

Estudos de geração de biogás com base em parâmetros microbiológicos em uma célula experimental de resíduos sólidos urbanos

Elaine Patrícia Araújo
elainepatriciaaraujo@yahoo.com.br
Universidade Federal de Campina Grande/UFCCG

Silvio Severino de Sousa Júnior
silviojunior091@gmail.com
Universidade Federal de Campina Grande/UFCCG

Francisco Tales Gomes Pereira
tales_iguatu@hotmail.com
Universidade Federal de Campina Grande/UFCCG

Elizianne Pereira Costa
elizianne@gmail.com
Universidade Federal de Pernambuco/UFPE

Veruschka Escarião Dessoles Monteiro
veruschkamonteiro@hotmail.com
Universidade Federal de Campina Grande/UFCCG

Janete Magali de Araújo
janetemagali@yahoo.com.br
Universidade Federal de Pernambuco/UFPE

Resumo

A disposição do lixo em aterros sanitários é comum e é a técnica mais utilizada, principalmente por ter um baixo custo. Avaliar o comportamento de uma célula experimental de resíduos sólidos urbanos quanto à sua eficiência na degradação, geração de líquidos e gases tóxicos, torna-se importante para entender essa técnica de disposição e aproveitamento de áreas. Dentre os microrganismos existentes na massa de lixo estão os aeróbios e os anaeróbios que ajudam na degradação da matéria orgânica. Os objetivos desta pesquisa foram entender a degradabilidade dos resíduos durante alguns meses de monitoramento em escala experimental e o uso da biodegradação na geração do biogás na célula experimental através de parâmetros microbiológicos. No decorrer do período de monitoramento foi observado que ocorreram variações nas quantidades dos microrganismos aeróbios e anaeróbios, o que provavelmente influenciaram na geração de gás.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos. Degradação microbiológica. Célula experimental. Biogás. Campina Grande.

Abstract

The disposal of garbage in landfills is common and is the most widely used technique, mainly because a low cost. Evaluate the performance of an experimental cell of municipal solid waste as to its ability to degrade, generation of toxic gases and liquids, it is important to understand this technique and use of disposal areas. Among the existing microorganisms in the waste stream are the aerobic and anaerobic bacteria that aid in the degradation of organic matter. The objectives were to understand the degradation of waste for several months on a pilot scale monitoring of biodegradation and the use of biogas generation in experimental cell through microbiological parameters. During the monitoring period was observed that there were variations in the quantities of aerobic and anaerobic microorganisms, which probably influenced the generation of gas.

Keywords: Urbans solids waste. Microbial degradation. Experimental cell. Biogas. Campina Grande.

1 Introdução

O lixo urbano, por ser inesgotável, torna-se um dos problemas sérios de limpeza pública, pois diariamente grandes volumes de resíduos de toda natureza são descartados no meio urbano, necessitando um destino final adequado. No entanto, a escassez de recursos técnicos e financeiros limita a construção de locais adequados para deposição final destes resíduos, que geralmente são lançados diretamente no solo, no ar e nos recursos hídricos. Isso acarreta a poluição do meio ambiente e reduz a qualidade de vida do ser humano (Lima, 2004).

Segundo Lima (2004), o lixo urbano é resultado da atividade diária do homem em sociedade e que os fatores principais que regem sua origem são, basicamente, dois: o aumento populacional e a intensidade da industrialização. Mas, um dos fatos mais preocupantes é o crescimento acelerado da população mundial que irá gerar inevitavelmente consideráveis volumes de lixo.

De acordo com Pecora; Figueiredo; Velázquez; Coelho (2008), dos municípios brasileiros, apenas 33% possuem 100% de serviços de limpeza e/ou coleta de lixo. O restante desses resíduos passa a ser disposto em locais sem o devido controle ambiental como lixões, o que causam problemas como poluição do solo e ar e de saúde.

No Brasil há muitos locais para disposição de resíduos os quais podem provocar danos ambientais e a saúde humana, além de serem desagradáveis. Aprimorar técnicas para a disposição e observar o tempo de degradação desses resíduos devem ser viabilizados no Brasil (Leite, 2008).

Um dos métodos mais adequados para a deposição de resíduos sólidos são os aterros sanitários, que além de dispor de técnicas de impermeabilização do solo e cobertura dos resíduos, ainda promovem a captação do gás e sua posterior queima em *flare*, ou utilização do mesmo para geração de energia elétrica (PECORA; FIGUEIREDO; VELÁZQUEZ; COELHO, 2008).

O aterro sanitário é a forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo por meio do seu confinamento em camadas cobertas com terra, atendendo às normas operacionais, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais. Geralmente a impermeabilização do solo, antes da deposição do lixo, é feita por meio de camadas de argila e geomembranas para evitar infiltração dos líquidos percolados (chorume) no solo. O lixo é depositado sobre o terreno e depois recoberto com camadas do solo do próprio local, isolando-o do meio ambiente (PECORA; FIGUEIREDO; VELÁZQUEZ; COELHO, 2008).

O aterro sanitário pode ser definido segundo Dacanal (2006) como um reator heterogêneo em que os resíduos sólidos e água são as principais entradas e o gás de aterro e o lixiviado as principais saídas. O lixiviado e o gás de aterro são considerados como potenciais causadores de impactos ambientais e devem ser tratados para evitar a poluição do meio ambiente.

Os gases principais provenientes da decomposição da matéria orgânica dos resíduos sólidos são: o amoníaco (NH_3), o dióxido de carbono (CO_2), o monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H_2), sulfeto de hidrogênio (H_2S), metano (CH_4), nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2). Destes, os principais gases provenientes da decomposição anaeróbia dos componentes biodegradáveis dos resíduos orgânicos são o metano e o dióxido de carbono (Garcez, 2009).

O biogás é um gás formado a partir da degradação anaeróbia de resíduos orgânicos e composto por uma mistura de gases, como metano, gás carbônico, e em menor quantidade, hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas voláteis. Dependendo da eficiência do processo, o biogás chega a conter entre 40% e 80% de metano (PECORA; FIGUEIREDO; VELÁZQUEZ; COELHO, 2008).

O objetivo deste trabalho foi entender a degradabilidade dos resíduos sólidos urbanos durante onze meses de monitoramento em escala experimental e a relação entre a degradação e a geração de biogás.

1.1 Microrganismos presentes nos resíduos sólidos

Os resíduos sólidos, de acordo com Carvalho (1997) por conterem substâncias de alto teor energético, e por oferecer água, alimento e abrigo, são preferidos por inúmeros organismos vivos, ao ponto de algumas espécies os utilizarem como nicho ecológico. Estes organismos que habitam os resíduos podem ser classificados em dois grandes grupos: os macrovetores (ratos, baratas, moscas, cães, aves) e os microvetores (vermes, bactérias, fungos, actinomicetos e vírus).

Segundo Melo (2003) a microbiologia em aterros sanitários é de fundamental importância, uma vez que a presença de microrganismos nos processos degradativos do lixo são um bom instrumento da biotecnologia. Estes microrganismos, possuem estruturas protéicas, as enzimas, das quais são responsáveis pelo metabolismo, isto é, pela transformação de uma substância em outra. Estes microrganismos possuem um sistema enzimático que consegue degradar uma enorme variedade de substâncias naturais de diferentes origens.

1.2 Processos biológicos existentes em aterros sanitários

A biodegradação dos resíduos sólidos ocorre pela ação conjunta de diferentes espécies de microrganismos aeróbios que estão presentes num primeiro momento, isto é, logo após a disposição dos resíduos, onde existe uma fonte de

oxigênio para as atividades metabólicas. E microrganismos anaeróbios, dos quais degradam a matéria orgânica sem a presença de oxigênio e perduram por toda a vida de um aterro (Melo, 2003).

Segundo Melo (2003), o material orgânico, no ambiente aeróbio, é mineralizado pelo oxidante para produtos inorgânicos, principalmente a dióxido de carbono e água. Já em condições anaeróbias, os materiais orgânicos sofrem transformações sem, contudo, serem mineralizados.

1.3 Oxidação aeróbia

A oxidação aeróbia ocorre na presença do elétron acceptor O_2 e microrganismos capazes de degradar a matéria orgânica a um composto inorgânico. Nas regiões superiores de um aterro, o O_2 deve ser suficiente para manter tal condição, onde o carbono orgânico será convertido a CO_2 ; o nitrogênio orgânico a NO_3 ; o hidrogênio a H_2O ; o fósforo a PO_4^{-2} e o enxofre a SO_4^{-2} (Carvalho, 1997).

Esta fase apresenta curta duração, pois a própria operação dos aterros sanitários, dos quais usualmente são usados camadas de cobertura diária, se torna um limitante de disponibilidade de oxigênio. Esta fase é responsável por uma parcela reduzida da decomposição. A reação da matéria degradável com oxigênio produz dióxido de carbono, água, materiais parcialmente degradados e biomassa, além de promover uma elevação da temperatura do meio (Melo, 2003).

1.4 Oxidação anaeróbia

De acordo com Poetsch e Koetz (1998) a digestão anaeróbia é um processo biológico natural, que ocorre na ausência de oxigênio molecular, no qual populações bacterianas interagem promovendo a fermentação estável e auto-regulada da matéria orgânica, da qual resultam, principalmente, os gases metano e dióxido de carbono.

A digestão anaeróbia pode ser considerada como um ecossistema onde diversos grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão de matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, gás sulfídrico, água e amônia além de novas células bacterianas. Dentre as células bacterianas existentes, três tipos básicos de bactérias participam do processo de decomposição anaeróbia:

- As bactérias fermentativas que, por hidrólise, transformam os compostos orgânicos complexos, os polímeros, em compostos mais simples, os monômeros;
- As bactérias acetogênicas, ou produtoras de hidrogênio, que convertem os produtos gerados pelo primeiro grupo em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono;
- As bactérias metanogênicas que utilizam os substratos produzidos pelas bactérias do segundo grupo, transformando-os em metano e dióxido de carbono. Estas bactérias são muito importantes para o processo, pois elas produzem o gás metano, possibilitando a remoção do carbono orgânico do ambiente, resultando na perda de massa, e utilizam o hidrogênio favorecendo o ambiente para que as bactérias acidogênicas fermentem compostos orgânicos com a produção de ácido acético, que é convertido em metano.

1.5 Geração e fases do biogás

A decomposição da matéria orgânica dos resíduos sólidos por microorganismos leva a geração de gases prejudiciais ao meio ambiente. O processo de digestão anaeróbia dos resíduos ocorre pela ação de microrganismos que transformam a matéria orgânica em um gás conhecido como “biogás”. De acordo com (Monteiro, 2003), este gás, além de caráter inflamável, causa problemas ambientais devido à presença do CH_4 (40-65%) e CO_2 (25-40%), entre outros gases: N_2 (13-30%), O_2 (1-4%), H_2 (0,05%).

De acordo com (Tchobanoglous et al, 1994) pode-se descrever a geração de gás em aterros sanitários em cinco fases, de acordo com a Fig.1.

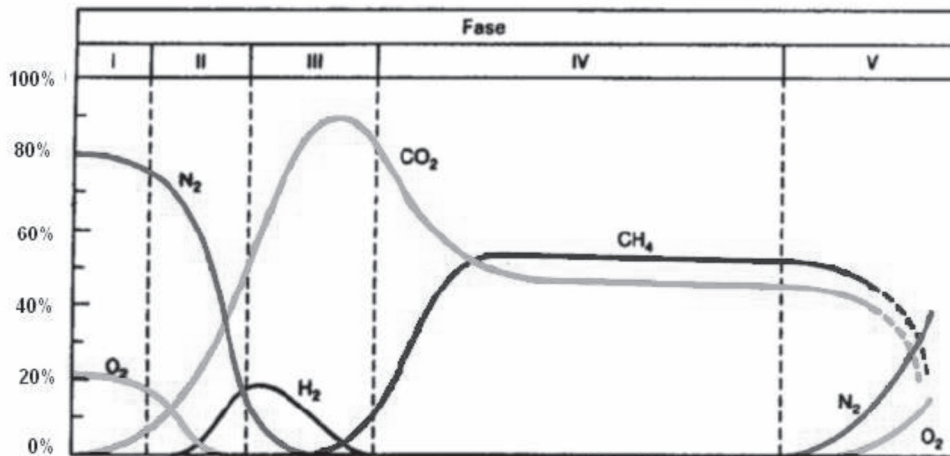


Figura 1: Composição dos principais gases (CH₄, CO₂, H₂, N₂ e O₂) em função das fases de degradação dos resíduos.
 Fonte: Augenstein e Pacey, 1991.

1.6 Lisímetro como modelo experimental de um aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos (RSU)

De acordo com Silva; Alcântara; Lima; Palha (2010) o lisímetro é um biorreator representativo de uma célula experimental de lixo em escala reduzida, dotado de sistema de drenagem de líquidos e gases, tubos de coleta de amostras sólidas, medidores de recalque superficial (placas e disco magnético) e profundo (disco magnético), temperatura, concentração e fluxo de gases, proporcionando a obtenção de parâmetros sob condições controladas. Podem ser considerados também como modelos de aterros em escala laboratorial que tem a capacidade de simular e acelerar a decomposição aeróbia e anaeróbia dos resíduos (Meira, 2009).

São vários os parâmetros dos quais podem ser analisados nos lisímetros: temperatura, umidade, sólidos voláteis, aspectos microbiológicos, influência da água na degradação do lixo, influência da recirculação do lixiviado e produção de biogás, dentre outros.

Os lisímetros são importantes, pois viabilizam as condições para decomposição microbiológica e aceleram estabilização da massa de lixo permitindo a disposição adicional de resíduos ou reuso mais rápido do aterro. Estes são projetados para que a água de infiltração da chuva nos resíduos seja feita sob condições controladas. Sendo gerenciados adequadamente, estes parâmetros podem levar a estabilização dos resíduos e a alta produção de metano, como mostram as figs. 2 e 3 abaixo (Meira, 2009).

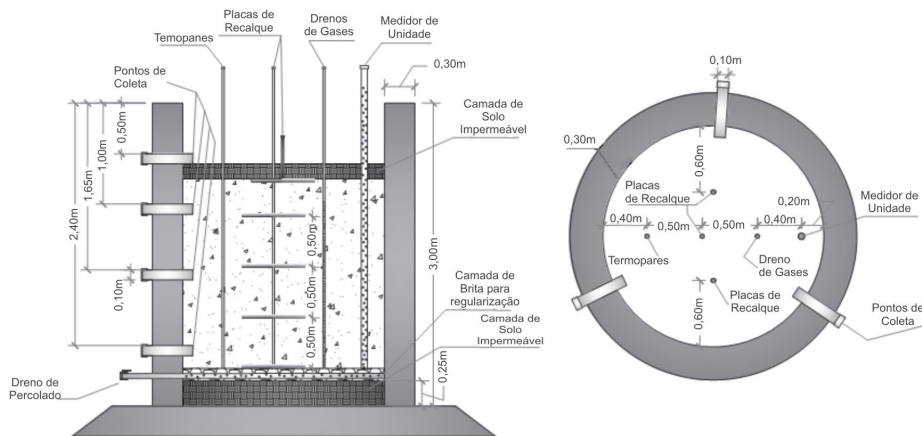


Figura 2: Desenho esquemático de uma célula experimental.
 Fonte: Dados da pesquisa, 2010.



Figura 3: Célula experimental e os pontos de coleta.
Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

2 Metodologia

2.1 Monitoramento das amostras

Nesta pesquisa, foram realizadas onze coletas, das quais foram representadas em dias. Foram coletadas amostras de resíduos sólidos urbanos (cerca de 600g) de cada nível (superior, intermediário e inferior) mensalmente na célula experimental com ajuda de um amostrador, como mostra a fig. 4. Estas amostras foram encaminhadas para o laboratório e picotadas em tamanho de aproximadamente 30mm.



Figura 4: Resíduo sendo retirado com amostrador.
Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

2.2 Aeróbios Totais

A amostra utilizada para as análises microbiológicas (10g de resíduos) foi diluída em um béquer estéril de capacidade de 200 ml, contendo 90 ml de água destilada. Em seguida, a amostra foi agitada manualmente com um auxílio de um bastão e deixada em repouso. A porção líquida da solução foi separada da sólida através de uma peneira plástica e diluída em tubos de ensaio sucessivamente, obtendo-se as diluições de 10^{-2} até 10^{-6} .

A determinação da presença de microrganismos aeróbios totais é realizada através de tubos de ensaio contendo 9mL de solução tampão fosfato, os quais foram autoclavados a aproximadamente 121°C durante quinze minutos.

De cada tubo, foram retirados 0,1mL da amostra e com auxílio de uma alça de platina adaptada e espalhou-se esta amostra em placas de Petri contendo meio Plate Count Ágar, dos quais também foram autoclavados, realizando três repetições para cada diluição selecionada. Após esses procedimentos, as placas foram encaminhadas à estufa a 36,5°C por 48 horas e em seguida realizou-se a contagem das colônias formadas sobre a superfície da placa e realizado o cálculo das unidades formadoras de colônia (UFC) (APHA, 1998).

2.3 Anaeróbios Totais

Para a contagem das bactérias anaeróbias foi utilizado uma jarra de anaerobiose da qual foi encaminhada para às análises em Recife. As amostras de lixo foram retiradas da célula experimental e imediatamente foram acondicionadas na jarra com uma placa anaerobac para reduzir a quantidade de oxigênio presente na jarra. Cerca de 30 g de amostra foram coletadas para cada nível (superior, intermediário e inferior) da célula.

O cultivo das bactérias anaeróbias é muito delicado, pois o contato com o oxigênio pode causar a morte destas bactérias. Desta forma, utilizou-se para o seu crescimento meios redutores. Estes meios contém reagentes como o tioglicolato de sódio que é capaz de se combinar com o oxigênio dissolvido eliminando este elemento do meio de cultura. O crescimento e a manutenção de cultura de anaeróbios foi realizado em meios redutores dos quais foram acondicionados em tubos de penicilina contendo tampas seladoras. Para eliminação do oxigênio dissolvido estes tubos foram aquecidos imediatamente antes de sua utilização (Melo, 2003).

Com uma espátula, foi retirada 10g de amostra de resíduo sólido urbano e inserida em 90mL de tampão redutor. Logo após, foi retirada com seringas de 5mL, 0,9mL da amostra resultante da diluição inicial e foram realizadas sucessivas diluições: 10^{-1} a 10^{-13} nos frascos de tampão redutor. Os tubos contendo meio tioglicolato, já inoculados com a amostra, foram acondicionados em estufa a 37°C, durante 48 horas. Os frascos que apresentavam turvação foram considerados positivos para anaeróbios totais.

A contagem dos microrganismos anaeróbios foi realizado pelo programa de NMP e a escolha das diluições foi realizada pelo manual do CETESB (2004).

3 Resultados e discussão

De acordo com a Fig. 5 os microrganismos aeróbios totais apresentou uma tendência da quantidade de microrganismos semelhante durante o monitoramento da célula experimental. Em uma primeira análise foi verificado que ocorreu uma discreta redução na ordem de grandeza dos microrganismos aeróbios totais com o passar do tempo (de 10^7 para 10^6), podendo ser verificado no estágio inicial, uma quantidade elevada de microrganismos e decorridos 100 dias diminuiu.

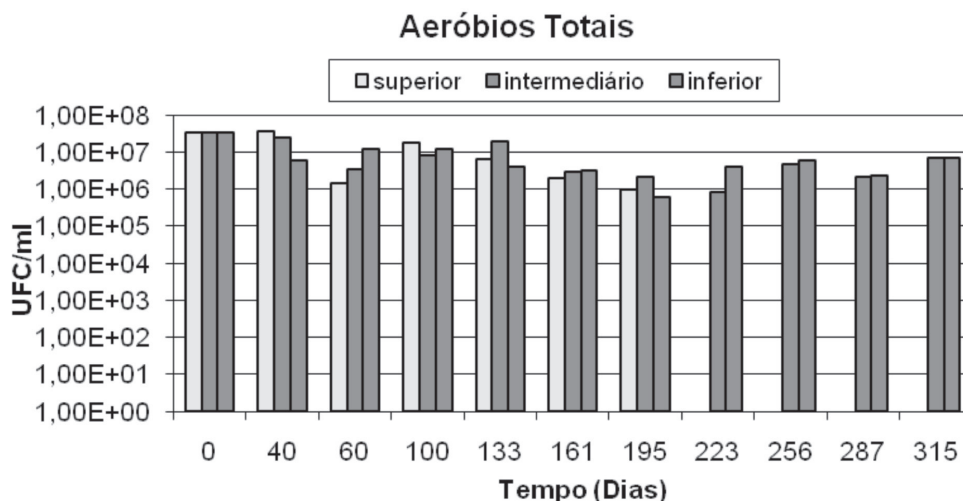


Figura 5: Microrganismos Aeróbios Totais no decorrer do tempo. Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

Esse fato pode está relacionado com a diminuição da quantidade de matéria orgânica, decorrente da biodegradação, uma vez que, os microrganismos dependem de fontes nutricionais para se desenvolverem (Leite, 2008). De acordo com Monteiro (2003), os microrganismos presentes numa célula de lixo podem indicar a evolução do comportamento biodegradativo, isto é, o número de microrganismos pode ser um indicador da fase em que um aterro se encontra. Pode existir uma relação direta entre a quantidade de matéria orgânica presente em uma célula de lixo, produção de gás, recalque, agentes tóxicos, entre outros (Melo, 2003). A matéria orgânica presente nos resíduos sólidos pode ser metabolizada por vários tipos de microrganismos, como bactérias aeróbias e anaeróbias, fungos, protozoários, cujo desenvolvimento dependerá das condições ambientais existentes (Oliveira, 2004). A composição gravimétrica presente no lixo inicial correspondia a 66% de matéria orgânica do total dos resíduos encontrados na cidade de Campina Grande, o que pode confirmar uma boa atividade microbiana.

A figura 6 apresenta a tendência dos anaeróbios em função do tempo decorrido. Pode-se observar um pequeno crescimento de microrganismos no tempo zero. Este fato ocorre porque assim que a massa de resíduo é depositada em aterros, existe uma maior presença de oxigênio, o que pode impedir o crescimento de microrganismos anaeróbios (ALVES, 2005). Com o passar dos dias, o número de microrganismos anaeróbios aumentou nos diferentes níveis. Aos 60 dias, não foi possível fazer a análise de anaeróbios por causa de problemas técnicos com o tubo de nitrogênio. Passados 100 dias, o número de microrganismos aumentou de maneira semelhante nos vários níveis analisados, já que provavelmente a quantidade de oxigênio presente na célula diminuiu com o passar dos dias. Desta forma, a população microbiana aeróbia tende a diminuir e a anaeróbia a aumentar.

Segundo Carvalho (1997) com a falta do elétron acceptor O_2 disponível à oxidação aeróbia, a decomposição passa a ser realizada em condição anaeróbia, em função dos elétrons aceptores existentes, temperatura, pH, nutrientes, materiais tóxicos, umidade e potencial oxirredução.

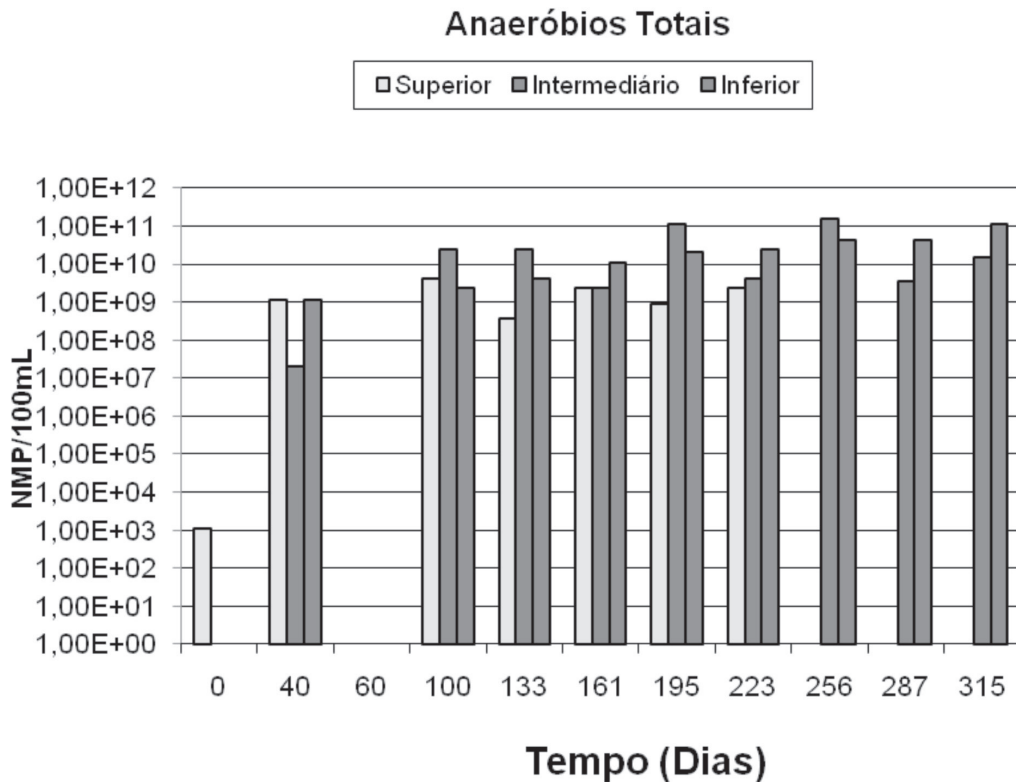


Figura 6: Microrganismos Anaeróbios Totais no decorrer do tempo.
Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

Como pode ser observado na Fig.6, a quantidade dos microrganismos anaeróbios cresceu no decorrer dos dias, o que pode provavelmente está gerando o biogás. De acordo com Simões (2000) a degradação anaeróbia ocorre em quatro fases: a primeira fase é a **hidrólise**, fase esta em que o material orgânico particulado é convertido em compostos dissolvidos de menor peso molecular. Nesta fase as bactérias degradam estes compostos complexos em compostos simples. Uma vez transformados em compostos mais simples estes podem atravessar a parede das bactérias fermentativas. A **acidogênese** é a segunda fase, onde os compostos dissolvidos na fase de hidrólise são absorvidos e metabolizados pelas células fermentativas, sendo convertidos em compostos mais simples como ácidos graxos voláteis, alcoóis, ácido lático, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio, além de novas células bacterianas. Na terceira fase, a **acetogênica**, ocorre a conversão dos produtos da acidogênese em compostos que formam o substrato apropriado para as bactérias metanogênicas a fim de produzir metano como: acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. A **metanogênese** é a quarta fase, na qual o metano é produzido por bactérias acetotróficas a partir da redução do ácido acético, ou pelas bactérias hidrogenotróficas, a partir da redução do dióxido de carbono.

4 Conclusão

Com base nos resultados obtidos e na discussão proporcionada, têm-se as seguintes conclusões:

Quando ocorreu grande número de microrganismos na massa de lixo na célula experimental, foram verificadas grandes quantidades de matéria orgânica presentes nessa massa.

Nos ensaios realizados nas três profundidades da célula, observou-se desenvolvimento de microrganismos aeróbios e anaeróbios, não havendo grandes variações na contagem de bactérias nas diferentes profundidades estudadas.

Quanto aos microrganismos anaeróbios, foi observado um aumento da quantidade em ordem de grandeza deste grupo, já que com o tempo em que a massa de lixo ficou acondicionada na célula era de se esperar que ocorresse um maior crescimento de microrganismos anaeróbios e uma diminuição nos aeróbios, pela falta de matéria orgânica e provavelmente pela diminuição do oxigênio presente na massa de lixo.

Provavelmente está ocorrendo à geração do biogás, já que a quantidade de microrganismos anaeróbios aumentou com o passar dos dias e os microrganismos aeróbios diminuíram com o tempo em que os resíduos passaram acondicionados na célula experimental.

De modo geral, não houve grandes variações nas contagens dos microrganismos aeróbios e anaeróbios nas três profundidades analisadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal de Campina Grande/UFCG, a Universidade Federal de Pernambuco/UFPE, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental/UFCG, à EXTRABES, pela disponibilização dos laboratórios e equipamentos necessários para realização desta pesquisa, à Prefeitura Municipal de Campina Grande pela disponibilização dos equipamentos necessários para o enchimento da célula experimental e início das pesquisas, ao CNPq pelo apoio financeiro e a CAPES pela bolsa concedida.

Referências

- ALVES, I. R. F. S. *Avaliação da população microbiana dos resíduos sólidos de um lixímetro no aterro da Muribeca-PE*. 2005. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20 th ed. Washington, DC: APHA, 1998. 1203 p.
- AUGENSTEIN, D.; PCEY, J. Modelling landfill methane generation. In: INTERNATIONAL LANDFILL SYMPOSIUM, 3., 1991, Sardinia. *Proceedings...* Sardinia: International Waste Working Group, 1991. v. 1, p. 115-148, 1991.
- CARVALHO, M. N. *Estudo da biorremediação in situ para tratamento de solos e aquíferos contaminado com percolato de chorume*. 1997. 169 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia)-Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1997.
- CETESB. *Análises microbiológicas da água*. São Paulo, 2004.
- DACANAL, M. *Tratamento de lixiviado através de filtro anaeróbio associado à membrana de microfiltração*. 2006.

142 f. Dissertação (Mestrado em Materiais)-Programa de Pós-Graduação em Materiais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2006.

GARCEZ, L. R. *Estudo dos componentes tóxicos em um biorreator de resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande, PB*. 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

LEITE, H. E. A. S. *Estudo do comportamento de aterros de RSU em um biorreator em escala experimental na cidade de Campina Grande, PB*. 2008. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

LIMA, L. M. Q. *Lixo: tratamento e biorremediação*. São Paulo: Hemus, 2004. 265 p.

MELO, M. C. *Uma análise de recalques associada à biodegradação no aterro de resíduos sólidos da Muribeca*. 2003. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciência em Engenharia Civil)-Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

MONTEIRO, V. E. D. *Análises físicas, químicas e biológicas no estudo do comportamento do Aterro da Muribeca*. 2003. 246 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

OLIVEIRA, S. A. *Limpeza urbana: aspectos sociais, econômicos e ambientais*. 2004. 123 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)-Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2004.

PECORA, V. et al. Aproveitamento do biogás proveniente de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás, Induscon. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE APLICAÇÕES INDUSTRIAIS, 8., 2008, Poços de Caldas. *Anais...* Poços de Caldas: Universidade Federal de Itajubá, 2008. p. 1-5.

POETSCH, P. B.; KOETZ, P. R. Sistema de determinação da atividade metanogênica específica de lodos anaeróbios. *Rev. Bras. de Agrociência*, Pelotas, v. 4, n. 3, p. 161-162, 1998.

SILVA, F. M. S. et al. *Monitoramento microbiológico do lixo em lisímetros no Aterro da Muribeca*. Disponível em: <<http://www.periodicosdacapes.gov.br>>. Acesso em: 10 mar. 2010.

SIMÕES, P.; MARQUES, R. C. Avaliação do desempenho dos serviços de resíduos urbanos em Portugal. *Eng Sanit Ambient*, Lisboa, v. 14, n. 2, p. 285-294, 2009.

TCHOBANGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. A. *Gestión integral de residuos sólidos*. Madrid: McGraw-Hill, 1994. 1080 p.