

III-316 - ESTUDO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE BIORREATORES DE RESÍDUO SÓLIDOS URBANOS

Cláudio Luis de Araújo Neto⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), graduando em Licenciatura em Ciências Agrárias pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), aluno de iniciação científica PIBIC/CNPq/UEPB.

Elaine Patrícia Araújo

Doutoranda em Ciências e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Graduação em Biologia pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Alessandra dos Santos Silva

Doutoranda em Ciências e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

William de Paiva

Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco, Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande, Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba.

Marcello Maia de Almeida

Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, Doutorado em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande, Mestrado em Engenharia de Processos pela Universidade Federal da Paraíba, Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba.

Endereço⁽¹⁾: Rua Baraúnas, 351, Bairro Universitário, Campina Grande – PB, CEP: 58429-500, Brasil – e-mail: claudioluisneto@gmail.com

RESUMO

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) constituem uma problemática que abrange aspectos relacionados à sua origem, produção, tratamento e destinação final, refletindo no comprometimento do meio ambiente, principalmente no que se refere à poluição do solo, do ar e da água. Uma forma de descartar esses resíduos é dispô-los em aterros sanitários, no entanto o entendimento das dinâmicas do aterro fica mais simples se estudos em biorreatores forem realizados. O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento térmico dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande – PB, depositados em diferentes biorreatores, contendo resíduos orgânicos e resíduos sólidos urbanos. A pesquisa foi desenvolvida na cidade de Campina Grande – PB, e consistiu na coleta, disposição e monitoramento dos resíduos depositados em biorreatores de vidro. Foram construídos dois biorreatores, em escala de bancada, um preenchido com resíduos orgânicos e outro com resíduos urbanos. O monitoramento da temperatura foi realizado por meio de termopares localizados no interior do biorreator. Os resultados obtidos mostraram que a temperatura encontrada no biorreator contendo resíduos de matéria orgânica é superior aquela encontrada no biorreator contendo resíduos sólidos urbanos, fato que pode estar associado à atividade metabólica dos microrganismos que ao degradarem os resíduos liberam calor e energia como produto de sua decomposição. Além disso, observou-se que as temperaturas encontradas no interior dos biorreatores foram muito próximas àsquelas encontradas no ambiente externo do biorreator, provavelmente devido às paredes das células experimentais serem de vidro e não apresentarem um bom isolamento. Assim, o monitoramento da temperatura serve de base para entender o seu comportamento durante as diferentes fases de degradação da matéria, bem como para compreender a interferência dos fatores ambientais na biodegradação dos RSU.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos, célula experimental, temperatura.

INTRODUÇÃO

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) constituem uma problemática que abrange aspectos relacionados à sua origem, produção, tratamento e destinação final, refletindo no comprometimento do meio ambiente, principalmente no que se refere à poluição do solo, do ar e da água. Esses resíduos resultam da atividade diária do ser humano em sociedade, sendo os principais que regem sua origem e produção: o aumento populacional, a intensa industrialização e o elevado consumo (LIMA, 2004; DACANAL, 2006).

A população brasileira, estimada em 190.732.694 habitantes, produz em torno de 240.000 toneladas de RSU por dia e grande parte destes resíduos, cerca de 88%, são dispostos em lixões sem nenhum controle ambiental. Apenas 11,7% das cidades brasileiras possuem aterros sanitários (IBGE, 2010; ABRELPE, 2006; PEREIRA, 2010).

Os aterros sanitários representam no mundo inteiro, a principal forma de destinação final dos RSU. Assim, o entendimento dessa técnica é de vital importância, no entanto, devido à magnitude desse tipo de empreendimento e aos custos envolvidos no estudo de aterros sanitários, estudos em biorreatores, também denominados de células experimentais ou lisímetros, vem sendo realizados com o intuito de buscar novas técnicas para aprimorar a disposição e o tratamento dos resíduos.

A utilização dos biorreatores permite obter parâmetros para projetos, dimensionamento, construção e monitoramento de aterros, como ocorrem às fases de degradação dos resíduos e as rotas metabólicas de degradação de produtos orgânicos. Os Biorreatores melhoram as condições para decomposição microbológica e aceleram a estabilização da massa de lixo permitindo a disposição adicional de RSU ou reuso mais rápido do aterro (Monteiro et al., 2006).

A degradação da matéria orgânica dos resíduos sólidos depositados nos aterros ocorre pela ação de diferentes grupos de microrganismos, que podem extrair poluentes que se combinam com o solo e a água e naturalmente, não são fáceis de serem removidos do meio ambiente. Por isso, é importante entender a ação de microrganismos decompositores, pois eles são os principais responsáveis pela degradação da matéria orgânica, e consequentemente pela geração de gases e lixiviados de grande impacto ambiental. Uma das maneiras de verificar a intensidade da atividade microbiana é analisar o comportamento térmico do meio, visto que a atividade metabólica dos microrganismos resulta num aumento de temperatura.

Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo do comportamento térmico dos resíduos sólidos urbanos gerados no município de Campina Grande – PB confinados em biorreatores, um contendo apenas resíduos orgânicos e outro com resíduos gerais.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida na cidade de Campina Grande – PB (Figura 1), e consistiu na coleta, disposição e monitoramento dos RSU para avaliar o seu comportamento térmico após depositados em biorreatores. De acordo com o IBGE (2010) Campina Grande tem uma população de 385.213 habitantes, com área de aproximadamente 594 km². Segundo a classificação Köppen (1948), apresenta um clima quente e úmido com chuva de outono-inverno apresentando temperatura média de 26°C.

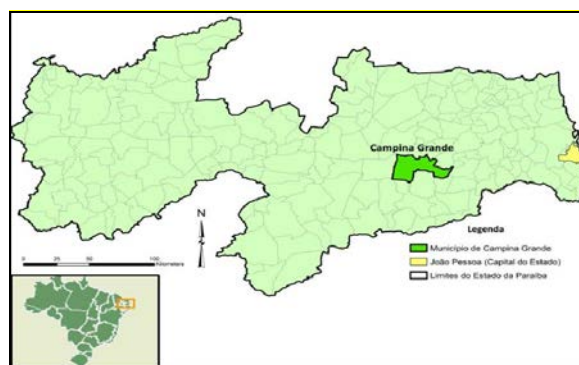


Figura 1: Localização da cidade de Campina Grande – PB
Fonte: CORDÃO (2009).

AMOSTRAGEM DOS RESÍDUOS

A metodologia aplicada para amostragem dos resíduos da cidade de Campina Grande - PB dividiu-se nas seguintes etapas:

1. Levantamento de dados;
2. Plano de amostragem;
3. Coleta e amostragem dos resíduos;
4. Caracterização dos resíduos.

Essa subdivisão foi adaptada de Rocha & Lang (2003).

A etapa de levantamento dos dados teve como objetivo formular o plano de amostragem dos resíduos. Para isto, foram feitas entrevistas com a Diretoria de Limpeza Urbana (DLU) e o gerente da empresa coletora terceirizada pela Prefeitura Municipal de Campina Grande (PMCG), visando obter informações sobre a geração e coleta dos resíduos sólidos domiciliares da cidade.

Com o intuito de obter amostras representativas dos RSU da cidade, verificou-se a necessidade de se estabelecer um plano de amostragem, através de um planejamento estatístico. Este plano baseou-se nas informações obtidas junto a Diretoria de Limpeza Urbana (DLU) e ao Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Para isso, foram utilizados dados do censo populacional do IBGE (2010), juntamente com dados da geração de resíduos na cidade e desenvolvida uma metodologia inédita de amostragem, com o intuito de representar fielmente a composição dos resíduos sólidos gerados no município de Campina Grande.

Para a determinação da quantidade mínima de resíduos necessários para a amostragem, de tal forma que, se garantisse um erro máximo de 10% e um coeficiente de confiança de 95%, admitiu-se a distribuição normal dos resíduos utilizando-se a Equação 1.

$$n = \frac{Z^2 \cdot \sigma^2 \cdot N}{d^2 \cdot (N-1) + Z^2 \cdot \sigma^2} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

n: tamanho da amostra;

N: tamanho da população;

d: erro máximo admitido;

σ^2 : variância;

Z: abscissa da normal padrão.

Obs.: Para obter a variância (σ^2) adotou-se:

$$\sigma = \frac{\text{amplitude}}{4}$$

Definido o tamanho da amostra, dividiu-se a cidade em quatro zonas diferentes (norte, sul, leste e oeste) e 49 bairros. Após este procedimento, realizou-se uma amostragem estratificada proporcional à população de cada

zona e, por conseguinte de cada bairro, sendo os bairros selecionados por amostragem aleatória. A Figura 2 mostra a divisão da cidade nas quatro zonas e os bairros selecionados.



Figura 2: Mapa dos bairros da cidade de Campina Grande, com destaque para os bairros sorteados
Fonte: Adaptado do Wikipédia (2012)

COLETA DOS RSU

A coleta de resíduos nos bairros sorteados foi realizada de maneira especial em caminhão basculante, sendo efetuada a pesagem imediata dos resíduos de acordo com a quantidade específica para cada bairro. A Tabela 1 apresenta a massa de resíduos que foram coletados nos bairro, garantindo assim uma representatividade da amostra.

Tabela 1: Massa de resíduos coletados nos bairros sorteados

ZONA	BAIRRO	RESÍDUOS (Kg)
NORTE	Conceição	271,13
	Nações	110,85
	Palmeira	448,66
SUL	Estação Velha	261,2
	Jardim Paulistano	632,84
	São José	311,41
	Velame	475,9
LESTE	José Pinheiro	1.270,24
	Nova Brasília	739,97
OESTE	Dinamérica	431,95
	Malvinas	3.052,04
	Quarenta	393,87
TOTAL	-----	8.400,06

A quantidade de resíduos coletada em cada bairro foi determinada previamente por meio de cálculos estatísticos envolvendo a população dos bairros e a quantidade de resíduos per capita. (Tabela 1). Após a coleta, os resíduos foram encaminhados às dependências da UFCG, descarregados e cobertos com lona até o descarregamento da quantidade total de resíduos coletados em todos os bairros, para posterior estudo.

Para realização do processo de amostragem utilizou-se o procedimento recomendado pela NBR 10.007 (ABNT, 2004) - Amostragem de Resíduos. Esse procedimento foi feito de acordo com as seguintes etapas (Figura 3):

- Coleta e pesagem dos RSU;
- Descarregamento dos resíduos do caminhão;
- Homogeneização dos resíduos com auxílio de uma retroescavadeira;
- Quarteamento dos resíduos;
- Separação e caracterização dos RSU.



Figura 3: Caracterização dos resíduos (a- pesagem dos resíduos no caminhão; b- descarregamento dos resíduos; c-abertura dos sacos plásticos; d- homogeneização; e- quarteamento; f- separação dos materiais).

Fonte: Arquivo de pesquisa

BIORREATORES

Para realização desta pesquisa foram construídos dois biorreatores, de vidro de espessura 10.0mm, com diâmetro interno de 40 cm e altura 70 cm tendo um volume aproximado de 87.920 cm³ (Figura 4). Os dois biorreatores foram preenchidos com matéria orgânica e com resíduos sólidos urbanos, respectivamente. Possuem formato cilíndrico com seção transversal circular visando facilitar a distribuição e a compactação dos resíduos no seu interior, bem como uniformizar a distribuição das pressões laterais na parede interna, evitando caminhos preferenciais de percolação do lixiviado e reduzindo a área de superfície lateral interna, diminuindo o contato entre os resíduos e a parede interna.

Os biorreatores foram revestidos com uma película de papel alumínio para evitar que os raios solares favoreçam a formação das algas no seu interior (Figura 4). Foram dotados de sistemas de drenagens de líquidos, medidores de recalque superficiais e profundos e medidores de temperatura ao longo das profundidades. Para compor a camada de base e de cobertura foi escolhido um solo com características de baixa permeabilidade para simular uma célula de aterro real.



Figura 4: Biorreator utilizado nesta pesquisa
Fonte: Arquivo de pesquisa

TEMPERATURA

Para o monitoramento da temperatura no interior dos biorreatores foram conectados termopares do tipo K. Os termopares consistem em um par de metais de cobre e cromo unidos em uma ponta, que são sensíveis à temperatura, gerando uma corrente elétrica proporcional à temperatura. Esta corrente é medida na superfície por um termômetro elétrico. Sua calibração é feita com o uso de um termômetro de mercúrio como referência. Mergulham-se ambos em um recipiente a uma temperatura próxima de 0°C; fornece-se calor ao conjunto e a cada 5°C de acréscimo verificado no termômetro de mercúrio, anota-se o valor do termômetro elétrico. Por fim constrói-se uma curva de calibração e os valores medidos em campo foram corrigidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os perfis das temperaturas nos biorreatores podem ser observados nas Figuras 5 e 6, para os lisímetros com matéria orgânica e com resíduos sólidos urbanos, respectivamente. Analisando as Figuras, pode-se observar que a temperatura não segue uma tendência, em nenhuma das células experimentais, este fato pode estar associado à influência de outros parâmetros como atividade microbiana, teor de umidade, composição dos materiais e condições meteorológicas que venham interferir o comportamento térmico dos biorreatores.

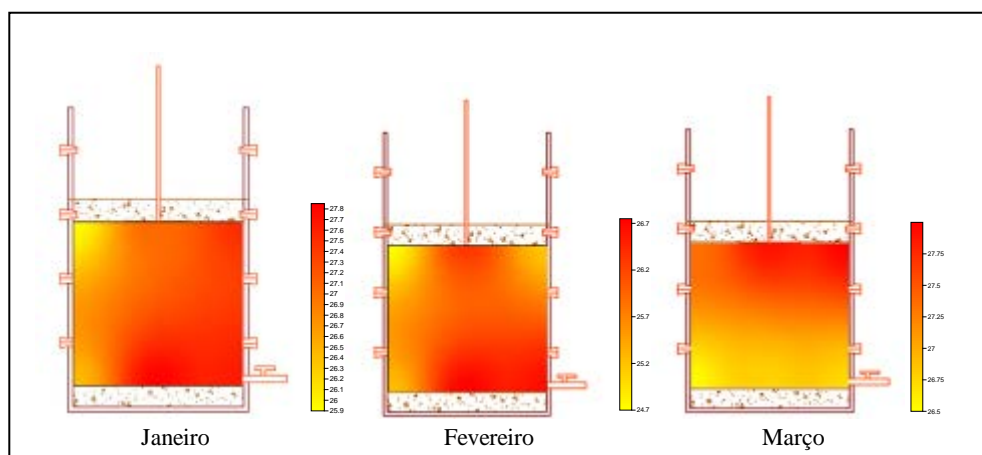


Figura 5: Distribuição da temperatura no biorreator de matéria orgânica nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2012.

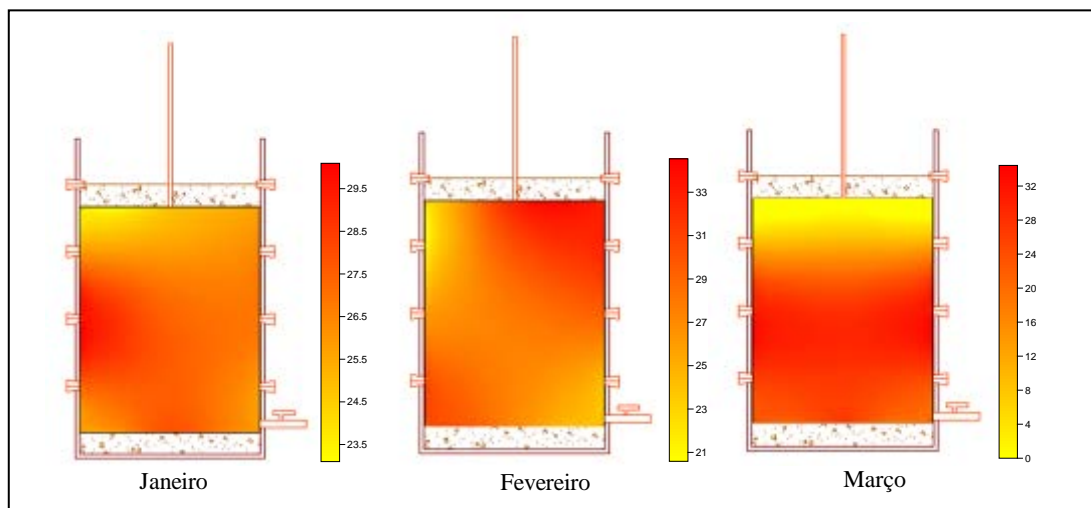


Figura 6 - Distribuição da temperatura no biorreator de resíduos gerais nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2012.

Não há uma distribuição uniforme da temperatura em nenhum dos meses estudados, este fato não está restrito apenas a heterogeneidade dos resíduos, pois não se observa uma uniformidade da temperatura no biorreator que contém apenas matéria orgânica, onde apresenta condições favoráveis ao desenvolvimento dos microrganismos em quaisquer pontos, fazendo com que a temperatura seguisse uma tendência.

A Figura 7 apresenta o comportamento da temperatura ambiente, externa à célula e em ambos biorreatores. Analisando essa Figura, observa-se que a temperatura no biorreator contendo resíduos de matéria orgânica é superior aquela encontrada no biorreator contendo resíduos urbanos, fato que pode estar associado à atividade dos microrganismos, que se apresenta de forma mais intensa nesse biorreator por encontrar material biologicamente disponível para intensificar atividade degradativa e assim, elevar a temperatura. Além disso, a elevação da temperatura pode estar associada ao processo inicial de decomposição dos resíduos, que é o aeróbio. Esse processo ocorre, porque uma vez depositados na célula os resíduos trazem consigo, em seus vazios, grande disponibilidade de oxigênio. Este oxigênio é utilizado pelas bactérias aeróbias que liberam calor e energia como produto de sua decomposição, aumentando assim a temperatura nessa fase inicial.

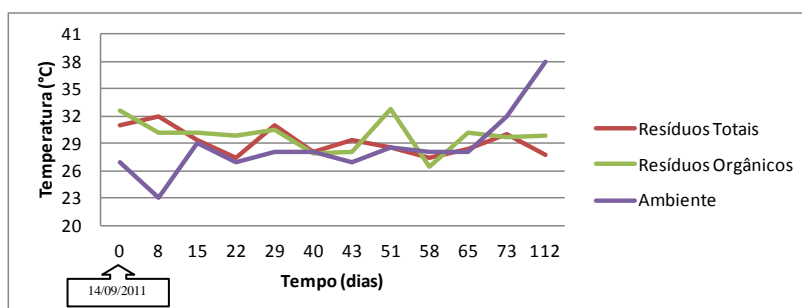


Figura 7 – Comportamento das temperaturas

Analisando a Figura 7, a temperatura ambiente apresentou uma variação de 23 a 38°C, já a temperatura interna das células experimentais variou de 26 a 32°C, estas proximidades nas taxas de temperaturas podem dar-se devido às paredes das células experimentais serem de vidro e não apresentarem um bom isolamento, a manta de revestimento das células experimentais também não contribuíram para um bom isolamento térmico. Esta temperatura externa, moderadamente elevada se comparada a outros locais, torna-se benéfica para aterros e células experimentais, pois, influencia na biodegradação dos resíduos, se as temperaturas externas forem muito

menores que o meio interno da célula, principalmente, em períodos chuvosos a desestabilização da atividade biológica seria muito maior, o que ocasionaria distúrbios de metabolismo. Para evitar este condicionamento é necessário que haja um melhor isolamento entre o meio externo e a massa resíduo, pois a própria atividade metabólica dos microrganismos nos resíduos contribuirá para o aumento da temperatura.

Vale salientar que ocorrem faixas ótimas de degradação para cada grupo de microrganismos o que pode selecionar espécies microbianas, por isso é necessário que haja um efetivo isolamento térmico, para que aconteçam as sucessões microbiológicas das fases de degradação dos resíduos. Araújo Neto *et. al.* (2011) constatou a presença de microrganismos do grupo coliformes em diferentes fases de degradação dos resíduos, a continuidade desses microrganismos, provavelmente, foi favorecida pela impermutabilidade da temperatura.

Em síntese, as temperaturas externas influenciam o meio interno, principalmente se a célula tiver uma grande área de superfície em relação ao volume. Embora, no caso de a célula experimental não se terem dados que possa indicar algo conclusivo. Mesmo assim, é importante analisar com mais profundidade a relação área de superfície/volume e como os materiais que constituem a parede da célula experimental se relacionam com o ambiente externo e interno.

CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- O parâmetro monitorado servirá de base para entender o comportamento da temperatura durante as diferentes fases de degradação da matéria, bem como compreender como fatores ambientais interferem na biodegradação dos RSU.
- O não isolamento efetivo dos biorreatores fez com que a temperatura exterior influenciasse na temperatura interna dos biorreatores. Portanto, seria necessário um maior isolamento térmico entre o resíduo sólido e o meio ambiente, pois essa interação acelera os processos microbiológicos de degradação dos resíduos, podendo ser um fator desfavorável para países de clima temperado a frio. Neste caso além da temperatura externa (ambiente) serem baixas, as precipitações ao penetrarem na massa de resíduos desestabilizariam o metabolismo microbiano dos resíduos.
- É necessário estudos mais detalhados das condições meteorológicas, pois eles são fatores que influenciam diretamente a atividade microbiológica e consequentemente a degradação dos resíduos, só desta forma é possível acelerar ou retardar o processo biodegradativo dos resíduos, maximizar o tempo de vida útil de aterros sanitários e minimizar a geração de lixiviados.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

1. _____. NBR 10007: **Resíduos Sólidos – amostragem de Resíduos**. Rio de Janeiro, 2004.
2. ALCÂNTARA, P.B. **Avaliação da Influência da Composição de Resíduos Sólidos Urbanos no Comportamento de Aterros Simulados**. 366p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2007.
3. ALVES, F. S. **Estudo de uma célula experimental no intuito de aperfeiçoar técnicas para dimensionar aterros sanitários em escala real**. In: II Simpósio Sobre Resíduos Sólidos – USP - II SIRS, São Paulo, SP -2011.
4. ARAUJO NETO, C. L. ; ALVES, F. S. ; MONTEIRO, V. E. D. . **TRATAMENTO DE RESÍDUOS E SANEAMENTO**. In: Giovanni Seabra; Ivo Mendonça. (Org.). Educação Ambiental: responsabilidade para conservação da sociobiodiversidade. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2011, v. 2, p. 754-758.
5. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contagem Populacional**. 2010.
6. MARIANO, G. L.; MOURA, M. A. L. **Comportamento da temperatura do lixo em duas épocas distintas (seca e chuvosa) no lixão da cidade de Maceió-AL**. Ciência e Natura. UFSM, v. 31, n. 2, p. 57 - 70, 2009.