



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE-UFCC**  
**CENTRO DE TECNOLOGIAS E RECURSOS NATURAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NA BIODEGRADAÇÃO DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM CAMPINA GRANDE-PB**

**FLAVIANO DE SOUZA ALVES**

Campina Grande - PB

Fevereiro de 2012



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE-UFCC**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NA BIODEGRADAÇÃO DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM CAMPINA GRANDE-PB**

**FLAVIANO DE SOUZA ALVES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de concentração: Geotécnica.

**Orientadora: Profa. Dra. Veruschka Escarião Dessoles Monteiro**

Campina Grande - PB

Fevereiro de 2012



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

A474i

Alves, Flaviano de Souza

Influência das condições meteorológicas na biodegradação dos resíduos sólidos urbanos em Campina Grande-PB / Flaviano de Souza Alves. – Campina Grande, 2012.

146 f.: il. col.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.

Orientadora: Profa. Dra. Veruschka Escarião Dessoles Monteiro.

Referências.

1. Aterros Sanitários. 2. Biodegradação. 3. Condições Meteorológicas. 4. Resíduos Sólidos Urbanos. I. Título.

CDU 628.4 (043)

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NA BIODEGRADAÇÃO DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM CAMPINA GRANDE-PB**

**FLAVIANO DE SOUZA ALVES**

Dissertação apresentada e aprovada em 28/02/2012 pela banca examinadora  
constituída dos seguintes membros:



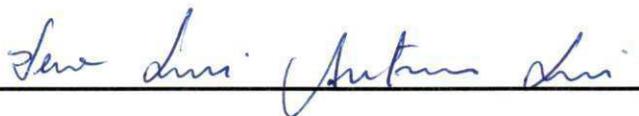
---

Profa. Dr<sup>a</sup>: Veruschka Escarião Dessoles Monteiro - UFCG  
Orientadora



---

Prof. Dr. William de Paiva - UEPB  
Examinador Interno



---

Profa. Dr<sup>a</sup> Vera Lucia Antunes de Lima –(Dep. Eng. Agrícola – UFCG)  
Examinadora Externa



---

Prof. Dr. Marcio Camargo de Melo – UFCG (Campus Cuité – PB)  
Examinador Externo

***“Ele (Deus) ERGUE o pobre do LIXO e  
LEVANTA o necessitado do pó e faz um  
VENCEDOR”***

(Adp. do - Sl 113 - 07 e 08)

## ***Dedicatória***

*Ao TODO PODEROSO DEUS.*

*Aos GRANDES AMORES DE MINHA VIDA  
meus PAIS, **Francisco Alves e Josina Alves.***

*Ao MEU GRANDE IRMÃO **Gustavo Alves** e  
minha querida **Mykarla Alves**: Por serem  
*Inesquecíveis em minha vida.**

## AGRADECIMENTOS

Ao **Deus Glorioso** seja dada toda Honra, Glória, Majestade e Poder por conceder-me mais uma Vitória, A **Jesus Cristo** o “Homem de Branco” que faz por mim o que ninguém pode fazer e ao **Espírito Santo** meu único intercessor e consolador em toda a minha caminhada;

Aos meus pais **Francisco Alves e Josina Alves** a quem são as minhas maiores bênçãos e heranças na vida... Agradeço, também, pelas orações, pelos conselhos, empenho e força para realizar este trabalho e o grande amor dado a mim em todos os momentos de minha vida...amo demais vocês;

A meu amado irmão **Gustavo Alves** e Minha grande cunhada **Mykarla Alves** uma força, um estímulo e base na minha jornada...Inesquecíveis para mim, fazem parte do meu coração;

A tia **Jorisete(Zeta)** e Vovó **Cecília**, agradeço por este convívio maravilhoso durante o qual, em todos os momentos, transmitiram mensagens de incentivo, apoio e coragem para elaboração deste trabalho;

A todos os meus **familiares e amigos** que indiretamente ou diretamente estiveram ou estão ao meu lado nas horas de tristezas e lutas, alegrias e vitórias, vocês são fundamentais;

A minha orientadora, **Dra.: Veruschka Escarião Dessoles Monteiro**, que sempre me apoiou e me transmitiu segurança, incentivo e compreensão, agradeço pelas orientações, discussões enriquecedoras, paciência e a amizade construída durante a realização deste trabalho, contribuindo na minha formação acadêmica;

A todos os meus colegas do **Grupo de Geotécnica Ambiental (GGA)** em especial ao “quarteto mágico” Elaine Araujo, Libânia e Alessandra e aos amigos: Leonardo (Leozinho), Amanda Torquato, Ewerton, Sílvio Júnior, Tales, Raliny e Cláudio pela amizade e ajuda nos momentos difíceis (enchimento da célula experimental, coletas, viagens, provas, artigos, ensaios no laboratório). Quem encontra um amigo verdadeiro encontra um tesouro! Também gostaria de agradecer a Rômulo Caribé pela ajuda durante os trabalhos práticos e medições...Muito Obrigado!.

Ao professor **William de Paiva**, pela paciência, dedicação, auxílio, conhecimento e exemplo durante todo esse tempo de aprendizagem...Muito Obrigado!

Ao professor **Marcio Camargo** por todo esse convívio e conhecimento transmitido, foram fundamentais para minha formação...Muito Obrigado!

A todos os professores que contribuíram para enriquecimento da minha formação acadêmica e a professora **Vera Lucia Antunes** pelos ensinamentos transmitidos e a todos aqueles que estiveram como banca examinadora.

As funcionárias das secretarias de Graduação e Pós-Graduação de Engenharia Civil **Maria José** e a **Josete** pela paciência e atenção e pelos tramites dos processos e dos recursos PROAP e ao funcionário **Francisco**, o Tikinho e ao nosso Grande **Netinho** nosso técnico de laboratório por todas as contribuições;

À Professora Janete Magali da Universidade Federal de Pernambuco/UFPE na pessoa de **Elaine Patrícia Araujo** por disponibilizar dados de anaeróbios e aeróbios e os equipamentos necessários para realização da pesquisa de anaeróbios totais, pesquisa esta de fundamental importância para o desenvolvimento desta dissertação

A **Prefeitura Municipal de Campina Grande-PB** pela disponibilização dos equipamentos fundamentais para o enchimento da nossa célula.

A **EXTRABES** (Núcleo de Pesquisa da UFCG e UEPB) equipamentos e ensaios realizados, pela realização dos ensaios dos óleos e por ser parceira desta pesquisa.

Ao **CNPq** pelo apoio financeiro para a construção da célula e compra de equipamentos importantes para esta pesquisa. A Capes pela bolsa concedida.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental nas pessoas dos professores **Milton Bezerra das Chagas Filho** e ao Coordenador da área de Geotecnia **John Kennedy Guedes Rodrigues** pelo apoio na execução da pesquisa.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a elaboração deste trabalho. Muito Obrigado.

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 01: Subúrbio dos Estados Unidos.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 02:Usina Termelétrica na Inglaterra.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 03: Geração de Resíduos sólidos no Brasil.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 04:Destinação Final dos RSU na Paraíba.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 05: Projetos Energéticos.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 06 : Resíduos Perigosos.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 07 : Resíduos domésticos.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 08: Resíduos da Construção e demolição (RCD).....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 09 : Lixão.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 10 : Estrutura de um aterro Controlado.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 11: Estrutura de um aterro Sanitário.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 12 :Desenho esquemático de um aterro sanitário.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 13: Posição da Meteorologia e Climatologia dentro do Campo Científico.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 14: Planta baixa de uma Estação Meteorológica Principal e Respectivos instrumentos.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 15: Estação Digital e Instrumentos Meteorológicos.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 16: Abrigo de instrumentos meteorológicos usados em estações convencionais.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 17: Esquema de um termômetro Convencional de mercúrio em Vidro.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 18: Termógrafos bimetalico(esquerda), de tubo de Bourdon(centro) e de mercúrio em aço (direita), todos sem a tampa protetora.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 19: Psicrômetro de funda(esquerda); psicrômetro Assmann (direita).....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 20: Higrográfo.....</b>	<b>55</b>

<b>Figura 21: Anemógrafo e anemômetro.....</b>	<b>56</b>
<b>Figuras 22 e 23: A) Pluviômetro Ville de Paris e B) Proveta Pluviométrica.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 24: Tanque Evaporímetro “Classe A” instalado.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 25: Poço tranqüilizador.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 26: Micrômetro para leitura do tanque Evaporímetro Classe A.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 27: Atmômetro de Piche.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 28: Fluxograma etapas da Pesquisa(Geral).....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 29: Mapa da Paraíba - PB.....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 30: Localização geográfica do município de Campina Grande -PB.....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 31: Célula Experimental - UFCG.....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 32: Croqui da célula experimental - UFCG.....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 33: Piezômetro para o monitoramento do nível de líquidos.....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 34: Termopares do tipo K e termômetro elétrico.....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 35: Medidores de recalques superficiais e em profundidade.....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 36: Tubo para drenagem de gases.....</b>	<b>88</b>
<b>Figura 37: Pontos de coleta das amostras.....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 38: Bairros da cidade de Campina Grande - PB que foram utilizados para amostragem da pesquisa.....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 39: Procedimentos para determinação da composição gravimétrica dos RSU.....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 40: Enchimento da célula Experimental.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 41: Termômetro de Mercúrio.....</b>	<b>94</b>
<b>Figura 42: Termômetro digital.....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 43: Termopares.....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 44: Orifícios laterais (detalhes).....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 45: Amostrador(Trado helicoidal).....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 46: Ensaio para Aeróbios Totais.....</b>	<b>99</b>

<b>Figura 47: Ensaio para Anaeróbios Totais.....</b>	<b>101</b>
<b>Figura 48: Ensaio para Teor de Umidade.....</b>	<b>102</b>
<b>Figura 49: Estação Meteorológica.....</b>	<b>103</b>
<b>Figura 50: Abrigo Meteorológico.....</b>	<b>104</b>
<b>Figura 51: Psicrômetro e Higrógrafo.....</b>	<b>105</b>
<b>Figura 52: Pluviômetro.....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 53: Tanque Evaporimétrico Classe A.....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 54: Evaporímetro de Piche.....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 55: Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande-PB.....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 56: Variação da Umidade Relativa do ar.....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 57: Teor de Umidade.....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 58: Contagem de Bactérias aeróbias.....</b>	<b>114</b>
<b>Figura 59: Contagem de Bactérias anaeróbias.....</b>	<b>116</b>
<b>Figura 60: Temperatura Ambiente versus Precipitação e Evaporação.....</b>	<b>118</b>
<b>Figura 61: Temperatura interna em função dos dias da Célula Experimental.....</b>	<b>120</b>
<b>Figura 62: Temperatura Interna em função da Profundidade da Célula Experimental.....</b>	<b>121</b>
<b>Figura 63: Dados meteorológicos de Campina Grande - PB.....</b>	<b>124</b>
<b>Figura 64: Histograma de Temperatura Ambiente apresentando a normalidade dos resultados.....</b>	<b>129</b>
<b>Figura 65: Histograma de Temperatura Interna apresentando a normalidade dos resultados.....</b>	<b>129</b>
<b>Figura 66: Histograma dos Aeróbios apresentando a normalidade dos resultados.....</b>	<b>130</b>
<b>Figura 67: Histograma da Precipitação apresentando a normalidade dos resultados.....</b>	<b>130</b>
<b>Figura 68: Análise de Componentes Principais dos dados.....</b>	<b>132</b>

**Figura 69: Dendograma mostrando as distâncias Euclidianas entre as variáveis.....134**

## **INDICE DE QUADROS**

<b>Quadro 1: Classificação dos aterros por porte.....</b>	<b>39</b>
<b>Quadro 2: Critérios de restrições legais.....</b>	<b>40</b>
<b>Quadro 3: Características ambientais a considerar na seleção de áreas.....</b>	<b>41</b>
<b>Quadro 4: Características Operacionais.....</b>	<b>42</b>
<b>Quadro 5: Análise estatística dos dados.....</b>	<b>126</b>
<b>Quadro 6: Dados da Matriz de Correlação.....</b>	<b>131</b>

## **INDICE DE TABELAS**

<b>Tabela 1: Quantidades de municípios por destinação final de RSU.....</b>	<b>27</b>
<b>Tabela 2: Quantidade de resíduos produzidos na Paraíba.....</b>	<b>28</b>
<b>Tabela 3: Equipamentos para estações meteorológicas de superfície.....</b>	<b>51</b>
<b>Tabela 4: Fatores de influencia na geração de biogás e lixiviado.....</b>	<b>73</b>
<b>Tabela 5: Teste de Kolmogorof-Smirnov.....</b>	<b>128</b>

## INDICE DE FLUXOGRAMA, EQUAÇÃO E SOFTWARES

### FLUXOGRAMA

Figura 29: Etapas da Pesquisa.....79

### EQUAÇÃO

Equação 1: Teor de Umidade.....102

### SOFTWARES UTILIZADOS

- ADOBE PHOTOSHOP versão 8.0 (*Fotos e imagens*)
  - EXCEL 2007 (*Gráficos e tabelas*)
  - COREL DRAW versão 9.0 (*Fotos e imagens*)
  - STATISTICA FOR WINDOWS 7.0
  - SPSS FOR WINDOWS 13
  - R. 2. 12.1.
- } *Parte Estatística (Matriz de  
Correlação, ACP, Histogramas e  
Dendogramas)*

## **LISTAS DE ABREVIATURAS**

**ABES** – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ABRELPE** – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

**ACP** – Análise de Componentes Principais

**As'** - Clima Tropical Quente e úmido

**Aw'i** -Clima Tropical Semi úmido

**BsH** – Clima Semi Árido

**CEMPRE**- Compromisso Empresarial Reciclagem

**CMM** – Centros Meteorológicos Mundiais

**CMN** - Centros Meteorológicos Nacionais

**CMR** – Centros Meteorológicos Regionais

**CPTEC** – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

**DBO** – Demanda Bioquímica de Oxigênio

**DLU** – Departamento de Limpeza Urbana

**DQO** – Demanda Química de Oxigênio

**EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**EXTRABES** – Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários

**GGA** – Grupo de Geotecnia Ambiental

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**INPE** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**IPCC** - Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas

**IPT** – Instituto de pesquisas tecnológicas

**NBR** – Normas Técnicas Brasileiras

**NMP** – Número Mais Provável

**OMI** – Organização Meteorológica Internacional

**OMM** – Organização Meteorológica Mundial

**PCA** – Agar Contagem de Placa

**Ph** – Potencial hidrogeniônico

**PNRS** – Política Nacional de Resíduos Sólidos

**PVC** - Policloreto de Polivinila

**RCD**- Resíduos da Construção e Demolição

**RSU** – Resíduos Sólidos Urbanos

**SPT**- Ensaio de Penetração Dinâmica

**TDM** – Taxa de Deposição Máxima

**TF**- Tampão Fosfato

**TRD** – Tampão Redutor

**UEPB**- Universidade Estadual da Paraíba

**UFCG** – Universidade Federal de Campina Grande

**UFPE** – Universidade Federal de Pernambuco

## SUMÁRIO

1 . INTRODUÇÃO.....	21
2. OBJETIVOS.....	22
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
3.1 <i>Produção de resíduos sólidos urbanos e o crescimento populacional.....</i>	<i>23</i>
3.2 <i>Meteorologia e Climatologia.....</i>	<i>45</i>
3.3 <i>Condições Meteorológicas.....</i>	<i>60</i>
3.4 <i>Biodegradação x Meteorologia.....</i>	<i>67</i>
3.5 <i>Parâmetros Físicos Químicos.....</i>	<i>71</i>
3.6 <i>Análises Estatísticas.....</i>	<i>75</i>
4. METODOLOGIA.....	79
4.1 <i>Etapas da Pesquisa(Geral).....</i>	<i>79</i>
4.2 <i>Metodologia Específica.....</i>	<i>94</i>
4.3 <i>Análises Físico-Químicas.....</i>	<i>101</i>
4.4 <i>Análises das Condições Meteorológicas.....</i>	<i>103</i>
4.5 <i>Análises Estatísticas.....</i>	<i>107</i>
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	109
5.1 <i>Caracterização da Célula Experimental .....</i>	<i>109</i>
5.2 <i>Caracterização Física e Dados Meteorológicos.....</i>	<i>109</i>
5.3 <i>Análises bacteriológicas e as Condições Meteorológicas.....</i>	<i>114</i>
5.4 <i>Temperatura.....</i>	<i>118</i>
5.5 <i>Resultados Estatísticos.....</i>	<i>125</i>
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	135
7. REFERÊNCIAS.....	139

## RESUMO

No Brasil, em vários municípios, os resíduos sólidos urbanos são dispostos em vazadouros, a céu aberto e muitas das vezes queimados, criando condições insalubres e gerando um ambiente propício para proliferação de vetores (moscas, baratas, mosquitos, roedores); poluindo os solos, cursos d'água e o ar; alterando a qualidade dos elementos que integram a biosfera (litosfera, hidrosfera e atmosfera). Uma das técnicas mais utilizadas é a disposição em aterros sanitários devido seu baixo custo e sua fácil operacionalização. Nos projetos é necessário observar algumas características antes mesmo de sua implantação, como exemplo as condições meteorológicas da região onde este deverá ser construído e aparecem como fator determinante na análise dos diversos parâmetros que regem o comportamento desses aterros, como a geração, tratamento, qualidade e produção do lixiviado, as propriedades físicas, químicas, biológicas, geração de gases, recalques e a temperatura interna dentro dessa massa dos resíduos. É sob esta ótica que o presente trabalho tem como objetivo de analisar como as condições meteorológicas influenciam no comportamento dos resíduos sólidos urbanos em uma célula experimental e seus efeitos nos processos biodegradativos na Cidade de Campina Grande localizada no estado da Paraíba no Nordeste Brasileiro e correlaciona os parâmetros internos e externos à célula. A metodologia da pesquisa realizou-se em duas etapas: uma metodologia geral e uma metodologia específica, como coletas das amostras de resíduos sólidos urbanos, análises de laboratório e as medições "in situ" na célula, como também as medições das condições meteorológicas realizadas na EMBRAPA na estação meteorológica, em seguida os dados foram escritos, validados e correlacionados pela estatística. Os estudos realizados na célula experimental permitiram concluir que: As condições meteorológicas são fatores determinantes para a dinâmica de degradação dos resíduos sólidos urbanos; também ocorreram semelhanças na temperatura ambiente com a temperatura interna na célula isso por não haver isolamento térmico estrito, contudo, as condições meteorológicas não impediram o avanço no processo degradativo, porém se deu de forma rápida comparadas a outras situações distintas; as condições meteorológicas na região do agreste paraibano foram extremamente favoráveis para acelerar os processos de biodegradação dos resíduos na Célula Experimental e com o déficit hídrico existente em toda a região do município de Campina Grande -PB pode-se observar a baixa produção de lixiviado e que os dados meteorológicos coletados e estudados, poderão ser aplicados a estudos em aterros em escala real, em regiões que apresentem características semi áridas pois exprimem as condições reais. Busca-se com esse trabalho auxiliar em decisões em empreendimentos relacionados ao meio ambiente e a construção de aterros em escala real, tornando-se uma ferramenta de estudo para gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos na Paraíba.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aterros Sanitários. Biodegradação. Condições Meteorológicas. Resíduos Sólidos Urbanos.

## ABSTRACT

In Brazil, several municipalities, municipal solid waste are disposed of in dumps, open and often burned, creating unsanitary conditions and creating an environment conducive to proliferation of vectors (flies, cockroaches, mosquitoes, rodents), polluting the soil, waterways and air, changing the quality of the elements that make up the biosphere (lithosphere, hydrosphere and atmosphere). One of the most widely used techniques is the provision in landfills due to its low cost and easy operation. In the projects is necessary to observe some features even before its implementation, such as weather conditions in the region where it should be built and appear as a determining factor in the analysis of various parameters governing the behavior of these landfills, as the generation, treatment, quality and production of leachate, the physical, chemical, biological, gas generation, and repression of temperature within the mass of waste. It is in this light that this study aims to analyze how weather conditions influence the behavior of municipal solid waste in an experimental cell and its effects on biodegradation processes in the city of Campina Grande in the state of Paraíba in Northeast Brazil and correlates parameters within and outside the cell. The research methodology was conducted in two stages: a general methodology and a specific methodology, such as collections of samples of municipal solid waste, laboratory tests and measurements "in situ" in the cell, as well as measurements carried out in the weather EMBRAPA weather station, then the data was written, validated and correlated by the statistic. Studies in experimental cell showed that: The weather conditions are crucial for the dynamics of degradation of municipal solid waste, there were also similarities in temperature with the temperature inside the cell it because there is no strict thermal insulation, however, the conditions weather did not stop the advance in the degradation process, but gave up quickly compared to other different situations, weather conditions in the Agreste region were extremely favorable to accelerate the biodegradation of waste in Experimental Cell and Water deficit exists in throughout the region in Campina Grande-PB can observe the low production of leachate and the meteorological data collected and studied, can be applied to studies on full-scale landfills, in regions with characteristics expressed as semi arid conditions real. The aim is to assist in decisions that work in projects related to environment and the construction of landfills in scale, becoming a case study for management and management of municipal solid waste in Paraíba.

**KEY WORDS:** Landfills. Biodegradation. Weather. Municipal Solid Waste.

## 1 . INTRODUÇÃO

A problemática decorrente dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) produzidos nas grandes cidades abrange vários aspectos, desde sua origem, produção, coleta, tratamento e destino final, assim como as grandes quantidades de resíduos gerados e os conseqüentes problemas sociais, ambientais e de saúde pública. Os problemas ambientais incluem contaminação do solo, da água e do ar. Os problemas sociais envolvem as camadas da população que vivem como catadores nos “lixões”, e deles dependem direta ou indiretamente para sua sobrevivência.

Os resíduos sólidos, como resultado das diversas atividades do homem, têm sofrido um aumento contínuo em sua geração como conseqüência do aumento populacional e da intensidade da industrialização, fatores básicos que regem a origem e a geração de resíduos sólidos nos centros urbanos.

Diante do crescimento populacional constatado, particularmente, no hemisfério sul, acompanhado de um processo desequilibrado de industrialização e modernização, chega-se à conclusão que a quantidade de resíduos sólidos gerados diariamente tende a ser crescente. A excessiva concentração da população nas aglomerações urbanas não só leva a uma incessante produção de resíduos sólidos domiciliares, como também implica na geração de resíduos industriais, que são de difícil manejo. O mesmo ocorre com os resíduos comerciais e dos serviços de saúde (lixo hospitalar), com os resíduos radioativos e os despejos de substâncias químicas perigosas, entre outros.

A disposição em aterros sanitários tem sido umas das técnicas mais utilizadas por vários municípios devido seu baixo custo e sua fácil operacionalização. Nos projetos de aterros sanitários é necessário observar algumas características antes mesmo de sua implantação, como exemplo as condições meteorológicas da área da região onde deverá ser construído o aterro.

Esse estudo das condições meteorológicas aparecem como fator determinante na análise dos diversos parâmetros que regem o comportamento desses aterros, como a geração, tratamento, qualidade e produção do lixiviado, as propriedades físicas, químicas, biológicas, geração de gases, recalques e a temperatura interna dentro dessa massa de resíduos.

Neste sentido, vem-se buscando novas técnicas para aprimorar a disposição e o tratamento destes resíduos. As técnicas de tratamento estão cada vez mais interligadas a

aspectos geotécnicos e biotecnológicos. No intuito de conhecer melhor o funcionamento de aterros de RSU, células experimentais representam uma técnica bastante interessante, pois permitem obter parâmetros para projetos, dimensionamento, construção e monitoramento de aterros.

Além disso, normas técnicas que hoje são muitas vezes inadequadas podem ser reformuladas ou aprimoradas a partir dos estudos desenvolvidos em células experimentais. Nesta nova concepção pode-se ainda monitorar mais facilmente nas fases de degradação dos resíduos e até compreender melhor rotas metabólicas de degradação de produtos orgânicos, uma vez que fica mais fácil conhecer e controlar as condições do meio.

As células experimentais otimizam as condições para decomposição microbiológica e aceleram a estabilização da massa de lixo permitindo a disposição adicional de RSU ou reuso mais rápido do aterro.

## **2. OBJETIVOS**

### ***2.1 Objetivo Geral***

Analisar como as condições meteorológicas da cidade de Campina Grande- PB influenciam no comportamento dos resíduos sólidos urbanos em uma célula experimental e seus efeitos nos processos biodegradativos.

### ***2.2 Objetivos específicos***

- ✓ Caracterizar os dados meteorológicos da área da pesquisa.
- ✓ Identificar quais os parâmetros que contribuem e quais as influências meteorológicas que interferem no processo de biodegradação dos resíduos sólidos;
- ✓ Correlacionar os dados de monitoramento dos parâmetros microbiológicos, teor de umidade e temperatura interna da célula experimental com as condições meteorológicas locais;

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 *Produção de Resíduos Sólidos Urbanos e o Crescimento Populacional*

Existem várias definições para RSU e é conveniente abordá-las para um embasamento maior do trabalho que será aqui estudado.

Interessante definição de resíduos sólidos é a dada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei nº 12.305, 2010), que diz que são: “material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólidos ou semi-sólidos, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviável em face da melhor tecnologia disponível”.

A mesma lei diz que rejeitos são: “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada”.

Talvez esta não seja a melhor definição para rejeitos, já que em um aterro de RSU a matéria orgânica pode ser convertida em biogás, por exemplo, o que pode ser transformado em benefícios econômicos para quem o explora, inclusive, para o poder público.

A definição de RSU pode ser muito importante porque pode até limitar a sua exploração em face da lei.

Segundo a ABNT NBR 10.004 (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. Considera-se também resíduo sólido os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível.

E segundo uma matéria da revista *Veja* (2011) resíduos por definição são algo que as pessoas já não querem, de que têm ojeriza, e por isso pouco se preocupam com o

seu destino. No entanto, os resíduos são fruto do progresso econômico e dos avanços da tecnologia que mais aproxima -se do cidadão urbano. Os resíduos estão presentes no cotidiano, são onipresentes e visíveis, especialmente nas metrópoles.

No mundo ocidental, estima-se que uma pessoa produza 500 quilos de resíduos urbanos por ano. No Brasil a taxa é de 378 quilos por ano. Quanto mais rico um país, mais detrito ele gera, a visão dos resíduos sólidos como problema a ser enfrentado só se firmou no século XIX e agora no século XXI é o assunto mais abordado e um grande entrave da sociedade como um todo (VEJA,2011).

A produção de gases tóxicos, devido essa grande quantidade de resíduos produzidos, tem sido alvo também de grandes debates, especificamente o aquecimento global, alvo de discussões mundiais devido ao aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, provenientes, principalmente, da queima de combustíveis fósseis, o que será um dos temas a serem abordados no RIO+20 que acontecerá em 2012 no Rio de Janeiro.

A busca por novas alternativas que promovam a substituição destes combustíveis por fontes renováveis tem se intensificado nas últimas décadas.

A disposição final incorreta dos resíduos sólidos acarreta na emissão descontrolada dos gases gerados, em sua decomposição e na infiltração de líquidos percolados no solo, causando impactos negativos à saúde da população e ao meio ambiente, contribuindo para o agravamento do efeito estufa (PECORA, 2011).

Interessante que em todas as definições não se leva em conta o potencial econômico dos RSU uma vez dispostos em aterros. Atualmente, devido às constantes crises energéticas poderia se pensar em melhor utilizar a matéria orgânica destes resíduos para fins econômicos.

Num país como o Brasil que a concentração de matéria orgânica varia de 50 a 70% nos RSU o potencial geração de biogás é enorme o que, sem dúvida, desafogaria o setor energético brasileiro.

Segundo a National Geographic (2011) a população mundial chega a 7 bilhões de habitantes de acordo com a Divisão de População das Nações Unidas Figura 01. O que fica em pauta é a seguinte interrogação: o planeta e seus recursos vão conseguir sustentar tanta gente?

Quanto mais a população cresce, maior será a produção de resíduos sólidos urbanos gerados.



**Figura 01: Subúrbio dos Estados Unidos (NATIONAL GEOGRAPHIC - 2011)**

A temperatura está aumentando, ocasionada pela geração de fumaça das indústrias e usinas, da queima das florestas e do excesso de veículos circulantes, que liberam gases, principalmente o monóxido de carbono, e vão contribuir na alteração do efeito estufa em um princípio que desestabilize o equilíbrio energético no planeta e origine o fenômeno conhecido como aquecimento global.

Quanto ao efeito estufa sua função é manter uma temperatura favorável à existência e ao desenvolvimento da vida Figura 02.



**Figura 02:Usina Termelétrica na Inglaterra (NATIONAL GEOGRAPHIC – 2011)**

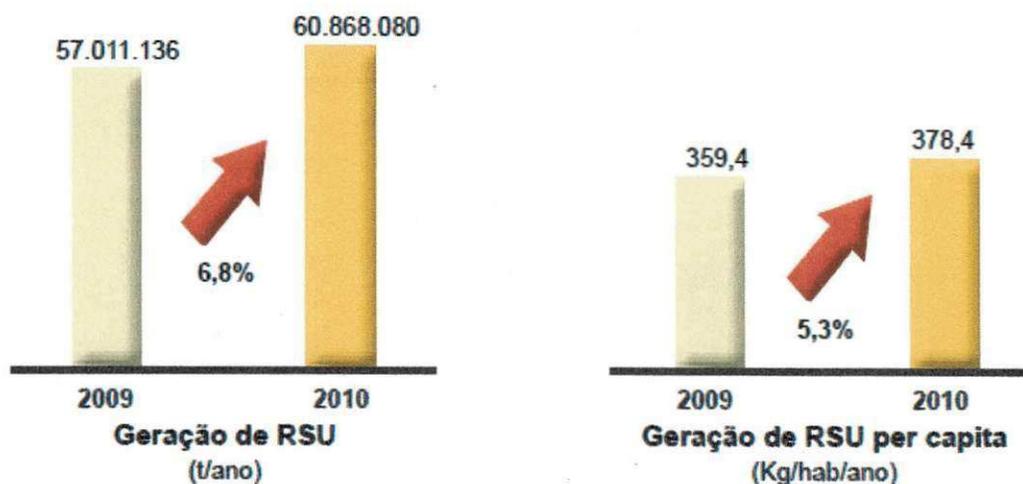
A produção de resíduos sólidos no mundo chega a 2 milhões de toneladas por dia, 730 milhões de toneladas ao ano.

O Brasil também tem apresentado um grande crescimento nesta produção, o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (2010), apontou que a produção de resíduos no país cresceu seis vezes mais do que a população isso também demonstra o aumento das condições financeiras da população. .

Vários tipos de resíduos apresentaram baixos percentuais o que pode ser justificado pela recuperação física por meio da reciclagem (ABRELPE, 2010; CIRNE, 2010).

Todos os dias são gerados no Brasil 240.00 toneladas de resíduos. Destes, a maior percentagem é de matéria orgânica, representada por 57,41%.

Ao longo de 2010, o montante de resíduos chegou a 60,8 milhões de toneladas (Figura 03) e a região que apresenta o pior índice de destinação inadequada é o Nordeste, que encaminha mais de 71% dos resíduos que produz para lixões e aterros controlados e em seguida aparece o Norte, com 66% (ABRELPE,2010).



**Figura 03: Geração de Resíduos sólidos no Brasil – (ABRELPE, 2010).**

No Nordeste existem distribuídos 855 lixões pertencentes a esta região Tabela 1, mas em números de aterros sanitários e controlados essa região apresenta-se em destaque comparadas a região Norte e Centro Oeste.

**Tabela 1: Quantidades de municípios por destinação final de RSU – (ABRELPE, 2010).**

Disposição Final	2010 – Regiões e Brasil					
	Norte	Nordeste	Centro Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
Aterro Sanitário	85	<b>439</b>	150	798	692	2.164
Aterro Controlado	107	<b>500</b>	145	639	369	1.760
Lixão	257	<b>855</b>	171	231	127	1.641
<b>Brasil</b>	<b>449</b>	<b>1.794</b>	<b>466</b>	<b>1.668</b>	<b>1.188</b>	<b>5.565</b>

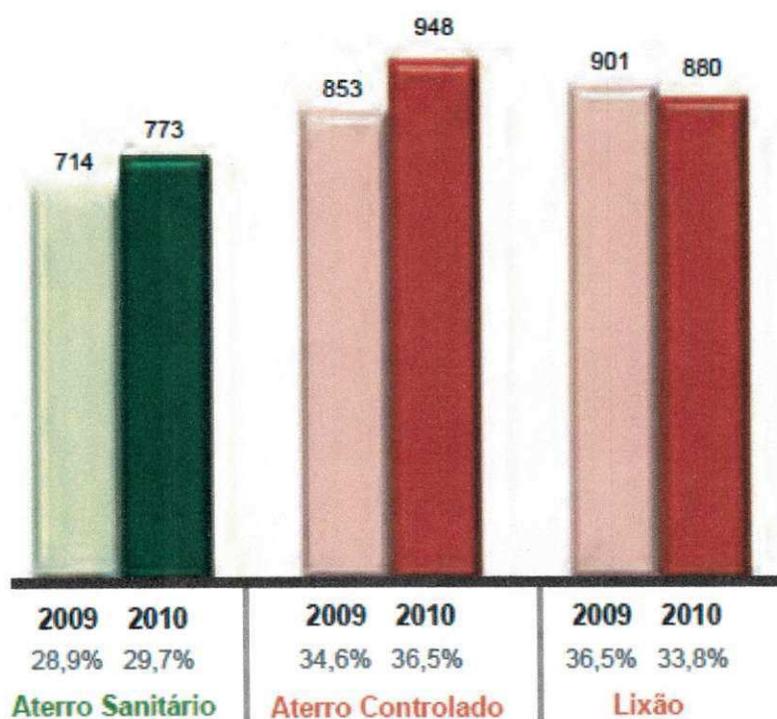
A região Nordeste tem procurado manter iniciativas e desenvolver projetos ambientais que contribuam para que todos os estados construam uma sociedade ecologicamente sustentável e cada vez mais preservar o meio ambiente.

A Paraíba também tem apresentado números significativos sobre essa produção e destinação final dos resíduos sólidos urbanos, Tabela 2.

**Tabela 2:Quantidade de Resíduos produzidos na Paraíba/ ABRELPE 2010.**

UF	População Urbana 2010 (hab)	RSU coletado por Habitante (kg/hab/dia)	RSU Coletado (t/dia)	RSU Gerado (t/dia)
PB	2.839.002	<u>0.916</u>	<u>2.601</u>	<u>3.215</u>

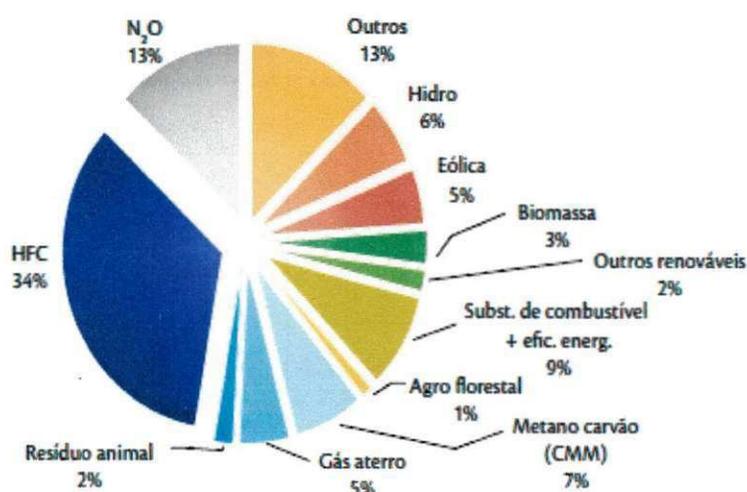
São gerados 3.215 toneladas ao dia de resíduos na Paraíba e boa parte destes resíduos são depositados em lixões, com a PNRS tornou-se um tema extremamente abordado, autoridades governamentais tem buscado projetos para construção de aterros controlados e sanitários como foi o avanço de 2009 com 714 aterros para 2010 com 773 aterros sanitários Figura 04.



**Figura 04:Destinação Final dos RSU na Paraíba –( ABRELPE,2010).**

A coleta e o destino correto do lixo são de fundamental importância para obter uma melhoria na qualidade de vida (CIRNE,2010).

O Banco Mundial tem procurado contribuir para o desenvolvimento sustentável da sociedade de um modo geral, nisso tem financiado diversos projetos na área energética relacionados a resíduos e efluentes líquidos Figura 05: como o gás de aterro com 5%, a biomassa 3% e resíduos animal 2%



**Figura 05: Projetos Energéticos – (BANCO MUNDIAL, 2007).**

### 3.1.1 Classificação dos resíduos sólidos.

A NBR 10.004 (ABNT, 2004) define os resíduos sólidos como sendo os “resíduos nos estados sólidos e semi sólido, que resultam de atividades 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 água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis face à melhor tecnologia disponível”.

No Brasil, a NBR 10.004 (ABNT, 2004) apresenta a classificação dos resíduos sólidos conforme os riscos potenciais ao meio ambiente:

**Classe I – Perigosos:** São classificados como resíduos classe I ou perigosos os resíduos sólidos ou mistura de resíduos que, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar risco à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada apresentados na Figura 06.



**Figura 06 – Resíduos Perigosos. Fonte:(ALVES,2010)**

**Classe II – Não-Perigosos – A – Não Inertes:** São classificados como Classe II ou resíduos não inertes os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que não se enquadram na Classe I ou na Classe II – B. Esses resíduos podem ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. São, basicamente, os resíduos com as características do lixo doméstico apresentados na Figura 07.



**Figura 07 : Resíduos domésticos – Fonte:(ALVES,2010)**

**Classe II – B – Inertes:** São classificados como Classe II – B os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que, quando amostrados de forma representativa, segundo a NBR 10.007 (ABNT, 2004), e submetidos ao teste de solubilização, conforme a NBR 10.006 (ABNT, 2004), não tenham nenhum de seus

constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

São os resíduos que não se degradam ou não se decompõem quando dispostos no solo, tais como resíduos de construção e demolição, solos e rochas provenientes de escavações, vidros e certos plásticos e borrachas que não são facilmente decompostos  
Figura 08.



**Figura 08: Resíduos da Construção e demolição (RCD) – Fonte:(ALVES,2010)**

### **3.1.2 Formas de disposição dos resíduos**

Quando tudo que podia ser feito para se tratar um determinado resíduo se esgota os resíduos devem ser encaminhados a uma destinação final adequada.

No Brasil, é possível identificar três formas de destinação final:

**Lixão** ou **Vazadouro** é a forma de disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública.

Portanto, é uma forma de disposição inadequada na Figura 09, além de ilegal segundo a legislação brasileira que proibir jogar os resíduos a céu aberto devido todos os impactos que irão causar.



Figura 09 : Lixão - Fonte:(ALVES,2011)

**Aterro Controlado** é a técnica de se confinar os resíduos sólidos urbanos sem poluir o ambiente externo; porém, sem promover a coleta e o tratamento dos efluentes líquidos e gasosos produzidos Figura 10.

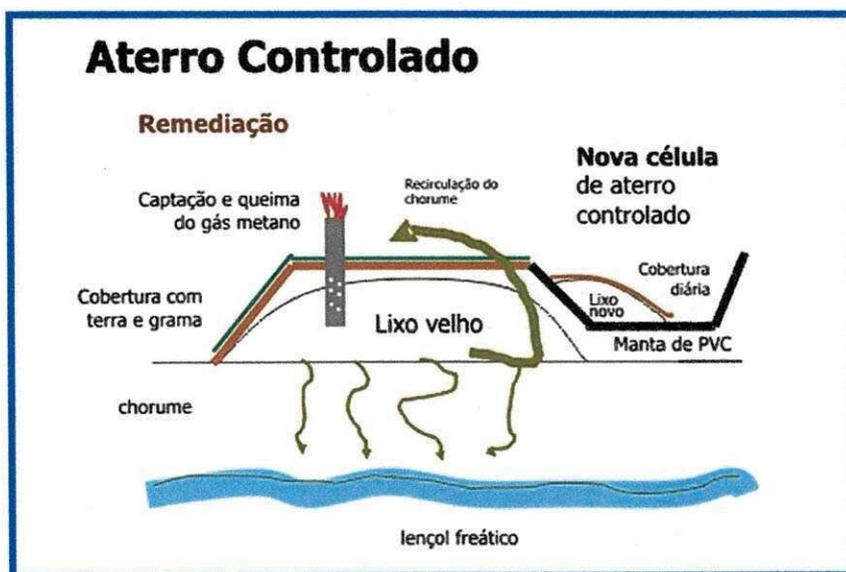


Figura 10 : Estrutura de um aterro Controlado - Fonte:(ALVES,2010)

**Aterro Sanitário** é o método de disposição final de resíduos sólidos urbanos, sobre terreno natural, através de seu confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas específicas, de modo a evitar danos ao meio ambiente, em particular à saúde e à segurança pública.

Em um aterro sanitário devem ser implantadas medidas para coleta e tratamento de efluentes líquidos e gasosos produzidos, bem como planos de monitoramento ambiental e geotécnico Figura 11.



**Figura 11: Estrutura de um aterro Sanitário - Fonte:(ALVES,2010)**

### 3.1.3 Aterros Sanitários

O aterro sanitário é uma das opções corretas sob vários aspectos (ambiental, sanitário, social, entre outros) para a destinação final dos resíduos sólidos urbanos.

Contudo, antes de encaminhar os resíduos sólidos ao aterro sanitário, deve-se perguntar se seria possível reciclá-los, tratá-los, reutilizá-los ou minimizar sua geração, visando prolongar a vida útil dos aterros e torná-los empreendimentos sustentáveis ao longo dos anos. Além disso, quando as etapas de um aterro não são bem planejadas e executadas, ele pode vir a causar vários problemas ao meio ambiente, à sociedade e à saúde coletiva (ALVES,2011).

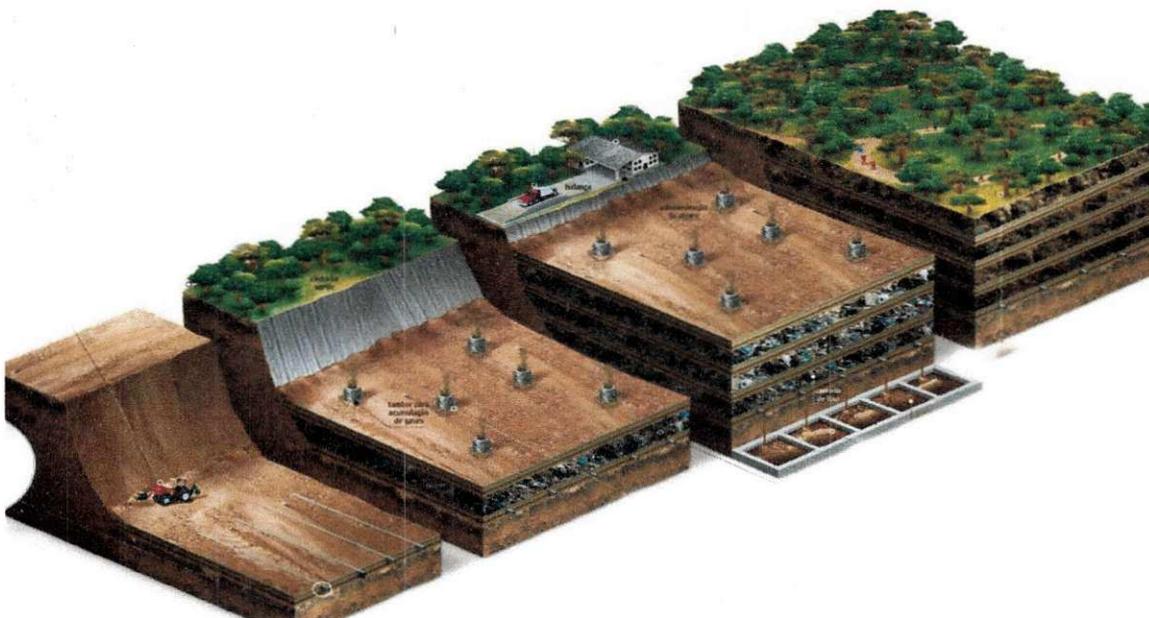
Por exemplo, quando uma área para implantação de um aterro sanitário não é bem selecionada, pode-se comprometer seriamente a presença de espécies de animais e vegetais daquela região, ou encarecer os custos de operação do aterro pelo simples fato

de estar longe de jazidas, as quais forneceriam materiais para a impermeabilização e cobertura.

Por outro lado, se a execução do sistema de impermeabilização do aterro sanitário, que ocorre na etapa de implantação, não for bem executada, poderá ocorrer à contaminação das águas subterrâneas pelo lixiviado, o que colocaria em risco, possivelmente, fontes de água, solo e ar atmosférico.

Em se tratando dos gases gerados dentro de um aterro sanitário o seu lançamento, indiscriminado, na atmosfera causa enormes problemas, como o agravamento do efeito estufa (ALVES,2011). Como notou-se exemplos não faltam de impactos negativos que um aterro mal projetado, operado e monitorado pode trazer.

Um aterro sanitário é uma obra de engenharia Figura 12 e como tal, deve ter um projeto executivo que deverá ser, obrigatoriamente, constituído das seguintes partes: memorial descritivo; memorial técnico; cronograma de execução e estimativa de custos; desenhos ou plantas e eventuais anexos.



**Figura 12 -Desenho esquemático de um aterro sanitário (VEJA -2009).**

### **3.1.4 Seleção de área e a real situação dos resíduos**

A implantação de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos deve ser precedida de licenciamento ambiental por órgão ambiental competente, nos termos da legislação vigente.

A resolução CONAMA nº 404, de 11 de novembro de 2008 estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterros de pequeno porte responsáveis por resíduos sólidos urbanos.

No licenciamento ambiental dos aterros sanitários de pequeno porte contemplados nesta Resolução deverão ser exigidas, no mínimo, as seguintes condições, critérios e diretrizes:

I - vias de acesso ao local com boas condições de tráfego ao longo de todo o ano, mesmo no período de chuvas intensas;

II - respeito às distâncias mínimas estabelecidas na legislação ambiental e normas técnicas;

III - respeito às distâncias mínimas estabelecidas na legislação ambiental relativas a áreas de preservação permanente, Unidades de Conservação, ecossistemas frágeis e recursos hídricos subterrâneos e superficiais;

IV - uso de áreas com características hidrogeológicas, geográficas e geotécnicas adequadas ao uso pretendido, comprovadas por meio de estudos específicos;

V - uso de áreas que atendam a legislação municipal de Uso e Ocupação do Solo dentre outros critérios e diretrizes.

Nenhum aterro poderá ser construído senão primeiro obedecer às normas do licenciamento ambiental e específico para cada tipo e tamanho do empreendimento ambiental.

A primeira etapa de um projeto de aterro sanitário é a escolha de uma área onde ele será implantado e operado. Assim, pode - se dizer que o bom desempenho de um aterro sanitário, sob os aspectos ambientais, técnicos, econômicos, sociais e de saúde pública, está diretamente ligado a uma adequada escolha de área de implantação.

A seleção de áreas para implantação de aterros sanitários é uma das principais dificuldades enfrentadas pelos municípios, principalmente porque uma área, para ser considerada adequada, deve reunir um grande conjunto de condições técnicas,

econômicas e ambientais, que demandam o conhecimento de um grande volume de dados e informações, normalmente indisponíveis para as administrações municipais.

Segundo a NBR 13.896 (ABNT, 1997), a avaliação da adequabilidade de um local a ser utilizado para implantação de um aterro sanitário deve ser tal que os impactos ambientais gerados na sua implantação e operação sejam mínimos. A instalação do aterro deve ser bem aceita pela população vizinha; além disso, é necessário que ele esteja de acordo com o zoneamento local e que possa ser utilizado por longo período de tempo.

Basicamente, o que se deseja é identificar, dentre as áreas pré-selecionadas, aquela que melhor possibilite: menor potencial para geração de impactos ambientais; localização fora de áreas de restrição ambiental; aquíferos menos permeáveis; solos mais espessos e menos sujeitos aos processos de erosão e escorregamentos; declividade apropriada; distância de habitações, cursos d'água, rede de alta tensão; maior vida útil para o empreendimento: máxima capacidade de recebimento de resíduos; baixos custos de instalação e operação do aterro: menores gastos com infra-estrutura; menor distância da zona urbana geradora dos resíduos; disponibilidade de material de cobertura; aceitabilidade social: menor oposição da comunidade vizinha (ALVES, 2010).

No mundo inteiro, com algumas poucas exceções, os aterros sanitários representam a principal destinação final dos resíduos sólidos, apesar do imenso esforço em se reduzir, reutilizar e reciclar esse material. Em vários países, o aterro sanitário tem sido a mais importante meta a alcançar, com vistas a um tratamento adequado dos resíduos. No Brasil, já existe um número significativo de aterros sanitários, principalmente, nas Regiões Sudeste e Sul.

A grande dificuldade reside nos custos de operação de um aterro sanitário, que pressupõe tratamento adequado de líquidos e gases efluentes, além de todos demais cuidados previstos nas normas técnicas. Vale ressaltar que os textos normativos sobre resíduos sólidos foram elaborados, em sua maioria, há duas décadas e, praticamente, não incorporaram os conceitos recentes de geotecnia ambiental ou mesmo de biotecnologia (JUCÁ, 2003).

Além dos aterros sanitários, são consideradas formas de disposição final os aterros controlados, os incineradores, as usinas de compostagem e os lixões.

A disposição final dos resíduos sólidos em "lixões", segundo o IPT/CEMPRE (2000) é uma forma inadequada de disposição, que se caracteriza pela simples descarga

sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. O mesmo que descarga de resíduos a céu aberto ou vazadouro.

Os resíduos sólidos, assim lançados, acarretam problemas à saúde pública, como proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos, etc.), geração de maus odores e, principalmente, poluição do solo e das águas subterrâneas e superficiais, pela infiltração do chorume (líquido de cor preta e mal cheiroso e de elevado potencial poluidor), produzido pela decomposição da matéria orgânica contida no lixo.

Os critérios de engenharia mencionados materializam-se no projeto do sistema de drenagem periférica e superficial para afastamento da água da chuva, de drenagem de fundo para coleta de percolado, de sistema de tratamento para o percolado drenado, de drenagem e queima dos gases gerados durante o processo de bioestabilização da matéria orgânica, como o estudo das condições meteorológicas locais (BIDONE e POVINELLI, 1999).

### **3.1.5 Ciclo de Vida dos Aterros Sanitários**

Com relação aos aspectos ambientais dos aterros sanitários, é importante avaliar as diferentes fases do seu ciclo de vida, que segundo Christensen, Cossu e Stegmann (1989) são as seguintes:

1. Fase de planejamento, tipicamente envolvendo os estudos e as investigações preliminares necessárias para o desenvolvimento do projeto.
2. Fase de construção, envolvendo os trabalhos relacionados à movimentação de solo, construção de acessos e instalações e a preparação de drenos e impermeabilizações da área a ser preenchida com resíduos.
3. Fase de operação, que corresponde ao período de tempo compreendido entre o aterramento da primeira carga de resíduos e o aterramento da última carga anos mais tarde. Esta fase é caracterizada pela maior intensidade de tráfego, pelos trabalhos nas frentes de aterramento e operação das instalações de controle ambiental.

4. Fase de conclusão, que corresponde ao período de tempo entre o esgotamento da capacidade volumétrica do local até o dia em que as instalações de controle ambiental não forem mais necessárias em virtude do decaimento do nível das emissões do aterro.

5. Fase final, que corresponde ao estágio em que as emissões decaíram a níveis aceitáveis (na mesma ordem de magnitude dos fluxos encontrados no entorno do aterro).

A composição da área aterrada pode ainda diferenciar da composição do ambiente vizinho, entretanto, a área não causa impactos sobre o mesmo. Neste estágio, a exemplo de outros locais, a área pode não ser adequada a todos os tipos de uso, contudo, já pode ser utilizada para diversos fins.

### **3.1.6 Porte dos Aterros Sanitários**

Em um aterro sanitário, as características técnicas envolvidas variam de acordo com o seu porte. Quanto maior o aterro sanitário, maiores devem ser os cuidados envolvidos com a obra.

O porte de um aterro sanitário tem relação direta com os materiais empregados, e principalmente, com o método de concepção adotado.

Gariglio (2003) apresenta uma classificação baseada na Taxa de Deposição Máxima (TDM) mensurada em toneladas de resíduos dispostos por ano.

Esta subdivisão considerou as faixas populacionais e de produção de resíduos descritas no Quadro 1.

Quadro 1: Classificação dos aterros por porte (GARIGLIO, 2003).

Porte do Aterro	TDM (ton. ano)		Produção diária (ton.)		Faixa Populacional	
	Máximo	Mínimo	Mínimo	Máximo	Habitantes	
<b>Distrital</b>	346	1.318	0,9	3,6	1.500	5.000
<b>Pequeno</b>	1.318	8.900	3,6	24,4	5.001	30.000
<b>Médio</b>	8.900	72.515	24,4	198,7	30.001	200.000
<b>Grande</b>	72.515	487.831	198,7	1.336,50	200.001	1.000.000
<b>Metropolitano</b>	487.831	639.454	1.336,50	Acima	1.000.001	Acima
TDM - Taxa Máxima de Deposição (projetada para 20 anos de vida útil)						

No quadro 1 observa-se que quanto maior o número de habitantes de uma determinada localidade maior é a produção de resíduos daquele lugar em consequência disso exige-se aterros com condições em capacidades elevadas para armazenamento de grande número de resíduos.

Os aterros sanitários são divididos em dois tipos: **Convencional** e **Simplificado**. O aterro sanitário Convencional é um aterro de médio a grande porte que demanda soluções tecnológicas e gerenciais sofisticadas e que beneficia uma população maior.

O aterro sanitário Simplificado é um aterro de menor porte desenvolvido para pequenos municípios de baixo custo de implantação e operação e que consegue beneficiar até cerca de 20 mil habitantes.

Segundo Gomes (2001) salienta que na escolha de áreas para os aterros sanitários devem ser definidos critérios ambientais, seguidos de critérios de restrições legais e características operacionais, tais como apresentados nos Quadros 2, 3 e 4:

**Quadro 2: Critérios de restrições legais**

<b>Critérios</b>	<b>Definição/Justificativas/Observações</b>	<b>Faixa de Avaliação Distância em metros.</b>
<b>Distâncias de vias</b>	Em relação á distância de vias adotou-se o valor de 100 metros do eixo de rodovias federais e estaduais, seguindo os trabalhos de Gomes (2001).	<100 metros
		100 – 500 metros
		500 – 1000 metros
		>1000 metros
<b>Legislação</b>	Critérios referentes a legislação federal, estadual e do município em estudo deverão ser analisados, já que existe a possibilidade de que existam leis inclusive mais rigorosas(ou restritivas) que as âmbito federal. As especificidades de cada município implicarão em posicionamentos diferenciados no que diz respeito ás questões ambientais.	Pontuação caso a caso: Considerar a gravidade do impacto causado ao meio ambiente.
<b>Distâncias aos Centros Urbanos</b>	São dois fatores que interferem nesta característica: Quanto mais longe da zona urbana mais caro será o serviço de transporte. Tem-se adotado a distância máxima de 15 km. A falta de interesse da população em ter suas residências próximas a um aterro sanitário.	100 – 250m
		250 – 500m
		500 – 1000m
		1000 – 2000m
		>2000m; <15000 m
Fonte: Modificado por Gomes (2001)		

**Quadro 3: Características ambientais a considerar na seleção de áreas.**

<b>Crítérios</b>	<b>Definição/Justificativas/Observações</b>	<b>Faixa de Avaliação Distâncias em metros.</b>
<b>Distâncias de Recursos Hídricos</b>	Atende a portaria nº 124 de 20/08/80 do Ministério do Interior a qual estabelece que “que quaisquer indústrias potencialmente poluidoras bem como as construções ou estruturas que armazenam substâncias capazes de causar poluição hídrica, devem ficar a uma distância mínima de 200m de coleções hídricas ou cursos d’água”.	< 200 metros
		200 - 500 metros
		500 - 1000 metros
		>1000 metros
<b>Áreas Inundáveis</b>	Estas áreas são impróprias á disposição de resíduos sólidos em virtude da possibilidade de contaminação dos recursos hídricos pelos líquidos gerados nos sistemas de aterramentos.	< cota de cheia
		20% a mais
		50% a mais
		>50% a mais
<b>Geologia - Potencial Hídrico</b>	A característica de potencialidade Hídrica de uma unidade geológica é inversamente proporcional a potencialidade de áreas em receber resíduos sólidos para disposição final. A existência de fraturas ou falhas no local são fatores de crucial importância. Sugere-se a pontuação de (0 zero) para estas áreas, devido ao grande potencial de impacto nas águas locais.	Alto Potencial Hídrico
		Médio Potencial Hídrico
		Baixo Potencial Hídrico
<b>Fauna e Flora</b>	Neste item serão avaliadas as áreas sob o enfoque do meio biológico, destacando a existência de espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e ainda as áreas de preservação permanente.	Presença
		Ausência
<b>Condutividade Hidráulica do solo</b>	A condutividade Hidráulica é o critério que verifica a potencialidade de	Infiltração Alta >10 <sup>3</sup> cm/s

	infiltração de líquidos no solo. No caso de acidente em um aterro sanitário, um local com maior condutividade hidráulica permitira mais facilidade à passagem do lixiviado pelo solo, potencializando o risco de poluição das águas.	Infiltração Média 10 <sup>3</sup> - 10 cm/s
		Infiltração Baixa 10 - 10 cm/s
		Infiltração muito Baixa <10 cm/s
<b>Profundidade do lençol freático</b>	Embora esse dado seja fundamental para a avaliação pretendida infelizmente poucos são os levantamentos de cotas do lençol Freático e dificilmente os municípios dispõem desses valores	< 1m
		1 - 2 m
		2 - 4 m
		>4m
Fonte: Modificado por Gomes (2001)		

**Quadro 4: Características Operacionais**

<b>Critérios</b>	<b>Definição/Justificativas/Observações</b>	<b>Faixa de Avaliação</b> <b>Aspecto de solo</b>
<b>Clinografia (Declividade)</b>	Verifica-se em termos de preservação do solo, pois além de ser um fator restritivo, limita o transporte do material até o local. Considerou-se a classe plana a mais adequada ao uso pretendido, em função das facilidades de implantação dos aterros sustentáveis de resíduos.	Alta: >30%
		Média: 20 - 30%
		Baixa: 10 - 20%
		Muito baixa: 3 - 10%
		Plana: <3%
<b>Espessura do Solo</b>	Justifica-se pela operação á disponibilidade no local de material de empréstimo para suas camadas de cobertura das trincheiras. O custo de transporte é um fator atualmente um fator preponderante. A camada normalmente é retirada nas etapas iniciais de movimentação de terras e obras de infra - estrutura.	<0,5 m
		0,5 - 1m
		1 - 2 m
		>2m

Fonte: Modificado por Gomes (2001)

### **3.1.7 Células Experimentais (lisímetros ou biorreatores)**

O estudo de biorreatores em escala experimental (lisímetros) poderá sugerir através de seu monitoramento os possíveis ajustes que podem ser aplicados em escala real. Através deles pode-se entender o comportamento dos parâmetros monitorados em função da biota microbiana e da velocidade degradativa dos resíduos. Além do mais, possíveis erros de projetos poderão ser corrigidos antes de serem aplicados em aterros sanitários (ALVES,2011).

No intuito de conhecer melhor o funcionamento de aterros de RSU e entender como eles sofrem perda de massa e recalque devido à decomposição dos resíduos, esforços mecânicos e processos químicos devem ser levados em conta. As células experimentais representam uma técnica bastante interessante, estas células experimentais auxiliam na obtenção dos parâmetros para projetos, dimensionamento, construção e monitoramento de aterros (MELO,2011).

Uma célula experimental é um sistema que permite uma aceleração induzida do processo de decomposição dos resíduos de maneira controlada. Isto está de acordo com Barlaz (1989) que diz que o estudo do comportamento de aterros tem sido facilitado através de modelos de aterros em escala experimental que simulam e, aceleram a decomposição aeróbia e anaeróbia dos resíduos.

Segundo Melo (2003) as células experimentais executadas e controladas corretamente, reduzem os impactos ambientais, pois controlam a produção de lixiviado/percolado e as emissões de biogás, reduzindo assim a contaminação do solo e as emissões de gás ao ambiente.

As células experimentais podem aperfeiçoar as condições para decomposição microbiológica e acelerar a estabilização da massa de resíduos permitindo a disposição adicional de RSU ou reuso mais rápido do aterro. São projetadas geralmente para que a água de infiltração da chuva nos resíduos seja feita sob condições controladas. O gerenciamento adequado destes parâmetros pode levar a estabilização muito rápida dos resíduos e a ritmos de alta produção de metano (BORGLIN, 2004).

Estudos em células experimentais foram desenvolvidos por Leite (2008), Garcez (2009), Meira (2009) e Pereira (2010) na cidade de Campina Grande para avaliar alguns parâmetros do comportamento da massa de resíduos. Estas células experimentais foram dotadas de sistemas de drenagem de líquidos e gases, medição de

nível dos líquidos, medidores de recalque, temperatura, concentração e fluxo de gases da massa de resíduos proporcionando o conhecimento de diversos parâmetros sob condições controladas.

Outros trabalhos abordam o comportamento de RSU a partir de experimentos em escala reduzida. De acordo com Mannapperuma & Basnayake (2004) que analisaram o monitoramento de três células experimentais de campo com secção transversal circular com 1,3m de diâmetro e 2,32m de altura, construídos com tubos de concreto pré-moldados.

Duas das células experimentais foram preenchidas com resíduos frescos, sendo que uma simulava um lixão a céu aberto (sem camada de cobertura), e a outra, um aterro sanitário. A terceira também simulando um aterro preenchido com resíduos antigos provenientes de outros aterros.

Já Swati (2005) realizou uma pesquisa com algumas semelhanças com as que foram citadas anteriormente, apresentando resultados preliminares do comportamento de resíduos sólidos urbanos aterrados em duas células experimentais, construídos com anéis de concreto, com altura total de 3m e diâmetro de 1,3m. Nos experimentos, monitorados durante 4 meses, utilizaram-se resíduos frescos, simulando as condições de um vazadouro a céu aberto e de um aterro como biorreator. Analisaram-se os recalques e as características dos lixiviados gerados, como volume, pH, DBO, DQO, sólidos totais, nitrogênio total e concentração de alguns metais dentre outros.

Alcântara (2007) abordou em sua pesquisa o comportamento geral de Células experimentais e o processo evolutivo de degradação dos resíduos aterrados, considerando-se as condições meteorológicas locais e a composição dos resíduos.

Nesta pesquisa foram realizados experimentos com dados em uma célula experimental construída em alvenaria na Universidade Federal de Campina Grande – PB.

O estudo em células experimentais tem-se mostrado de grande importância segundo Reddy (2006) Aterros/Biorreatores (Células experimentais em escalas maiores) preenchidos por RSU estão recebendo uma grande atenção por parte dos profissionais da área ambiental em vários locais do mundo, pois oferecem uma forma sustentável para a degradação de resíduos. Eles também oferecem reduções significativas no pós-encerramento de gestão, como resultado de um prazo reduzido para lixiviado/percolado de aterro e geração de gás para reutilização de áreas.

Entretanto projetos de aterros/biorreator requerem uma cuidadosa avaliação das questões tão diversas como a engenharia de percolado/distribuição de umidade, a degradação de resíduos, geração de gás, estabilidade de taludes e condições meteorológicas.

Na verdade um "aterro/biorreator" de resíduos sólidos urbanos (RSU) usa métodos avançados de processos bioquímicos para transformar e estabilizar a biodegradação dos resíduos orgânicos em pouco tempo (normalmente 5 a 10 anos) em relação tempo (tipicamente 30-100 anos) para os aterros de RSU convencionais.

### 3.2 METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA

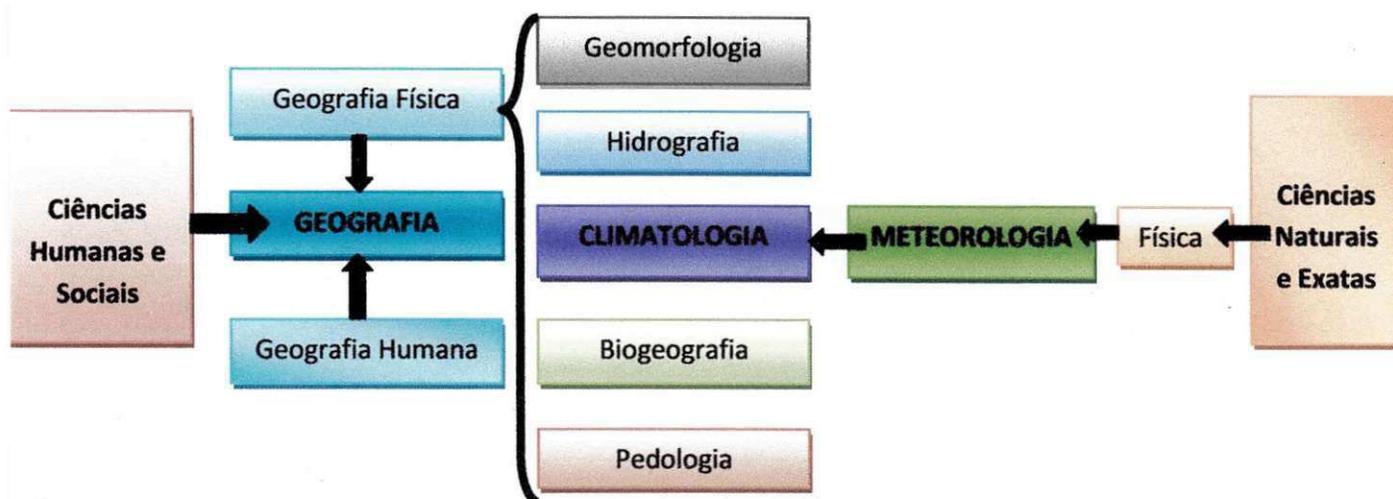
A Meteorologia e a Climatologia permaneceram, por um longo período da história do homem, desde que os gregos (século VI a. C) até por volta do século XVIII d. C., faziam parte de um só ramo do conhecimento no estudo da atmosfera terrestre, as características atmosféricas eram observadas e estudadas tanto em fenômenos específicos quanto na espacialidade e temporalidade (SANTOS,1994;1996).

Dessa maneira, o estudo da atmosfera era dado pela meteorologia que ficou pertencendo ao campo das ciências naturais (ao Ramo da Física), e sendo de competência o estudo dos fenômenos isolados da atmosfera e do tempo atmosférico (weather,temps) (MENDONÇA,2007).

A Meteorologia trata da dimensão física da atmosfera. Em sua especificidade, ela aborda, de maneira individualizada, condições meteorológicas, como os raios, trovões, descargas elétricas, nuvens, composição físico - química do ar, previsão do tempo, entre outros. Dado à sua característica de Ciência física, a meteorologia trabalha também com a concepção de instrumentos para medições dos elementos e condições meteorológicos, o que registra esses fenômenos e forma uma fonte de dados de fundamental importância para os estudos da Climatologia (MENDONÇA,2007); (SANTOS,1994;1996).

O surgimento da Climatologia, como um campo do conhecimento científico com identidade própria, deu-se algum tempo depois da sistematização da meteorologia. Voltada ao estudo mais aprofundado da espacialização dos elementos e fenômenos atmosféricos e de sua evolução, a climatologia integra-se como sub divisão da Meteorologia e da Geografia (MENDONÇA,2007).

Na particularidade Geográfica, a Climatologia situa-se entre as Ciências Humanas (Geografia Física) e as Ciências Naturais (Meteorologia Física), estando mais relacionada à primeira que à segunda Figura 13.



**Figura 13: Meteorologia e Climatologia dentro do Campo Científico (MENDONÇA,2007).**

A Climatologia constitui o estado científico do clima. Ela trata de padrões de comportamentos da atmosfera em suas interações com as atividades humanas e com a superfície do planeta durante um longo período.

O que segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM) internalizam conceitos e definições para tipos climáticos, que devem ser observados uma série de elementos que só poderão ser estabelecidos por um período acima de 30 anos (MENDONÇA, 2007).

### **3.2.1 Clima e Tempo**

O Tempo meteorológico é algo que varia constantemente sobre a face da Terra. Muitos pesquisadores e estudiosos, têm descritos as infinitas variedades do tempo meteorológico, de lugar para outro e, também de tempo em tempo, no mesmo local (VIANELLO,1991).

O tempo meteorológico é a soma total das condições meteorológicas de um determinado local ou um estado momentâneo da atmosfera que podem ser identificado pelas seguintes condições: temperatura, pressão atmosférica, vento, umidade, precipitações(chuvas,granizo e neve), geadas e massas de ar (LUCCI,2005).

O clima é uma generalização ou a integração das condições do tempo para um certo período, em uma determinada área durante um longo período acima de 30 anos, o que deve ser observado diversos fatores como: a altitude, a latitude, as correntes marinhas, a posição da região climática em relação ao mar(maritimidade/continentalidade), a disposição do relevo, a vegetação e inclusive os relacionamentos às atividade humanas, como formação de grandes cidades e de extensas áreas conturbadas (LUCCI,2005) e (SANTOS,1994;1996).

A caracterização do Clima é algo mais abstrata e por extenso período, já o tempo meteorológico é uma experiência diária. Baseado neste conhecimento, é importante tratar como *condições meteorológicas* e não climáticas, pois são associadas as mudanças constantes (LUCCI,2005);(SANTOS,1994;1996); (MENDONÇA, 2007).

As condições meteorológicas são as grandezas que comunicam ao meio atmosférico suas propriedades e características peculiares de uma localidade como: precipitação, evaporação, umidade, vento e pressão atmosférica. As observações meteorológicas são realizadas por estações meteorológicas, as quais são as principais fontes de informações e estudos (VIANELLO,1991).

### **3.2.2 Estações Meteorológicas**

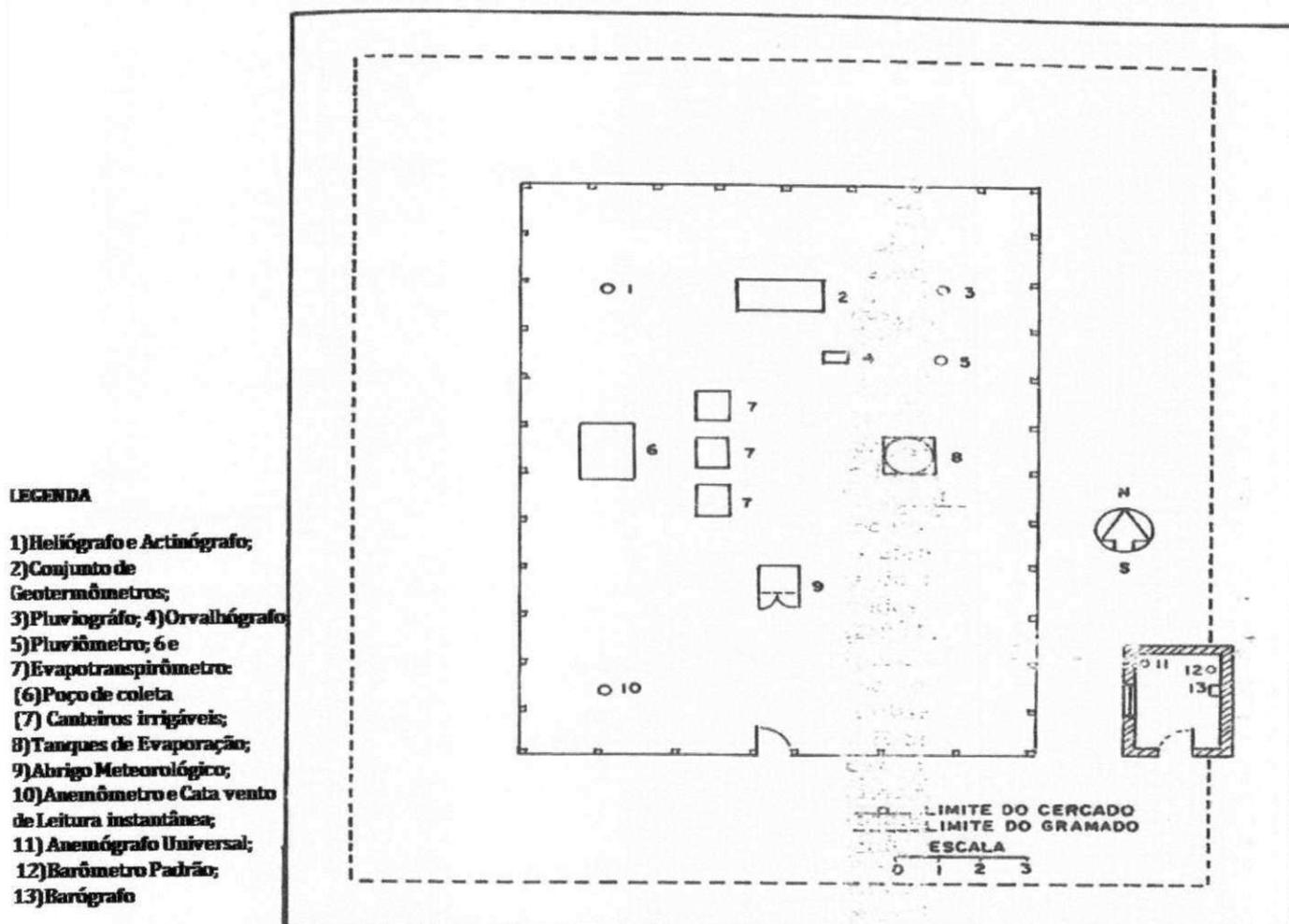
Para a consecução dos estudos diagnósticos e prognósticos da atmosfera, tornam-se indispensáveis a instalação e a operação de um sistema de observações meteorológicas.

Em 1873 criou-se a Organização Meteorológica Internacional (OMI) com o objetivo de proporcionar ao meio uma colaboração internacional sobre a área meteorológica. Em 1950 a Organização Meteorológica Internacional (OMI) converteu-se na Organização Meteorológica Mundial (OMM) como organismo especializado das nações Unidas.Daí surgem os Centros Meteorológicos Mundiais (CMM) os Centros Meteorológicos Regionais(CMR) e os Centros Meteorológicos Nacionais(CMN);(VIANELLO,1991).

No Brasil, uma das instituições que trabalham com os dados meteorológicos é o CPTEC(Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos), vinculado ao INPE(Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), (LUCCI,2005).

Os dados meteorológicos são obtidos mediante medidas de leituras e registros contínuos, obteníveis diretamente de instrumentos meteorológicos, essas observações são realizadas em locais tecnicamente escolhidos e preparados para tais fins; trata-se das Estações Meteorológicas, que podem ser classificadas em Sinóticas, Climatológicas ou Meteorológicas, Agrometeorológicas, Meteorológicas Aeronáuticas e Especiais (VIANELLO,1991).

Essas Estações são usadas, em geral, para fins climatológicos e para previsão do tempo, na Figura 14 as instalações são rigorosamente padronizadas em níveis de detalhes, como a espessura do arame e a malha da tela do cercado, a cor branca usada na pintura, as dimensões de onde serão colocados os instrumentos meteorológicos.

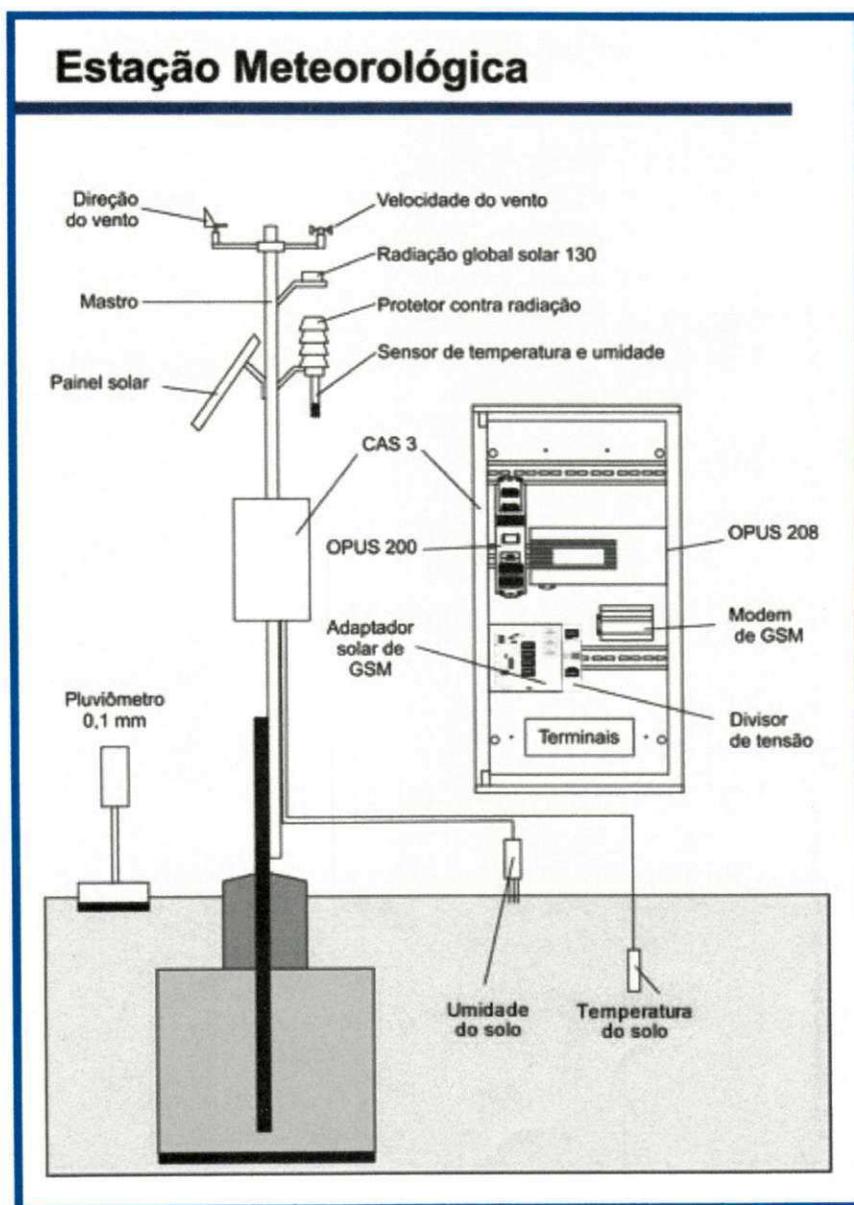


**Figura 14: Planta baixa de uma Estação Meteorológica Principal e Respective instrumentos Fonte: (VIANELLO,1991)**

Existem dois tipos de Estações Meteorológicas Climatológicas. As digitais e as convencionais.

As digitais são providas de softwares exclusivos, que permitem a geração de relatórios tabulares ou gráficos, por períodos breves ou bases históricas, agilizando a análise dos dados e a tomada de decisões quanto aos impactos gerados pelas condições meteorológicas, para agilizar e facilitar a tomada de decisões.

As estações meteorológicas automáticas Figura 15 possibilitam a aferição e registro de dados meteorológicos e ambientais ao longo do tempo.

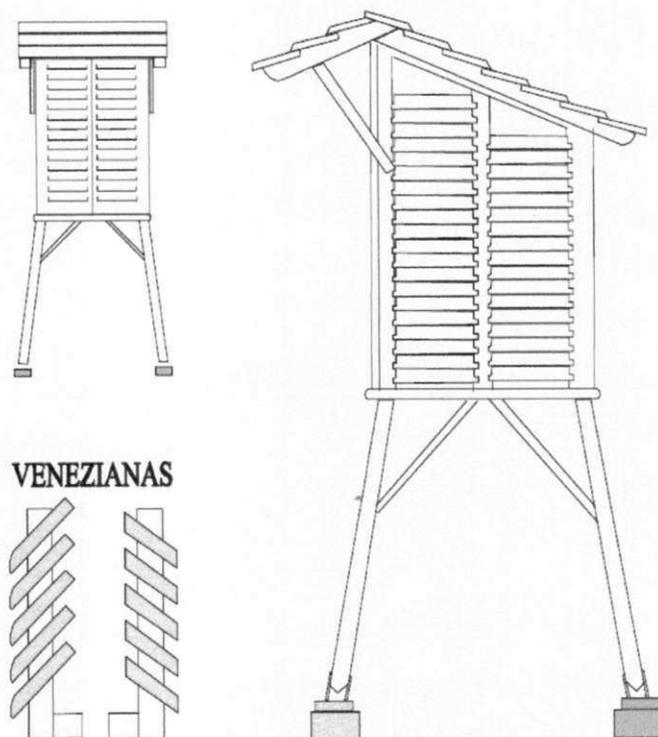


**Figura 15: Estação Digital e Instrumentos Meteorológicos – (VAREJAO,2006).**

Portanto, através delas, tem-se relatórios horários ou até diários, das principais variáveis meteorológicas conectados ao computador, as estações meteorológicas automáticas são configuráveis, e geralmente os sistemas compreendem a plataforma de coleta de dados, os sensores, e o sistema de comunicação:

- ✓ temperatura e umidade do ar (conjugado);
- ✓ velocidade e direção do vento (conjugado);
- ✓ desvio padrão do vento;
- ✓ precipitação;
- ✓ radiação solar global, líquida e PAR;
- ✓ luminosidade;
- ✓ pressão barométrica, molhamento foliar;
- ✓ umidade e temperatura de solos entre outros.

Já as estações Climatológicas Convencionais são mais simplificadas, Em geral possuem um abrigo meteorológico Figura 16 de menor porte e sensores de medições de temperatura e chuva, além de possibilitar observações visuais locais de todos os instrumentos meteorológicos.



**FIGURA 16: Abrigo de instrumentos meteorológicos usados em estações convencionais (VAREJÃO, 2006).**

### 3.2.3 Instrumentos Meteorológicos

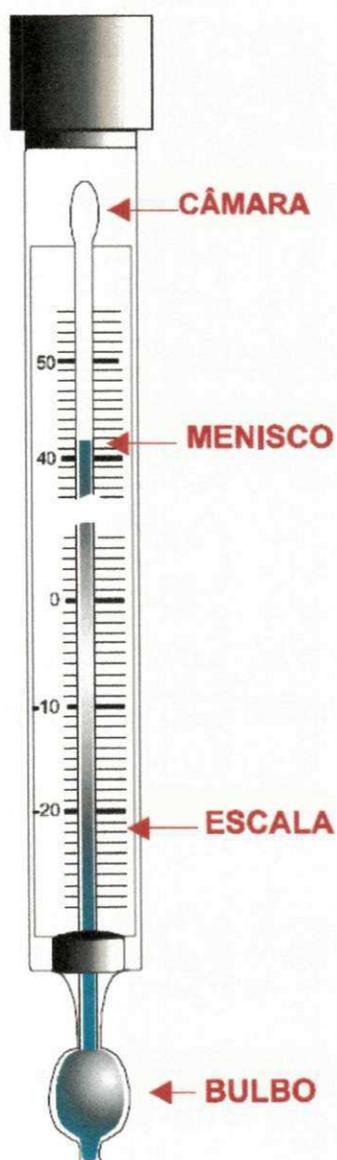
São instrumentos utilizados e que variam com as características das estações, em Meteorologia, utilizam -se desde simples cata-ventos mecânicos até sofisticados radares e satélites de última geração Tabela 3.

**Tabela 3: Equipamentos para estações meteorológicas de Superfície (VAREJÃO, 2006)**

INSTRUMENTOS	ESTAÇÕES		
	Sinótica	Meteorol.	Agrometeor.
Psicrômetro Ventilado Elétricos			X
Psicrômetro Ventilado	X	X	X
Termoigrógrafo	X	X	X
Termômetro de máxima	X	X	X
Termômetro de mínima		X	X
Termômetro de relva		X	X
Termômetro de imersão		X	X
Geotermômetros		X	X
Geotermógrafos			X
Pluviômetro	X	X	X
Pluviógrafo	X	X	X
Anemógrafo universal	X	X	X
Anemômetros		X	X
Barômetro	X	X	
Barógrafos	X	X	
Evaporímetros		X	X
Evapotranspirômetro			X
Orvalhógrafo		X	X
Heliógrafo		X	X
Actinógrafo		X	X
Radiometro		X	X
Visibilímetro	X		
Nefoscópio	X		

### 3.2.3.1 Os Termômetros Convencionais

São instrumentos destinados a determinação direta da temperatura. Fornecem, em geral, o valor instantâneo dessa variável. Em meteorologia, os termômetros convencionais são do tipo líquido - em - vidro, cujo funcionamento se baseia na variação de um líquido apropriado (o elemento sensível), em resposta a uma mudança da temperatura do meio em que está situado Figura 17.



**Figura 17: Esquema de um termômetro Convencional de mercúrio em Vidro -  
Fonte: (VAREJÃO,2006).**

### 3.2.3.2 Tempo de resposta de Termômetros

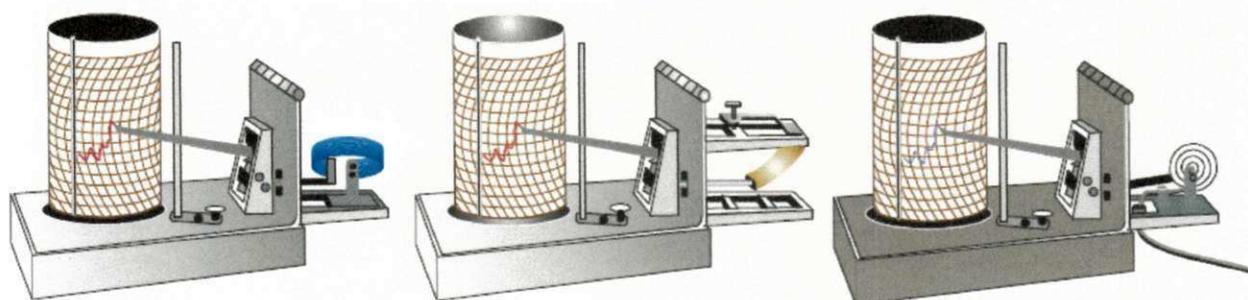
Para que um termômetro possa funcionar adequadamente, é necessário que esteja em equilíbrio térmico com o ambiente, cuja temperatura se deseja conhecer. Uma vez submetido a uma temperatura diferente, suas leituras vão se aproximando, gradualmente, do valor real. O intervalo de tempo necessário para adaptar-se às novas condições é chamado **tempo de resposta do instrumento** (VAREJÃO, 2006).

Em Meteorologia, porém, o emprego de termômetros com resposta muito rápida não é aconselhável (OMM). No caso da temperatura do ar, por exemplo, que pode variar 1 ou 2°C em poucos minutos, o uso de termômetros com pequeno tempo de resposta exigiria uma série de leituras, de cujos valores seria extraídas a média. Reciprocamente, se fossem empregados os termômetros de respostas muito lenta, o retardamento em adaptar-se termicamente ao ambiente provocaria erros apreciáveis.

O intervalo de tempo necessário para que o instrumento acuse 63% de uma mudança brusca da variável á qual é sensível, chama-se coeficiente de retardamento. Em termômetros usados para observar a temperatura do ar, recomenda-se um coeficiente de retardamento entre 30 a 60 segundos, sob um fluxo de ar de  $5\text{ m s}^{-1}$  (VAREJÃO, 2006).

### 3.2.3.3 Termógrafos Convencionais

São instrumentos destinados a fornecer um registro contínuo da temperatura durante um certo intervalo de tempo, o termo convencional está sendo empregado para designar aqueles equipamentos puramente mecânicos, ainda encontrados nas estações meteorológicas Figura 18.



**Figura 18: Termógrafos bimetalico(esquerda), de tubo de Bourdon(centro) e de mercúrio em aço (direita), todos sem a tampa protetora (VAREJÃO,2006).**

### 3.2.3.4 Psicrômetros

São basicamente, constituídos por dois termômetros comuns(mercúrio em vidro), sendo um com o bulbo descoberto e o outro com o bulbo revestido por um tecido fina(musselina, gaze, etc), que é molhado(preferencialmente com água destilada) imediatamente antes do uso do instrumento.

Esses termômetros são chamados,de termômetros de bulbo seco e termômetro de bulbo úmido.

Em alguns psicrômetros os termômetros são montados em um suporte, preso a uma corrente, que permite girá-lo assegurando um fluxo regular de ar junto aos bulbos  
Figura 19.



**Figura 19: Psicrômetro de funda(esquerda); psicrômetro Assmann(direita)  
(VAREJÃO,2006).**

### 3.2.3.5 Higrógrafos

São instrumentos que permitem obter diretamente a umidade relativa do ar. Seu funcionamento se baseia na variação do comprimento que experimenta um feixe de cabelos humanos, quando a umidade do ar se altera.

O feixe se distende com o aumento da umidade, contraindo-se no caso contrário, esse comportamento, no entanto, não é linear: o incremento observado é menor quando a umidade é elevada.

Obviamente, os cabelos devem ser previamente tratados para remover eventuais resíduos de gorduras e impurezas para não prejudicar as medidas Figura 20.

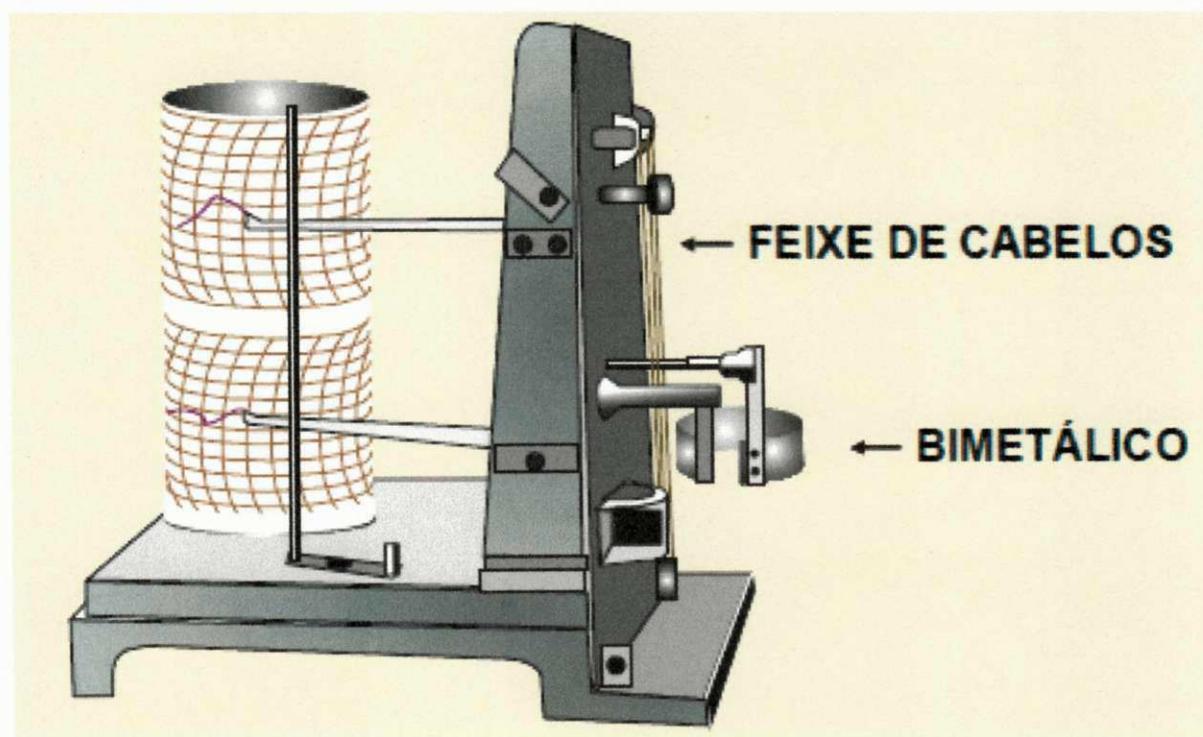


Figura 20: Higrógrafo – Fonte: (VAREJÃO,2006).

### 3.2.3.6 Anemômetros e Anemógrafos de Conchas

São instrumentos assim chamados por possuírem um conjunto de três (raramente quatro) conchas de metal leve ou de plástico, hemisféricas ou cônicas, dispostas simetricamente em um plano horizontal, como se ocupassem os vértices de um triângulo equilátero.

As conchas possuem uma haste que as prende ao eixo vertical do instrumento. O movimento circular das conchas, impulsionadas pelo vento, mostra a direção, velocidade instantânea e velocidade média do vento Figura 21.

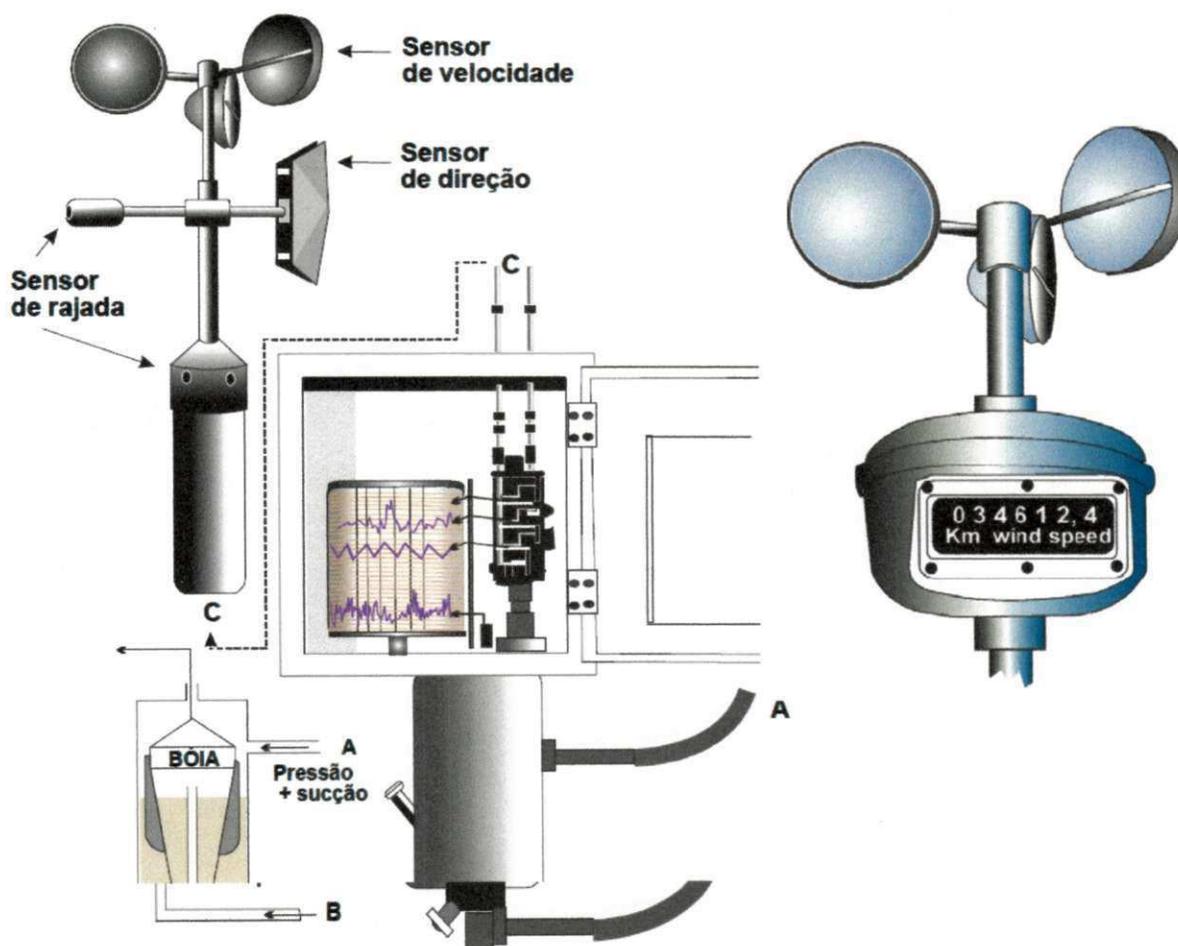
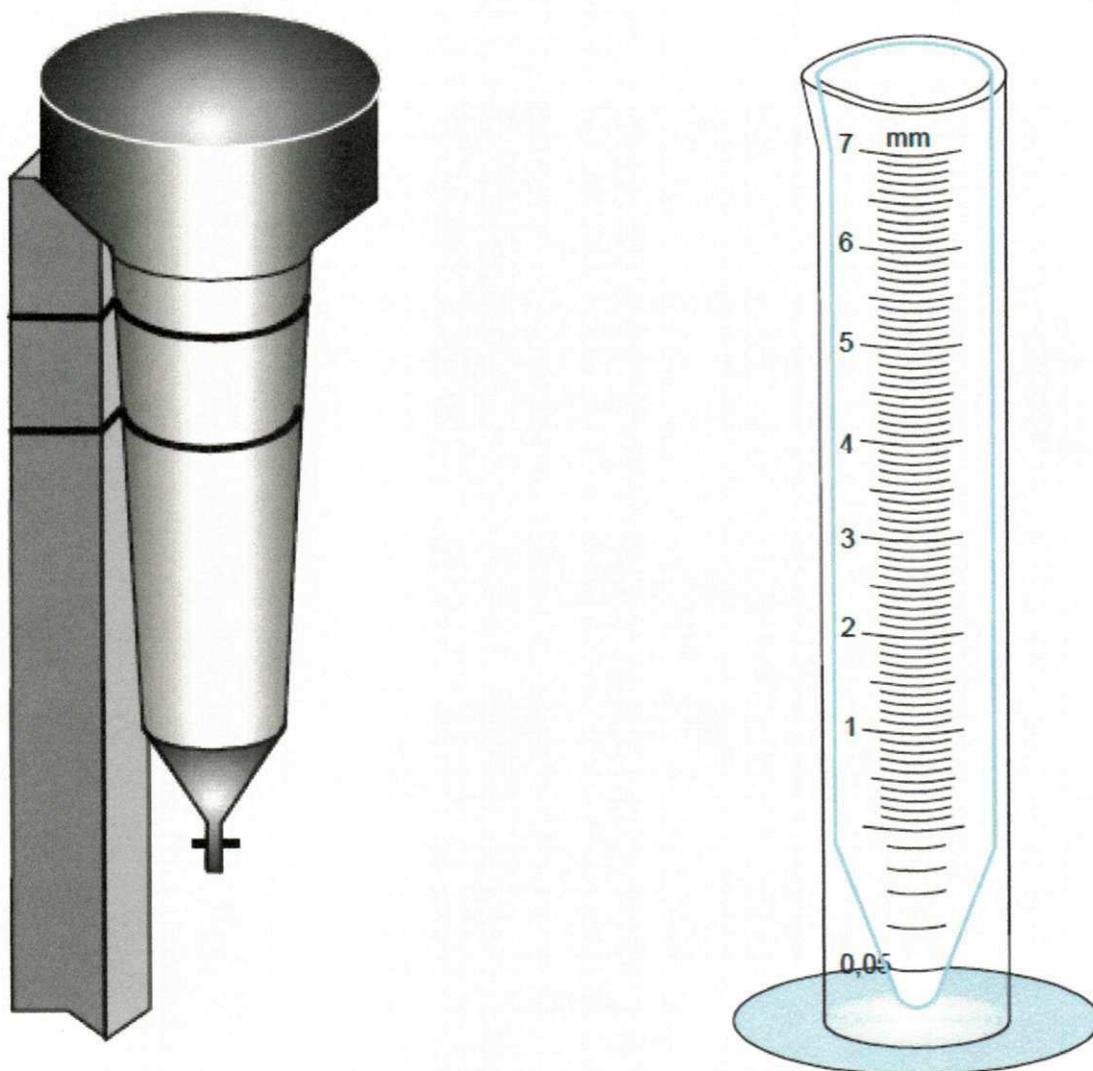


Figura 21: Anemógrafo e anemômetro – Fonte: (VAREJÃO,2006).

### 3.2.3.7 Pluviômetros

São instrumentos basicamente constituídos por um cilindro com um fundo afunilado, denominado de coletor, que faz escoar a água nele caída até um reservatório.

A superfície delimitada pelo bordo do coletor define a área de captação do pluviômetro Figuras 22 e 23.



Figuras 22 e 23: A) Pluviômetro Ville de Paris e B) Proveta Pluviométrica - Fonte: (VAREJÃO,2006).

### 3.2.3.8 Tanques Evaporímetros

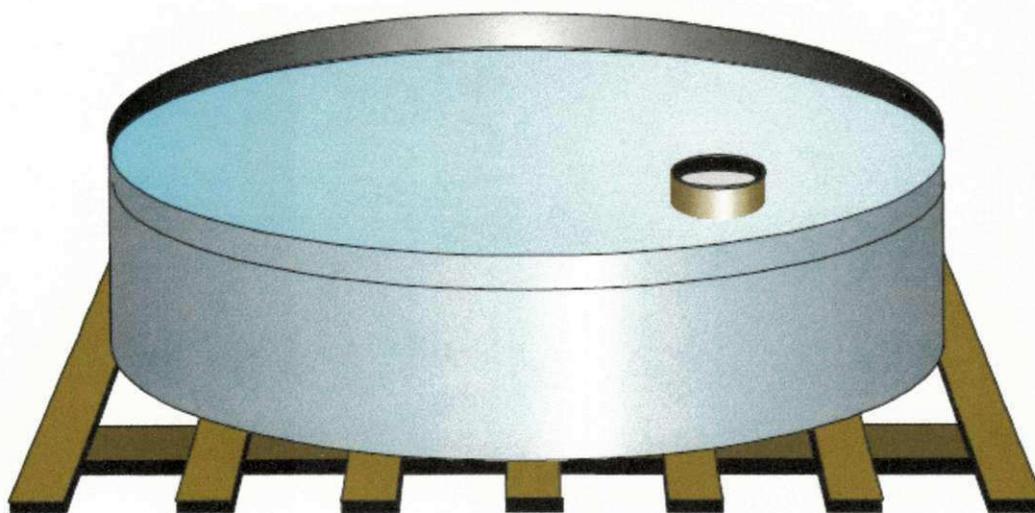
São recipientes, contendo água, usados para medir a evaporação que se processa na superfície líquida, relativamente ampla, que delimitam, fundamentam-se na aplicação do princípio da conservação da massa da água neles armazenadas.

Na prática, a medida da evaporação consiste em determinar a variação de nível (em mm) que a superfície líquida experimentou em um dado intervalo de tempo.

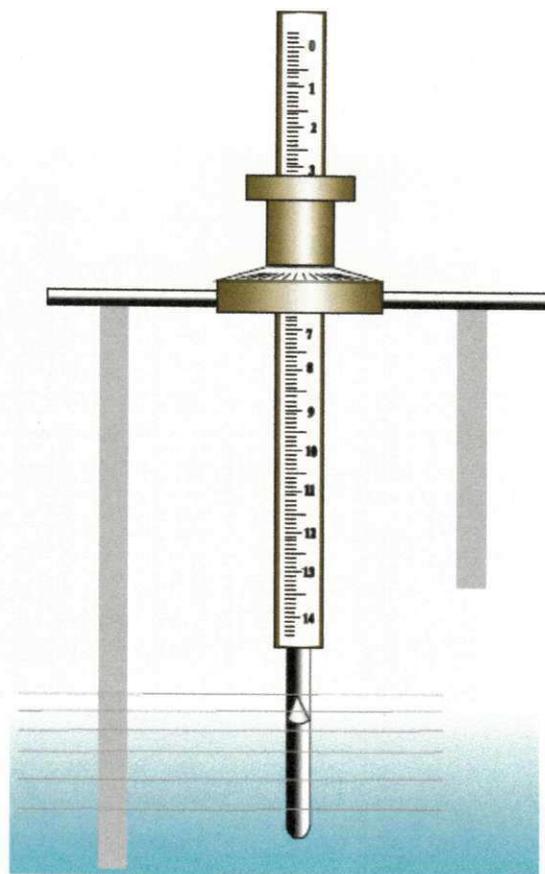
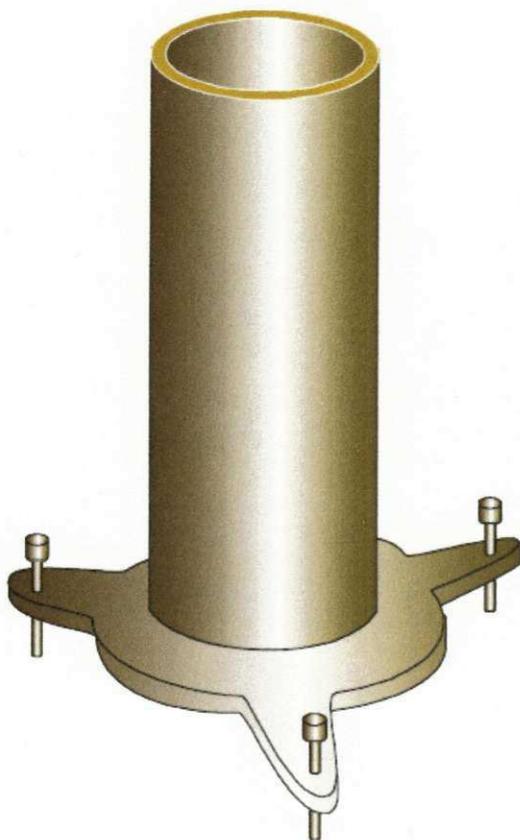
#### *Tanque evaporimétrico "Classe A"*

Um dos modelos de tanque evaporimétrico mais difundido no ocidente e adotado no Brasil é o "Classe A" Figura 24, desenvolvido pelo U. S. Weather Bureau.

Trata-se de um tanque que não é enterrado e não telado, montado a céu aberto sobre uma grade de barrotes de madeira, colocada em nível, como acessórios, o tanque possui um poço tranquilizador Figura 25, um micrômetro Figura 26 e um nível de pedreiro.



**Figura 24: Tanque Evaporímetro "Classe A" instalado, vendo-se, em seu interior, o poço tranquilizador (VAREJÃO,2006).**



**Figura 25: Poço tranquilizador**

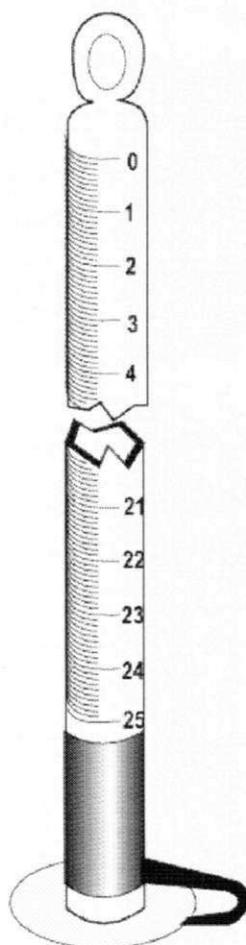
**Figura 26: Micrômetro para leitura do tanque Evaporímetro Classe A – Fonte: (VAREJÃO,2006).**

### **3.2.3.9 *Atmômetro ou Evaporímetro de Piche***

São instrumentos utilizados para medir a evaporação que se verifica a partir de uma superfície porosa úmida.

No Brasil o atmômetro mais usado em Meteorologia é conhecido como Evaporímetro de Piche, que consiste em um tubo de vidro transparente, com cerca de 30 cm de comprimento e 1 cm de diâmetro, tendo uma das extremidades fechadas e providas de um anel para dependurá-lo.

Na extremidade oposta é fixado, por meio de uma presilha, um disco de papel poroso Figura 27.



**Figura 27: Atmômetro de Piche – Fonte: (VAREJÃO,2006)**

### ***3.3 Condições Meteorológicas***

O aquecimento global tem se tornado alvo de discussões mundiais devido ao aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, provenientes, principalmente, da queima de combustíveis fósseis (IPCC,2007).

A busca por novas alternativas que promovam a substituição destes combustíveis por fontes renováveis tem se intensificado nas últimas décadas.

A disposição final incorreta dos resíduos sólidos também pode acarretar a emissão descontrolada de gases gerados em sua decomposição e na infiltração de

líquidos percolados no solo, causando impactos negativos à saúde da população e ao meio ambiente, contribuindo para o agravamento do efeito estufa (PECORA, 2010 e ARAUJO,2011).

Segundo Monteiro (2003) deve -se levar em conta o estudo das condições Meteorológicas da localidade onde será implantado o aterro já que essas condições meteorológicas influenciam nas reações de um aterro de resíduos sólidos urbanos, devido sua interferência nas propriedades físico químicas e biológicas que regem ao seu comportamento de maneira geral, exercem influência sobre todos os parâmetros monitorados num aterro, entre eles: geração, produção, qualidade e quantidade de lixiviado; físico- químicas:pH,DBO,DQO, metais, etc; microbiológicas, principalmente na quantificações de aeróbios e anaeróbios totais; massa de resíduos sólidos urbanos; fitotoxicidade; metais; teor de umidade e sólidos voláteis; temperatura interna; ensaios de SPT e biogás.

Observa-se que os fenômenos meteorológicos são fatores de influência em todo o processo biodegradativo, especificamente: temperatura ambiente, precipitação, umidade do ar, evaporação, direção dos ventos e outros.

### **3.3.1 Temperatura Ambiente**

A temperatura ambiente é um dos parâmetros que desempenha um dos papéis mais importantes dentre os fatores que condicionam o ambiente e a sobrevivência dos seres vivos. De maneira geral, existe uma faixa de temperatura ótima para que cada organismo possa crescer e desenvolver-se dentro do padrão da normalidade.

Essa faixa situa-se dentro de outra mais ampla, chamada de faixa de tolerância, cujos limites superiores e inferiores são críticos. Quando a temperatura ambiente atinge uma faixa de tolerância (zona superior e inferior), as atividades fisiológicas do ser começam a ser comprometidas ou vice versa (VAREJÃO, 2006).

A taxa de crescimento diminui, ou cessa por completo, em função do tempo de exposição e do afastamento da faixa de tolerância ótima, refletindo-se na produção de biomassa. Uma exposição maior que o máximo tolerável (crítica superior) ou menor que a mínima tolerável (crítica inferior) é muito prejudicial: os efeitos podem ser reversíveis e, caso a exposição seja prolongada, pode levar o organismo à morte, o que tem

acontecido na Europa no início de 2012, onde quedas bruscas de temperatura ambiental vem comprometendo a vida dos seres vivos.

No que se refere ao homem, a temperatura também está intimamente associada à sensação de conforto físico. Sabe-se que sob temperaturas elevadas às pessoas normalmente tendem a diminuir a atividade motora e intelectual. Uma razoável parte do consumo mundial de energia, debitada aos processos de climatização de ambientes, constata o esforço do homem para melhorar as condições reinantes em recintos e lugares.

A temperatura é um fator de grande importância para os processos biodegradativos, além de estabelecer correlações entre o ambiente interno e externo e a massa de lixo (ALVES,2010).

As expressões: temperatura ambiente, temperatura ambiental ou temperatura do ar são usadas em meteorologia, de modo equivalente, para traduzir a temperatura reinante em um ponto da atmosfera ou em um dado local da superfície terrestre. As observações da temperatura ambiente devem ser efetuadas a uma altura de 1,25 a 2,00m acima do terreno ou local (VAREJÃO, 2006).

Segundo Meira (2009) a temperatura é um parâmetro físico que interfere nos processos biológicos, nas reações químicas e bioquímicas, já segundo Vianello (1991) a temperatura é uma medida do grau de agitação das moléculas do gás; a energia cinética média de cada molécula do gás variando com uma temperatura absoluta ou poderá ser um indicador do estado energético de uma ou qualquer substância que sofre variações térmicas de acordo com o ambiente, na medição da temperatura, as escalas termométricas mais comuns são a Celsius, a Kelvin(a absoluta) e a Fahrenheit.

A temperatura ambiente, apresenta um ciclo diário, passando por um máximo (temperatura máxima do dia) e por um mínimo(temperatura mínima do dia). Em situações normais, valor máximo ocorre cerca de duas horas depois da culminância do sol; o mínimo acontece pouco antes do nascimento do sol. O valor típico da temperatura ambiente pode ser determinada com medição "in situ" ou através de uma média aritmética de valores extraídos dos termômetros (VAREJÃO, 2006).

### 3.3.2 Umidade do Ar

A umidade do ar é um elemento atmosférico de extrema importância no ciclo vital do homem e no ambiente que vive, o ciclo hidrológico é uma seqüência fechada de fenômenos naturais que podem ser dividida em duas partes: o ramo aéreo, normalmente estudado no âmbito da Meteorologia e o ramo terrestre, objeto da Hidrologia. A superfície limítrofe dos fenômenos pertinentes a cada um desses ramos é a interface globo - atmosfera, no estado vapor, encerrando-se no momento que é devolvida á superfície terrestre, no estado líquido ou sólido (VAREJÃO, 2006).

A água pode estar presente no ar nos três estados físicos: sólido, líquido e gasoso, e os processos de transformação de uma fase para outra são responsáveis pela absorção e liberação de grandes quantidades de energia, no estado gasoso, as moléculas do vapor d'água misturam-se perfeitamente com os demais gases da atmosfera. Embora não sejam vistas a olho nu, sua ocorrência é percebida pela sensação de conforto e desconforto térmico que produz ao seres vivos (MENDONÇA, 2007).

Em Meteorologia, o termo umidade do ar se refere á presença de vapor d'água na atmosfera e não a presença de água nas formas líquida e sólida (VIANELLO, 1991).

Segundo Mendonça (2007) os termos pressão de vapor, umidade absoluta, umidade específica, razão de mistura e umidade relativa são variações na forma de abordar a presença de vapor, a umidade absoluta expressa o peso do vapor de água em um dado volume de ar, todavia a não é muito utilizada porque pode não retratar a quantidade real de vapor existente no ar, já que o ar muda de volume ao ascender(rarefaz-se) e ao descender(adensa-se).

A umidade específica é dada pela razão entre o peso do vapor de água e o peso do ar, a razão de mistura é a relação entre a quantidade de vapor em gramas existente em um quilograma do ar, sem o peso próprio do vapor, isto é, retrata a mistura do vapor com o ar seco, já a umidade relativa é certamente o termo mais conhecido para representar a presença de vapor no ar, ela expressa uma relação de proporção relativa entre o vapor existente no ar e o ponto de saturação do mesmo.

A transferência de vapor de água para atmosfera é causada pela evaporação da água do solo e das superfícies líquidas (oceanos, lagos, cursos d'água, rios e reservatórios), a atividade biológica dos seres vivos e lugares são influenciados por essa umidade.

Sob o ponto de vista puramente meteorológico, a variação da concentração de vapor d'água no ar tem implicações profundas em diversos estudos, por influir significativamente na energética da atmosfera (HENRIQUE,2006).

O conhecimento da quantidade de vapor d'água existente no ar é essencial em diversos ramos da atividade humana, sabe-se que, por exemplo, a umidade do ar é um dos fatores que condicionam o desenvolvimento de muitos microrganismos patógenos que atacam as plantas e a própria transpiração vegetal está intimamente relacionada com a umidade do ar adjacente,também é conhecida sua influência na longevidade, na fecundidade e na taxa de desenvolvimento de muitas espécies de insetos (NETO,2010).

Por outro lado, é um dos parâmetros utilizados para definir o grau de conforto ambiental para pessoas e animais e, também, ressalta-se que a manutenção da faixa ótima de umidade do ar constitui objeto de constante controle durante a armazenagem de inúmeros produtos (VAREJÃO, 2006).

### **3.3.3 Precipitação**

É a queda livre de partículas no estado líquido ou sólido na superfície terrestre (VIANELLO,1991);(VAREJÃO, 2006).

Na formação das nuvens, pequenas gotas e diminutos cristais de gelo rapidamente se condensam e sublimam-se ao redor dos núcleos de condensação e sublimação, crescendo molécula por molécula, sem atingirem o tamanho adequado para precipitarem, contudo, algumas gotas e cristais crescem o suficiente para começarem uma queda apreciável. Em suas quedas, vão agregando -se as moléculas que encontram pelo caminho o que permite que elas rapidamente cresçam para gotas maiores, conseguindo atingir a superfície na forma de chuva, neve ou granizo, água no estado líquido ou sólido (MENDONÇA,2007).

A precipitação pluviométrica (chuva) é dada em milímetros e se refere a altura da água coletada em pluviômetros ou pluviógrafos, que trabalham comumente com a quantidade total de água precipitada em um dia e, a partir do total diário, obtêm-se o mensal, sazonal, anual e ainda os valores pluviométricos normais (MENDONÇA,2007).

Segundo o Atlas Internacional de Nuvens- OMM (1972) são considerados precipitações:

**Chuva** – É a precipitação de gotas de água com diâmetro superior a 0,5cm, chuvas muito intensas, que normalmente duram pouco são conhecidas como aguaceiros (as de maiores duração são erroneamente chamadas de trombas d'água).

**Chuvisco ou Garoa** - precipitação bastante uniforme, constituídas de finas gotas de água.

**Geada** – Deposito de gelo, aspecto cristalino, apresenta-se de várias formas.

**Granizo** – Precipitação em forma de grãos de gelo de diâmetro superior a 5cm.

**Neve** – Precipitação de flocos de gelo em cuja maioria são ramificados ou estrelados e podem tomar formas diferentes.

De acordo com Mendonça (2007) o padrão de distribuição espacial de precipitação de chuvas em escala planetária mantém uma forte interrelação com as correntes marítimas, as zonas de temperaturas, os processos de evaporação, os ventos oceânicos e a dinâmica da baixa atmosfera, isso contribui para que a precipitação seja maior em algumas localidades e outras menores.

### **3.3.4 Evaporação**

Em Meteorologia o termo evaporação é usado para designar a transferência de água para a atmosfera, sob a forma de vapor, decorrente, tanto da evaporação que se verifica no solo úmido sem vegetação, como também nos oceanos, lagos, rios, açudes e outras superfícies hídricas naturais, como da sublimação que se processa nas superfícies geladas (VAREJÃO, 2006).

Segundo Vianello (1991) e Varejão (2006) a teoria cinética dos gases, a passagem da água à fase gasosa se dá como resultado do aumento da energia cinética das moléculas, requerendo, por isso, o dispêndio de uma certa quantidade de calor (o calor latente de vaporização). Assim, a transição de fase líquida vapor ou sólida vapor depende da temperatura disponível à superfície e também do índice de precipitação de uma localidade, por outro lado, a difusão do vapor d'água produzido na interface superfície atmosfera está também condicionada à pressão.

Assim, quando uma superfície estiver saturada, uma quantidade das moléculas passam para o estado gasoso, em um certo intervalo de tempo, torna-se igual à quantidade das que retornam aos estado líquido, no mesmo intervalo, nessas circunstâncias, a evaporação virtualmente cessa.

O vento remove o vapor de água produzido, evitando que atmosfera adjacente se sature, outra consequência é o fluxo vertical de vapor d'água para atmosfera que está condicionada pelo saldo de energia (temperatura), pela velocidade dos ventos e pela umidade do ar reinante na camada da superfície evaporante (JUNIOR,2006).

Em se tratando de superfície de água, a evaporação é ainda influenciada pelas propriedades físicas da água, principalmente sua salinidade. Em um planeta onde a água potável está se tornando cada vez mais escassa e conseqüentemente cara, o estudo sobre perdas hídricas é importante, em regiões áridas e semi -áridas, onde a disponibilidade hídrica é fator limitante da produção agrícola e, em situações menos favoráveis, chega mesmo a por em risco a sobrevivência de populações inteiras (JUNIOR,2006).

O conhecimento da distribuição espacial e temporal da transferência de vapor de água para atmosfera o que facilita bastante o estabelecimento de políticas visando o uso racional da água, como também favorecem projetos que visem trabalhar com baixas precipitações (IPCC,2007).

Estudos dessa natureza possibilitam a aquisição de conhecimentos que proporcionem melhor controle de aproveitamento de reservatórios, racionalizando a demanda de água para fins de indústrias, domésticos e agrícolas. Também torna possível quantificar as lâminas de água usadas para irrigação e os turnos de rega, minimizando os desperdícios e mantendo o solo em uma faixa de umidade adequada (MENDONÇA, 2007).

O estudo da evaporação reveste-se também de especial importância, mesmo quando são considerados aspectos puramente meteorológicos. É que o vapor de água age como um eficiente meio de transporte meridional de energia (calor latente), interferindo no balanço energético em escala planetária, as áreas que atuam como fontes importantes do vapor atmosférico (VAREJÃO, 2006).

### **3.3.5 Ventos**

São quaisquer movimentos do ar atmosférico, que ocorrem naturalmente no interior de um fluido, a grandes alturas e sobre a superfície terrestre (VIANELLO, 1991).

De acordo com Mendonça (2007) são fenômenos relativamente simples, mas, com estudos de grande importância para todas as áreas profissionais, mostra sua importância na mudança brusca do tempo, no deslocamento das massas de ar. Já Vianello (1991) retrata dos componentes horizontais do vento são importantes para o

mecanismo termodinâmico da atmosfera, pois, transportam propriedades de fluidos, temperatura, grandes ondas de calor e frio, já as verticais, embora que só possa ser medido com o uso de equipamentos sofisticados que determinam as formações de nuvens e precipitações, por isso torna-se um dos principais parâmetros para os previsores do tempo.

A caracterização do vento em qualquer ponto da atmosfera requer dois parâmetros: direção e velocidade. Ambas são grandezas instantâneas e pontuais pois, o escoamento do ar depende das condições atmosféricas (que variam no espaço e com o tempo), o que influencia em vários setores da sociedade: na aviação, na implantação de qualquer estrutura inclusive aterros sanitários e outros, nas proximidades da interface superfície atmosfera. O vento é altamente influenciado pelas características geométricas e pelo estado de aquecimento da própria superfície (VIANELLO,1991); (VAREJÃO,2006).

### **3.4 BIODEGRADAÇÃO X METEOROLOGIA**

#### **3.4.1 Teor de Umidade dos Resíduos**

O teor de umidade é a relação entre o peso de água e o peso dos sólidos contido num volume de material. Sua determinação é de fundamental importância para a vida dos microrganismos que decompõem a matéria orgânica existente nos RSU. Além disso, o teor de umidade influencia no poder calorífico e no peso específico úmido dos RSU segundo Melo (2011).

De acordo com Manassero (1996) os valores de teor de umidade são modificados pelos seguintes fatores: pelas condições meteorológicas do local pela composição gravimétrica inicial dos resíduos e pelo sistema de drenagem, dentre outros fatores. Para que haja a decomposição biológica dos resíduos sólidos a umidade considerada ideal é próxima a do teor de umidade na capacidade de campo, pois se a umidade estiver abaixo de 40%, pode haver limitação das reações biológicas de biodegradação e, abaixo de 20%, a decomposição é inibida.

Segundo Lima (2004) o teor de umidade, que representa a quantidade de água contida na massa de lixo, é um dado importante para a escolha do sistema de tratamento e aquisição de equipamentos de coleta. Este teor presente nos resíduos sólidos depende diretamente das condições meteorológicas e varia de um lugar para outro, localidades

onde a Umidade do ar é alta a tendência são resíduos mais úmidos já em outros locais onde a umidade é baixa encontra-se resíduos mais secos.

Os microrganismos dependem de um meio aquoso para se desenvolverem. De acordo com Monteiro (2003), a água dilui nutrientes requeridos pelos microrganismos, além de possibilitar sua rápida percolação/lixiviação no meio sólido. Esta também possibilita o transporte de enzimas e outros metabólitos importantes no processo de decomposição. Alguns autores sugerem que o teor de umidade e o teor de matéria orgânica constantes nos resíduos fornecem os pré-requisitos necessários à fase inicial do crescimento bacteriano.

A quantidade de água infiltrada pode prejudicar a biodegradação elevando o teor de umidade no interior da massa de lixo. A faixa ótima de umidade para a degradação biológica está entre 20-40%, sendo que valores fora desta faixa podem desestabilizar a célula de lixo (MONTEIRO, 2003).

Alguns autores afirmam que o aumento do teor de umidade em uma massa de lixo contribui para um aumento da velocidade de degradação. Entretanto, aumentando a velocidade do fluxo de água sem variar o teor de umidade aumenta também a geração de metano (MACIEL, 2009; JUCÁ, 2003).

### **3.4.2 Composição gravimétrica**

A caracterização gravimétrica dos RSU é uma ferramenta importante dentro da estrutura de gestão destes resíduos e serve como um indicador da quantidade que cada tipo de resíduos ocupa em volume nas células do aterro, indicando que a falta de programas de reciclagem e reutilização pode reduzir a vida útil desses resíduos (Pereira *et. al.*, 2010).

A composição gravimétrica dos resíduos é também um parâmetro que irá auxiliar na avaliação do potencial de geração de gases. Na ausência da caracterização química do lixo, a gravimétrica pode ser utilizada por meio de analogias indiretas baseadas em medições da produtividade de gases de outros resíduos e aterros com características parecidas. Como já mencionado, esta avaliação apresenta estimativas imprecisas.

Os resíduos urbanos apresentam composições gravimétricas distintas a depender de aspectos sociais, econômicos e culturais da população. Uma grande

diferença na composição é notada, principalmente, em relação ao grau de desenvolvimento econômico da localidade (MACIEL,2003).

A composição gravimétrica permite identificar o resíduo gerado, sendo a etapa inicial de qualquer definição posterior de gerenciamento e constitui uma informação importante na compreensão do comportamento da massa de lixo, aterrados ou não, e expressa, em percentual, a presença de cada componente, em relação ao peso total da amostra dos resíduos (MELO & JUCÁ, 2000).

### **3.4.3 Microrganismos**

Os resíduos sólidos urbanos são constituídos de diversas comunidades microbiológicas. Dentre os diversos grupos de microorganismos presentes nos resíduos, aqueles que auxiliam na biodegradação dos resíduos são as bactérias e em menor escala, os fungos e protozoários (MACIEL,2003 & 2009;MELO,2011;ARAUJO,2011).

Segundo Araújo (2011) os microrganismos são ainda classificados de acordo com a capacidade de metabolização do oxigênio ( $O_2$ ). Esta classificação envolve as espécies aeróbias, anaeróbias e facultativas, pois, atuam nos resíduos orgânicos mais facilmente degradáveis, como restos alimentares e de poda e papéis.

Os microrganismos aeróbios são aqueles que dependem do  $O_2$  para se desenvolverem. Por outro lado, os anaeróbios são aqueles que atuam na ausência de  $O_2$ . Os microorganismos facultativos suportam ambientes com presença ou ausência de  $O_2$  (SCHLEGEL, 1995).

A matéria orgânica também é rica em carboidratos (ex. celulose e hemicelulose), proteínas e lipídios. Segundo Haith (1998) a matéria orgânica biodegradável presente no aterro pode ser expressa pela composição química geral:  $Ca;Hb;Oc;Nd$ ; sendo a, b, c e d variáveis em função do tipo de fração orgânica presente nos resíduos.

#### **3.4.3.1 Decomposição aeróbia (Fase I)**

O processo de decomposição aeróbio normalmente se estabelece durante a disposição dos resíduos na célula, estendendo-se até um curto período após a execução do sistema de cobertura, quando ainda existe oxigênio livre no interior da massa do lixo.

De acordo com Palmisano e Barlaz (1996), a fase aeróbia geralmente só chega a durar alguns dias. Já Monteiro *et. al.* (2002) relataram uma grande presença de espécies aeróbias nos resíduos de células cobertas a 5 anos no Aterro da Muribeca, mas este fato decorre do ingresso de O<sub>2</sub> pela ineficiência dos sistemas de cobertura e drenagem de gases (MACIEL E JUCÁ, 2000). O pH inicial do lixo na decomposição aeróbia é quase neutro (pH 7), decrescendo à medida que a decomposição anaeróbia ácida se estabelece.

#### **3.4.3.2 Decomposição anaeróbia (Fases II, III, IV e V)**

Após o período de consumo do O<sub>2</sub> ou da predominância de espécies aeróbias no ambiente interno das células de lixo, prossegue-se a decomposição dos resíduos anaerobiamente.

De acordo com Gandolla (1997), a etapa de decomposição anaeróbia é composta por quatro fases.

A Fase II, fase ácida, é caracterizada, inicialmente, pela “quebra” de polímeros complexos em monômeros na presença de água (hidrólise) e baixa produção de ácidos. O término desta fase ocorre quando os monômeros são transformados em diferentes ácidos (carboxílicos, graxos voláteis, acéticos) por processos acidogênicos e/ou acetogênicos. O pH do ambiente antes neutro (fase aeróbia) cai para valores entre 5,0 e 6,0.

A Fase III, fase metanogênica instável, compreende uma etapa de transição entre o fim da acetogênese e início da metanogênese. Alguns autores, como Palmisano e Barlaz (1996), nem sequer chegam a caracterizar esta transição como uma fase do processo de degradação, pois os grupos de bactérias acidogênicas, acetogênicas e metanogênicas participam simultaneamente da decomposição do lixo.

A Fase IV, fase metanogênica estável, é a mais longa do processo. A presença de ácidos decresce com a queda da população de bactérias acidogênicas e o Ph tende a voltar a neutralidade. Esta fase resulta na formação do biogás, em que a geração do metano e dióxido de carbono tende a se estabilizar por um longo tempo em patamares de 45-60% e 35-50%, respectivamente.

A fase V (maturação), consiste na etapa final da decomposição dos resíduos. A matéria orgânica facilmente e medianamente degradável já foi praticamente consumida e os resíduos encontram-se em processo de bioestabilização. Nesta fase, o pH tende a ser

maior que 7 e a geração do biogás começa a decrescer, podendo cessar após muitos anos.

### **3.5 PARÂMETROS FÍSICOS QUÍMICOS**

#### ***3.5.1 Potencial hidrogeniônico (pH)***

O pH é usado para expressar o grau ácido/básico de uma solução, ou seja, expressa a concentração de íons hidrogênio e hidroxilas nessa solução. Este parâmetro é muito importante, pois influencia muitas reações químicas e bioquímicas, o que pode afetar várias populações de microrganismos (ALCÂNTARA, 2007); (SILVA,2011).

De acordo com Oliveira (2004) a massa dos resíduos sólidos domiciliares costuma ser ácida, com pH inicial na faixa de 4,5 a 5,5. No processo de bioestabilização desta massa de resíduos, o pH tende a se neutralizar, situando-se entre 7,0 - 8,0.

Em função do pH e sua capacidade de crescimento no meio, os microrganismos podem ser classificados em acidófilos, neutrófilos e basófilos. Os primeiros microrganismos apresentam crescimento ótimo em pH baixo, enquanto o último a taxa de crescimento ocorre em meios alcalinos. Boa parte dos microrganismos são neutrófilos com crescimento na faixa de pH próximo a 7 (MEIRA, 2009).

A maioria das bactérias adapta-se a um meio cujo pH ótimo é em torno da neutralidade, pois é o mais adequado para absorção de nutrientes (SILVA E RIBEIRO, 2011).

#### ***3.5.2 Ácidos voláteis***

Dillenburg (2006) reporta que os ácidos voláteis estão entre os compostos mais importantes para a digestão anaeróbia e seu estudo é de fundamental importância para compreender esta digestão. Os ácidos voláteis possuem até seis carbonos e apresentam baixo peso molecular. Podem ser definidos como ácidos graxos solúveis em água, que podem ser destilados a pressão atmosférica.

De acordo com Leite (2008) na decomposição bioquímica da matéria orgânica, uma variedade de bactérias saprófitas hidrolisam e convertem o material complexo em compostos de menor peso molecular como os ácidos graxos (ácido acético, propiônico e

butírico). Estes ácidos são chamados de voláteis porque podem ser destilados sob pressão atmosférica. O acúmulo destes ácidos pode prejudicar a digestão anaeróbia se a capacidade de tamponamento extrapolar e o pH baixar (RIBEIRO *et. al.*,2011).

A instabilidade do processo anaeróbio pode ocorrer quando a produção de ácidos voláteis é maior que seu consumo, provocando queda do pH e inibição das atividades de bactérias metanogênicas.

### **3.5.3 Sólidos voláteis**

É através da determinação dos sólidos voláteis que se determina a porcentagem de cinzas e a quantidade de matéria orgânica existentes nos resíduos sólidos. Este parâmetro pode ser considerado como um indicador de degradabilidade dos resíduos ao longo do tempo. Altos teores de sólidos voláteis indicam a presença de muita matéria orgânica a ser degradada e baixos valores indicam que a matéria orgânica já passou por um processo acentuado de degradação.

É um parâmetro de grande importância para o acompanhamento das alterações de propriedades químicas, biológicas e físicas da massa de lixo depositada em aterro. Os sólidos voláteis presentes na fração líquida resultante do processo de decomposição representam a parcela facilmente degradável, ou seja, os primeiros resultados da atividade microbiana (MONTEIRO, 2003).

### **3.5.4 Temperatura interna**

Inicialmente, no aterro sanitário ocorrem altas temperaturas, devido às condições aeróbias e anaeróbias, seguidas por seu declínio. Em situações reais, segundo alguns autores, a temperatura geralmente não ultrapassa 45°C, mesmo durante a fase aeróbia (BIDONE & POVINELLI, 1999). No entanto, estudos realizados por Monteiro *et. al.* (2002), indicaram temperaturas superiores a 60° C em algumas células do Aterro da Muribeca- PE.

As bactérias podem crescer em faixa de temperaturas mínima, ótima e máxima. Na temperatura ótima, as enzimas bacterianas estão na forma mais ativa, enquanto que na temperatura mínima as enzimas trabalham com menor eficiência e são, portanto, mais demoradas durante a conversão da matéria orgânica complexa em subprodutos.

Na faixa máxima de temperatura, pode ocorrer a desnaturação das proteínas (destruição do arranjo molecular) causando a morte celular. As Bactérias metanogênicas, por exemplo, são bastante sensíveis às bruscas mudanças de temperatura e se desenvolvem naturalmente, sob temperaturas mesofílicas, de 30°C a 40°C e termofílicas, de 50°C a 60°C (PAES, 2003).

### 3.5.5 Biogás e Lixiviado

O gás produzido em aterro é composto principalmente de gases provenientes da decomposição anaeróbia da matéria orgânica dos resíduos sólidos. Os gases que são encontrados nos aterros incluem o amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o monóxido de carbono (CO), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e oxigênio ( $\text{O}_2$ ). Destes, os principais gases provenientes da decomposição anaeróbia dos componentes biodegradáveis dos resíduos orgânicos são o metano e o dióxido de carbono (GARCEZ, 2009; BÖRJESSON, 2004).

Na Tabela 4 mostra fatores que afetam na geração de gases e também na geração de lixiviado com as seguintes classificações: geometria e operação de aterro, características iniciais dos resíduos e do ambiente interno e externo à célula. O resultado da interação física, química e biológica de todos estes fatores ao longo do processo de degradação dos resíduos é fundamental para definição das diferentes fases de decomposição dos resíduos e do potencial dos gases e líquidos.

**Tabela 4: Fatores de influencia na geração de biogás e lixiviado (MACIEL, 2009).**

<b>Geometria e operação do aterro</b>	<b>Características Iniciais dos resíduos</b>	<b>Ambiente interno</b>	<b>Ambiente externo</b>
Dimensão do aterro Impermeabilização do aterro Compactação dos Resíduos; - - -	Composição dos Resíduos; Umidade dos Resíduos; - - -	Umidade da Massa; pH na célula; Temperatura; Nutrientes; Presença de agentes inibidores. -	Precipitação e infiltração; Variação da Pressão atmosférica; Temperatura ambiente; Direção dos ventos;(Odor) Evapotranspiração e Evaporação; Umidade do ar.

A geração de biogás a partir da degradação dos resíduos sólidos “biogásificação” pode ser definida como um processo biológico em que os microrganismos em condições anaeróbias decompõem a matéria orgânica para produzir gases, sendo o CH<sub>4</sub> o principal gás produzido e secundariamente o CO<sub>2</sub> outros gases (TARAZONA, 2010).

Segundo Monteiro (2003) e Maciel (2009) afirma que o processo de decomposição anaeróbia de materiais putrescíveis em aterros de resíduos sólidos acarreta na produção de biogás. Este gás além de apresentar um caráter inflamável, causa problemas ambientais devido á presença quase na totalidade do CH<sub>4</sub>(40-65%) e CO<sub>2</sub> (25-40%), entre outros gases: N<sub>2</sub> (0-10%), O<sub>2</sub> (1-4%), H<sub>2</sub> (0,05%).

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

Segundo Pecora (2008) e Tarazona(2010) a capacidade de um aterro gerar gás depende de fatores como:

- **Composição física:** a caracterização física esta relacionada com os diferentes tipos de materiais que compõe os resíduos sólidos (papel, papelão, resíduos de comida, madeira, tecidos, borracha e couro, folhas, plásticos, vidros, metais, entre outros), sendo que, a porcentagem de cada um destes materiais influi diretamente no potencial de geração de CH<sub>4</sub>, devido ao seu potencial de biodegradabilidade. Os resíduos orgânicos são os que apresentam maior biodegradabilidade e será decomposto mais rapidamente.

- **Composição química:** a produção de biogás é acelerada com aumento de nutrientes de origem orgânica. A relação de C:N considerada como ótima para a estabilização anaeróbia é de 30:1, os resíduos sólidos apresentam uma relação de C:N de 50:1.

- **Temperatura:** a atividade biológica, ou seja, a atividade enzimática dos microrganismos depende de uma faixa ótima de temperatura. Cada classe de microrganismos tem um intervalo tolerável para sua sobrevivência. As bactérias mesofílicas trabalham em uma temperatura mínima entre 10-15°C, um valor ótimo de 35-38°C e uma temperatura máxima aproximada de 45°C. Já as bactérias termofílicas, trabalham numa temperatura mínima de 35-38°C, um valor ótimo de 50-55°C e

temperatura máxima de 70-75°C. A faixa ótima de temperatura para a geração de metano é de 30°C a 40°C, sendo que temperaturas abaixo dos 15°C propiciam severas limitações para a atividade metanogênica.

- **pH e nutrientes:** a produção de metano é favorecida em ambientes com pH neutro. O intervalo ótimo de pH para as bactérias é de 6,7 a 7,5. Com o intervalo ótimo de pH, pode se obter uma alta taxa de crescimento de bactérias metanogênicas, aumentando a produção de CH<sub>4</sub>. Fora deste intervalo (pH menor que 6 e maior que 8), a produção de CH<sub>4</sub> pode ser seriamente limitada. Com relação aos nutrientes, os microrganismos têm necessidade destes elementos que estão presentes nos resíduos sólidos.

- **Entrada de oxigênio nas células:** presença exagerada de oxigênio durante a fase anaeróbia retarda a geração de biogás.

- **Dimensão física e operação do aterro:** a redução do volume de lixo pelo processo da compactação e utilização de pequenas áreas para um rápido fechamento das células pode encurtar a fase aeróbia e será mais acentuada a produção do gás.

- **Natureza dos resíduos e tamanhos das partículas:** a redução do tamanho das partículas contribui para o acréscimo da produção de gás em função do aumento da superfície do substrato disponível para a atividade enzimática e a composição do lixo afetará a percentagem, qualidade e quantidade de gás gerado.

- **Umidade:** este fator é um dos mais significativos depois da composição dos resíduos, pois proporciona o meio adequado para os materiais degradáveis e fornece o meio de transporte para a distribuição de nutrientes e bactérias dentro do aterro.

- **O solo de cobertura, o conteúdo de bactérias existentes nos resíduos, a existência de tratamentos e a proporção da matéria orgânica** são outros fatores importantes que podem afetar a geração do biogás.

## 3.6 ANALISES ESTATÍSTICAS

### 3.6.1 Estatística Descritiva

A estatística, de acordo com Guedes (2011) é a ciência que apresenta processos próprios para coletar, apresentar e interpretar adequadamente conjuntos de dados, sejam eles numéricos ou não. Seu objetivo é apresentar informações sobre dados em análise para que se tenha maior compreensão dos fatos que os mesmos representam.

Segundo Fonseca (1994) a estatística subdivide-se em três áreas distintas: a descritiva, a probabilística a inferencial, a estatística descritiva se preocupa em descrever os dados; a estatística inferencial, fundamentada na teoria das probabilidades, se preocupa com a análise destes dados e sua interpretação.

A estatística descritiva tem como finalidade sintetizar uma série de valores de mesma natureza, permitindo dessa forma que se tenha uma visão global da variação desses valores, organizando e descrevendo os dados de três maneiras: por meio de tabelas, de gráficos e de medidas descritivas (GUEDES, 2011);(PAIVA,2009).

A estatística descritiva é um conjunto de técnicas que objetivam descrever, analisar e interpretar os dados numéricos de uma população ou amostra (FONSECA e MARTINS, 1994; PAIVA,2009)

De acordo com Peternelli (2011) a estatística descritiva é a parte da estatística que procura descrever e avaliar certo grupo, sem tirar quaisquer conclusões ou inferências sobre um grupo maior. Ela pode ser resumida nas seguintes etapas: definição do problema; planejamento; coleta dos dados; crítica dos dados; apresentação dos dados (tabelas, gráficos) e descrição dos dados.

### **3.6.1.1 Correlações**

O termo correlação refere-se a qualquer elemento de uma ampla classe de relações estatísticas envolvendo dependência. As correlações são definidas como uma medida da relação entre duas ou mais variáveis.

O tipo de coeficiente de correlação mais utilizado é o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), também chamado de linear ou produto-momento de correlação. A correlação de Pearson assume que as duas variáveis são medidas em escalas intervalares à medida que os valores das duas variáveis são "proporcionais" uns aos outros.

Coeficiente de correlação pode variar de -1,0 a 1,0. O valor de -1,0 representa uma perfeita correlação negativa enquanto um valor de 1,0 representa uma perfeita correlação positiva. Segundo Dancey e Reidy (2006) correlações entre 0,10 e 0,30 podem ser consideradas fracas; entre 0,40 e 0,60 podem ser consideradas moderadas; e valores entre 0,70 e 1,0 podem ser interpretados como forte. Seja como for, o certo é que quanto mais perto de 1,0 (independente do sinal) maior é o grau de dependência

estatística linear entre as variáveis. No outro oposto, quanto mais próximo de zero, menor é a força dessa relação.

#### **3.6.1.1.2 Teste de Normalidade**

Os testes de normalidade são empregados para verificar a distribuição normal dos dados. Seu objetivo é direcionar o pesquisador, a saber, qual o tipo de teste será utilizado, se um teste paramétrico ou não paramétrico (RODRIGUES, 2008).

A necessidade de testar a hipótese de normalidade multivariada fica evidenciada quando o pesquisador pretende avaliar se as condições pressupostas para a validade da inferência que irá realizar foram atendidas (CANTELMO E FERREIRA, 2007).

Segundo Cantelmo e Ferreira (2007) alguns problemas podem ser destacados na aplicação do teste de normalidade, a princípio, a não rejeição da hipótese de distribuição simétrica e mesocúrtica não garante que a distribuição seja realmente normal.

Existem contra-exemplos de distribuições não-normais simétricas e mesocúrticas, a segunda dificuldade é a propriedade assintótica das estatísticas dos testes, as distribuições destas estatísticas são apenas assintoticamente válidas, o que dificulta a aplicação dos testes em conjuntos de dados de tamanhos relativamente pequenos.

O teste de normalidade mais utilizados é o Kolmogorov-Smirnov, ou teste K-S. Este teste compara a distribuição real dos dados (amostra) com uma distribuição normal gerada por uma média e um desvio padrão supostamente conhecidos. Neste teste, adota-se a hipótese nula indicando a normalidade dos dados se  $p\text{-valor} > \alpha$  (nível de significância). No entanto, se  $p\text{-valor} < \alpha$  rejeita-se a hipótese nula, uma vez que os dados não seguem uma distribuição normal.

#### **3.6.2 Estatística multivariada**

De acordo com Reis (2001) a estatística multivariada é um conjunto de métodos estatísticos que permite a análise simultânea de medidas múltiplas para cada indivíduo ou objeto em análise, ou seja, qualquer método que permita a análise simultânea de duas ou mais variáveis.

Os principais objetivos da estatística multivariada são (PAIVA, 2009):

- ✓ Reduzir dados: a variável estudada é representada de maneira simples;

- ✓ Ordenar e agrupar: agrupamento de objetos ou variáveis similares, baseados em dados amostrais ou experimentais;
- ✓ Investigar a dependência entre as variáveis.

Dentre as subdivisões da estatística multivariada, encontra-se a análise de componentes principais (ACP) que pode ser definido como um método estatístico multivariado essencialmente descritivo. Essa análise consiste em transformar um conjunto original de variáveis em outro conjunto com dimensão equivalente, mas com propriedades importantes (FONSECA,1994; PAIVA, 2009).

A importância da utilização da ACP na pesquisa científica tem os seguintes objetivos:

- ✓ Examinar as correlações entre as possíveis variáveis;
- ✓ Fazer uma redução de um grande conjunto de variáveis em outro menor e de sentido biológico e técnico: tem o propósito de combinar um grupo de variáveis construindo um grupo menor de variáveis principais que resumam as informações contidas nos dados iniciais;
- ✓ Efetuar a eliminação de variáveis: o primeiro componente é definido como aquele de maior variância e é em relação aos demais o mais importante. Se os primeiros componentes têm percentagem relativa de variância alta, superior a 70%, eles explicam provavelmente o fenômeno e os demais podem ser excluídos sem grandes perdas;
- ✓ Examinar e promover o agrupamento de indivíduos;
- ✓ Construir índices que sirvam para agrupar indivíduos;
- ✓ Usar técnicas de agrupamento.

De acordo com Paiva (2009) a análise de componentes principais analisa quais variáveis explicam a maior parte da variabilidade total dos dados, reduzindo, reunindo, simplificando e investigando a relação existente entre as variáveis.

#### **4.1.5.1 Composição Gravimétrica dos Resíduos (%)**

Diversas entidades, principalmente internacionais, vêm mostrando empenho em realizar procedimentos para que seja possível obter dados confiáveis e realistas, úteis na melhoria da gestão de processos e operações com RSU, especialmente em relação a composição gravimétrica.

O estudo de gravimetria neste trabalho foi baseado na metodologia de Lipor (2000) e adaptado por Leite (2008) e Pereira (2010). Como o caminhão compactador dirigiu-se para a área de amostragem, houve a obtenção de uma amostra significativa Figura 39 para a composição dos resíduos e em seguida foram realizadas as seguintes etapas:

1- Descarregamento dos resíduos do caminhão compactador Figura a, homogeneização dos resíduos com auxílio de uma enchedeira Figura b e quarteamento Figura c. Das quatro pilhas formadas duas foram descartadas e as outras duas homogeneizadas novamente, formando uma única pilha Figura d. Após esse processo, foram retirados da pilha resultante amostras para a caracterização física dos RSU.

2- Usando recipientes de aproximadamente 65 Litros, foram retiradas amostras da pilha resultante, sendo 4 amostras das laterais da base, 3 do centro e 2 do topo da pilha, resultando aproximadamente 160 kg de resíduo ou 585 Litros.

3- O material retirado da pilha resultante foi pesado e em seguida disposto em local previamente preparado com lona plástica para o processo de triagem Figuras e/f. A classificação dos resíduos foi realizada segundo Lipor (2000), de acordo com as seguintes categorias: plásticos, metal, vidro, compósitos, têxteis sanitários, papel e papelão, matéria orgânica e outros.

4 - Em recipientes tarados e etiquetados, foram realizadas as devidas medições do peso dos RSU separados por categorias e anotados os dados em planilhas.



**Figura 39: Procedimentos para determinação da composição gravimétrica dos RSU (GGA).**

#### 4.1.5.2 Enchimento da Célula Experimental

Após o processo de homogeneização e quarteamento dos RSU provenientes da rota selecionada para a pesquisa, foi obtida a amostra final de onde foram retiradas as parcelas para preenchimento da célula experimental e caracterização inicial que envolveu a composição gravimétrica e volumétrica dos resíduos como já comentado. Para o preenchimento da célula, os resíduos foram dispostos como pilhas que foram homogeneizadas para a obtenção de amostras. Após pesagem os resíduos foram compactados manualmente em camadas até a cota final pré-estabelecida Figura 40.



Figura 40: Enchimento da célula Experimental (GGA).

#### **4.1.5.3 Monitoramento das Medições em Campo e Realização de Ensaios de Laboratório**

Concluída a etapa inicial, foram realizadas as fases de monitoramento com o objetivo de analisar aspectos mecânicos, geotécnicos e a evolução do processo degradativos da matéria orgânica já depositada na célula experimental. O período das análises durou dois anos(out/09 a out/11) sendo as coletas mensais e medições "in situ" quinzenais.

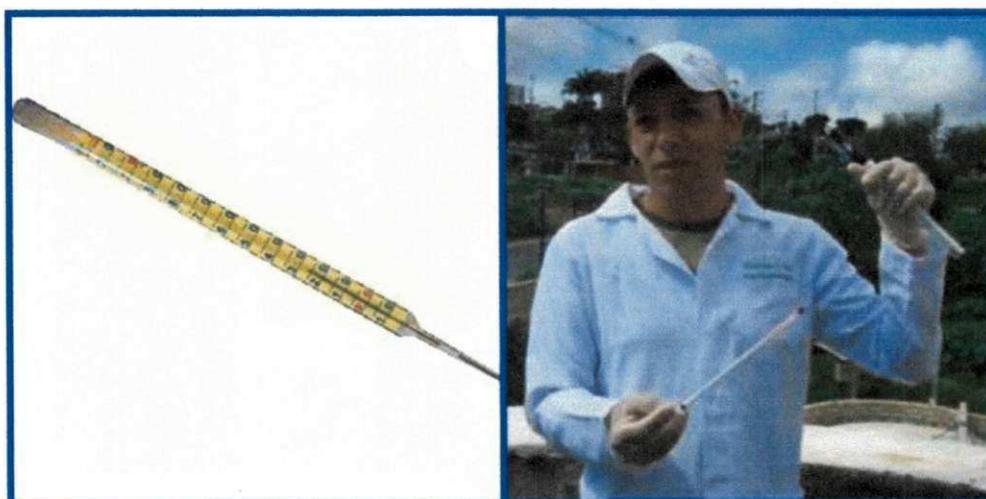
Os dados foram obtidos através da instrumentação instalada e da coleta de amostras para análises em laboratório. Foram coletadas amostras sólidas para determinação de parâmetros mecânicos, físico-químicos e microbiológicos.

### **4.2 METODOLOGIA ESPECÍFICA**

#### **4.2.1 Temperatura Ambiente**

A temperatura ambiente foi realizada através de medições "in situ" durante um período de dois anos consecutivos na célula experimental utilizando um termômetro convencional Figura 41 cujo funcionamento se baseia na variação de um líquido apropriado (o elemento sensível - mercúrio), em resposta a uma mudança da temperatura do meio em que está situado o instrumento.

As medições eram realizadas quinzenalmente, realizava-se o calculo e obtinham-se uma média mensal da temperatura ambiente trabalhadas no EXCEL, sendo obedecida a metodologia da O.M.M. citada nesta pesquisa.



**Figura 41: Termômetro de mercúrio e medição "in situ"(GGA).**

#### 4.2.2 Temperatura Interna

O monitoramento das temperaturas no interior da célula experimental foi feito a partir 4 termopares com conectores do tipo K, numerados de 1 a 4, e o auxílio de um Termômetro digital. As medições de temperatura interna eram realizadas quinzenalmente.

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 42.



Figura 42: Termômetro digital (GGA).

Os termopares Figura 43 consistem em um par de metais de cobre e cromo unidos em uma ponta, que são sensíveis à temperatura, gerando desta forma uma corrente elétrica proporcional à temperatura.



**Figura 43: Termopares (GGA).**

Esta corrente é medida na superfície por um termômetro elétrico, mergulhou-se ambos em um recipiente a uma temperatura próxima de 0°, e forneceu-se calor ao conjunto e a cada 5°C de acréscimo verificado no termômetro de mercúrio, anotou-se o valor do termômetro elétrico.

### 4.2.3 Análises Microbiológicas

Antes de se realizar os ensaios bacteriológicos e físico-químicos procedeu-se a coleta e preservação das amostras de acordo com a NBR 10.007 (ABNT,2004).

Os ensaios bacteriológicos foram realizados para determinar o comportamento de bactérias pertencentes ao grupo coliformes (totais e termotolerantes) e das bactérias aeróbias e anaeróbias totais.

A metodologia dos ensaios bacteriológicos foi desenvolvida segundo Sanches (1999), de acordo com o Manual de Atualização em Técnicas para o Controle Microbiológico de Águas Minerais da Universidade Mackenzie-SP e conforme Apha (1998); Pelczar Jr (1997); Trabulsi (2005) o período de análises durou dois anos(out/09 a out/11) sendo as coletas mensais.

As amostras foram coletadas em uma célula experimental nos orifícios laterais Figura 44 em diferentes profundidades (2,40m, 1,65m, 1,0m e 0,5m) através de um amostrador (trado helicoidal) especialmente confeccionado Figura 45.

Sendo que a profundidade de 0,5m (profundidade superior) foi desativada logo na primeira coleta de amostras devido ao recalque imediato ocasionado pelo peso da camada de cobertura que foi bastante elevado (MELO,2011).

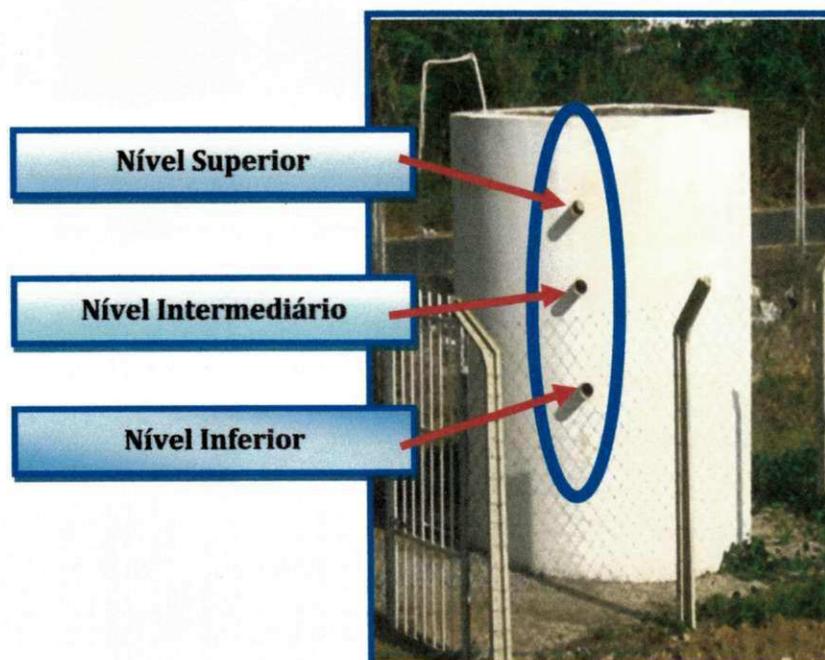


Figura 44: Orifícios laterais (detalhes) (GGA).



**Figura 45: Amostrador(Trado helicoidal) (GGA).**

#### **4.2.3.1 Bactérias Aeróbias Totais**

Preparação do Tampão Fosfato (T.F):

Para a determinação de bactérias aeróbias totais, utilizou-se tubos grandes 18 x 180 mm com 9ml de T.F, aos quais foram autoclavados por 15min a 121°C.

Inóculo:

As amostras de resíduos sólidos foram diluídas em tampão fosfato até  $10^{-6}$ . Das diluições  $10^{-3}$  a  $10^{-6}$  foi retirado 0,1mL da amostra e com o auxílio de uma alça de Drigalski espalhado em toda a superfície da placa (3 repetições para cada tubo selecionado) com meio "Plate Count Agar (PCA)". Após este procedimento as placas foram colocadas em estufa a  $36^{\circ}\text{C}$ , durante 48 horas. Em seguida foi realizada a contagem do número de colônias (NMP) Figura 46.



Figura 46: Ensaio para Aeróbios Totais (GGA).

#### 4.2.3.2 Bactérias Anaeróbias Totais

As amostras de resíduos sólidos para as análises de anaeróbios foram coletadas e armazenadas em uma jarra de anaerobiose.

Em seguida, foi inserida uma placa denominada anaerobac com o objetivo de diminuir a quantidade de oxigênio presente no meio e aumentar o gás carbônico no interior da jarra.

Preparação do Tampão Redutor (TRD)

Para a determinação de bactérias anaeróbias totais, primeiro utilizou-se de tubos de penicilina contendo tampão redutor (TRD). A cada tubo de penicilina foi adicionado 4,5ml de tampão redutor. Em seguida estes tubos foram purgados com N<sub>2</sub> (inserção de N<sub>2</sub> líquido permite a eliminação de O<sub>2</sub>) durante aproximadamente 20 minutos e após este tempo foram autoclavados por 15 minutos a 121°C.

#### Preparação do Meio Tioglicolato

Também foram preparados tubos do tipo penicilina com 9mL de meio tioglicolato para posterior inóculo da amostra.

#### Inóculo

Com uma seringa de 5 mL foi retirado dos frascos que continham as amostras de resíduos sólidos 1 mL da amostra em condições anaeróbias, sendo este adicionado em um frasco de TRD.

Do frasco ao qual foi adicionado 1mL de amostra foi retirado 1mL para um próximo frasco de TRD e assim, sucessivamente, até serem selecionadas as diluições que favoreceriam o crescimento mais representativo, as quais foram 10<sup>-1</sup> a 10<sup>-14</sup>.

Destas diluições selecionadas foram retiradas 1mL, já contendo o inóculo das amostras, utilizando também seringa de 5 mL e adicionado nos tubos contendo 9 ml de meio tioglicolato em triplicata.

Em seguida, os tubos contendo meio tioglicolato, já inoculados com a amostra, foram acondicionados em estufa a 37°C, durante 48 horas.

Os frascos que apresentaram turvação foram considerados positivos para as bactérias anaeróbias totais Figura 47.



**Figura 47: Ensaio para Anaeróbios Totais (GGA).**

***Contagem de bactérias anaeróbias totais:***

Após o período de 48 horas, fez-se o cálculo de NMP. Adotou-se como resultado a série em que houve crescimento na maior diluição em triplicatas (apenas a ordem de grandeza). Com este resultado calculou-se o NMP através do programa MPN calculator.

**4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS**

Foram coletadas amostras de resíduos para determinação de parâmetros físico-químicos que indicam a evolução do processo biodegradativo do interior da massa de resíduos.

Nesta pesquisa foram abordadas as influências do teor de umidade e da temperatura no comportamento das bactérias aeróbias e anaeróbias.



### 4.3.1 Teor de Umidade

Para determinação do teor de umidade foi utilizado a metodologia segundo Manassero (1996), da qual o teor de umidade foi determinado pelo método da base úmida, o mais comumente utilizado em resíduos sólidos, o período de análises durou dois anos(out/09 a out/11) sendo as coletas mensais.

Uma quantidade representativa da amostra dos resíduos sólidos foi pesada e em seguida foi levada a estufa a 60°C por 24 horas; depois desse período realizou-se a pesagem do material seco em balança digital e então determinada à umidade da amostra de resíduos Figura 48.

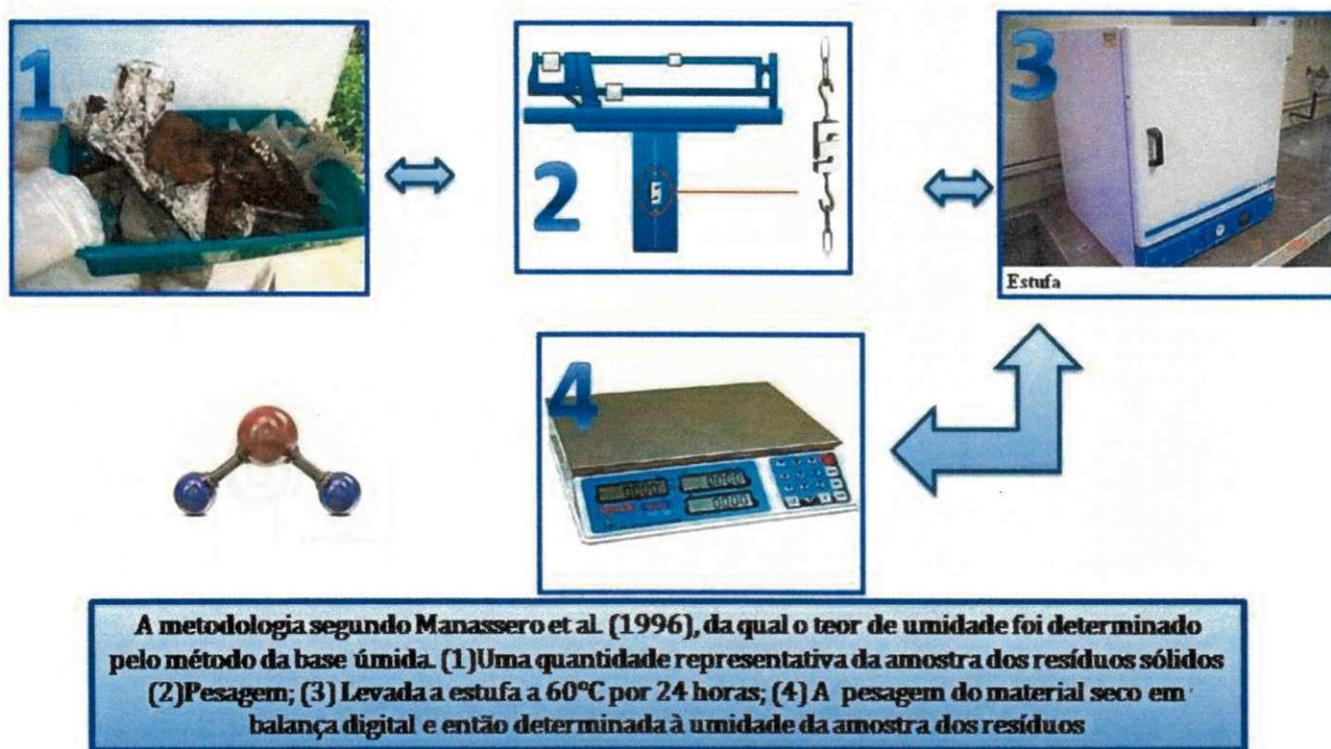


Figura 48: Ensaio para Teor de Umidade (GGA).

Desta forma a água contida na amostra foi dada pelo peso perdido durante o processo, sendo o teor de umidade em cada amostra determinado pela Equação 01 abaixo:

$$w = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Onde:

w = Teor de Umidade (%);

(Eq. 1).

Pi = peso inicial (g);

Pf = peso final (g).

#### 4.4 ANALISES DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

A estação meteorológica da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) Figura 49 atua desde 1975 no município de Campina Grande. A sua sede é localizada aproximadamente há uma distância de 1,5km da célula Experimental. Os dados meteorológicos foram obtidos desta estação que compreendeu os períodos de outubro de 2009 a outubro de 2011.

Obtendo assim, as informações de umidade, precipitação e evaporação. Segundo a EMBRAPA, esses dados obtidos, são válidos para um raio de aproximadamente 10km da estação(CARIBÉ,2011).



**Figura 49: Estação Meteorológica (EMBRAPA -2011).**

Uma parte dos instrumentos de medições ficam no abrigo meteorológico Figura 50 outra parte fica localizada na área externa.



**Figura 50: Abrigo Meteorológico –(EMBRAPA, 2011).**

#### **4.4.1 MEDIÇÕES NA ESTAÇÃO CONVENCIONAL (EMBRAPA)**

Segundo a EMBRAPA(Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) as medições na estação meteorológica seguiram a metodologia da Organização Meteorológica Mundial segundo Vianello (1991); Varejão (2006) e Mendonça (2007).

A coleta de dados iniciou em outubro de 2009 e teve como termino outubro de 2011, período esse que segundo alguns autores permitem um estudo mais consolidado sobre as analise dessas condições meteorológicas.

A metodologia consistiu em medições todos os dias em três turnos e horários diferentes para todas as condições meteorológicas apresentadas nesta pesquisa: manhã às 09:00h, tarde às 15:00h e a noite 21:00h, tendo em seguida uma média do dia e ao final do mês uma média mensal da umidade, evaporação e precipitação.

A Umidade do ar foi utilizado um Psicrômetro e Higrógrafo Figura 51 que registrou a umidade do ar, em valores relativos, expressos em percentagem (%).



**Figura 51: Psicrômetro e Higrógrafo (EMBRAPA,2011).**

A Precipitação utilizou-se um Pluviômetro Figura 52 e uma proveta pluviométrica - O que foi possível medir e registrar a quantidade de precipitação pluvial (chuva), em milímetros (mm).

Os dados de precipitação trabalhou-se com uma medição pela manhã às 09:00h, a tarde às 15:00h e a noite 21:00h, tendo uma média ao dia e uma média ao mês.



**Figura 52: Pluviômetro (EMBRAPA,2011).**

Os dados de evaporação foram coletados utilizando dois instrumentos: o Tanque Evaporimétrico Classe A Figura 53 - Mede a evaporação - em milímetros (mm) - numa superfície livre de água. Os dados de evaporação trabalhou-se com uma medição pela manhã às 09:00h, a tarde às 15:00h e a noite 21:00h, tendo uma média ao dia e uma média ao mês.



**Figura 53: Tanque Evaporimétrico Classe A (EMBRAPA,2011).**

E o Evaporímetro de Piche – que mede a evaporação - em mililitro (ml) ou em milímetros de água evaporada - a partir de uma superfície porosa, mantida permanentemente umedecida por água Figura 54. Trabalhou-se com uma medição pela manhã às 09:00h, a tarde às 15:00h e a noite 21:00h, tendo uma média ao dia e uma média ao mês.

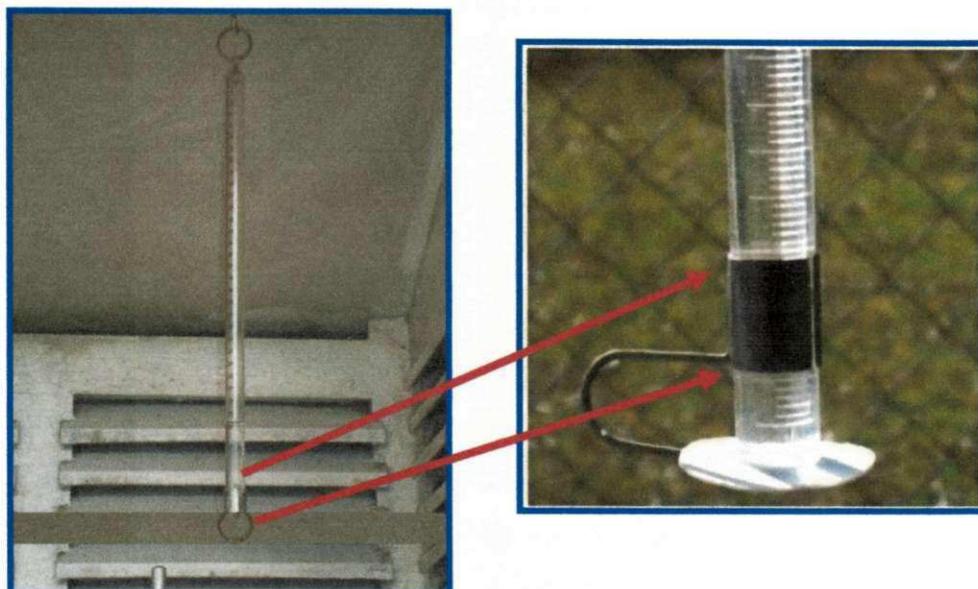


Figura 54: Evaporímetro de Piche (EMBRAPA,2011).

## 4.5 ANALISES ESTATÍSTICAS

### 4.5.1 Descritivas e Componentes Principais.

Inicialmente foi realizado um estudo descritivo das variáveis envolvidas no processo. Este estudo objetivou conhecer previamente o comportamento dessas variáveis com relação à estrutura do seu histograma, as medidas de tendência central e dispersão.

Todas estas análises foram realizadas a partir da média dos valores obtidos nas medições e análises dos parâmetros estudados neste trabalho, em seguida foi analisada a situação de normalidade dos dados usando o teste estatístico não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov para a seqüência do estudo estatístico.

Para o estudo estatístico multivariado dos dados, utilizou-se inicialmente, uma matriz de correlação de Pearson. O critério adotado para seleção de variáveis foi que

houvesse uma correlação de pelo menos 0,7 entre a coluna da variável e pelo menos duas outras variáveis.

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada com as variáveis que apresentaram as melhores correlações de acordo com o critério de escolha da matriz de correlação relatada no parágrafo anterior.

O gráfico da primeira componente principal *versus* a segunda componente principal, a matriz de correlação de Pearson e a contribuição de cada variável na componente principal. Para estas análises foram utilizados os programas STATISTICA FOR WINDOWS 7.0, SPSS FOR WINDOWS 13 e o R. 2. 12.1 e EXCEL 2007.

O estudo estatístico multivariável realizou-se, inicialmente, fazendo uma matriz de correlação geral (com todos os dados analisados) para verificar o nível de relação entre as variáveis. A partir desta matriz, foram eliminadas as variáveis que apresentavam correlações abaixo de 0,7 para menos de duas variáveis. Em seguida, foi feito uma ACP para estudar a formação dos grupos de variabilidades equivalentes. Desta forma, pôde-se avaliar a distância de dispersão dos dados estatísticos.

Estes dados estatísticos são ferramentas importantes, pois indicam uma tendência positiva entre os dados, segundo os resultados e as relações existentes entre as diferentes variáveis.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização da célula experimental

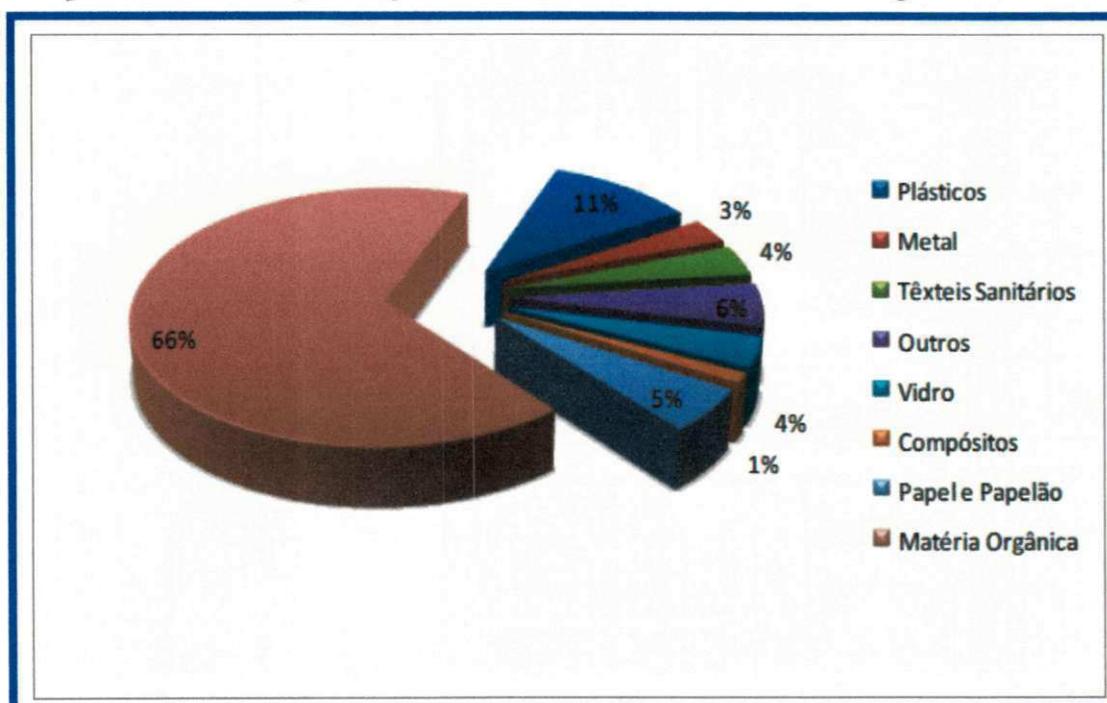
A caracterização física dos resíduos envolve a composição gravimétrica, dos resíduos sólidos urbanos na célula experimental, diante disso, identificou-se pelas análises e estudos de todos os dados dos parâmetros.

Foram selecionados aqueles que contribuem para a decomposição dos resíduos (análises bacteriológicas – aeróbios/anaeróbios, teor de umidade, temperaturas internas) e as influências meteorológicas (precipitação, evaporação, umidade relativa do ar e temperatura ambiente) que mais interferem na biodegradação dos resíduos ao longo do tempo.

### 5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E DADOS METEOROLÓGICOS

#### 5.2.1 COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA

A composição gravimétrica é uma ferramenta importante na interpretação do comportamento dos resíduos sólidos urbanos e expressa em percentual, a presença de cada componente, em relação ao peso total da amostra dos resíduos figura 55.



**Figura 55: Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande-PB (2009).**

A Figura 55 apresenta os resultados obtidos da composição gravimétrica, os dados obtidos mostram que a maior parte dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande – PB é formado por matéria orgânica putrescível, atingindo um valor aproximado de 66% (percentagem em peso) do total dos resíduos colhidos na cidade.

Esse valor é maior se comparado com a média nacional que correspondem a 60%, o que pode indicar baixo desenvolvimento econômico da região, pois cidades mais desenvolvidas têm percentuais menores de matéria orgânica segundo Pereira (2010); Araujo (2011) e Melo (2011).

Por outro lado esse índice de matéria orgânica elevado deve-se também atribuir a população que tem alimentado-se mais de frutas, legumes e produtos naturais, almejando uma alimentação mais saudável no seu dia a dia tendo assim mais qualidade de vida.

Segundo Mariano (2009) e Maciel (2009) uma comparação feita entre diversos países do mundo mostra que os resíduos domiciliares brasileiros possuem uma das taxas mais elevadas de detritos orgânicos em sua composição, sendo caracterizado, portanto, como resíduos que produzem grande quantidade de lixiviado.

Na composição gravimétrica a quantidade de matéria orgânica contida nos resíduos sólidos é inversamente proporcional ao desenvolvimento e evolução das cidades e que a percentagem de papel, plástico, metal e vidro mostraram-se estáveis, não sendo esta a tendência de geração dos RSU pelas comunidades futuras, pois, haverá um crescimento nestes tipos de resíduos.

Esta composição de matéria orgânica elevada favorece o desenvolvimento de microrganismos, dentre eles, as bactérias aeróbias e as anaeróbios totais, responsáveis pela biodegradação dos resíduos sólidos segundo Araujo (2011) e Melo (2011).

O alto percentual de matéria orgânica pode indicar numa maior geração de biogás, o que justificaria a utilização para uma matriz energética.

A presença de plásticos não foi elevada neste tipo de composição devido as suas baixas massas específicas que contribuem para um menor valor em seu peso, Pereira *et. al.*; (2010) e Melo (2011) realizaram estudos com a composição volumétrica também desses resíduos, esse procedimento realizou-se imediatamente após a caracterização gravimétrica, no qual, após a pesagem mediu-se o volume desses resíduos.

Os resultados obtidos para a composição volumétrica dos resíduos soltos sem compactação inferem que as maiores porcentagens dos RSU da cidade de Campina

Grande são compostos por matéria orgânica putrescível e plásticos com valores aproximados de 38% e 29% respectivamente.

Segundo Pereira *et.al.*,(2010) os valores acentuado de matéria orgânica é característico de países subdesenvolvidos e o alto teor de plásticos pode ser justificado, principalmente, pela presença de grande quantidade de invólucros de supermercados nos resíduos, indicando que a triagem desse material não vem ocorrendo nos domicílios através de programas de coleta seletiva.

Pereira *et.al.*, (2010) relata que no município de Campina Grande, local deste estudo, não ocorre de forma satisfatória a gestão de RSU pelos valores apresentados na volumetria e gravimétrica dos resíduos em seus trabalhos.

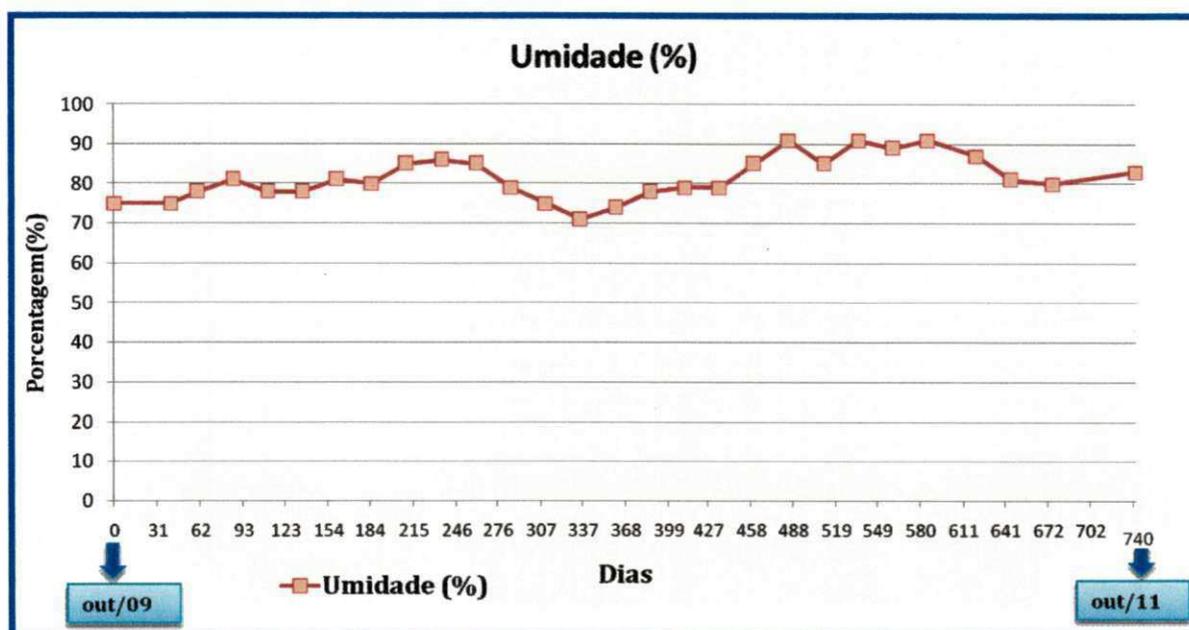
Pode-se dizer que esses dados são importantes para direcionar a gestão de resíduos da cidade e têm muita significância quando se fala em potencial de reciclagem. Assim, evidencia-se através dos dados, que o programa de coleta seletiva e reciclagem podem não está sendo eficaz na cidade ou está ocorrendo de maneira isolada.

Mas, talvez o mais importante é que a vida útil de um aterro de resíduos sólidos pode ser aumentada se dados como esses forem usados por responsáveis pela gestão de resíduos sólidos urbanos da cidade segundo Pereira *et. al.* (2010); Araujo (2011) e Melo (2011).

### **5.2.2 Teor de Umidade e as Condições Meteorológicas.**

As condições meteorológicas influenciam no teor de umidade dos resíduos da célula experimental devido ao contato com o ar atmosférico (umidade) pelas fissuras na camada de cobertura e pelos pontos de coletas mensais onde acontecem trocas gasosas com o ambiente externo da célula e como também calor e energia através da temperatura ambiente.

Os resíduos antes de serem acondicionados na célula sofrem a interferência da umidade relativa do ar Figura 56 que apresentou variações entre 75% a 85% o que afetam os resíduos e os deixam mais úmidos na fonte, quando foram acondicionados, o teor de umidade interno dos resíduos tende a ficar em uma faixa ótima para que ocorrer a biodegradação.

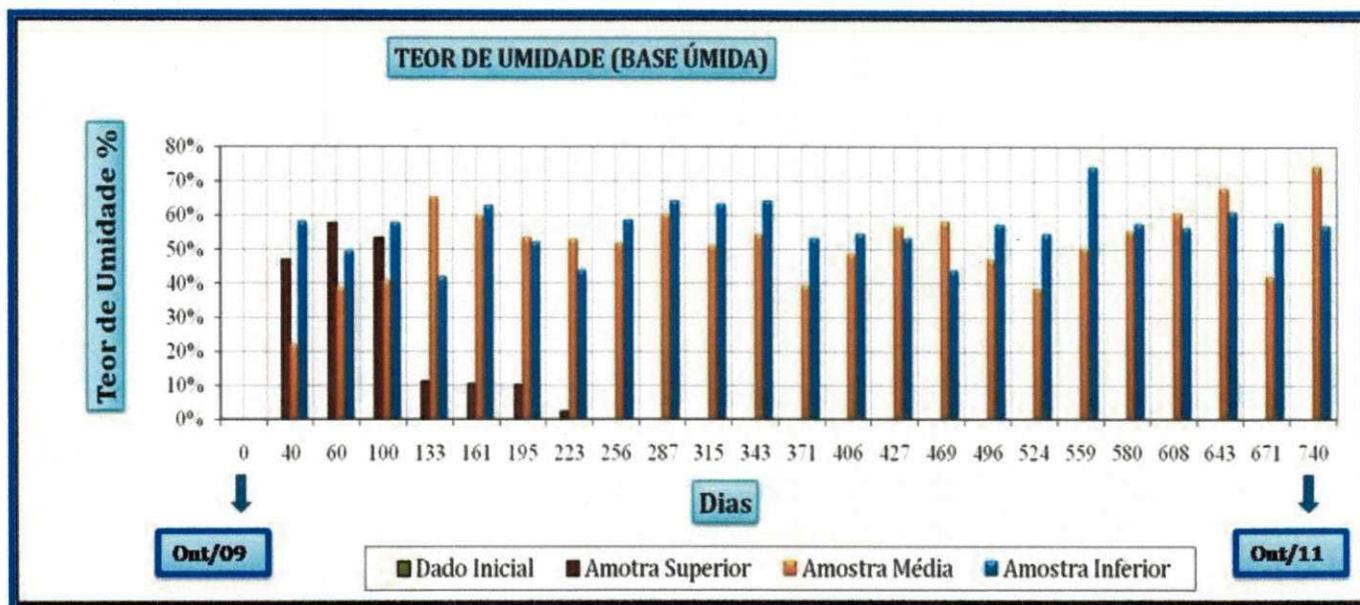


**Figura 56: Variação da umidade relativa do ar Campina Grande - PB.**

No interior da célula experimental o teor de umidade mostrou-se acima de 40% que segundo Quezado (2010); Araújo (2011) e Melo (2011) esta característica tem influência principalmente nos processos de tratamento e destinação dos resíduos.

O teor de umidade pode variar no interior da célula em função das estações do ano e da incidência de chuvas como também pelas diferentes condições meteorológicas que variam de um lugar para outro.

Os valores de teor de umidade Figura 57 encontrados nesta pesquisa são propícios ao desenvolvimento de microrganismos biodegradadores da matéria orgânica já que estes se encontram na faixa entre 50 e 60%, que segundo Bidone & Povinelli (1999); Araújo (2011) e Melo (2011) mostram uma faixa favorável à degradação entre 40 e 60%.



**Figura 57: Teor de Umidade na Célula Experimental.**

Os altos valores de umidade do ar podem ser observados também através da composição gravimétrica a qual favoreceu, provavelmente, a um elevado teor de umidade dos resíduos.

Segundo Park & Shin(2001) e Maciel(2009) as condições meteorológicas são fatores que interferem na composição gravimétrica e no teor de umidade dos resíduos.

A temperatura ambiente e a umidade do ar são fatores fundamentais para o aumento e emissão dos gases e líquidos no interior da célula, pois, a matéria orgânica contém uma quantidade de água que solubiliza nutrientes requeridos pelos microrganismos em suas atividades além de possibilitar o transporte de enzimas e de outros metabolitos importantes no processo de decomposição.

Embora a presença de matéria orgânica tenha sido elevada e a água associada aos subprodutos da biodegradação, não foi possível detectar a presença de lixiviado, o que pode estar relacionados ao baixo índice de infiltrações de O<sub>2</sub> dissolvido, a altas taxas

de evaporação ou problemas operacionais como retenção de líquido nas camadas pela formação de espaços vazios (bolsões).

### 5.3 ANALISES BACTERIOLÓGICAS E AS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

#### 5.3.1 Bactérias aeróbias totais e as condições meteorológicas

A Figura 58 apresenta os resultados do comportamento das bactérias aeróbias totais ao longo do tempo de monitoramento da célula experimental em relação às condições meteorológicas.

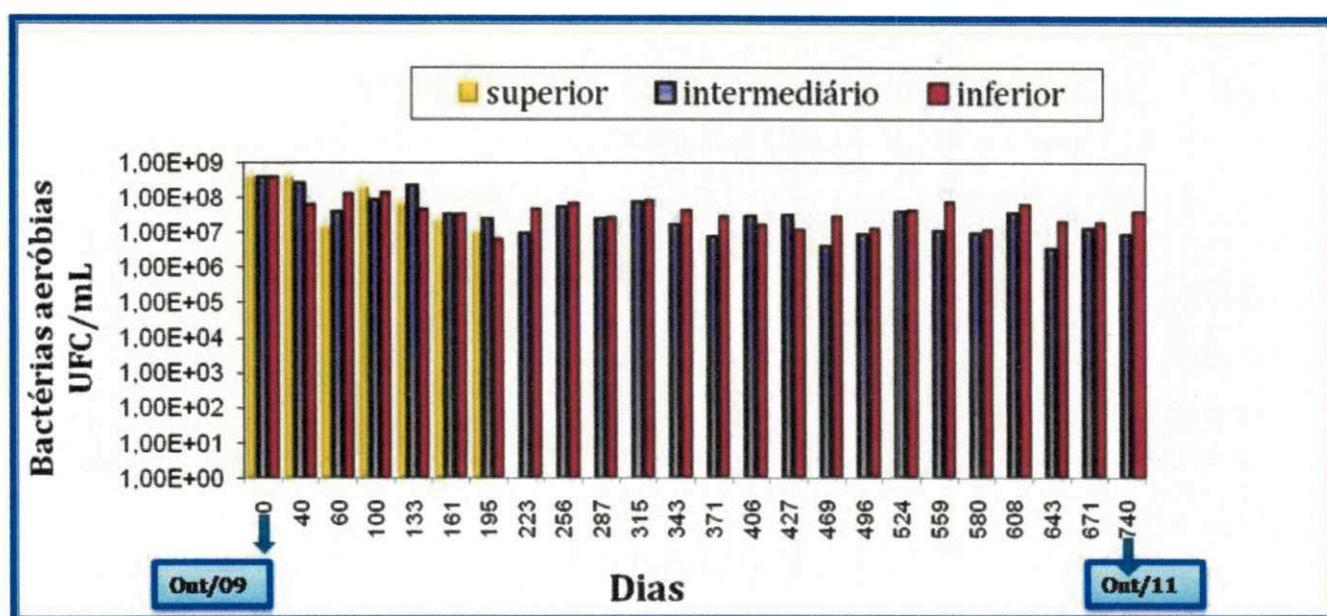


Figura 58: Contagem de bactérias aeróbias.

De acordo com a Figura 58 pode-se observar que logo após os 40 dias de monitoramento houve um decréscimo na contagem das bactérias aeróbias o que pode estar associado ao consumo de matéria orgânica nas primeiras fases da biodegradação o que assemelha-se as fases iniciais dos aterros sanitários.

As bactérias aeróbias sofreram interferência das condições meteorológicas como as trocas gasosas e energéticas com o meio externo da célula através dos pontos de coletas e fissuras na camada de cobertura, a umidade do ar, a temperatura ambiente, a infiltração de água nos períodos chuvosos que transporta para seu interior oxigênio dissolvido, no entanto, todos esses fatores contribuíram para a entrada de O<sub>2</sub> no interior da célula seja no estado gasoso ou líquido.

Uma primeira análise verificou-se que ocorreu uma redução na ordem de grandeza na contagem destas bactérias com o passar do tempo, mas, em seguida devido a intervenção destes fatores meteorológicos mostrou-se uma estabilidade destas bactérias, deveriam ir decaindo com o passar do tempo devido a ausência de oxigênio no interior da célula, uma vez que elas dependem de fontes nutricionais para se desenvolverem, porém a quantidade de oxigênio que provavelmente deveria ter sido reduzida ao longo do tempo não foi, devido a interferência dos fatores externos.

Mas, segundo Leite (2000); Garcez (2009); Araújo (2011) e Melo (2011) relataram que as camadas inferiores de resíduos, em alguns casos, apresentaram um número de bactérias aeróbias consideráveis mesmo que, nestas camadas, possa existir menor quantidade de oxigênio dissolvido. Pode ocorrer ainda a lixiviação, permitindo que nutrientes, matéria orgânica e outros compostos passem a ser consumidos por estes microrganismos.

A partir dos 223 dias de monitoramento não foi possível realizar as coletas das amostras de resíduos na camada superior, impossibilitando a realização das análises dessas bactérias, devido ao peso significativo da camada de cobertura que promoveu grandes recalques, o que inviabilizou este ponto de coleta.

Observou-se a presença de solo e plásticos nas amostras coletadas nesta camada a partir dos 223 dias, o que também favoreceu ao decaimento na contagem das bactérias aeróbias neste ponto de coleta, já que estes microrganismos dependem de fontes nutricionais para se desenvolverem (ARAÚJO, 2011; MONTEIRO, 2003).

Um aspecto interessante que foi observado durante algumas coletas de resíduos, foi à grande quantidade de macrovetores (principalmente baratas) encontrados principalmente, nas camadas intermediárias e inferiores da célula, isto reforça a teoria de que tanto em aterro em escala real como experimental, pode ter a presença de oxigênio em caminhos preferenciais ou durante a abertura nos pontos de coleta das amostras.

Pode também ter ocorrido uma falta de vedação mais eficiente nos pontos de coleta e algumas fissuras, encontradas na célula experimental próximas a estes pontos, o que pode ter facilitado a entrada de ar e interferido no comportamento das bactérias aeróbias, que apresentou durante todo o período analisado uma variação discreta segundo Araújo (2011).

### 5.3.2 Bactérias anaeróbias totais e as condições meteorológicas

A Figura 59 mostra o comportamento das bactérias anaeróbias em relação às condições meteorológicas locais onde observou-se uma elevação na contagem destes microrganismos a partir dos 40 dias de monitoramento, em seguida havendo uma tendência a estabilização na contagem nos últimos dias de monitoramento.

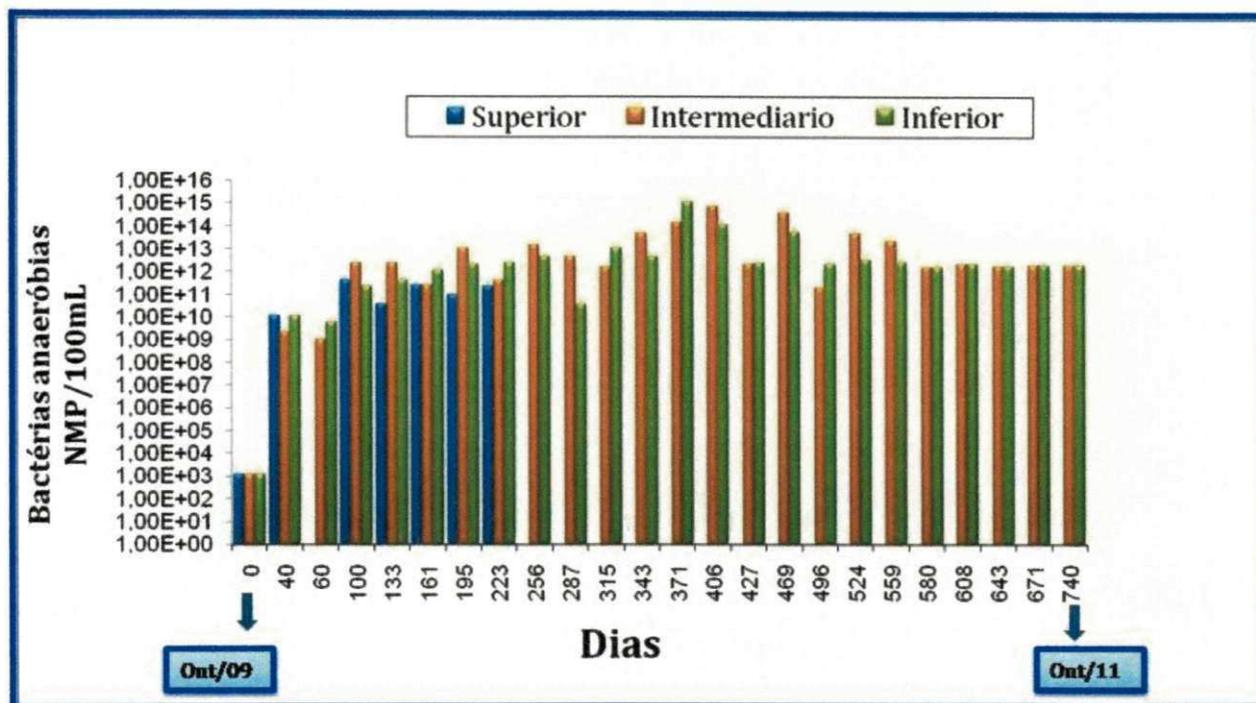


Figura 59: Contagem de bactérias anaeróbias totais.

Isso porque as bactérias anaeróbias sofreram também com a interferência do ambiente externo da célula, o oxigênio que possivelmente entrou para o interior da massa de lixo causou modificações na sua contagem, apesar de que as anaeróbias não foram capazes de fixar o  $O_2$ , isso, impediu um maior crescimento da comunidade bacteriológica, tornando-as sensíveis e sem tolerar grandes concentrações de gases, pode-se perceber que não conseguiram multiplicar-se em grandes números, mas, pelo menos não morreram e mantiveram -se estáveis.

Apesar da temperatura interna apresentar semelhanças com a temperatura ambiente não ocorreram grandes oscilações de temperaturas no interior da célula o que para as bactérias anaeróbias poderiam afetar na diminuição da taxa de destruição dos ácidos voláteis.

Nos 427 dias de monitoramento foi observado o decréscimo dessas bactérias. Este decréscimo pode ter ocorrido provavelmente pela diminuição da matéria orgânica ou pode tratar-se de uma oscilação pontual na contagem destas bactérias, já que os resíduos sólidos são bastante heterogêneos.

Segundo Araújo (2011) e Melo (2011) os resíduos de Campina Grande - PB apresentam-se bastante heterogêneos.

Com o passar do tempo e com a variação da profundidade das camadas, houve um aumento das bactérias anaeróbias totais, especialmente nos 371 a 406 dias. Isso pode ter ocorrido devido uma leve diminuição de oxigênio dissolvido com conseqüente leve decréscimo das bactérias aeróbias.

Realizou-se uma média aritmética com base em dados estatísticos dos dados coletados nas leituras anteriores e sucessores para as análises de anaeróbios aos 60, 580 a 643 e 671 a 740 dias, isso devido não ter sido realizados as análises por problemas operacionais com o tubo de nitrogênio, pois este gás é indispensável para a realização destas análises já que os meios precisam ser purgados com o nitrogênio para expulsar o gás oxigênio presente nos tubos de penicilina.

A contagem de bactérias na camada superior foi interrompida após os 223 dias por causa dos recalques sofridos pela massa de resíduo devido ao peso da camada de cobertura, além de serem retiradas quantidades significativas de solo, o que inviabilizou a análise nestes pontos de coleta.

Segundo Maciel (2003) e (2009); Araújo e Melo (2011) os processos anaeróbios tratam um número maior de substratos, devido ao fato das bactérias anaeróbias apresentarem características especiais, dentre as quais se podem citar a pequena taxa de utilização de energia para conversão em massa celular, sendo que grande parte se destina à formação de biogás.

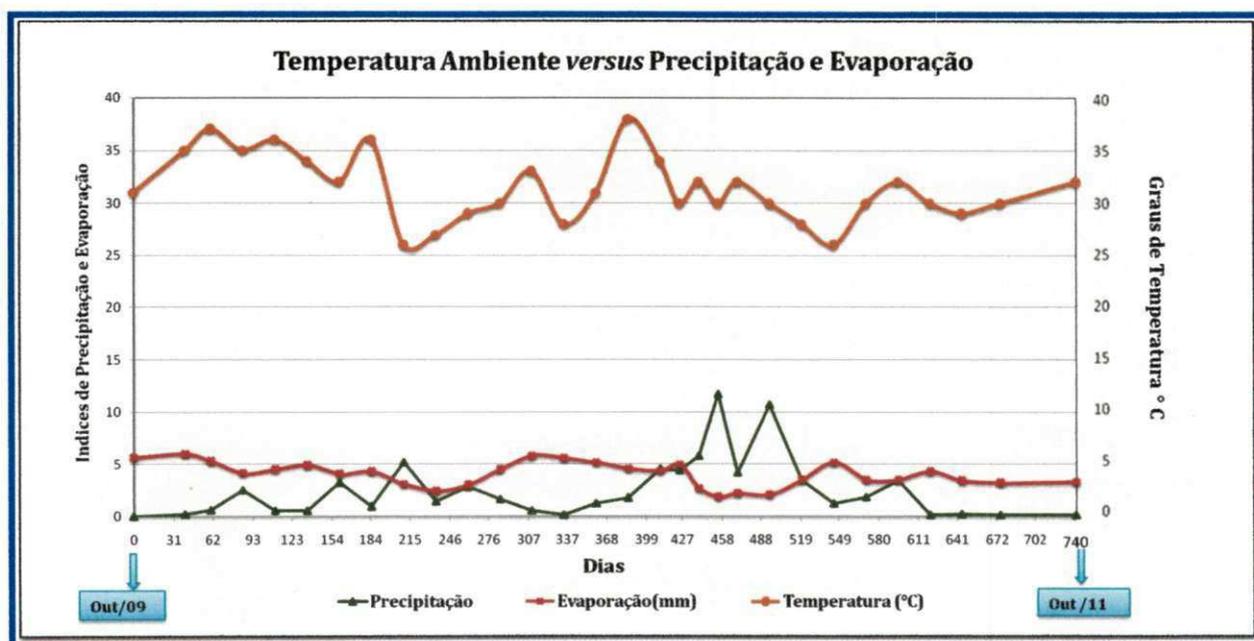
Apesar das anaeróbias sofrerem intervenção das condições meteorológicas, isso não impediu de ocorrer à degradação dos resíduos.

## 5.4 TEMPERATURA

### 5.4.1 Temperatura Ambiente versus Precipitação e Evaporação.

A temperatura como um parâmetro físico mostrou-se de grande importância na interferência nos processos biológicos, nas reações químicas e bioquímicas que ocorreram no interior da célula experimental.

A temperatura ambiente apresentou semelhanças com a temperatura interna, analisando a temperatura externa Figura 60 à célula experimental, esta mostrou-se dentro de uma faixa de 26° a 36°C ; (Período Diurno). Já a temperatura interna da célula experimental mostrou-se dentro de uma faixa 30° a 38°C; figura 61.



**Figura 60: Temperatura Ambiente versus Precipitação e Evaporação.**

Essa proximidade nas taxas de temperaturas pode dar-se devido às paredes da célula experimental serem de alvenaria e não são materiais isolantes.

Esta temperatura externa, moderadamente elevada se comparada a outros locais, torna-se benéfica para aterros e células experimentais, pois, influência na biodegradação dos resíduos, se as temperaturas externas forem muito menores que o meio interno da célula, principalmente, em períodos chuvosos a desestabilização da atividade biológica seria muito maior, o que ocasionaria distúrbios de metabolismo.

Isto é mais freqüente em países de climas temperados a frios, nestes casos quando ocorrem às precipitações estas tem temperaturas mais baixas e ao penetrarem na massa de resíduos desestabilizariam o meio interno microbiano.

Já as temperaturas no interior da massa de resíduos influenciam na atividade microbiológica e de maneira bastante específica para cada tipo de grupo microbiano. Vale salientar que ocorrem faixas ótimas de degradação para cada grupo de microrganismos o que pode selecionar espécies microbianas.

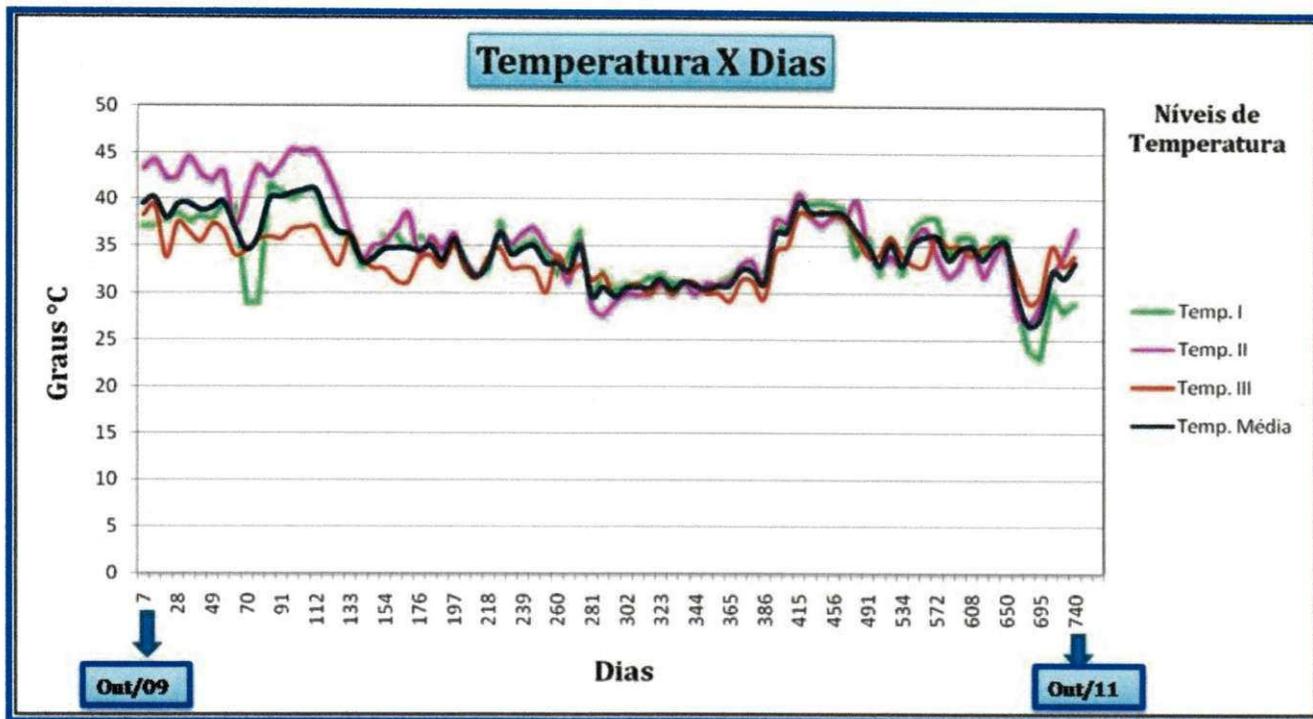
De uma maneira geral, as temperaturas externas influenciam o meio interno principalmente se a célula tiver uma grande área de superfície em relação ao volume. Embora, no caso da célula experimental, a sua área de superfície em relação ao volume é bem menor.

Diante disto analisou-se com mais profundidade a relação área de superfície/volume e constatou-se que o meio externo é bem maior que o meio interno e isso afeta as temperaturas internas e como os materiais que constituem as paredes da célula experimental não são isolantes a calor e energia acabam facilitando essa transferência de ambiente externo e interno.

#### ***5.4.2 Temperatura interna em função aos dias e as condições meteorológicas***

A temperatura sendo um balanço energético da atividade microbiana veio interferir de maneira benéfica no processo natural de biodegradação dos resíduos sólidos urbanos juntamente com as condições meteorológicas.

Nos 112 primeiros dias de monitoramento da célula experimental a temperatura em todas as profundidades esteve mais elevada que a temperatura externa (ambiente) à célula, o que pode-se encontrar em aterros sanitários ou até mesmo em células experimentais temperaturas internas em grandes profundidades que podem atingir mais de 60°C e podem ser ambientes anaeróbios Figura 61.



**Figura 61: Temperatura em função dos dias na célula experimental.**

Observou-se na Figura 61 que as temperaturas iniciais em relação ao tempo de monitoramento da célula experimental estão mais elevadas de um modo geral variando entre 38°C a 45°C assemelhando-se a temperatura inicial em aterros sanitários em escala real ocorrendo uma elevada atividade microbiana em todos dias.

Segundo a literatura, todas as comunidades de bactérias necessitam de uma faixa de temperatura para que possam se desenvolverem adequadamente, baseado nas taxas de temperaturas internas registradas a faixa variou de 30° a 38°C; faixa essa ideal para o grupo de bactérias as mesofílicas (35° a 38°C). Já com o passar dos dias, posteriormente essas taxas foram decrescendo oscilando entre 32°C a 36°C.

As temperaturas apresentaram poucas oscilações durante o período monitorado, o que pode ter ocorrido uma estabilização da atividade microbiana influenciado pelo teor de umidade ou grandes trocas de oxigênio com o ambiente externo devido as aberturas dos pontos de coletas ou fissuras na camada de cobertura.

Segundo alguns autores a faixa de temperatura na qual a célula mostrou-se é ótima para a geração de biogás que é de 30°C a 40°C.

### 5.4.3 Temperatura Interna (Profundidade) e as Condições Meteorológicas.

A Figura 62 mostra a temperatura em função da profundidade e sua interferência através das condições meteorológicas uma vez que as temperaturas no interior da massa de lixo foram de extrema importância para as atividades dos microrganismos estudados.

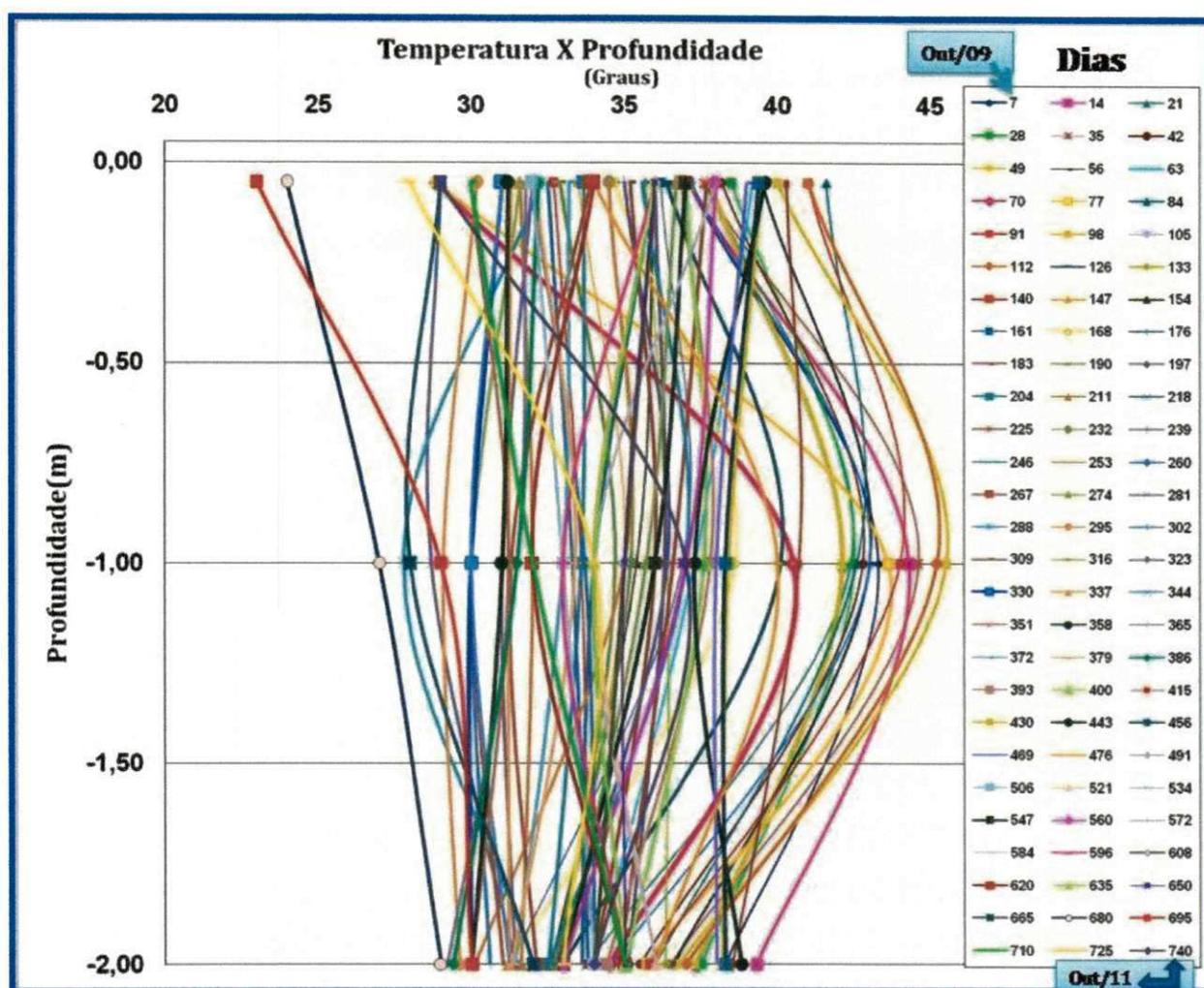


Figura 62: Temperatura Interna (Profundidade) da Célula Experimental.

As condições de temperatura interna da célula influenciaram nos tipos de bactérias predominantes e o nível de produção de biogás, as máximas temperaturas foram alcançadas depois dos 49 dias após a disposição dos resíduos como um resultado da atividade aeróbia microbiológica.

Essas elevadas temperaturas promoveram a degradação dos diversos componentes dos resíduos na fase inicial aeróbia devido à atividade exotérmica das

bactérias que se utilizaram do grau de oxigênio disponível no início do processo de aterramento liberando calor durante a degradação da matéria orgânica.

Devido a essas oscilações nas temperaturas interna estimulou-se o movimento das partículas dos gases aumentando a difusão e vazão, desta forma, os gases foram dispersados mais rápido embora que depois a temperatura mostrou-se estável essas mudanças geraram ciclos de esfriamento e aquecimento o que pode ter causado as rupturas na camada de cobertura, facilitando a interferência com o ambiente externo.

As oscilações de temperatura ocorreram durante todo o período chuvoso e o período de seca, o que já era de esperar, uma vez que não ocorreram mudanças bruscas de temperatura do ambiente ao longo dos dois anos estudados, um aspecto observado foram as infiltrações de  $O_2$  no interior da célula o que pode ser visto pela contagem dos microrganismos aeróbios e anaeróbios e também ocorreram tendências de equilíbrio da temperatura nos períodos chuvosos e de secas.

A presença de oxigênio dissolvido(água) pelas precipitações ou pela umidade do ar devido as rupturas na camada de cobertura ou nos pontos de coletas, acarretou uma adaptação das bactérias e também uma desestabilização do comportamento interno da célula, como águas de temperaturas mais baixas a concentração de  $O_2$  é bem maior e provocou reduções na temperatura interna e em consequência disso um aumento das aeróbias e uma maior redução da matéria orgânica nos períodos de maiores precipitações.

Ocorreram também ligações entre essas infiltrações e os aumentos de temperatura, apesar da quantidade de oxigênio dentro da massa de lixo não mostrar-se suficiente para provocar grandes mudanças no ambiente anaeróbio.

De acordo com os dados coletados até a profundidade de -0,5m a temperatura oscilou de 23°C até 42°C durante o espaço de tempo monitorado, contudo as temperaturas caíram lentamente, nas profundidades entre -0,5m a -1,50m as temperaturas começaram a aumentar expressivamente, aumentos que variam de 5 a 10°C.

Importante salientar que nos primeiros dias de monitoramento da célula experimental as temperaturas internas tiveram um comportamento bastante atípico semelhante à de células experimentais e aterros em escala real (MELO, 2003 & 2011; MONTEIRO, 2006; ALCÂNTARA, 2007; LEITE, 2008; MEIRA & MACIEL 2009; ARAUJO, 2011).

Após 140 dias de monitoramento houve uma mudança no comportamento da temperatura, nas profundidades de -1,50m a - 2,00m, as temperaturas apresentaram oscilações, estas mudanças nas leituras de temperaturas permaneceram até o final de monitoramento (740 dias) isso devido as interferências externas ou melhor as condições meteorológicas .

As mudanças de temperatura forneceram um ambiente favorável para que desenvolve-se vários grupos de bactérias em faixas de temperaturas diferentes (mínima, ótima e máxima).

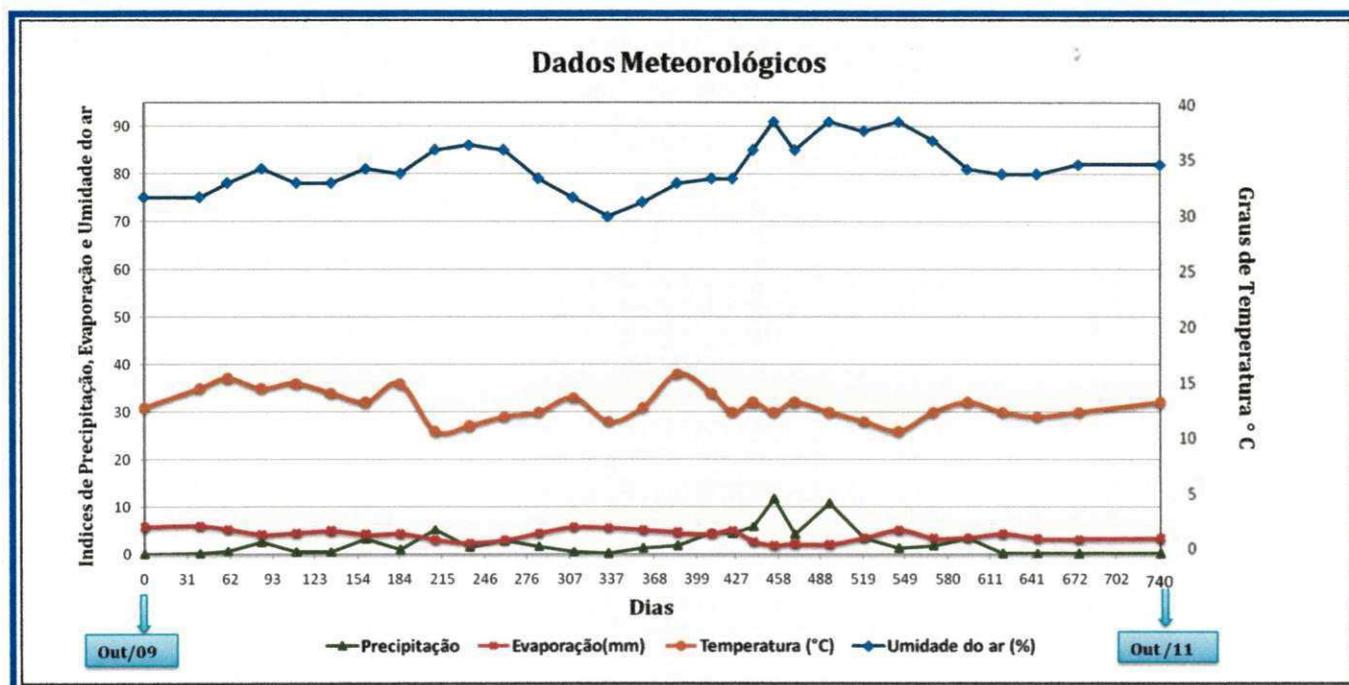
Nas temperaturas máximas as enzimas bacterianas estão na forma mais ativa segundo Melo (2003) nas temperaturas máximas, ocorre à desnaturação das proteínas causando a morte celular, já nas temperaturas mínimas as enzimas trabalham com menor eficiência, tornando desta forma o processo de conversão da matéria orgânica.

Notou-se que alguns microrganismos adaptaram -se às mudanças da temperatura, o que é importante frisar que a degradação da matéria orgânica foi satisfatória mesmo que a partir dos 140 dias as temperaturas, de um modo geral, começaram a diminuir sugerindo uma menor atividade microbiana.

O que aconteceu é que após 60 dias de monitoramento os microrganismos aeróbios tiveram um leve decréscimo de ordem de grandeza ( $10^8$  para  $10^7$  UFC/mL) e os microrganismos anaeróbios passaram a ter um incremento significativo após 40 dias de monitoramento.

Mas isto, por si só, não permitiria diminuir a temperatura, pois os microrganismos aeróbios permaneceram no meio interno de resíduos e com valores sempre altos, o que fez as temperaturas apresentarem mudanças e diminuir foram as intervenções com o ambiente externo a umidade do ar, a temperatura ambiente e as precipitações nos períodos chuvosos.

A Figura 63 mostra a distribuição dos dados meteorológicos no período citado.



**Figura 63: Dados meteorológicos de Campina Grande - PB.**

As condições meteorológicas Figura 63 apareceram como fator determinante na análise dos diversos parâmetros que regeram a célula experimental.

Uma vez que a região de Campina Grande faz parte do semi-árido Paraibano onde o índice de evaporação torna-se bem maior quase todo o ano comparado ao índice de precipitação, quanto menor a capacidade de água disponível maior a deficiência hídrica da região é o caso de Campina Grande.

Segundo Tavares(2003) e Rodriguez (2002) justifica o baixo índice de chuvas na região e uma maior taxa de evaporação de água durante quase todo o ano, tendo assim um chamado déficit hídrico o designa uma situação na qual as precipitações exibem valores inferiores aos da evaporação e a da transpiração das plantas.

É um dos motivos pelo qual a produção e qualidade do lixiviado não foi suficiente para ser detectado pelo sistema de drenagem da célula experimental, mesmo que o teor de matéria orgânica seja alta e que a umidade do ar influencie os resíduos na fonte, mas, as altas taxas de temperatura ambiente somadas as altas taxas de evaporação, nos permite ter esse diagnóstico.

Com isso sugere-se um tratamento por lagoas ou tanques classe A de evaporação desse lixiviado ou sua recirculação em aterros secos para que possa aumentar seu teor de umidade e o aceleração da atividade microbiana.

Faz-se necessário também um estudo aprofundado sobre a velocidade dos ventos e sua direção que podem auxiliar na construção dos aterros para que sejam bem direcionados devidos os odores e gases que são lançados no ar, podendo afetar comunidades e localidades inteiras espalhando os resíduos causando danos à saúde pública e ao meio ambiente.

Como também um estudo direcionado sobre a pressão atmosférica devido a localidade dos aterros e profundidade das células com a produção do biogás e sua emissão com o meio externo do aterro.

## **5.5 RESULTADOS ESTATÍSTICOS**

Procurou-se correlacionar os dados de monitoramento dos parâmetros microbiológicos (aeróbios e anaeróbios), teor de umidade e temperatura interna da célula experimental com as condições meteorológicas locais (precipitação, evaporação, umidade relativa do ar e temperatura ambiente).

Os dados estatísticos foram trabalhados numa planilha no EXCEL para serem inseridos nos softwares estatísticos utilizados.

### ***5.5.1 Estatística Descritiva***

Diante de tantos parâmetros que encontram-se dentro do processo de biodegradação dos resíduos sólidos urbanos, selecionou-se aqueles que mais apresentaram semelhanças e maiores correlações com o ambiente externo e o ambiente interno.

O estudo da Média, do Desvio Padrão, do Coeficiente de Variação e dos valores máximos e Mínimos estão mostrados no Quadro 5:

**Quadro 5: Análise estatística dos dados**

<b>Parâmetros Externos</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coeficiente de Variação</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Temperatura Ambiente</b>	<b>31,9</b>	<b>3,2</b>	<b>10,4</b>	<b>26</b>	<b>38</b>
<b>Precipitação</b>	<b>2,8</b>	<b>3,1</b>	<b>9,7</b>	<b>0</b>	<b>11,7</b>
<b>Evaporação</b>	<b>4,0</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,9</b>	<b>6</b>
<b>Umidade do Ar</b>	<b>79,9</b>	<b>6,8</b>	<b>46,6</b>	<b>60</b>	<b>91</b>
<b>Parâmetros Internos</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coeficiente de Variação</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Temperatura Interna</b>	<b>38,5</b>	<b>2,0</b>	<b>4,2</b>	<b>33,3</b>	<b>41,0</b>
<b>Teor de Umidade</b>	<b>51,9</b>	<b>11,6</b>	<b>136,2</b>	<b>22</b>	<b>74</b>
<b>Aeróbios</b>	<b>54,4</b>	<b>86,6</b>	<b>7,4</b>	<b>30</b>	<b>34,8</b>
<b>Anaeróbios</b>	<b>5,9</b>	<b>1,6</b>	<b>2,8</b>	<b>1,10</b>	<b>7,5</b>

Observou-se na análise descritiva dos dados que houve uma oscilação no coeficiente de variação apresentando valores cerca de 136% como o parâmetro de teor de umidade e 1,5% da evaporação o que mostra as influências do meio ambiente externo sobre os parâmetros estudados, como temperatura ambiente que apresentou 10,4 enquanto a temperatura interna 4,2 o que comprova-se um não isolamento total da célula. Os aeróbios com 7,4 justificam um leve decréscimo durante toda sua atividade microbiana no interior da massa de resíduos enquanto os anaeróbios mantiveram-se em 2,8, ou seja, não ocorreram grandes mudanças no seu desenvolvimento.

Observa-se também oscilações nos dados entre máximo e mínimo de todos os parâmetros, alguns mais aproximados e outros distantes, o que reforça as interações entre os parâmetros externos e internos.

Segundo Paiva (2009) um coeficiente menor ou igual a 15% tem baixa dispersão como foi o caso da Temperatura Ambiente, precipitação, evaporação, temperatura interna e microrganismos.

Já se este coeficiente de variação for entre 15 e 30% haverá uma média dispersão e, se maior que 30% houve uma alta dispersão, como no caso da Umidade do ar e do teor de umidade no interior da célula.

Uma análise geral da distribuição de dados mostrou-se através do desvio padrão, que os parâmetros apresentam variabilidades médias, com os valores razoavelmente distintos e que alguns aproximam da média e outros tendem a afastar-se com valores extremamente elevados. Isso mostra que um aterro para ser funcionalmente eficiente precisa estar em contato com o meio ambiente.

Segundo Melo (2011) este contato não é a exposição livre dos resíduos (lixão), mas sim uma exposição controlada através de camadas de solo compactado que oferecem um mínimo de trocas de energia e matéria com o meio ambiente.

### **5.5.2 Teste de Normalidade**

Para realização do teste de normalidade foi utilizado o teste de Kolmogorof-Smirnov. Neste teste compara a distribuição real dos dados (amostra) com uma distribuição normal gerada por uma média e um desvio padrão supostamente conhecidos, adota-se a hipótese nula indicando a normalidade dos dados se  $p\text{-valor} > \alpha$

(nível de significância). No entanto, se  $p\text{-valor} < \alpha$  rejeita-se a hipótese nula, uma vez que os dados não seguem uma distribuição normal. O valor atribuído para o nível de significância  $\alpha$  foi de 0,05.

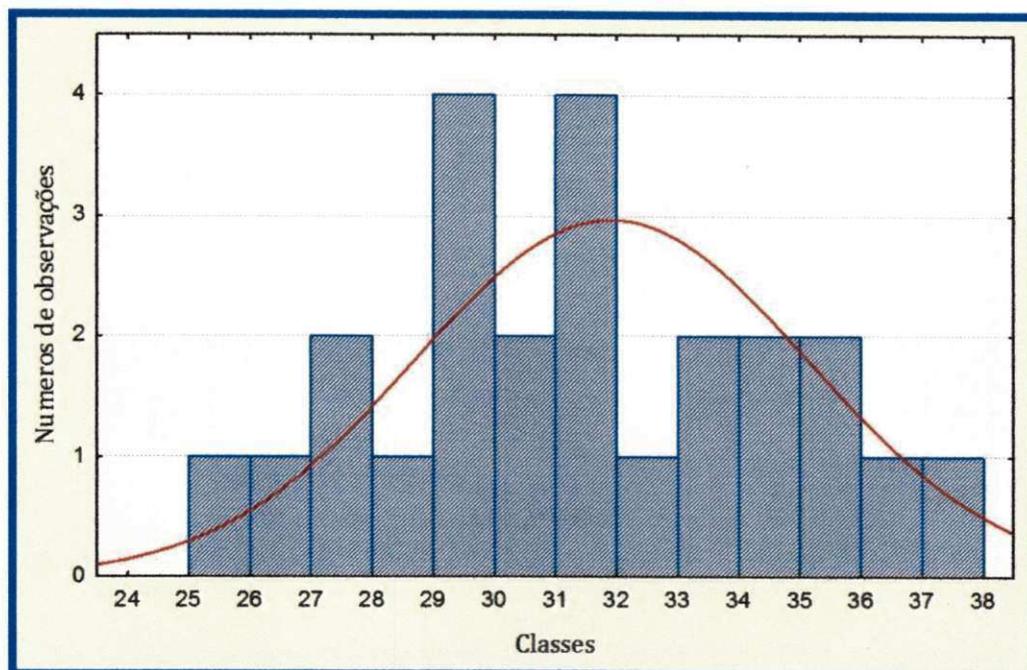
A Tabela 5 mostra a distribuição dos dados. Pode-se perceber que todas as variáveis tende a uma distribuição normal, uma vez que os valores obtidos para o p-valor sempre foi maior que 0,05, resultando assim na aceitação da hipótese nula com 95% de certeza.

**Tabela 5: Teste de Kolmogorof-Smirnov**

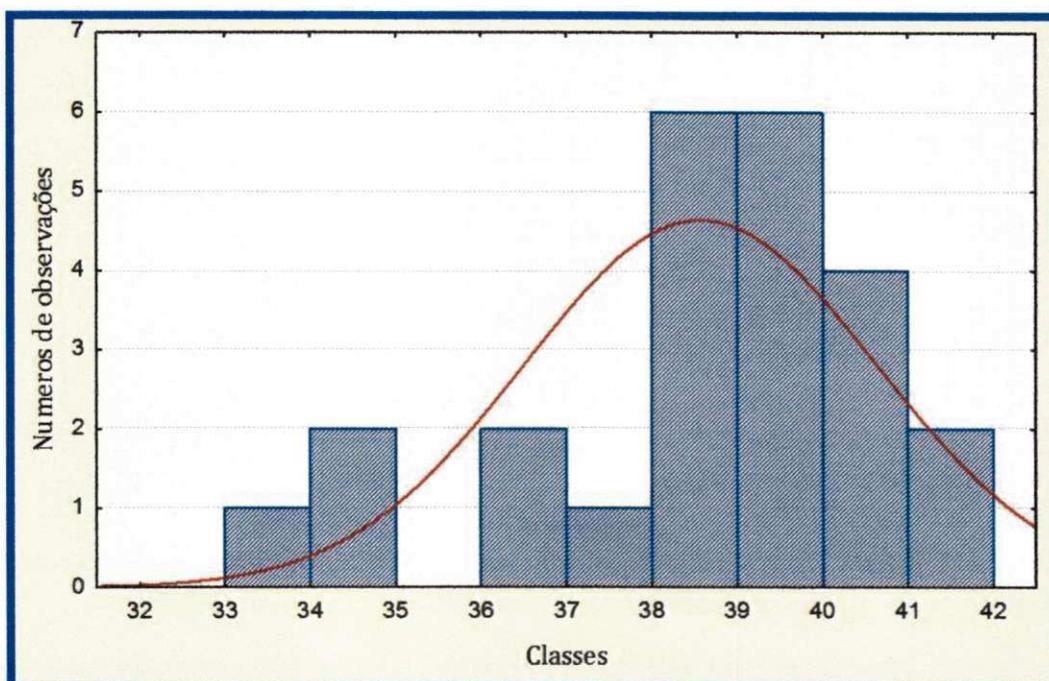
<b>Variáveis</b>	<b>P- Valor</b>	<b>Condição</b>
<b>Temperatura Ambiente</b>	1,3	Normal
<b>Precipitação</b>	1,3	Normal
<b>Evaporação</b>	0,53	Normal
<b>Umidade do ar</b>	2,8	Normal
<b>Temperatura Interna</b>	0,87	Normal
<b>Teor de Umidade</b>	4,9	Normal
<b>Aeróbios</b>	3,97	Normal
<b>Anaeróbios</b>	7,0	Normal

### **5.5.3 Histogramas**

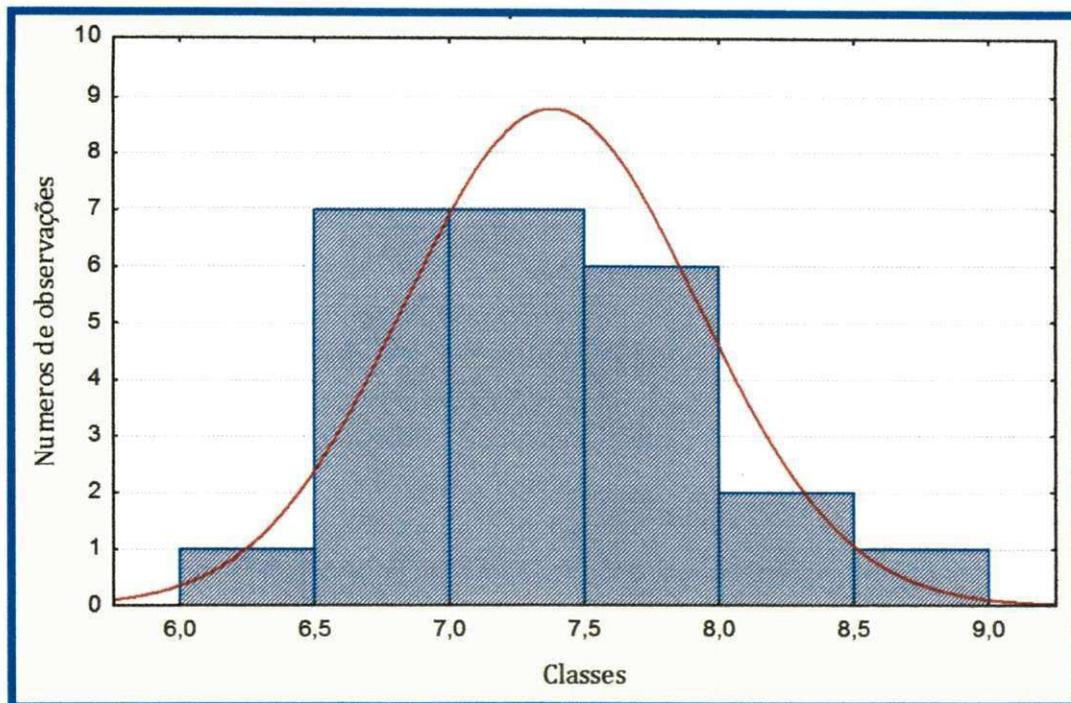
Foram construídos histogramas de seis variáveis selecionadas: temperatura ambiente, temperatura interna, aeróbios, anaeróbios, teor de umidade e precipitação, representadas nas Figuras.



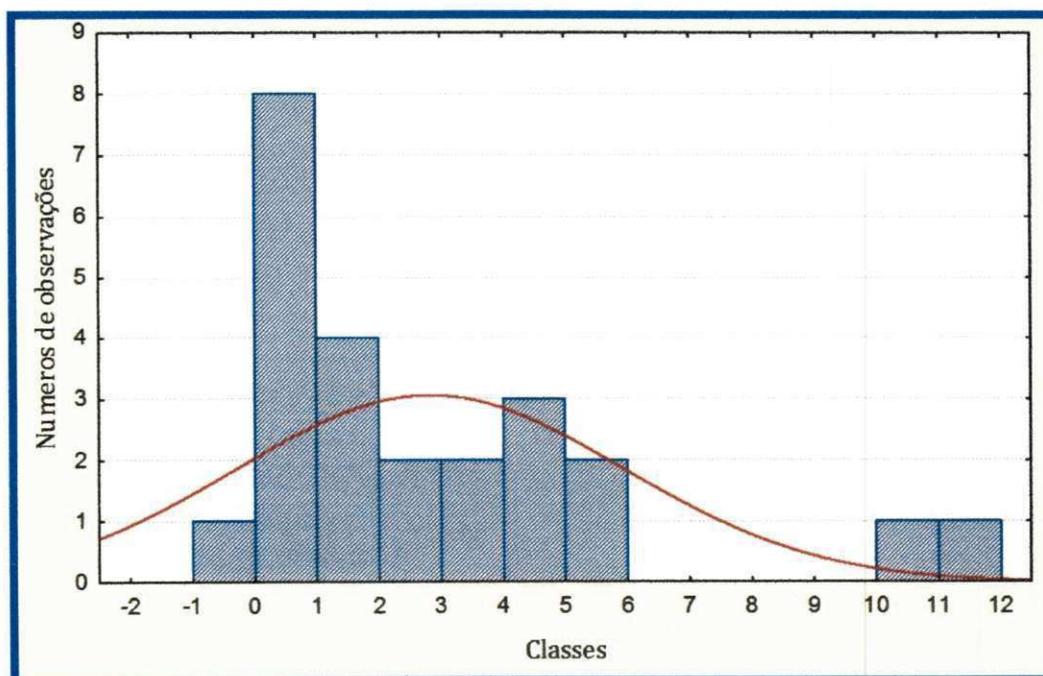
**Figura 64: Histograma de Temperatura Ambiente apresentando a normalidade dos resultados.**



**Figura 65: Histograma de Temperatura Interna apresentando a normalidade dos resultados.**



**Figura 66: Histograma dos Aeróbios apresentando a normalidade dos resultados.**



**Figura 67: Histograma da Precipitação apresentando a normalidade dos resultados.**

Com o aumento das observações a tendência é de obter-se um modelo que se ajuste ao modelo normal, os histogramas das condições meteorológicas seguem uma distribuição Log-normal. Já os parâmetros internos na célula experimental de acordo com os resultados obtidos seguem uma distribuição normal.

#### 5.5.4 Análise dos Componentes Principais

Para o estudo da ACP foram considerados como componentes principais os seguintes parâmetros: temperatura ambiente, precipitação, evaporação, umidade do ar, temperatura interna da célula experimental, bactérias aeróbias, bactérias anaeróbias e teor de umidade no interior da massa de resíduos.

Serão apresentados os dados da matriz de correlação desses parâmetros para as amostras de resíduos sólidos durante todo o período de monitoramento que contabilizou 740 dias sendo trabalhadas as médias mensais de todos os dados Quadro 6:

**Quadro 6: Dados da Matriz de Correlação**

VARIÁVEIS	Dias	Temp. Interna	Teor de Umidade	Precip	Evap.	Umidade do Ar	Temp. Ambiente	Aeróbios	Anaeróbios
Dias	1,00								
Temp. Interna	-0,33	1,00							
Teor de Umidade	0,45	-0,24	1,00						
Precip.	0,52	-0,11	0,34	1,00					
Evap.	-0,55	0,58	-0,57	-0,71	1,00				
Umidade do Ar	0,14	-0,12	0,04	0,72	-0,64	1,00			
Temp. Ambiente	-0,34	0,43	-0,12	-0,33	0,41	-0,31	1,00		
Aeróbios	-0,71	0,13	-0,27	-0,42	0,38	-0,17	0,02	1,00	
Anaeróbios	0,50	0,03	0,56	0,19	-0,26	0,11	-0,17	-0,56	1,00

Em seguida, procedeu-se, uma Análise em Componentes Principais (ACP) para verificação da formação dos grupos de variabilidades equivalentes, dados obtidos quando pelo menos duas correlações iguais tiverem valores próximos, iguais ou acima de 0,7.

As variáveis que obtiveram tais valores foram a ACP para as correlações. Em seguida, gerou-se um dendograma para verificação da distância Euclidiana e, assim, avaliar a dispersão entre esses dados, observou-se percentuais aceitáveis entre as variáveis, apresentando um grau de correlação razoável.

Na Figura 68 verifica-se a Análise dos Componentes Principais divididos e agrupados em 03 grupos. No grupo 1 há uma correlação entre os dias, teor de umidade e bactérias anaeróbias totais, o que pode ser explicado ao longo do tempo de monitoramento que o teor de umidade tende a ficar na faixa ótima para maior desenvolvimento das bactérias anaeróbias que produzem o biogás.

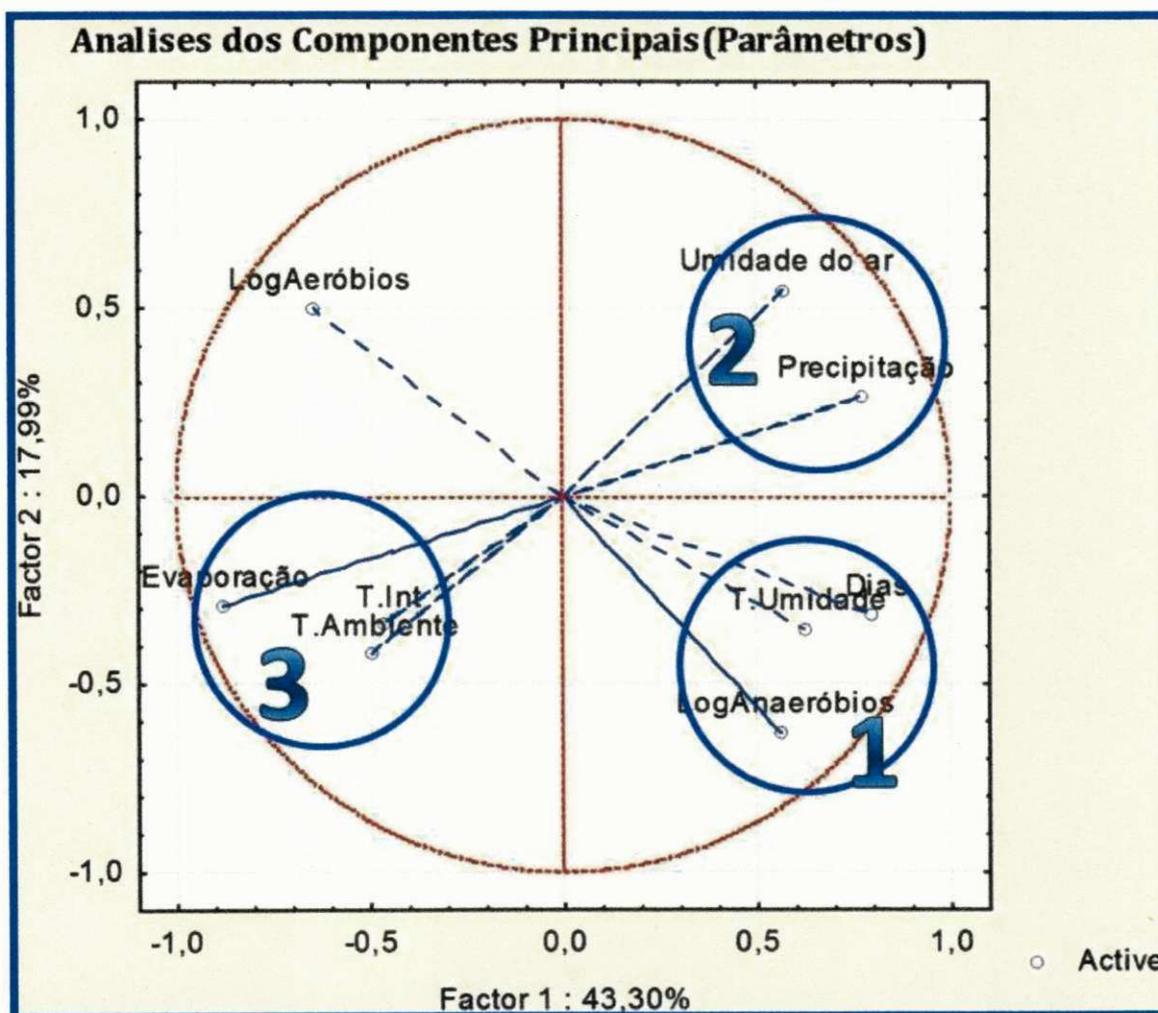


Figura 68: Análise dos Componentes Principais dos Dados.

Uma vez que o teor de umidade é essencial para que não ocorra uma desestabilização das atividades microbianas no interior da célula com os microrganismos.

Já no grupo 02 ocorreu uma correlação razoável entre a Umidade do ar e a precipitação, quanto mais chove, o ar fica mais úmido que também está associada as taxas de evaporação e temperaturas que são elevadas. Segundo Rodriguez (2002) a umidade do ar tende a aumentar quando se inicia o período chuvoso e tende a permanecer alta em localidade onde existem altas taxas de evaporação, como é o caso de Campina Grande - PB.

No grupo 03 a temperatura ambiente assemelha-se a temperatura interna na célula mostrando a falta de isolamento térmico e também devido às paredes da célula serem de alvenaria o que permite que a temperatura externa influencie na temperatura interna da célula experimental.

Já a evaporação se mostra associada com as temperaturas, pois taxas elevadas de temperatura representam maiores índices de evaporação. Nisso quanto mais evapora, o ar tende a ficar úmido o que acaba afetando os resíduos antes de serem acondicionados, ou seja na composição gravimétrica dos resíduos.

Observou-se resíduos mais úmidos quando coletados na fonte, de acordo com a composição gravimétrica que mostra que 66% é de matéria orgânica nos resíduos de Campina Grande -PB, e uma umidade relativa do ar que varia entre 70 a 85% uma faixa que contribui para que esses resíduos cheguem cada vez mais úmidos na célula experimental.

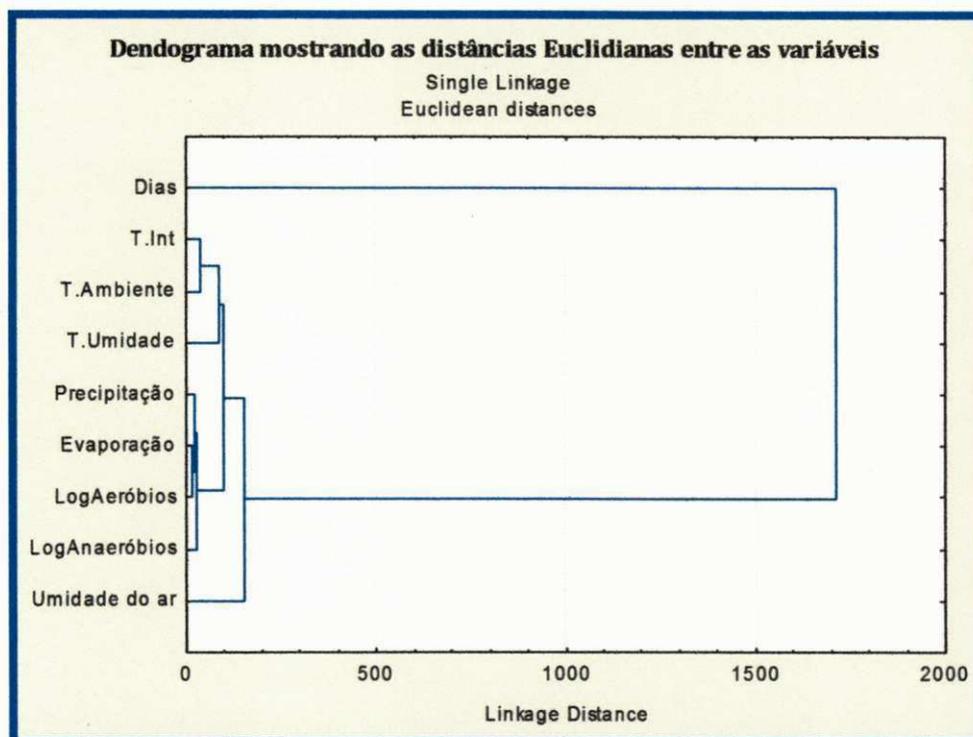
Já as temperaturas no interior dos resíduos apresentam forte influência na atividade de degradação desses microrganismos, estas temperaturas apresentaram valores elevados na fase inicial, devido à atividade exotérmica das bactérias aeróbias, que utilizam o oxigênio presente assim que os resíduos são depositados na célula experimental.

Já isoladamente nota-se no decorrer do tempo um leve decréscimo das bactérias aeróbias enquanto ao pouco ocorre pequenas elevações das anaeróbias.

Notou-se então que todos os parâmetros se correlacionaram entre si razoavelmente e demonstraram interação entre o meio externo e o meio interno.

### 5.5.5 Dendrograma

Fez-se um Dendrograma Figura 69 para complementar o estudo dos dados com todos os parâmetros cujo resultado foi que todas as variáveis envolvidas apresentam distâncias Euclidianas normalizadas entre 0,3 e 2,7.



**Figura 69: Dendrograma mostrando as distâncias Euclidianas entre as variáveis**

Isto significa que tem variações muito próximas, ou seja, a variabilidade de um é influenciada pela variação do outro.

Pode-se observar na Figura 69 que os dados de precipitação, evaporação e microrganismos estão extremamente interligados e aproximados, e estas variáveis estão relacionadas com temperaturas internas e teor de umidade, o que já era esperado, afirmando-se o que já se foi discutido. A distância euclidiana para estas variáveis foram menores entre os dados analisados. Estes dados apresentaram uma correlação razoável.

Contudo, é importante ressaltar que os dados de condições meteorológicas interligam os parâmetros internos da célula e ajuda na expulsão de líquidos (lixiviado) e gases (biogás) e também na biodegradação da matéria orgânica.

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

### 6.1 CONCLUSÕES

- ✓ As condições meteorológicas são fatores determinantes para a dinâmica de biodegradação dos resíduos sólidos urbanos;
- ✓ Ocorreram semelhanças na temperatura ambiente com a temperatura interna na célula, isso por não haver isolamento térmico estrito nas paredes da célula experimental, porém, não atrapalhou no processo biodegradativo que se deu de forma rápida comparadas a outras situações distintas;
- ✓ As condições meteorológicas na região do agreste paraibano foram extremamente favoráveis para acelerar os processos de biodegradação dos resíduos na célula experimental e com o déficit Hídrico existente em toda a região do município de Campina Grande –PB ligado as altas taxas de temperatura ambiente, somadas as altas taxas de evaporação pode-se observar um dos motivos pelo qual a produção de lixiviado não foi suficiente para ser detectado pelo sistema de drenagem da célula;
- ✓ Os dados meteorológicos coletados e estudados poderão ser aplicados a estudos em aterros em escala real, em regiões semi áridas ou que apresentem características semelhantes a Campina Grande – PB;
- ✓ A umidade relativa do ar, a temperatura ambiente, a precipitação e a evaporação influenciam os resíduos sólidos urbanos ao serem acondicionados e foram propícios ao desenvolvimento de microrganismos e degradação da matéria orgânica;
- ✓ As bactérias aeróbias e anaeróbias totais apresentaram interferências devido às condições meteorológicas em sua contagem, mas, isso não impediu de ocorrer à degradação dos resíduos;

- ✓ Com base em todos os dados das condições meteorológicas podem-se projetar aterros sanitários “secos”, como também sistemas de tratamento de lixiviado com tanques de evaporação classe A ou recirculação do lixiviado pelo próprio aterro;
- ✓ A análise estatística serviu de subsídio para comprovar a correlação e o comportamento multivariado entre os parâmetros microbiológicos, teor de umidade e temperatura interna da célula experimental com as condições meteorológicas locais.

## 6.2 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

- ✓ Desenvolver estudos para construção de aterros sanitários “secos” nessa região semi árida;
- ✓ Aprofundar os estudos para tratamento de lixiviado através de tanques classe A;
- ✓ Avaliar novas tecnologias de otimização da produção de CH<sub>4</sub> para as condições locais, por meio de ensaios laboratoriais, que permitirá definir a tecnologia mais aplicável e eficiente energeticamente para ser aplicada na Célula Experimental. Entre as tecnologias possíveis, tem-se: recirculação de água e/ou lixiviado, codisposição com lodo, bioinoculação, entre outras;
- ✓ Estudar a geração de biogás a partir dos componentes materiais dos resíduos sólidos urbanos correlacionando com a biodegradação dos microrganismos aeróbios e anaeróbios totais presentes em uma célula experimental na cidade de Campina Grande-PB.
- ✓ Construir Células experimentais/lisímetros ou biorreatores de bancada para o estudo do comportamento degradativo da matéria orgânica para se determinar o coeficiente de biostabilização (K) e verificar quais as fases degradativas que de fato apresentam maior velocidades de degradação da matéria orgânica;
- ✓ Continuar o monitoramento geoambiental e energético da Célula Experimental a fim de verificar possíveis alterações no comportamento da decomposição dos resíduos e geração de biogás com o tempo;
- ✓ Fazer um planejamento de amostragem de resíduos sólidos urbanos por zonas geográficas na cidade de Campina Grande para caracterização física, química e biológica desses resíduos com uma representação estatística;

- ✓ Desenvolver novas ferramentas numéricas capazes de prever com melhor precisão o comportamento local de decomposição dos resíduos, utilizando como referência os parâmetros obtidos em ensaios realizados na célula experimental.

## 7. REFERÊNCIAS

\_\_\_\_ NBR 10004: **Resíduos Sólidos – classificação**. Rio de Janeiro, 2004<sup>a</sup> 74p.

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

ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**. 2010.

ALCÂNTARA, P.B. **Avaliação da Influência da Composição de Resíduos Sólidos Urbanos no Comportamento de Aterros Simulados**. 366p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2007.

ALVES, F. S. **Do lixo à reciclagem: uma ação empreendedora econômica social e ambiental**. Anais do Congresso Sobre Resíduos sólidos na Paraíba (UEPB), Campina Grande – PB. 2009.

ALVES, F. S. **Educação Ambiental e Tecnologia: aplicação de um SIG na identificação de áreas para aterro sanitário: o uso do GVSIG**. Monografia, 65f (Especialização em Educação Básica) – Universidade Estadual da Paraíba / Flaviano de Souza Alves. – 2010.

ALVES, F. S. **Estudo de uma célula experimental no intuito de aperfeiçoar técnicas para dimensionar aterros sanitários em escala real**. In: II Simpósio Sobre Resíduos Sólidos –USP - II SIRS, São Paulo, SP -2011.

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 (Mestre em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, 2011.

ARAÚJO, E. P.; FRANÇA, L. R. C.; ARAÚJO, M. V.; PEREIRA, F. T. G.; MELO, M. C.; MONTEIRO, V. E. D. **Estudos sobre a oxidação aeróbia da matéria orgânica em uma célula experimental localizada na Universidade Federal de Campina Grande-PB**. In: II Simpósio Nordeste de Resíduos Sólidos-Gestão e Tecnologias de Reciclagem - SINRES, 2010, Campina Grande-PB. II Simpósio Nordeste de Resíduos Sólidos-Gestão e Tecnologias de Reciclagem - SINRES, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. 1997. **Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação**; NBR 13.896. Rio de Janeiro. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. 2004. **NBR 10006: Resíduos Sólidos - procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004b. 3p.

ATLAS DA PARAÍBA/ **Espaço Geo – Histórico e Cultural**. Coordenadora: Janete Lins Rodriguez – João Pessoa –PB, Grafset, 3<sup>o</sup> Ed. 2002.

ATLAS INTERNACIONAL DE NUVENS – OMM. **Precipitação e Nuvens**. 2<sup>o</sup> Ed. Tradução Ferrão, R.C.P., Rio de Janeiro – RJ: Dnmet, 68p. 1972.

DANCEY, C; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed, 2006.

BANCO MUNDIAL. **World Development Report 2010: Development and Climate Change**. Washington, DC: The World Bank, 2007.

BARLAZ, M. A.; SCHAEFER, D. M.; HAM, R. K. **Bacterial Population Development and Chemical Characteristics of Refuse Decomposition in a Simulated Sanitary Landfill**. *Applied and Environmental Microbiology*, London, v. 55, n.1, p.55-65, 1989.

BIDONE, F.R.A., POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos sólidos**, 1ª ed, v.1, São Carlos, EESC-USP, 1999.

BORGLIN, S. E; HAZEN, T. C., OLDENBURG, C. M.; ZAWISLANSKI, P. T. **Comparison of Aerobic and Anaerobic Biotreatment of Municipal Solid Waste**. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* V. 54. 2004

BÖRJESSON, G.; SUNDH, I.; SVENSSON, B. **Microbial oxidation of CH<sub>4</sub> at different temperatures in landfill cover soils**. *FEMS Microbiology Ecology*, p. 1-8, 2004.

CANTELMO, N. F.; FERREIRA, D. F. **Desempenho de testes de normalidade multivariados avaliado por simulação monte carlo**. *Ciência agrotec.*, Lavras, v. 31, n.6, p. 1630-1636, nov./dez., 2007.

CARIBE, R. M. ; ARAUJO, M. V. ; MELO, M. C . **Estudo de Recalques em uma Célula Experimental de Resíduos Sólidos Urbanos Associados às Condições Meteorológicas**. In: II Congresso Nacional de Educação Ambiental & IV Encontro Nordeste de Biogeografia, João Pessoa - PB. Educação ambiental: Responsabilidade para a conservação da sociobiodiversidade. João Pessoa - PB : Editora Universitária da UFPB, 2011. v. 2. p. 1-1.234.

CHRISTENSEN, I. H.; COSSU, R.; STEGMANN, R. **Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact**. San Diego: Academic Press, 1989. 592 p.

CIRNE, L. E. M. R. **A Coleta Seletiva como Subsídio à Criação de um Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) em Campina Grande-PB: Implicações Ambientais, Econômicas e Sociais**. 212p. Tese(Doutorado em Recursos Naturais), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

CONAMA, Resolução nº 404, de 11 de novembro de 2008. **Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos**. Publicada no DOU nº 220, de 12 de novembro de 2008, Seção 1, página 93.

CORDÃO, M. J. S. **Modelagem e otimização da disposição espacial de unidades de reservação em redes de distribuição de água utilizando geotecnologias**. Campina Grande, Departamento de Eng.Civil e Ambiental –UFCC, março – 2009. Dissertação.135p.

DILLENBURG, M. E. **Variação da Taxa de Recirculação de Lixiviado Determinada pela Concentração de Ácidos Voláteis no Tratamento da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos**

**Urbanos domésticos.** 135p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Planilhas de Dados das Condições Meteorológicas.** (Out/2009 a out/2011). Versão digital - Excel. 2011.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. **Curso de Estatística.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 1994.

GANDOLLA, M.; ACAIA, C.; FISCHER, C. **Formazione, captazione e sfruttamento di biogás in discariche, Seminario di Aggiornamento, Collana Ambiente, Vol.18, C.I.P.A, Milão, Itália.** 1997.

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

GARCIA, C. A.; STANZIOLA, L.; OLIVEIRA, O.M.; PEREIRA, S. A.; JESUS, D. C. **Avaliação Comportamental de Baratas (Periplaneta americana) Submetidas à Mistura Oxigênio-Ozônio em Ambiente Fechado.** Disponível em: < <http://www.sovergs.com.br>>. Acesso em: 29/06/2011.

GARIGLIO, I. P. **Metodologia racional para monitoramento ambiental de aterros de resíduos sólidos urbanos.** In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2003, Joinville. Trabalhos Técnicos. Joinville: ABES, 2003. 11 p.

GEOGRAPHIC, Revista Nacional – **Já Somos 7 Bilhões,** São Paulo – SP: Editora Abril, ano 11/nº130 – Mensal; 137p. ISSN 1517-7211; jan, 2011.

GOMES, L. P; COELHO, O.; ERBA, D.; VERONEZ, M. **Critérios de seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos.** In: ANDREOLI, C. (Org.) **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final.** São Carlos:[s.n], 2001. P. 145 – 164.

GUEDES, T. A.; ACORSI, C. R. L.; MARTINS, A. B. T.; JANEIRO, V. **Estatística Descritiva.** Disponível em: <[www.des.uem.br](http://www.des.uem.br)>. Acesso em 14 de março de 2011.

HAITH, D.A. **Materials balance for municipal solid-waste management, Journal of Environmental Engineering,** ASCE, vol.124, nº1, pp.67-75. 1998.

HENRIQUE, F. A. N. **Estimativa da Evapotranspiração de referência em Campina Grande-PB.** Dissertação 107p. (Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande PB) 2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contagem Populacional.** 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS E COMPROMISSO EMPRESARIAL COM A RECICLAGEM - IPT e CEMPRE. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** 2 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 199 p.

JUCÁ, J. F. T. **Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**. In: 5º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO” 2003: Porto Alegre, 2003. 32p.

JÚNIOR, I. F. S. **A Influência da urbanização no clima da cidade de Campina Grande-PB**. Dissertação 94p. (Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande PB) 2006.

**LEI 12.305/2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos- PNRS**. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. 2010.

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

LIMA, L. M. Q. **Tratamento e Biorremediação**. 3 ed. São Paulo: Hemus Livraria, 265p. 2004.

LIPOR. Serviço **Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande porto**. Caderno técnico. 2000.

LIVESCIENCE. **Why Today's Cockroaches Are the Biggeste Ever**. Disponível em: <<http://livescience.com>>. Acesso em: 29/11/2011.

LUCCI, E. A. **Geografia Geral e do Brasil** - Elian Alabi Lucci, Anselmo Lazaro Branco, Cláudio Mendonça. – 3º. Ed. – São Paulo: Saraiva: 2005.

MACIEL, F. J. **Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos urbanos da Muribeca**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2003.

MACIEL, F. J. **Geração de biogás e energia em aterro experimental de resíduos sólidos urbanos**. Tese de Doutorado 354p (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2009.

MACIEL, F.J.; JUCÁ, J.F.T. **Laboratory and field test for studying gas flow through MSW landfill cover soil**. ASCE Geotechnical Special Publication. no 99, p. 569-585, Denver/USA. ago. 2000.

MANASSERO, M.; VAN IMPE, W.F.; BOUAZZA, A. **Waste disposal and containment**. pp. 1425–1474. Proc. 2nd International Congress on Environmental Geotechnics, Osaka, Japão. Balkema, v. 3. 1996.

MANNAPPERUMA, N.R.C.; BASNAYAKE, B.F.A. **Tropical climatic influence on municipal solid waste landfill Dynamics – Lysimeter Studies..** Trop. Agric. Res. V,16. p. 316-326. 2004

MARIANO, G. L.; MOURA, M. A. L. **Comportamento da temperatura do lixo em duas épocas distintas (seca e chuvosa) no lixão da cidade de Maceió-AL**. Ciência e Natura. UFSM, v. 31, n. 2, p. 57 - 70, 2009.

MEIRA, R. C. **Influência de fungos e bactérias aeróbias totais na biodegradação de resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande – PB em escala experimental.** Engenharia Ambiental. Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n.3, p. 333-349, 2009.

MELO, M. C. **Influência da Matéria Orgânica nos Recalques de Resíduos Sólidos Urbanos Aterrados.** 148p. Tese (Tese de doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

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

MELO, V.L.A., JUCÁ, J.F.T. **Estudos de referência para diagnóstico ambiental em aterros de resíduos sólidos.** In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental , 2000, Porto Alegre. 2000.

MENDONÇA, F. **Climatologia: Noções básicas e Climas do Brasil/** Francisco Mendonça, Inês Moresco Danni – Oliveira. São Paulo – Oficina de Textos, 206p. 2007.

MONTEIRO, V. E. D. ; MELO, M. C. ; JUCÁ, J. F. T. . **Biological Degradation Analisis in Muribeca Solid Waste Landfill Associated with Local Climate Recife, Brazil.** In: Fourth International Congress on Environmental Geotechnics 4ISEG, 2002, Rio de Janeiro. Fourth International Congress on Environmental Geotechnics 4ISEG, 2002.

MONTEIRO, V. E. D. **Análises físicas, químicas e biológicas no estudo do comportamento do Aterro da Muribeca.** p.15-20. Tese (Doutorado e Engenharia Civil), Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

MONTEIRO, V. E. D.; MELO, M. C.; ALCÂNTARA, P. B.; ARAÚJO, J. M.; ALVES, I. R. F. S.; JUCÁ, J. F. T. **Estudo do comportamento de RSU em uma célula experimental e suas correlações com aspectos microbiológicos, físicos e químicos.** Engenharia Sanitária e Ambiental. v.11,n.3, p. 223-230, 2006.

NETO, A. M.; LEMBO, C.; BONOMO, D. Z. **Clima e comércio após o encontro de Copenhague. O Valor,** 2010.

OLIVEIRA, S. A. **Limpeza Urbana: Aspectos Sociais, Econômicos e Ambientais.** 123p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba/Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2004.

PAES, R.F.C. **Caracterização do chorume produzido no Aterro da Muribeca – PE.** Dissertação de Mestrado - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB. 150 p. 2003.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). **Climate change 2007: synthesis report. Summary for policymakers.** In: IPCC PLENARY, 18. Wembley: United Kingdom, 24-29 Sept. 2001. World Meteorological Organization and United Nations Environmental Programme.

PAIVA, W. **Aplicação da estatística para descrever o comportamento de um solo expansivo.** p.69-71. Tese (Doutorado em Ciência em Engenharia Civil), Centro de Tecnologias e Geociência. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

PALMISANO, A.C. E BARLAZ, M.A. **Microbiology of solid waste**, CRC Press, Inc., Boca Raton, Flórida, USA. 1996.

PARK, J.W.; SHIN, H.C. **Surface emission of landfill gas from solid waste landfill**, Atmospheric Environment, nº35, pp.3445-3451. 2001.

PECORA, V.; FIGUEIREDO, N. J. V.; COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G. **Potencial de geração de energia elétrica e iluminação a gás por meio do aproveitamento de biogás proveniente de aterro sanitário.** Disponível em: < [www.periodicosapes.com.br](http://www.periodicosapes.com.br) > Acesso em: 10 de outubro de 2011.

PECORA, V; FIGUEIREDO, N. J. V.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; COELHO, S. T. **Aproveitamento do biogás proveniente de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás.** Induscon (VIII Conferência Internacional de Aplicações Industriais) Poços de Caldas, 2008. 5p.

PELCZAR, M.; CHAN, E.C.S.; KRIEG, N.R. **Microbiologia: Conceitos e aplicações.** 2. ed. v. I. Makron do Brasil, São Paulo. 1997.

PEREIRA, F. T. G. **Monitoramento da Geração de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos a partir do uso de Célula Experimental.** Projeto PIVIC. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

PEREIRA, F. T. G.; LEITE, H. E. A.; GARCEZ, L.R.; ARAÚJO, 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 Nordeste de Resíduos Sólidos. Campina Grande – PB. 2010.

PERTENELLI, L. A. **Estatística Descritiva.** Disponível em: < [www.dpi.ufv.br](http://www.dpi.ufv.br) > Acesso em 28 de Dezembro de 2011.

QUEZADO, L. H. N. **Avaliação de Tecnologias para Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos.** 48p. Monografia (Curso de Engenharia Química), Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

REDDY. K. R. **Geotechnical Aspects of Bioreactor Landfills** IGC 2006. Chennai, INDIA. 2006.

REIS, E. **Estatística Multivariada Aplicada.** 2.ed. Lisboa: Edições Sílabo, LDA, 2001. p. 17-19.

RIBEIRO, L. S. **Avaliação da concentração de cloretos presentes na massa de resíduos sólidos urbanos depositados em um lisímetro na cidade de Campina Grande - PB.** In:II Simpósio Sobre Resíduos Sólidos –USP - II SIRS, São Paulo, SP -2011.

RODRIGUES, W. C. **Estatística Aplicada. 6ª Edição. Revisada e ampliada.** 2008. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/53715597/estat-ambiental-2008>. Acesso em: 20 de dezembro de 2012.

RODRIGUEZ, J. L. **Paraíba: Desenvolvimento econômico e a questão ambiental**. João Pessoa – PB: Editora Grafset, 164p. 2004.

SANCHEZ, P. S. **Atualização em Técnicas para o Controle Microbiológico de Águas Minerais**. Universidade Mackenzie – Pós Graduação em Ciências Ambientais, SP.1999.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo. Editora Hucitec. 1996.

SANTOS, M. **O retorno do território**. In: SANTOS, M. et. Al. (org), **Território- Globalização e fragmentação**. São Paulo. Hucitec/ANPUR. 1994.

SANTOS, V. C. **Projeto, Construção e Instrumentação de um Lisímetro em Escala de Laboratório para Estudos em Resíduos Sólidos**. 106p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Faculdade de Engenharia e Arquitetura. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2010.

SCHLEGEL, H. G. **General microbiology**, Cambridge University Press, 7<sup>o</sup> edition, U.K. 1995.

SILVA, A. S. **Influência do ph na fitotoxicidade dos resíduos sólidos urbanos presentes em uma célula experimental**. In:II Simpósio Sobre Resíduos Sólidos -USP - II SIRS, São Paulo, SP - 2011.

SILVA, P. K. O. **Padrões de Variabilidade Temporal da Precipitação no Estado da Paraíba Utilizando Análise em Componentes Principais**. 29p. Monografia (Graduação- Bacharelado em Estatística). Centro de Ciências e tecnologia. Departamento de Matemática, Estatística e Computação, Campina Grande, 2009.

SWATI, M.; KURIAN, J.; NAGENDRAN, R. **Bioreactor landfill lysimeter studies on indan urban refuse**. In: INTERNATIONAL WASTE MANDAGEMENT AND LANDFILL SYMPOSIUM, 20, Cagliari, Italy. Proceedings of the Sardinia. 2005.

TARAZONA, C. F. **Estimativa de Produção de Gás em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos**. 210p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil-COPPE). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

TAVARES, A. S. **Paraíba: Desenvolvimento econômico e a questão ambiental**. João Pessoa – PB: Editora Grafset, 164p. 2004.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 6 ed. Porto Alegre: Editora ARTMED, p. 170-171. 2000.

TRABULSI, L. R.. **Microbiologia**. 4 Ed. São Paulo. 2005.

VAREJÃO, M.A.S.,**Meteorologia e Climatologia**, Versão digital 2, 463 p. – Recife, 2006.

VEJA, Revista Veja – **Banco de Imagens**, São Paulo – SP: Editora Abril; dez, 2009.

VEJA, Revista Veja – **Edição Especial – Como o lixo vira Riqueza**, São Paulo – SP: Editora Abril, ano 44/nº52 – Semanal, Veja 2249; 83p. ISSN 0100 – 7122; dez, 2011.