



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**AMANDA LAURENTINO TORQUATO**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FÚNGICO EM UMA  
CÉLULA EXPERIMENTAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
URBANOS DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE-PB**

**CAMPINA GRANDE – PB  
2014**

**AMANDA LAURENTINO TORQUATO**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FÚNGICO EM UMA  
CÉLULA EXPERIMENTAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
URBANOS DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado a Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

**Orientador: Prof. Dr. William de Paiva**

**CAMPINA GRANDE – PB  
2014**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

T687a Torquato, Amanda Laurentino.

Análise do comportamento fúngico em uma célula experimental de resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande-PB [manuscrito] / Amanda Laurentino Torquato. - 2014.  
68 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.

"Orientação: Prof. Dr. William de Paiva, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental".

1. Gestão de resíduos sólidos. 2. Fungos. 3. Biodegradação.

I. Título.

21. ed. CDD 363.728

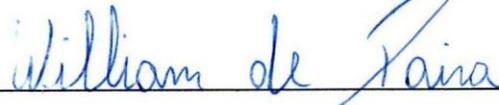
AMANDA LAURENTINO TORQUATO

## ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FÚNGICO EM UMA CÉLULA EXPERIMENTAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE-PB

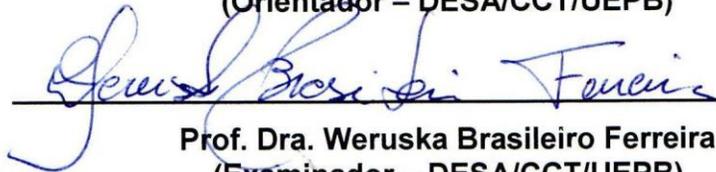
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado a Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Aprovado em: 10 / 09 / 2014

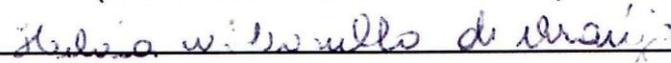
Examinadores:



Prof. Dr. William de Paiva  
(Orientador – DESA/CCT/UEPB)



Prof. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira  
(Examinador – DESA/CCT/UEPB)



Profa. Dra. Helvia Waleska Casullo de Araújo  
(Examinadora – DQ/CCT/UEPB)

Primeiramente a Deus que me concedeu sabedoria e discernimento para conclusão do meu curso, aos meus pais, Marco Antônio Torquato e Micheline Laurentino da Silva, que sempre me incentivaram para que eu prosseguisse na concretização dos meus objetivos, e a minha avó Maria do Carmo (In Memoriam) que sempre acreditou que eu seria capaz de realizar todos os meus sonhos.

**DEDICO.**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus e a Virgem Maria, por terem me guiado em todos os momentos de minha caminhada; nos momentos felizes em que me conduziram pela mão e nos momentos difíceis em que me carregaram em seus braços.

Aos meus pais Marco Antônio Torquato e Micheline Laurentino da Silva, e ao meu irmão Felipe Laurentino Torquato, que não mediram esforços para eu conseguir alcançar todos meus objetivos. Meus verdadeiros exemplos de vida.

A todos os meus familiares de modo geral que de alguma maneira contribuíram na minha caminhada até aqui, principalmente a minha tia Maria Edna que mesmo longe sempre me ajudou e apoiou para que eu conseguisse realizar todos os meus objetivos.

Ao meu amigo Hellton Costa, por todo apoio e compreensão principalmente nos momentos mais difíceis dessa trajetória; seu companheirismo foi extremamente fundamental para conclusão desta etapa.

Ao meu primo Maxwell Macedo Silva que não tenho palavras para agradecer o quão foi sua ajuda em todos os momentos dessa etapa da minha vida; esteve sempre presente, me aconselhando e guiando pelo caminho mais correto. Meu sincero obrigado!

Ao meu orientador William de Paiva principalmente pela amizade, ensinamentos e conselhos durante todo o período acadêmico. Obrigado pelo enorme carinho e pelas inúmeras vezes que com muita sabedoria e calma me orientou seguir pelo caminho mais correto.

A minha querida professora Weruska Brasileiro Ferreira, pela amizade e apoio incondicional em todos os momentos da minha jornada acadêmica. Por ser essa

professora dedicada e esforçada que me faz querer ser espelho do profissional grandioso que és. Obrigada por todos os ensinamentos.

A professora Helvia Waleska Cassulo que foi muito mais que uma professora e sim uma grande amiga, onde pude compartilhar de momentos maravilhosos. Obrigada por todo conhecimento transferido sempre com muita sabedoria e bom humor.

Aos meus amigos de curso: Ketyla Karla R. do Nascimento, Michele Laurentino, George Antonio Belmino, Marcos Henrique Aragão, Diego Martins e Tássio Henrique por todas as experiências compartilhadas durante todo o curso.

Aos meus grandes amigos do GGA: Libânia da Silva Ribeiro, Alessandra Santos, Elaine Patrícia de Araújo, Flaviano de Souza Alvez, Raliny Mota, Cláudio Luis, Tales e Lorena pela amizade e pelos momentos maravilhosos que tive a oportunidade de compartilhar durante a pesquisa.

A EXTRABES por fornecer condições para a realização da pesquisa.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente fizeram parte da minha caminhada. Obrigada a todos!

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2 Objetivo Geral</b> .....	<b>14</b>
<b>1.3 Objetivos Específicos</b> .....	<b>14</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1 Resíduos Sólidos</b> .....	<b>15</b>
2.1.1 Classificação dos Resíduos Sólidos.....	16
<b>2.2 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3 Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)</b> .....	<b>23</b>
2.3.1 Aterros sanitários .....	24
2.3.2 Aterros controlados .....	25
2.3.3 Lixões.....	26
<b>2.4. Lisímetro ou Células Experimentais</b> .....	<b>28</b>
<b>2.5 Biodegradação em aterros de RSU</b> .....	<b>29</b>
<b>2.6. Fungos</b> .....	<b>33</b>
<b>2.7 Parâmetros Intervenientes no Comportamento Fúngico</b> .....	<b>35</b>
2.7.1 <i>Temperatura</i> .....	36
2.7.2 <i>Teor de Umidade</i> .....	36
2.7.3 <i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i> .....	37
<b>2.8 Estatística</b> .....	<b>38</b>
2.8.1 <i>Análise de Componentes Principais</i> .....	39
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>40</b>
<b>3.1 Campo Experimental</b> .....	<b>40</b>
<b>3.2 Construção e Instrumentação do Lisímetro</b> .....	<b>41</b>
<b>3.3 Preenchimento do Lisímetro</b> .....	<b>42</b>
<b>3.4 Monitoramento do Lisímetro</b> .....	<b>44</b>
3.4.1 <i>Coleta das Amostras Sólidas</i> .....	44
<b>3.5 Análise dos Parâmetros Físicos e Físico-Químicos</b> .....	<b>46</b>

3.5.1 <i>Temperatura</i> .....	47
3.5.2 <i>Teor de Umidade</i> .....	48
3.5.3 <i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i> .....	49
<b>3.6 Análise de Fungos</b> .....	<b>49</b>
<b>3.7 Análise Estatística</b> .....	<b>50</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>51</b>
<b>4.1 Parâmetros Físicos e Físico-Químicos</b> .....	<b>52</b>
4.1.1 <i>Temperatura</i> .....	52
4.1.2 <i>Teor de Umidade</i> .....	54
4.1.3 <i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i> .....	56
<b>4.2 Fungos</b> .....	<b>57</b>
<b>4.3 Estatística</b> .....	<b>60</b>
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>65</b>

## RESUMO

Os resíduos sólidos urbanos (RSU), por serem inesgotáveis, tornaram-se uma problemática na maioria das grandes cidades brasileiras tendo em vista a quantidade de resíduos de toda natureza que são descartados diariamente, muitas vezes sem nenhuma preocupação com um destino final adequado. A solução mais prática e de menor custo que está sendo utilizada para tratar os resíduos sólidos urbanos, são os aterros sanitários, porém, ainda existem muitas cidades que descartam os resíduos a céu aberto. Neste sentido, as células experimentais ou lisímetros sugerem através de seu monitoramento os possíveis ajustes que poderão ser aplicados em escala real. A grande quantidade de micro-organismos que estão presentes na massa de resíduos, logo após a sua disposição, se dá por conta da quantidade de oxigênio que se encontra logo na fase inicial, contribuindo positivamente para a biodegradação da massa desses resíduos. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a influência dos parâmetros físicos e físico-químicos no comportamento dos fungos em um lisímetro de resíduos sólidos urbanos provenientes da cidade de Campina Grande-PB. O monitoramento do biorreator envolveu coletas mensais de amostras sólidas para análises laboratoriais e posteriormente a quantificação das unidades formadoras de colônias (UFC) fúngicas. No decorrer da pesquisa, notou-se que estes micro-organismos se mostraram presentes em todos os níveis de profundidades (inferior, intermediária e superior), e praticamente constantes em relação aos meses de monitoramento. Os parâmetros estudados mostraram-se satisfatórios para o desenvolvimento desses organismos. Estudar os fungos ao longo do tempo foi de extrema importância para entender a influência que estes micro-organismos têm em relação à redução da matéria orgânica por meio da biodegradação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos Urbanos. Fungos. Biodegradação. Células Experimentais. Campina Grande-PB.

## ABSTRACT

Solid waste (MSW), being inexhaustible, have become a problem in most large cities in view of the amount of waste of all kinds that are discarded daily, often without concern for an appropriate final destination. The most practical and lowest cost being used to treat municipal solid waste landfills are the solution, however, there are many cities that discard the waste in the open. In this sense, the experimental cells or lysimeters suggest through your monitoring the possible adjustments that can be applied in real scale. The large amount of micro-organisms that are present in the waste mass, shortly after its disposal, occurs due to the amount of oxygen that is at an early stage, contributing positively to the biodegradation of the mass of waste. The objective of this research was to evaluate the influence of physical and physicochemical parameters on the behavior of fungi in lysimeter solid waste from the city of Campina Grande-PB. The monitoring of the bioreactor involved monthly sampling of solid samples for laboratory testing and later quantification of fungal colony forming units (CFU). During the research it was noted that these micro-organisms were present at all depth levels (lower, intermediate and higher) and substantially constant with respect to the period of monitoring. The parameters studied were satisfactory for the development of these organisms. Fungi studied over time is extremely important to understand the influence that these micro-organisms are in relation to the reduction of organic matter by means of biodegradation.

**KEYWORDS:** Municipal solid waste. Fungi. Bio-degradation. Experimental cells. Campina Grande-PB

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Geração de RSU no Brasil.....	19
Figura 2 – Coleta de RSU no Brasil .....	19
Figura 3 – Participação das regiões no total de RSU coletado no Brasil .....	20
Figura 4 – Destinação final de RSU no Brasil .....	21
Figura 5 – Quantidade de RSU gerada na região nordeste .....	21
Figura 6 – Quantidade de RSU coletado na região nordeste.....	22
Figura 7 – Destinação final de RSU na região nordeste (t/dia) .....	22
Figura 8 – Destinação final de RSU no Estado da Paraíba (t/dia).....	23
Figura 9 – Formas de disposição final de RSU .....	24
Figura 10 – Aterro Sanitário .....	25
Figura 11 – Aterro Controlado.....	26
Figura 12 – Lixão.....	27
Figura 13 – Lisímetro localizado na UFCG .....	40
Figura 14 – Croqui do Lisímetro .....	41
Figura 15 – Mapa dos bairros de Campina Grande-PB em destaque os bairros utilizados para amostragem da pesquisa .....	42
Figura 16 – Descarregamento; Homogeneização; Formação das pilhas resultantes ....	43
Figura 17 – Pesagem do resíduo; Baldes após pesagem; Enchedeira auxiliando no enchimento; Compactação do resíduo.....	44
Figura 18 – Amostrador helicoidal auxiliando na retirada do resíduo.....	45
Figura 19 – Picotagem do resíduo; Extrato obtido nos diferentes níveis.....	46
Figura 20 – Termopares tipo K; Termômetro elétrico.....	47
Figura 21 – Análise para determinação do teor de umidade .....	48
Figura 22 – Análise de pH.....	49
Figura 23 – Composição Gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande-PB.....	51
Figura 24 – Temperatura nas diferentes profundidades em função do tempo.....	53
Figura 25 – Teor de umidade nas diferentes profundidades em função do tempo.....	55
Figura 26 – pH nas diferentes profundidades em função do tempo.....	57

Figura 27– Colônias de Fungos.....	58
Figura 28 – Fungos nas diferentes profundidades em função do tempo.....	58
Figura 29 – Análise dos componentes principais do nível superior.....	60
Figura 30 – Análise dos componentes principais do nível intermediário.....	61
Figura 31 – Análise dos componentes principais do nível inferior.....	62

## 1 INTRODUÇÃO

A degradação do meio ambiente procedente do aumento dos resíduos urbanos é consequência de diversos fatores, um dos principais que contribuem para esse fato são o crescimento populacional acelerado e o grande desenvolvimento industrial. Por ser inesgotável, esse “lixo” urbano vem se tornando cada dia mais um problema sério de saúde pública, pois diariamente grandes volumes de toda natureza são descartados e na maioria das vezes sem nenhuma preocupação com destino final adequado dos mesmos, comprometendo assim o meio ambiente e poluindo o solo, o ar e os corpos hídricos.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são caracterizados por uma variedade de constituintes que são reflexos de vários fatores, como o nível educacional da população, número de habitantes de cada município, o poder aquisitivo dos indivíduos, os hábitos, o nível da renda familiar, os costumes da população, as condições meteorológicas, sazonais e industriais (PEREIRA *et al.*, 2010).

Segundo IBGE (2010), estima-se que a população brasileira gira em torno de 190.732.694 habitantes e produz em média 240.000 toneladas de RSU por dia, cerca de 88% desses resíduos sólidos são depositados em lixões a céu aberto sem nenhum controle ambiental. Das cidades brasileiras, apenas 11,7% possuem aterros sanitários.

Atualmente nas grandes cidades brasileiras, a forma de disposição dos resíduos sólidos, mais empregada, são os aterros sanitários por apresentarem menor custo e maior praticidade. Além de ser uma alternativa para solucionar esta problemática dos lixões, os aterros nos permite um confinamento mais seguro em termos de controle de poluição ambiental.

É extremamente importante depositar os resíduos em locais apropriados, como também buscar alternativas para diminuir a geração dos mesmos e ainda assim, compreender os processos bioquímicos que acontecem dentro da massa de lixo.

Com a finalidade de avaliar melhor o funcionamento de aterros de RSU, células experimentais (lisímetros ou biorreatores) representam uma técnica bastante interessante, pois permitem obter parâmetros para projetos, dimensionamento, construção e monitoramento de aterros. Esses estudos desenvolvidos com células

experimentais também podem garantir a reformulação das normas técnicas, que muitas vezes estão inadequadas, necessitando de aprimoramentos (MEIRA, 2009 *apud* MONTEIRO, 2003).

O conhecimento destas informações sobre a caracterização e o comportamento biodegradativo dos RSU são essenciais, pois são a partir destes conhecimentos que podem ser definidas as características técnicas para a elaboração e dimensionamento de projetos, a escolha e a operação dos equipamentos, e a análise de reaproveitamento dos mais diversos tipos de resíduos sólidos urbanos (RIBEIRO, 2012).

Segundo Silva *et al.* (2010) os resíduos sólidos compõem uma condição importante para o desenvolvimento de diversas comunidades microbiológicas, especialmente devido ao elevado teor de matéria orgânica, que no Brasil atinge cerca de 60 a 65% dos resíduos gerados. A ação conjunta de diferentes grupos de micro-organismos, dentre eles os fungos, caracterizam os principais responsáveis pela degradação da matéria orgânica dos resíduos sólidos. Isso se deve porque os fungos e bactérias heterotróficas são considerados os principais decompositores da biosfera, reciclando diversos compostos de solo, carbono, nitrogênio e ainda quebram produtos orgânicos (LEITE, 2008).

Por isso é de extremo valor, pesquisar e compreender a ação desses micro-organismos decompositores através de células experimentais, onde é possível avaliar o processo das atividades dinâmicas que ocorrem no interior da massa de resíduos sólidos, bem como estudar o comportamento dos fungos no processo de biodegradação destes resíduos.

Tendo em vista a problemática dos resíduos sólidos e suas possíveis consequências para o meio ambiente e para a população, este trabalho teve como um dos seus objetivos, avaliar parâmetros dos RSU da cidade de Campina Grande – PB para verificar a importância dos fungos no processo biodegradativo.

## 1.2 Objetivo Geral

Verificar e monitorar o processo de biodegradação dos resíduos sólidos urbanos, da cidade de Campina Grande – PB, através do comportamento fúngico em uma célula experimental.

## 1.3 Objetivos Específicos

- Estudar os parâmetros temperatura, teor de umidade e pH dos RSU da cidade de Campina Grande - PB e avaliar a interferência deles no crescimento fúngico, identificando assim a importância dos mesmos no processo de biodegradação;
- Analisar a evolução do crescimento fúngico em diferentes profundidades ao longo dos dias no interior da célula experimental;
- Analisar os parâmetros temperatura, teor de umidade e pH, ao decorrer dos dias e da profundidade;
- Correlacionar estatisticamente os parâmetros que influenciam no comportamento fúngico.
- Utilizar a Análise em Componentes Principais (ACP) para verificar as correlações.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Resíduos Sólidos

Existem várias definições de resíduos sólidos, cada uma caracterizando seu ponto de vista em relação a este conceito, abordaremos algumas delas para um melhor embasamento da pesquisa.

A maioria das pessoas entende que o lixo é qualquer objeto sem utilidade ou valor, ou detritos procedentes de atividades domésticas, industriais etc., ou que se joga fora, escória. (HOUAISS, 2001). Uma avaliação mais elaborada expressa o lixo como resíduos sólidos urbanos produzidos individual ou coletivamente, pela ação humana, animal ou por fenômenos naturais, nocivos a saúde, ao meio ambiente e ao bem estar da população urbana, não enquadrada como resíduos especiais (KAPAZ, 2001).

O conceito de lixo, de maneira formal, está inserido no Brasil dentro da definição de resíduos sólidos apresentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (ABNT, 2004):

...“resíduos sólidos ou semi-sólidos são aqueles que resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de águas, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face de melhor tecnologia disponível.”

Segundo Compam (2014) resíduos pode ser considerado qualquer material que sobra após uma ação ou processo produtivo. Diversos tipos de resíduos (sólidos, líquidos e gasosos) são gerados no processo de extração de recursos naturais, transformação, fabricação ou consumo de produtos e serviços. Esses resíduos passam a ser descartados e acumulados no meio ambiente causando não somente problemas de poluição, como caracterizando um desperdício da matéria originalmente utilizada.

As regiões do país vêm apresentando cada vez mais números significativos em relação à geração de resíduos e como consequência, um desafio maior para os governantes e autoridades públicas, onde terão que se preocupar desde a coleta dos resíduos gerados, até a disposição em áreas adequadas.

### **2.1.1 Classificação dos Resíduos Sólidos**

Os resíduos são classificados de diversos tipos, os critérios de classificação dependem das características e propriedades identificadas. De acordo com a ABNT, norma NBR - 10004/2004 os resíduos sólidos podem ser classificados quanto a sua periculosidade, composição química e características físicas.

Quanto à periculosidade são classificados em:

- Resíduos Classe I – Perigosos: são os chamados resíduos perigosos por apresentarem periculosidade quanto à inflamabilidade, reatividade, toxicidade, patogenicidade ou corrosividade;
  
- Resíduos Classe II – Não Perigosos
  - ✓ Resíduos Classe II A – Não Inertes: são os resíduos que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – Perigosos ou resíduos de classe II B – Inertes. Podem ter propriedades tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
  
  - ✓ Resíduos Classe II B – Inertes: são os resíduos que quando amostrados de uma forma representativa, submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspectos de cor, turbidez, dureza e sabor.

Quanto à composição química são classificados em:

- **Orgânicos:** originados principalmente da decomposição de plantas e animais. Matéria orgânica, potencialmente ativa, capaz de entrar em decomposição (resíduos e esgotos domésticos, resíduos de podas e jardinagem, lodos de ETE, excrementos humanos e animais).
- **Inorgânicas:** substâncias químicas minerais ou bioquímicas, relativamente estáveis ou capazes de alterar as condições físico-químicas e biológicas do meio (resíduos industriais de metalúrgicas, refinarias de petróleo, mineração, coquearias). Apresentando-se no percolado como material suspensos ou dissolvido.

Quanto às características físicas são classificados em:

- **Secos:** papéis, plásticos, metais, couros tratados, tecidos, madeiras, guardanapos e tolhas de papel, pontas de cigarro, isopor, lâmpadas, parafina, cerâmicas, porcelana, espumas, cortiças, vidros, borrachas, metais, (alumínio, ferro, etc.), entre outros.
- **Molhados:** restos de comida, cascas, pó de café e chá, cabelos, restos de alimentos, cascas e bagaços de frutas e verduras, ovos, legumes, alimentos estragados, ossos, aparas e podas de jardim, entre outros.

Diante dessas classificações ainda é necessário a caracterização desses resíduos quanto à sua origem, podendo estes ser classificados em: domiciliar comercial, público, industrial, portos e terminais rodoviários e ferroviários, serviços de saúde, especial, agrícola e entulhos.

## **2.2 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)**

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são aqueles gerados pela comunidade, exceto resíduos de mineração, agrícolas e industriais. Abrangem ainda os resíduos de

origem doméstica e resíduos procedentes de: comércio, escritórios, serviços, limpeza de vias públicas, mercados, feiras e festejos, bem como móveis, matérias e eletrodomésticos inutilizados (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993).

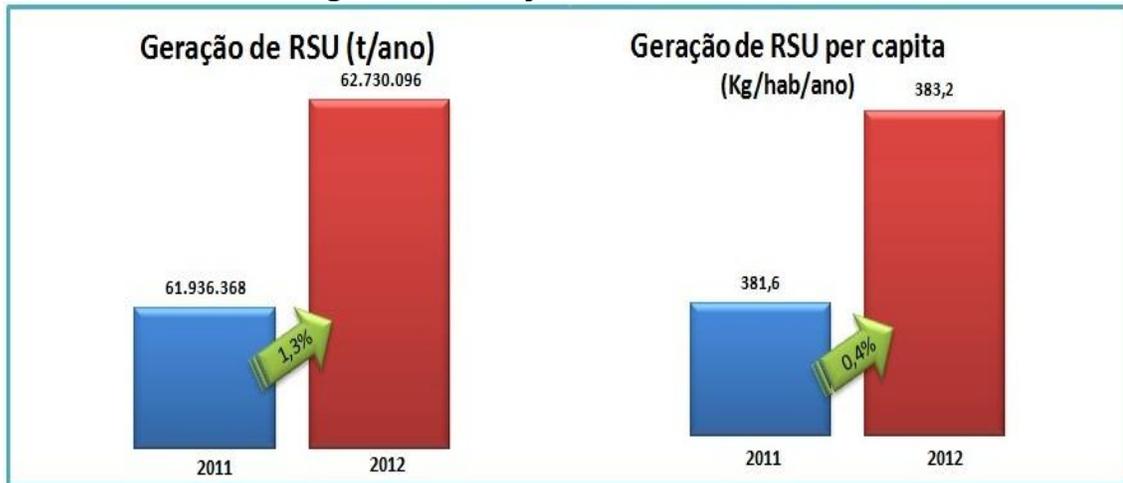
O lixo, como é vulgarmente conhecido, vem se consolidando um dos maiores problemas da sociedade moderna, não só porque são produzidas maiores quantidades de resíduos por habitantes, mas também porque essa massa de resíduo é caracterizada por uma mistura homogênea de materiais sólidos que possuem cada vez mais substâncias recalcitrantes, que apresentam propriedades tóxicas, exigindo tratamentos mais específicos (ALCÂNTARA, 2007).

Segundo Leite (1998) existe vários fatores que influenciam na qualidade e quantidade dos RSU e eles estão diretamente ligados quanto a sua origem e características, dentre eles pode-se citar: densidade populacional, condições sociais e econômicas e as condições climáticas de cada região.

Com o crescimento econômico e demográfico acelerado e a intensa industrialização nas áreas urbanas, têm aumentado cada vez mais a produção de RSU, dificultando o desafio de dispor de maneira adequada esses resíduos descartados.

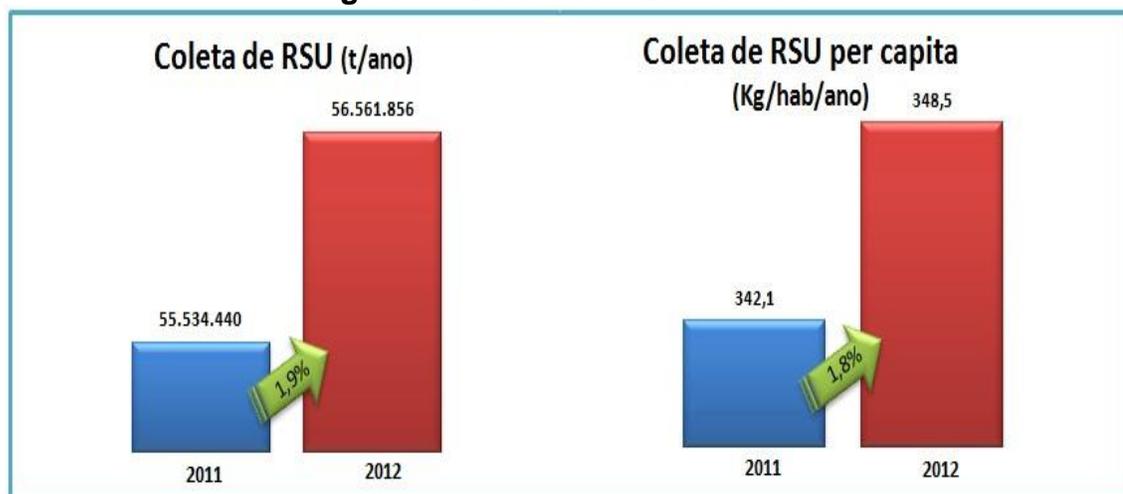
De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública – ABRELPE (2012), de 2011 para 2012 a geração de RSU no Brasil teve um acréscimo de 1,3%, representando um índice superior à taxa de crescimento populacional urbano no país no mesmo período, que alcançou 0,9%. Apesar de o índice ter sido superior ao do crescimento populacional, foi observado um declínio na sua intensidade comparado com anos anteriores.

A Figura 1 apresenta os dados registrados referente à geração total e per capita de RSU.

**Figura 1 - Geração de RSU no Brasil**

Fonte: Pesquisa ABRELPE, 2012

A comparação da quantidade total gerada e o total de resíduos sólidos urbanos coletados, representado na Figura 2, apontam que 6,2 milhões de toneladas de RSU deixaram de ser coletados no ano de 2012 e, por consequência, não tiveram um destino final apropriado. Consta que em 2011 esta quantidade foi cerca de 3% menor (ABRELPE, 2012).

**Figura 2 - Coleta de RSU no Brasil**

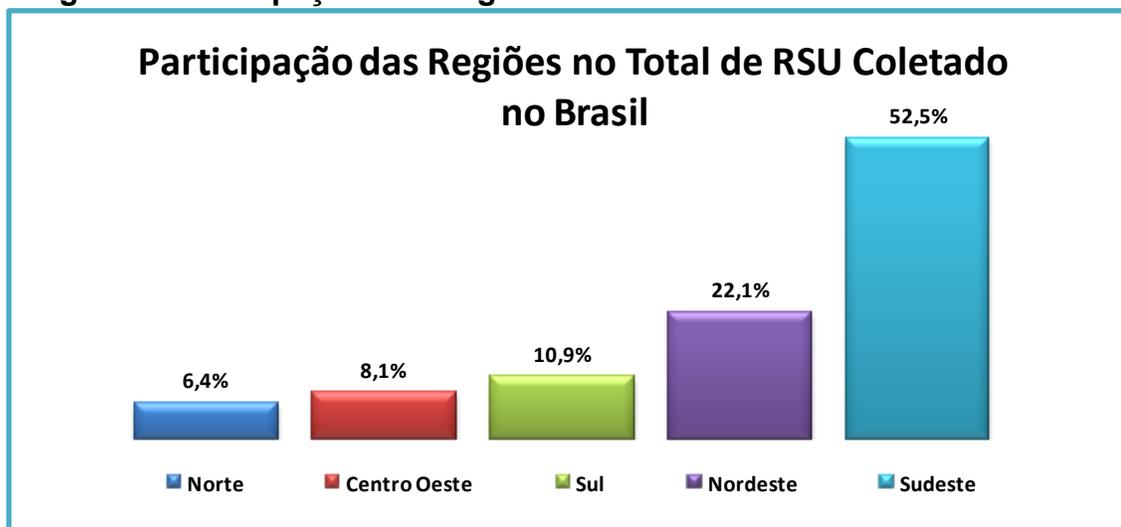
Fonte: Pesquisa ABRELPE, 2012

A quantidade de RSU coletados em comparação do ano de 2012 a 2011 apresentou um aumento significativo de 1,9%, a comparação deste índice com o

crescimento da geração de RSU, evidencia uma pequena evolução na cobertura dos serviços de coleta de RSU, chegando a 90,17%, o que apresenta um país que caminha, para universalizar esse serviço (ABRELPE, 21012).

Comparando-se o percentual de RSU coletados nas diversas regiões brasileiras, contata-se uma situação semelhante com a do ano anterior, não apresentando índices significativos para uma possível evolução, a Figura 3 apresenta a participação das regiões no total de RSU coletados em todo país no ano de 2012.

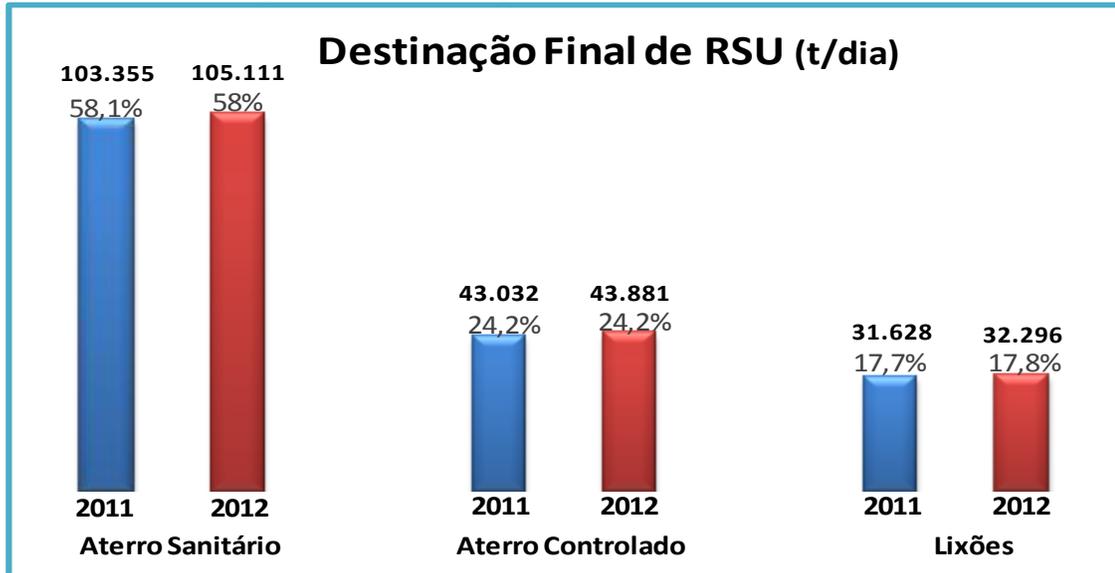
**Figura 3- Participação das Regiões no Total de RSU Coletado no Brasil**



Fonte: Pesquisa ABRELPE, 2012

A destinação final dos RSU coletados alcançou índices de 58% para aterros sanitários no ano de 2012, apresentando um aumento insignificante comparado ao ano de 2011, como mostra a Figura 4. Os 42% restantes correspondem a 76 mil toneladas diárias e possuem destinação final inapropriada como os lixões e aterros controlados que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessárias para proteção do meio ambiente.

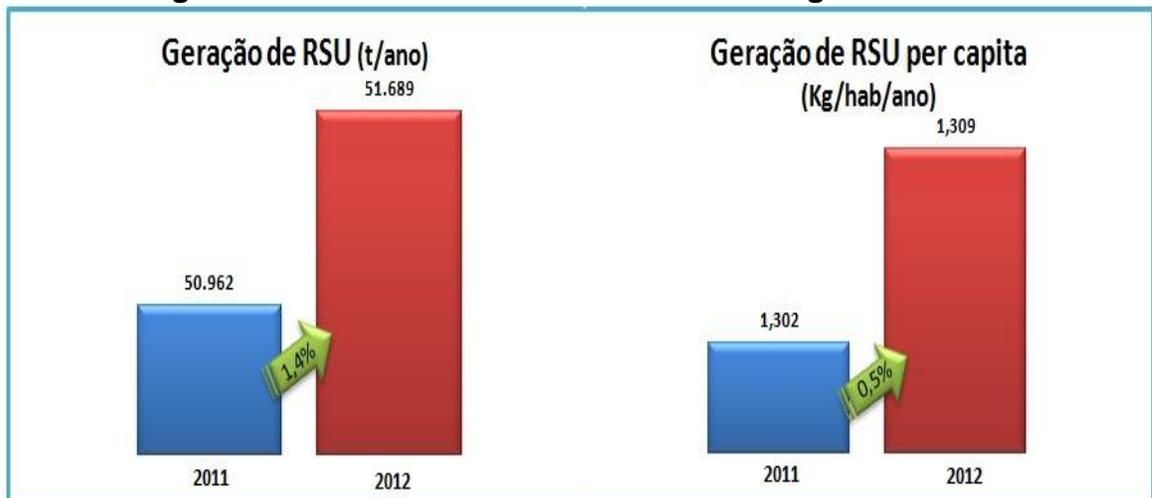
**Figura 4 - Destinação Final de RSU no Brasil**



Fonte: Pesquisa ABRELPE, 2012

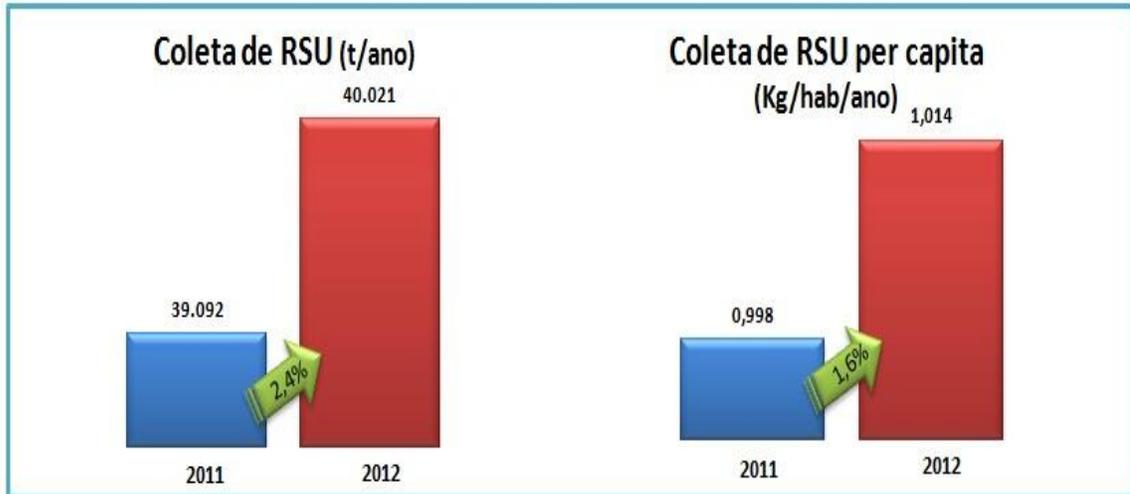
A região Nordeste é composta por nove Estados e 1.794 municípios, que em 2012 geraram 51.689 toneladas/dia de RSU, das quais 77,43% foram coletadas. O total de RSU gerado indicou um crescimento de 1,4% (Figura 5) e a coleta de RSU um aumento de 2,4% (Figura 6), comparando-se com os dados do ano de 2011.

**Figura 5 - Quantidade de RSU Gerada na Região Nordeste**



Fonte: Pesquisa ABRELPE, 2012

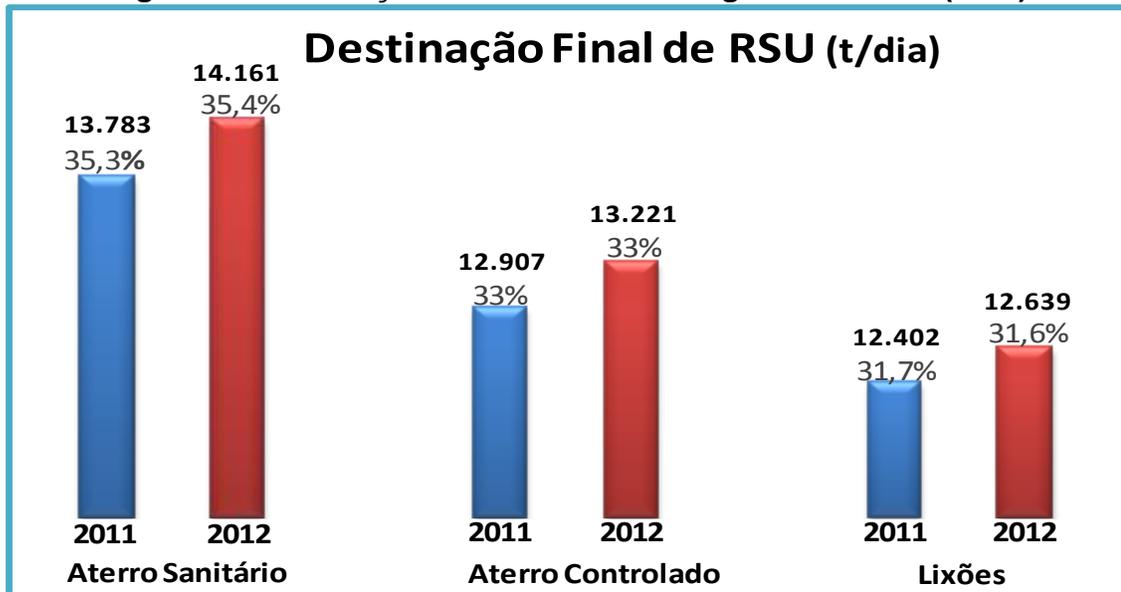
**Figura 6 - Quantidade de RSU Coletado na Região Nordeste**



Fonte: Pesquisa ABRELPE, 2012

A destinação final adequada dos resíduos não apresentou uma evolução significativa de 2011 para 2012 na região Nordeste, como ilustra a Figura 7. Cerca de 65% dos resíduos coletados, correspondente a 25.860 toneladas diárias, possuiu destinação inapropriada como lixões e/ou aterros controlados (ABRELPE, 2012).

**Figura 7 - Destinação final de RSU na Região Nordeste (t/dia)**

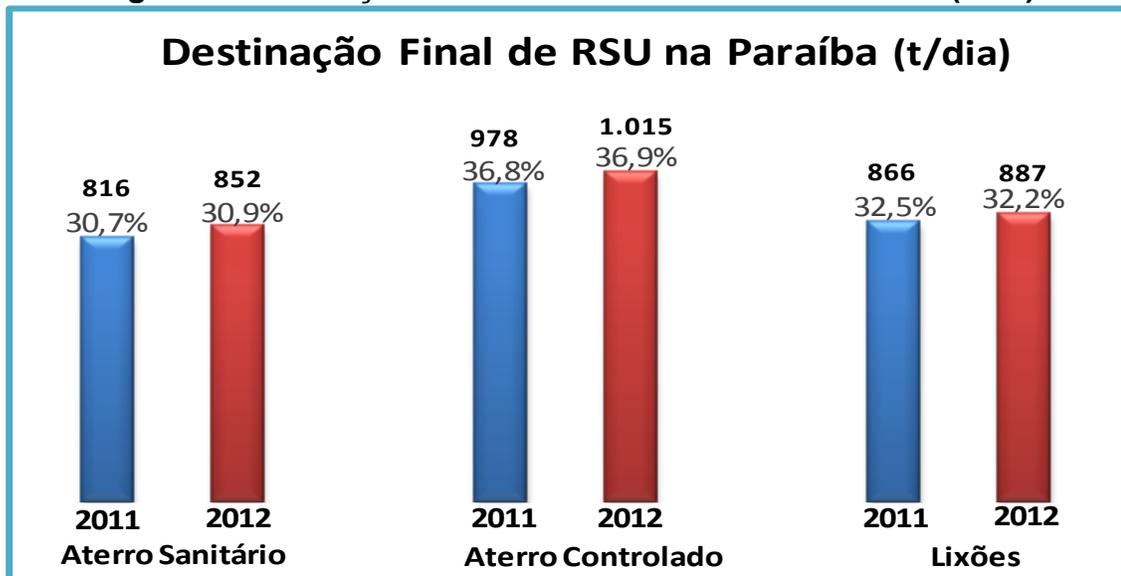


Fonte: Pesquisa ABRELPE, 2012

No que se refere à Paraíba, o Estado possui uma população urbana de aproximadamente 2.900.000 habitantes e gera em torno de 3.400 toneladas/dia de

RSU, dos quais 2.800 toneladas são coletadas diariamente. Como ilustrado na figura 8, a forma de disposição final dos RSU na Paraíba, infelizmente ainda ultrapassa os 60% de lançamentos em locais inadequados, como os aterros controlados e lixões.

**Figura 8: Destinação final de RSU no Estado da Paraíba (t/dia)**

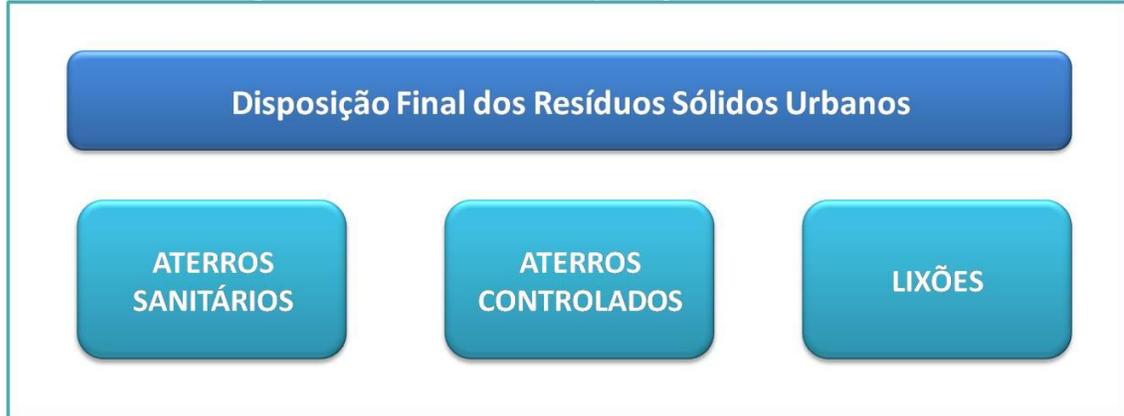


Fonte: Pesquisa ABRELPE, 2012

Na cidade de Campina Grande – PB são produzidas em média 240 toneladas de resíduos por dia com taxa *per capita* de aproximadamente 540g/hab.dia, onde Leite (2008) afirma que deste montante cerca de 80% tem capacidade de reaproveitamento, porém o município não dispõe de programas específicos para reutilização destes materiais que eram encaminhados antigamente para o lixão existente da cidade. Hoje em dia os resíduos produzidos são coletados e posteriormente encaminhados para um aterro sanitário consórcio que dista 7,7Km de Campina Grande, localizado na cidade de Puxinanã (RIBEIRO, 2012).

### 2.3 Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

Existem várias formas de disposição e tratamento dos resíduos sólidos urbanos que são comumente escolhidas em função de custo, da área disponível e da necessidade do município. Uma das principais técnicas de disposição dos RSU no Brasil está apresentada na Figura 9.

**Figura 9 - Formas de Disposição Final de RSU**

Dentre as principais técnicas de disposição mais utilizadas que foi ilustrado na Figura 9, temos ainda formas de tratamento que também compõem práticas de dispor esses resíduos, a exemplo das estações de compostagem, estações de triagem para reciclagem e a incineração.

### **2.3.1 Aterros sanitários**

De acordo com ABNT (1992) – NBR 8.419 a definição de aterros sanitários é técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário. A figura 10 ilustra um aterro sanitário e suas principais etapas para os possíveis tratamentos.

Os aterros sanitários é a forma de disposição final dos resíduos que reúne as maiores vantagens, pois são espaços preparados e planejados para captar e tratar os gases e líquidos resultantes do processo de decomposição (Figura 10), evitando os impactos relacionados com o descarte dos RSU, eles além de caracterizarem obras de maior praticidade e baixo custo ainda protegem os lençóis freáticos, o solo e o ar.

**Figura 10: Aterro Sanitário**



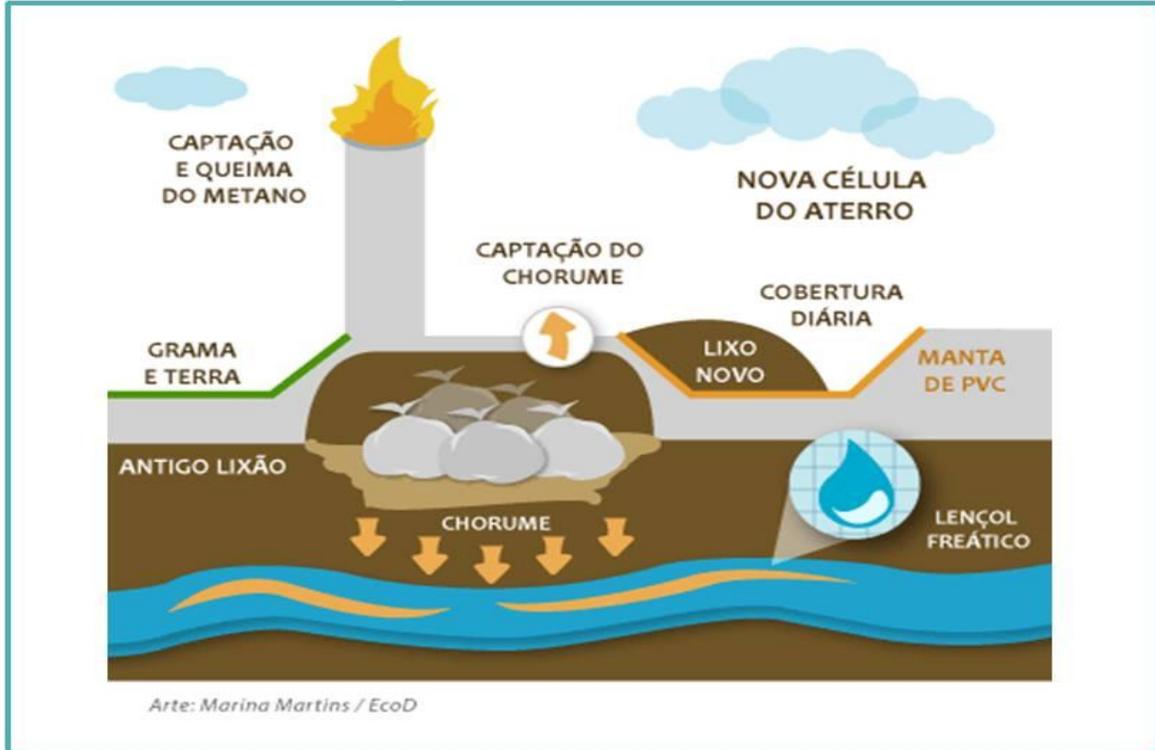
**Fonte: Rumo Sustentável, 2010**

A figura 10 ilustra as células dos aterros que são todas impermeabilizadas com mantas de PVC e o chorume captado é drenado e depositado em tanques para possíveis tratamentos. O biogás é drenado e pode ser queimado por flaires e aproveitados para eletricidade do próprio aterro. Para evitar animais e pragas, ao final de cada jornada é coberto as células diariamente com uma camada de terra.

### **2.3.2 Aterros controlados**

Os aterros controlados são locais intermediários entre os lixões e os aterros sanitários. É menos prejudicial que os lixões pelo fato dos resíduos dispostos no solo serem cobertos com uma camada de terra na conclusão da jornada de trabalho ou a intervalos menores, se necessário. O que pode reduzir a poluição do local, porém trata-se de solução primária para o problema do descarte dos RSU, não devendo ser priorizado por não ser a técnica mais adequada para evitar danos ambientais (MEIRA 2009).

**Figura 11 - Aterro Controlado**



Fonte: Rumo Sustentável, 2010

A Figura 11 ilustra como os aterros controlados protegem o meio ambiente dos possíveis riscos ambientais. Essa forma de disposição possui coberturas de argila e grama na parte superior e faz a captação de gases e do chorume. O gás capturado (biogás) é queimado e o chorume recolhido parte dele retorna a massa de lixo. Esses aterros geralmente são cobertos com terra ou saibro no final de cada jornada, para evitar a proliferação de animais.

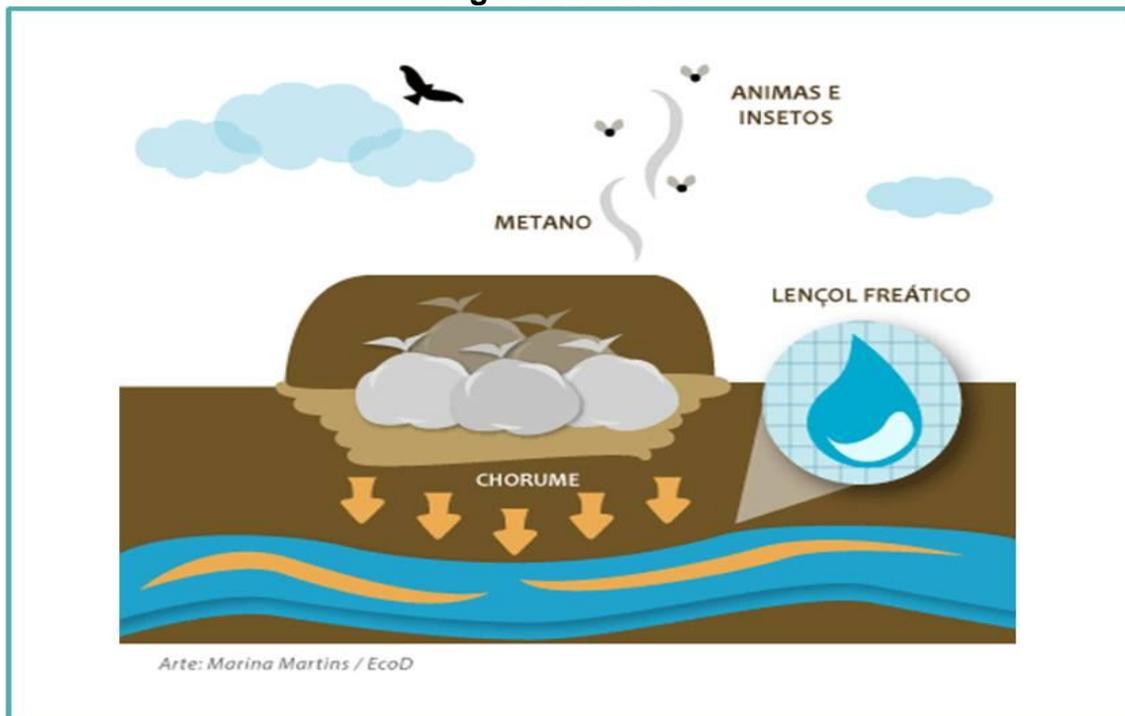
### 2.3.3 Lixões

Lixão é uma forma de disposição sem nenhum controle ambiental, o ambiente é caracterizado pelo simples descarte dos resíduos no solo. Esta “solução” muitas vezes é medida de decisão da população local ou ainda de prefeituras que irresponsavelmente recolhem o lixo da cidade e depositam nestes locais inapropriados, decisão esta que contradiz o verdadeiro papel dos nossos governantes.

Muitos problemas estão relacionados aos lixões, ou vazadouros a céu aberto, como também são conhecidos. Por não apresentar nenhum tipo de proteção, os lixões causam diversos danos ao ambiente. A ausência de uma manta impermeabilizante contribui para que o chorume com a ajuda da chuva, percole toda a massa de lixo, alcançando solos e lençóis freáticos. Já na superfície, a falta da camada de terra, atrai insetos e animais.

A decomposição dos resíduos resulta na produção de gases, que neste caso não são coletados para serem tratados antes de liberados para a atmosfera, comprometendo a qualidade do ar. Segundo Meira (2009) Riscos de incêndios também estão relacionados com a produção desses gases não capturados e a falta de um planejamento técnico para dispor os resíduos coletados pode acarretar em desmoronamentos, quando houver formação de pilhas muito íngremes.

**Figura 12 – Lixão**



**Fonte: Rumo Sustentável, 2010**

Diante dos dados apresentados da ABRELPE (2012), nota-se que ainda temos grandes índices de disposição final dos RSU em lixões, o que atrai famílias de baixa renda, incluindo crianças, a buscarem de forma precária, seu sustento do dia a dia. Na

maioria dos casos esses catadores estão expondo e comprometendo sua saúde, por se tratar de um ambiente insalubre como os vazadouros a céu aberto.

#### **2.4. Lisímetro ou Células Experimentais**

Com o objetivo de avaliar e conhecer melhor todos os processos e interações existentes em um aterro sanitário, os lisímetros ou células experimentais sugerem uma técnica bastante interessante para auxiliar e adquirir parâmetros que servirão como dados para possíveis construções e projetos de aterros de RSU em escala real.

Os lisímetros representam aterros em escala experimental, onde possuem a capacidade de simular e acelerar os processos microbiológicos. Como consequência disso a decomposição aeróbia e anaeróbia dos resíduos acontecem em estágios muito mais curtos que nos aterros em escala real (BARLAZ *et al.*, 1989). De acordo com Meira (2009) apud Monteiro (2003), constitui uma célula experimental em escala reduzida de lixo: sistemas de drenagem de líquidos e gases, medição do nível dos líquidos, medidores de recalque, temperatura, concentração e fluxo de gases entre outros parâmetros, que sob condições controladas proporcionam o conhecimento de dados úteis para elaboração de projetos.

Baseado nos estudos desenvolvidos de células experimentais, normas técnicas podem ser revisadas e passar por possíveis ajustes e reformulações, tendo em vista que muitas estão inadequadas precisando de aprimoramento, além do mais, rotas metabólicas de degradação de produtos orgânicos serão melhor compreendidas e possivelmente modificadas para uma melhor eficiência na decomposição da matéria orgânica. Com base nisso, vem-se buscando técnicas para aperfeiçoar a forma de disposição e o tratamento dos resíduos sólidos através de experimentos em escala laboratorial, escala piloto e escala real. Estão cada vez mais próximas as técnicas de tratamento com os aspectos geotécnicos e biotecnológicos (MONTEIRO & JUCÁ, 2006).

Segundo Melo (2010), alguns pesquisadores no município de Campina Grande inclusive ele, já desenvolveram células experimentais para compreender alguns parâmetros do comportamento da massa de resíduos da cidade, a exemplo de Leite

(2008), Garcez (2009), Meira (2009), Pereira (2010) e Araújo (2010). Seus estudos entre outros aspectos avaliaram o comportamento de aterros de RSU, seus diagnósticos podem ser aplicados a locais que tem condições meteorológicas similares ao de Campina Grande, ou seja, com poucas precipitações anuais e elevadas evaporações de líquidos. Destaca-se que até então não havia estudos de células experimentais na região para o melhor entendimento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos dos resíduos.

Como a geração de resíduos vem crescendo de maneira acelerada, estudos baseados em lisímetros/células experimentais tendem a se desenvolver no mesmo ritmo, considerando a importância que elas vêm representando no âmbito experimental e de pesquisa.

## **2.5 Biodegradação em aterros de RSU**

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

A biodegradação é composta por diversos micro-organismos como bactérias e fungos e é dividida em duas fases: a primeira estritamente aeróbia, onde a predominância dos micro-organismos que se desenvolvem na presença de oxigênio começa bem antes da massa de resíduo ser depositada nos aterros. A segunda, conhecida como anaeróbia, inicia-se quando o oxigênio presente na massa de lixo se esgota devido ao consumo dos micro-organismos, ou quando o processo de recalque elimina o oxigênio presente nos vazios com o processo de compressão. Enquanto houver substrato para os micro-organismos se alimentarem, existirá o processo de biodegradação nos aterros sanitários, somente quando esse “alimento” cessar ou as

condições do ambiente não forem favoráveis que os micro-organismos serão impedidos de continuar suas atividades (HIRSCH, 2002).

A fase caracterizada pela ação dos micro-organismos na presença de oxigênio é caracterizada por um período curto, pois a quantidade de oxigênio presente na massa de resíduo é limitada. Na decomposição aeróbia, ocorre uma grande liberação de calor, chegando a alcançar temperaturas acima da encontrada no ambiente. Elevadas concentrações de sais de alta solubilidade são encontrados nos lixiviados produzidos nessa fase (CASTILHOS JUNIOR, 2003).

A fase anaeróbia vem logo em seguida da fase aeróbia, sendo caracterizada por outras quatro etapas, como: hidrólise, acidogênica, acetogênica e metanogênica. As definições seguem de acordo com Abreu (2007).

- **Hidrólise:** Consiste na primeira etapa da degradação anaeróbia de polímeros complexos, como os carboidratos, proteínas e lipídeos, necessária para reduzir material particulado e dissolvido. O material orgânico particulado é convertido em compostos dissolvidos de menor peso molecular através de exoenzimas, enzimas que são excretadas por bactérias fermentativas, denominadas também bactérias hidrolíticas. As proteínas são degradadas em (poli) peptídeos, os carboidratos em açúcares solúveis (mono e dissacarídeos) e os lipídeos, em ácidos graxos de cadeia longa ( $C_{15}$  a  $C_{17}$ ) e glicerol. Em determinadas situações, a alta complexidade do material orgânico pode resultar em uma baixa velocidade de hidrólise, tornando a etapa limitante de todo o processo de digestão.
- **Acidogênese:** Os compostos dissolvidos, gerados no processo de hidrólise, são absorvidos e metabolizados pelas bactérias fermentativas acidogênicas, que, por sua vez, excretam substâncias simples, como ácidos graxos voláteis (AGV) de cadeia curta, alcoóis, ácido láctico e compostos inorgânicos ( $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $NH_3$ ,  $H_2S$ , etc.). A acidogênese é realizada por um grupo diversificado de bactérias anaeróbias obrigatórias na sua maioria. Porém, algumas espécies são facultativas e podem metabolizar a matéria orgânica por via oxidativa, utilizando oxigênio molecular ( $O_2$ ) como acceptor de elétrons, removendo, eventualmente, resíduos de oxigênio dissolvido no sistema e, dessa forma, eliminando qualquer

efeito tóxico aos micro-organismos estritamente anaeróbios, dentre eles, as arqueias metanogênicas.

- Acetogênica: A principal função das bactérias acetogênicas na digestão anaeróbia é a produção de acetato,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ , substratos que são metabolizados pelas arqueias metanogênicas. Existem dois grupos diferentes de acetogênicas que podem ser diferenciadas baseando-se no seu metabolismo. O primeiro grupo é de bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio obrigatórias, também chamadas de acetogênicas redutoras de prótons, que produzem ácido acético,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$  a partir de uma grande variedade de substratos, dentre eles: ácidos graxos intermediários (propionato e butirato), álcoois ou outros ácidos orgânicos maiores (valerato, isovalerato, palmitato). O segundo grupo de bactérias acetogênicas são as homoacetogênicas, que são estritamente anaeróbias, catalisando a formação de acetato a partir de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ .
- Metanogênica: O metano é produzido pelas arqueias metanogênicas por duas vias metabólicas principais: hidrogenotrófica e acetotrófica (ou acetoclástica). As arqueias hidrogenotróficas são autótrofas, reduzindo  $\text{CO}_2$  a metano e usando  $\text{H}_2$  como doador de elétrons, liberando  $\text{H}_2\text{O}$ . As arqueias acetoclásticas são heterótrofas, produzindo o metano e  $\text{CO}_2$  a partir da redução do acetato (fermentação). Estas últimas têm grande importância em reatores anaeróbios, uma vez que é conhecido que cerca de 70% do metano produzido nestes sistemas é resultante da degradação de acetato (ABREU, 2007 *apud* JETTEN *et al.*, 1992; CHERNICHARO, 2007; YU *et al.*, 2005).

Estudos mais aprofundados acrescentam à fase anaeróbia, a etapa da Sulfetogênese. Segundo Versiane (2005), ela é caracterizada por:

- Sulfetogênese: Nessa etapa, os compostos de enxofre são reduzidos a sulfetos pela ação de bactérias anaeróbias estritas, chamadas bactérias redutoras de sulfato (sulforedutoras). As bactérias sulforedutoras em presença de elevadas concentrações de sulfato promovem alterações nas rotas metabólicas,

competindo com as bactérias fermentativas acetogênicas e metanogênicas pelo substrato disponível, além de serem favorecidas pela sua cinética mais rápida de crescimento. A formação elevada de sulfeto é tóxica para as metanobactérias.

A produção e o consumo de gases em aterros de RSU, através da atividade dos micro-organismos, é um importante fato que deve ser avaliado, pois esses gases podem afetar tanto a biota microbiana como também, o comportamento desses aterros. De acordo com Melo (2010) *apud* Junqueira (2000) a classificação da geração de gases em um aterro contempla cinco fases:

- Fase Aeróbia: Nesta fase, fungos e bactérias são favorecidas, pois o oxigênio está presente logo após o aterramento dos resíduos, para o desenvolvimento de ambas. Caracteriza um período de adaptação dos micro-organismos, pela aclimatação às condições ambientais (umidade, temperatura etc).
- Fase Anaeróbia Ácida: Esta fase ocorre até dois meses após o aterramento dos resíduos. O pH nesta fase tem bruscas quedas em função da pressão parcial do CO<sub>2</sub> e da grande presença de ácidos orgânicos. Ocorre a presença de hidrogênio, sendo este muito importante para a metanogênese. O hidrogênio tem como fonte os ácido orgânicos de cadeia longa, onde as bactérias homoacetogênicas (que fermentam amplo espectro de compostos de um carbono a ácido acético) precursoras das metanogênicas, encontram sua energia para a produção de acetato, hidrogênio e dióxido de carbono.
- Fase Metanogênica Instável: Ocorre até dois anos após o aterramento, sendo esta fase caracterizada pela produção de metano, porém de maneira descontínua.
- Fase Metanogênica Estável: Até 10 anos após o aterramento. Esta fase caracteriza-se pela produção intensa de metano e dióxido de carbono em proporção de 1:1

- Fase de Maturação Final: Nesta fase ocorre a bioestabilização da matéria orgânica e decréscimo da produção de metano.

É necessário compreender que as diversas fases existentes no aterro, necessitam de condições favoráveis para que cada uma ocorra como descrita. Deve-se também levar em consideração que cada fase citada na biodegradação dos RSU, acontece com a ação de diferentes grupos de micro-organismos, na qual cada um necessitará de condições mínimas para exercer suas atividades dentro da massa de resíduo.

A degradação da matéria orgânica é o objetivo principal dos aterros de RSU, porém esta atividade deve ser constantemente monitorada para evitar problemas funcionais. A formação de bolsões de biogás decorrente da disposição da massa de lixo eventualmente pode causar explosões quando comprimidos pelo próprio peso, além de proporcionar recalques diferenciais que podem comprometer a funcionalidade de aterros e a instabilidade de taludes (MELO, 2010).

## **2.6. Fungos**

Os fungos são organismos heterotróficos, portanto, incapazes de produzir seu próprio alimento devido à ausência de clorofila. Em sua maioria são organismos aeróbios obrigatórios, ou seja, crescem somente em ambiente rico em oxigênio. Mas em alguns poucos casos podem ser anaeróbios facultativo e se desenvolverem em ambiente com oxigênio reduzido ou mesmo na ausência deste elemento. Para obter compostos orgânicos como fonte de energia, os nutrientes podem ser obtidos pela ação de enzimas extracelulares secretadas no ambiente e absorvidos através da parede e da membrana celular (FUNGOS, 2014)

Os fungos produzem enzimas como lipases, invertases, lactases, proteinases, amilases etc., que hidrolisam o substrato tornando-o assimilável. Alguns substratos podem induzir a formação de enzimas degradativas; há fungos que hidrolisam

substâncias orgânicas mais complexas, a exemplo de alguns plásticos (METABOLISMO DOS FUNGOS, 2012).

Muitas espécies fúngicas podem se desenvolver em meios mínimos, contendo amônia ou nitritos, como fontes de nitrogênio. As substâncias orgânicas, de preferência, são carboidratos simples como D-glicose e sais minerais como sulfatos e fosfatos (METABOLISMO DOS FUNGOS, 2012).

Alguns fungos requerem fatores de crescimento, que não conseguem sintetizar, em especial, vitaminas (tiamina, biotina, riboflavina, ácido pantotênico, etc). Assim como todos os seres vivos, necessitam de água para o seu desenvolvimento e alguns são halofílicos, onde conseguem crescer em ambientes com elevada concentração de sal (METABOLISMO DOS FUNGOS, 2012).

Os resíduos sólidos por conterem substâncias de alto teor energético, e por oferecer água, alimento e abrigo são preferidos por inúmeros micro-organismos, a ponto de alguns os utilizarem como nicho ecológico. Estes organismos que habitam os resíduos são classificados em dois grupos: macrovetores (ratos, baratas, moscas, cães e aves) e microvetores (vermes, bactérias, fungos, actinomicetos e vírus) (CARVALHO,1997).

Para que aconteça a biodegradação da massa de resíduos, deve-se ocorrer um conjunto de reações físicas, químicas e biológicas. Onde as ações biológicas, são realizadas por uma série de micro-organismos, dentre eles os fungos.

Fungos, juntamente com as bactérias heterotróficas, são os principais decompositores da biosfera, quebrando os produtos orgânicos e reciclando carbono, nitrogênio e outros compostos do solo e do ar. Muitos fungos são economicamente importantes para o homem como destruidores de alimentos estocados e outros materiais orgânicos (LEITE, 2008).

De acordo com Trabulsi (2005) os fungos se desenvolvem em meios especiais de cultivos, formando colônias leveduriformes, que em geral apresentam aspecto pastoso ou cremoso e, colônias filamentosas que são caracterizadas por aspectos aveludados, algodonosas, pulverulentas, com os mais variados tipos de pigmentação.

Segundo Pelckzar (1996), os fungos atuam na decomposição dos principais constituintes dos vegetais, especialmente da celulose, lignina e pectina. A adição de enzimas celulolíticas e hidrolíticas de fungos antes da digestão anaeróbia de resíduos

sólidos aumenta a eficiência do processo, considerando-se que fungos lignolíticos aumentam a biodegradabilidade da massa de lixo (SRINIVASAN *et al.*, 1997).

Estes micro-organismos possuem um poderoso arsenal enzimático, podendo atuar de maneira bastante significativa na degradação dos resíduos, dada a sua importância como organismo degradador de vários compostos, como quitina, osso, couro, inclusive materiais plásticos.

Alguns parâmetros são essenciais para o desenvolvimento dos fungos, a exemplo da temperatura, que interfere diretamente no crescimento dos mesmos. A temperatura ideal para os fungos abrange uma larga faixa, várias espécies podem crescer em ambientes de elevada temperatura (TORTORA *et al.*, 2000). Os fungos de importância média, em geral apresentam temperatura ótima de crescimento entre 20 e 30°C.

Em compostos de RSU, têm sido encontrados fungos do gênero *Aspergillus*, inclusive da espécie *A. fumigatus*, que é responsável por infecções graves em seres humanos e animais. Por ser micro-organismos esporógenos, a sua presença ao longo do processo de degradação de RSU em aterros, sugere que eles possam permanecer por muito mais tempo, no ambiente do aterro, mesmo após a estabilização do material orgânico. A presença de bactérias e fungos patogênicos tem implicações relevantes em aterros de RSU (ALCÂNTARA, 2007).

## **2.7 Parâmetros Intervenientes no Comportamento Fúngico**

Para que os fungos possam se desenvolver é necessário que o meio apresente condições favoráveis de temperatura, umidade, aeração, pH e ausência de substâncias tóxicas. Todos esses fatores básicos são indispensáveis e a ausência de qualquer um destes fatores pode ocasionar o não desenvolvimento dos fungos. Parâmetros como Temperatura, Teor de Umidade e pH terão ênfase na presente pesquisa.

### **2.7.1 Temperatura**

Um dos parâmetros físicos que interfere diretamente no crescimento fúngico é a temperatura. Esse parâmetro é de extrema importância nos processos biológicos, reações químicas e bioquímicas. A temperatura de crescimento abrange uma larga faixa, havendo espécies psicrófilas, mesófilas e termófilas.

Os fungos podem ter morfologia diferente, segundo as condições nutricionais e a temperatura de seu desenvolvimento. Este fenômeno de variação morfológica mais importante em micologia médica é o dimorfismo, que se expressa por um crescimento micelial entre 22° e 28°C e leveduriforme entre 35°C e 37°C. Em geral, essas formas são reversíveis (METABOLISMO DOS FUNGOS, 2012).

A temperatura ideal para o crescimento dos fungos está em torno de 25°C, geralmente entre 22°C a 30°C para a grande maioria das espécies. Porém, existem espécies que possuem adaptações para se desenvolver em temperaturas mais baixas, como 10°C, e outros que suportam temperaturas altas, como alguns bolores termófilos que crescem a 62°C. A 0°C os fungos não se reproduzem, eles entram no que chamamos de estado latente (FUNGOS, 2014).

Temperaturas altas diminuem a concentração de oxigênio dissolvido e interferem na velocidade de degradação, elevando a atividade dos micro-organismos anaeróbios. Temperaturas baixas (menores que 30°C) podem retardar o processo de digestão (MEIRA 2009 *apud* FERREIRA, 2006).

Em pequenas profundidades e próximo da camada de cobertura final, a temperatura dos RSU varia em função das mudanças sazonais (SILVA, 2005). Temperaturas continuamente mais elevadas são observadas em profundidades maiores e em locais onde há umidade disponível. Os estudos de WARITH (2002) demonstraram que em aterros profundos, que possuam fluxo de água moderado, temperaturas de 30 a 40°C são esperadas, mesmo em climas temperados.

### **2.7.2 Teor de Umidade**

Os fungos assim como a maioria dos seres vivos necessitam de água para seu

crescimento. É no meio aquoso que os micro-organismos retiram seus nutrientes. Além de fornecer o alimento ela também tem o papel de transportar as enzimas e metabólitos necessários para o desenvolvimento desses seres vivos.

Vários fatores influem no teor de umidade de RSU depositados em aterros, como: composição gravimétrica, condições climáticas da região, procedimentos operacionais de coleta, transporte e disposição final em aterros, presença de lixiviados, sistema de cobertura e a própria umidade gerada a partir da degradação dos resíduos (RIBEIRO 2012, *apud* SILVEIRA, 2004).

Segundo Meira (2009) *apud* Monteiro 2003, os componentes orgânicos dos RSU 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 microbiano. Entretanto, grande quantidade de água infiltrada pode prejudicar a degradação. A faixa ótima de umidade para a degradação biológica deverá ser entre 20-40%, (Palmisano & Barlaz, 1996).

Ainda que a umidade seja exigida para o seu desenvolvimento e que possam captar água da atmosfera ou do meio nutritivo, os fungos filamentosos são capazes de sobreviver em ambientes desidratados. Quando o ambiente se desidrata, os fungos produzem esporos ou entram em estado de vida latente.

### **2.7.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)**

O potencial hidrogeniônico (pH), é um importante parâmetro que define os processos de decomposição dos RSU e dependendo da sua situação ácida ou básica, o pH pode afetar as diversas populações de micro-organismos presentes na massa de resíduo.

A atividade do íon hidrogênio na fase aquosa é um aspecto ambiental crítico que afeta o balanço entre as várias populações de micro-organismos, como também a atividade microbiana. Em função do pH e sua capacidade de crescimento no meio, os micro-organismos podem ser classificados em acidófilos, neutrófilos ou basófilos. Os primeiros apresentam crescimento ótimo em meio com pH baixo, enquanto o último a taxa de crescimento ótima ocorre em meios alcalinos. A maioria dos micro-organismos

são classificados como neutrófilos, com melhor crescimento na faixa de pH próximo a 7 (GADELHA, 2005).

O pH do meio anaeróbio está diretamente relacionado com as concentrações dos álcalis e dos ácidos do sistema. Bruscas alterações do pH afetam consideravelmente as atividades dos micro-organismos metanogênicos (BIDONE e POVINELLI, 1999). Os organismos metanogênicos são os mais sensíveis ao pH e sua faixa ótima é de 6,6 a 7,4 (KAYAHANIAN *et al* 1991 apud GADELHA, 2005).

Segundo Pohland & Harper (1985), na fase inicial do processo de degradação, o pH é normalmente mais baixo devido a produção de ácidos voláteis pelas bactérias hidrolíticas fermentativas. Com o avanço do processo biológico dos resíduos, os valores de pH vão se elevando em função do consumo dos ácidos voláteis pelas bactérias metanogênicas e pela maior produção de CO<sub>2</sub>, característica desta fase.

Ainda que o pH mais favorável ao desenvolvimento dos fungos esteja entre 5, 6 e 7, a maioria dos fungos tolera amplas variações de pH. Os fungos filamentosos podem crescer na faixa entre 1,5 e 11, mas as leveduras não toleram pH alcalino (METABOLISMO DOS FUNGOS, 2012).

Muitas vezes, a pigmentação dos fungos está relacionada com o pH do substrato. Os meios com pH entre 5 e 6, com elevadas concentrações de açúcar, alta pressão osmótica, tais como geléias, favorecem o desenvolvimento dos fungos nas porções em contato com o ar. O crescimento dos fungos é mais lento que o das bactérias e suas culturas precisam, em média, de 7 a 15 dias, ou mais de incubação (METABOLISMO DOS FUNGOS, 2012).

## **2.8 Estatística**

A estatística é uma ciência que se dedica à coleta, análise e interpretação de dados. Preocupa-se com os métodos de recolha, organização, resumo, apresentação e interpretação dos dados, assim como tirar conclusões sobre as características das fontes de onde estes foram retirados, para melhor compreender as situações (WIKIPÉDIA, 2014).

Algumas práticas estatísticas incluem, por exemplo, o planejamento, a sumarização e a interpretação de observações. Dado que o objetivo da estatística é a produção da melhor informação possível a partir dos dados disponíveis, alguns autores sugerem que a estatística é um ramo da teoria da decisão (WIKIPÉDIA, 2014).

Segundo Costa Neto (1978), a estatística é dividida em três partes: descritiva, probabilística e inferencial. A estatística descritiva objetiva fundamentar a idéia do comportamento global, da forma de distribuição assumida pelas variáveis experimentais. A probabilidade nos permite descrever os fenômenos aleatórios, ou seja, aqueles em que está presente a incerteza e a inferência leva o pesquisador à veracidade desse comportamento com um nível de confiança desejado, no geral admite-se 95%,

### **2.8.1 *Análise de Componentes Principais***

A Análise de Componentes Principais (ACP) tem como objetivo direcionar o pesquisador ao teste que será usado na pesquisa. Quando seguir uma distribuição normal, usa-se um teste paramétrico, e quando não apresentar distribuição normal, usa-se um teste não paramétrico (RODRIGUES, 2008).

Para a aplicação da técnica (ACP) é necessário construir uma matriz de dados brutos que pode ser disposta em  $n$  medidas de diferentes propriedades (variáveis) executadas sobre  $m$  amostras (objetos), de modo que a matriz de dados  $d$  é formada por  $m \times n$  ( $m$  linhas correspondentes às amostras e  $n$  colunas correspondentes as variáveis).

Uma decisão a ser tomada diz respeito ao número de componentes principais que deve ser retido na análise. Se esse número é muito pequeno pode haver uma redução exagerada da dimensionalidade e muita informação pode ser perdida. Se o número for grande, pode-se não atender aos objetivos de redução. Na verdade, essa redução depende das correlações e das variâncias das variáveis originais (PAIVA, 2009).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Campo Experimental

A pesquisa foi desenvolvida através da construção e monitoramento de um lisímetro, simulando uma célula de aterro sanitário. O lisímetro foi construído na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) (Figura 13) e as análises laboratoriais desenvolvidas pelo Grupo de Geotecnia Ambiental (GGA) na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES). A pesquisa foi realizada no período de outubro de 2009 a outubro de 2011.

**Figura 13 – Lisímetro localizado na UFCG**

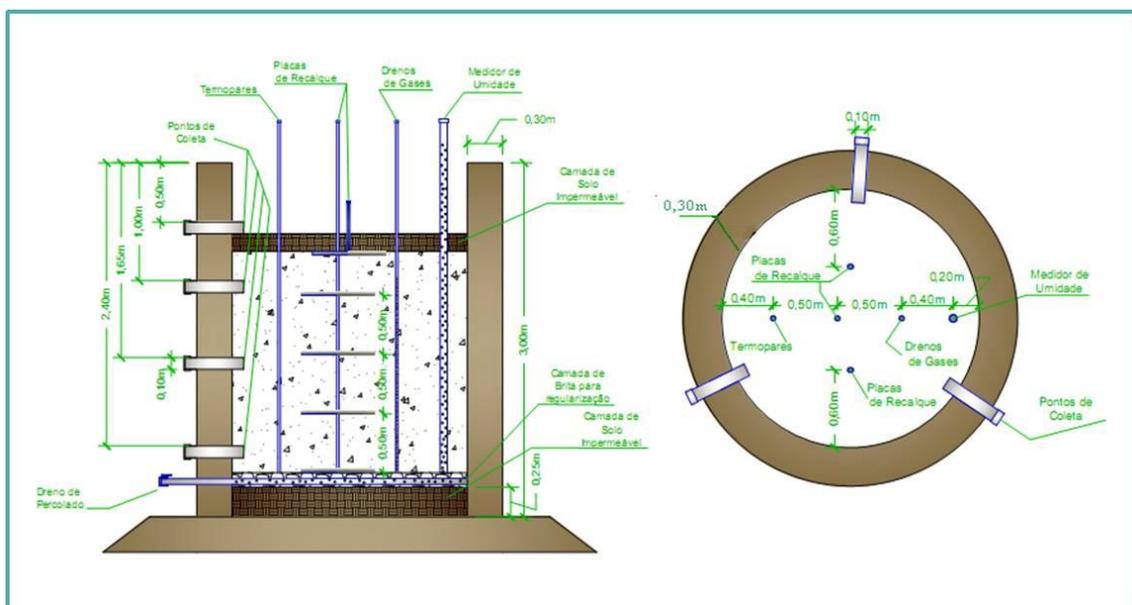


Fonte: Arquivo da pesquisa, 2009.

### 3.2 Construção e Instrumentação do Lisímetro

O lisímetro foi construído em alvenaria de tijolos manuais, com 2,0 m de diâmetro interno e 3,0 m de altura possuindo volume aproximado de 9m<sup>3</sup>. Apresentando um formato cilíndrico, com seção transversal circular para facilitar a distribuição e compactação dos resíduos em seu interior, uniformizar a distribuição das pressões laterais na parede interna do lisímetro, evitar caminhos preferenciais de percolação do lixiviado e reduzir a área de superfície lateral interna. Ele é dotado de sistemas de drenagens de líquidos e gases, medidores de nível dos líquidos, medidores de recalque superficiais e profundos e medidores de temperatura ao longo da profundidade. O sistema de drenagem de lixiviados é constituído por um tubo de PVC perfurado apoiado diretamente sobre o solo compactado e por uma camada de pedra britada que promove a drenagem de toda área do fundo do lisímetro. Nas camadas de base e de cobertura foi escolhido um solo com características de baixa permeabilidade. Para a drenagem das águas pluviais o topo da camada de cobertura foi nivelado com uma inclinação da ordem de 2,0% para o centro, onde foi instalada uma calha de PVC que coleta e conduz a água para um recipiente fora da célula (Figura 14).

Figura 14 – Croqui do Lisímetro



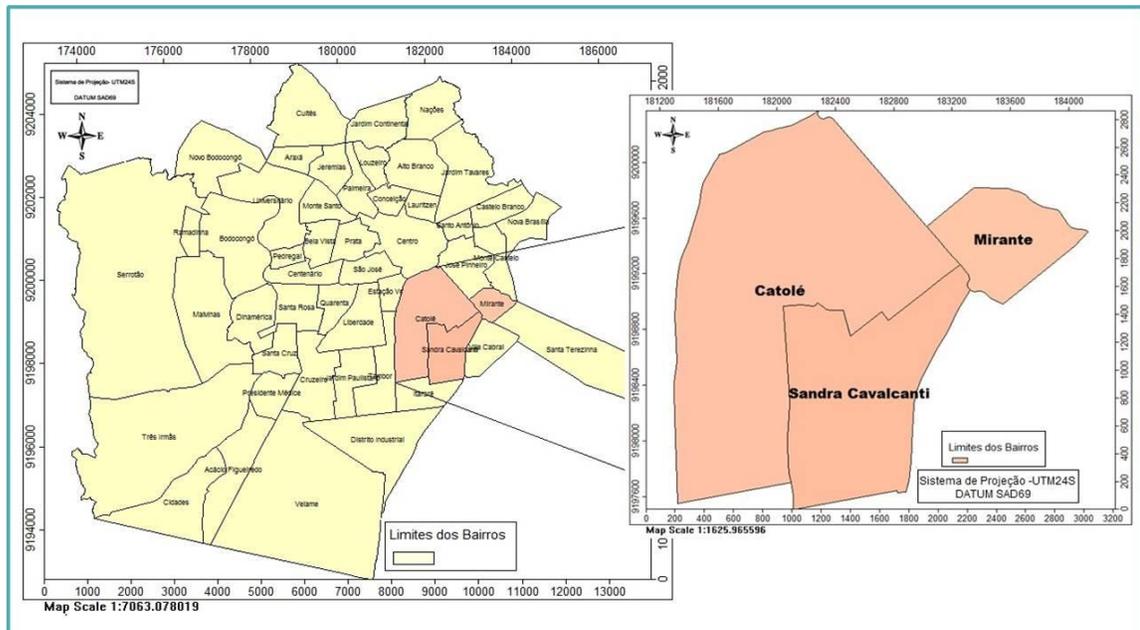
Fonte: Dados da pesquisa, 2009

### 3.3 Preenchimento do Lisímetro

Para a realização da coleta e amostragem dos resíduos utilizou-se o procedimento recomendado pela norma NBR 10007 (ABNT, 2004) – Amostragem de Resíduos. Este plano foi realizado visando obter uma amostra representativa dos resíduos da cidade de Campina Grande, e para isso contou-se com o apoio da Prefeitura Municipal de Campina Grande (PMCG) que delimitou a rota utilizada nesta pesquisa seguindo critérios de condição social.

Foram escolhidos, a partir de uma rota pré-estabelecida, três bairros (Mirante, Catolé e Argemiro Figueiredo) que segundo a PMCG são classificados como classe alta, média e baixa respectivamente (Figura 15).

**Figura 15 – Mapa dos bairros de Campina Grande – PB em destaque os bairros utilizados para amostragem da pesquisa**



**Fonte: Departamento de Limpeza Urbana CG/PB**

A coleta das amostras foi realizada através de um caminhão compactador com capacidade aproximada de 9ton, com rotas definidas pelo Departamento de Limpeza Urbana (DLU) da Prefeitura Municipal de Campina Grande - PB passando pelos três bairros mencionados. Finalizada a coleta, o caminhão foi encaminhado para a área de

amostragem, localizada na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) para triagem do material coletado.

Após o descarregamento do material coletado nas dependências da UFCG, o resíduo foi devidamente homogeneizado com o auxílio de uma enchedeira, logo após a homogeneização (Figura 16), o resíduo foi dividido em quadrantes resultando em quatro pilhas, onde, duas foram descartadas e as outras duas novamente homogeneizadas, formando uma única pilha, desta foram retiradas as parcelas para preenchimento do lisímetro e caracterização inicial que envolve a composição gravimétrica e volumétrica dos resíduos, conforme a NBR 10.007/04.

**Figura 16 – Descarregamento; Homogeneização; Formação das pilhas resultantes**



Fonte: Arquivo da pesquisa, 2009.

Para o preenchimento do lisímetro os resíduos foram dispostos como pilhas que foram homogeneizadas para a obtenção de amostras. Após pesagem, os resíduos foram encaminhados para o lisímetro através de baldes e compactados manualmente em camadas até a cota final pré-estabelecida (Figura 17).

**Figura 17 – Pesagem do resíduo; Baldes após pesagem; Enchedeira auxiliando no enchimento; Compactação do resíduo**



Fonte: Arquivo da pesquisa, 2009

### **3.4 Monitoramento do Lisímetro**

Depois de finalizada toda etapa de construção, instrumentação, coleta, composição volumétrica e gravimétrica e enchimento da célula, iniciou-se a fase de monitoramento do lisímetro. Esta fase é interessante, pois é nela que será possível compreender todas as fases dinâmicas que acontecem na massa de resíduo, em um curto período de tempo.

#### **3.4.1 Coleta das Amostras Sólidas**

As amostras de RSU foram coletadas, mensalmente, na célula experimental através das aberturas laterais com auxílio de um amostrador helicoidal (Figura 18). De cada nível de profundidade (superior, intermediário e inferior) foram coletados aproximadamente 600g de resíduos. Em seguida estas amostras foram armazenadas de acordo com ABNT (2004), e transportadas diretamente para o laboratório do Núcleo

de Pesquisa da Universidade Federal de Campina Grande e Universidade Estadual da Paraíba – UEPB (EXTRABES) onde foram realizadas as análises.

**Figura 18 – Amostrador helicoidal auxiliando na retirada do resíduo**



Fonte: Arquivo da pesquisa, 2009

No laboratório estas amostras foram picotadas e posteriormente imersas em 1200 mL de água destilada durante um período de 30 minutos. Em seguida as amostras de resíduos foram peneiradas para obtenção do extrato utilizado nas determinações dos parâmetros físico-químicos (Figura 19).

**Figura 19 – Picotagem do resíduo; Extrato obtido nos diferentes níveis**



Fonte: Arquivo da Pesquisa, 2009

### 3.5 Análise dos Parâmetros Físicos e Físico-Químicos

Segundo Ribeiro (2012), diferente do que ocorre nas análises de água e efluentes líquidos, não existem métodos consagrados e adotados universalmente, de fontes como o “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”, para análises laboratoriais de resíduos sólidos urbanos, o que se encontra na literatura são métodos analíticos adaptados de outras áreas do conhecimento que muitas vezes não fornecem resultados satisfatórios devido à natureza heterogênea dos resíduos sólidos urbanos. Devido à inexistência de metodologias específicas para RSU, durante a fase de execução foram realizadas adaptações nas metodologias utilizadas.

As metodologias utilizadas para os parâmetros físicos e físico-químicos estão descritas no Quadro 1.

**Quadro 1 – Metodologia dos ensaios físicos e físico-químicos**

Parâmetro	Método
Teor de Umidade	NBR 6457 (ABNT, 1986), Manassero et.al.(1996),
pH	Standard Methods (AWWA/ APHA/

	WEF, 1998)
Temperatura	Metodologia própria

### 3.5.1 Temperatura

O monitoramento das temperaturas no interior da célula experimental foi realizado *in situ* a partir de cinco termopares com conectores do tipo K (Figura 20), numerados de 1 a 5 e o auxílio do termômetro digital. Os termopares, distribuídos uniformemente em toda a altura da massa de resíduo, foram posicionados antes de iniciar o preenchimento da célula em diferentes profundidades. O termômetro portátil utilizado é do tipo digital com dois canais (T1 e T2) com capacidade de medir temperaturas na faixa de (-100°C a 1300°C) e apresenta resolução de 0,5°C e precisão de  $\pm (0,1\%$  da leitura  $\pm 0,7^\circ\text{C})$  para a faixa de leitura utilizada.

**Figura 20 – Termopares tipo K; Termômetro elétrico**



Fonte: Arquivo da Pesquisa, 2009.

### 3.5.2 Teor de Umidade

O teor de umidade foi determinado pelo método da base úmida, segundo Manassero *et al.* (1996), o mais utilizado em resíduos sólidos. Foram pesados 10g da amostra de resíduos, em balança digital e encaminhadas para secagem em estufa à 60°C por 24h (Figura 21).

**Figura 21 – Análise para determinação do teor de umidade**



Fonte: Arquivos da Pesquisa, 2009.

O teor de umidade foi expresso pela quantidade de água perdida durante o processo de secagem. As análises foram realizadas em duplicata. Os cálculos para determinação do teor de umidade foi expresso na Equação (1).

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

Onde:

w: Teor de umidade (%);

Pi: Peso Inicial (g);

Pf: Peso final (g).

### 3.5.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O parâmetro que expressa a condição ácida ou básica de um determinado meio é o potencial hidrogeniônico (pH). Ele é determinado eletrometricamente com o auxílio de um potenciômetro e eletrodos. A sua finalidade é avaliar a atividade iônica do hidrogênio utilizando um eletrodo de vidro contendo uma solução de ácido clorídrico.

Para obtenção desta análise adicionou-se em um béquer 25 mL do extrato obtido das amostras de resíduos, exercendo sempre agitação com o auxílio de um agitador magnético, pra finalizar foi introduzido no extrato o eletrodo do pH.

**Figura 22 – Análise de pH**



Fonte: Arquivo da Pesquisa, 2009.

### 3.6 Análise de Fungos

As amostras de resíduos sólidos destinadas às análises fúngicas (10 g) foram diluídas em um béquer estéril de capacidade de 200 mL, dotado de 90 mL de água destilada. As amostras foram agitadas manualmente com um auxílio de um bastão

durante alguns minutos, 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  $10^{-3}$  até  $10^{-6}$ .

Foram selecionadas as diluições que pudessem fazer a contagem de fungos. As amostras foram semeadas com 0,1 ml diretamente sobre placas de petri contendo meio Ágar-sabouraud e com auxílio de uma alça de platina adaptada, espalhou-se a amostra na superfície da placa. Para evitar o crescimento bacteriano na placa semeada foi adicionado o antibiótico cloranfenicol, permitindo deste modo que ocorra apenas crescimento de fungos. Em seguida as amostras foram incubadas a  $35^{\circ}\text{C}$ , durante um período de 5 a 7 dias, onde, passado esse período, foi realizada a contagem e cálculo das unidades formadoras de fungos (UFC). O crescimento fúngico foi determinado segundo a metodologia do Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater (APHA, 1998).

### **3.7 Análise Estatística**

A estatística utilizada foi à multivariada em Componentes Principais, o programa utilizado foi o *Statistic 7.0*. Para avaliar as correlações do presente trabalho foram considerados os seguintes parâmetros: dias, temperatura, teor de umidade, pH e fungos. A análise se deu por camadas, dividida em inferior, intermediária e superior. Foram plotados gráficos cujos eixos foram a primeira e segunda componente principal.

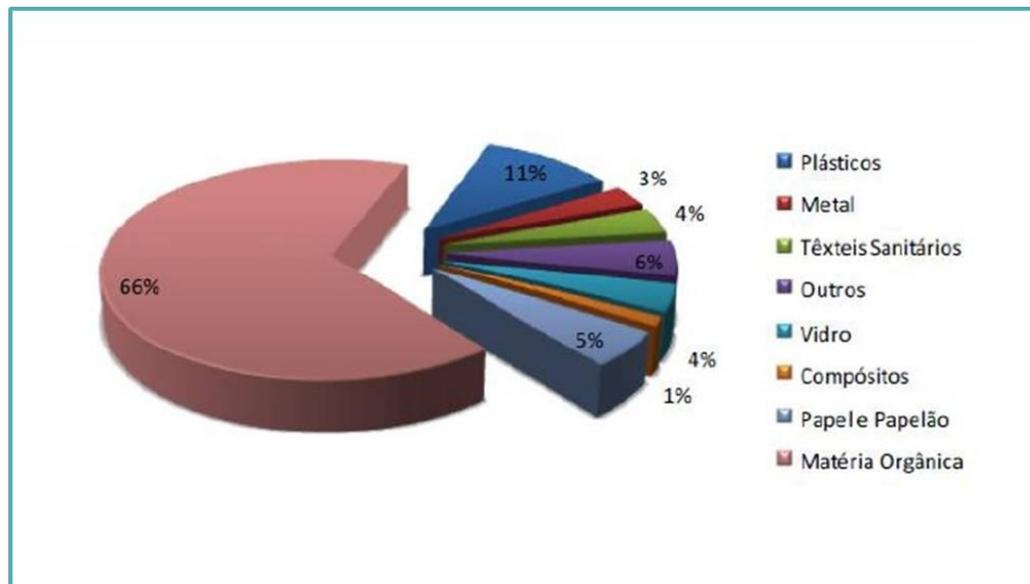
Os gráficos plotados são bidimensionais, com eixos apresentando o percentual da variabilidade do processo explicada, nas respectivas componentes.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados referentes ao monitoramento da célula experimental serão expostos a seguir de maneira que os ensaios físicos, físico-químicos e microbiológicos nos permitam acompanhar a evolução dos processos no interior da massa de resíduo e a análise estatística nos auxilie no entendimento das inter-relações existentes entre os parâmetros estudados.

A composição gravimétrica dos RSU da cidade de Campina Grande/PB é uma importante ferramenta para interpretação dos resultados, pois ela expressa em percentual a presença de cada componente em relação ao peso total da amostra de resíduo. A Figura 23 ilustra a composição gravimétrica da cidade de Campina Grande/PB.

**Figura 23 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande-PB**



Para melhor entendimento do comportamento dos fungos e seus principais parâmetros de influência na massa de resíduo, a matéria orgânica se revela como um dos principais componentes, dando condições para a atividade fúngica se manter sempre ativa dentro do biorreator, enquanto ela existir.

A maior parte dos resíduos recolhidos da cidade de Campina Grande/PB é composta por matéria orgânica (66%), índice este que demonstrou percentual maior que a média nacional (60%). Este elevado percentual pode indicar um baixo desenvolvimento econômico da região, já que os grandes centros urbanos apresentam percentuais menores de matéria orgânica (ARAÚJO, 2011).

Por outro lado, esse índice elevado de matéria orgânica pode indicar uma população que se alimenta mais de frutas, legumes e produtos naturais, representando uma população com hábitos alimentares mais saudáveis e uma melhor qualidade de vida (ALVES, 2012).

## **4.1 Parâmetros Físicos e Físico-Químicos**

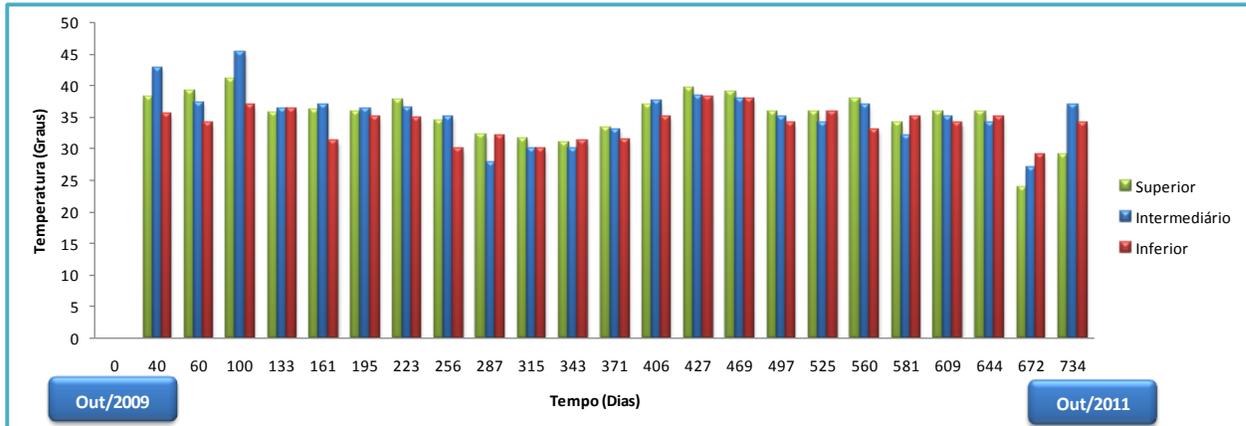
### **4.1.1 Temperatura**

Um dos parâmetros físicos de maior importância, que interfere diretamente nos processos biológicos, influenciando na atividade microbiológica, assim como na dos fungos que também exigem faixas ótimas de degradação para diferentes espécies.

Para realizar as medições da temperatura por profundidade, foram coletados dados de três termopares instalados ao longo da massa de lixo, onde foram identificados como: Superior (-0,5m), Intermediário (-1,0m) e Inferior (-2,0m).

A Figura 24 apresenta os dados de temperatura no decorrer da pesquisa em função das diferentes profundidades

**Figura 24 - Temperatura nas diferentes profundidades em função do tempo**



Nos 100 primeiros dias de monitoramento do lisímetro a temperatura se apresentou elevada em todas as profundidades, variando entre 34°C a 45°C. Este fato assemelha-se as temperaturas iniciais em aterros sanitários em escala real, justificando neste período uma elevada atividade dos micro-organismos. Os fungos, por exemplo, variaram numa escala de  $10^7$  a  $10^8$  no início do processo.

As temperaturas máximas foram encontradas depois dos 40 dias, logo após a disposição dos resíduos na célula experimental. Essas elevadas temperaturas podem ser justificadas pelo fato que no início do processo, existe uma grande quantidade de oxigênio no interior da massa de resíduo que possibilita a degradação de diversos componentes pelos micro-organismos aeróbios, resultando na liberação de calor durante a degradação da matéria orgânica.

Com o passar dos dias essa temperatura oscilou entre 30°C a 37°C, esta faixa de temperatura coincide com a faixa ideal dos micro-organismos mesofílicos (35°C a 38°C), o que pode indicar uma maior ação desses grupos de seres vivos durante o processo de degradação da matéria orgânica. Após essas oscilações, a temperatura foi diminuindo gradativamente, justificando-se pelo período chuvoso a partir dos 256 dias.

Após os 223 dias observou-se um recalque significativo na camada superior do lisímetro, com isso essa camada aproximou-se da camada intermediária, apresentando assim temperaturas muito parecidas durante monitoramento.

O nível superior (-0,5m) apresentou variação de temperatura de 24°C a 41°C, seu decréscimo foi lento e suas oscilações podem ser justificadas por ter sido a camada que mais teve trocas de calor com a temperatura externa.

A camada intermediária (-1,00m) e inferior (-0,5m) por concentrarem maior quantidade de nutrientes devido à percolação do lixiviado e do líquido das precipitações que infiltram pelas rupturas da camada superior, possuem as temperaturas mais elevadas, pois nelas que se encontram a maior quantidade de micro-organismos, a exemplo dos fungos que tiveram presença significativa durante todos os dias monitorados nessas camadas.

O que fez as temperaturas apresentarem mudanças e diminuírem com o passar do tempo, pode ter sido as intervenções com o ambiente externo (umidade do ar, temperatura ambiente e as precipitações nos períodos de chuva).

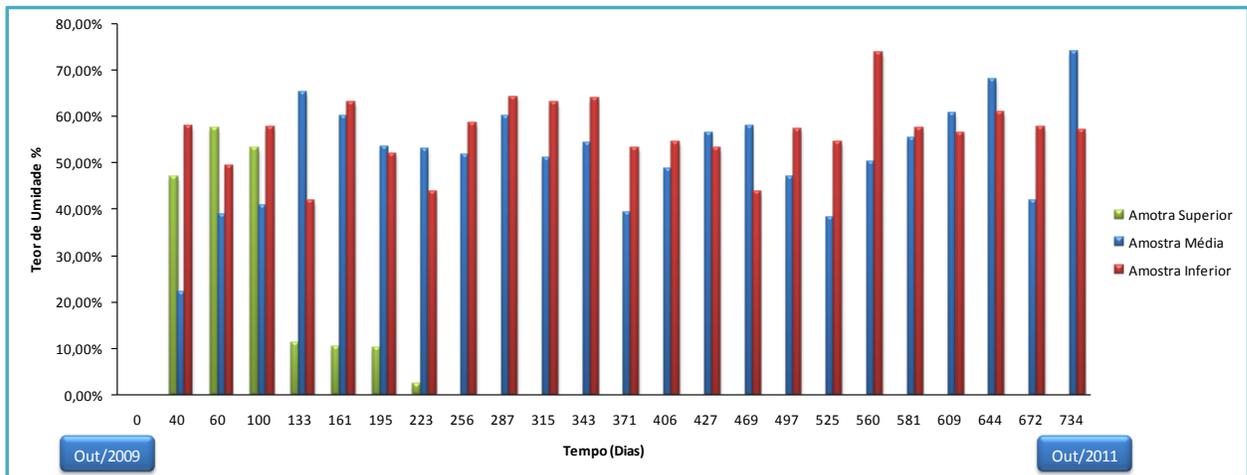
As mudanças de temperaturas aqui apresentadas pareceu não influenciar negativamente no comportamento fúngico, notou-se que esses micro-organismos adaptaram-se a essas mudanças. Diferente das bactérias os fungos são mais resistentes a situações adversas, a exemplo da sua faixa ótima de temperatura que possui uma larga escala, onde certos fungos podem sobreviver até em altas temperaturas, justificando assim a presença deles em todas as profundidades durante todo o monitoramento da célula experimental.

#### **4.1.2 Teor de Umidade**

Vários fatores podem influenciar no percentual de teor de umidade no interior de uma célula experimental, como: as estações do ano, condições meteorológicas de cada região, frequência de chuvas como também a composição gravimétrica de cada lugar estudado.

A Figura 25 mostra os resultados de teor de umidade obtidos na célula experimental.

**Figura 25 – Teor de umidade nas diferentes profundidades em função do tempo**



Como ilustrado na Figura 25, não houve resultado de teor de umidade no tempo zero, isso se deu, pois houve problemas operacionais e ajustes de metodologias durante a fase de caracterização dos resíduos.

Os valores de teor de umidade durante o monitoramento da célula experimental não apresentaram grandes oscilações comparado os níveis intermediários e inferiores. Já o nível superior por ter tido trocas de umidade e calor com o ar atmosférico, propiciou uma redução significativa no teor de umidade.

Valores mais elevados nas profundidades intermediárias e inferiores podem ser explicados pelos líquidos lixiviados tender a se acumularem nessas camadas. O grande percentual de matéria orgânica apresentado na composição gravimétrica deste estudo também é um fator que pode explicar altos valores de umidade dentro do lisímetro.

Após 223 dias foi observada uma grande quantidade de solos nas amostras, esse fato ocorreu devido ao recalque sofrido, com isso não foi mais possível realizar amostras do nível superior.

A camada superior apresentou uma brusca queda após os 100 dias decorridos de monitoramento, isso pode ter sido ocasionado pela falta de matéria orgânica existente na camada superior que sofreu recalque no início do processo, resultando em mais solo do que matéria orgânica que confere teor de umidade ao meio.

Os valores de teor de umidade encontrados nos níveis intermediários (22% a 74%) são propícios ao desenvolvimento de micro-organismos como os fungos, já que

segundo (Palmisano & Barlaz, 1996) a faixa de umidade ideal para degradação biológica varia entre 20% a 40%. Já nos níveis inferiores (43% a 73%) os valores encontrados foram maiores que a faixa ótima sugerida pelos autores citados acima, porém a presença desses organismos nos níveis inferiores não foi intimidada por este fator, mostrando-se bastante satisfatória durante todo período monitorado.

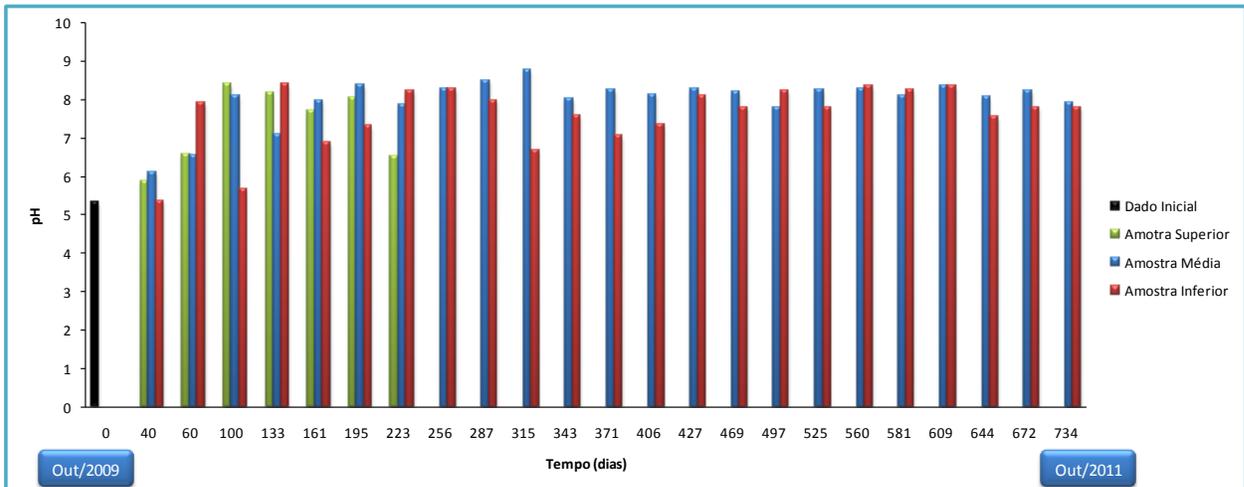
A produção de líquidos lixiviados dentro da massa de resíduo também pode ter ficado acumulada nos diferentes níveis de profundidades, não conseguindo percolar até o sistema de drenagem, fazendo com que os valores de umidade estabilizassem no decorrer dos dias.

#### **4.1.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)**

De acordo com Meira (2009) *apud* Alcântara (2007), a quantificação dos valores de pH em processos de tratamento biológico, como aterros de RSU, permite analisar preliminarmente a atuação do processo de digestão anaeróbia, pois a variação desse parâmetro na massa de resíduos aterrados ou no lixiviado gerado está associada às etapas de degradação em aterros sanitários.

O pH inicial do lisímetro em estudo foi de aproximadamente 5,5 (Figura 26) este valor indica um meio ligeiramente ácido. Segundo Ribeiro (2012) *apud* Castilhos JR (2003) esta redução de pH logo na fase inicial deve-se a ação das bactérias acidogênicas, na qual liberam rapidamente concentrações de ácido láctico, amônia e ácidos graxos voláteis em maior quantidade, conferindo ao meio pH abaixo da neutralidade.

**Figura 26 – pH nas diferentes profundidades em função do tempo**



Na leitura referente a (t=60) dias de monitoramento, o pH do nível inferior apresentou um acréscimo considerável, alcançando valor próximo de 8, esses altos valores de pH no período 60-100 dias podem indicar que a célula experimental passou da fase de hidrólise para as seguintes fases de degradação da matéria orgânica, como a acidogênese e/ou acetogênese.

No decorrer dos 100 dias até o final do monitoramento os valores mantiveram valores sempre acima da neutralidade, alguns alcançando valores próximos de 9 (315 dias).

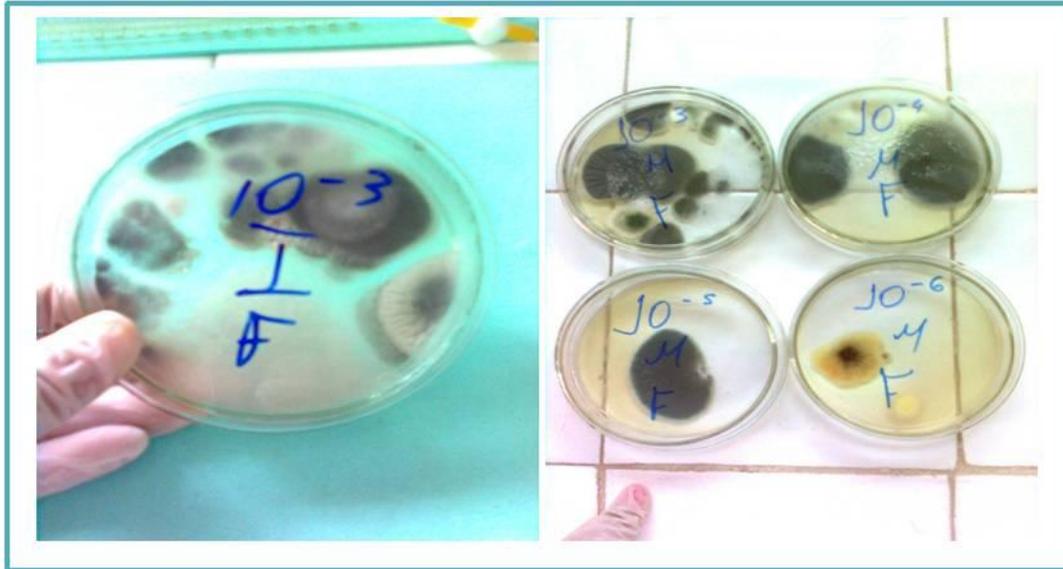
Como os fungos permaneceram sempre na mesma ordem de grandeza, isso vem a corroborar com a ideia que esses micro-organismos se adaptam muito fácil as diversas situações existentes dentro da massa de resíduo. Apesar do pH mais favorável para esses micro-organismos estar em torno de 5 a 7, a maioria deles toleram amplas variações podendo crescer entre a faixa de 1,5 a 11, justificando a presença deles em todos os dias monitorados.

## 4.2 Fungos

Os micro-organismos presentes em uma célula experimental podem representar a evolução do processo biodegradativo. Sendo assim, o número de micro-organismos pode indicar a fase em que se encontra o aterro de resíduos sólidos.

Na Figura 27 pode-se observar as colônias de fungos que se transformaram na placa de petri após cinco dias na estufa à 35°C.

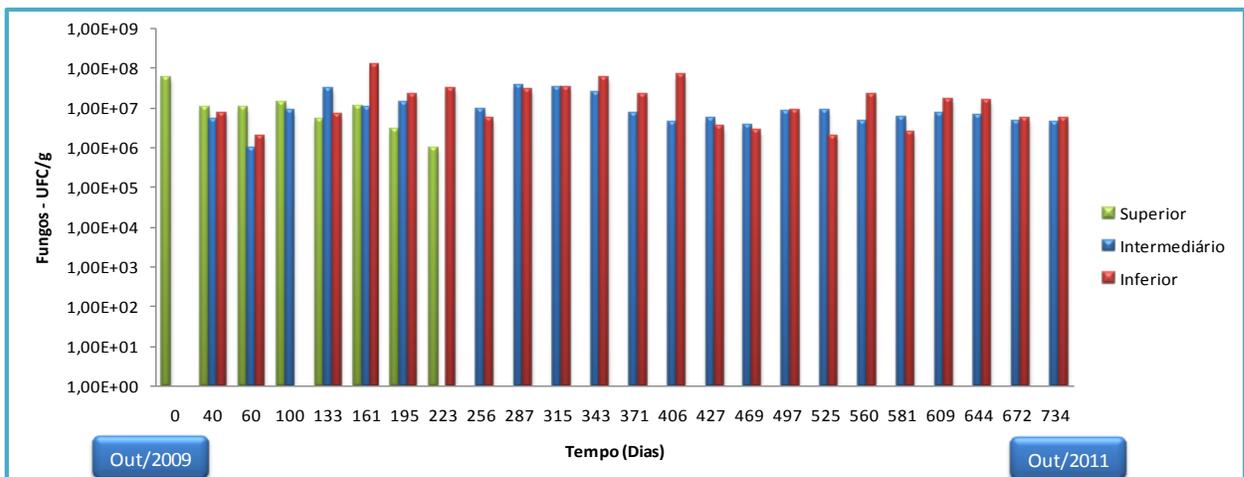
**Figura 27 – Colônias de fungos**



Fonte: Arquivo da Pesquisa, 2009

Durante o tempo de monitoramento dos fungos, foi possível observar que esses micro-organismos estiveram presentes em todas as profundidades durante os dois anos de monitoramento (Figura 28), variando discretamente sua ordem de grandeza ( $10^6$  -  $10^7$ ).

**Figura 28 – Fungos nas diferentes profundidades em função do tempo**



Segundo Tortora (2000), os fungos são organismos eucarióticos, quimio-heterotróficos onde necessitam de vários componentes orgânicos para energia e fonte de carbono. Na sua maioria eles são organismos aeróbios, entretanto existem espécies anaeróbias facultativas que se reproduzem por esporos, maneira de reprodução ou de resistência a agressões/estresse externos. A presença significativa das colônias fungicas dentro da massa de resíduo pode ser explicado por este fato que os fungos conseguem sobreviver nos mais diversos meios, até mesmo quando este apresenta condições adversas para o seu desenvolvimento.

Os parâmetros de influência no desenvolvimento dos fungos principalmente temperatura e teor de umidade se apresentaram sempre favoráveis para o desenvolvimento desses organismos. No interior da célula além dos parâmetros facilitarem seu desenvolvimento, o teor de umidade elevado promoveu o carreamento de ar e nutrientes, favorecendo os fungos aeróbios, por este motivo que possivelmente eles apareceram em todas as profundidades.

O expressivo percentual de matéria orgânica (66%) também foi um fator positivo para o desenvolvimento dos fungos, além de proporcionar uma grande quantidade de água e alimento na massa de resíduo, o material orgânico é rico em celulose, onde é hidrolisada por esses organismos que secretam enzimas para futuramente degradá-las e ser absorvidas.

Após 223 dias foi observada uma grande quantidade de solos nas amostras, esse fato ocorreu devido ao recalque sofrido, com isso não foi mais possível realizar amostras do nível superior.

Em algumas coletas observaram-se mais fungos no nível inferior do que no nível médio, isso pode ter ocorrido em virtude da alta temperatura na porção inferior e também da maior umidade, já que em porções inferiores há menor possibilidade de evaporação de líquidos.

Como o lisímetro estudado tem profundidade apenas de 3 metros, isso não permite uma barreira ao crescimento dos fungos, por serem organismos aeróbios na sua grande maioria, profundidades maiores poderiam dificultar o crescimento fúngico.

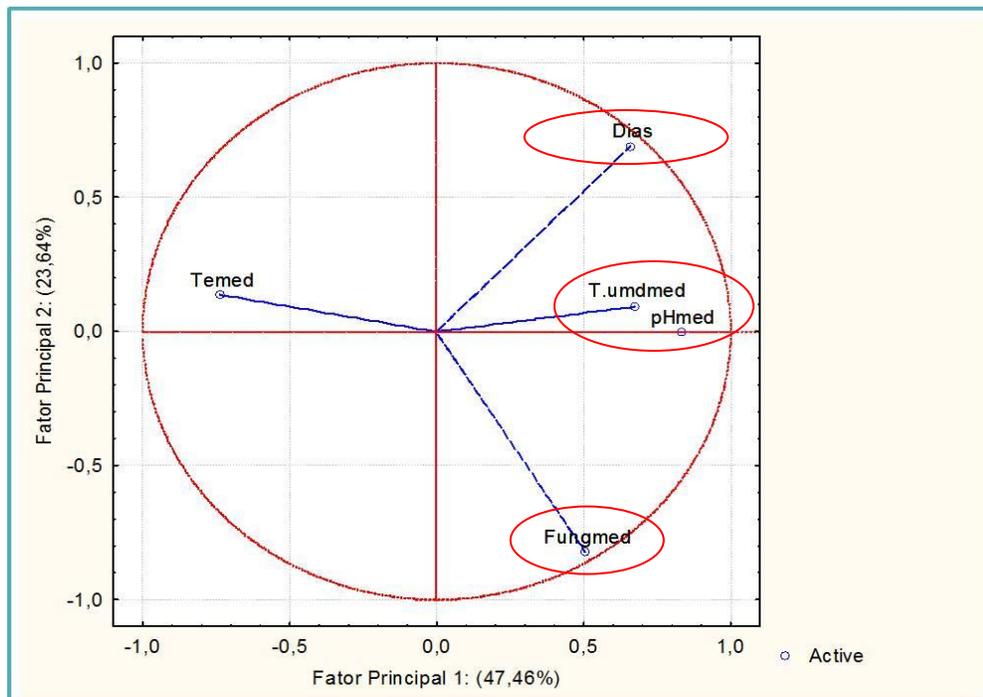


A Figura 30 representa o nível de explicação da variabilidade do processo de 71,10%. Neste gráfico o fator principal 1 apresenta 47,46% de correlação positiva dos fungos com o pH, o teor de umidade e os dias. Diferente do nível superior a temperatura nesta profundidade não apresentou boa correlação com os fungos, indicando que as flutuações de valores deste parâmetro não interferiram negativamente no desenvolvimento das colônias fúngicas, tendo em vista que elas se mantiveram presentes no nível intermediário com ordens de grandeza satisfatória durante os dias monitorados.

O teor de umidade novamente demonstrou boa correlação com os fungos, provando ser um dos principais fatores no desenvolvimento desses micro-organismos no processo de biodegradação.

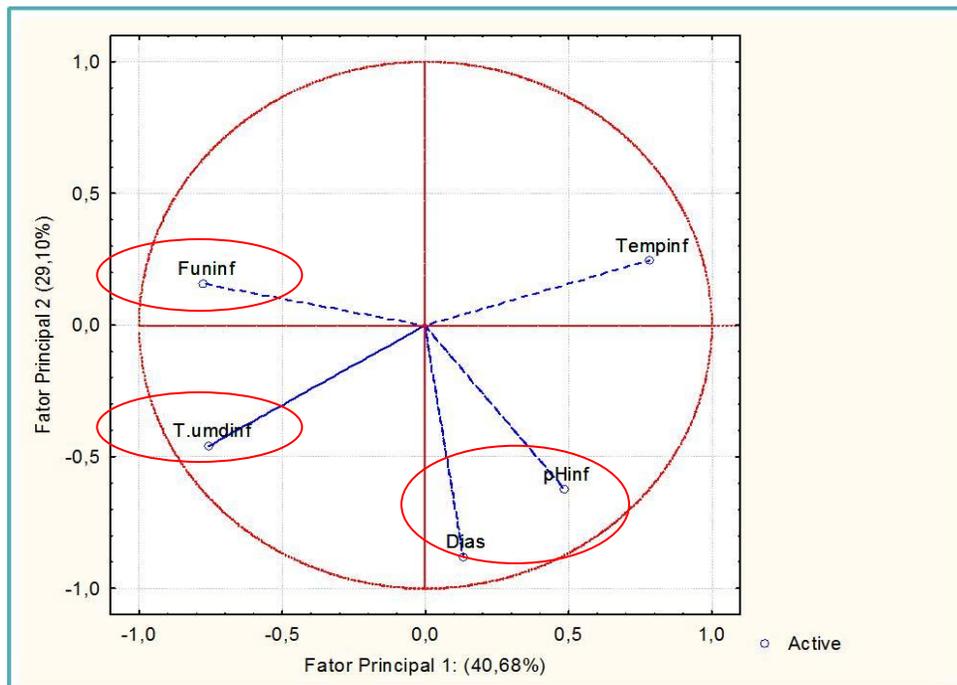
No nível intermediário o gráfico da ACP também mostra que ao passar dos dias o pH e a umidade no interior da massa de resíduo possui uma correlação de mesmo sentido. Com o decorrer dos dias, tanto o pH como o teor de umidade foram elevando seus valores logo no início de disposição do lixo e após alguns dias seus valores tenderam a se manter constantes (com o teor de umidade apresentando alguns picos em determinados períodos).

**Figura 30 - Análise dos componentes principais do nível intermediário**



A Figura 31 apresenta o nível de explicação da variabilidade do processo 69,78% (Figura 31). O fator principal 1 revelou uma correlação positiva de 40,68% entre os fungos e o teor de umidade, resultado que se repetiu nas três profundidades estudadas. A temperatura novamente mostrou correlação baixa com os fungos, segundo o fator principal 2 ela representou 29,10% de correlação positiva entre elas.

**Figura 31 - Análise dos componentes principais do nível inferior**



Esta variação pode ser justificada pela heterogeneidade dos resíduos, tendo em vista que as análises eram feitas através de amostras pequenas retiradas da célula experimental, o que pode não ter sido representativo o suficiente para demonstrar as reais interações dentro da massa de resíduo.

Nas 3 profundidades o parâmetro pH apresentou sempre boas correlações com os dias, esse comportamento semelhante nos diferentes níveis se deu pela concentração do pH que tende a aumentar com o passar do tempo, este fato ocorre devido o processo de biodegradação dentro das células experimentais.

## 5 CONCLUSÕES

- ✓ Conclui-se que os resultados dos parâmetros físicos e físico-químicos obtidos nessa pesquisa se mostraram de modo geral satisfatório para o desenvolvimento dos fungos;
- ✓ Os resíduos por conter uma grande quantidade de substâncias energéticas, e por ter oferecido, alimento e abrigo, propiciou para que estes organismos permanecessem por todo tempo de monitoramento na célula experimental.
- ✓ Por serem, organismos vivos muito resistentes a agressões do meio, os fungos perduraram sua existência na célula experimental, isso aconteceu por que eles são micro-organismos esporógenos, onde mesmo com um possível ambiente adverso, permaneceram nos resíduos.
- ✓ Mesmo com variações nos valores dos parâmetros essenciais para o desenvolvimento dos fungos, esses organismos perduraram na massa de resíduo, contribuindo positivamente para a biodegradação dos resíduos sólidos urbanos;
- ✓ A composição gravimétrica dos resíduos provenientes da cidade de Campina Grande/PB, teve influência positiva com o percentual de 66% de matéria orgânica, esta alta porcentagem contribuiu para uma maior presença dos micro-organismos biodegradativos em todas as profundidades;
- ✓ Apesar da temperatura interna do lisímetro ter oscilado em alguns períodos e a temperatura externa ter influenciado, ela se manteve em faixas propícias para o desenvolvimento dos fungos;
- ✓ O teor de umidade esteve sempre com valores favoráveis, porém em alguns períodos apresentou teores acima do ideal para degradação biológica, com tudo este fato não intimidou o crescimento dos fungos.
- ✓ O pH se comportou semelhante com os em aterros de escala real, inicialmente com valores ligeiramente ácidos e depois com a mudança das fases de biodegradação apresentou valores neutros e alcalinos;
- ✓ A camada superior do lisímetro por apresentar fissuras, pode ter influenciado nos resultados, pois a mesma possibilitou a infiltração de água e oxigênio nos

períodos chuvosos, oferecendo condições favoráveis de desenvolvimento dos micro-organismos.

- ✓ A análise em componentes principais (ACP) relacionou os parâmetros físicos, físico-químicos, fungos e dias nas diferentes profundidades, em todas elas o teor de umidade foi o parâmetro que mais se correlacionou positivamente com os fungos, confirmando sua importância no desenvolvimento desses organismos;
- ✓ Pode-se concluir que estes micro-organismos são de fundamental importância para a biodegradação dos resíduos sólidos urbanos, pois são capazes de transformar os compostos complexos presentes na massa dos resíduos sólidos urbanos em compostos mais simples para serem assimilados por outros micro-organismos, contribuindo positivamente para redução da massa de lixo.

## REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas): NBR 8.149. **Apresentação de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos**. 1992.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas): NBR 10004. **Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004<sup>a</sup>. 74p.

\_\_\_\_\_. **NBR 6457**: Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986a. 9 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 10007**: Resíduos Sólidos – amostragem de resíduos. Rio de Janeiro, 2004c. 21p.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2012.

ABREU, E.F. **Estudo da diversidade microbiana metanogênica em reatores UASB tratando esgoto sanitário**. 2007. 93p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, [2007].

ALCÂNTARA, P.B. **Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados**. Tese de Doutorado. UFPE. 2007.

ALVES, F.S. **Influência das condições meteorológicas na biodegradação dos resíduos sólidos urbanos em Campina Grande – PB**. 2012. 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, [2012].

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 th edition. Washington: APHA, 1998. 1203p.

ARAÚJO, E.P. **Estudo do comportamento de bactérias aeróbias e anaeróbias totais na biodegradabilidade de resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande – PB**. 116p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, [2011].

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

BIDONE, F.R.A., POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. 1999. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo – USP.

CARVALHO, M. N. “**Estudo da biorremediação *in situ* para tratamento de solos e aquíferos contaminado com percolado de chorume**”. 1997. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, [1997].

- CASTILHOS JR, A. B. **Resíduos sólidos urbanos: Aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Projeto PROSAB - RIMA, ABES. Rio de Janeiro. 2003.
- COMPAM. Comércio de Papéis e Aparas Mooca Ltda. **O que é resíduo?**. Disponível em: <<http://www.compam.com.br/residuo.htm>>. Acessado em: Setembro de 2014.
- COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blucher, 1978. 264p.
- FUNGOS. Disponível em: <<http://www.montana.com.br/Guia-da-Madeira/Tratamento/Agentes-Biodeterioradores/Fungos>>. Acesso em: 16 de Agosto de 2014.
- GADELHA, E. P., 2005. **Avaliação de inóculos Metanogênicos na aceleração do processo de degradação da fração orgânica de Resíduos sólidos urbanos**. Brasília – DF, UnB. Dissertação de Mestrado.
- HIRSCH, A. K.; VERA, R. A.; BRIONES, M. E. **Estudio a escala de laboratorio para la determinación de los parámetros hidrológicos óptimos para la generación de metano en rellenos sanitarios en Chile**. Universidad Católica de Valparaíso. Escuela de Ingeniería en Construcción. 2002.
- HOUAISS, A. **Dicionário de Língua Portuguesa**. Editora Objetiva Ltda. (2001).
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. IBGE, Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais. 2000.
- KAPAZ, E. **“Política Nacional de Resíduos – Relatório Preliminar.”** 2001.
- LEITE, H.E.A.S. **Estudo do comportamento de aterros de RSU em um bioreator em escala experimental na cidade de Campina Grande – PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, [2008].
- LEITE, V. D. **Origem e composição dos Resíduos Sólidos**. Trabalho Monográfico apresentado para obtenção do título de professor titular da UEPB. Campina Grande. 1998.
- MANASSERO, M.; VAN IMPE, W. F.; BOUAZZA, A. **Waste disposal and containment**. 1996. pp. 1425–1474. Proc. 2nd International Congress on Environmental Geotechnics, Osaka, Japao. Balkema, v. 3.
- MEIRA, R.C. **Estudo biodegradativo dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande – PB em escala experimental**. 2009.113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, [2009].

MELO, M.C. **Influência da matéria orgânica dos resíduos sólidos urbanos nos recalques de uma célula experimental**. 2010. Tese (Exame de qualificação geral de doutorado) – Universidade federal de Campina Grande, [2010].

MELO, M.C. **Uma análise de recalques associada a biodegradação no aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca**. Dissertação de Mestrado, UFPE, 2003.

METABOLISMO DOS FUNGOS. Disponível em:

<<http://professor.ucg.br/siteDocente/admin/arquivosUpload/3909/material/METABOLISMODOSFUNGOS.pdf>>. Acesso em: 16 de Agosto de 2014.

MONTEIRO, V.E.D.; JUCÁ, J.F.T. **Recalques em aterros de resíduos sólidos urbanos associados às condições climáticas, aspectos mecânicos e biodegradativos**. Solos e Rochas, v. 29, 2006. São Paulo.

PAIVA, W. **Aplicação da estatística para descrever o comportamento de um solo expansivo**. Tese de doutorado. UFPE. 2009.

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

PELCZAR JR, M. J. **Microbiologia: conceitos e aplicações**. 1996. Volume II, 2ª ed. São Paulo: Makron Books.

PEREIRA, F. T. G.; LEITE, H. E. A.; GARCEZ, L.R.; ARAUJO, E. P.; MELO, M. C.; MONTEIRO, V. E. D. **Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Campina Grande-PB**. In: SINRES-2º Simpósio Nordestino de Resíduos Sólidos. 2010.

POHLAND, F.G.; HARPER, S.R. **Critical review and summary of leachate and gas production from landfills**. Tech Project n. E20 G01. 1985.

RIBEIRO, L.S. **Estudo da degradação dos resíduos sólidos urbanos através dos parâmetros físicos e físico-químicos em um biorreator de escala experimental**. 2012.138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, [2012].

RODRIGUES, W. C. **Estatística Aplicada**. 6a Edição. Revisada e ampliada. 2008. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/53715597/estat-ambiental-2008>. Acesso em: Setembro de 2014.

SILVA, F. V. B. **Avaliação da influência da correção do teor de umidade na degradação anaeróbia de resíduos sólidos urbanos**. 2005. 150p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, [2005].

SRINIVASAN, S.V.; JAYANTHI, S.; SUNDARAJAN, R. **Synergistic effect of Kichen**

**refuse and Domestic sewage in Biogas production.** In: NATIONAL SEMINAR ON ANAEROBIC TECHNOLOGIES FOR WASTE TREATMENT, MADRAS. India, 1997

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., VINIL, S. **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues.** New York: Irwin MacGraw-Hill, 1993. 978 p.

TORTORA, G.J.; FUNKE, B.R.; CASE, C.L. **Microbiologia.** Editora Artimed. 6° ed. Porto Alegre – RS. 2000.

TRABULSI, L. R. *et al.* **Microbiologia.** 2005. 4 ed. São Paulo.

UFSC. **Grupo de processos biotecnológicos.** Fungos. Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos. Disponível em: <[http://enq.ufsc.br/labs/probio/disc\\_eng\\_bioq/trabalhos\\_pos2003/const\\_microorg/fungos.htm](http://enq.ufsc.br/labs/probio/disc_eng_bioq/trabalhos_pos2003/const_microorg/fungos.htm)>. Acessado em: Agosto de 2014.

VERSIANI, B.M. **Desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais tratando esgotos sanitários do campus da UFRJ.** 2005. 78p. Dissertação (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, [2005].

WIKIPÉDIA. Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org/wiki/Estatística>>. Acessado em: 16 de Agosto de 2014.