



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL



## RELATÓRIO DE ESTÁGIO

**ESTUDO DE PARÂMETROS FÍSICOS E FÍSICO-QUÍMICOS EM UM  
BIOREATOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA CIDADE DE  
CAMPINA GRANDE – PB.**

**Aluno(a):** *Kaliana Cristina dos Santos Sales*

**Orientador (a):** *Veruschka Escarião Dessoles Monteiro*

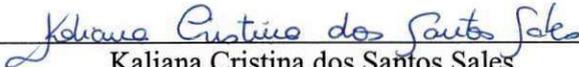
**Co-orientador (a):** *Lilyanne Rocha Garcez*

Campina Grande, 29 de julho de 2008

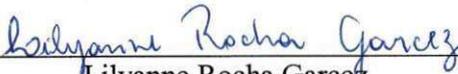
**ESTUDO DE PARÂMETROS FÍSICOS E FÍSICO-QUÍMICOS EM UM  
BIOREATOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA CIDADE DE  
CAMPINA GRANDE – PB.**

*KALIANA CRISTINA DOS SANTOS SALES*

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO APRESENTADO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE.

  
\_\_\_\_\_  
Kaliana Cristina dos Santos Sales  
*Aluna*

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Veruschka Escarvão Dessoles Monteiro  
*Orientadora*

  
\_\_\_\_\_  
Lilyanne Rocha Garcez  
*Co-orientadora*

Campina Grande, PB – Brasil  
julho de 2008



Biblioteca Setorial do CDSA. Julho de 2021.

Sumé - PB

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01</b> - Evolução do teor de umidade nos resíduos sólidos aterrados.....	15
<b>Figura 02</b> - Variação do pH em função do tempo.....	16
<b>Figura 03</b> - Variação da alcalinidade em função do tempo.....	17
<b>Figura 04</b> - Evolução do teor de sólidos voláteis nos resíduos sólidos aterrados.....	18
<b>Figura 05</b> - Teor de Carbono no decorrer do tempo.....	19
<b>Figura 06</b> - Teor de Nitrogênio no decorrer do tempo.....	20
<b>Figura 07</b> - Evolução da relação C/N no decorrer do tempo.....	21
<b>Figura 08</b> - Evolução do teor de nitrogênio.....	22
<b>Figura 09</b> - Evolução do teor de fósforo.....	22
<b>Figura 10</b> - Relação P/N no decorrer do tempo.....	23

## SÍMBOLOS UTILIZADOS

w = Teor de Umidade (%);

P<sub>i</sub> = peso inicial (g);

P<sub>f</sub> = peso final (g);

AT = alcalinidade total (mgCa CO<sub>3</sub>/L);

V<sub>ácido</sub> = volume de ácido adicionado à amostra (ml);

V<sub>A</sub> = volume da amostra;

SV = Teor de sólidos voláteis (%);

SF = Teor de sólidos fixos (%);

MO = teor de matéria orgânica;

C = teor de carbono orgânico;

P<sub>2</sub> = peso do material colocado a temperatura de 100-110 °C por 3 horas (g);

P<sub>3</sub> = peso do material retirado da mufla (g);

w = umidade (%);

N = teor de nitrogênio;

ml<sub>am</sub> = mililitro titulado na amostra;

ml<sub>br</sub> = mililitro titulado na prova em branco.

## Índice

1.0	Introdução .....	1
2.0	Objetivos .....	2
2.1	Objetivo Geral .....	2
2.2	Objetivos Específicos .....	2
3.0	Revisão Bibliográfica .....	3
3.1	Geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) .....	3
3.2	Biodegradação de RSU .....	4
3.3	Fatores que interferem na evolução dos processos biodegradativos dos RSU .....	5
3.3.1	Parâmetros Físicos .....	5
3.3.2	Parâmetros Físico-Químicos .....	6
4.0	Metodologia .....	8
4.1	Construção do lisímetro .....	8
4.2	Caracterização dos RSU .....	9
4.3	Caracterizações físicas e físico-químicas .....	9
4.3.1	Temperatura .....	10
4.3.2	Teor de umidade .....	10
4.3.3	pH .....	10
4.3.4	Alcalinidade total .....	10
4.3.5	Sólidos voláteis .....	11
4.3.6	Teor de carbono .....	11
4.3.7	Teor de nitrogênio .....	12
4.3.8	Teor de fósforo .....	13
5.0	Resultados e discussão .....	13
5.1	Temperatura .....	13
5.2	Teor de Umidade .....	14
5.3	Potencial hidrogeniônico (pH) .....	16
5.4	Alcalinidade .....	17
5.5	Sólidos Voláteis .....	18
5.6	Relação C/N .....	19
5.7	Teor de fósforo e relação P/N .....	22
6.0	Referências Bibliográficas .....	23
7.0	Anexos .....	26

## 1.0 Introdução

A questão da gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) ganhou nos últimos anos uma importância vital devido ao aumento das quantidades geradas no nosso país e o seu ineficiente destino final. São várias as formas de disposição e tratamento de RSU que são comumente escolhidas em função de custo, da área disponível e da necessidade do município.

A disposição desses resíduos em aterros sanitários é uma técnica bastante utilizada, devido a sua praticidade e baixo custo. Porém, apenas acondicionar o lixo em aterros sanitários não é a solução, é necessário buscar alternativas que proporcionem a redução desse lixo. Para um melhor monitoramento dos resíduos que são acondicionados, é importante analisar os fatores físicos, físico-químicos e microbiológicos que interferem nos processos que acontecem no interior da massa de lixo (LEITE, 2008).

Para entender estes processos, faz-se necessário estudar diversos parâmetros, dentre eles, os físicos, tais como: temperatura e umidade, e também os parâmetros físico-químicos, pH, alcalinidade, sólidos voláteis, relação carbono/nitrogênio (C/N), teor de fósforo (P), etc. Entre vários parâmetros, exemplificamos a relação C/N, pois, segundo Garcez *et al* (2008) para seguir reproduzindo e funcionando corretamente, um organismo precisa de uma fonte de energia como carbono para a síntese dos componentes celulares responsáveis para sua adaptação e crescimento, além de elementos inorgânicos, que sirvam de nutrientes tais como: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

A proposta para avaliar esses parâmetros existentes nos resíduos foi a construção de um biorreator (lisímetro), em escala experimental, que pode sugerir através do seu monitoramento os possíveis ajustes que poderão ser aplicados em escala real (MONTEIRO, 2003).

Este relatório tornou-se possível devido à participação em um Grupo de Pesquisa de Geotecnia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande – PB e os dados obtidos neste trabalho serão utilizados como subsídios para dissertações de mestrado e publicações de artigos científicos em nível nacional e internacional.

## **2.0 Objetivos**

### **2.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo verificar parâmetros físicos (temperatura e umidade) e físico-químicos [potencial hidrogeniônico (pH), alcalinidade, sólidos voláteis, relação carbono/nitrogênio (C/N), relação fósforo/nitrogênio (P/N)], que interferem no processo de degradação dos resíduos sólidos urbanos, da cidade de Campina Grande - PB.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Verificar os parâmetros físicos e compará-los com as faixas ótimas de acordo com a literatura técnica, necessárias a evolução do processo biodegradativo no interior da massa de lixo;
- Verificar se os parâmetros físico-químicos necessários ao bom crescimento bacteriano afetam a sobrevivência e o crescimento dos microorganismos no interior da massa de lixo;
- Analisar as relações carbono/nitrogênio e fósforo/nitrogênio, verificando se estas relações estão contribuindo para uma melhor degradação dos resíduos.

### 3.0 Revisão Bibliográfica

#### 3.1 Geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

O crescimento do consumo dos produtos industrializados, aliado a explosão populacional das grandes cidades, são fatores que contribuem para a geração acentuada de RSU, contribuindo para o aumento do potencial contaminante do meio ambiente (MONTEIRO, 2003).

No Brasil, conforme os dados do IBGE (2007), a população estimada é de, aproximadamente, 184 milhões de habitantes, que produzem em torno de 241.614 toneladas de RSU por dia. Segundo a ABRELPE (2006), a realidade das cidades brasileiras é de que 11,7% possuem aterros sanitários e mais de 88% depositam seus resíduos a céu aberto, sem nenhum tipo de controle, cujos locais são denominados lixões.

Campina Grande é um município que está localizado na mesorregião Agreste do Estado da Paraíba, possui uma área de aproximadamente 621km<sup>2</sup> e uma população de aproximadamente 380 milhões habitantes (IBGE, 2007). O município caracteriza-se por escassez de área de deposição de resíduos, causadas pela ocupação e valorização de áreas urbanas, bem como problemas de saneamento público e contaminação ambiental (LEITE *et al.*, 2008).

Os serviços de coleta dos resíduos domiciliares, hospitalares, industriais, limpeza dos prédios da administração municipal, segurança dos prédios, obras civis, transporte escolar, manutenção de estradas ou vias urbanas e contabilidade, são terceirizados pela Prefeitura do Município. Esses resíduos são coletados e depositados no lixão, situado na Alça Sudoeste, conhecido como Lixão do Serrotão, sem nenhum tipo de tratamento que minimize os impactos ambientais causados por esta forma de disposição inadequada de resíduos, logo se torna necessário à busca por soluções que reduzam esses problemas.

Em Campina Grande, são produzidos em média 240 toneladas de resíduos por dia, com taxa de produção *per capita* de aproximadamente 540g/hab.dia dos quais 80% apresenta capacidade de reaproveitamento, contudo o município não dispõe de alternativas tecnológicas para disposição e reaproveitamento racional da fração coletada (LEITE *et al.*, 2007).

Para a solução em termos de disposição final dos resíduos sólidos, a disposição em aterros é ainda a técnica mais utilizada. O comportamento dos resíduos depositados em

aterros é semelhante a um bioreator e em condições ótimas o bioreator provê uma quebra completa da fração biodegradável do lixo (LEITE, 2008).

Para a uma melhor elaboração de projetos e construções de aterros, faz-se necessários conhecimentos de fatores físicos, físico-químicos e microbiológicos que interferem nos processos que acontecem no interior da massa de lixo, portanto, a proposta para a avaliação dos resíduos de Campina Grande se dá através da construção de um biorreator (lisímetro), que permitirá monitorar alguns parâmetros para entender o comportamento desses resíduos ao longo do tempo.

### **3.2 Biodegradação de RSU**

No contexto de biodegradação, os fenômenos microbiológicos são de fundamental importância, pois eles ocorrem através da digestão anaeróbia, onde os resíduos são decompostos pela ação desses microorganismos. A quantidade de resíduos decompostos dependerá do seu conteúdo orgânico biodegradável, da temperatura ambiente, da disponibilidade de oxigênio, da umidade, dos microorganismos e das condições climáticas do meio interno e externo (KELLER *et al.*, 2002 *apud* MONTEIRO, 2003).

A conversão de toda a matéria orgânica em ambientes anaeróbios se dá através de um processo bioquímico complexo, no qual atuam microorganismos com grupos específicos para as várias reações. Para o processo de digestão anaeróbia de proteínas, celuloses, amidos e lipídios, segundo Van Haandell & Lettinga (1994) existem basicamente quatro grupos de bactérias que atuam em partes diferentes nesse processo: as fermentativas que transformam os compostos orgânicos complexos em compostos mais simples; as acidogênicas que absorvem os compostos dissolvidos do primeiro grupo e os excretam como substância orgânica simples como ácidos graxos; as acetogênicas que convertem os produtos acidogênicos em compostos que formam substratos para a formação de metano; e as metanogênicas, que em geral, limita a velocidade do processo de digestão.

Essa capacidade microbiológica de metabolizar diferentes compostos orgânicos é que resulta na degradação dos resíduos sólidos, desde que esse metabolismo não seja interferido por alguns fatores que podem afetar essa biodegradação.

### **3.3 Fatores que interferem na evolução dos processos biodegradativos dos RSU**

Para que ocorra um crescimento bacteriano satisfatório todos os microorganismos necessitam de condições mínimas para a sobrevivência e posterior reprodução. Para tanto, as fontes de nutrientes, oxigênio, além de pH, umidade e temperatura ideais, são fatores essenciais para o seu desenvolvimento (MONTEIRO, 2003).

#### **3.3.1 Parâmetros Físicos**

O monitoramento de RSU envolve diversos parâmetros físicos que variam numa ampla faixa de valores o que exige observações sobre as condições onde foram obtidas. A temperatura e o teor de umidade são parâmetros importantes ao desenvolvimento microbiano dentro da massa de lixo.

##### **o Temperatura**

As temperaturas no interior da massa de lixo são de grande importância, principalmente no que se refere à atividade de microorganismos que promovem a degradação dos diversos componentes do lixo. Os microorganismos existentes dentro da massa não controlam sua própria temperatura, ficando altamente condicionados a temperatura do meio, o que propicia o surgimento de diferentes tipos de bactérias para faixas variadas de temperaturas (JUNQUEIRA, 2000).

Os microrganismos em geral, que atuam na degradação do material orgânico em aterros de RSU, mantidos sobre condições anaeróbias, a depender da faixa de temperatura ótima de crescimento, podem ser agrupados em quatro categorias: psicrófilos (0 a 20°C, ótimo de  $\approx 15^\circ\text{C}$ ), mesófilos (12 a 45°C, 37°C), termófilos (42 a 68°C, 62°C), e hipertermófilos (80 a 113°C, 105°C) (MADIGAN *et al.*, 2002).

##### **o Teor de umidade**

O teor de umidade pode variar de acordo com vários fatores como: a composição do lixo, as condições climáticas, as práticas de coletas, entre outros. Os componentes orgânicos do lixo geralmente concentram a maior parcela de umidade. Alguns autores sugerem que o teor de umidade e o teor de matéria orgânica presentes no lixo fornecem os pré-requisitos necessários à fase inicial do crescimento bacteriano.

A faixa ótima de umidade para a degradação biológica deverá ser entre 20 – 40% (PALMIZANO & BRALAZ, 1996 *apud* MELO, 2003), pois valores de umidade fora desta faixa prejudicam a atividade metabólica dos diferentes grupos bacterianos, podendo, inclusive, desestabilizar a célula de lixo.

### 3.3.2 Parâmetros Físico-Químicos

Segundo Castilhos *et al.* (2003), o conhecimento das características químicas dos resíduos sólidos possibilita a seleção adequada de processos de tratamentos e de técnicas de disposição final, bem como apresenta algumas características básicas de interesse, como o poder calorífico, pH, alcalinidade, composição química (nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre e carbono), e sólidos voláteis.

#### o **Potencial hidrogeniônico (pH)**

O valor do pH expressa a concentração de íons hidrogênio no meio. Em condições neutras, a água contém uma concentração de íons de hidrogênio de  $10^{-7}$  e tem pH igual a 7. Soluções ácidas tem pH menor que 7; e soluções alcalinas, tem pH maior que 7.

A variação do pH influencia na biodegradação dos resíduos devido ao meio em que se encontram as bactérias responsáveis pela degradação da matéria orgânica contida no lixo, sendo as metanogênicas as mais afetadas por esta variação. A obtenção de uma faixa ótima de pH contribui para o crescimento bacteriano, facilitando a digestão anaeróbia. Bactérias anaeróbias, especialmente as metanogênicas, são sensíveis às condições ácidas do bioreator e podem ser inibidas (REICHERT, 2004).

Durante a digestão anaeróbia leva-se em consideração a atuação de um determinado grupo de bactérias, como as fermentativas responsáveis pelas fases do processo de digestão conhecidas como hidrólise e acidogênese cujo pH varia em torno de 5 e 6, as acetogênicas responsáveis pela fase do processo de digestão conhecida como acetogênese possui um pH também em torno de 5 e 6, enquanto que as metanogênicas responsáveis pela fase metanogênese atingem um faixa de pH variando em torno de 6,5 e 8,2 (Igeniero Ambiental, 2004).

Para crescer bem num meio ácido ou básico, um microrganismo deve ser capaz de manter o seu *pH* intracelular em torno de 7,5, independentemente do valor do *pH* do meio externo (RUSSO, 2005).

- **Alcalinidade**

A alcalinidade provoca a neutralização da acidez, aumentando o pH e tende a precipitar os metais fora da solução. Desta maneira, a alcalinidade pode minimizar a ação inibidora dos metais no meio do processo, sendo um elemento antagonista (POVINELLI, 1987, *apud* MONTEIRO, 2003).

Entretanto em altos níveis de pH, o íon de hidroxila pode-se tornar inibidor e, portanto, a acidez atuaria como antagonista, reduzindo a alcalinidade do meio e, conseqüentemente, os íons de OH.

- **Sólidos voláteis**

Segundo Reichert (2004), a composição dos RSU é extremamente diversificada e heterogênea, variando em função de fatores como nível sócio-econômico da população, época do ano e tipo de coleta.

Os sólidos voláteis em resíduos sólidos são o resultado da subtração dos sólidos totais e das cinzas obtidas após combustão completa dos resíduos.

Os teores em sólidos voláteis são em média inferiores a 7% e o valor máximo atinge cerca de 10%, revelando um decréscimo ao longo do perfil com a profundidade e com a idade em aterro, alcançando valores de até 2,5% (RUSSO, 2005).

- **Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)**

A relação C/N representa a relação entre as quantidades de carbono e de nitrogênio presentes na matéria orgânica. É utilizada como bom indicador da estabilidade biológica da matéria orgânica (MOREL *et al.*, 1985 *apud* RUSSO, 2005).

Alguns autores consideram que um intervalo de variação refletirá melhor os mecanismos metabólicos envolvidos. Com efeito, a disponibilidade de C é a maior fonte de energia para os microrganismos, porém a sua eficiência não é 100% e normalmente a demanda de C é maior que a de N (RUSSO, 2005).

Segundo Kiehl (1985) os microrganismos absorvem os elementos C e N em uma proporção de trinta partes de carbono para cada parte de nitrogênio, sendo os limites 26/1 e 35/1 considerados por este autor como as relações C/N mais recomendadas para uma rápida e eficiente degradação de matéria orgânica.

#### ○ **Teor de fósforo**

A presença do fósforo é necessária para o desenvolvimento dos microorganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica. Segundo o Modelo de Monod (1949) *apud* Monteiro (2003) evidencia a importância de nutrientes como o fósforo e destaca a relação desse nutriente com a taxa de crescimento microbiano.

De acordo com Bruno (2007) a quantidade de fósforo necessária para o crescimento microbiano na digestão anaeróbia tem sido reportada como sendo de 1/5 a 1/7 da quantidade de nitrogênio.

### **4.0 Metodologia**

A presente pesquisa foi desenvolvida através da construção e do monitoramento de uma célula experimental (lisímetro), simulando uma célula de aterro sanitário. O lisímetro foi construído no campo experimental EXTRABES (Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários) um núcleo de pesquisa da Universidade Federal de Campina Grande localizado em terreno pertencente à Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba - CAGEPA.

Serão abordadas a seguir, algumas metodologias utilizadas para a execução de construção e monitoramento do lisímetro através dos parâmetros que foram analisados.

#### **4.1 Construção do lisímetro**

O lisímetro foi construído através da adaptação de manilhas em concreto armado e as suas dimensões foram de uma altura de 2,15m, diâmetro interno de 1,00m e um volume aproximado de 1,70m<sup>3</sup>. Foi apoiado sobre uma base de alvenaria, fixado a base com auxílio de pasta de cimento. Em suas camadas de base e cobertura foi empregado solo que imprimiu características de impermeabilidade.

A estrutura do lisímetro conteve um sistema de drenagem constituído por um tubo de PVC apoiado sobre o solo compactado e sobre uma camada de pedra britada utilizada para promover a drenagem de toda a célula experimental.

O lisímetro foi dotado de uma instrumentação como sistema de drenagem de líquidos e gases, piezômetro para medição do nível de líquidos, placas circulares para medição de

recalques superficiais e em profundidade e termopares para medição de temperatura em profundidade.

A abertura para a coleta e obtenção das amostras possui um diâmetro de 50cm e a abertura inferior está posicionada em uma altura de 0,8m da base e a abertura superior, a 1,48m da base.

## **4.2 Caracterização dos RSU**

Objetivando uma amostra representativa dos RSU da cidade de Campina Grande (PB), utilizou-se para o preenchimento do lisímetro resíduos provenientes de três bairros de classes sociais distintas, do qual a unidade coletora, com rotas definidas pelo departamento de limpeza urbana do município atingiria esses bairros, que destacamos, como sendo: Mirante (classe alta), Catolé (classe média) e Conjunto Argemiro Figueredo situado no bairro Sandra Cavalcanti (classe baixa).

Esses resíduos foram bem homogêneos e após a pesagem o lixo foi lançado no lisímetro em camadas de 0,10m e compactadas manualmente. Juntamente com a colocação do lixo foram colocadas as instrumentações que são necessárias para o monitoramento desse lisímetro.

As coletas foram retiradas, através de um amostrador, contendo aproximadamente 500g de sólidos, de cada abertura. Foram obtidas uma amostra superior e outra inferior a cada coleta. Essas amostras foram picotadas em tamanho de 3cm a 5cm, aproximadamente, e após a picotagem armazenada conforme cada análise a ser realizada.

## **4.3 Caracterizações físicas e físico-químicas**

Os parâmetros: alcalinidade, pH, sólidos voláteis e fósforo foram determinados utilizando-se a metodologia do *Standard Methods* (AWWA/APHA/WEF, 1998). A metodologia utilizada para a obtenção dos teores de carbono e nitrogênio para a relação C/N foi segundo Tedesco *et al* (1995).

### **4.3.1 Temperatura**

A temperatura foi monitorada através de termopares do tipo k instalados no bioreator através dos furos de sondagem feitos na célula experimental. As leituras foram realizadas através de um termômetro digital.

#### 4.3.2 Teor de umidade

O teor de umidade gravimétrico foi determinado pelo método de base úmida, onde se pesou uma quantidade representativa da amostra de resíduo sólido e colocou-se na estufa a 105°C por, no mínimo, 24 horas. Após resfriamento as amostras foram novamente pesadas em uma balança digital. Logo, a água contida na amostra foi dada pelo peso perdido durante o processo, sendo o teor de umidade determinado pela relação da Equação 1.

$$w = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (1)$$

Onde:  $w$  = Teor de Umidade (%);

$P_i$  = peso inicial (g);

$P_f$  = peso final (g).

#### 4.3.3 pH

A determinação do pH foi feita eletrometricamente com a utilização de um potenciômetro e eletrodos. O princípio da medição eletrométrica do pH é a determinação da atividade iônica do hidrogênio, utilizando o eletrodo padrão de hidrogênio, que consiste de uma haste de platina sobre o qual o gás hidrogênio flui a uma pressão de 101kPa.

#### 4.3.4 Alcalinidade total

Foi adicionado ácido sulfúrico de normalidade conhecida à amostra sob discreta agitação até atingir pH = 4,0. Utilizou-se a Equação (2) para o cálculo da alcalinidade total.

$$AT = \frac{(N \times V_{\text{ácido}} \times 50000)}{V_A} \quad (2)$$

Onde: AT = alcalinidade total (mgCa CO<sub>3</sub>/L);

V<sub>ácido</sub> = volume de ácido adicionado à amostra (ml);

V<sub>A</sub> = volume da amostra.

#### 4.3.5 Sólidos voláteis

Utilizou-se o método baseado em Who (1979) que consiste em acondicionar cerca de 5g de amostra do resíduo em um cadinho de porcelana e posteriormente colocá-lo em uma estufa para secagem em temperatura entre 60 e 65°C. O conjunto é levado depois a uma mufla, cuja temperatura é de 550°C, por no mínimo 2 horas, e em seguida resfriado em um dessecador a vácuo, para ser então determinado o peso seco do material. O valor do teor de sólidos voláteis (SV) e fixos (SF) dos resíduos foi determinado em porcentagem de acordo com as Equações (3) e (4), respectivamente.

$$SV = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (3)$$

$$SF = 100 - SV \quad (4)$$

Onde: SV = Teor de sólidos voláteis (%);

SF = Teor de sólidos fixos (%);

P<sub>i</sub> = peso inicial (g);

P<sub>f</sub> = peso final (g).

#### 4.3.6 Teor de carbono

O material, após 24h em estufa e processado no moinho de bolas, foi levado novamente à estufa por, no mínimo 12h para a determinação da umidade (w). Após a determinação da umidade, o material foi colocado a uma temperatura de 100-110 °C por 3 horas (P<sub>2</sub>) e em seguida, transferido para uma mufla a temperatura de 550 °C por mais 1 hora (P<sub>3</sub>). O teor de matéria orgânica (MO) na amostra foi determinado pela Equação 5.

O teor de C-orgânico foi obtido conforme a Equação 6, multiplicando-se o teor de MO por 0,58, onde a matéria orgânica, em geral, é composta por carbono orgânico em 58%

de sua massa total (SCHOLLENBERGER, 1945; NELSON & SOMMERS, 1996 *apud* BRUNETTO *et al.*, 2006).

$$\%MO = \frac{(P_2 - P_3) \times (100 - w)}{5} \quad (5)$$

$$\%C = \%MO \times 0,58 \quad (6)$$

Onde: MO = teor de matéria orgânica;

C = teor de carbono orgânico;

P<sub>2</sub> = peso do material colocado a temperatura de 100-110 °C por 3 horas (g);

P<sub>3</sub> = peso do material retirado da mufla (g);

w = umidade (%).

#### 4.3.7 Teor de nitrogênio

Inicia-se a determinação a partir da digestão realizada nos macronutrientes, no qual se enquadra o nitrogênio, feita por peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) e ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) com mistura de digestão que é composta de 100g de sulfato de sódio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), 10g de sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O) e 2,2g de selenito de sódio (Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>). A adição prévia de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) propicia uma pré-digestão da amostra ao adicionar o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) em que a temperatura atinge 180 – 190 °C, esta oxidação parcial de compostos orgânicos evita a formação de espuma e freqüente perda de material após a adição de ácido sulfúrico, no início do aquecimento. A digestão se dá através da mistura de 0,2g da amostra seca, com 1ml de peróxido de hidrogênio a 30%, adicionando-se vagarosamente 2ml de ácido sulfúrico e posteriormente adicionando 0,7g da mistura de digestão.

Após a digestão é feita a determinação do nitrogênio cujo método consiste na destilação da mistura de 10ml de amostra digerida com 5ml de hidróxido de sódio (10M). Após a destilação, a amostra retirada foi titulada com ácido sulfúrico (0,025M), cujo resultado foi aplicado na Equação 7:

$$N(g / Kg) = \frac{(ml_{am} - ml_{br}) \times 700 \times 5 \times 5}{1000} \quad (7)$$

Onde: N = teor de nitrogênio;

$ml_{am}$  = mililitro titulado na amostra;

$ml_{br}$  = mililitro titulado na prova em branco.

#### **4.3.8 Teor de fósforo**

A amostra após picotada foi diluída em água destilada, na proporção 0,5 kg de resíduo para 1 litro de água destilada. Após, aproximadamente, 30 minutos a amostra foi passada por uma peneira e foi obtido um sumo (amostra diluída) equivalente a um lixiviado.

Preparou-se os padrões para obtenção da curva padrão. Em cada erlemayer marcou-se “0”, “2”, “4”, “6”, “8” e “10” e colocou-se o valor equivalente de cada padrão em seu respectivo erlemayer. Em seguida, tomou-se 50ml de amostra diluída. Pesou-se 4g de persulfato de amônia e colocou-se em um erlemayer. Em seguida, adicionou-se 5ml da amostra e aferiu-se para 25ml. Se houvesse o desenvolvimento da cor rosa, adicionava-se gotas da solução digestora até o desaparecimento da cor e, então, mais 0,5ml da amostra diluída. Em casos que não foi desenvolvida a cor rosa, adicionou-se 1ml da solução digestora, da mesma forma, por segurança. Encaminhou-se o erlemayer para a autoclave a uma temperatura máxima de 120°C por 30 min. Após resfriamento por 30min, adicionou-se 1 gota de fenolftaleína. Após o resfriamento, neutralizou-se todas as amostras com hidróxido de sódio (NaOH 6N), completou-se o volume para 50 ml com água destilada e adicionou-se 8ml de reagente combinado. Por fim, fez-se a leitura no espectrofotômetro a 880 nm.

### **5.0 Resultados e discussão**

Os resultados obtidos no presente trabalho serão apresentados levando-se em consideração o tempo de coleta e servirão de subsídios para a elaboração de projetos e construção de um aterro sanitário na cidade de Campina Grande.

#### **5.1 Temperatura**

A temperatura é um parâmetro de grande importância para o controle do processo de biodegradação dos RSU, dado que tem influência direta na atividade microbiana. A temperatura de 37°C corresponde ao ótimo de crescimento da maioria dos microrganismos

anaeróbios. A manutenção da temperatura é uma condição essencial para a estabilidade do processo de digestão anaeróbia, dado que as bactérias acidogênicas e metanogênicas são altamente sensíveis a variações bruscas de temperatura (RODRIGUES, 2005).

Segundo Castilhos Jr. (2003) a atividade enzimática das bactérias depende estreitamente da temperatura, visto que é conhecido que alterações bruscas de temperatura causam desequilíbrio nas culturas envolvidas. Em torno de 10°C essa atividade é muito reduzida e, acima de 65°C, as enzimas são destruídas pelo calor.

Durante o período de monitoramento foram registradas temperaturas em torno de 47°C, sendo as temperaturas mais elevadas registradas no início e fim do período de monitoramento. Alcântara (2007) similarmente em seus experimentos observou temperaturas elevadas no início do monitoramento, em torno de 55°C e 63°C. O autor justifica as temperaturas elevadas no enchimento e início do monitoramento no fato que, os resíduos, ao serem revolvidos e lançados no aterro, incorporam, em seus vazios, uma boa parcela do ar atmosférico, de modo que no primeiro instante após o aterramento, o processo de degradação é essencialmente aeróbio. Como se sabe, as transformações biológicas, sob condições aeróbias, são fortemente exotérmicas e liberam grandes quantidades de calor, o que explica a elevação inicial de temperatura.

Ao longo do tempo o oxigênio do meio é consumido rapidamente e os grupos predominantemente aeróbios dão lugar a organismos anaeróbios. Nesta mudança de fase há um decréscimo na temperatura devido aos microrganismos anaeróbios gerarem menos calor durante o processo de degradação. Pode-se relacionar o decréscimo de temperatura com a presença crescente de microrganismos anaeróbios, tendo em vista que durante a mudança de grupos degradativos a atividade metabólica (consumo de matéria orgânica) é menor, portanto as temperaturas do meio ficam reduzidas.

## **5.2 Teor de Umidade**

Entre os fatores que afetam a biodegradação dos RSU, o teor de umidade foi identificado como o mais crítico (REINHART e AL-YOUSFI, 1996 *apud* SILVA, 2004). A presença de água é importante não só para o primeiro passo da degradação anaeróbia (hidrólise – atuação das bactérias fermentativas), como também facilita a distribuição de microrganismos, nutrientes e promove a diluição de agentes inibidores na massa de RSU.

A aceleração da primeira fase pode, contudo, levar à inibição das fases posteriores, em função do aumento da concentração de ácidos orgânicos, com conseqüente diminuição

do pH para faixas tóxicas das bactérias contidas no interior da massa de lixo quando este se encontra nas fases acetogênicas e metanogênicas (LEITE, 2008).

Segundo Palmizano e Barlaz (1996) a faixa ótima de umidade para degradação biológica deverá ser entre 20-40%, valores fora dessa faixa podem desestabilizar a célula de lixo. Contudo, alguns autores apontam a faixa ideal para a degradação entre 40 e 60%. Alcântara (2007) em sua pesquisa com bioreatores semelhantes ao desta pesquisa, com dimensões um pouco maiores, encontrou valores médios que indicaram a faixa de umidade mais adequada ao processo de degradação entre 53% a 58% e cita que em lisímetros com dimensões semelhantes, foram encontrados valores numa faixa de 44 a 65%, sendo que os valores médios oscilaram entre 52 e 56%.

A figura 01 abaixo apresenta a evolução do teor de umidade no lisímetro em estudo:

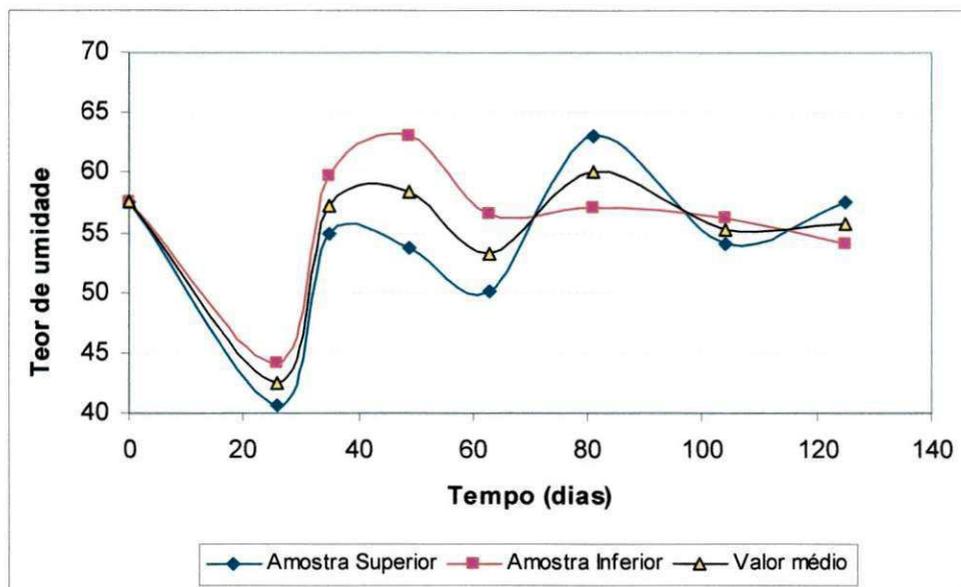


Figura 01 - Evolução do teor de umidade no decorrer do tempo.

Levando-se em consideração o acúmulo de líquidos na parte inferior do lisímetro e a perda d'água por evaporação da parte superior, era de se esperar que as taxas de umidades seriam mais altas nas amostras inferior, variando entre 44,18% e 63,06%.

Nos primeiros 30 dias observou-se uma queda da umidade para um valor de 42,25% em média, daí em diante, verificou-se um aumento na medida desse parâmetro. Essa redução pode ser justificada devido à perda de água por evaporação

Já nas coletas realizadas ao 81º dia e 125º dia após o enchimento os valores apresentados foram inferiores à umidade da amostra superior (57,03% e 54,01%), o que pode ter ocorrido em função da proporção que os materiais com menor ou maior capacidade

de retenção de líquidos apareçam na amostra, como por exemplo a quantidade de plásticos e devido à ocorrência de chuva nos dias próximos a coleta e a possível retenção de líquidos na amostra superior.

Os demais valores oscilaram entre a umidade inicial.

### 5.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

Alcântara (2007), admite que a degradação dos RSU aterrados ocorre em cinco fases (aeróbia, anaeróbia ácida, metanogênica instável, metanogênica estável e maturação final), onde os valores mais baixos de pH são característicos na segunda e terceira fase o que no aterro correspondem à transição de condições aeróbias para anaeróbias e à fase ácida, o que ocorre em virtude do acúmulo de ácidos orgânicos e elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> no interior da massa dos resíduos devido a intensa atividade dos microorganismos hidrolíticos – fermentativos e da baixa atividade metanogênica como indicado no item 3.2.

A figura 02 abaixo apresenta a variação do pH em função do tempo das duas amostras do lisímetro:

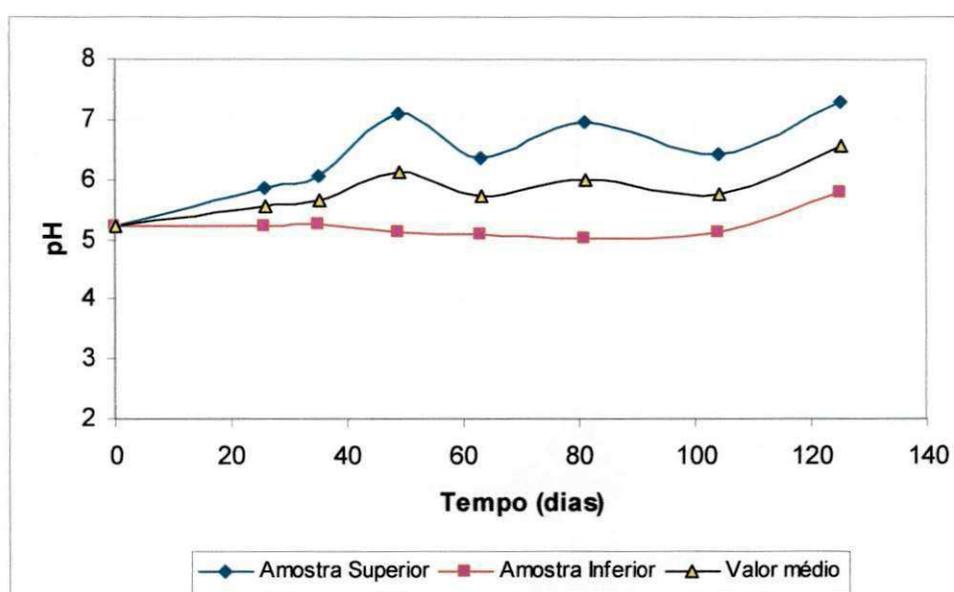


Figura 02 – Variação do pH no decorrer do tempo.

Os valores de pH medidos nas amostras superiores e inferiores do lisímetro (Figura 01) indicam que no momento inicial (t=0) os RSU apresentaram características ligeiramente ácidas permitindo se sugerir, que o período entre o despejo, a coleta e o transporte do lixo até a célula experimental já seria suficiente para o início da fase ácida.

Nas amostras superiores o pH variou entre 5,85 e 7,31. Nos primeiros 35 dias observou-se que os valores obtidos caracterizaram a fase ácida e a partir do 49º dia os valores começaram a aproximar-se da neutralidade, o que segundo Farquahr & Rovers (1973); Tchobanoglous *et al.*, (1993); Riester (1994) e Lambert (1997) *apud* Russo (2005), caracterizam a fase de fermentação metanogênica. Já as amostras inferiores apresentaram uma faixa de valores que variou entre 5,54 a 6,56 permanecendo estável na fase ácida.

Portanto, pode-se concluir que na amostra superior o valor do pH foi favorável à atividade microbiana, devido a atuação de um grupo de bactérias atuantes na digestão anaeróbia como no item 3.3.1, mais que nas amostras inferiores, e que o lisímetro em estudo encontra-se na fase ácida de degradação o que indica uma precocidade na degradação da matéria orgânica.

#### 5.4 Alcalinidade

A alcalinidade, ou seja, a capacidade que ele tem de neutralizar ácidos é o resultado da presença de espécies químicas de caráter alcalino. A alcalinidade elevada não é sinônimo de pH elevado significa que o sistema tem elevada concentração de espécies alcalinas e que, em função disso tem elevada resistência à queda de pH quando um ácido é nele introduzido (CHERNICHARO, 1997; HIRATA, 1997 *apud* ISOLDI, 2006)

Abaixo, na figura 03 encontra-se a variação do teor de alcalinidade nos RSU em função do tempo:

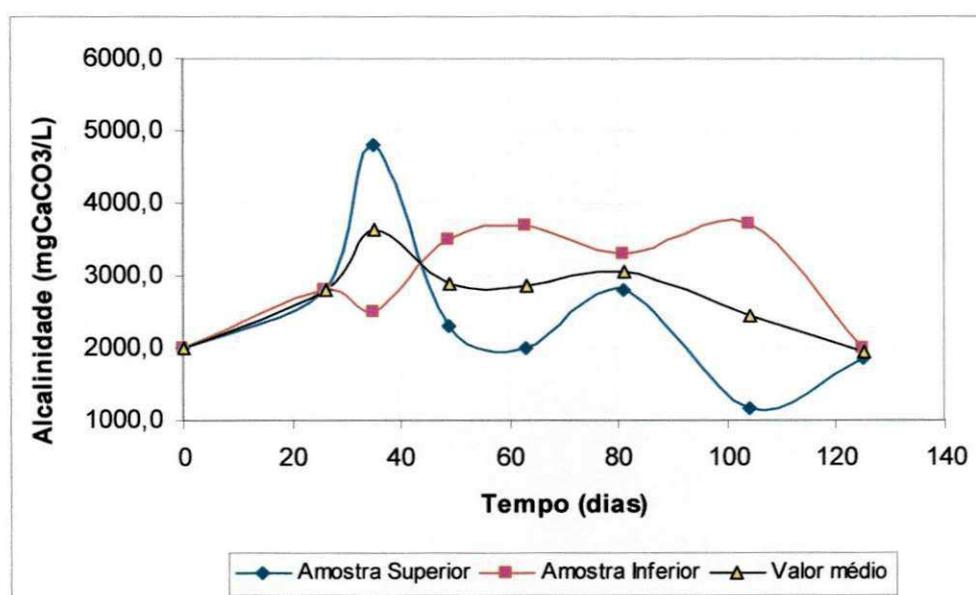


Figura 03 – Variação da alcalinidade no decorrer do tempo

Segundo BRUNO (2007) o resultado do aumento de alcalinidade durante a digestão anaeróbia é o resultado do metabolismo da matéria orgânica realizada pelos microrganismos.

O teor de alcalinidade das amostras superiores encontrou-se na faixa de 2000 a 4800mgCaCO<sub>3</sub>/L. No caso das amostras inferiores no tempo inicial (t=0) o teor de alcalinidade foi de 2000mgCaCO<sub>3</sub>/L, sendo que a partir do 26° dia este teor aumentou gradativamente chegando a 3720mgCaCO<sub>3</sub>/L a partir do 104° dia, voltando ao valor obtido no tempo inicial na coleta realizada aos 125 dias após a construção do lisímetro.

A partir destes resultados pode-se concluir que a alcalinidade aumentou em ambas as amostras o que possivelmente ocorreu devido à digestão anaeróbia assim pois segundo Bruno (2007), a matéria orgânica já estaria sendo degradada desde o período de coleta, transporte e armazenamento do lixo.

### 5.5 Sólidos Voláteis

Segundo Alcântara (2007) o processo de bioestabilização de RSU, que compreende a utilização de material orgânico pelos microorganismos, inicia-se basicamente pela hidrólise dos sólidos voláteis, produzindo material solúvel para ser metabolizado.

A figura 04 abaixo apresenta a evolução do teor de sólidos voláteis nos resíduos sólidos aterrados em estudo:

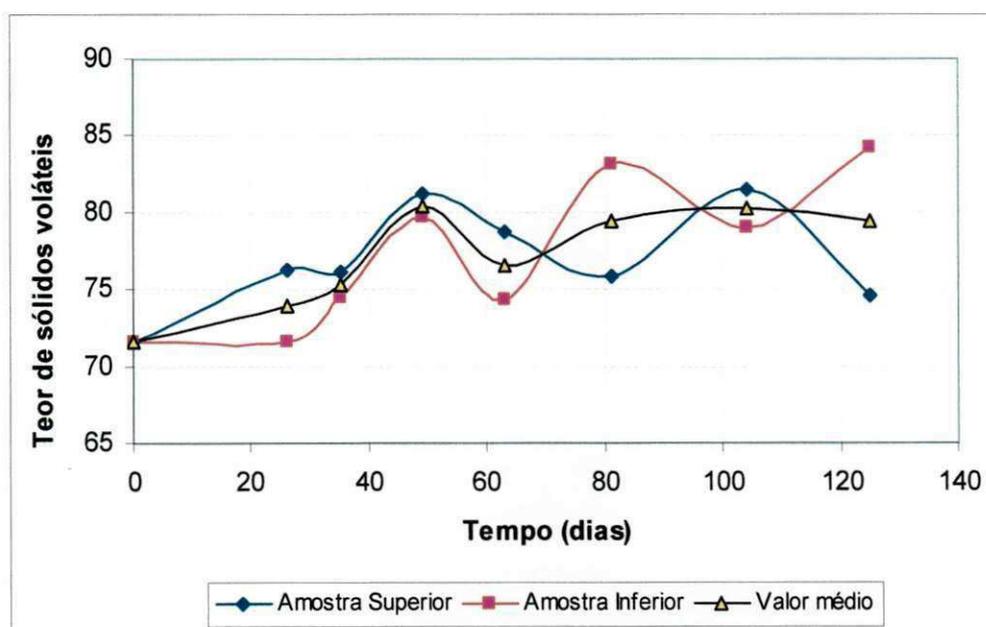


Figura 04 - Evolução do teor de sólidos voláteis no decorrer do tempo.

Um alto teor de sólidos totais voláteis indica a presença de muita matéria orgânica a ser degradada e baixos valores indicam que o resíduo já passou por um processo acentuado de degradação (MONTEIRO, 2003).

No caso do lisímetro em estudo os valores obtidos na amostra superior variaram de 71,60 a 81,43 enquanto que nas inferiores a variação ficou compreendida entre 71,6 e 84,21. Em porcentagem o teor médio de sólidos voláteis variou numa faixa de 70 a 80% o que compreende valores considerados elevados. Esta variação foi observada durante todo o monitoramento da célula podendo-se destacar uma presença significativa de matéria orgânica a ser degradada.

Segundo Barlaz *et al.*, (1989) são encontrados valores de sólidos voláteis na faixa de 75 – 79% e da ordem de 85% na literatura internacional. Na literatura nacional, citam-se os valores encontrados por Alcântara (2007) em seu estudo com bioreatores, na ordem de 78,2%. Contudo, verifica-se que os valores não decresceram, continuamente, apresentando algumas oscilações. Esse fato pode ser explicado, em virtude da heterogeneidade dos resíduos, onde o uso desse parâmetro pode conduzir a erros de interpretação, tendo em vista que alguns materiais orgânicos altamente voláteis, a exemplo de papéis e tecidos vegetais, podem apresentar baixa biodegradabilidade. Além disso, destaca-se a quantidade da amostra relativamente pequena, dificultando a obtenção de amostras diversificadas.

## 5.6 Relação C/N

A partir das figuras 05 e 06 abaixo, pode-se observar a evolução do teor de carbono e nitrogênio ocorrido durante o monitoramento do biorreator em estudo.

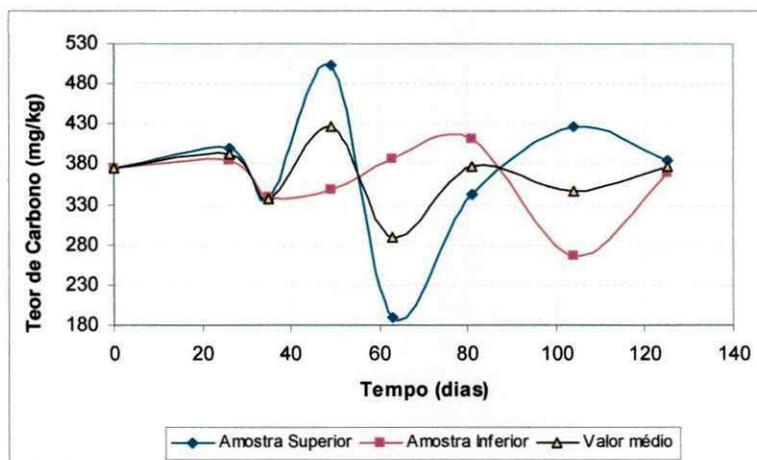


Figura 05: Teor de Carbono no decorrer do tempo

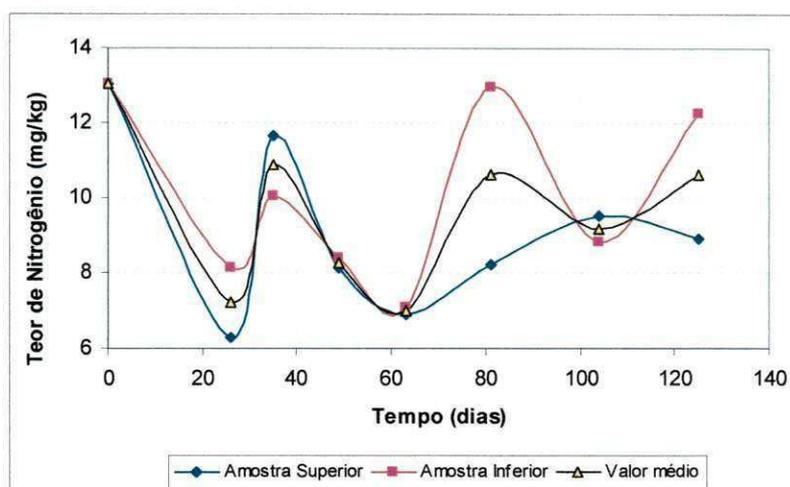


Figura 06: Teor de Nitrogênio no decorrer do tempo

A relação C/N é utilizada como bom indicador da estabilidade biológica da matéria orgânica (Morel et al., 1985 *apud* Russo, 2005). Segundo Russo (2005) a disponibilidade de C é a maior fonte de energia para os microrganismos, porém a sua eficiência não é 100% e a demanda de C é maior que a de N.

Como citado anteriormente, de acordo com Kiehl (1985) os microrganismos absorvem os elementos C e N em uma proporção de trinta partes de carbono para cada parte de nitrogênio, sendo os limites 26/1 e 35/1 considerados por este autor como as relações C/N mais recomendadas para uma rápida e eficiente compostagem.

Segundo De Bertoldi et al. (1983) a relação C/N ótima no início do processo de compostagem é de 25/1. Entretanto Pereira Neto (1987) cita que a relação C/N inicial mais favorável ao processo está entre 30 a 40/1. Verifica-se que alguns valores situaram-se acima da média recomendada para o processo de bioestabilização da matéria orgânica.

Analisando-se a Figura 07, que representa a evolução da relação C/N ao longo do tempo de monitoramento do lisímetro, apesar da elevada oscilação dos valores devido, principalmente, a heterogeneidade dos resíduos, percebe-se que a maioria desses valores estão dentro da faixa de 20/1 e 50/1.

Segundo Garcez et al (2008) devido ao alto teor de material orgânico putrescível, justifica-se também o alto teor de carbono dentro da massa de lixo. Os resultados encontrados mostram que nas amostras superiores esta relação variou entre 28/1 e 63/1, enquanto que nas inferiores variou entre 28/1 e 54/1. Observa-se também que ao 26º dia a amostra superior obteve um valor mais elevado, equivalente a mais de 60%, quando em

comparação com os demais, o que mostra a grande quantidade de matéria orgânica no biorreator ainda a ser degradada.

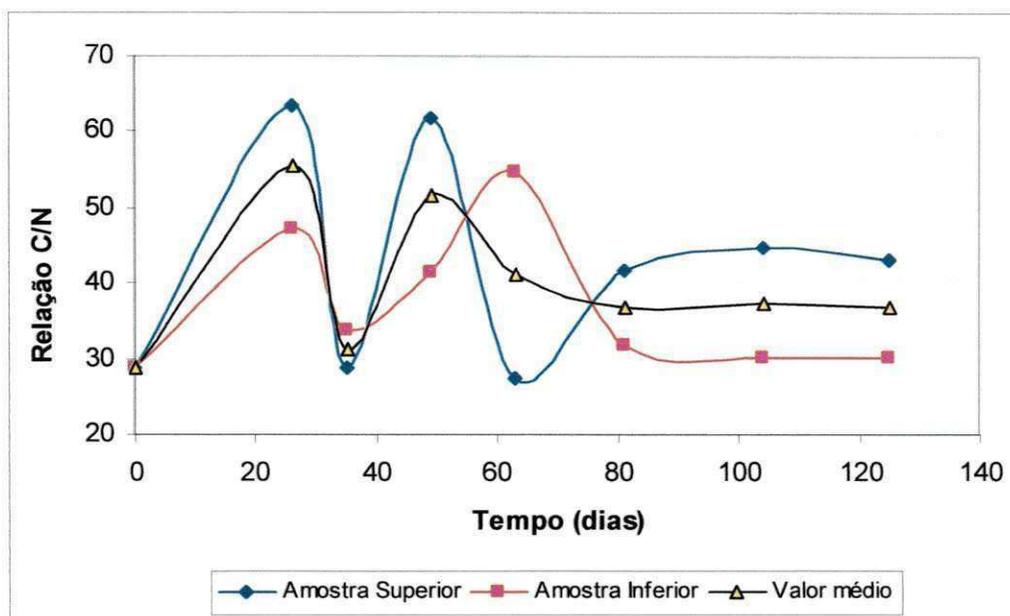


Figura 07: Evolução da relação C/N no decorrer do tempo.

A oscilação dos valores pode ser justificada pela representatividade das amostras coletadas, pois as análises eram feitas de acordo com a amostra obtida, sendo em alguns pontos, o excessivo volume de plástico existente interferiu na quantidade de matéria orgânica e conseqüentemente no teor de carbono, demonstrando que os resultados são conforme o que foi obtido na coleta (GARCEZ, 2008).

Portanto, os valores elevados da relação C/N podem estar interferindo na digestão anaeróbia dos resíduos, principalmente para a amostra inferior, sendo um dos fatores retardantes do início da fase metanogênica, pois o nitrogênio pode estar agindo como um nutriente limitante. Contudo valores numa faixa de 20 a 42 para amostras de um aterro, coletadas em profundidades de 6 a 10m, são citados por Östman et al. (2006) *apud* Alcântara (2007).

### 5.7 Teor de fósforo e relação P/N

As figuras a seguir (08 e 09) mostram a evolução do teor de fósforo e nitrogênio em função do tempo de aterramento dos RSU no lisímetro em estudo:

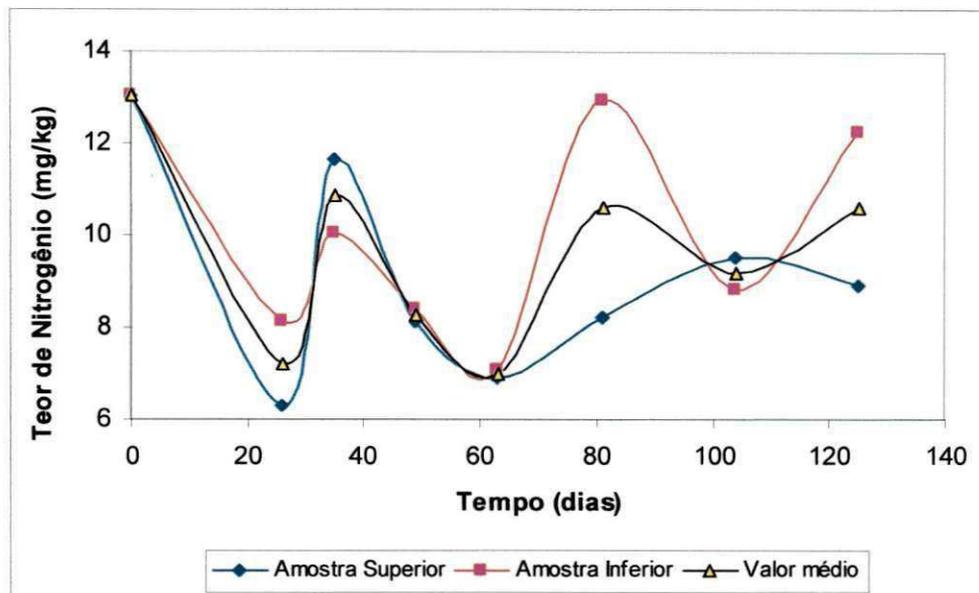


Figura 08 – Evolução do teor de nitrogênio no decorrer do tempo.

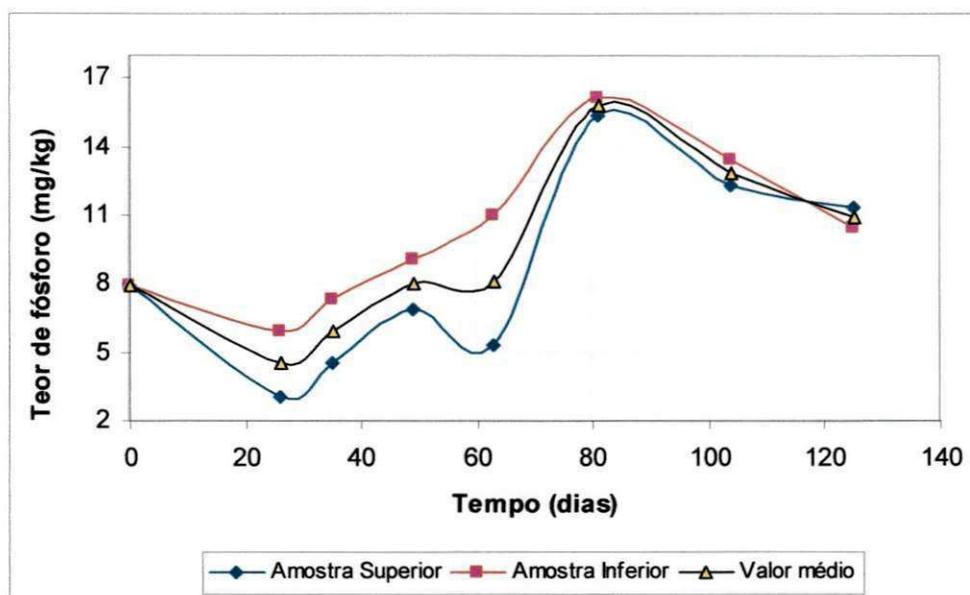


Figura 09 – Evolução do teor de fósforo no decorrer do tempo.

Avaliando estes resultados pode-se observar que a média do teor de fósforo ficou compreendida entre 3,5 e 6,2mg/kg, e o teor de nitrogênio entre 7 e 10,85mg/kg.

De acordo com a Figura 10 a relação entre os dois teores encontrada foi de  $\frac{1}{2}$ , ou seja, a quantidade de fósforo encontrada equivale a  $\frac{1}{2}$  da quantidade de nitrogênio.

Costa (2000) apud Monteiro (2003) comenta que a relação P/N sendo  $\frac{1}{5}$  é suficiente para atender às necessidades de macronutrientes dos microrganismos anaeróbios.

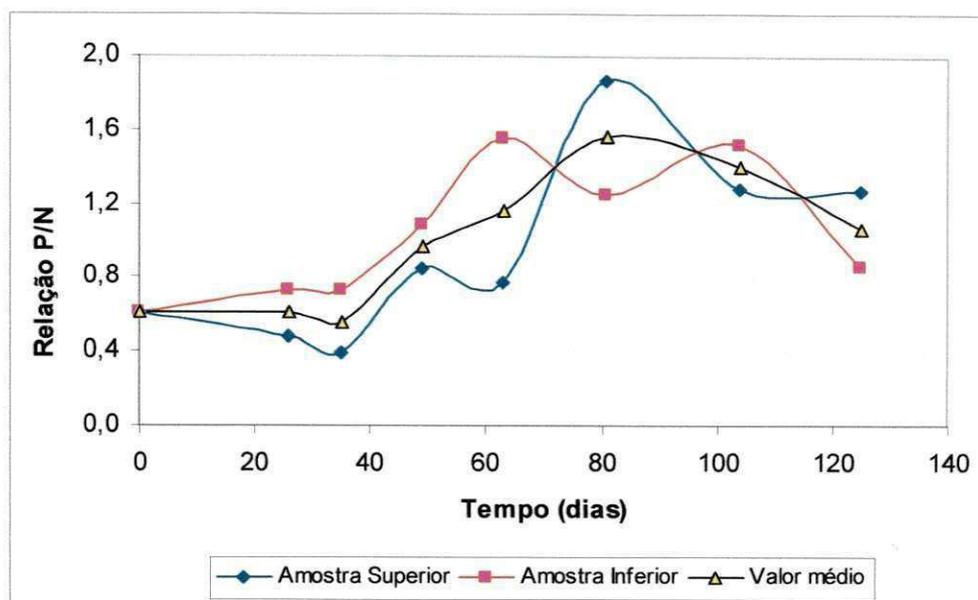


Figura 10 – Relação P/N no decorrer do tempo

Portanto, a relação P/N no interior do lisímetro não está satisfatória para a digestão anaeróbia, sendo o teor de nitrogênio alto relacionado com o teor de fósforo.

## 6.0 Referências Bibliográficas

ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**. 2006.

ALCÂNTARA, P.B. **Avaliação da Influência da Composição de Resíduos Sólidos Urbanos no Comportamento de Aterros Simulados**. 2007. 364p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de pernambuco. UFPE. Recife. 2007.

BARLAZ M.A.; SCHAEFER D.M.; HAM R.K. **Bacterial population development and chemical characteristics of refuse decomposition in a simulated sanitary landfill**. 1989. p.55-65. Applied Environmental Microbiology. London, V.55.

BRUNETTO, G.; MELO, G. W.; KAMINSKI, J.; FURLANETTO, V.; BELLO FILHO, F. **Avaliação do método de perda de peso por ignição na análise de matéria orgânica em solos da Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul**. Revista Ciência Rural Vol.36 N.6, Santa Maria. Nov./Dec. 2006.

BRUNO, M. **Desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) em dois estágios tratando águas residuárias do beneficiamento de café por via úmida**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2007.

CASTILHOS, A.B., **Resíduos sólidos urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte**. Projeto PROSAB, ABES-RJ, Florianópolis, SC, 2003.

BRUNO, M. **Desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) em dois estágios tratando águas residuárias do beneficiamento de café por via úmida.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2007.

CASTILHOS, A.B., **Resíduos sólidos urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte.** Projeto PROSAB, ABES-RJ, Florianópolis, SC, 2003.

CLU – **Cartilha de Limpeza Urbana.** WEB RESOL. Site: <http://www.resol.com.br/cartilha/apresentacao.asp>. Acessado em: 12/06/08.

De BERTOLDI, M; VALLINI, G; PERA, A. **The biology of composting: a review.** In: Waste management & research. 1993.

GARCEZ, L.R. SALES, K.C.S.; LEITE, H.E.A.S.; MONTEIRO, V.E.D.; LEITE, V.D. **Relação carbono/nitrogênio existente em um bioreator de resíduos sólidos da cidade de Campina Grande.** XXXI Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental - AIDIS. 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Site: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acessado em: 16/10/2007.

INGENIERO Ambiental. **Tratamento anaeróbio de efluentes.** Disponível em: <http://www.ingenieroambiental.com/4004/Eng.doc>. Acessado em 24/07/2008.

ISOLDI, L.A.; KOETZ, P.R.; FARIAS, O.L.A.; ISOLDI, L.A. **Parâmetros de operação do reator UASB em um sistema combinado reator UASB – reator – aeróbio.** Rev. Eletrônica Mestr. Educ. Ambient. ISSN 1517-1256. Volume 06. Julho, agosto e setembro, 2006.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos.** Piracicaba. 1985.

LEITE, H.E.A.S, **Estudo do comportamento de aterros de RSU em um bioreator em escala experimental na cidade de Campina Grande - Paraíba.** Dissertação de Mestrado. UFCG. 2008.

LEITE, H.E.A.S.; VIEIRA NETO, J.M.; MONTEIRO, V.E.D.; SILVA, S.A. **Composição gravimétrica dos resíduos sólidos do município de Campina Grande – PB.** XIII Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - SILUBESA. 2008.

LEITE, V.D.; SILVA, S.A.; SOUZA, J.T.; LOPES, W.S.; MESQUITA, E.M.N. **Análise quali-quantitativa dos resíduos sólidos urbanos produzidos pela população da cidade de Campina Grande, PB.** 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. Belo Horizonte – MG. 2007.

JUNQUEIRA, F.F. **Análise do Comportamento de Resíduos Urbanos e Sistemas Dreno Filtrantes em Diferentes Escalas, com Referência ao Aterro do Jóquei Clube – DF.** Tese de Doutorado, Universidade de Brasília. 2000.

PALMISANO, A.C.; BARLAZ, M.A, **Microbiology of Solid Waste**. 1996. pp.1-224. In Anna C. Palmisano, Morton A. Barlaz (eds).

PEREIRA NETO, J. T. **On the treatment of municipal refuse and sewage sludge using aerated static pile composting: a low cost technology approach**. Tese de doutorado – University of Leeds, Leeds, 1987.

REICHERT, G.A., **Aplicação da digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos: uma revisão**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2004.

RODRIGUES, A.A.L.S. **Co-digestão anaeróbia de resíduos de natureza orgânica**. Tese de Doutorado. Universidade de Aveiro. Portugal, 2005.

RUSSO, M.A.T., **Avaliação dos processos de transformação de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário**. Tese de Doutorado, Universidade do Minho – Escola de Engenharia, Portugal, 2005.

**Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 20 th Edition., APHA, AWWA and WEF.1998.

SILVA, F.V.; LANGE, L.C.; SIMÕES, G.F.; FERREIRA, C.F.A.; VIANA, D.F. **Avaliação da influência da correção do teor de umidade na degradação anaeróbia de resíduos sólidos urbanos**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.L.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de Solo, Plantas e Outros Materiais**. UFRGS. 1995.

VAN HAANDELL, A.C. & LETTIGA, G. **Tratamento Anaeróbio de Esgotos – Um Manual para Regiões de Clima Quente**. 1994.

## **ANEXOS**

**Anexo 01 - Cronograma de Estágio**

<b>CRONOGRAMA DE ESTÁGIO- MARÇO E ABRIL</b>		
<b>DATA</b>	<b>LOCAL</b>	<b>HORÁRIOS</b>
24/03/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00 h/ 14:00 – 18:00h
25/03/2008	EXTRABES/UFCG	14:00 – 18:00h
26/03/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00h
27/03/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00h
28/03/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00h
31/03/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00 h/ 14:00 – 18:00h
01/04/2008	EXTRABES/UFCG	14:00 – 18:00h
02/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00h
03/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00h
04/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00h
07/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00 h/ 14:00 – 18:00h
08/04/2008	EXTRABES/UFCG	14:00 – 18:00h
09/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00h
10/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00h
11/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00h
14/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00 h/ 14:00 – 18:00h
15/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00 h/ 14:00 – 18:00h
16/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00 h/ 14:00 – 18:00h
17/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00 h/ 14:00 – 18:00h
18/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00 h/ 14:00 – 18:00h
22/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00 h/ 14:00 – 18:00h
23/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00 h/ 14:00 – 18:00h
24/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00 h/ 14:00 – 18:00h
25/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00 h/ 14:00 – 18:00h
28/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00 h
29/04/2008	EXTRABES/UFCG	08:00-12:00h
30/04/2008	EXTRABES/UFCG	14:00-16:00h
02/05/2008	EXTRABES/UFCG	14:00-16:00h
05/05/2008	EXTRABES/UFCG	14:00 -16:00h
06/05/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00h
07/05/2008	EXTRABES/UFCG	08:00 – 12:00h
08/05/2008	EXTRABES/UFCG	14:00 – 16:00h
09/05/2008	EXTRABES/UFCG	14:00 – 16:00h

**CARGA HORÀRIA TOTAL: 180 horas**