

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**COMPORTAMENTO DE ÍONS Zn ASSOCIADO A  
SOLOS DO ATERRO DOS BANDEIRANTES**

Douglas Tatsuya Komati

Orientador: Prof. Dr. Raphael Hypolito (IGc-USP)

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-15/2002)

SÃO PAULO  
2002

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA SEDIMENTAR E AMBIENTAL

DEDALUS - Acervo - IGC



30900011667

# **COMPORTAMENTO DE ÍONS Zn ASSOCIADO A SOLOS DO ATERRO DOS BANDEIRANTES**

Douglas Tatsuya Komati



Orientador: Prof. Dr. Raphael Hypolito (IGc-USP)

**MONOGRAFIA DE TRABALHO FORMATURA  
(TF-2002/15)**

SÃO PAULO  
2002



TF  
K81  
DT.c

DOAÇÃO IGC - USP
Data: 20/03/03

Olhe para o céu e para a terra, e pense que tudo passa. Todas as montanhas e rios que possa ver, todas as formas de vida, e todas as criações da natureza, tudo há de passar. E compreenderá a verdade; e verá o que fica, o que não passa.

***Provérbio Budista***

Essa monografia é dedicada especialmente  
a minha mãe e ao meu pai (*in memoriam*).



## **Agradecimentos**

Para a realização desta monografia não posso deixar de agradecer muitas pessoas que de alguma forma, puderam contribuir para a finalização do trabalho. Em especial agradeço:

Aos meus pais, Yoshi (*in memorian*) e Márcia, que me deram força e educação para conseguir completar a primeira batalha de minha vida, e em especial a minha mãe que lutou muito para essa realização;

Aos meus irmãos, Jeferson e Mayumi, que sempre me apoiaram e me ajudaram a qualquer hora;

Ao professor Dr. Raphael Hypolito pela sua confiança e amizade e aos seus grandes ensinamentos e discussões, que me enriqueceram muito; a minha admiração é imensa frente a sua capacidade e inteligência;

A “chefa” Sibebe (a co-orientadora) que me suportou durante 1 ano e com muita disposição me auxiliou e ensinou muito, tendo sido essencial na finalização do trabalho;

A LIMPURB que permitiu a pesquisa e a execução do trabalho no Aterro dos Bandeirantes;

Aos inesquecíveis amigos (alguns enrustidos) que proporcionaram muito divertimento; aos roncos ensurdecedores e companheirismo do Sérgio (Mortis), as baladas com João Paulo (Eva), as besteiras e “aventuras” com Pedro Henrique (Timão), e as conversas animadas, risadas com as pessoas que demonstraram ser verdadeiros companheiros: Shanty (Anta), Daniel (Felicia), Rogério (Valentino), Jorge (Perdido), Murilo (Boi), Nicolas (Mexinha), Ingo (Lalas), André (101), Sueli (Anômala), Camila (Mi-Lambi) e Carolina (Karni);

Aos outros amigos e amigas da Geo que não foram citados;

Ao pessoal do Laboratório de Hidrogeoquímica, composta pela Janaína Marques, Silvia Nascimento, Sibebe Ezaki e Marisa Pugas, que comprovaram o status de equipe;

E a turma do Cooper... Moura (Limão), Jou (Pezão), Ciro (Cirilo), Hugo (Macaco), Fernando (Ogushinho), Renato (Kaida), Mara (Bacalhau), Angela (Nô) e Marcia, que sempre estiveram ao meu lado para o que desse e viesse;

E finalmente, meu profundo agradecimento a todos, inclusive aquelas pessoas que não pude citar acima. Essas linhas não seriam suficientes para agradecer a todos que me ajudaram, e que foram os maiores responsáveis pela conclusão deste trabalho.



## ÍNDICE

RESUMO .....	I
ABSTRACT .....	II
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVO .....	3
3. JUSTIFICATIVA.....	3
4. CONCEITUAÇÃO .....	4
4.1. RESÍDUO SÓLIDO DOMICILIAR.....	4
4.2. ATERRO SANITÁRIO .....	5
4.3. DECOMPOSIÇÃO BIOLÓGICA DO LIXO .....	6
4.4. CHORUME .....	8
4.5. ADSORÇÃO DE ÍONS METÁLICOS.....	8
4.6. METAL PESADO .....	9
5. ÁREA DE ESTUDO .....	14
5.1. LOCALIZAÇÃO .....	14
5.2. CARACTERÍSTICAS DO ATERRO DOS BANDEIRANTES .....	15
5.3. GEOLOGIA DA ÁREA .....	17
5.4. ASPECTOS FISIOGRAFICOS.....	18
5.5. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.....	18
6. MATERIAIS E MÉTODOS .....	19
6.1. ATIVIDADES DE CAMPO – COLETA DE AMOSTRAS .....	19
6.1.1. <i>Solo de referência</i> .....	20
6.1.2. <i>Solo contaminado</i> .....	22
6.1.3. <i>Chorume</i> .....	24
6.1.4. <i>Água</i> .....	25
6.2. TRATAMENTO DE AMOSTRAS .....	27
7. EXPERIMENTOS.....	33
7.1. MONTAGEM .....	33
7.2. PREPARAÇÃO DAS COLUNAS.....	35
7.3. CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS.....	36
7.4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS .....	37
8. CONCLUSÃO .....	45
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	47



## RESUMO

A crescente geração de lixo e as formas encontradas para sua disposição final, nem sempre adequadas, são problemas preocupantes à sociedade, dado seu potencial poluidor e nocivo a saúde humana.

Para entendimento da interação solo/lixo/contaminante, este trabalho reproduziu, em laboratório, a dinâmica de uma célula sanitária visando estudar o comportamento do íon zinco nos solos usado como cobertura de lixo no Aterro dos Bandeirantes.

O experimento consistiu na montagem de duas colunas contendo solo (topo e base) e matéria orgânica (banana). Em ambas as colunas foram simuladas ações de chuvas, com posterior coleta do líquido percolado (chorume). Uma delas foi usada como referência e na outra adicionaram-se  $30 \text{ mg.dm}^{-3}$  de zinco, de 0,1 em 0,1  $\text{mg.dm}^{-3}$ .

O solo retirado do Aterro e utilizado nos experimentos é areia-argilo-siltoso, constituído de caulinita, gibbsita, montmorilonita, illita e óxido/hidróxido de Fe (Al), com baixa capacidade de troca catiônica e predomínio de cargas negativas associadas às partículas coloidais.

A partir de valores de pH e Eh, determinado durante o experimento, pôde-se definir fases de decomposição do lixo em aeróbia e anaeróbia.

O acompanhamento da condutividade elétrica e teores de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Zn}^{2+}$ , mostrou tendência a diminuição contínua das concentrações, em função da lixiviação.

As concentrações de  $\text{Zn}^{2+}$  no chorume bem como os valores de pH foram indicativos de sua ocorrência sob a forma de  $[\text{Zn}(\text{OH})]^+$ .

A dopagem de um dos sistemas, mostrou através dos resultados analíticos, que o metal foi retido no solo na forma adsorvida.

Os experimentos, portanto, permitiram reproduzir os fenômenos que ocorrem num aterro sanitário mostrando ser possível acelerar sua dinâmica e compreender como íons metálicos poluentes (como o zinco), se comportam neste ambiente.



## ABSTRACT

The increasing garbage production and inadequate final disposal became a intermittent problem to the society, due to the potential to pollute environmental sources and the risk to human being health.

This work provided an understanding of the soil/garbage/contaminant interaction, by reproducing the sanitary cell dynamics in laboratory experiments. The aim of this study was to understand the behaviour of the ion zinc in cover soil of the Bandeirantes Landfill.

The experiment consisted of two columns assembly containing soil (top and base) and organic matter (banana). In both columns, it had been simulated rain action, with leachate collection. One of them was used as reference and the other was impacted with 30 mg.dm<sup>-3</sup> of zinc, adding 0,1 mg.dm<sup>-3</sup> every 3 days.

The soil removed of Landfill and used in the experiments is a sand-clay-silty soil, composed by caulinite, gibbsite, montmorillonite, illite and oxide/hydroxide of Fe (Al), with low cationic exchange capacity and predominance of negative charge associated to colloidal particles.

The parameters pH and Eh values, determined during the experiment, were used to define two decomposition phases of organic matter (aerobic and anaerobic). The monitoring of electric conductive, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Zn<sup>2+</sup>, demonstrated tendency to concentration lowering, due to leaching.

Concentration of zinc in the columns leachate and pH values, indicated that this ion occurred as [Zn(OH)]<sup>+</sup>.

The addition of zinc in one column, showed by the analytical results that the metal was retained in soil in the adsorbed form.

Thus, the experiments reproduced the phenomenon that happened in the sanitary landfill, showing that it is possible to accelerate the dynamics in columns, as well as to comprehend metallic ion (zinc) behaviour.



## 1. INTRODUÇÃO

O lixo é o resultado do descarte de resíduos gerados a partir de atividades domésticas, industriais e comerciais etc. que podem conter restos de atividades humanas consideradas inúteis, dispensáveis ou descartáveis. Normalmente apresentam-se sob o estado sólido, semi-sólido ou semi-líquido (ABNT, 1987).

Ele tem-se tornado, devido os inúmeros impactos ambientais, um fator preocupante para o homem causando, em seu destino final, sérios problemas, principalmente nas grandes cidades.

Devido o alto consumo e rápido descarte alguns autores conferem ao fenômeno nos tempos atuais a designação de “a Era do Lixo” (Fernandes, 1999). A produção diária, no Brasil, chega a 250 000 toneladas (IBGE, 1997) sendo evidente que o crescimento populacional reflete diretamente na produção do lixo.

A classificação do lixo pode ser efetuada através de sua natureza (seco ou molhado), composição química (matéria orgânica ou inorgânica), potenciais de riscos ao meio ambiente (perigosos, inertes e não-inertes) e quanto à origem (domiciliar, comercial, varrição e feiras livres, serviços de saúde e hospitais, portos, aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários, indústrias e entulhos) (IPT, 2000). Apesar dessa variedade de classificações, neste trabalho será adotada a classificação apenas quanto sua origem, nomeando o lixo como **resíduo sólido urbano**.

A preocupação em relação ao acúmulo de dejetos indesejáveis nas cidades já foi vivenciada desde a época medieval, com a dificuldade da população em diferenciar a vida urbana da rural, criando porcos e vacas em locais contíguos às residências e as vezes ocupando parte da passagem da rua. Isto acarretou uma concentração de resíduos que culminou, no começo do século XV na Europa, na proibição da criação de animais e descarte de lixo próximo as residências (Liebmann, 1979).

Em 1982, Beccari desenvolveu um processo de células fechadas para o lixo orgânico, dispondo os resíduos sólidos em camadas, que se degradavam durante um curto espaço de tempo, sendo provavelmente a idéia precursora do que podemos chamar de aterros controlados.

Os aterros, de acordo com a sua disposição final, podem ser classificados como lixões, aterros controlados e sanitários.

Os lixões caracterizam-se pela disposição do resíduo sem nenhuma preocupação em relação ao meio ambiente ou a saúde pública, onde no Brasil 90% do lixo é descartado neste tipo de deposição. Os lixões são considerados como um processo de destinação final precária e perigosa, tendo como aspecto positivo apenas seu afastamento das grandes aglomerações humanas (Amorim, 1996).



O aterro controlado diferencia-se do lixão pela cobertura diária com material inerte sobre o lixo, sem critérios de engenharia ou controle ambiental.

O aterro sanitário pode ser considerado uma obra de engenharia para confinamento de resíduos no menor espaço possível, visando diminuir os impactos ambientais (ABNT, 1992). Trata-se de uma técnica de deposição de resíduos mais barata, segura e aplicável às mais diversas situações de terrenos. Tem as vantagens de manter-se em conformidade com o meio ambiente, grande capacidade de absorção dos resíduos gerados, oferecendo condições para que haja a decomposição biológica da matéria orgânica contida no lixo e tratamento do chorume gerado. As desvantagens dos aterros sanitários referem-se ao desperdício de matérias primas (p.e. para a reciclagem), à ocupação sucessiva de locais devido ao tempo de vida limitada do aterro, dificultado pela necessidade de adequar as condições para sua instalação e o custo significativamente alto.

Na construção dos aterros sanitários são utilizadas medidas de segurança como impermeabilização com argilas em sua base e/ou com mantas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), drenagem controlada, coleta e tratamento de chorume e eliminação de gases gerados.

A ação microbiana, somada à umidade nas células, produzem o chorume que é um líquido de cor escura, viscoso, com cheiro fortemente fétido.

Os lixos são compactados diariamente em camadas, com cobertura de solo, havendo monitoramento das águas superficiais e subterrâneas para análises de sua qualidade.

Todos procedimentos técnico-operacionais são efetuados para que se evitem proliferação de vetores (ratos, moscas etc.), mau cheiro, contaminação dos lençóis freáticos, surgimento de doenças e poluição visual.

É necessário ressaltar que, apesar de todas as precauções e cuidados técnicos, é comum ocorrerem vazamentos da fase líquida com dispersão de íons poluentes, especialmente metais pesados.

Atualmente existem formas no controle do lixo em que se utilizam incineradores, compostagem e aterros, que se tornam mais eficientes quando operados em conjunto.

A incineração é um método de redução de volume e peso do lixo, através da combustão controlada (temperaturas acima de 900°C). Neste caso um resíduo tem redução de aproximadamente 20% do peso inicial. As vantagens da queima do lixo são, portanto, a redução drástica do volume a ser descartado, diminuição do impacto ambiental, recuperação de energia, aumento da vida útil dos aterros e destoxificação. As principais desvantagens refere-se ao custo elevado de operação e manutenção, mão-de-obra qualificada, problemas operacionais e limites de emissão de toxinas que são lançadas na atmosfera (Reciclagem – site internet).



A compostagem é um processo biológico de decomposição da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal. Tem como resultado final um composto orgânico que pode ser aplicado ao solo na melhoria de suas características, sem ocasionar riscos ao meio ambiente. Apresenta como vantagens ser processo ambientalmente seguro, redução de 50% do lixo, diminuição de custos devido ao aumento da vida útil do aterro, aproveitamento agrícola da matéria orgânica, reciclagem de nutrientes para o solo, eliminação de patógenos, economia de tratamento de efluentes, redução na produção de chorume e gases, menor consumo de matérias primas e consumo de energia e insumos como  $H_2O$ ,  $O_2$  etc. Entre as desvantagens destacam-se o alto custo de manutenção, necessidade de ser bem planejada, locada, gerenciada e seguir a legislação (IPT, 2000).

Neste projeto será estudado experimentalmente o comportamento do zinco uma vez que, além de tratar-se de um metal pesado poluente, estudos prévios mostraram que se apresenta, no solo do Aterro dos Bandeirantes, valores superiores a  $160 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

É necessário lembrar que nos solos do Estado de São Paulo, o valor de referência apresentadas pela CETESB é de  $60 \text{ mg.kg}^{-1}$  sendo  $300 \text{ mg.kg}^{-1}$  o valor “de alerta” (Casarini et al., 2001). Os efluentes associadas ao Aterro, apresentam concentrações de zinco de  $0,1 \text{ mg.dm}^{-3}$  a  $1,0 \text{ mg.dm}^{-3}$  (Limpurb *apud* Ezaki, 2001), sendo o limite de referência  $5 \text{ mg.dm}^{-3}$  (Decreto Estadual 8468 de 8 de setembro de 1976, Artigo 19a).

## 2. OBJETIVO

Construir modelos experimentais representativos do Aterro dos Bandeirantes com simulação de sua dinâmica, em especial a decomposição de resíduos sólidos com geração de chorumes.

Estudar o mecanismo de mobilidade e fixação do zinco junto ao sistema solo/lixo/fase líquida.

## 3. JUSTIFICATIVA

Grandes cidades como São Paulo possuem, proporcionalmente ao desenvolvimento, problemas em relação ao lixo. Esses problemas iniciam-se pela falta e mesmo escassez de áreas para disposição do lixo, pelos conflitos de uso do solo em relação a população estabelecida no entorno das instalações, exportação do lixo a municípios vizinhos, lixões e aterros poluindo os escassos recursos hídricos e solos (IPT, 2000).

Os aterros operantes, em São Paulo, em especial o Aterro dos Bandeirantes, recebem milhares de toneladas de lixo diariamente e alerta para a possibilidade de contaminação de solos e recursos hídricos.



Os metais pesados oriundos do lixo decomposto constituem-se num dos mais freqüentes contaminantes que poluem o sistema solo/água. O estudo e compreensão do seu comportamento, em especial no solo, principal objetivo deste trabalho, possibilitará prever ações como a fixação e mobilização, podendo assim sugerir processos de remediação e ou contenção dos agentes.

## 4. CONCEITUAÇÃO

### 4.1. Resíduo Sólido Domiciliar

Estima-se em cerca de 90 000 toneladas/dia o resíduo sólido domiciliar no Brasil (IBGE, 1997).

Pequenos municípios, com aproximadamente 5000 habitantes, geram perto de 2,5 toneladas/dia de lixo, (média de 500 g lixo/pessoa/dia) e em São Paulo, com cerca de 16 milhões de habitantes tem-se 13 600 toneladas/dia representando cerca de 850 g lixo/pessoa/dia (Jardim,1995).

As características físicas mais importantes do lixo urbano consistem na densidade, umidade, tamanho das partículas, distribuição granulométrica, porosidade do resíduo compactado etc.(Kaiamoto, 1998).

O resíduo apresenta composição muito variada, podendo, entretanto, afirmar que ele é constituído principalmente por papel, papelão, vidro, latas, plásticos, borracha, couro, trapos, folhas, galhos, restos de alimentos, madeira etc. Sua composição é também função da localização da cidade, quantidade de indústrias e comércios, assim como da condição sócio-econômica e sazonalidade. Na tabela 01 são apresentadas as composições médias do lixo urbano do Município de São Paulo.

<b>Componentes do lixo</b>	<b>1969</b>	<b>1972</b>	<b>1989</b>	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1993</b>	<b>1996</b>	<b>1998</b>
Matéria Orgânica	52,2	47,6	55,0	47,4	61,90	64,43	59,05	50,8
Papel e Papelão	29,2	25,9	17,0	29,6	14,29	14,43	16,19	18,8
Plásticos	1,9	4,3	7,5	9,0	10,95	12,08	13,88	22,9
Metais e Latas	7,8	4,2	3,25	5,3	4,28	3,24	2,85	3,0
Vidro	2,6	2,1	1,5	4,2	1,90	1,10	2,86	1,5
Trapo e couro	3,8	4,3	-	3,0	4,76	4,52	5,24	3,0

Tabela 01: Variação na composição dos resíduos sólidos urbanos no Município de São Paulo. (IPT, 2000)

Para se tomar como termo de comparação é apresentado na Figura 01, a composição do lixo de vários locais no mundo.





Figura 01: Resíduos sólidos urbanos mais comuns presentes em diferentes regiões do mundo (modificado de Oliveira, 1995 *apud* Kaiamoto 1998).

#### 4.2. Aterro Sanitário

O aterro sanitário (Figura 02) é uma obra de engenharia que separa o lixo em camadas compactas, num espaço mínimo possível que, por precauções ambientais, como o mau cheiro, presença de vetores etc. contém coberturas de solo sobre o lixo, constituindo as **células**.

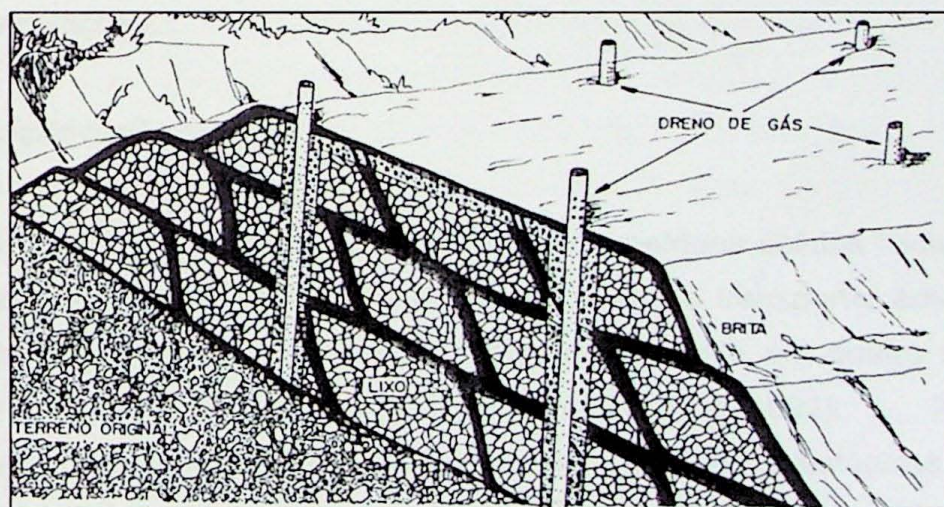


Figura 02: Esquema indicando parte de um aterro sanitário com superposição de células sanitárias e distribuição de drenos de gases em aterros sanitários (CETESB *apud* Leite 1992).

Para a implementação de um aterro são necessários alguns procedimentos básicos que normatizam e melhoram a qualidade da obra.

Inicialmente, para não comprometer a estabilidade necessária ao maciço sanitário e às drenagens, é necessária remoção dos solos inconsistentes, colapsáveis ou francamente



permeáveis. Deve-se canalizar córregos, nascentes, ou afloramentos do lençol freático para manter o fluxo natural das formações hídricas.

A impermeabilização da fundação do aterro deve ser efetuada com instalação da camada de solo argiloso, permeabilidade inferior a  $10^{-7} \text{ cm.s}^{-1}$ , espessura mínima de 1,50 m e manta sintética de Polietileno de Alta Densidade. Sobre a manta deve haver uma camada mínima de solo que permita o tráfego de veículos com equipamentos para terraplenagem e compactação.

Para drenagem de efluentes junto a fundação do aterro, instalam-se drenos de fundação que consistem de tubos perfurados envoltos por brita. A partir dos drenos, são construídos poços verticais, que têm a função de propiciar o escoamento de cada célula, conduzindo os efluentes gasosos à superfície (Kaiamoto, 1998).

Para total sucesso da obra, é necessário que as células sejam bem planejadas, com compactação e cobrimentos sanitários diários. É necessário ainda, drenagem superficial com monitoramento das águas subterrâneas e o monitoramento geotécnico.

Os aterros são classificados como de superfície e de depressão (Leite, 1992). O aterro de superfície é o mais comum, executado em regiões planas, como estuários, pântanos, várzeas etc. construídos através de métodos de trincheira, de rampa e de área.

Os aterros em depressão são executados em regiões de topografia acidentada, como grotas, fundo de vales e pedreiras extintas. Podem ser aterros em lagos ou em depressão e ondulações.

#### 4.3. Decomposição biológica do lixo

O processo de degradação microbiológica dos resíduos sólidos inicia-se já em seu acondicionamento em sacos plásticos e durante a coleta e transporte, acentuando-se na fase de aterramento. A degradação ocorre fundamentalmente em quatro fases: aeróbia, anaeróbia ácida, metânica instável e metânica estável (Schalch, 1992).

A primeira, *fase aeróbia*, consiste na decomposição de substâncias orgânicas por oxidação aeróbia, uma vez que há grande disponibilidade de oxigênio no aterro, associados aos resíduos ainda não muito compactados. O acúmulo de umidade destes resíduos favorecem o desenvolvimento de bactérias aeróbias.

Nesta fase, ocorre grande liberação de calor e aumento de temperatura (40°C a 45°C).

O carbono é convertido em  $\text{CO}_2$ , o hidrogênio orgânico em  $\text{H}_2\text{O}$ , nitrogênio em  $\text{NO}_3^-$ , fósforo em  $\text{PO}_4^{3-}$  e enxofre em  $\text{SO}_4^{2-}$ . O pH mantém-se básico, próximo a neutralidade.

O chorume gerado contém altas concentrações de sais, inclusive de íons de metais pesados.



Com o esgotamento de oxigênio inicia-se a decomposição *anaeróbia ácida* que consiste na transformação, por bactérias acetogênicas, de compostos orgânicos solúveis como, por exemplo, tanol, butirato, acetato, propionato etc. A matéria orgânica hidrolizada transforma-se, pela ação de bactérias acidogênicas, em compostos cada vez mais simples e solúveis como ácidos orgânicos, principalmente acético, álcoois, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>. Nesta fase ocorre queda brusca de pH (4 a 6), produção de grande quantidade de matéria orgânica e, desta forma, aumento da Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) (maiores que 10 g.dm<sup>-3</sup>) e da Demanda Química de Oxigênio (DQO). A temperatura oscila entre 37° C e 40° C (Leite, 1992).

Com o consumo dos compostos orgânicos e ácidos voláteis simples tem-se favorecida a estabilização de pH com valores próximos a neutralidade (6,6 a 7,3), permitindo lento desenvolvimento de bactérias estritamente *anaeróbias metanogênicas*; estas requerem baixos potenciais de oxido-redução (entre -330mV e -600mV) favorecidos pelo ambiente redutor com matéria orgânica. Estas atuam na pouca formação de metano (CH<sub>4</sub>) através da redução de CO<sub>2</sub> e descarboxilação do acetato. A temperatura permanece em torno de 37° C.

A transformação de acetatos, formiatos e CO<sub>2</sub>, produzidos na terceira fase por microorganismos metanogênicos, completam o processo de transformação total da celulose. A produção de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> atingem proporção de aproximadamente 50%, cada um. A temperatura tende-se a estabilizar-se próximo a ambiente. O aumento dos valores de pH leva a diminuição da solubilidade de nutrientes como cálcio, ferro, manganês e metais pesados, que reflete na diminuição da condutividade elétrica (Andreottola & Cannas 1992).

Gomes, 1981 (*apud* Schalch, 1991) acrescenta uma quinta fase denominada "*maturação final*" que representa o fim da metanogênese, caracterizando a completa bioestabilização da matéria orgânica contida no lixo.

No gráfico apresentado a seguir (Figura 03), observa-se a variação dos valores de pH com a evolução da decomposição do lixo em função do tempo.



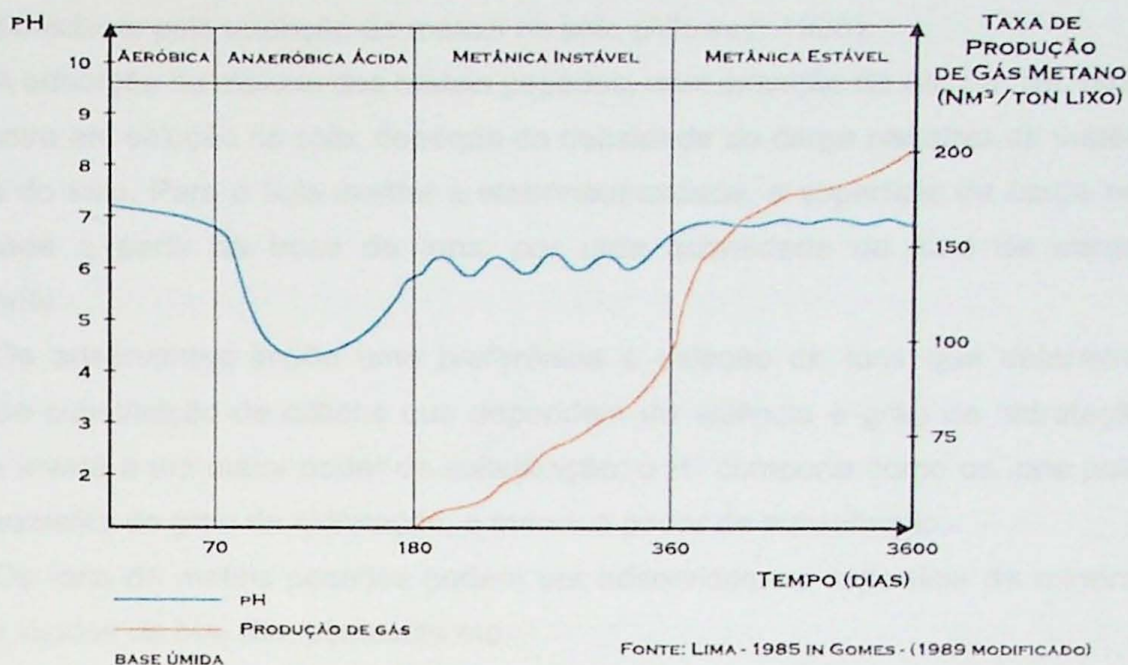


Figura 03: Variação do pH em função do tempo em dias (Tandel, 1998).

#### 4.4. Chorume

Chorume ou sumeiro de um aterro sanitário é um líquido escuro, turvo, de odor desagradável que se forma e escoar no maciço de resíduo de um aterro (Ezaki, 2001 e Ezaki & Hypolito, 2002). Em termos de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), no entanto, assemelha-se ao esgoto doméstico com concentrações da ordem de  $2 \cdot 10^{-4} \text{ mg.dm}^{-3}$ , 100 vezes superior a do esgoto (Schalch, 1984). Sua geração relaciona-se a umidade natural do lixo, água de constituição e líquidos provenientes da dissolução da matéria orgânica pelas enzimas (Leite, 1992), além da infiltração de águas pluviométricas.

O chorume é composto principalmente de substâncias macrocomponentes inorgânicos (Ca, Mg, Na, K, Fe, Cl,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$ ), metais pesados (Zn, Cd, Cr, Mn, Cu, Pb, Ni etc.) e compostos orgânicos xenobióticos (hidrocarbonetos aromáticos, fenóis e clorados alifáticos). Sua composição varia segundo os aterros e depende da composição do lixo, da sazonalidade, da idade dos resíduos e da tecnologia de aterramento (Christensen *et al.* 1994 *apud* Christensen 2000).

#### 4.5. Adsorção de íons metálicos

A adsorção é a fixação por partículas de solução em materiais sólidos. Esse processo é de importância muito significativa, uma vez que afeta o comportamento e a disponibilidade de metais no solo. Os mecanismos envolvidos na adsorção são a troca de cátions (ou adsorção não específica), adsorção específica e complexação orgânica. Mesmo



sendo possível quantificar o grau de adsorção, é difícil determinar quais dos mecanismos são responsáveis pela retenção de metais no solo (Alloway, 1995).

A adsorção da maioria dos metais pesados, com exceção do As, Sb, Se, Mo e V, que se encontra em solução no solo, depende da densidade da carga negativa da superfície dos colóides do solo. Para o solo manter a eletroneutralidade, a superfície de carga negativa é balanceada a partir da troca de íons, por uma quantidade de íons de carga oposta equivalente.

Os adsorventes impõe uma preferência e seleção de íons que determinam uma ordem de substituição de cátions que dependem da valência e grau de hidratação; maior valência levará a um maior poder de substituição; o  $H^+$  comporta como os íons polivalentes com o aumento do grau de hidratação, e menor o poder de substituição.

Os íons de metais pesados podem ser adsorvidos na superfície de minerais como goethita, óxidos de Mn, illita, esmectita etc.

As formas sorvidas do zinco metálico no solo são normalmente mais estáveis que alguns minerais de zinco, com exceção da franklinita ( $ZnFe_2O_4$ ) que pode ser um importante fator controlador da solubilidade, dependendo das concentrações de Fe(II) (Alloway, 1995).

#### 4.6. Metal Pesado

Metal pesado é uma expressão que pode passar uma idéia de toxicidade (poluente de ar, água e solo), representando uma generalização indevida porque apenas alguns elementos possuem tal característica, destacando p.e. o cobre, ferro, molibdênio, alumínio, zinco, cobre, níquel, chumbo, cromo, cádmio e manganês (Alloway, 1995). É um termo utilizado para designar elementos com peso específico superior a  $5,0 \text{ g.cm}^{-3}$  ou número atômico maior que 20, englobando metais, semi-metais e mesmo não metais como o selênio. As vezes são utilizados como sinônimo outros termos como “elemento traço” ou “metal traço”.

O elemento traço é um termo utilizado para elementos que ocorrem em sistemas naturais e perturbados, em pequenas quantidades, e quando apresentam-se em concentrações anômalas, são tóxicos aos organismos vivos (Adriano, 1986). Alguns metais são considerados tóxicos ou não essenciais aos organismos como o Al, Cd, Cr, Hg, Pb e outros como micronutrientes essenciais (Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) ou benéficos (Co, Ni, V) para o desenvolvimento de plantas e animais (Malavolta, 1994).

Neste trabalho os metais pesados são considerados somente aqueles com densidades superiores a  $5,0 \text{ g.cm}^{-3}$  (Hypolito, 2002).

A disponibilidade natural de metais pesados no solo é determinada pelo material parental (rocha-mãe) na qual o intemperismo atuou. Altas concentrações de elementos tóxicos podem ocorrer por processos naturais, sem que nenhuma contaminação anterior



tenha ocorrido. Os processos antrópicos, entretanto, são as principais fontes de contaminação por metal pesado, tanto no solo como no ar e água, emitido sob a forma de gases e de efluentes, lodo de esgoto, fertilizantes, resíduos etc. (Adriano, 1986; Dauga, 2000; Amarante, 1997).

Os metais pesados podem ser encontrados no solo dissolvidos, como íons trocáveis, adsorvidos, combinados ou associados a matéria orgânica etc. podendo ser fixados por minerais secundários e neoformados, argilas e óxidos de ferro e manganês.

A textura pode afetar a solubilidade do metal pesado no solo e controlar sua adsorção às partículas, como a presença da fração argilosa (argilominerais e oxihidróxidos) nos horizontes do perfil pedológico. A retenção de metais pela montmorilonita, p.e., sendo uma argila 2:1 é bem mais elevada do que a da caulinita (argila do tipo 1:1) que mais representa os solos lateríticos (Bittell et al., 1974 *apud* Dauga, 2000).

Outro fator importante nos fenômenos de adsorção, é a matéria orgânica que pode inibir a adsorção pelos minerais do solo com formação de complexos de ácidos húmicos, por exemplo (Dauga, 2000).

O efeito do pH na adsorção também é de importância, na maioria das vezes decisiva onde seu aumento facilita a fixação. O carbonato reduz tanto a mobilidade quanto a disponibilidade de metais tóxicos (Matos et al., 2000).

Os metais pesados não devem ser incorporados ao organismo humano nem mesmo em quantidades mínimas. Já nessas condições levam a sintomas chamados sub-clínicos que não são característicos de uma determinada doença e podem, no entanto, dificultar o diagnóstico.

A gravidade da doença adquirida pela ingestão de metais pesados, quer seja por via oral (alimentos, ar etc.) ou absorção pela pele (efeito sistêmico), depende da natureza do metal.

As concentrações naturais de metais pesados podem também sofrer enriquecimento principalmente a partir de fontes como as litogênicas, através de processos intempéricos.

Neste trabalho será estudado o comportamento do zinco, uma vez que trabalhos prévios, como os dados de Qasim & Chiang, 1994 e da CETESB 1996 (*apud* Tandel, 1998), indicaram teores significativos deste metal em análise químicas de chorume de aterros sanitários. Por outro lado, o zinco, apesar de ser micronutriente, em quantidades elevadas é tóxico.

Suas propriedades e características mais importantes são apresentadas em detalhes a seguir.