rotas que ultrapassam os 50% de matéria orgânica. Em segundo lugar vêm os plásticos que atingiram um percentual de 19%.

Apesar de todos os biorreatores terem sido submetidos as mesmas condições estes apresentaram comportamentos distintos entre si, visto que cada reator teve um padrão de comportamento. Verificou-se que os biorreatores 1 e 4 não produziram biogás, ou o gás produzido não pode ser medido, e os biorreatores 2, 3 e 5 apresentaram cerca de 26,6% até 72,7% diferenças na sua produção se comparados entre si.

Os baixos valores de pH foi um fator limitante para as concentrações do biogás.

Também pode-se vincular a acidificação do meio pelo alto teor de umidade do substrato durante todo o processo de operação dos biorreatores que foi favorável para o surgimento de bactérias produtoras de ácidos.

As variações das temperaturas ambientes afetaram na produção do biogás sendo que a temperatura internas dos Biorreatores 3, 4 e 5 tiveram comportamento semelhantes, mesmo apresentando comportamentos distintos com relação à produção de biogás. Também foi possível notar queda na produção de biogás durante os dias com temperaturas amenas.

A concentração de sólidos voláteis, nos biorreatores estudados, não pode-se estabelecer um comportamento definido, visto que os biorreatores B1 e B4 obtiveram concentrações elevadas de SV, mostrando que nos mesmos não ocorreu o processo de biodegradação, o que pode justificar assim a não produção de biogás, diferentemente dos valores ocorridos em B2 e B3 que tiveram uma redução na concentração de sólidos voláteis paralelamente a produção de biogás. O mesmo pode ser dito do teor de carbono.

Os elevados teores de nitrogênio amoniacal contribuíram para toxicidade dos resíduos orgânicos a partir do 30º dia de observação, interferindo provavelmente na composição do biogás, porém os baixos valores de pH, talvez tenham diminuído a sua toxidez. A partir do 58º dia a concentração de nitrogênio amoniacal atinge o valor de 21,3mg/l o que pode ter inibido a produção de biogás.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALCÂNTARA, P. B. (2007). *Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados*. Tese de Doutorado – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. 366 p.
2. ALMEIDA, O. C.; PAIVA, P. C. A.; REZENDE, C. A. P.; PEREZ, J. R. O.; BANY, V. L.; MUNIZ, J. A.; BOMFIM, M. A.; BOMFIM, E. R. P. (2002). *Cinética Ruminal do Resíduo Têxtil da Fibra do Algodão Submetido a Tratamentos Físicos e Químicos*. Ciências Agrotécnicas. Lavras. v.26. n.4. p.846-851.
3. ALVES, I.R.F.S. (2008). *Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos*. Dissertação de Mestrado – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE.
4. ALVES, R. G. C. M. (2005). *Digestores Anaeróbios para Tratamento de Dejetos Suínos – Avaliação de Partida para Diferentes Configurações de Reatores*. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABESA, 23. Campo Grande. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>>. Acesso em outubro de 2015.
5. AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L.; FORESTI, E.; SANTOS, M. L. F.; MONTEGGIA, L. O. (2007). *Metodologias para Determinação da Atividade Metanogênica Específica (AME) em Lodos Anaeróbios*. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.12. n.2. p.192-201. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/esa/v12n2/a10v12n2.pdf>. Acesso em: Out de 2015.
6. ARAÚJO, E. P. *Estudo do Comportamento de Bactérias Aeróbias e Anaeróbias Totais na Biodegradabilidade de Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Campina Grande-PB*. 2011. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2004). NBR10007: *Amostragem de resíduos sólidos*.
8. AUDIBERT, J. L. *Avaliação qualitativa e quantitativa do biogás do aterro controlado de Londrina*. Universidade Estadual de Londrina. 2011. 186 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento). Universidade Estadual de Londrina, Paraná.
9. BARRICHELO, L. E.G.; BRITO, J. O. (1985). *Química da Madeira*. Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz – ESALQ. Piracicaba. São Paulo. p.125.
10. BENITO, M.; MASAGUER, A.; MOLINER, A.; HONTORIA, C.; ALMOROX, J. (2009). *Dynamics of Pruning Waste and Spent Horse Litter Co-Composting as Determined by Chemical Parameters*. Bioresource Technology. n.100. p.497-500.
11. BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. (1999). *Conceitos básicos de resíduos sólidos*. São Carlos: EESC/ Universidade de São Paulo. 120p.

12. BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. (2002). *Introdução à Engenharia Ambiental*. São Paulo: Prentice Hall. 305p.
13. BRITO FILHO, L. F. (2005). *Estudo de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. p.218.
14. CAMPBELL, M. K. (2000). *Bioquímica*. Artmed. Rio de Janeiro. ed.3. p.752.
15. CASSINI, S.T; CHERNICHARO, C.A.L.; ANDREOLI, C.V; FRANÇA, M.; BORGES, E.S.M.; GONÇALVES, R.F. (2003). Hidrólise e atividade anaeróbia em lodos. In.: CASSINI, S. T. (Coord.). *Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás*. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB. 210p.
16. Chernicharo, C.A.L. (1997). "Reatores Anaeróbios", DESA, Belo Horizonte, pp 245.
17. DUARTE, K. L. S. Interferências das condições ambientais e operacionais nas concentrações de biogás em biorreatores de bancada com resíduos sólidos. Dissertação (Mestrado em engenharia civil e ambiental). Departamento de engenharia civil. Universidade Federal de Campina Grande – PB. 2014.
18. ENSINAS, A. V. (2003). *Estudo da geração de biogás no Aterro Sanitário Delta em Campinas-SP* Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. São Paulo. p.143.
19. FARIA, F.S. (2002). *Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos Urbanos*. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ. 401 p.
20. FERREIRA, N. A. L. (2015). Interferências no comportamento degradativo de resíduos associados às concentrações de gases gerados em um biorreator de bancada – Campina Grande, 2015.
21. FIRMO, A. L. B. (2009). *Diagnóstico de Emissões de Metano pelo Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos na Região Metropolitana do Recife*. Monografia. p.68.
22. FIRMO, A. L. B. (2008). *Análise Numérica de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos: Calibração de Experimentos em Diferentes Escalas*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. p.156.
23. FRANCOU, C.; HOUOT, S.; DA SILVEIRA, J.; GABRIELLE, B. (2004). *Simulating Urbane Waste Compost Effects on Carbon and Nitrogen Dynamics Using a Bio 107 chemical Index*. Environmental Quality. v.33. p.2333-2341.
24. GOMES, C.M.; MENDONÇA-HAGLER, L.C.S.; SAVVAIDIS, I. (1998). Biorremediação de metais por microrganismos. *Revista de Microbiologia*, v. 29, p. 85- 92.
25. GUEDES, V. P. *Estudos do fluxo de gases através do solo de cobertura de Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos*. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Coordenação de Pós-Graduação de Engenharia – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
26. HANSEN, T.L.; SCHMIDT, J.E.; ANGELIDAKI, I.; MARCA, E.; JANSEN, J.C.; MOSBAEK, H.; CHRISTENSEN, T.H. (2004). Method for determination of methane potentials of solid organic waste. *Waste Management*, v.24, p. 393 – 400.
27. HARRIES C.R.; CROSS C.J.; SMITH R. (2001). Development of a biochemical methane potential (BMP) test and application to testing of municipal solid waste samples. In: *Proceedings Sardinia, Eighth International Waste Management and Landfill Symposium*. Cagliari, Italy. Cagliari: CISA. v. 1, p. 579-588.
28. HENRIQUES, R.M. (2004). *Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica*. Dissertação de Mestrado - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ. 189 p.
29. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. (2015). Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: abr e mai 2015
30. IPCC (2006). Solid Waste Disposal – Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Report produced by Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) on the invitation of the United Nations Framework Convention on Climate Change.
31. IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2001). *Greenhouse Gas Inventory Reporting Instructions – Guideline for National Greenhouse Gas Inventories*. United Nations for Environmental Program, The Organization for Economic Cooperation and Development and The International Energy Agency. London, UK.
32. IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. (1995). *Lixo Municipal:Manual de Gerenciamento Integrado*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas/CEMPRE. 278 p.

33. JUCÁ, J.F.T.; MARIANO, M.O.H.; ALVES, M.C.M.; MACIEL, F.J.; BRITO, A.R. (2005). Disponibilidade de biogás em uma célula do aterro de resíduos sólidos da Muribeca. In.: *23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Belo Horizonte, MG.
34. JUNQUEIRA, F.F. (2000). *Análise do comportamento de resíduos sólidos urbanos e sistemas dreno-filtrantes em diferentes escalas, com referência ao Aterro do Jôquei Clube Brasília – DF*. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília-DF. 283 p.
35. LANGE, L.C.; COELHO, H.M.G.; SANTANA, D.W.E.E.; SIMÕES, G.F. FERREIRA, C.F.A.; SILVA, F.V.B. Metodologias para análises laboratoriais de resíduos sólidos urbanos, líquidos lixiviados de aterros sanitários e solos. In: CASTILHOS JUNIOR, A.B. (Org.). *Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte*. Rio de Janeiro: Rima ABES, 2003. 294p.
36. LIBÂNIO, P. A. C. *Avaliação da Eficiência e Aplicabilidade de um Sistema Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos e de Chorume*. 2002. 175 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
37. LIMA, L. M. Q. *Lixo, tratamento e biorremediação*. São Paulo: Ed. Hemus, 2004.
38. LOPES, W.S.; LEITE, V.D.; SOUZA, J.T.; PRASAD, S.; ATHAYDE JUNIOR, G.B. (2003). Fatores intervenientes no processo de tratamento anaeróbico de resíduos sólidos orgânicos. In: *22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Joinville, SC.
39. MACIEL, F.J. (2003). *Estudo da geração, percolação e emissão de gases no Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca/PE*. Dissertação de Mestrado – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. 173p.
40. MELO, M.C.; MONTEIRO, V.E.D.; NEVES, M.L.; ARAÚJO, J.M.; JUCÁ, J.F.T. (2002). Estudos de toxicidade em aterros de resíduos sólidos urbanos. *Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento*, n. 28, p.48-52.
41. MELO, M.C. (2003). *Uma análise de recalques associada à biodegradação no aterro de resíduos sólidos da Muribeca*. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE. 160p.
42. MELO, EUSILEIDE SUIANNE RODRIGUES LOPES DE. *Análise de biodegradabilidade dos materiais que compõem os resíduos sólidos urbanos através de ensaios BMP (Biochemical Methane Potentia)* - Recife, 2010.
43. MENEZES, J. M. C. *Influência da concentração de sólidos totais e temperatura na bioestabilização anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos*. 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia Ambiental). Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012.
44. MERBACH JR., P. S. (1989). *Estudos de avaliação de metais pesados em percolado de aterro sanitário em função do tempo de disposição*. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP. 83p.
45. MONTEGGIA, L. (1997). *Proposta de Metodologia para Avaliação do Parâmetro 'Atividade Metanogênica Específica'*. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES. Foz do Iguaçu. p.133.
46. MONTEIRO, J.H.P. (2001). *Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM. 200 p.
47. MONTEIRO, V.E.D.; MELO, M.C.; JUCÁ, J.F.T. (2002). Biological Degradation Analysis in Muribeca Solid Waste Landfill Associated with Local Climate – Recife, Brazil. *Fourth International Congress on Environmental Geotechnics - 4ISEG*, Rio de Janeiro-RJ.
48. OLIVEIRA, F.J.S. & JUCÁ, J.F.T. (1994). Impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 9, n. 3, p.211-217.
49. ORTH, M.H. de A. *Aterros Sanitários*. *Revista de Limpeza Pública*, São Paulo, v. 8, n.20, p.26- 34,1981.
- 50.
51. OWEN, W.F; STUCKEV, D. C.; HEALV, JR. J.B.; YOUNG, L.Y.; McCARTY, P. L. (1979). Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity. *Water Research*, v. 13, p. 485-492.
52. OWENS, J. M.; CHYNOWETH, D. P. (1993). Biochemical Methane Potential of MSW Components. *Water Science and Technology*, v.27, p.1-14.

53. PAES, R.F.C. (2003). *Caracterização do chorume produzido no Aterro da Muribeca – PE*. Dissertação de Mestrado - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB. 150 p
54. PALMISANO, A.C.; BARLAZ, M.A. (1996). *Microbiology of Solid Waste*. New York: CRC Press. 224 p.
55. PERCORA, V. (2006). *Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de Caso*. Dissertação de Mestrado - Programa de Interunidades de PósGraduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP. 153 p.
56. PEREIRA, F. T. G.; LEITE, H. E. A.; GARCEZ, L. R.; ARAUJO, E. P.; MELO, M. C.; MONTEIRO, V. E. D. *Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Campina Grande-PB*. In: SINRES - 2º Simpósio Nordestino de Resíduos Sólidos. 2010.
57. RIZZO, A.C.L.; LEITE, S.G.F. (2004). *Produção de sulfeto em reator do tipo UASB e sua potencial aplicação na remoção de metais pesados de efluentes*. Série: Tecnologia Ambiental. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 102p.
58. RODRIGUEZ, C.; HILLIGSMANN, S.; LARDINOIS, M.; DESTAIN, J.; RADU, J.P.; CHARLIER, R.; THONART, P. (2001). *Cellulose Enzymatic Availability in Solid Waste*. Proceedings Sardinia. Eighth International Symposium. Cagliari. Italy. p.69-67.
59. SILVA, A. S. *Avaliação da Toxicidade dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Campina Grande – PB*. 2012. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2012.
60. SOUTO, G.D.B.; POVINELLI, J. (2007). Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil. In.: *24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Belo Horizonte – MG.
61. TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEIN, H., VIGIL, S. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. New York :McgrawHill. 975p.
62. TCHOBANOGLOUS, G., THESEN, H., VIGIL, S. A., (1994). *Composicion y Caracteristicas, Generacion, Movimento y Control de los Gases de Vertedero*. Gestion Integral de Resíduos Sólidos. McGraw Hill. v. 1. p1107.
63. VILLAS BÔAS, D.M.F. (1990). *Estudo da microbiota anaeróbia hidrolíticafermentativa em aterro sanitário*. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos – SP. 156 p.
64. WHITE MARTINS (2001). Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos: Amônia. Disponível em:<www.higienocupacional.com.br>. Acesso em: julho de 2015.