



**AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO PROVOCADA
POR PÁRA-RAIOS RADIOATIVOS DE AMERÍCIO-241
DESCARTADOS EM LIXÕES**

JÚLIO TAKEHIRO MARUMO

**Tese apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau
de Doutor em Ciências na Área de
Tecnologia Nuclear – Materiais.**

Orientador:

Dr. Luis Filipe C.P. de Lima

**SÃO PAULO
2006**



AUTARQUIA ASSOCIADA À
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO PROVOCADA
POR PÁRA-RAIOS RADIOATIVOS DE AMERÍCIO-241
DESCARTADOS EM LIXÕES**

JÚLIO TAKEHIRO MARUMO

**Tese apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau
de Doutor em Ciências na Área de
Tecnologia Nuclear – Materiais.**

Orientador:

Dr. Luis Filipe C.P. de Lima

SÃO PAULO
2006

À minha esposa, Maria Helena.
Ao meu filho, Matheo.
Aos meus pais, Yuichi e Rosa (*in memoriam*).

Agradecimentos

Ao Dr. Luis Filipe C.P. de Lima, pela orientação, dedicação, discussões, incentivo e confiança.

Ao Dr. Goro Hiromoto, pela ajuda, discussões e sugestões.

Aos amigos Vera, Hissae e Rafael, pela dedicação, pelo companheirismo e pela grande ajuda na realização deste trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Rejeitos Radioativos, pelo auxílio, apoio e incentivo.

À minha esposa, Maria Helena, pelo auxílio, apoio, sugestões e discussões.

À Dra. Marlene Flues e Dra. Eglé Teixeira pelas idéias iniciais e sugestões dadas.

À CNEN - Laboratório de Poços de Caldas, em especial, à pesquisadora Maria Helena Taddei pela prestatividade e pelo auxílio na realização de alguns ensaios.

AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO PROVOCADA POR PÁRA-RAIOS RADIOATIVOS DE AMERÍCIO-241 DESCARTADOS EM LIXÕES

Júlio Takehiro Marumo

RESUMO

Os pára-raios radioativos foram fabricados no Brasil até 1989, quando a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) suspendeu a concessão de uso de material radioativo nesses artefatos. Desde então, o pára-raios radioativo tem sido substituído por outro, do tipo Franklin, e recolhido como rejeito radioativo. Entretanto, apenas 23 % do total fabricado no país foram entregues à CNEN. Esta situação é preocupante, pois a chance, desses artefatos serem descartados como resíduo comum e chegarem a lixões, é grande, uma vez que, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2000, 63,6 % dos municípios brasileiros dispunham o resíduo nesses locais. Além disso, o amerício, o radionuclídeo mais empregado, é classificado como sendo um elemento de alta toxicidade, quando ingerido ou inalado. No presente trabalho, foram realizados experimentos de migração de Am-241 em lisímetros, com o objetivo de se avaliar o risco de contaminação provocada por pára-raios radioativos descartados como resíduo comum. Fontes radioativas removidas de pára-raios foram inseridas em lisímetros preenchidos com resíduo orgânico, coletado no restaurante do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, e chorume gerado foi periodicamente analisado para determinar suas características como pH, potencial redox, teor de sólidos e a concentração do material radioativo. O crescimento microbiano também foi avaliado, pelo método de contagem direta do número de unidades formadoras de colônia. A estimativa de risco foi baseada no cálculo de dose para membros do público, sendo a ingestão de água a via mais provável de exposição. O valor obtido foi cerca de 1000 vezes inferior ao limite de dose anual estabelecido, pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), demonstrando que o risco de contaminação provocado pelo descarte de pára-raios em lixões é baixo.

EVALUATION OF THE CONTAMINATION RISK BY ²⁴¹AM FROM LIGHTNING RODS DISPOSED AT UNCONTROLLED GARBAGE DUMP

Júlio Takehiro Marumo

ABSTRACT

Radioactive lightning rods were manufactured in Brazil until 1989, when the licenses for using radioactive sources in these products were lifted by the national nuclear authority. Since then, radioactive devices have been replaced by Franklin type one and collected as radioactive waste. However, only 23 percent of the estimated total number of installed rods was delivered to Brazilian Nuclear Commission (Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN). This situation is of concern to us as there is a possibility of the rods being discarded as domestic waste, considering that in Brazil, 63.6 percent of the municipal solid waste is disposed at uncontrolled garbage dump, according to Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) in 2000. In addition, americium, the most common employed radionuclide, is classified as a high toxicity element, when ingested or inhaled. In the present study, it was performed migration experiments of Am-241 by lysimeter system in order to evaluate the risk of contamination caused by radioactive lightning rods disposed as a common solid waste. Sources removed from lightning rods were placed inside lysimeters filled with organic waste, collected at the restaurant of Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, and the generated leachate was periodically analyzed to determine its characteristics such as pH, redox potential, solid content and concentration of the radioactive material. Microbial growth was also evaluated by counting the number of colony forming units. The equivalent dose to members of the public has been calculated considering the ingestion of drinking water, the most probable mode of exposure. The final result was about 145 times below the effective dose limit of $1 \text{ mSv}\cdot\text{year}^{-1}$ for members of the public, established by the International Commission on Radiological Protection (ICRP), demonstrating that the risk caused by lightning rods disposed at uncontrolled garbage dump is low.

SUMÁRIO

	Página
1 . INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVO.....	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1. Pára-raios	12
3.2. Amerício-241	15
3.3. Gerenciamento dos pára-raios radioativos	17
3.4. Destinação de resíduos sólidos urbanos	25
3.5. Impacto ambiental.....	30
3.6. O processo de degradação de resíduos sólidos urbanos	31
3.6.1. Modelos de degradação em aterros	34
3.7. Outras considerações importantes	41
3.8. Estimativa de risco de contaminação.....	42
4. METODOLOGIA.....	49
4.1 Primeira etapa	49
4.2 Segunda etapa	49
4.2.1 Métodos de medida dos parâmetros.....	56
4.2.1.1 pH	56
4.2.1.2 Eh	56
4.2.1.3 Temperatura	56
4.2.1.4 Teor de sólidos	56
4.2.1.5 Atividade do amerício-241	56
4.2.1.6 Controle microbiológico	57
4.2.2 Gerenciamento de rejeitos.....	57
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
5.1. Primeira etapa	59
5.2. Segunda etapa	61
5.2.1. Lisímetros 1 e 2	61
5.2.2. Lisímetros 3 e 4	67
5.2.3 Lisímetros 5, 6, 7 e 8	72
5.2.4 Lisímetros 9 e 10	84
5.2.5 Teor de sólidos – Lis2 a 10.....	88
5.2.6 Volume do chorume	88
5.2.7 Liberação de amerício	88
5.3 Estimativa de risco.....	92
6. CONCLUSÕES	95
APÊNDICE	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136

1 . INTRODUÇÃO

Os pára-raios radioativos foram largamente comercializados no Brasil a partir do início da década de 70. Em 1989, no entanto, a Comissão Nacional de Energia Nuclear, CNEN, por meio de uma resolução suspendeu a concessão de uso de material radioativo em pára-raios, por não ter sido tecnicamente comprovada a maior eficácia desse tipo de captor em relação ao convencional. Considerando ainda a necessidade de dar destinação adequada ao material radioativo, a CNEN determinou que os pára-raios desativados fossem imediatamente recolhidos aos seus institutos.

Assim como no Brasil, a utilização de captores radioativos também foi proibida em outros países que, dependendo da disponibilidade de recursos financeiros, adotaram diferentes procedimentos de coleta e tratamento. Por exemplo, na Espanha, os pára-raios são retirados do edifício por técnicos da Empresa Nacional de Resíduos Radiactivos (ENRESA) e encaminhados para desmantelamento. Neste processo, as fontes de amerício são removidas e enviadas para o Reino Unido, para reciclagem. Em 1995, três anos após o início dessa operação, a ENRESA já havia retirado mais de 18000 unidades (ENRESA, 1997), demonstrando que, esse procedimento, é bastante eficaz, principalmente, porque o serviço de remoção é gratuito, cabendo ao usuário apenas a tarefa de solicitar a remoção do captor.

Do total de captores radioativos fabricados no Brasil, menos de 1 % contém fontes de Ra-226. A maioria é composta por fontes de Am-241. Segundo levantamento realizado pela CNEN em 1992, estimava-se que havia cerca de 75000 peças instaladas, com atividade média da ordem de 1,5 mCi (55,5 MBq) por unidade (Heilbron e Xavier, 1992). Dezesete anos após a publicação da Resolução da CNEN, 17259 pára-raios (dado de Fev/2006), ou seja, apenas 23% do que foi fabricado, foram recolhidos e encaminhados para o Laboratório de Rejeitos Radioativos do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN),

para o Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), no Rio de Janeiro, e para o Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), em Belo Horizonte.

As fontes de amerício empregadas nos pára-raios eram, segundo os fabricantes, estanques e, por este motivo, não ofereciam risco de contaminação. No entanto, a prática de recebimento dos pára-raios tem demonstrado o contrário, pois são verificadas contaminações na estrutura metálica de muitos captores. O Am-241 oferece pouco risco por irradiação externa, mas é muito tóxico quando ingerido ou inalado.

Este fato, aliado à possibilidade de perda das fontes, à quantidade de pára-raios não recolhidos e à falta de informação, põem em risco o público em geral e o ambiente, devido a uma manipulação incorreta e uma destinação indevida. Infelizmente, não são raros os casos de descarte desses artefatos em ferros-velhos, em depósitos ou à margem de vias públicas; a verdade é que, boa parte da população, desconhece completamente os riscos envolvidos.

Considerando que, no Brasil, não há dados suficientes para se avaliar o impacto radiológico causado nestas situações e, ainda, o baixo percentual de pára-raios entregues para a CNEN até o momento, faz-se necessária a realização de um estudo detalhado que considere a hipótese, entre outras, de que uma parte dos captores venha a ser descartada como lixo comum. A questão mais importante a ser respondida é: “Há algum risco potencial de contaminação provocada nessa situação?”. É possível que o risco seja mínimo, mas o estudo deve ser conclusivo, no sentido de demonstrar às autoridades e ao público, se haverá possibilidade ou não, de contaminação. A demonstração de que “não há problema” é o primeiro procedimento adotado em programas de avaliação de locais potencialmente contaminados radioativamente. Nesses programas, a caracterização é o processo central e se refere às pesquisas conduzidas para fornecer informações e dados sobre a contaminação e o ambiente afetado (IAEA, 1998). Um estudo de avaliação de risco envolve ainda a determinação das concentrações do contaminante e comparação desses valores com os estabelecidos por critérios de qualidade do solo, água subterrânea ou ar. Se a concentração de um contaminante específico exceder os limites estabelecidos nestes critérios, o local será considerado como de risco para o ser humano e o meio ambiente (Ferguson, 1999).

O problema, ora levantado, poderia parecer menos sério, se no Brasil só houvesse aterro sanitário, ou seja, um método de disposição baseado em critérios de engenharia que permite o confinamento seguro de resíduos sólidos, em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública. O que ocorre, de fato, é o oposto, ou seja, boa parte do resíduo urbano é disposto em lixões, irregularmente e sem controle das autoridades. Em suma, a probabilidade dos pára-raios não entregues aos órgãos competentes irem para os lixões é muito grande.

A dificuldade de estudar este cenário está no fato de ser um sistema complexo, oriundo das diversas atividades domésticas, comerciais, industriais, de serviços de saúde e da própria natureza. Quando esses sistemas não são controlados, como no caso dos “lixões”, causam sérios problemas ambientais, entre eles, a contaminação do solo e do lençol freático pela ação do chorume, um líquido de cor negra formado pela digestão de matéria orgânica, por ação de bactérias (Schalch, 1984). Segundo Hamada (1997), chorume pode ser definido como a fase líquida da massa de lixo aterrada, que percola através desta removendo materiais dissolvidos ou suspensos. A composição química do chorume varia muito, dependendo da idade do aterro, de fatores ambientais como clima e das propriedades do solo (Eriksson e Fredriksson, 1994; El Fadel et al., 1997; Robinson e Maris, 1979).

Para facilitar o estudo desse cenário, é comum reproduzi-lo em escala menor e, para isso, são utilizados lisímetros. Trata-se de uma ferramenta largamente utilizada para investigar a liberação de contaminantes presentes em resíduos ou amostras de solo e, também, para estudar a degradação de resíduos (Kelly et al., 1997).

Desta forma, diante do problema apresentado, neste trabalho foca-se o risco de contaminação associado ao descarte de pára-raios radioativos de amerício-241 em lixões. Obviamente, neste estudo não se tem a pretensão de cobrir detalhadamente todos os cenários envolvidos em uma avaliação de risco, e sim, fornecer uma estimativa a partir da coleta e análise de dados obtidos em lisímetros preenchidos com restos de alimentos e fontes de amerício.

A originalidade do trabalho está fundamentada no cenário escolhido (lixão) para a avaliação da migração do Am-241 proveniente de pára-raios

radioativos. Não há relato na literatura pesquisada sobre a avaliação da contaminação provocada por pára-raios radioativos descartados em "lixões".

O Am-241, é um elemento que já foi muito estudado em outros países, mas em situações que diferem da proposta apresentada neste trabalho. De um modo geral, há muitos dados sobre concentração, no solo, no ar, na água, em sedimentos, em plantas e tecidos animais, da maioria dos radionuclídeos naturais e artificiais, entre eles o amerício, originados de diversas publicações e programas de monitoração. No entanto, a maioria dessas informações foram obtidas de áreas agrícolas e urbanas, mais populosas do hemisfério norte (Whicker et al., 1999). Quando o objeto de estudo é o lixo, a preocupação maior é com a contaminação provocada pelo churume e pelos metais tóxicos.

Por fim, para salientar a necessidade de realização deste estudo, segue uma transcrição do trabalho "Riscos ambientais urbanos" publicado por Ferreira e colaboradores (Ferreira et al., 2001) na 9ª Reunião da Sociedade Brasileira de Pesquisadores Nikkeis:

"Trabalhos que têm preocupações com a qualidade de vida e a saúde, são inúmeros, estando estes entre as principais motivações dos estudos sobre ecologia e meio ambiente. Contudo, estudos referentes aos riscos ambientais, ainda são poucos em número e variedade, abarcando, porém, uma gama considerável de áreas que se preocupam com tais riscos, abordando-os sob diversos prismas teórico-metodológicos. Apesar das grandes questões ambientais terem vínculos com o acelerado processo de urbanização, no Brasil, a contribuição de trabalhos enfocando a qualidade ambiental urbana é ainda insuficiente, tanto do ponto de vista teórico-metodológico, como empírico."

2. OBJETIVO

O objetivo neste trabalho é avaliar o risco de contaminação provocado por pára-raios radioativos com fontes de amerício-241 descartados em lixões, por meio da análise de dados experimentais, obtidos com lisímetros preenchidos com lixo, nos quais foram colocadas fontes de amerício.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Pára-raios

O pára-raios foi inventado pelo norte-americano Benjamin Franklin, em 1752, após descobrir, com o famoso experimento da pipa e a chave, que os raios são um fenômeno elétrico. O pára-raios é um sistema muito simples, constituído por um captor, um condutor de descida e um aterramento. Tem como finalidade proteger áreas contra descargas atmosféricas, captando raios e definindo o ponto de contato com a superfície da terra. Seu funcionamento está baseado num fenômeno físico conhecido como “poder das pontas”, ou seja, nas regiões pontiagudas de um condutor carregado a concentração de cargas elétricas por unidade de área superficial é mais elevada e, portanto, nas pontas e em suas vizinhanças o campo elétrico é mais intenso. Quando o campo elétrico nas vizinhanças da ponta atinge determinado valor, o ar em sua volta se ioniza e o condutor se descarrega através da ponta. A área de proteção foi definida pela primeira vez por Gay Lussac, no século 19, como sendo o espaço circular de um cilindro cujo raio da base fosse igual à altura da ponta da haste instalada. Atualmente, adota-se a base de um cone cuja relação altura/raio da base varia de acordo com o grau de exposição da edificação e os riscos materiais e humanos.

Em 1914, Szillard, um físico húngaro, propôs pela primeira vez a utilização de fontes de rádio-226 em pára-raios tipo Franklin, após a realização de um experimento no qual constatou um aumento de corrente quando o captor contendo sal de rádio, era submetido a um campo elétrico. Este aumento de corrente foi atribuído à ionização do ar provocada pela radiação. Em 1931, Capart, um físico belga, patenteou um pára-raios radioativo na França e nos Estados Unidos, mas foi seu filho, Alphonse, quem, em 1953, adicionou melhorias no aparelho, propiciando o seu desenvolvimento comercial (Zipse, 1993). Depois do rádio, o criptônio, o cobalto e o amerício também foram utilizados (Belli et al., 1978). Desta forma, tornaram-se populares, pois, teoricamente, a ionização provocada pelas fontes radioativas aumentava a área de proteção.

No Brasil, o processo de produção destes captoreis foi iniciado somente no início dos anos 70, com a concessão das licenças para importação de fontes radioativas, para montagem e comercialização de pára-raios radioativos. Segundo dados da CNEN (Heilbron Filho e Xavier, 1992), entre 1970 e 1986, foram emitidas guias de importação de fitas de amerício para utilização em pára-raios, perfazendo um total de aproximadamente 93 Curies (3441 GBq), distribuídos entre quatro empresas, Gamatec/Nortec, York, Amerion e Promoengi. A partir dos dados fornecidos pelos fabricantes e da quantidade autorizada para cada um deles chegou-se à estimativa de 75.000 unidades instaladas. Na figura 3.1 apresenta-se os principais modelos comercializados no Brasil.

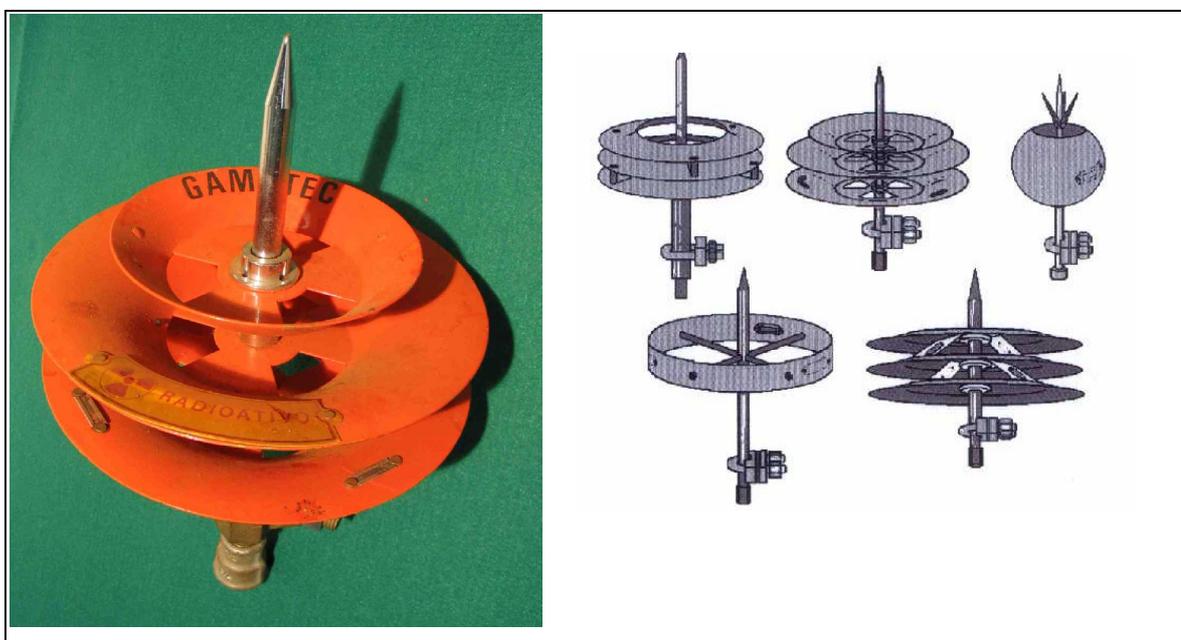


Figura 3.1 : Modelos de pára-raios comercializados no Brasil (Fonte: Miranda & Vicente, 1999) .

As características das fontes utilizadas nos captoreis variavam em geometria e atividade, mas a maioria era do tipo fornecido pela Amersham na forma de fita contínua. Eram fabricadas por meio de deposição de amerício, na forma de óxido (AmO_2), em uma matriz de ouro recoberta com uma liga de ouro-paládio e preso em um suporte de prata, formando uma fita de aproximadamente 1 metro de comprimento (figura 3.2). Esta fita era, posteriormente, cortada em pedaços de aproximadamente 1 cm e fixados em um porta fonte e rebitada na

estrutura do captor (Miranda e Vicente, 1999; Carvalho et al., 1987; Clain et al., 1999). Na figura 3.3 apresenta-se um esquema dessa fonte.

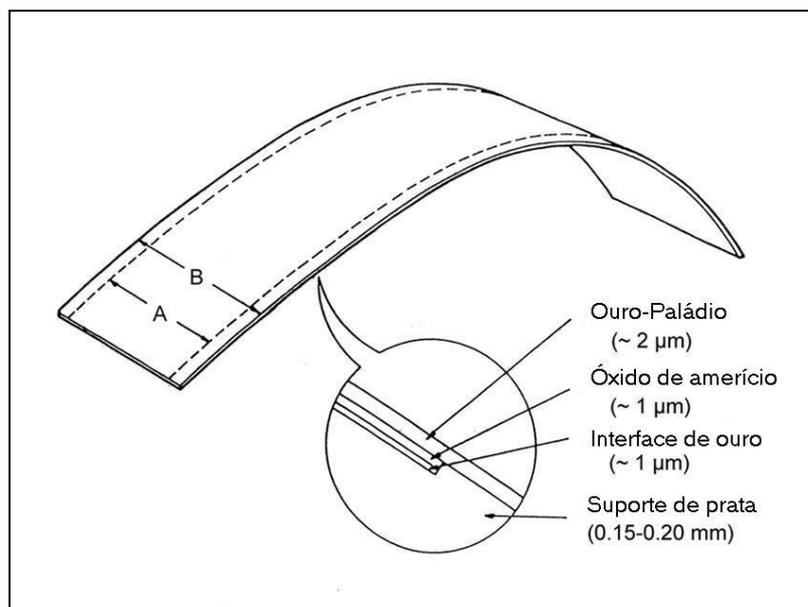


Figura 3.2: Fonte de Am-241 na forma de fita (Fonte:<[http:// www.nbclog.de](http://www.nbclog.de)> Acesso em: 27/06/2006).

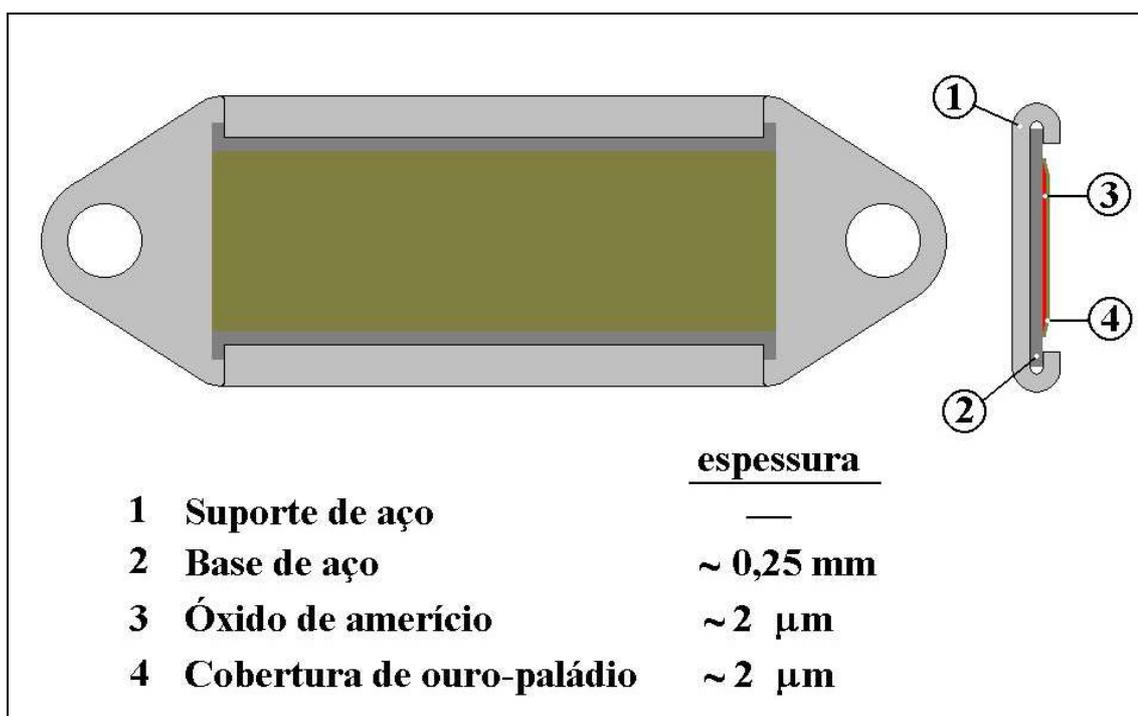


Figura 3.3: Esquema da fonte de amerício, pronta para ser fixada no captor.

Os fabricantes dos pára-raios garantiam, por meio de atestados negativos de testes de vazamento realizados pelo fabricante das fontes que não havia possibilidade de vazamento de material radioativo e que, portanto, eram seguras para manuseio. Ainda, a pedido dos fabricantes de pára-raios o IPEN também realizou testes de imersão e de lixiviação por ultra-som e os resultados corroboraram esta qualidade (Miranda e Vicente, 1987).

Embora os fabricantes das fontes garantissem a estanqueidade das fontes, havia a possibilidade de ocorrer o escape do material radioativo uma vez que o corte da fita, conforme apresentado na figura 3.3., expunha o óxido de amerício. De fato, a maioria dos pára-raios recebidos pelo Laboratório de Rejeitos Radioativos do IPEN, chega com os pratos e a haste contaminados. Além da área exposta no corte, deve-se considerar ainda o processo de erosão da cobertura de ouro-paládio durante o tempo em que os pára-raios ficam expostos à intempérie. Na figura 3.4 apresenta-se dois pára-raios, um com a fonte deteriorada e outro em bom estado de conservação.

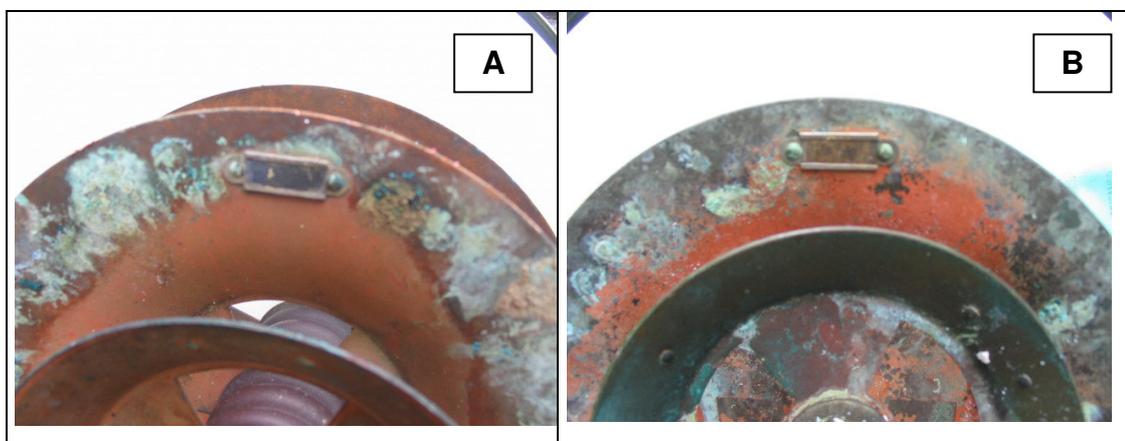
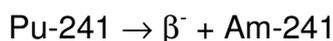
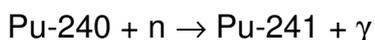
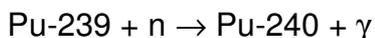


Figura 3.4: Pára-raios radioativos recebidos pelo Laboratório de Rejeitos Radioativos do IPEN. A imagem A, mostra a superfície da fonte escurecida e a B mostra uma superfície dourada.

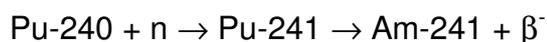
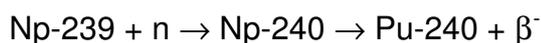
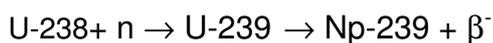
3.2. Amerício-241

O amerício é um metal artificial de número atômico 95, pertencente à série dos actínídeos, e não possui isótopos estáveis. Foi descoberto por Glen Seaborg, Leon Morgan, Ralph James e Albert Ghiorso, em 1944, e isolado por B.B. Cunningham como Am-241 no $\text{Am}(\text{OH})_3$, em 1945, tendo recebido este nome em homenagem ao continente americano (ATSDR, 2006b). O Am-241, com meia-

vida de 432,2 anos, foi obtido pela primeira vez por meio de bombardeamento por nêutrons do Pu-239, de acordo com as seguintes reações (Miranda e Vicente, 1999; Clain, Aquino e Domingues, 1999):



O Am-241 é obtido em reatores de potência como produto de decaimento do Pu-241. Como a meia-vida do Pu-241 é de 14 anos, o Am-241 se forma durante o período de resfriamento do combustível. As reações envolvidas na produção são descritas a seguir:



Como o urânio empregado no elemento combustível dos reatores está na forma de óxido, UO_2 , há formação do óxido de amerício, AmO_2 . Este óxido, de cor preta, é solúvel em ácidos, possui densidade de $11,68 \text{ g.cm}^{-3}$ e estrutura cúbica (ATSDR,2006b).

O Am-241 sofre decaimento alfa, com subsequente emissão de raios X e gama de baixa energia, convertendo-se em Np-237. As partículas alfa emitidas têm energia entre 5,388 e 5,544 MeV, sendo a mais provável a de 5,486 (85%). A radiação gama mais provável possui energia de 59,54 keV.

As partículas alfa resultantes do processo de decaimento oferecem pouco risco por irradiação externa, pois têm alcance máximo no ar de 4 cm e, no tecido do corpo humano, apenas alguns milésimos de milímetro. Quanto à radiação gama, 2 a 3 cm de tecido do corpo humano, são suficientes para reduzir à metade o número de fótons (Miranda e Vicente, 1999).

No entanto, o Am-241 é classificado como de radiotoxicidade muito alta (CNEN, 1984) , quando ingerido ou inalado. Para se ter uma idéia, o limite de incorporação anual para trabalhadores, por inalação, é de 200 Bq e, por ingestão, de 50.000Bq (CNEN, 1988). A classificação leva em consideração, além do tipo

de emissão, a meia-vida e os órgãos críticos, que, para o caso do amerício são o pulmão, o fígado, ossos e os nódulos linfáticos. Além disso, os efeitos do amerício sobre o sistema reprodutor e no desenvolvimento da placenta, são mais danosos que os efeitos do Pu-239 (Wang e Merry-Libby, 1986).

A distribuição do amerício pelo corpo humano pode ocorrer das seguintes formas:

- Exposição por inalação: O pulmão é o local de deposição inicial, havendo redistribuição para o fígado e, posteriormente, para os ossos e os músculos esqueléticos. Os dois últimos irão conter a maior fração da carga de amerício sistêmico após longos períodos de exposição (anos) (ATSDR, 2006b; Miranda e Vicente, 1999).
- Exposição por ingestão: embora tenha sido demonstrada a absorção pelo trato gastrointestinal, a distribuição sistêmica por essa via foi moderadamente caracterizada. Entretanto, é sugerido que a distribuição do amerício absorvido pela circulação a partir do trato gastrointestinal é semelhante à da inalação (ATSDR, 2006b).
- Exposição por absorção cutânea: informações sobre absorção de amerício pela pele em humanos e animais são extremamente limitadas. No entanto, sua distribuição pelo corpo deve ser semelhante à exposição por inalação e ingestão (ATSDR, 2006b).

3.3. Gerenciamento dos pára-raios radioativos

A Resolução da CNEN não determinava a desativação dos pára-raios radioativos instalados, e sim, apenas suspendia a autorização para a fabricação, comercialização e instalação de novos captadores, e determinava ainda o encaminhamento à CNEN dos captadores desativados.

A Resolução nº 04 da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear, 1989b), publicada no Diário Oficial da União, página 7070, de 09/05/89, está transcrita, na íntegra, a seguir:

“A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), usando das atribuições que lhe confere o artigo 1º, inciso 1, da Lei nº 6189, de 16 de dezembro de 1974, o artigo 141 do Decreto nº 51726, de 19 de fevereiro de 1963, e o artigo 21, incisos I e V do Decreto nº 75569, de 07 de abril de 1975, por

decisão de sua Comissão Deliberativa, na 53^a Sessão, realizada em 19 de abril de 1989,

"Considerando que o comércio de substâncias radioativas constitui monopólio da União, instituído pela Lei nº 4118, de 27 de agosto de 1962, artigo 1º, inciso II, *in fine*;

"Considerando que esse monopólio é exercido pela CNEN na qualidade de órgão superior de orientação, planejamento, supervisão e fiscalização;

"Considerando que compete à CNEN baixar normas gerais sobre substâncias radioativas;

"Considerando que à CNEN cabe, ainda, registrar as pessoas que utilizem substâncias radioativas, bem como receber e depositar rejeitos radioativos;

"Considerando a proliferação do uso de substâncias radioativas em pára-raios;

"Considerando que não está tecnicamente comprovada a maior eficácia de pára-raios radioativos em relação aos convencionais e que, portanto, o "princípio da justificação" previsto na Norma CNEN-NE-3.01 – "Diretrizes Básicas de radioproteção" não está demonstrado;

"Considerando a necessidade de dar destino adequado ao material radioativo dos pára-raios desativados,

Resolve:

- 1- Suspender, a partir da vigência desta Resolução, a concessão de autorização para utilização de material radioativo em pára-raios.
- 2- O material radioativo remanescente dos pára-raios desativados dever ser imediatamente recolhido à CNEN.
- 3- Esta resolução entra em vigor na data de sua publicação".

A substituição ficou a critério dos proprietários ou por determinação das autoridades estaduais e municipais, tendo sido influenciada pela Norma ABNT NBR-5419 "Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas", que fixa, entre outras, as condições exigíveis ao projeto, instalação e manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas de estruturas comuns. A Norma não admite quaisquer recursos artificiais destinados a aumentar o raio de proteção

dos captores, como os radioativos, e determina que, caso tenham sido instalados com tais captores devem ser redimensionados e substituídos. Diversos municípios, como São Paulo e Rio de Janeiro, por meio de decretos obrigaram a substituição e estipularam prazos.

Antes da publicação da Resolução da CNEN, o Laboratório de Rejeitos Radioativos do IPEN já vinha recebendo pára-raios radioativos, de empresas especializadas em instalação destes artefatos. Até fevereiro de 2006, o IPEN havia recebido 14.885 unidades, a uma taxa média anual da ordem de 900 captores, conforme ilustrado na figura 3.5.

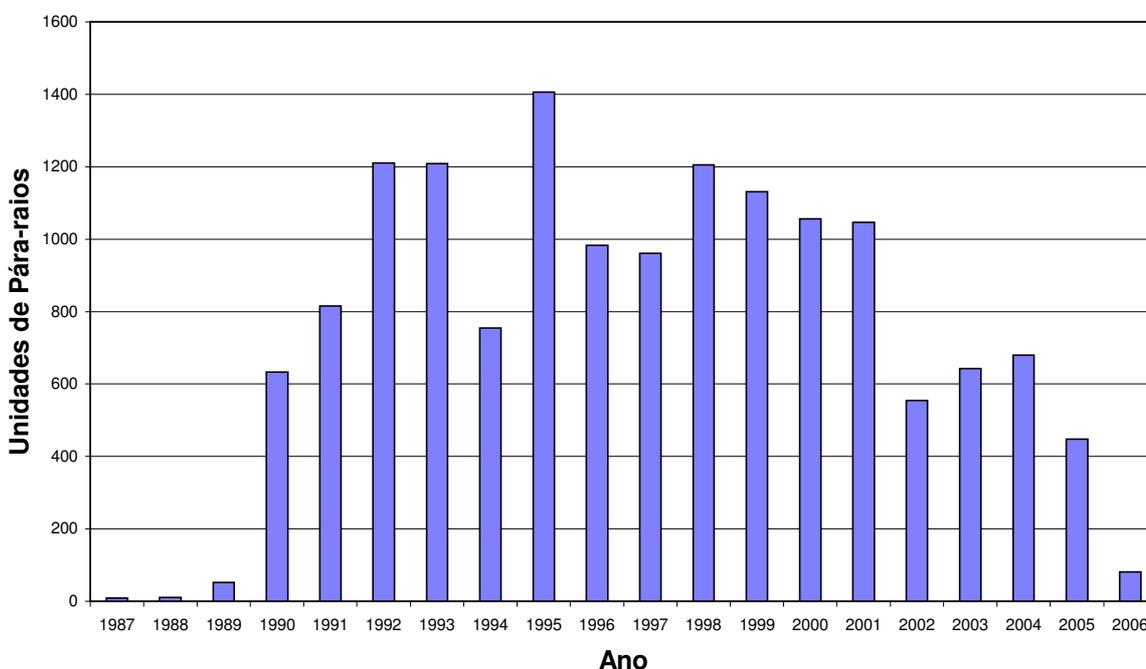


Figura 3.5: Quantidade de pára-raios enviados ao IPEN no período de 1987 a 2006. Ano de 2006 referente aos meses de Janeiro e Fevereiro.

Os captores são tratados como rejeitos radioativos que, da mesma forma que os resíduos convencionais, devem ser cuidados adequadamente para garantir a segurança do ser humano e do ambiente.

A Agência Internacional de Energia Atômica define rejeito radioativo como “material que contém ou que está contaminado com radionuclídeos em concentrações ou níveis de atividade maiores que os limites de isenção

estabelecidos pela autoridade competente” (IAEA, 1988). No Brasil, a Comissão Nacional de Energia Nuclear define o rejeito radioativo como: “qualquer material resultante de atividades humanas, que contenha radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção especificados na Norma CNEN-NE-6.02 - Licenciamento de Instalações Radiativas, e para o qual a reutilização é imprópria ou não prevista” (CNEN, 1985). Ela estabelece ainda os critérios de classificação dos rejeitos que são baseados no estado físico, na natureza da radiação, na concentração e na taxa de exposição (CNEN, 1985). Por estes critérios os rejeitos são subdivididos considerando-se os níveis de radiação, sendo, deste modo, classificados como rejeitos de nível baixo, médio ou alto.

O conjunto das atividades relativas ao rejeito, seja administrativo ou operacional, que compreende as etapas de coleta, segregação, pré-tratamento, tratamento, acondicionamento, armazenagem temporária, transporte e deposição final, é denominado gerência de rejeitos radioativos. Cabe à gerência zelar por esses rejeitos enquanto constituírem fonte potencial de perigo. A redução de volume e o acondicionamento são duas etapas importantes da gerência, porque estão relacionadas com o custo de armazenamento e segurança física e radiológica.

No IPEN, logo após o recebimento, as fontes dos captores são protegidas com tinta spray, para reduzir a contaminação durante o manuseio, e os pára-raios permanecem estocados em tambores de 200 L antes de seguirem para o processo de redução de volume. Para isso é utilizada uma caixa de luvas, hermética e equipada com filtros hepa e monitores de ar, conforme mostrado na figura 3.6. Primeiramente, os captores são introduzidos na câmara estanque, que separa o interior da caixa de luvas do ambiente externo, e, em seguida, são transferidos para o interior da caixa (figura 3.7). As hastes são separadas dos pratos e estes são divididos em dois grupos, um com fontes e outro sem. As fontes são removidas dos pratos com o auxílio de um removedor de rebites e transferidas para uma embalagem metálica de 3,7 L, que permanece no interior da caixa até o preenchimento completo. As hastes (com as porcas de fixação), os pratos que não continham fontes e os que tiveram as fontes removidas são separados em tambores de 100 L, acoplados na base da caixa (figura 3.8). Depois de cheia, a embalagem de 3,7 L é encaminhada para a sala de estocagem

de fontes, mostrada na figura 3.9, e os tambores de 100 L são estocados no depósito provisório de rejeitos, mostrada na figura 3.10.

O Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), outro instituto da CNEN localizado em Belo Horizonte, recebe pára-raios radioativos e também possui uma caixa de luvas semelhante para a desmontagem dos captores. O IEN não realiza esta atividade.



Figura 3.6: Caixa de luvas para desmontagem de pára-raios radioativos, do Laboratório de Rejeitos Radioativos do IPEN. (A) Filtros HEPA; (B) Monitor de ar.



Figura 3.7: Seqüência de introdução dos pára-raios na caixa de luvas

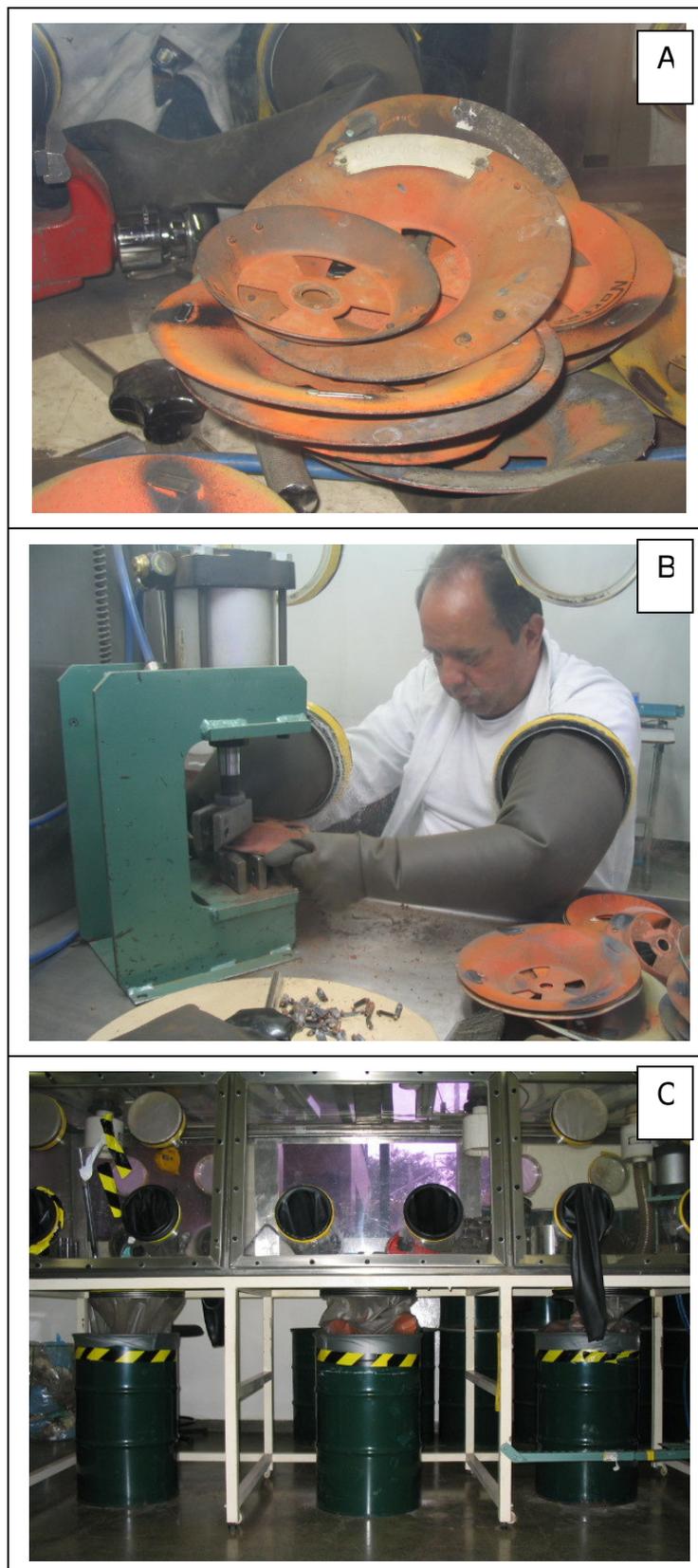


Figura 3.8: Desmontagem dos pára-raios (A) Pratos dos captores (B) Remoção das fontes dos pratos (C) Tambores de 100 L para colocação dos rejeitos.



Figura 3.9: Sala de estocagem de fontes seladas do IPEN.



Figura 3.10: Depósito provisório de rejeitos radioativos do IPEN.

3.4. Destinação de resíduos sólidos urbanos

Os resíduos sólidos urbanos, denominados popularmente de lixo, também são fonte de perigo para o ambiente e, da mesma forma que os rejeitos radioativos, devem receber destinação adequada. A palavra lixo provem do latim "lix", que significa cinzas. Segundo Santos et al. *apud* Silva (1999), o termo vem de uma época bastante remota na qual eram usados fornos, fogões e lareiras à base de lenha que formavam resíduos da lenha carbonizada e cinza. Hoje o lixo não contém somente cinzas, e a palavra "lixo" passou a denominar, genericamente, tudo aquilo que não tem mais serventia e se joga fora. Ou ainda, segundo Peres e Naumoff (2001) os restos das atividade humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua Norma Técnica NBR 10004 (2004), os resíduos podem ser definidos como: "Resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, 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 sistema de tratamento de água, aqueles gerados em equipamento e instalação de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o 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". Os resíduos são classificados da seguinte forma:

- Resíduos perigosos ou classe I: são aqueles que apresentam periculosidade ou uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade.
- Resíduos não-perigosos ou classe II: Essa classe de resíduos é dividida em duas, classe II A – não inertes e II B –inertes. Os resíduos classe II A são aqueles que não se enquadram na classificação de resíduos classe I e nem na classe IIB e podem ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Os resíduos classe II B são aqueles que, quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não têm nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

A composição física dos resíduos sólidos urbanos é influenciada por diversos fatores, como as condições sócio-econômicas e hábitos da população de cada comunidade, desenvolvimento industrial, população flutuante (turismo) e sazonalidade (Costa et al., 2004) e ainda, geograficamente (Hamada, 2003). Segundo Peres e Naumoff (2001), localidades de elevado nível sócio-econômico apresentam maior teor de metal, plástico e papel em seus resíduos, enquanto as regiões mais pobres, subdesenvolvidas é maior o teor de matéria orgânica em seu lixo. Segundo Inanc et al. (2004), a composição dos resíduos sólidos municipais dos países em desenvolvimento asiáticos difere bastante da dos países industrializados ocidentais e do Japão, consistindo, nesses países, de mais recicláveis e menos resíduos orgânicos biodegradáveis. De um modo geral, o resíduo gerado nos países em desenvolvimento é semelhante na composição, sendo a variação entre as regiões ditada por fatores climáticos, culturais, industriais, legais e relacionados com a infra-estrutura (Tränkler e Visvanathan, 2003). A tabela 3.1, elaborada por Tchobanoglous et al. *apud* Hamada (2003) ilustra bem essa diferença.

Conhecer a composição física dos resíduos é importante para definir a melhor forma de tratamento, que inclui a seleção e operação de equipamentos e instalações, a otimização de recursos e consumo de energia e a análise e projeto de aterros sanitários (Hamada, 2003). Atualmente, as principais tecnologias disponíveis para a destinação de resíduos sólidos são a incineração, a compostagem, a reciclagem e os aterros sanitários.

Tabela 3.1: Distribuição típica para composição gravimétrica dos resíduos sólidos domésticos em função do estágio de desenvolvimento do país (Tchobanoglous *apud* Hamada, 2003)

Componente	Países de baixa renda <i>per capita</i>	Países de média renda <i>per capita</i>	Países de elevada renda <i>per capita</i>
<i>Orgânicos</i>			
Restos de alimentos	40-85	20-65	6-30
Papel ^a e papelão ^b	1-10 (a+b)	8-30 (a+b)	20-45 e 5-15
Plásticos	1-5	2-6	2-8
Têxteis	1-5	2-10	2-6
Borracha e couro	1-5	2-10	0-2
Podas ^c e madeira ^d	1-5 (c+d)	1-10 (c+d)	10-20 e 1-4
<i>Inorgânicos</i>			
Vidro	1-10	1-10	4-12
Metais em geral	1-5	1-5	3-12
Terra, pó, cinzas	1-40	1-30	0-10

A incineração é a queima de materiais a alta temperatura, em mistura com ar, por tempo adequado. Reduz significativamente o volume original, mas envolve altos custos de investimento e operacionais (Peres e Naumoff, 1998; Scarlato e Pontim, 1993). Pode ser fonte de contaminação atmosférica se não for conduzida de forma correta.

A compostagem é o processo biológico de decomposição da matéria orgânica em resíduos de origem animal e vegetal. Ocorre por ação de bactérias que necessitam de condições físicas e químicas adequadas para a transformação do resíduo em composto. Também reduz o volume do lixo e o composto pode ser empregado como adubo.

A reciclagem consiste no aproveitamento dos resíduos para a fabricação de novos produtos, podendo ser idênticos ou não ao produto que lhes deu origem. Segundo Scarlato e Pontin (1993), a reciclagem é considerada a mais adequada dentre as opções ditas terminais, pois diminui os acúmulos de detritos na natureza e a reutilização dos materiais poupa, em certa medida, os

recursos naturais não renováveis. No entanto, o volume de matéria-prima recuperado pela reciclagem ainda está abaixo das necessidades da indústria, embora haja uma tendência de crescimento.

O aterro sanitário consiste na disposição dos resíduos sólidos no solo, sendo o método mais utilizado e o de menor custo (Castilhos, 2003). Permite a confinamento segura em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública, quando são respeitadas as rigorosas normas de instalação e funcionamento (Scarlato e Pontim, 1993). No glossário ecológico ambiental da Cetesb (2006), o aterro sanitário é um local para lixo residencial urbano com pré-requisitos de ordem sanitária e ambiental. Deve ser construído de acordo com técnicas definidas, como: impermeabilização do solo para que o chorume não atinja os lençóis freáticos, contaminando as águas; sistema de drenagem para chorume, que deve ser retirado do aterro sanitário e depositado em lagoa próxima que tenha essa finalidade específica, vedada ao público; sistema de drenagem de tubos para os gases, principalmente o gás carbônico, o gás metano e o gás sulfídrico, pois, se isso não for feito, o terreno fica sujeito a explosões e deslizamentos.

Além desses métodos, infelizmente, os resíduos sólidos urbanos ainda são dispostos em locais que, ao contrário dos aterros sanitários, não foram planejados. São conhecidos como lixões ou vazadouros. Nestes locais, o lixo depositado não é compactado e não recebe cobertura de solo. Além dos problemas ambientais, deve-se considerar também o problema social, pois esses atraem muitos catadores que sobrevivem exclusivamente da venda dos restos.

Não obstante as técnicas de tratamento serem bem conhecidas, o lixo ainda é um problema mundial. O crescimento populacional, a industrialização, o crescimento econômico e ainda a institucionalização da cultura do consumismo vêm agravando esse problema. Se isto já é difícil para os países ricos que contam com grande aporte financeiro para gerenciarem seus resíduos, para os países pobres ou em desenvolvimento a questão é ainda mais complicada, pois envolvem outros fatores. Segundo Ogawa (1996), nas últimas duas décadas, vários projetos sobre gerenciamento de resíduos sólidos, financiados por agências internacionais, foram conduzidos em países em desenvolvimento. Alguns projetos foram bem sucedidos, mas muitos não tinham como se sustentar e foram interrompidos quando as agências suspenderam o suporte financeiro.

Fatores técnicos, financeiros, institucionais, econômicos e sociais contribuíram para a falha de sustentabilidade dos projetos, e esses fatores variaram de projeto para projeto.

No Brasil, a responsabilidade pela proteção do ambiente, pelo combate à poluição e pela oferta de saneamento básico a todos os cidadãos brasileiros está prevista na Constituição Federal que deixa ainda, a cargo dos municípios, legislar sobre assuntos de interesse local e de organização dos serviços públicos. Por isto, e por tradição, a gestão da limpeza urbana e dos resíduos sólidos gerados em seu território, inclusive os provenientes dos estabelecimentos de serviços de saúde, é de responsabilidade dos municípios (IBGE, 2002). A gestão de resíduos urbanos necessita do comprometimento pleno da administração municipal que deve garantir um fluxo de recursos permanente para a realização. Segundo o IBGE (2002), isto gera uma certa fragilidade do setor, especialmente em épocas de mudanças de administração e renovações contratuais. Um aterro sanitário pode se transformar em um lixão em questão de dias, bastando que os equipamentos ali alocados não estejam mais disponíveis. A redução ou o colapso do fluxo de recursos para o sistema de coleta de lixo, por exemplo, poderá prejudicar a situação de salubridade de uma cidade de um momento para outro.

Em 2002, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, divulgou os resultados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB -, realizada no ano de 2000. Na PNSB investigou-se as condições de saneamento básico de todos os municípios brasileiros, pela atuação dos órgãos públicos e empresas privadas, permitindo uma avaliação sobre a oferta e a qualidade dos serviços prestados e também análises das condições ambientais e suas implicações diretas com a saúde e a qualidade de vida da população (IBGE, 2002). Na questão da limpeza urbana e coleta de lixo, a pesquisa revelou que há uma tendência de melhora da situação da disposição final do lixo no Brasil nos últimos anos, que pode ser creditada a diversos fatores como a maior consciência da população sobre a questão da limpeza urbana; a forte atuação do Ministério Público, que vem agindo ativamente na indução à assinatura, pelas prefeituras, dos Termos de Ajuste de Conduta para recuperação dos lixões, e na fiscalização do seu cumprimento; a força e o apelo popular do programa da UNICEF, Lixo e Cidadania (Criança no Lixo, Nunca Mais) em todo o Território Nacional; aporte de recursos do governo federal para o setor, através do Fundo Nacional de Meio

Ambiente; e apoio de alguns governos estaduais. No entanto, o país ainda está longe de atingir a qualidade desejável, pois 63,6% dos municípios brasileiros dispunham o lixo de forma inadequada, a céu aberto e sem proteção ambiental, 18,4% em aterros controlados (com cobertura diária do lixo disposto no solo, mas sem impermeabilização), 13,8% em aterros sanitários e o restante não informou o destino.

Este resultado não é surpresa para países com nível de desenvolvimento semelhante ao do Brasil. Por exemplo, China, Índia, Sri Lanka e Tailândia dão muito pouca atenção à disposição final de resíduos (Tränkler e Visvanathan, 2003).

3.5. Impacto ambiental

As áreas utilizadas para a disposição final de resíduos urbanos, representadas pelos lixões ou vazadouros e aterros controlados, são centros irradiadores de poluição, que contaminam o ar, o solo e as águas, por não possuírem a infra-estrutura necessária que garanta a integridade do ambiente e a saúde do ser humano. Esses locais não podem ser considerados como ponto final para muitas das substâncias contidas ou produzidas a partir do resíduo urbano, pois, quando a água – principalmente das chuvas – lixivia através desses resíduos, várias dessas substâncias orgânicas e inorgânicas são carregadas pelo chorume: líquido poluente originado da decomposição do lixo (Sisinno e Moreira, 1996). Assim, os principais impactos ambientais relacionados com aterros são a poluição dos aquíferos e águas superficiais.

Christensen et al. (2001), em uma avaliação dos processos de atenuação que governam os contaminantes do chorume em aquíferos contaminados, afirmaram que: 1) o chorume contém muitos contaminantes como matéria orgânica dissolvida, cátions e ânions inorgânicos, metais tóxicos e compostos orgânicos xenobióticos, que, quando em contato com a água subterrânea, causam alterações significativas na qualidade da água; 2) as plumas de contaminação de chorume são relativamente estreitas e não excedem a largura do aterro; 3) os metais tóxicos não constituem um problema significativo de poluição, porque as concentrações são freqüentemente baixas e os metais são fortemente atenuados por processos de sorção e precipitação. Este último item

está de acordo com dados de uma revisão sobre as concentrações de metais no chorume de 10 aterros dos Estados Unidos e nos quais foram encontrados níveis típicos ou abaixo do estabelecido para água para consumo humano. Barlaz et al. (2002), no entanto, afirmaram que apesar dos dados sugerirem que as concentrações de metais não afetarão a estabilidade do chorume a curto prazo, permanecerão as dúvidas a longo prazo, uma vez que, o aterro poderá criar condições que favoreçam a liberação de metais tóxicos, como a diminuição do pH e a complexação com ácidos húmicos. Os ácidos húmicos, por sua vez, já foram citados por diversos autores como um dos agentes mais importantes que interfere no transporte, uma vez que podem formar complexos e facilitar a liberação dos metais para fora do aterro (Ciavatta et al., 1993; Vaidya, 2002; Bozkurt, 1999; Cui; 2006).

Quanto às águas superficiais, segundo Kjeldsen et al. (2002), esse tipo de poluição tem sido observado, mas apenas alguns casos foram descritos na literatura. Afirmaram ainda que os principais efeitos esperados são a depleção parcial do oxigênio na superfície do corpo d'água, mudanças da fauna e flora do fundo do curso e toxicidade por amônia.

3.6. O processo de degradação de resíduos sólidos urbanos

A decomposição dos resíduos sólidos é realizada por diversos processos, sendo os biológicos os mais significativos e aqueles que controlarão a maior parte dos processos físicos e químicos. Os processos biológicos são realizados por microrganismos, que utilizam as substâncias orgânicas contidas no resíduo como fonte de energia.

O conjunto de todas as reações bioquímicas que ocorrem dentro de um organismo vivo é chamado metabolismo, que pode ser dividido em duas classes de reações químicas, as que liberam energia e aquelas que requerem energia. Nas células vivas, as reações que liberam energia são as únicas envolvidas no catabolismo e as que requerem energia estão, principalmente, envolvidas no anabolismo. O catabolismo ou desassimilação é o processo de quebra de compostos orgânicos complexos em compostos mais simples, para obtenção de energia. As reações catabólicas são geralmente de hidrólise (quando utilizam água e nas quais ligações químicas são quebradas). As células armazenam a energia liberada no processo, na forma de adenosina tri-fosfato, ATP, e que pode

ser transformada, posteriormente, em adenosina di-fosfato, ADP, para liberação da energia. No anabolismo ou assimilação, ocorre a construção de moléculas orgânicas complexas a partir de moléculas orgânicas mais simples. Os processos anabólicos geralmente envolvem reações de síntese por desidratação e requerem energia para formar novas ligações químicas. (Tortora et al., 2003). O catabolismo e o anabolismo são interdependentes, ou seja, sem o anabolismo a manutenção da vida dos microrganismos e, conseqüentemente, o próprio metabolismo desses seria impossível. O anabolismo, por sua vez, é um processo que requer energia e o microrganismo a obtém do catabolismo (Campos, 2002).

Os mecanismos biológicos de degradação dos resíduos sólidos urbanos em aterro sanitários se processam na presença de microrganismos heterótrofos, que oxidam substratos orgânicos para suas necessidades energéticas. Os metabolismos predominantes são o aeróbio e o anaeróbio, que dependem da disponibilidade de oxigênio gasoso de origem atmosférica nas camadas de resíduos (Castilhos Junior, 2003).

No metabolismo aeróbio, os microrganismos usam o oxigênio, o nitrato ou o sulfato como agentes oxidantes no catabolismo. Para serem utilizados pelos organismos, estes oxidantes devem estar dissolvidos no líquido. (Lima, 2005). Segundo Von Sperling (1996), a função dos agentes oxidantes, também chamados de aceptores de elétrons, é receber os elétrons disponibilizados pela oxidação dos compostos orgânicos e inorgânicos. Ao receberem os elétrons, os agentes oxidantes têm seu estado de oxidação reduzido. Na oxidação, os compostos orgânicos e inorgânicos perdem um ou mais elétrons, e passam para um estado de oxidação mais elevado, sendo, portanto, chamados doadores de elétrons.

Na presença de vários tipos de agentes oxidantes dissolvidos, os microrganismos utilizam primeiro aquele que libera a maior quantidade de energia. A energia máxima disponível no processo é a diferença do conteúdo energético entre o composto inicial e o produto final da reação (Von Sperling, 1996). A seqüência de utilização dos aceptores de elétrons depende do estado de oxidação do composto. O estado de oxidação é medido por meio do seu potencial de oxi-redução (expresso em mV). Se o potencial de oxidação-redução ou redox (Eh) do composto for positivo, este está em condições aeróbias. Nestas condições ocorre a oxidação da matéria orgânica e a nitrificação. Quando o Eh

estiver próximo de zero, o meio está em estado anóxico e poderá ocorrer a desnitrificação (redução de nitrato a nitrogênio). O Eh pode se tornar negativo, e, neste caso, o meio estará propício para processos anaeróbios. A dessulfatação (redução de sulfato a sulfeto) ocorre primeiro, em ambientes anaeróbios, seguida dos processos de acidogênese, acetogênese e metanogênese. Todos estes processos podem ocorrer na degradação do resíduo e serão posteriormente descritos. Nesta seqüência, o primeiro inicia com valores de Eh menos negativo e segue até a metanogênese, com valores mais negativos que os outros (Von Sperling, 1996). Segundo Lima (1988) há uma tendência de diminuição do potencial redox à medida que o resíduo se degrada no aterro, iniciando com valores positivos (+200 mV) e terminando com valores negativos na faixa de -300 a -600 mV.

O chorume, que é um líquido que contém os produtos resultantes da decomposição química e microbiológica dos resíduos sólidos, tem suas características dependentes desses processos. A composição do chorume, por sua vez, pode afetar a fase sólida, alterando a velocidade de dissolução pela adsorção de íons minerais ou de moléculas orgânicas que se localizam na interface sólido-líquido. As características físico-químicas do meio desempenham também um papel importante na solubilização de diversas espécies minerais. Os principais fatores que afetam esse fenômeno são pH, Eh, complexação e temperatura. O pH pode afetar a solubilidade por deslocamento do equilíbrio físico-químico nos quais intervêm os íons H^+ ou OH^- , por reação química direta destes íons sobre a fase sólida e por influência no Eh. A complexação pode aumentar a concentração de metais a níveis superiores a sua solubilidade normal. A temperatura interfere na maioria dos casos na solubilidade de muitas espécies minerais, que tendem a crescer com a temperatura, havendo, no entanto, certos compostos como o sulfato de cálcio que diminuem em solubilidade com o aumento da temperatura; quanto à cinética das reações, a velocidade de reação duplica quando a temperatura aumenta de $10^\circ C$ (Castilhos Júnior, 2003).

Por outro lado, a presença de metais tóxicos, afeta a digestão diminuindo o metabolismo dos microrganismos, em baixas concentrações, ou envenenando ou matando, em altas concentrações. As bactérias metanogênicas são geralmente, as mais sensíveis, embora todos os grupos envolvidos na digestão possam ser afetados (Marchaim, 1992).

De um modo geral, as características do chorume não são constantes e dependem da idade do aterro. A diferença na composição do chorume entre áreas novas e velhas de um aterro sanitário da França foi estudada por Khattabi e Mania (2002). O estudo foi baseado em amostragens realizadas de hora em hora, mensais e anuais. Os autores observaram: a) na monitoração de hora em hora, houve grandes flutuações, com o máximo no meio do dia, provavelmente devido ao aumento de temperatura; b) no verão, a carga de matéria orgânica foi maior, o que sugere a atuação maior de bactéria heterotróficas; c) a quantidade de matéria orgânica biodegradável era menor com o aumento da idade do aterro. Cabe ressaltar nesse trabalho ainda, dentre os diversos parâmetros físico-químicos estudados, a vazão e o pH. A vazão variou de 0,06 a 2,5 L.s⁻¹ e o máximo observado não correspondeu à maior precipitação pluviométrica. O pH variou de 5,1 a 8,2, sendo observados os valores mais altos no verão.

O pH do chorume varia de ácido, no início do processo de degradação, a básico, no final. Os baixos valores são atribuídos à formação de ácidos pela ação das bactérias sobre a matéria orgânica. À medida que a matéria orgânica é consumida, o pH aumenta gradativamente, até se estabilizar em um valor acima de 7,0. Por exemplo, já foram relatados na literatura valores em torno de 1,5 para a fase ácida e 9,5 para a fase básica (El-Fadel et al., 1997). Este parâmetro é muito importante no processo de lixiviação de nutrientes e metais tóxicos, cujas concentrações no chorume tendem a ser mais altas durante a fase ácida (Urase et al., 1997; Moraes, 1999; Hamada, 1997; Castilhos Jr, 2003; Bozkurt et al., 1999; Barlaz et al., 2002). O Eh também varia com o tempo, na medida em que se processa a degradação do resíduo, indicando o grau de atividade microbiana e a idade do aterro (Cui, 2006). Os valores podem aumentar passando de valores negativos, no chorume fresco, a positivos, no envelhecido.

3.6.1. Modelos de degradação em aterros

Após a disposição dos resíduos sólidos no aterro, processos físicos, químicos e biológicos contribuem para sua modificação. Os poluentes orgânicos serão degradados por vários mecanismos e a diversas velocidades. A transformação da matéria orgânica envolvendo a degradação microbiana pode ser classificada como aeróbia, se ocorrer na presença de oxigênio, e anaeróbia,

na ausência de oxigênio. Segundo Bozkurt et al. (1999), a disponibilidade de oxigênio está associada à quantidade de poros presentes no aterro, sendo, desta forma, dependente do seu grau de compactação. Assim, seu suprimento é limitado e pode se esgotar em alguns dias. Durante a decomposição aeróbia, ocorre uma grande liberação de calor e a temperatura do aterro sobe acima da ambiente (Castilhos Jr, 2003).

Alguns modelos de degradação foram desenvolvidos com o objetivo de demonstrar as diferentes etapas que conduzem à estabilização dos resíduos. As diversas formas de interpretação do processo de digestão anaeróbia, apresentadas nesses modelos, se estabelecem apenas nos níveis de detalhamento de cada classificação e não conceitualmente (Teixeira; 1993) e serão detalhadas posteriormente.

O primeiro modelo foi proposto por Farquhar & Rovers em 1973, identificando quatro fases para a produção de biogás (Figura 3.11). Rees (1980), modificou este modelo, acrescentando a quinta fase e, ainda, o comportamento dos ácidos orgânicos no percolado e a degradação da celulose (Figura 3.12).

Stanforth et al. (1979), propuseram um modelo de degradação de resíduos de um aterro, segundo o qual haveria três fases, uma aeróbia e outra anaeróbia, subdividida em duas etapas (figura 3.13). Pohland & Harper *apud* Teixeira (1993) , apresentam um modelo que altera no modelo proposto por Rees basicamente o nome das fases e suas durações.

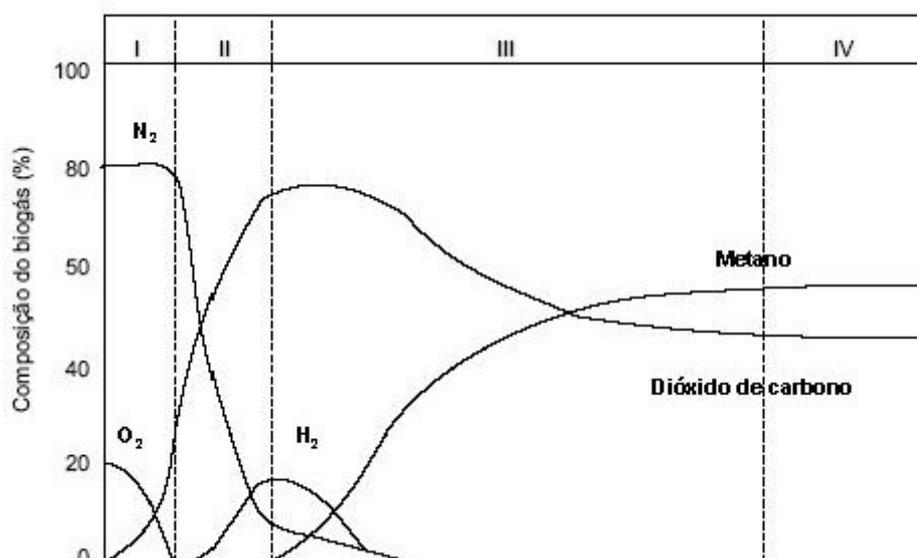


Figura 3.11: Modelo de produção de biogás em aterros (Fonte: Castilhos et al., 2003)

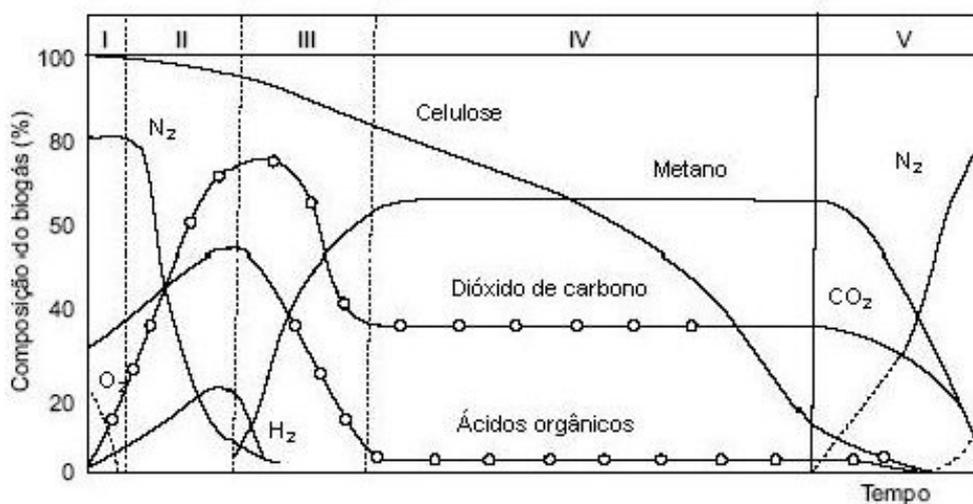


Figura 3.12: Fases da estabilização de resíduos sólidos dispostos em aterros, segundo Rees. (Fonte: Castilhos et al., 2003)

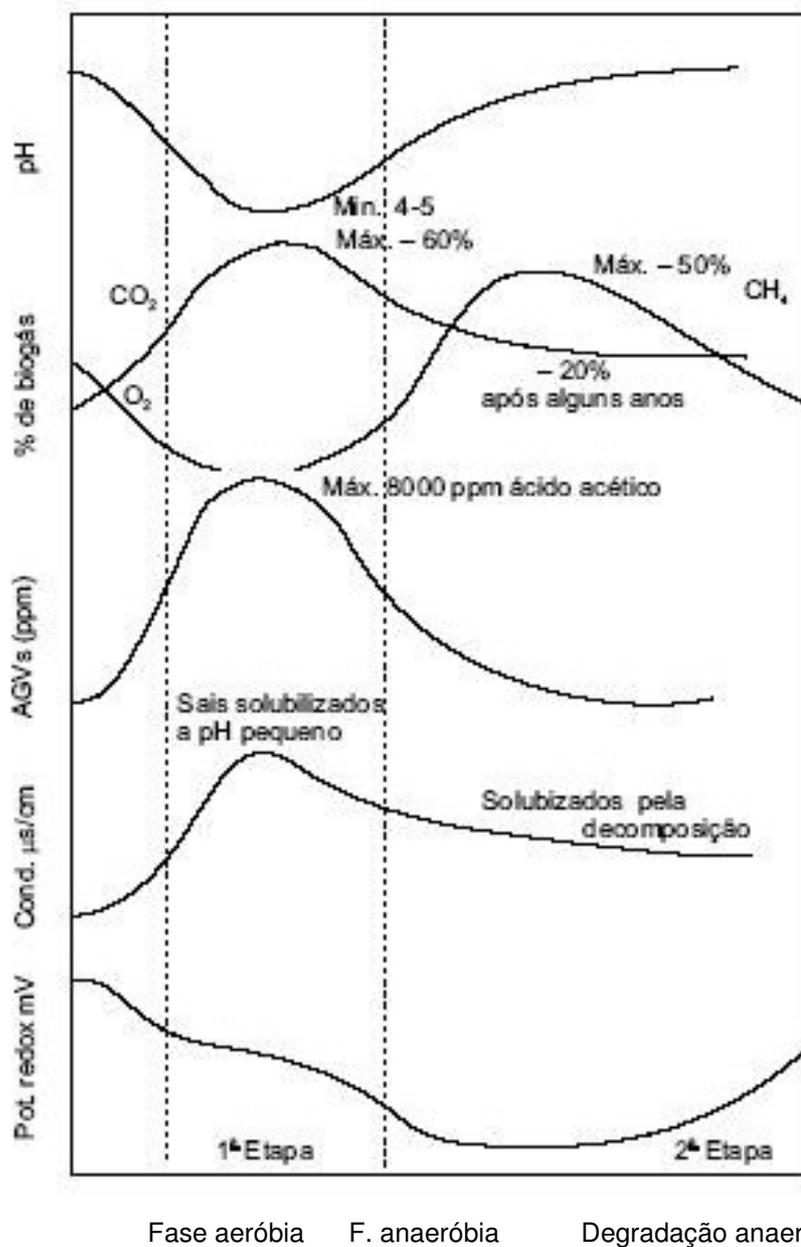


Figura 3.13: Curvas de degradação teóricas de um aterro hipotético
(Fonte: Stanforth et al, 1979)

De um modo geral, o processo de degradação dos resíduos passa por pelo menos quatro fases, sendo a primeira, aeróbia, a segunda, anaeróbia ácida, a terceira, metanogênica inicial e, a quarta, metanogênica estável (Kjeldsen et al. , 2002). Recentemente, tem sido proposta uma fase adicional, a aeróbia ou húmica (Bozkurt et al., 2000) ou ainda de maturação (Vaidya, 2002; Tolaymat et al., 2004; Carvalho, 1999; Brito Filho, 2005; Castilhos Junior, 2003). Segundo Christensen & Kjeldsen apud Kjeldsen et al. (2002), a última fase está baseada somente na teoria pelo fato de que a maioria dos aterros monitorados tem menos do que 30 anos e ainda está na fase metanogênica.

A fase 1 é caracterizada pelo rápido consumo do oxigênio, resultando na geração de gás carbônico, e ainda pelo aumento da temperatura. A maior parte do chorume produzido durante esta fase é resultado da liberação da umidade durante a compactação bem como da ocorrência de chuvas (Kjeldsen et al. 2002).

Com o esgotamento do oxigênio, o resíduo se torna anaeróbio, propício para reações de fermentação. A biodegradação da celulose e da hemicelulose presente nos resíduos é realizada por três tipos de bactérias: a) hidrolíticas e fermentativas, que hidrolizam os polímeros e fermentam os monossacarídeos resultantes em ácidos carboxílicos e álcoois; b) acetogênicas, que convertem os ácidos e os álcoois em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono; c) metanogênicas, que convertem os produtos das reações acetogênicas em metano e dióxido de carbono (Zehnder, 1982). O pH do meio se mantém próximo da neutralidade.

Na fase 2, o processo é dominado por bactérias hidrolíticas, fermentativas e acetogênicas, que resultará no acúmulo de ácidos carboxílicos e diminuição do pH, tornando o chorume quimicamente agressivo e aumentando a solubilidade de muitos compostos (Kjeldsen, 2002). Segundo Stanforth (1979) esses ácidos reduzem o pH para a faixa entre 4 e 5, favorecendo a solubilização de materiais inorgânicos e aumentando a força iônica; o potencial de óxido-redução torna-se negativo.

A fase 3 começa quando são geradas quantidades mensuráveis de metano. Isto está provavelmente associado com o pH do resíduo que se torna suficientemente neutro para permitir o crescimento das bactérias metanogênicas, que convertem os ácidos, formados na fase 2, a metano e gás carbônico

(Christensen et al., 1991). À medida que ocorre a conversão, o pH e a alcalinidade aumentam, resultando no decréscimo da solubilidade do cálcio, ferro, manganês e metais tóxicos.

Segundo Stanforth (1979), as bactérias metanogênicas são anaeróbias estritas e requerem valores de pH entre 6,6 e 7,3. Com valores de pH próximos de 7, uma quantidade menor de material inorgânico será solubilizada e a condutividade diminuirá. Entretanto, a queda na condutividade não será tão drástica quanto a queda na concentração de ácido acético, pois alguns materiais ainda serão solubilizados pelos processos de decomposição. O potencial de óxido-redução deve ser menor que no início da fase anaeróbia, refletindo o fato de que a produção de metano requer valores baixos de potencial e valores de pH mais altos.

Na fase 4, a metanogênica estável, a taxa de produção de metano alcançará o máximo e diminuirá, à medida que a concentração do substrato diminui (ácidos carboxílicos) (Kjeldsen, 2002). Nessa fase, os ácidos carboxílicos são consumidos e a produção de metano dependerá do grau de hidrólise da celulose e da hemicelulose (Barlaz et al., 2002).

Na fase 5, supõe-se que a atividade biológica diminui, com a escassez dos nutrientes, diminuindo ou interrompendo, conseqüentemente, a produção de metano. E ainda, na última parte desta fase, o aterro pode retornar à condição aeróbia, com o aparecimento de oxigênio e espécies oxidadas (Brito Filho, 2005; Carvalho, 1999). Bozkurt et al. (1999), denominaram esta fase “húmica” e afirmaram que, talvez, seja alcançada após um século, podendo durar por centenas de anos. A fase húmica é pouco compreendida, não é bem coberta na literatura e, ainda, as descrições quantitativas dos processos durante esta fase são escassos.

Tchobanoglous e Kreith (2006) descreve as cinco fases de forma ligeiramente diferente. Elas são apresentadas resumidamente a seguir:

Fase 1 – ajuste inicial: afirma que, além das informações descritas anteriormente, a principal fonte de organismos aeróbios e anaeróbios responsáveis pela decomposição do resíduo no aterro é o solo, utilizado diariamente na cobertura.

Fase 2 – transição: o oxigênio é consumido e as condições anaeróbias começam a se desenvolver. À medida que o aterro se torna anaeróbio, íons

sulfato e nitrato, que servem como aceptores de elétrons nas reações de conversão biológica, são freqüentemente reduzidos a nitrogênio e gás sulfídrico. O pH do chorume, se houver formação, começa a diminuir na presença dos ácidos orgânicos e do efeito da elevada concentração de gás carbônico dentro do aterro.

Fase 3 – fase ácida: atividade bacteriana iniciada na segunda fase é acelerada com a produção de quantidades significativas de ácidos orgânicos e menor geração de hidrogênio (H_2). O resíduo é degradado, primeiramente, por hidrólise, no qual compostos de massa molecular maior (p.ex. lipídios, polímeros orgânicos e proteínas) são convertidos em compostos adequados para servirem como fonte de energia e carbono para os microrganismos. Em seguida, as bactérias acidogênicas convertem os compostos formados na hidrólise em compostos intermediários de peso molecular menor, como o ácido acético e baixas concentrações de ácidos fúlvicos e outros ácidos orgânicos complexos. O principal gás gerado é o carbônico. Se houver geração de chorume, seu pH será igual ou inferior a 5, pelo mesmo motivo citado na fase anterior. Uma certa quantidade de constituintes inorgânicos, principalmente, metais tóxicos, e muitos nutrientes serão solubilizados devido à acidez do chorume.

Fase 4 – fase de fermentação do metano: há predominância de bactérias metanogênicas (anaeróbias estritas), que convertem o ácido acético e o H_2 em metano e gás carbônico. A produção de ácidos e a fermentação de metano ocorrem simultaneamente, sendo predominante, porém, a fermentação do metano. Como os ácidos formados estão sendo consumidos, o pH aumentará até atingir a faixa compreendida entre 6,8 e 8. Conseqüentemente, o pH do chorume também se elevará e a concentração de compostos inorgânicos diminuirá.

Fase 5 – fase de maturação: a produção de gás diminuirá significativamente, pois a maior parte dos nutrientes foram removidos com o chorume durante as fases anteriores e o substrato remanescente se degradará lentamente. Durante a fase de maturação, o chorume conterá altas concentrações de ácidos húmicos e fúlvicos, que são difíceis de ser processados biologicamente.

A ATSDR (2006a) resumiu as quatro fases, sob o ponto de vista microbiológico da seguinte forma:

Fase 1: as bactérias aeróbias consomem o oxigênio enquanto quebram as cadeias longas de carboidratos, proteínas e lipídios que compõem o resíduo

orgânico. Esta fase pode durar dias ou meses e dependerá da quantidade de oxigênio disponível;

Fase 2: inicia-se quando o oxigênio tiver sido consumido. Usando o processo anaeróbio, as bactérias convertem os compostos criados pelas bactérias aeróbias, em ácido acético, láctico, fórmico e álcool. O aterro se torna fortemente ácido, favorecendo a dissolução de nutrientes, disponibilizando o nitrogênio e o fósforo para o crescimento de diversas espécies de bactérias.

Fase 3: inicia-se quando certas espécies de bactérias consomem os ácidos produzidos na fase 2 e formam o acetato. Este processo torna o aterro um ambiente mais neutro, no qual as bactérias produtoras de metano começam a se estabelecer. As bactérias metanogênicas e as acidogênicas são simbióticas ou apresentam mutualismo benéfico. As bactérias acidogênicas criam compostos para as metanogênicas consumirem, que por sua vez consomem o carbono e o acetato que são tóxicos para a maioria das bactérias acidogênicas.

Fase 4: inicia-se quando as taxas de composição e produção de gás no aterro se mantêm relativamente constantes. Usualmente, o gás de aterro contém aproximadamente, 45-60 % em volume de metano, 40-60% de dióxido de carbono, e 2-9% de outros gases, como os sulfídricos.

3.7. Outras considerações importantes

Há vários tipos e dimensões de lisímetros. Por exemplo, no Laboratório de Poços de Caldas (DILAB), da CNEN, são utilizadas manilhas de cimento de 1 m de diâmetro por 2 m de comprimento, revestidas, internamente, com fibra de vidro. Contêm uma grande quantidade de amostra a ser estudada e estão totalmente enterradas em um terreno de tal forma que a parte superior está ao nível da superfície e completamente exposta às condições climáticas do local. Na área adjacente, são coletadas amostras do líquido percolado, por meio de uma vala. Já, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da USP são utilizadas caixas metálicas de 1 m³ contendo amostras de solo indeformado. Neste caso, não precisam ser enterradas. Um outro tipo de lisímetro, que se mostrou eficiente em um estudo sobre o efeito inibidor do chorume na decomposição de resíduos sólidos (Teixeira, 1993), foi confeccionado com

tambores plásticos de 200 L. Neste sistema, que permaneceu dentro do laboratório, o resíduo foi disposto de forma compactada e o chorume gerado foi coletado por meio de uma válvula instalada no fundo do tambor.

Moraes et al. (1999), em um estudo sobre lixiviação do cromo a partir de aparas de couro, utilizou tubos de PVC, de 40 cm de diâmetro e 1 m de profundidade, e caixas de 2,0 x 2,0 x 1,2 m³, como simulação de aterro sanitário.

Kelly et al. (1998), em um estudo sobre a lixiviação de Am-241 de rejeito radioativo de baixa atividade, também utilizou tubos de PVC, porém menores, de 20 cm de diâmetro por 38 cm de altura e obteve resultados que estavam de acordo com os ensaios em escala maior.

Os lisímetros utilizados no presente trabalho têm dimensões compatíveis para manuseio em laboratório e a escolha foi baseada no preceito de minimização de geração de rejeitos radioativos.

3.8. Estimativa de risco de contaminação

Estudos sobre a radioatividade no ambiente têm sido realizados no mundo todo por mais de cinco décadas. Alguns, especialmente os mais recentes, tratam da ocorrência natural em rochas, solos e ar. A radioatividade antropogênica foi, primeiramente, introduzida no meio ambiente em larga escala em 1945, o ponto inicial dos 20 anos de intensos testes com armas nucleares. A produção de materiais nucleares para fins bélicos, o desenvolvimento e operação de reatores nucleares de potência, as instalações de reprocessamento de combustível nuclear e as atividades relacionadas com a disposição de rejeitos provocaram contaminações, desde locais até regionais. O acidente de Chernobyl, em 1986, é um bom exemplo disso. No geral, estas e outras atividades, acidentes e eventos estimularam uma grande parte das pesquisas sobre distribuição, transporte e efeitos biológicos da radioatividade ambiental. A radioecologia engloba boa parte dessas pesquisas (Whicker et al, 1999).

Modelos que simulem a transferência e o acúmulo de radionuclídeos em meios específicos são essenciais para se prever doses e riscos à saúde humana e à qualidade ambiental, de contaminações do passado, presente e

futuro. Estas previsões tornam-se os determinantes principais das decisões em questões diversas, como as judiciais, intervenções em acidente e ações corretivas, o gerenciamento de rejeitos e a remediação e recuperação ambiental. A confiabilidade nesses modelos, particularmente sua precisão na previsão, está diretamente relacionada ao grau de realismo. Os modelos de simulação radioecológicos são tipicamente construídos na forma de equações matemáticas que permitem prever concentrações de atividade, condições atmosféricas, fatores de transferência do solo para a planta, taxa de alimentação animal, tempo, e uma série de outros fatores. As equações podem variar de simples relações algébricas a conjuntos de equações diferenciais cujas soluções só podem ser obtidas com computadores. A estrutura básica desses modelos é freqüentemente baseada na experiência do modelador, enquanto que os parâmetros são (ou podem ser) determinados de conjuntos de dados apropriados ou estudos experimentais. Tais modelos são usados para estimar as condições do passado, presente ou futuro, de um determinado cenário ou localização geográfica, por meio de comparações com critérios de qualidade para solo, água subterrânea, ar, etc. (Whicker et al, 1999).

A França possui um procedimento para identificar e avaliar locais potencialmente contaminados e que, conceitualmente, não difere do que é empregado em outros países. É dividido em etapas (Oudiz et. al, 2000; Ferguson, 1999):

1. Remoção da dúvida: baseada na rápida investigação na qual as medidas de radioatividade são feitas nas construções e áreas que podem estar contaminadas;
2. Pré-diagnóstico: identificar e avaliar o risco potencial ou real de exposição à radiação de pessoas no local ou nas vizinhanças de tal forma que sejam necessárias medidas de proteção a curto prazo;
3. Diagnóstico inicial: estabelecer um relatório da situação em termos de atividade passada (análise histórica), vulnerabilidade do meio (solo, água subterrânea, água superficial, ar) e caracterização radiológica (mapeamento da superfície e estudos iniciais em profundidade; medidas da radioatividade da água, plantas e produtos animais);

4. Estudo de risco simplificado: envolve um cálculo do impacto dosimétrico potencial associado com vários cenários de utilização do local baseado nas medidas de radioatividade do solo e das construções, tendo como principais receptores a saúde humana e as fontes de água. Consideram-se as medidas de atividades específicas mais altas na zona estudada ou a hipótese de contaminação mais pessimista. Quando as doses associadas com a contaminação medida estiverem abaixo dos níveis permitidos, o local será liberado para uso com restrições. Caso contrário, deverá ser realizado um estudo detalhado;
5. Estudo detalhado: começa com a amostragem minuciosa do local. Requer conhecimento das características hidrogeológicas. O impacto radiológico é determinado por meio de indicadores que variam de acordo com a situação: a dose individual do grupo de referência e o número de pessoas envolvidas; a dose média no local e o número de pessoas envolvidas; a dose média nas zonas contaminadas, situadas nas vizinhanças e o número de pessoas envolvidas; a atividade específica no solo, produtos agrícolas, carne, leite, etc.
6. Assistência na seleção da estratégia de remediação: a estratégia dependerá da utilização do local e envolve, entre outras etapas, técnicas de descontaminação, que devem estar de acordo com o depósito provisório ou final dos rejeitos radioativos gerados.

Neste trabalho, adotou-se o estudo simplificado e a estimativa de risco foi calculada a partir de um cenário hipotético, tendo como principais receptores a água subterrânea e o ser humano. Na figura 3.14 mostra-se uma representação esquemática do cenário. A estimativa foi baseada no cálculo de dose para membros do público, sendo a ingestão de água a via mais provável de exposição. O valor obtido foi, então, comparado com o limite de dose anual estabelecido pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), 1 mSv (IAEA, 1996).

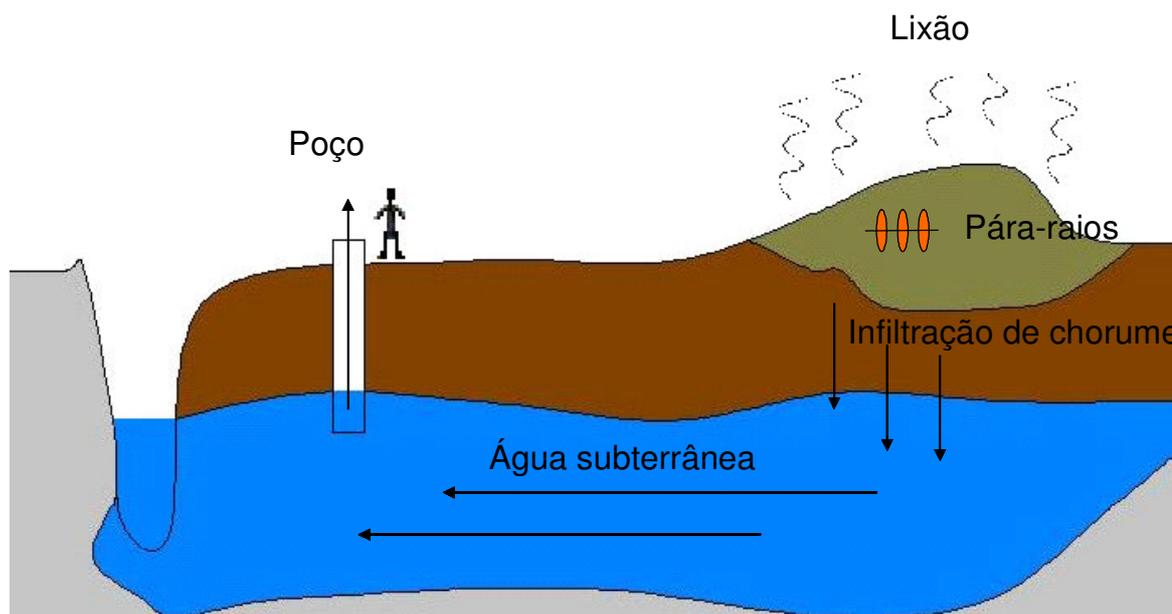


Figura 3.14: Representação do cenário

O conceito de dose foi introduzido em proteção radiológica em analogia ao seu uso em farmacologia, uma vez que o objetivo é determinar o efeito causado por uma dose de radiação ionizante. A dose de radiação recebida por um indivíduo pode ser avaliada por meio da exposição¹, dose absorvida², dose equivalente³ e dose equivalente efetiva (Mazzilli, et al., 2002), sendo o último o empregado nas avaliações de risco.

A dose equivalente efetiva está baseada no princípio de que para um certo nível de proteção, o risco deve ser o mesmo se o corpo inteiro for irradiado uniformemente, ou se a irradiação for localizada em um determinado órgão. A dose recebida em cada órgão do corpo humano é multiplicada por um fator de

¹ Exposição é uma medida da capacidade dos raios X e γ em produzir ionizações no ar. Ela mede a carga elétrica total produzida por raios X e γ em um quilograma de ar.

² Dose absorvida é mais abrangente que a grandeza exposição, pois é válida para todos os tipos de radiação ionizante (X, γ , α , β) e é válida para qualquer tipo de material absorvedor. Ela é definida como a quantidade de energia depositada pela radiação ionizante na matéria, num determinado volume conhecido.

³ Dose equivalente considera fatores como tipo de radiação ionizante, energias e distribuição da radiação no tecido, para se poder avaliar os possíveis danos biológicos. É numericamente igual ao produto da dose absorvida pelos fatores, de qualidade Q, que relaciona o efeito de diferentes tipos de radiação em termos de danos aos tecidos, e N, que representa o poder de ionização dos diferentes tipos de radiação ionizante no meio.

ponderação, o qual leva em conta o risco de efeitos estocásticos⁴. As unidades de medida da dose equivalente efetiva são o rem e o Sv.

O limite de dose representa um valor máximo de dose, abaixo do qual os riscos decorrentes da exposição à radiação são considerados aceitáveis. No caso das radiações ionizantes, são estabelecidos limites de dose anuais máximos admissíveis (LAMA), que são valores de dose a que os indivíduos podem ficar expostos, sem que isto resulte em um dano a sua saúde, durante toda sua vida. Os limites primários anuais de dose equivalente efetiva, estabelecido pelo ICRP, para trabalhador é 50 mSv e, para membros do público, 1 mSv.

A equação geral para o cálculo da dose anual para um único radionuclídeo consumido na água é (WHO, 2004; National Health and Medical Research Council, 2006):

$$D = D_{\text{coeff}} \cdot W \cdot C_w \quad (1)$$

no qual

D é a dose anual (mSv/ano);

Dcoeff o fator de conversão de unidade, tabelado, conhecido como coeficiente de dose (mSv/Bq);

W o consumo anual de água (L/ano);

C_w a concentração do radionuclídeo na fase aquosa (Bq/L).

C_w é calculada de acordo com a equação (2) (Aanenson e cols., 1999):

$$C_w = \frac{C}{\theta_w + K_d \cdot \rho_b} \quad (2)$$

na qual

C é concentração do radionuclídeo na fase líquida (Bq/cm³);

θ_w a porosidade do solo⁵;

ρ_b a densidade aparente do solo⁶ (g/cm³);

K_d o coeficiente de distribuição (cm³/g).

⁴ Efeitos estocásticos são aqueles para os quais a probabilidade de ocorrência é função da dose, não apresentando dose limiar. Dose limiar é o valor mínimo de dose de radiação necessário para certos efeitos biológicos se manifestarem.

⁵ Porosidade é a razão do volume ocupado pelas fases líquida e gasosa e do volume aparente do solo (volume ocupado pelas partículas sólidas acrescido do volume ocupado pelos interstícios ou poros).

⁶ Densidade aparente é a razão da massa sólida de um dado volume aparente de solo.

O transporte de radionuclídeos na água subterrânea envolve a solução de duas equações fundamentais que descrevem o movimento da água dentro do meio geológico e o movimento dos radionuclídeos. O movimento da água está relacionado com a quantificação dos fluxos de água e velocidades no sistema, que devem ser conhecidos antes de se realizar os cálculos de transporte do contaminante. O movimento de água no meio poroso, particularmente no insaturado e fraturado, está numa área de pesquisa contínua e, muito de toda a incerteza relacionada com os modelos de água subterrânea, pode ser atribuída à falta de informações sobre esses processos (Aanenson et al., 2006).

O comportamento dos radionuclídeos na água subterrânea é, na maioria dos casos, semelhante, ou seja, uma parte permanece dissolvida e é transportada junto com a água, outra é sorvida e permanece ligada no meio poroso. O grau de sorção do radionuclídeo depende das características químicas da água intersticial, do meio poroso e do próprio radionuclídeo (Aanenson et al., 2006). Em concentrações relativamente baixas, a razão entre a concentração do radionuclídeo na fase sólida e a concentração na fase líquida após o equilíbrio, é conhecida como coeficiente de distribuição, K_d , expressa em $\text{cm}^{-3} \text{g}^{-1}$ (Aanenson et al., 2006, Marumo e Suarez, 1987):

$$K_d = \frac{C_s}{C_w} \quad (3)$$

na qual

C_s é a concentração do radionuclídeo sorvido no meio poroso (Bq g^{-1})

Normalmente, supõe-se que o K_d é válido para as concentrações encontradas no ambiente e que as reações de sorção ocorrem rapidamente e alcançam o equilíbrio no espaço de tempo considerado. As reações de sorção têm o efeito de rede, que retarda o movimento dos radionuclídeos na água subterrânea. Quanto maior o valor do K_d , maior é a sorção e menor a quantidade do contaminante que se move na água subterrânea. Se o radionuclídeo não for sorvido e permanecer completamente na fase aquosa, sua velocidade média será a mesma da água. Os valores de K_d variam de acordo com as propriedades físicas e químicas da fase sólida e do radionuclídeo. Tendem a ser maiores em materiais de grãos mais finos, como o silte e a argila, quando comparados com

materiais de grãos mais grossos, como a areia e as rochas ígneas. O K_d é geralmente constante sob condições específicas, mas pode abranger várias ordens de magnitude para situações diversas, e muitas dessas situações podem existir nos diferentes estratos geológicos situados abaixo de determinada área (Aanenson et al., 2006).

4. METODOLOGIA

O procedimento experimental pode ser dividido em duas etapas. A primeira consistiu na realização de testes de lixiviação, por “batch”, com fontes de amerício retiradas de pára-raios. A segunda, na confecção de lisímetros e monitoramento de 10 lisímetros preenchidos com resíduo orgânico, com e sem fontes radioativas.

4.1 Primeira etapa

Foram realizados testes de lixiviação com fontes de amerício retiradas de pára-raios, de acordo com a Norma ABNT NBR 10005 – Lixiviação de resíduos (ABNT,1987). Para cada fonte, foram utilizados 100 mL de solução lixiviante. Pretendia-se, com estes testes, verificar o modo de transferência do amerício da fonte para o meio circundante. Apesar da norma recomendar somente a utilização de solução de ácido acético com pH 5,0, foram empregadas, também, água destilada (pH=5,45), solução de ácido acético (pH=4,0) e solução de ácido sulfúrico e nítrico (pH=4,5), pela possibilidade de se encontrar tais condições no ambiente. Na cidade de São Paulo, o ácido sulfúrico está associado, junto com o ácido nítrico, à acidez da chuva (Castro e Tarifa,1999). Neste trabalho, foram coletadas amostras de chuva de um único ponto da cidade de São Paulo, nos anos de 1984, 1988 e 1990, e foram observados valores de pH entre 3,5 e 7,2.

4.2 Segunda etapa

Foram realizados 10 experimentos com lisímetros, denominados Lis1, Lis2, até Lis10. Os quatro primeiros foram montados com tubos de PVC e o restante com acrílico, todos com 10 cm de diâmetro e 50 cm de altura com dreno no fundo de 1,5 cm de diâmetro, protegido com uma tela plástica, e 2 cm de camada drenante de brita média. Para evitar a entrada de ar pelo fundo, adaptou-se um frasco de polietileno cristal que funcionou como sifão. Os lisímetros 1 a 8

receberam cerca de 3 kg de resíduo orgânico, coletado no restaurante do IPEN, e os dois últimos receberam cerca de 2,5 kg de composto (produto resultante da compostagem) produzido no laboratório. A última camada de todos os lisímetros foi de areia média saturada com água, para distribuir a água de alimentação. A representação esquemática dos experimentos pode ser vista na figura 4.1. Na figura 4.2 mostra-se um lisímetro de acrílico preenchido com resíduo.

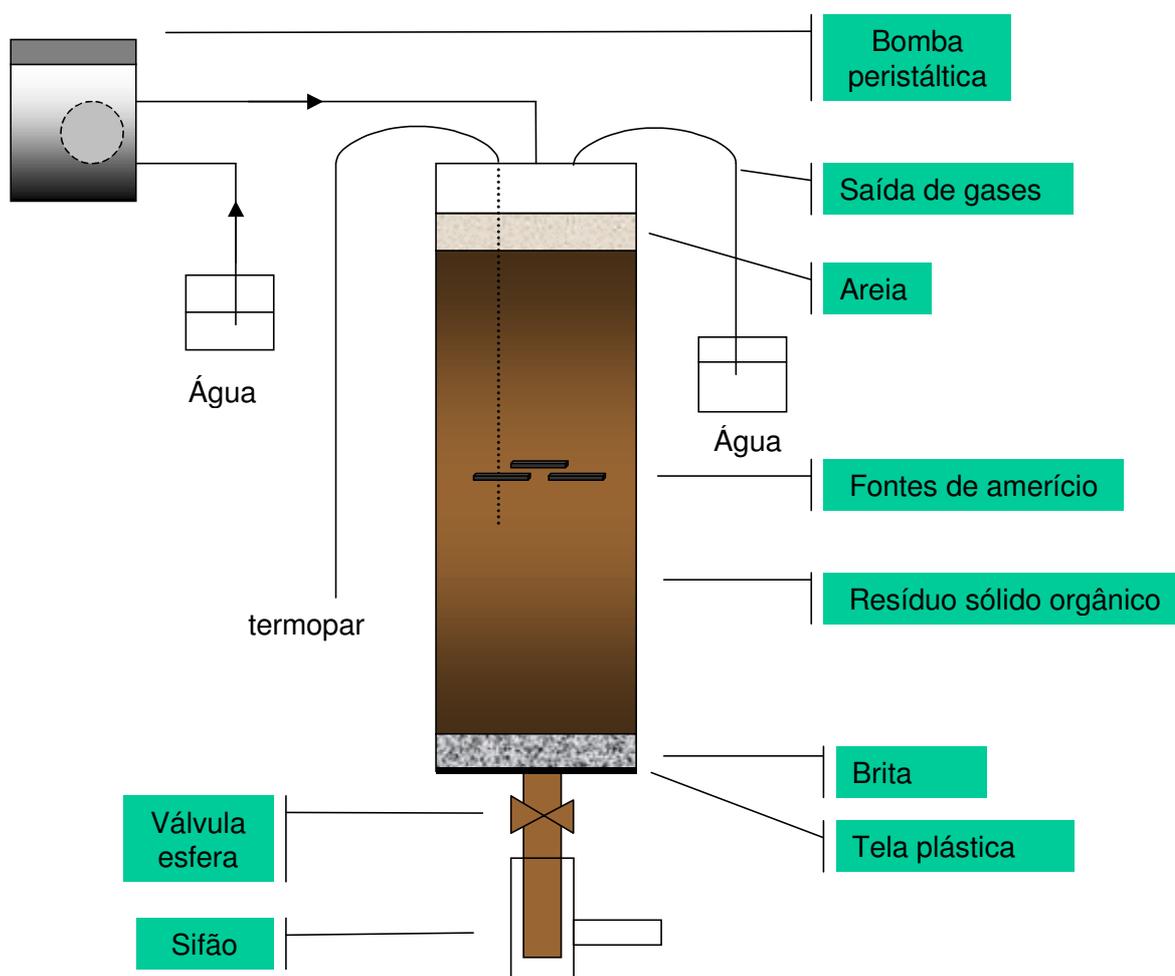


Figura 4.1: Representação esquemática do lisímetro utilizado na simulação.

Os primeiros lisímetros, Lis1 e 2, foram preenchidos com resíduo, porém sem a introdução da fonte radioativa, com o objetivo de verificar a

necessidade de ajustes no lisímetro e, também, determinar o grau de compactação do resíduo e a forma de alimentação de água, por meio da observação do volume de chorume gerado. Além disso, monitorou-se a temperatura do resíduo, o pH e o potencial redox do chorume. Os dois lisímetros foram preenchidos com o resíduo, previamente homogeneizado, em camadas uniformemente distribuídas e compactadas com um socador metálico protegido com um filme de PVC. O Lis1 foi aberto após 167 dias, contados a partir do seu preenchimento. O Lis2 foi mantido de acordo com as condições iniciais até o 174º dia, quando foram introduzidas, na sua superfície, 3 fontes de Am-241, removidas de pára-raios.

Os lisímetros 3 e 4, foram montados, sob novas condições, levando-se em consideração: 1) a geração de gases e o refluxo de líquido, observados nos lisímetros 1 e 2, no início; 2) as oscilações de volume do chorume em função da temperatura; 3) as condições do resíduo após a abertura do Lis1. Nestes experimentos foram introduzidas três modificações, sendo a primeira, o isolamento dos lisímetros com lã de vidro (substituído posteriormente por isopor, devido ao risco na manipulação); a segunda, a qualidade do resíduo adicionado, desta vez, com mais vegetais crus e frutas; a terceira, as fontes de amerício foram colocadas no centro do lisímetro Lis4. O resíduo coletado foi previamente fragmentado e mantido em repouso por 5 dias, para ser, então, homogeneizado e transferido para os lisímetros. As camadas de resíduo não foram excessivamente compactadas para tornar o sistema mais permeável.

Com as informações obtidas destes lisímetros, foram montados quatro outros, um para controle (Lis7) e três com fontes de amerício (Lis5, 6 e 8). Para esta série, o resíduo foi previamente triturado, homogeneizado, mas foi transferido para os lisímetros após 3 dias para evitar a expansão do resíduo, provocada pelo acúmulo de gases, e conseqüente transbordamento do líquido. Quanto à qualidade, optou-se pela redução de carboidratos e aumento de fibras de vegetais e frutas. O resíduo não utilizado nos últimos lisímetros foi reservado para a montagem de uma pilha de compostagem, misturando-se folhas secas e grama recém cortada, com o objetivo de acelerar o processo de decomposição que aconteceria no solo. Nas figuras 4.4 e 4.5 são mostrados, respectivamente, o resíduo no início e no final do processo da compostagem. O composto obtido foi, então, utilizado na montagem de mais dois lisímetros, Lis9 e Lis10, com e sem

fontes de amerício, respectivamente. Na tabela 4.1 apresenta-se os valores das atividades totais das três fontes introduzidas em cada lisímetro. Os sistemas Lis5 a 10 foram montados com tubo acrílico transparente, para permitir a visualização do interior. Para não permitir a entrada de luz, os tubos foram recobertos com papel Kraft, isopor e papel alumínio, sendo removível a cobertura do visor, conforme mostrado na figura 4.2. Na figura 4.3 apresenta-se um lisímetro de acrílico, preenchido com o resíduo. Além dos parâmetros que já estavam sendo analisados, introduziu-se ainda o controle microbiológico do chorume, para os lisímetros 5 a 8, com o objetivo de avaliar a influência do amerício na comunidade microbiana.

Tabela 4.1: Atividade total de cada lisímetro

Lisímetro	Atividade (MBq)
2	20,36
4	20,16
5	19,13
6	13,50
8	19,20
9	18,14

Em todos os casos, a rega com água destilada foi feita em quantidade que simulou a precipitação média da cidade de São Paulo (1451 mm/ano). Assim, para as dimensões dos lisímetros, chegou-se a uma aplicação diária de 30 mL. De um modo geral, o chorume foi coletado, no início, diariamente; após um mês, três vezes por semana, e após 9 meses, duas vezes por semana, para determinação da atividade e teor de sólidos, medida de volume e análise de pH, potencial redox (Eh) e aspecto visual.



Figura 4.2: Revestimento do lisímetro com papel kraft, isopor e papel alumínio



Figura 4.3: Lisímetro de acrílico preenchido com resíduo orgânico.



Figura 4.4: Aparência do resíduo no início do processo da compostagem.



Figura 4.5: Aparência do resíduo no final do processo da compostagem.

4.2.1 Métodos de medida dos parâmetros

4.2.1.1 pH

O pH foi medido com um aparelho da marca Micronal, modelo B374 e um eletrodo de vidro combinado da mesma marca. O aparelho foi calibrado nos dias de coleta, com soluções padrão de pH 7,0 e 4,0 da marca Micronal.

4.2.1.2 Eh

O Eh foi medido com um aparelho da marca Fisher Scientific, modelo Accumet 910 e um eletrodo de vidro combinado da marca Laborsan. O aparelho foi calibrado nos dias de coleta com solução padrão de Eh 220 mV da marca Laborsan. Todas as amostras foram lidas após 20 minutos de estabilização.

4.2.1.3 Temperatura

A temperatura interna dos lisímetros foi monitorada por meio de termopar, posicionado no centro de cada lisímetro, acoplado a um multímetro digital da marca Icel, modelo MD-5660C.

4.2.1.4 Teor de sólidos

O teor de sólidos foi determinado por meio de pesagem do chorume e secagem em estufa. A cada coleta, uma alíquota de 10 mL foi transferida para um recipiente de alumínio, previamente tarado, e seca em estufa, marca Fanem, modelo 315 SE, a temperatura entre 100 – 105 °C por 48 h. O recipiente foi, então, transferido para um dessecador de vidro, para resfriamento, e, em seguida, pesado em uma balança digital da marca Mettler Toledo, modelo PG5002-S.

4.2.1.5 Atividade do amerício-241

A detecção da radiação gama oriunda das amostras foi feita utilizando um detector HPGe, da marca Canberra, modelo GX2518, com resolução de 1,8 keV para o fotopico de energia de 1332 keV do Co-60 e eficiência relativa de 27,7%. A eletrônica associada consistiu em um amplificador e um analisador multicanal de 8000 canais. A aquisição e a análise dos espectros foi feita utilizando-se o programa Genie 2000 Gamma Analysis, da mesma marca do detector. As fontes de amerício removidas tiveram suas atividades determinadas

com o auxílio de uma fonte padrão de mesma geometria, certificada no próprio IPEN. Para as amostras líquidas, empregou-se um padrão fornecido pelo Instituto de Radioproteção e Dosimetria – CNEN, Rio de Janeiro.

4.2.1.6 Controle microbiológico

A análise microbiológica foi realizada periodicamente, utilizando-se contagem padrão em placas. Nos dias programados para a realização da análise foram utilizados frascos de polietileno com batoque e tampa, de 220 mL de capacidade, previamente esterilizados por radiação gama. De cada amostra, foram retiradas, assepticamente, alíquotas de 5 mL e transferidas para tubos, contendo 45 mL de solução tampão (pH=7,2) preparada a partir de uma mistura de solução de KH_2PO_4 0,25mol/L e MgCl_2 0,4mol/L. A partir desta solução foram realizadas diluições sucessivas, num intervalo entre 10^{-1} e 10^{-7} , para o plaqueamento. As placas foram preparadas em quadruplicata, com alíquotas de 1 mL de cada diluição e 15 mL de ágar padrão para contagem, previamente autoclavado (autoclave marca Phoenix, modelo AV18) e resfriado até temperaturas no intervalo de 44 a 46°C. Das quatro placas, duas foram reservadas para aerobiose e, as outras duas, para anaerobiose. Após a homogeneização e a solidificação, as placas foram incubadas em estufa de cultura, da marca Binder, modelo ED-53, a 37°C, por 48 horas. Para a incubação sob atmosfera de anaerobiose utilizaram-se jarras de anaerobiose e geradores de CO_2 da marca Probac do Brasil. Após esse período, procedeu-se à contagem das colônias.

4.2.2 Gerenciamento de rejeitos

Os principais rejeitos radioativos gerados nos experimentos foram os líquidos (chorume coletado), os recipientes de alumínio, as ponteiras e os papéis absorventes. As amostras de chorume radioativas receberam destinação adequada, conforme orientação da Supervisão de Proteção Radiológica do IPEN. Os frascos plásticos de coleta foram, em sua maioria, descontaminados com solução de hipoclorito e detergente, e antes da reutilização, foram monitorados no espectrômetro gama. A descontaminação foi realizada em uma pia própria, conectada a um tanque de coleta. Os frascos que contiveram as amostras de

maior atividade foram descartados como rejeito radioativo. Os outros materiais foram monitorados e os contaminados foram descartados como rejeito radioativo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Primeira etapa

Com os resultados das análises, mostra-se que, em todos os casos estudados, o amerício foi removido da placa, demonstrando que as fontes não apresentam estanqueidade. Além disso, não foi observada uma relação entre a maior agressividade do meio (ácido sulfúrico e nítrico) e o maior percentual lixiviado. Os valores médios obtidos estão apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Resultados dos testes de lixiviação com as fontes de amerício.

Solução	Atividade da fonte (Bq)	Quantidade de amerício lixiviada (Bq)	Percentual lixiviado (%)
Ácido acético pH=5,00	$(74,9 \pm 6,5) \times 10^5$	349 ± 21	$(46,6 \pm 4,9) \times 10^{-4}$
	$(59,0 \pm 5,1) \times 10^5$	3800 ± 200	$(64,4 \pm 6,5) \times 10^{-3}$
	$(13,0 \pm 1,2) \times 10^5$	800 ± 43	$(61,5 \pm 6,6) \times 10^{-3}$
Ácido acético pH=4,00	$(56,4 \pm 4,9) \times 10^5$	2900 ± 148	$(51,4 \pm 5,2) \times 10^{-3}$
	$(70,0 \pm 6,1) \times 10^5$	445 ± 25	$(63,6 \pm 6,6) \times 10^{-4}$
	$(56,0 \pm 4,8) \times 10^5$	157 ± 11	$(28,0 \pm 3,1) \times 10^{-4}$
Água destilada pH=5,45	$(42,5 \pm 3,7) \times 10^5$	792 ± 43	$(18,6 \pm 1,9) \times 10^{-3}$
	$(24,3 \pm 2,1) \times 10^5$	131 ± 92	$(53,9 \pm 3,8) \times 10^{-3}$
	$(45,0 \pm 3,9) \times 10^5$	175 ± 12	$(38,9 \pm 4,3) \times 10^{-4}$
Ácido sulfúrico + ac nítrico pH=4,5	$(69,8 \pm 1,6) \times 10^5$	430 ± 8	$(61,6 \pm 1,8) \times 10^{-4}$
	$(83,2 \pm 1,9) \times 10^5$	575 ± 11	$(69,1 \pm 2,1) \times 10^{-4}$
	$(76,4 \pm 1,8) \times 10^5$	1200 ± 21	$(157,0 \pm 4,6) \times 10^{-4}$
	$(83,3 \pm 1,9) \times 10^5$	1269 ± 22	$(152,0 \pm 4,4) \times 10^{-4}$
	$(80,9 \pm 1,9) \times 10^5$	406 ± 8	$(50,2 \pm 1,5) \times 10^{-4}$
	$(83,6 \pm 1,9) \times 10^5$	1033 ± 18	$(124,0 \pm 3,6) \times 10^{-4}$

Com o objetivo de se avaliar o grau de deterioração, as superfícies de algumas fontes foram fotografadas com o auxílio de um microscópio ótico. Uma das fontes pode ser visualizada nas figura 5.1. Em todas as fontes, a cobertura de ouro-paládio, que deveria garantir a estanqueidade, aparece com muitas ranhuras e manchas escuras, provavelmente, de óxido de amerício. A superfície do corte foi fotografada, mas o grau de aumento da imagem não permitiu sua análise. A microscopia eletrônica de varredura seria o mais apropriado, contudo não foi empregado devido ao risco de contaminação do equipamento.

Durante esta etapa, foram realizadas, ainda, análises radiométricas de duas amostras de chorume, coletadas do principal receptor de lixo urbano da cidade de São Paulo, o aterro sanitário Bandeirantes. A análise radiométrica não revelou a presença de qualquer radionuclídeo. O pH das amostras foi, em média, 8,4, sendo típico de sistemas já estabilizados, caso contrário, seria abaixo de 6,0.



Figura 5.1: Imagem da superfície da fonte de amerício obtida com um microscópio ótico (100 X)

5.2. Segunda etapa

Os valores dos parâmetros observados durante o monitoramento dos lisímetros estão apresentados nas tabelas A.1 a A.12, do apêndice. Exceto as concentrações de atividade e as contagens de bactérias, todos os resultados só puderam ser analisados pelas médias de períodos de 30 dias.

5.2.1. Lisímetros 1 e 2

A partir do primeiro dia de experimento foi verificado um refluxo de solução aquosa, oriunda da areia ou do resíduo. Além disso, a camada de areia estava acima do nível inicial, obrigando-nos a remover parte da areia. As variações de volume também foram observadas nos dias subseqüentes.

O Lis2 apresentou uma variação de volume maior nos primeiros dias e, por isso, logo após a primeira carga de água, introduziu-se um arame em 4 pontos da superfície até cerca de 30 cm de profundidade, para constatar-se a presença, ou não, de gases. Como resultado, foram eliminadas muitas bolhas de gás e, este fato, nos levou à conclusão de que tanto o refluxo quanto o deslocamento foi provocado pelo acúmulo de gases gerados pelo resíduo no interior do lisímetro. Este procedimento, adotado até o vigésimo sétimo dia do ensaio, no entanto, não facilitou o escoamento de água, pois, ao contrário do que se esperava, o volume de chorume gerado diminuiu com o tempo e uma grande quantidade de água permaneceu na superfície. O Lis1 permaneceu intacto.

Não foi possível simular as condições pluviométricas nos dois sistemas, pois o escoamento da água foi lento, o que impossibilitou uma regularidade na alimentação da água. O Lis1 foi alimentado até o 146º dia e somente o Lis2 permitiu uma alimentação regular a partir do 139º dia. O primeiro manteve um volume de água na superfície até a data da abertura, no 168º dia.

No primeiro dia após o preenchimento, observou-se que o Lis2 não produziu chorume e, este fato, deve estar relacionado com o teor de umidade do resíduo. O resíduo orgânico coletado continha uma quantidade elevada de líquido que se segregou durante o preenchimento dos lisímetros. Como o preenchimento não foi simultâneo, o Lis1 deve ter recebido uma quantidade maior de água. Outro fato observado, que também deve estar relacionado com a umidade do resíduo, foi a pequena lâmina de líquido que surgiu no topo dos lisímetros e permaneceu

por 5 dias, no Lis2, e 15 dias, no Lis1. Somente após o desaparecimento dessa lâmina é que se iniciou a alimentação com água.

A produção de chorume não foi constante e os volumes máximos gerados não estavam relacionados com a alimentação de água e, sim, com a diminuição brusca da temperatura. O sistema Lis2, que sofreu interferência inicial, teve um escoamento 40 % inferior em relação ao Lis1, até cerca do septuagésimo dia. No período seguinte, observou-se uma inversão no comportamento dos dois sistemas, sendo verificado um volume total 40 % superior para o Lis2.

O pH das amostras foi praticamente constante para os dois sistemas, durante o período de análise (167 dias), apresentando um valor médio próximo de 4,0. Os baixos valores de pH observados estão de acordo com a literatura, que relata valores mínimos na faixa entre 1,5 e 6,5 (Teixeira, 1993; El-Fadel et al., 1997).

O potencial redox sofreu um ligeiro declínio nos dois sistemas e os valores mínimos observados no terceiro período para ambos os sistemas, conforme apresentado na Tabela 5.2. Valores positivos de Eh indicariam, segundo Lima (1988), que o processo de degradação se encontra na fase aeróbia. A título de comparação, amostras de chorume coletadas no aterro Bandeirantes apresentaram potencial de -99 mV, ou seja, o aterro estaria na fase metanogênica.

Tabela 5.2: Valores médios de pH e Eh observados nos lisímetros 1 e 2.

Sistema	Parâmetro	Tempo (meses)					
		1	2	3	4	5	6
Lis1	pH	4,07	3,77	3,93	3,75	3,94	3,96
Lis2		4,10	3,90	3,85	3,66	3,68	3,70
Lis1	Eh	200,00	190,00	164,60	191,76	181,70	179,54
Lis2		206,00	190,33	174,60	196,94	197,20	194,06

Nenhuma diferença significativa foi observada durante o monitoramento da temperatura, apesar do processo de degradação liberar calor

(Christensen e Kjeldsen, 1991). A temperatura nos três pontos internos dos dois sistemas acompanhou as oscilações da temperatura ambiente. Este comportamento também foi observado por Teixeira (1993) e Kelly (1998).

Quanto ao aspecto visual, as amostras coletadas apresentaram, de um modo geral, turbidez variável, coloração amarelada e precipitado branco. No final do período, apresentaram-se com coloração rosada e ligeiramente turvas. A cor do chorume variou muito nas primeiras coletas e está obviamente relacionada com a qualidade do resíduo, uma vez que a cor depende das substâncias que estão dissolvidas e em suspensão (Iwai, 2005).

A abertura do Lis1 após 167 dias revelou um resíduo muito compactado e os sinais de decomposição ficaram restritos à superfície; no restante, seu aspecto visual se manteve praticamente idêntico ao da situação inicial, no qual pôde-se distinguir facilmente cada resíduo adicionado (figura 5.2). Deve-se ressaltar que este sistema mostrou-se pouco permeável e inconstante. A parte do resíduo contígua à parede do lisímetro parece ter aderido bem, o que nos permite concluir que não constituía uma via para o escoamento de água.



Figura 5.2: Resíduo removido do Lis1 após 167 dias

O Lis2 foi mantido e no 174^o dia foram depositadas 3 fontes de amerício na parte superior. O chorume foi monitorado periodicamente, até um total de 38 meses. O pH (figura 5.3) se manteve praticamente constante até o 16^o mês, apresentado um valor médio próximo a 4,0. Do 16^o ao 26^o mês, aumentou gradativamente e, a partir do 27^o, apresentou um valor médio de 7,44. Este comportamento parece estar de acordo com a fase de digestão anaeróbia, caracterizada por duas subfases; a primeira, por uma diminuição do pH para patamares próximos de 5,0 e, a segunda, por um aumento do pH e sua estabilização em valores próximos da neutralidade (Castilhos Jr, 2003). Neste experimento, não foi observada uma diminuição do pH, pois os valores foram baixos desde o início, mas isto pode ser facilmente explicado pela composição do resíduo adicionado (alimentos temperados). O Eh (figura 5.4) apresentou ligeira oscilação até o 24^o mês, com um valor médio de +190mV, quando, então, diminuiu; do 27^o mês até o final, os valores foram negativos (valor médio -90mV). Estes resultados mostram que o processo de degradação do resíduo continuou lento e permaneceu a maior parte do tempo na fase ácida devido ao excesso de carboidratos que foram inseridos no lisímetro. Os valores de Eh positivos também evidenciam uma condição não propícia para o crescimento das bactérias (Lima, 1988).

O amerício foi detectado no chorume em apenas 4 amostras. A primeira vez, após 137 dias, em seguida, no 806^o, 820^o e por fim, no 921^o dia. No total foram liberados apenas 8,6 Bq, de um total de 18 MBq das 3 fontes inseridas. Este comportamento pode ser explicado pelas condições do meio que estariam afetando a transferência do radionuclídeo. Aqui, as fontes foram colocadas na superfície, como mencionado anteriormente, e cobertas apenas com areia, e, desta forma, estariam sendo submetidas somente à ação da água, que atuaria de forma mais branda.

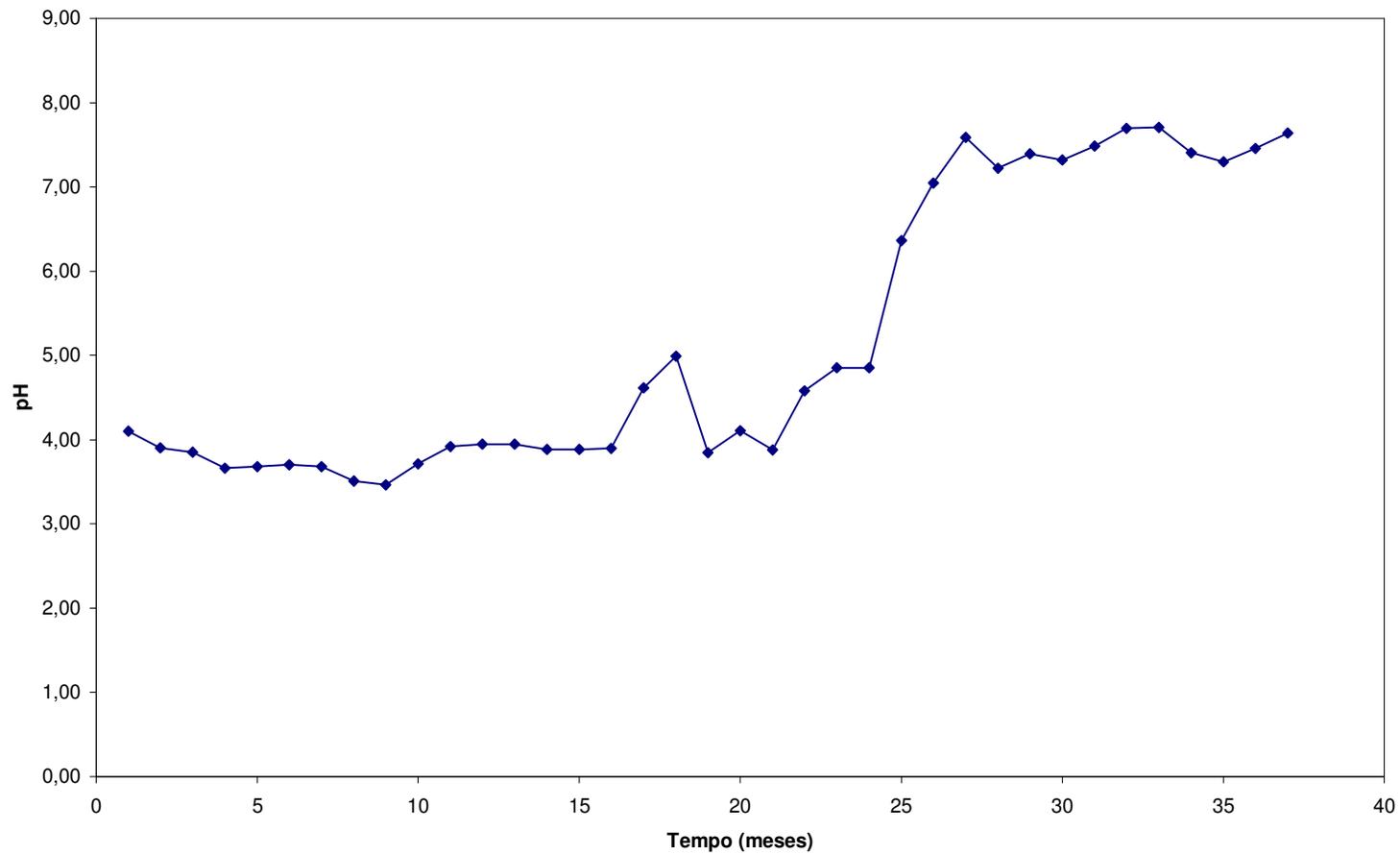


Figura 5.3: Valores médios de pH em função do tempo do lisímetro 2.

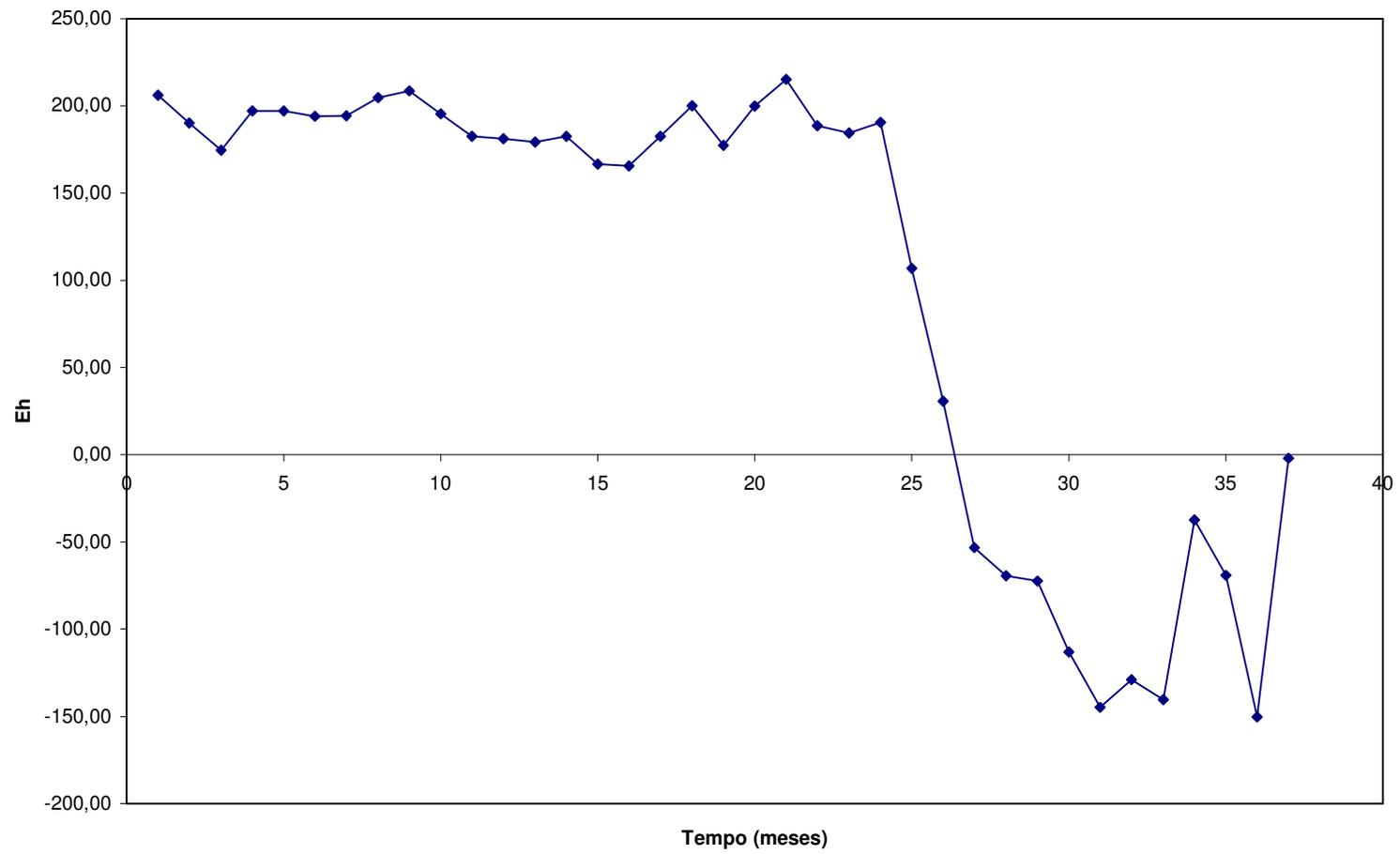


Figura 5.4: Valores médios de Eh em função do tempo do lisímetro 2.

5.2.2. Lisímetros 3 e 4

Os lisímetros Lis3 e Lis4 também apresentaram refluxo de solução aquosa, cerca de 7 horas após o preenchimento. Da mesma forma que na etapa anterior, a camada de areia estava acima do nível inicial, tendo sido necessária a remoção da parte excedente. O acúmulo de gases, que provocou esse aumento de volume, foi removido pela introdução de um arame apenas na camada superficial. Para evitar o transbordamento, os sistemas foram mantidos abertos, com uma borda adicional de pvc cristal acomodada internamente junto à parede e inserido na camada de areia. Este procedimento favoreceu a saída de gases, pois observou-se, no dia seguinte, uma retração de 1cm. Ao contrário dos experimentos anteriores, nenhuma lâmina de líquido surgiu na superfície dos lisímetros. Após 7 dias, os lisímetros foram novamente fechados e isolados termicamente com lã de vidro.

A temperatura interna de todos os lisímetros acompanhou a variação ambiental, apesar do isolamento térmico. Esse procedimento, no entanto, criou uma condição mais estável, na qual a temperatura variou gradualmente e não interferiu de forma tão intensa no volume de chorume gerado.

O pH dos dois lisímetros, apresentado na figura 5.5, aumentou gradativamente em função do tempo, apresentando valores bem baixos logo no início, próximos de 3,5, e acima de 7,0 após o 23^o mês. De um modo geral, não foram observadas diferenças significativas entre os dois lisímetros.

O Eh, apresentado na figura 5.6, também diminuiu com o tempo até aproximadamente o 15^o mês e, desde então, oscilou, permanecendo numa faixa compreendida entre +50 e +150 mV.

O comportamento observado nesses lisímetros não condiz com as informações da literatura. Apesar de não terem desenvolvido condições propícias para os processos anaeróbios, evidenciadas pelos valores positivos de Eh, o pH aumentou gradativamente até atingir valores indicativos de sistemas já estabilizados.

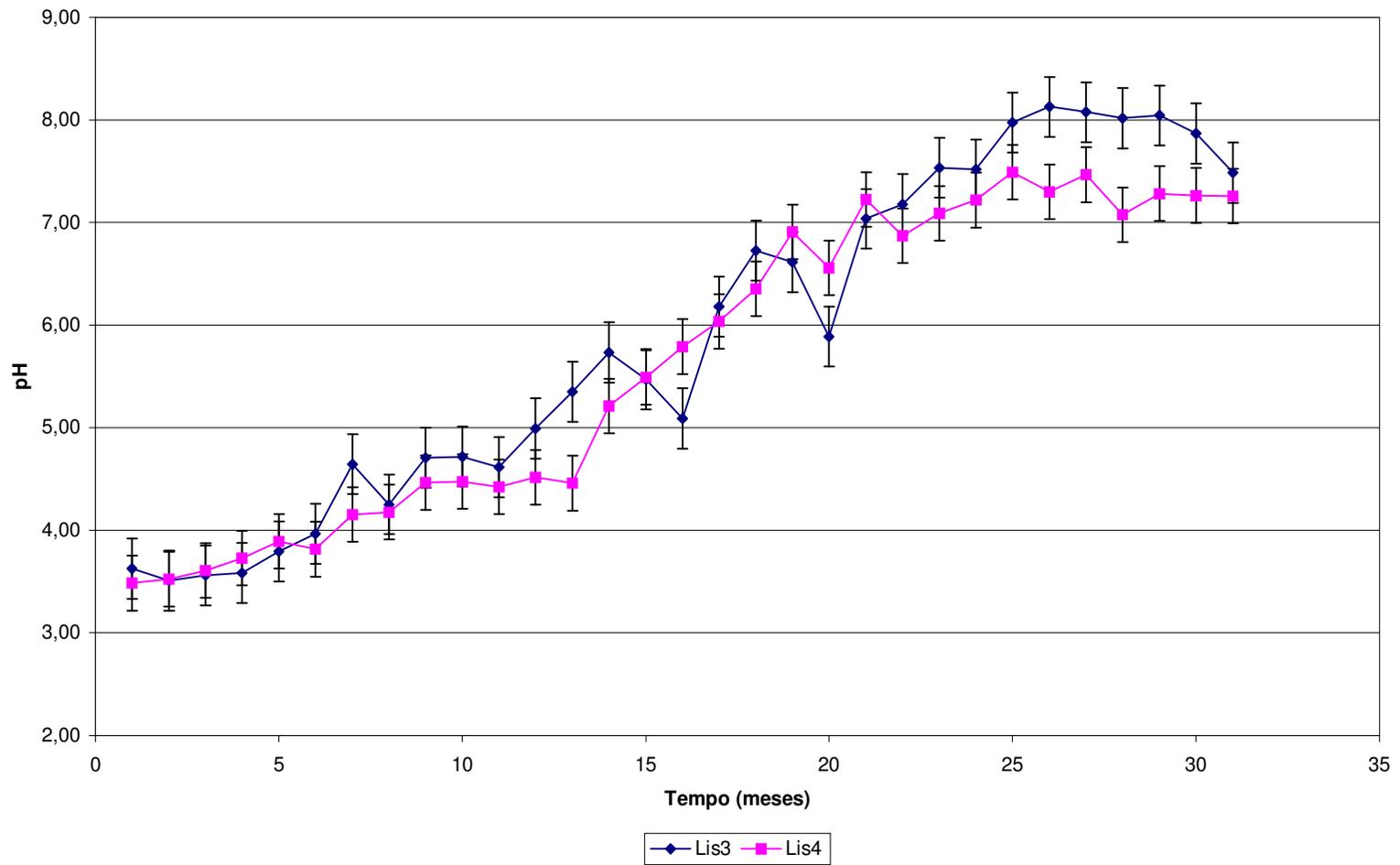


Figura 5.5: Valores médios de pH em função do tempo dos lisímetros 3 e 4

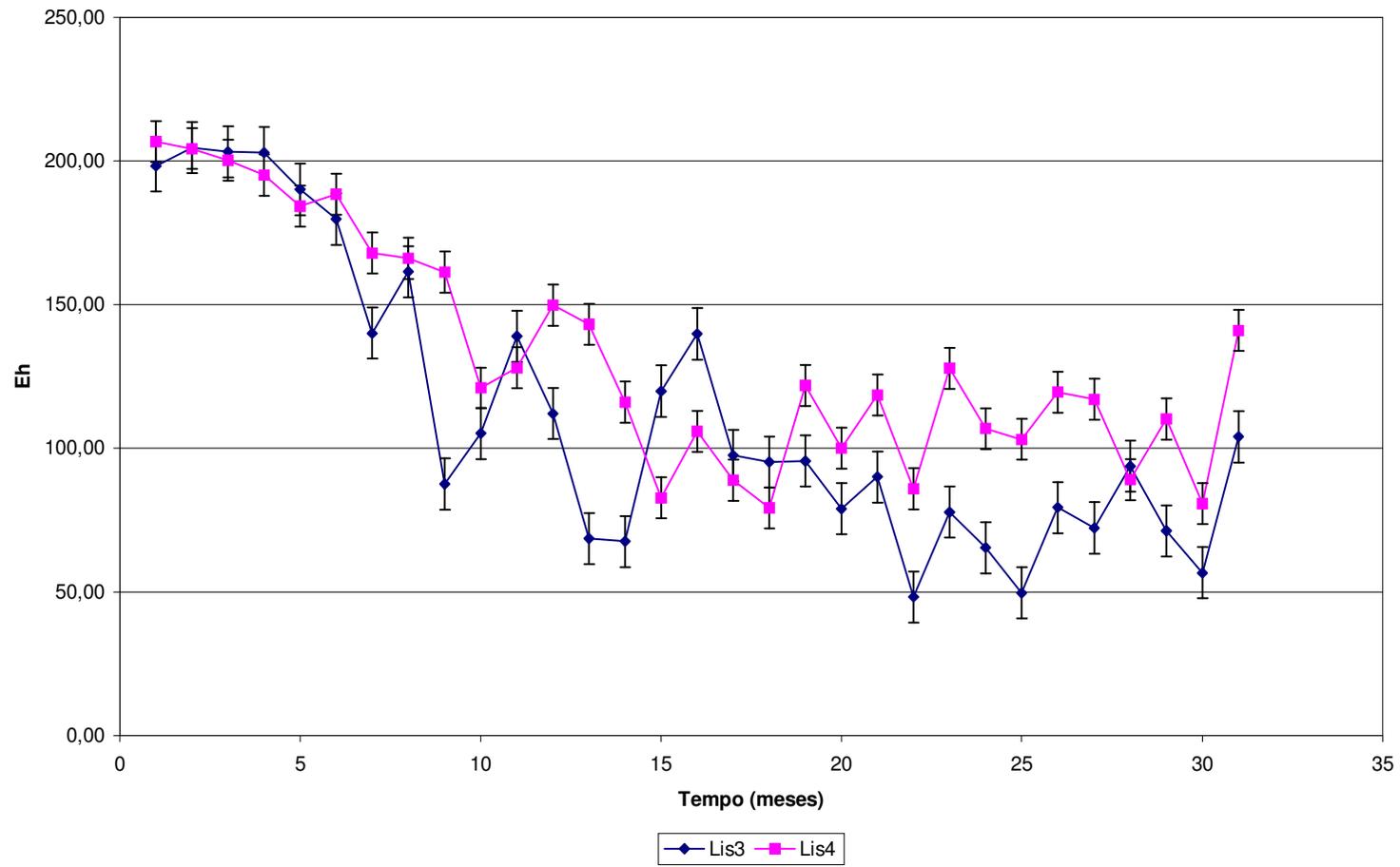


Figura 5.6: Valores médios de Eh em função do tempo dos lisímetros 3 e 4

O aspecto visual foi semelhante nos dois casos, apresentando alta turbidez nos dois primeiros meses e depois, baixa ou nenhuma. A cor variou do laranja escuro a bege, nos 12 primeiros meses, passando a incolor, a partir de então.

O amerício foi detectado no chorume do Lis4 somente no terceiro mês, em uma concentração média de 3,81 Bq/mL, conforme apresentado na figura 5.7. Desse período em diante a concentração diminuiu, apresentando uma concentração inferior a 0,1 Bq/mL a partir do 20^o mês. As maiores concentrações foram observadas na fase mais ácida do chorume, pH abaixo de 6,0, que se manteve até o 18^o mês. No seu ponto mais alto, o pH foi inferior a 4,0.

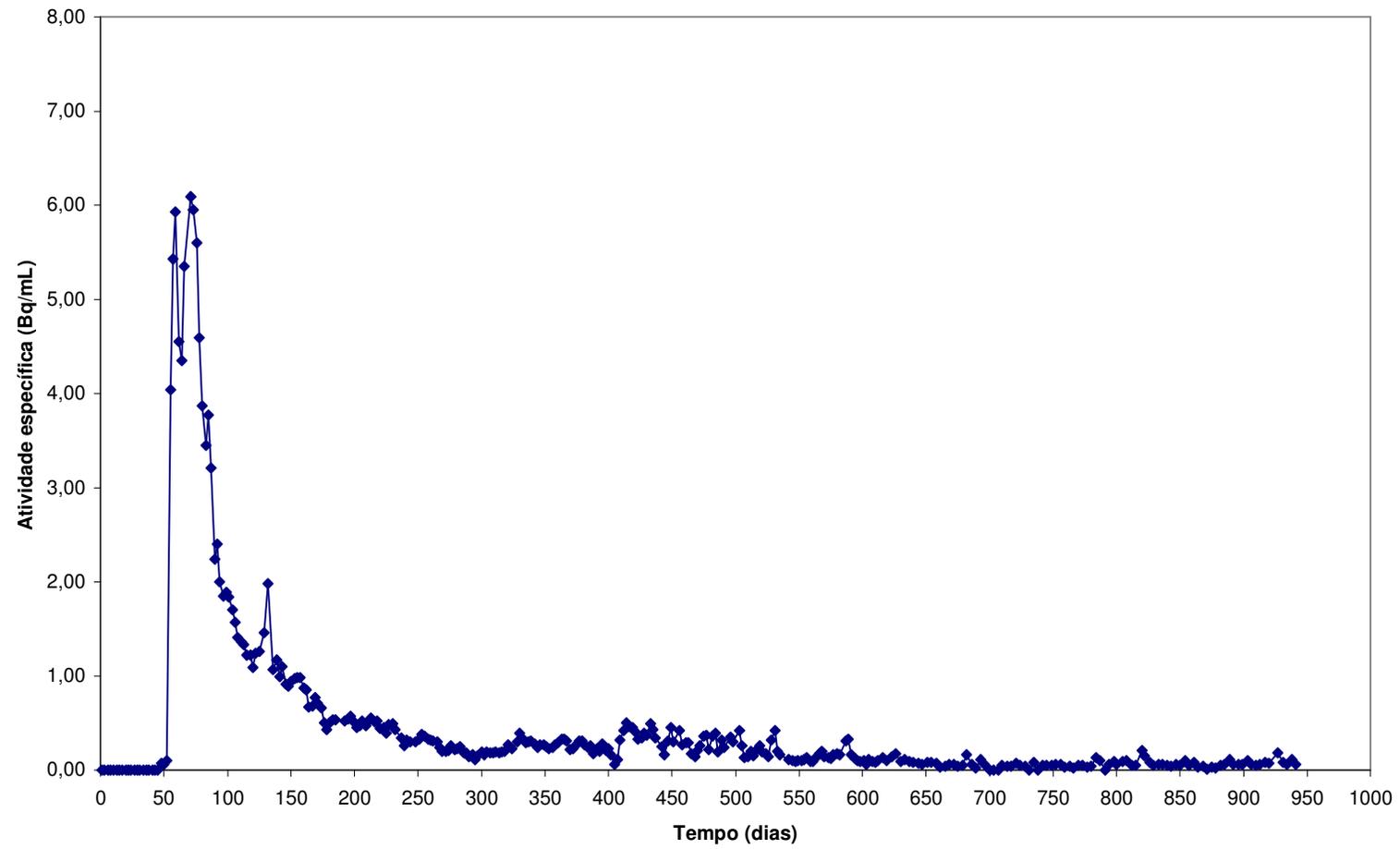


Figura 5.7: Concentração de amerício no churume, em função do tempo, do Lis4

5.2.3 Lisímetros 5, 6, 7 e 8

Os problemas verificados nos experimentos anteriores, de geração de gases e permeabilidade, foram resolvidos nesta série. Não houve refluxo e a geração de chorume foi constante.

A temperatura interna de todos os lisímetros também acompanhou a variação ambiental, mesmo tendo recebido isolamento térmico.

O aspecto visual das amostras variou de modo distinto no primeiro ano, apesar de terem sido preparadas da mesma maneira. As amostras dos Lis5 e 8 apresentaram alta turbidez nos 12 primeiros meses, passando a média e límpida nos últimos meses. No caso dos Lis6 e 7, alta turbidez nos 8 e 7 primeiros meses, respectivamente. A cor variou do laranja escuro a bege claro ou incolor em todos os lisímetros.

O pH também aumentou com o tempo, mas de forma mais acelerada. A variação foi mais rápida no Lis7 (controle), passando de 4,0 a 7,0 em um intervalo de apenas 3 meses. Nos outros, foram necessários de 8 a 9 meses para atingir a neutralidade. Após terem atingido esse estágio, o pH oscilou ligeiramente, permanecendo, contudo, próximo do 7,0. Este comportamento pode ser visualizado na figura 5.8.

A figura 5.9 apresenta a evolução do Eh em função tempo, na qual podem ser observados dois períodos distintos: até 10 meses, com baixos valores e, na maior parte do tempo, negativos; e o inverso no período posterior.

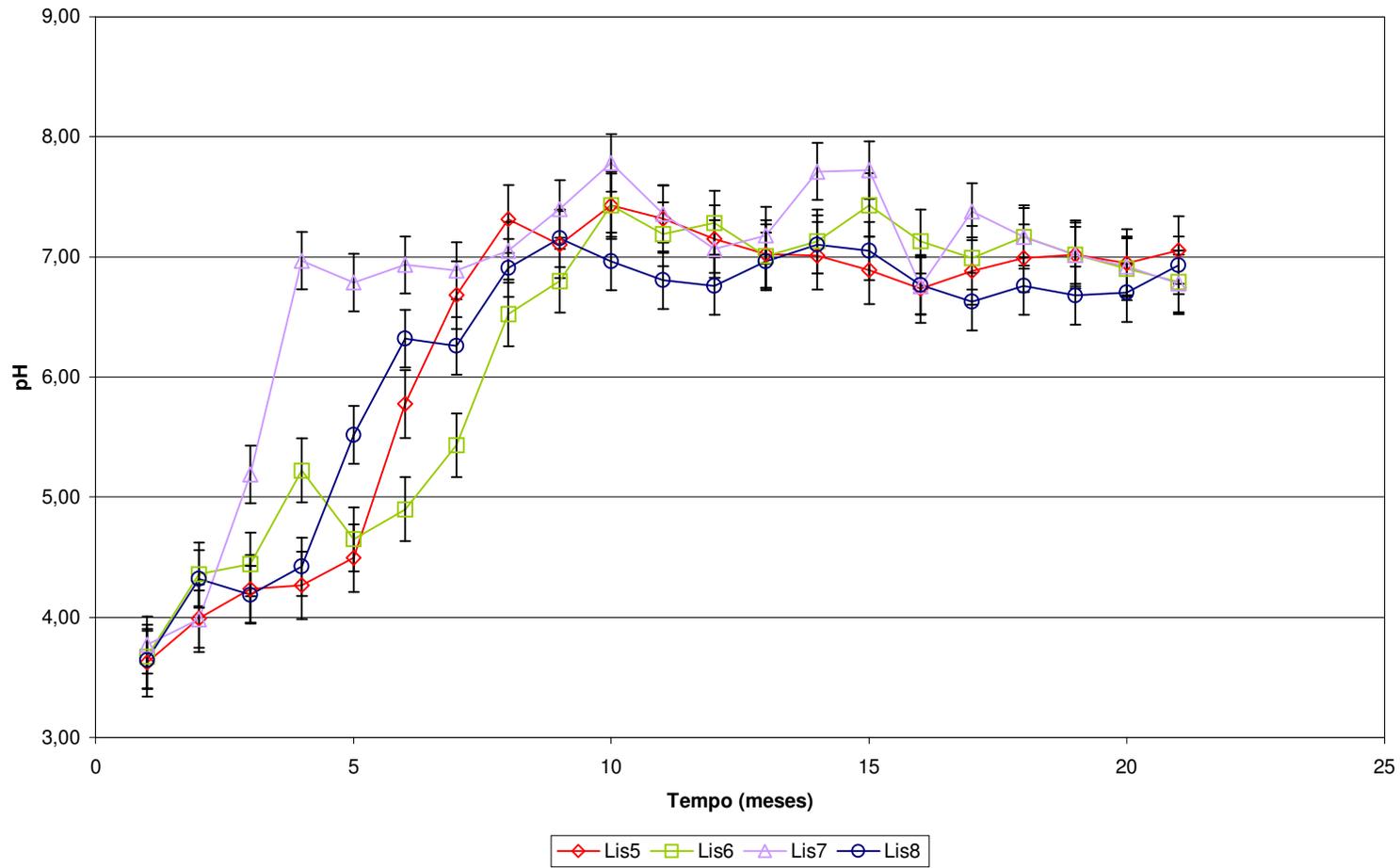


Figura 5.8: Valores médios de pH em função do tempo dos lisímetros 5, 6, 7 e 8

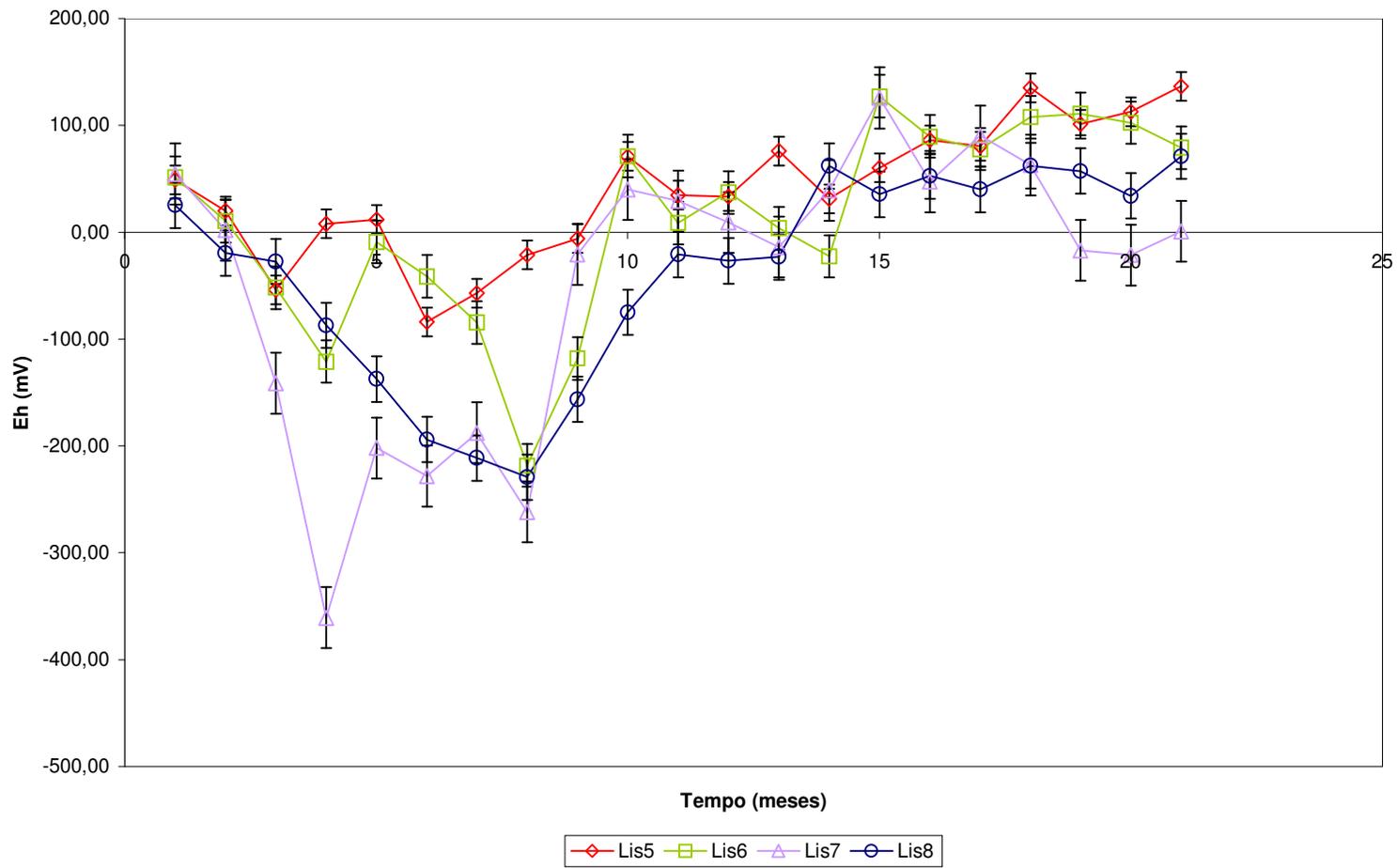


Figura 5.9: Valores médios de Eh em função do tempo dos lisímetros 5, 6, 7 e 8.

O comportamento observado de pH e Eh está de acordo com a literatura, mostrando que o resíduo sólido de todos os lisímetros sofreu todo o processo de decomposição, apesar de não ter desenvolvido condições favoráveis à metanogênese, exceto o do Lis7. As bactérias que atuam nessa fase são anaeróbias estritas e se desenvolvem somente em ambientes com baixo potencial redox (< -300 mV) (Rizzo e Leite, 2004) e valores de pH entre 6,6 e 7,3 (Castilhos Jr., 2003). Os últimos meses, representados por valores de pH maiores que 7,0 e eH positivos mostraram a estabilização do sistema, conhecido como fase de maturação final (Carvalho, 1999). De acordo com Cui (2004), em um aterro sanitário o Eh pode aumentar passando de valores negativos, no chorume fresco, para positivos, no chorume velho, indicando o grau de atividade microbiana.

A concentração de amerício no chorume pode ser observada nas figuras 5.10, 5.11, 5.12 e 5.13. O amerício foi detectado no 19^o, 16^o e 19^o dia, no chorume dos lisímetros 5, 6 e 8, respectivamente. As concentrações observadas foram, na mesma seqüência, 0,17, 0,07 e 0,04 Bq/mL. Pode-se observar na figura 5.13 que as quantidades totais liberadas foram diferentes nos três lisímetros e a causa mais provável para esse comportamento é o grau de deterioração das fontes introduzidas, que são provenientes de pára-raios usados. As concentrações máximas liberadas nos três sistemas foram verificadas durante a fase ácida do chorume, até aproximadamente 300 dias, sendo semelhantes à do Lis4. Em aterros sanitários, as concentrações mais altas de metais tóxicos e outros materiais inorgânicos também são verificadas na fase ácida, favorecidas pelo aumento da solubilidade (Castilhos Jr., 2003; Hamada, 1997; Carvalho, 1999; Tubtimthai, 2003).

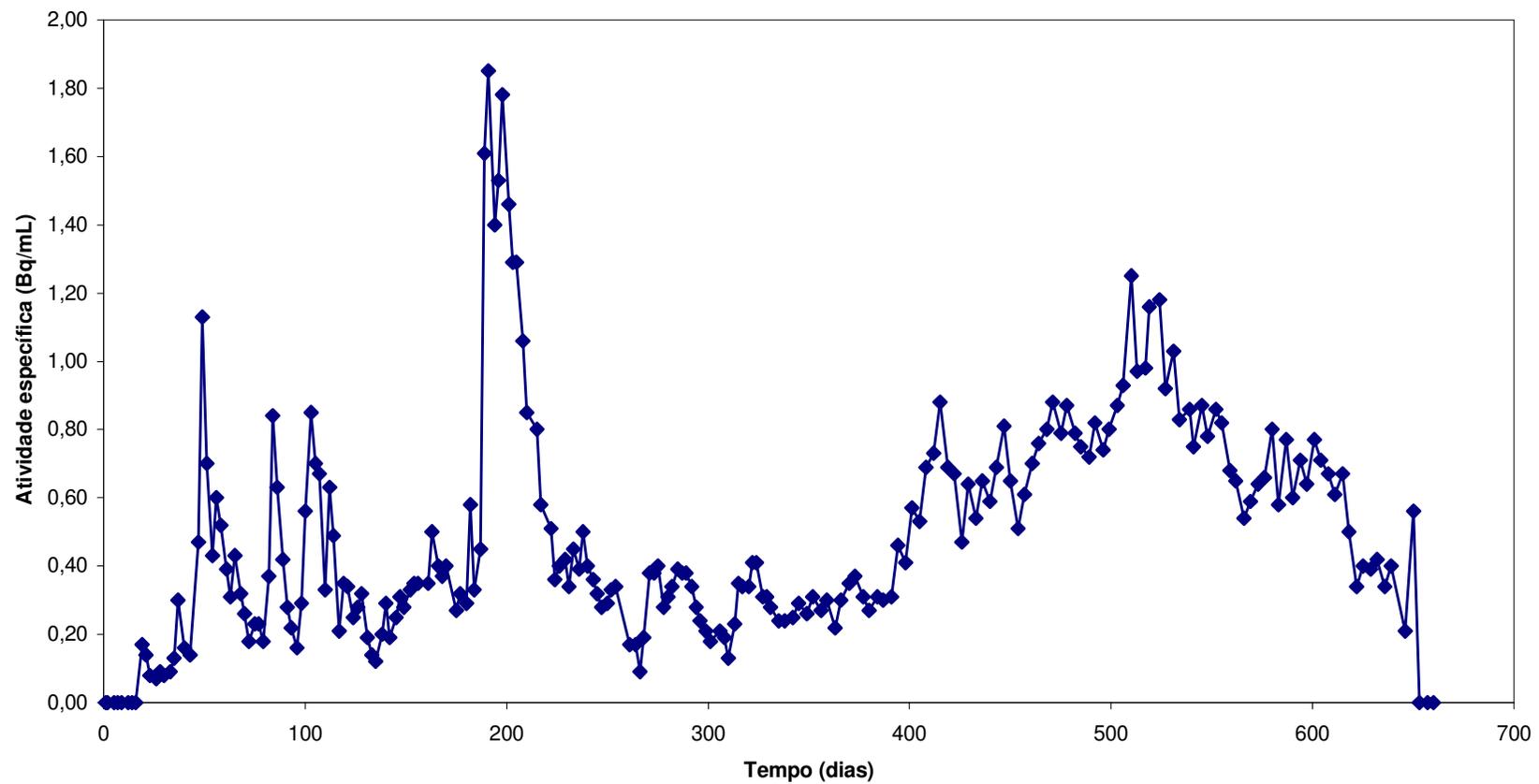


Figura 5.10: Concentração de amerício no chorume, em função do tempo, do Lis5

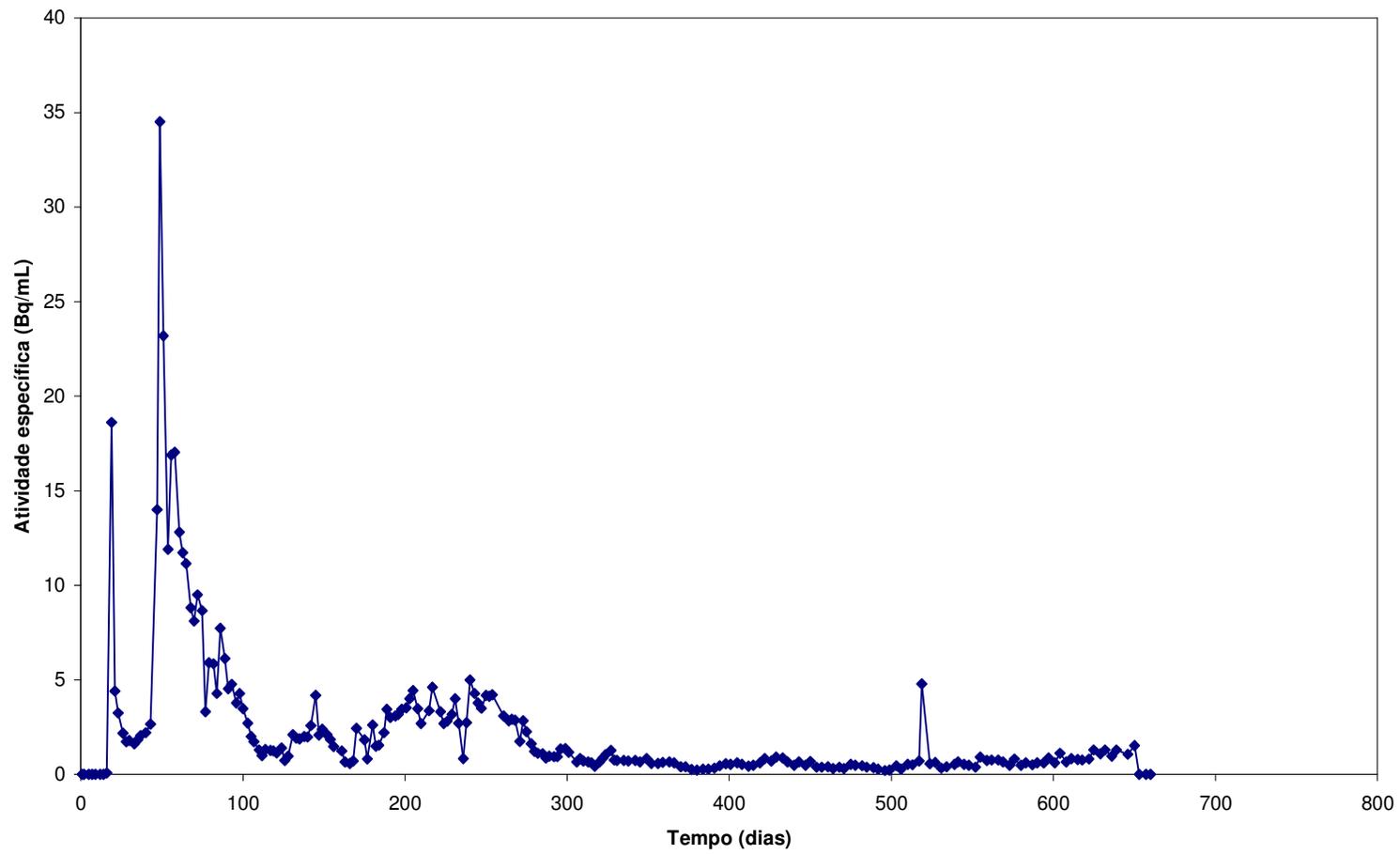


Figura 5.11: Concentração de amerício no chorume, em função do tempo, do Lis6

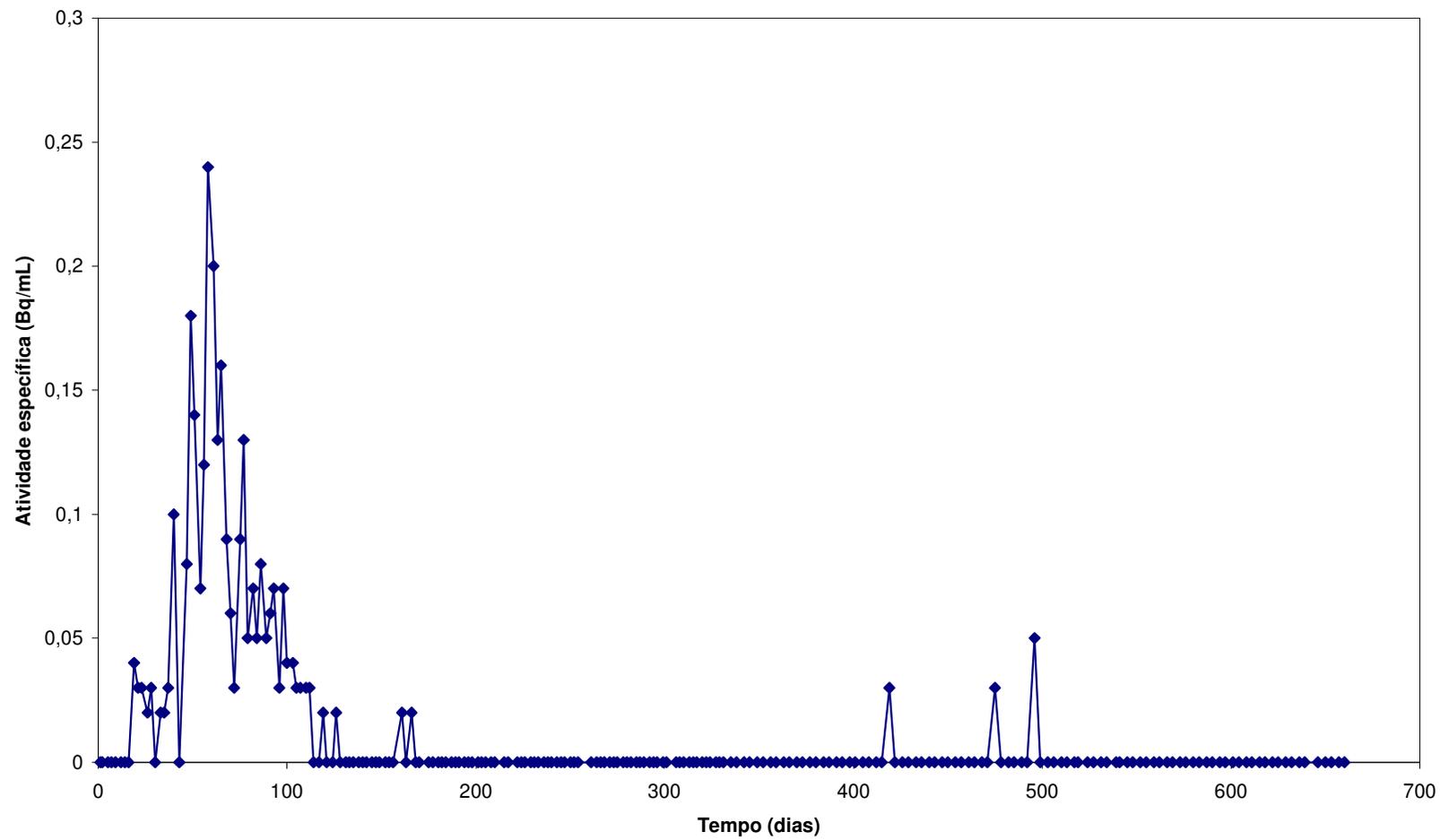


Figura 5.12: Concentração de amerício no choroço, em função do tempo, do Lis8

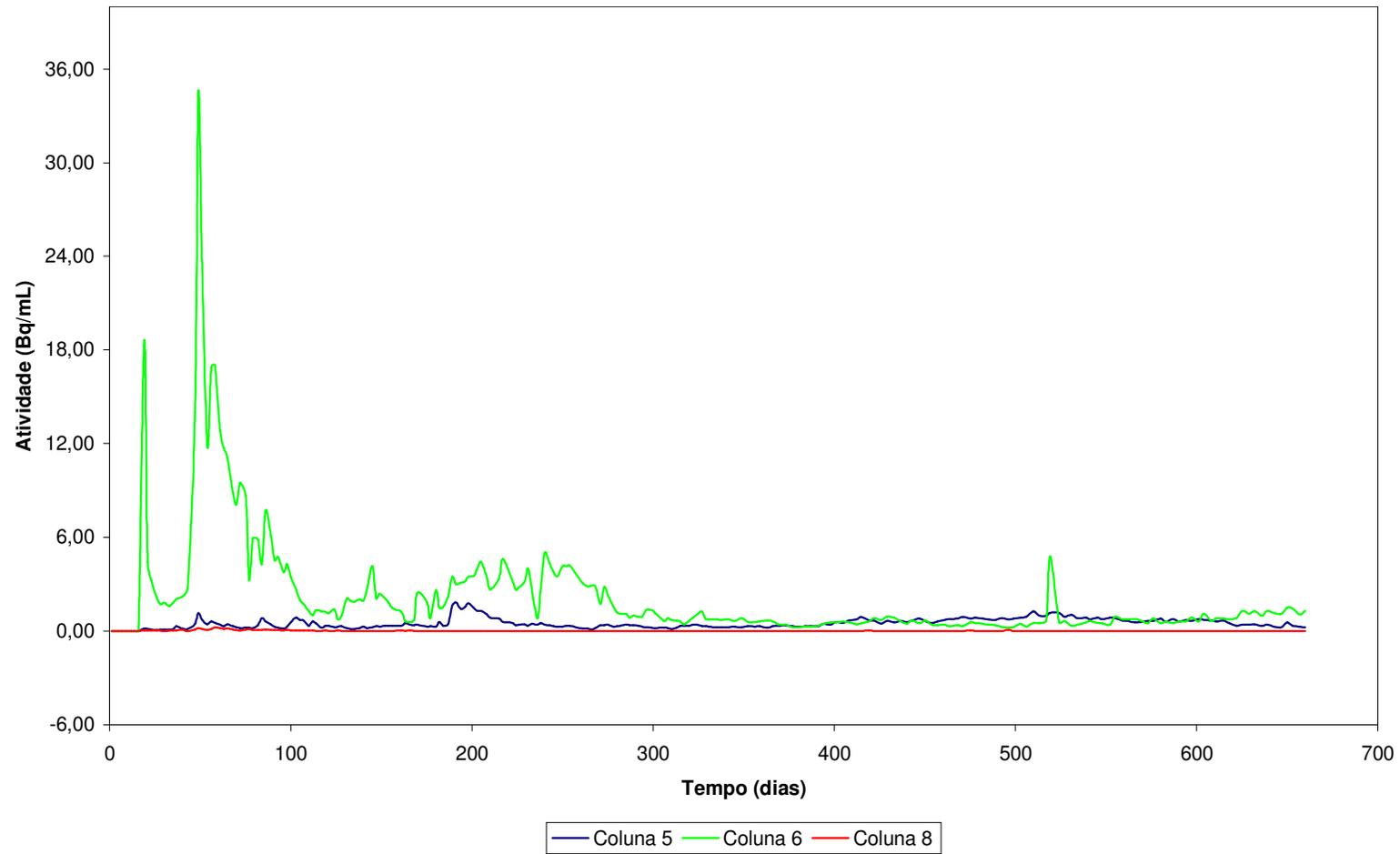


Figura 5.13: Concentração de amerício no chorume, em função do tempo, dos lisímetros 5, 6 e 8.

O controle microbiológico foi introduzido a partir do 89º dia e o método adotado foi o de contagem direta em placas de petri, contendo ágar padrão para contagem. O crescimento das bactérias foi avaliado em aerobiose e anaerobiose. Os resultados obtidos estão apresentados nas figuras 5.14 e 5.15.

O controle anaeróbio revelou um comportamento distinto apenas no Lis7 (controle), que apresentou uma contagem maior de bactérias até aproximadamente o 290º dia. Entre os lisímetros com fontes as contagens oscilaram com o tempo e não foi observada diferença significativa. A contagem média observada foi da ordem de 10^6 unidades formadoras de colônias (UFC) . No controle aeróbio, o Lis7 apresentou um comportamento semelhante, ou seja, contagens superiores aos dos lisímetros com fontes, mas num período mais curto, cerca de 190 dias. A contagem média observada foi superior à do controle anaeróbio, da ordem de 10^7 UFC. O período em que foi observada a diferença no Lis7 coincide com o do aumento de pH e com os menores valores de Eh, sugerindo que houve inibição do crescimento microbiano na presença de amerício. O efeito tóxico de metais sobre as bactérias já é conhecido (Lima, 1988, Pereira, 2004) e talvez isso possa explicar os valores mais altos de Eh observados nos lisímetros com fontes até cerca de 10 meses.

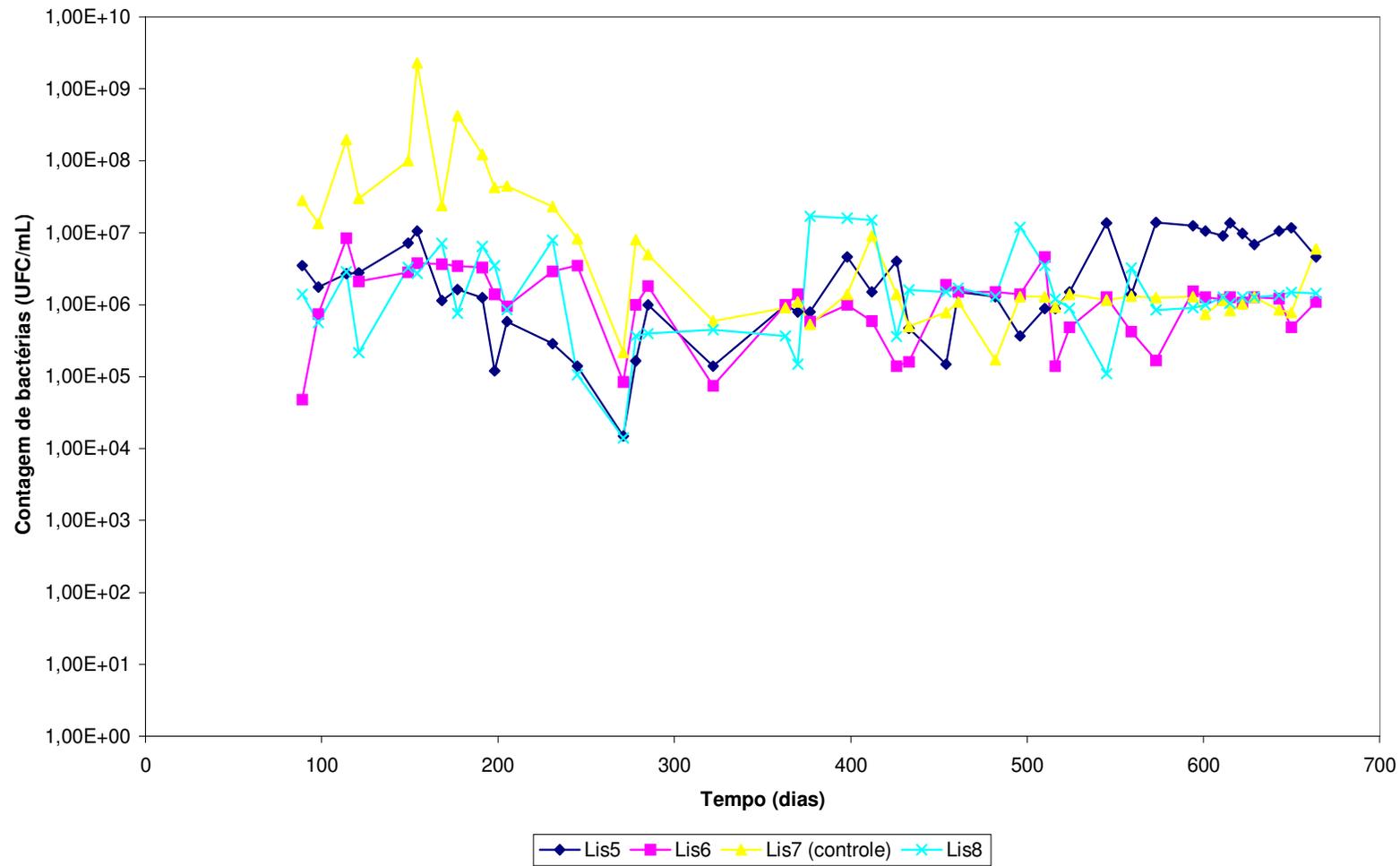


Figura 5.14: Contagem de bactérias anaeróbias dos lisímetros 5, 6, 7 e 8.

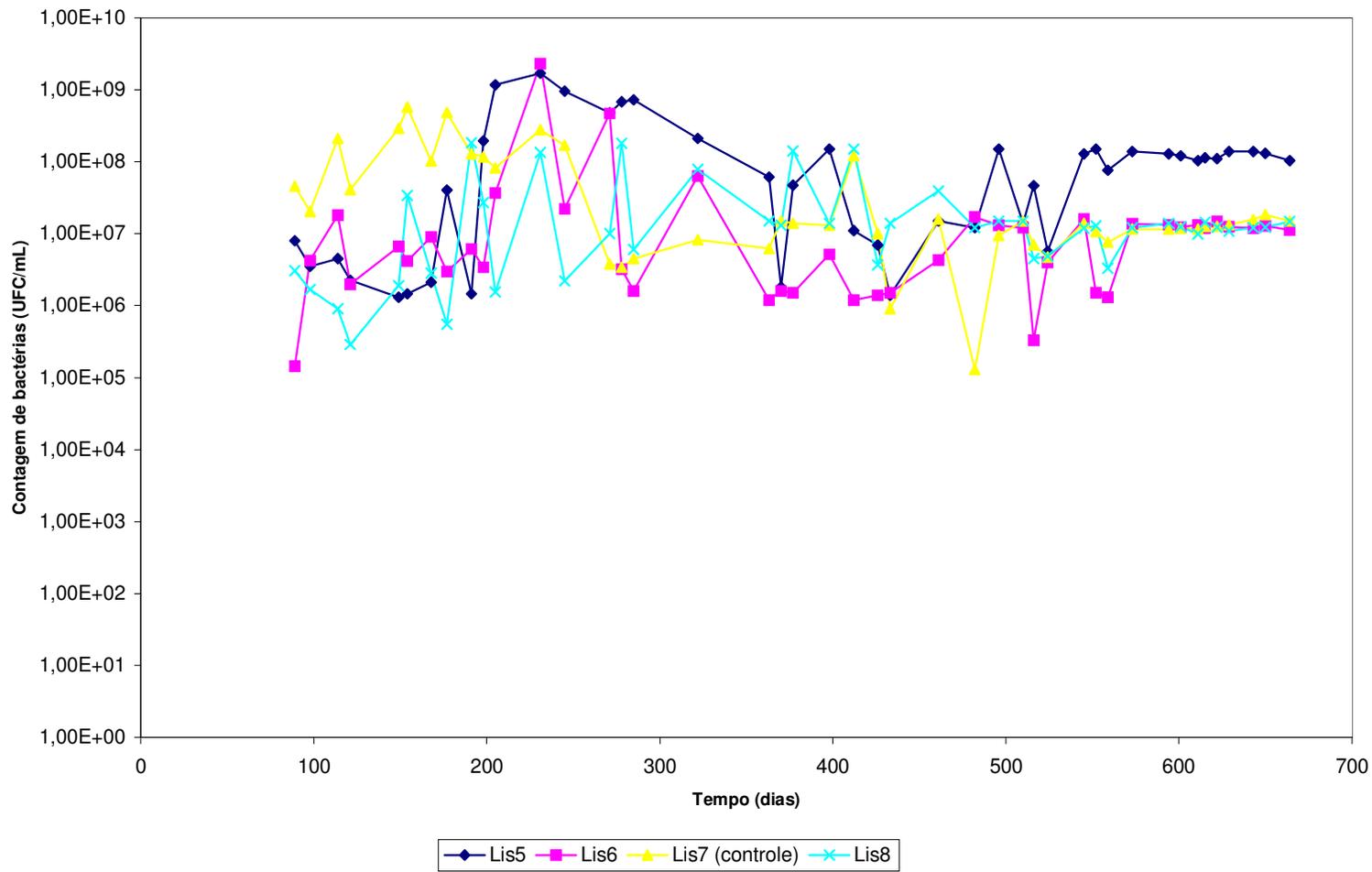


Figura 5.15: Contagem de bactérias aeróbias dos lisímetros 5, 6, 7 e 8.

Para verificar se o óxido de amerício poderia realmente interferir no crescimento bacteriano, foi realizado um ensaio baseado no teste de avaliação da resistência aos antimicrobianos pelo método de difusão (Oplustil et al., 2000). Desta forma, uma fonte, com a face ativa voltada para baixo, foi depositada sobre uma superfície de ágar nutriente, semeada por espalhamento com alça de Drigalski, com o inóculo coletado do Lis7. O resultado, que pode ser visualizado na figura 5.16, mostra nitidamente um halo transparente sobre a superfície do meio, ao redor da fonte, indicando uma região com ausência de crescimento bacteriano e, portanto, revelando a ação inibitória.

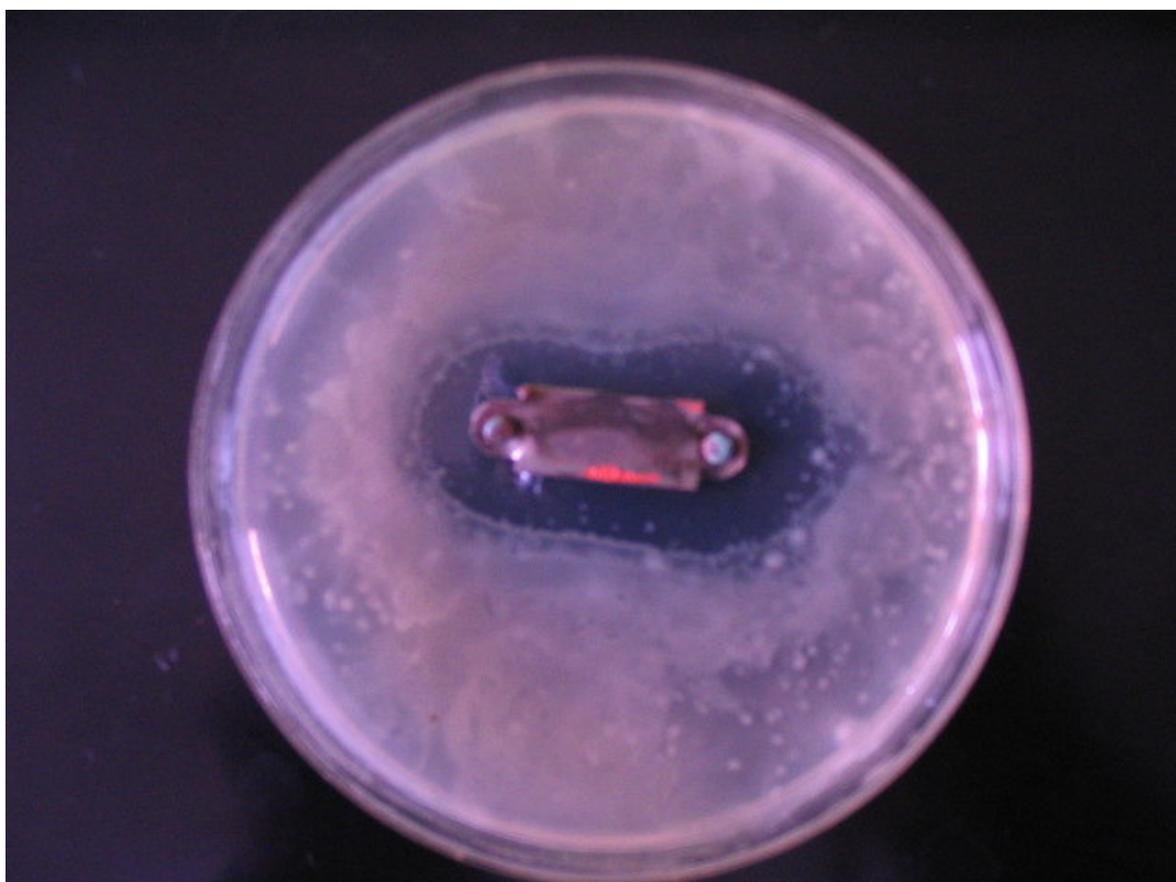


Figura 5.16: Inibição do crescimento bacteriano pela fonte de amerício em ágar.

5.2.4 Lisímetros 9 e 10

Os Lis9 e 10, por terem sido preenchidos com o composto, geraram chorume cuja cor variou de marrom escuro a marrom claro, o que não permitiu avaliar visualmente a turbidez.

A variação do pH pode ser observada na figura 5.17. O pH dos dois lisímetros sofreu pequenas oscilações, mas se manteve próximo de 7,0. Os valores médios ficaram compreendidos entre 7,5 e 6,5, mas pode-se notar valores ligeiramente superiores até o 8º mês.

Com relação ao Eh, figura 5.18, o comportamento dos dois lisímetros também foi semelhante. Aumentou em função do tempo, apresentando valores negativos somente até o 3º mês.

A concentração de amerício, figura 5.19, diminuiu com o tempo, tendo sido detectada logo na primeira coleta, uma concentração de aproximadamente 18 Bq/mL. O decréscimo não foi constante e as maiores oscilações foram observadas entre 45 e 100 dias. A partir do 327º dia, os valores foram inferiores a 0,5 Bq/mL. A presença de amerício logo na primeira coleta é consequência da alta permeabilidade do composto empregado, que permitiu um escoamento maior de chorume.

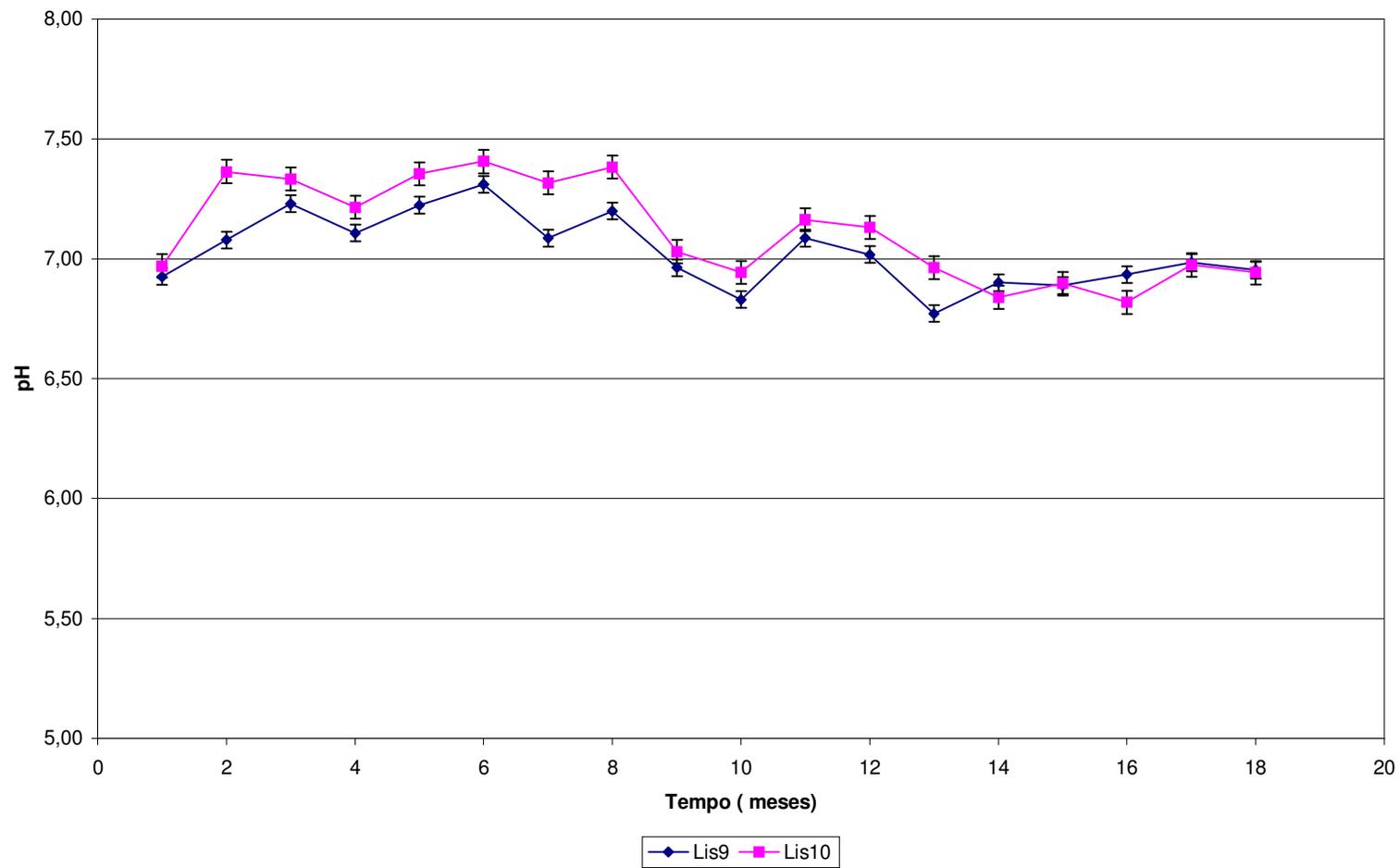


Figura 5.17: Valores médios de pH, em função do tempo, dos lisímetros 9 e 10.

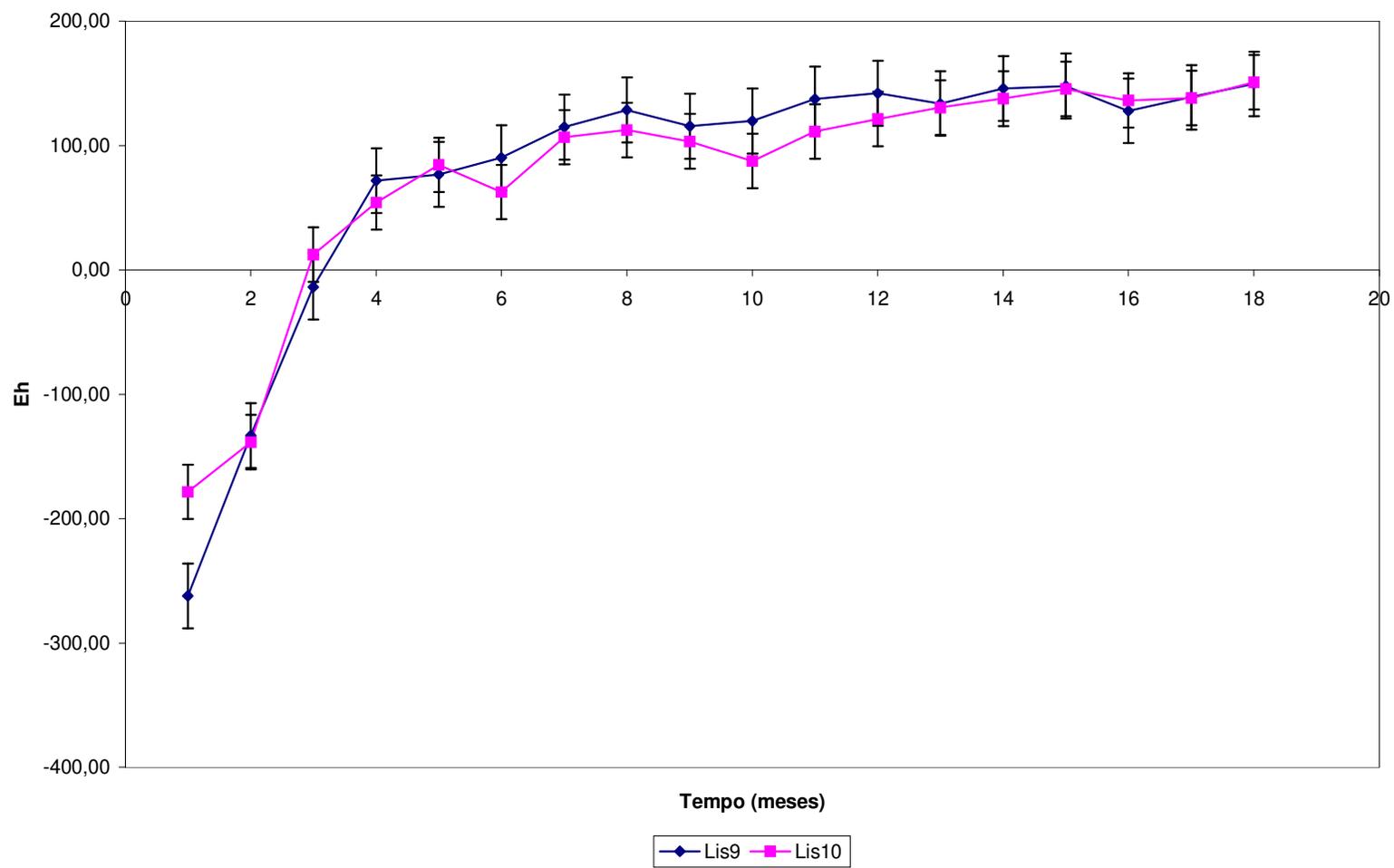


Figura 5.18: Valores médio de Eh, em função do tempo, dos lisímetros 9 e 10.

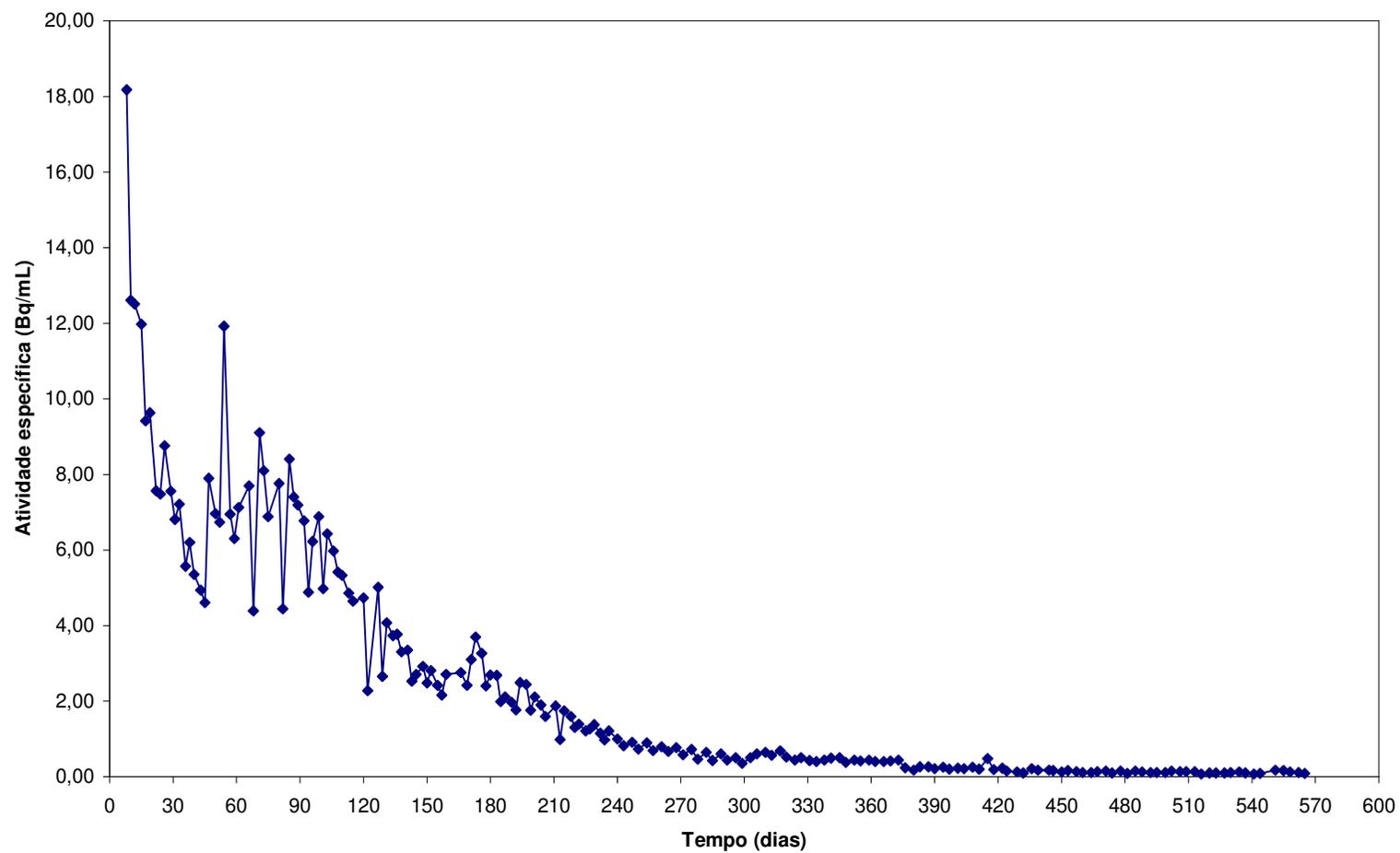


Figura 5.19: Concentração de amerício no chorume, em função do tempo, do lisímetro 9.

5.2.5 Teor de sólidos – Lis2 a 10

O teor de sólidos, que dá uma idéia da qualidade do chorume e só foi avaliado a partir do Lis2, diminuiu em função do tempo, apresentando valores inferiores a 0,1 % após 10 meses, para todos os lisímetros, exceto o 2. Neste caso, apresentou um valor médio de 0,2 % do 19º mês até o final. Esta diferença demonstra que o resíduo utilizado sofreu um processo de degradação lento.

5.2.6 Volume do chorume

A produção de chorume, apresentada nas figuras 5.20 a 5.22, não foi constante nos lisímetros 2 a 8 e os volumes máximos gerados não estão relacionados com a alimentação, ou seja, os picos de volume não foram observados logo após a adição de água. Em algumas vezes, este fato ocorreu quando houve uma diminuição brusca da temperatura. Apesar de ser uma situação diferente, cabe ressaltar que Khattabi & Mania (2002) também observaram flutuações no volume de chorume gerado em aterro e os maiores picos não corresponderam ao máximo de precipitação.

5.2.7 Liberação de amerício

Os resultados obtidos no que tange à liberação de amerício demonstram haver um padrão de comportamento, ou seja, há uma fase inicial na qual são observadas concentrações de amerício mais altas, e outra, mais constante. Os resultados apresentados pelos lisímetros 4, 5, 6 e 8, mostram que fase inicial coincide com a fase ácida de degradação, o que poderia sugerir que as maiores concentrações de amerício observadas são devidas somente às condições agressivas do meio. É possível que o meio tenha contribuído para a liberação do amerício, mas não pode ser considerado o único agente, uma vez que o Lis9, com resíduo já degradado e ph neutro, também apresentou comportamento semelhante. Além disso, deve-se considerar ainda os ensaios da lixiviação, realizados na primeira etapa, que não demonstraram haver uma relação entre a maior agressividade do meio (ácido sulfúrico e nítrico) e o maior percentual lixiviado. Assim, esse comportamento pode ser atribuído ao efeito de lavagem das fontes (washout), um processo físico de remoção do material citado por outros autores (Kelly et al., 1998, Vaidya, 2002).

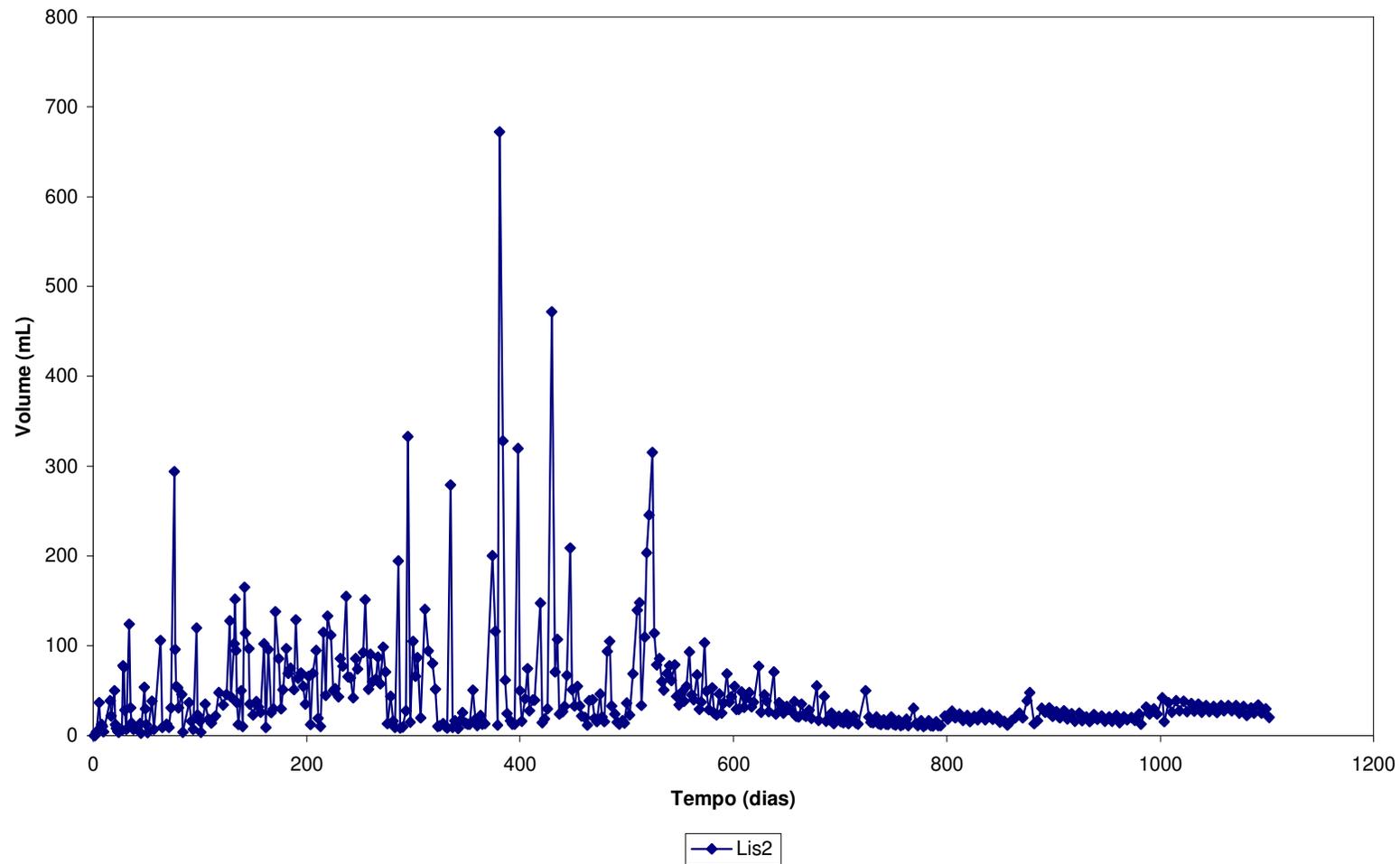


Figura 5.20: Volume de chorume gerado no Lis2

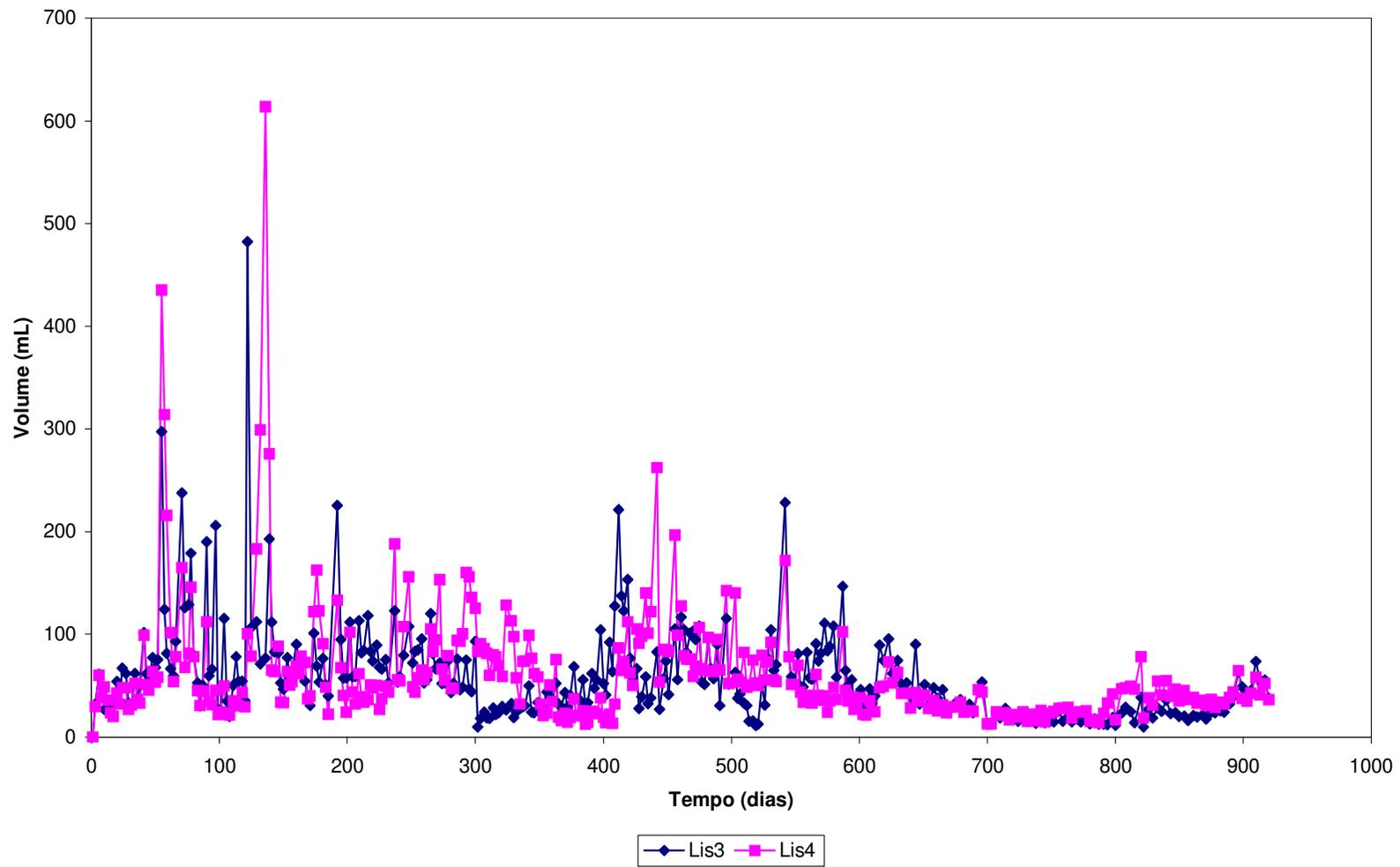


Figura 5.21: Volume de chorume gerado no Lis3 e 4

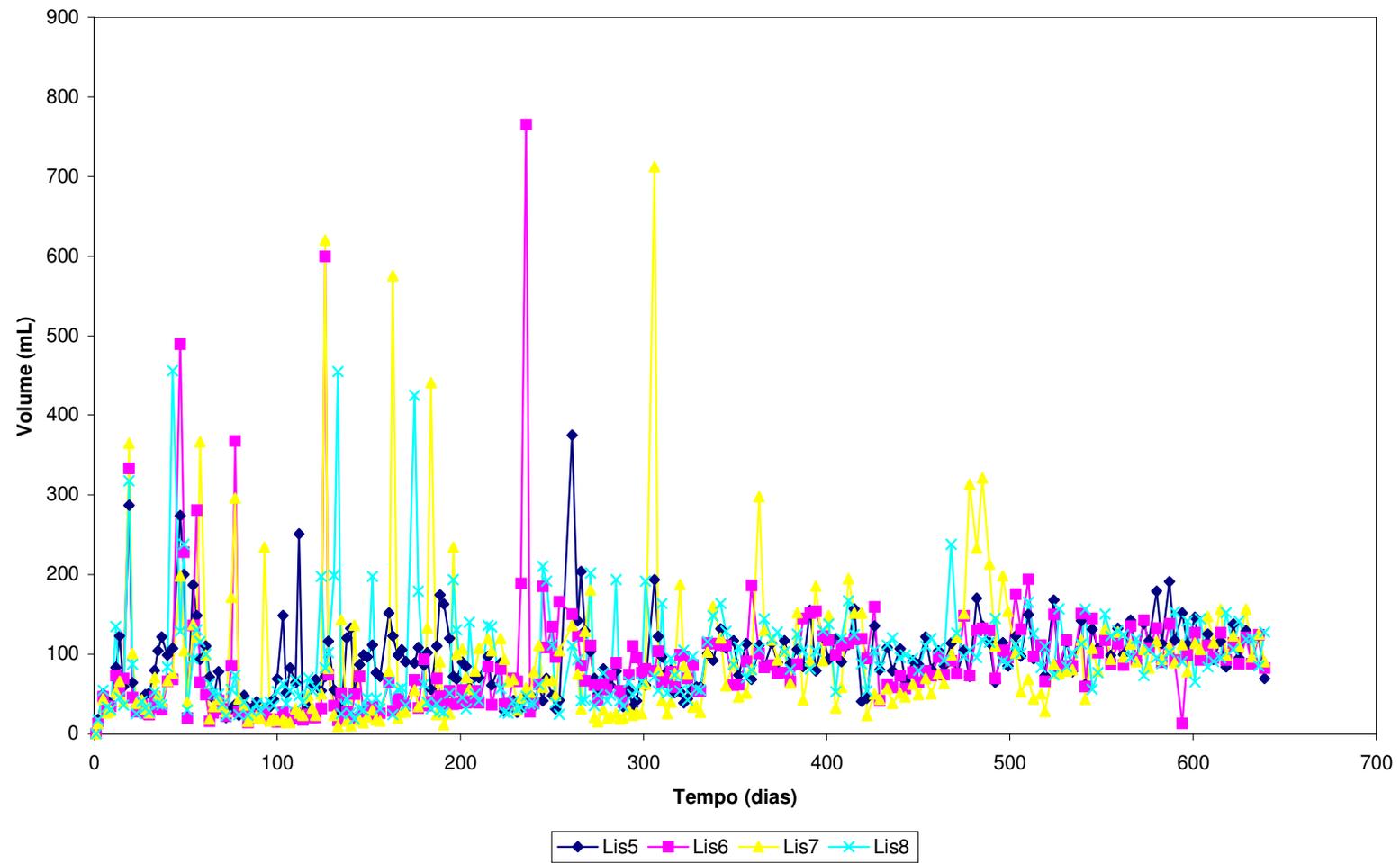


Figura 5.22: Volume de chorume gerado no Lis5, 6, 7 e 8.

5.3 Estimativa de risco

A estimativa do risco foi baseada no cálculo de dose para membros do público, sendo a ingestão de água a via mais provável de exposição. O valor obtido foi, então, comparado com o limite de dose anual estabelecido pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), 1 mSv (International Atomic Energy Agency, 1996).

Neste estudo simplificado, os parâmetros envolvidos foram:

- número de fontes;
- atividade liberada;
- consumo anual de água;
- fator de dose para membros do público;
- porosidade, densidade e K_d (coeficiente de distribuição) do solo.

Todos os valores empregados no cálculo foram obtidos na literatura, excetuando-se, obviamente, a atividade do amerício e o número de fontes. O ^{241}Am foi adotado como referência para a hipótese de contaminação mais pessimista, por ter liberado a maior quantidade de amerício. Na tabela 5.3 apresenta-se todos os valores empregados no cálculo. Desta forma, a dose anual para um único radionuclídeo consumido na água foi calculada empregando-se as equações 1, 2 e 3 do Capítulo 3. O valor obtido deve ainda ser dividido por um fator de atenuação como consequência da diluição do radionuclídeo na água subterrânea (CETESB, 2001).

Tabela 5.3: Valores dos parâmetros empregados no cálculo da estimativa de risco.

Parâmetro	Valor	Referência
Número de fontes	6	Valor médio observado nos pára-raios recebidos pelo IPEN
Atividade liberada (C)	8,93 Bq/cm ³	Concentração média observada (Lis6) no período de maior liberação de amerício, em um ano.
Consumo de água por um indivíduo adulto (W)	730 L ano ⁻¹	Aanenson et al., 1999 WHO, 2004 National Health and Medical Research Council, 2004
Fator de dose para membros do público (Dcoeff)	2.0 x 10 ⁻⁴ mSv Bq ⁻¹	IAEA, 1996
Porosidade (θ_w)	0,4	CETESB, 2001
Densidade do solo (ρ_b)	1,30 g cm ⁻³	CETESB, 2001
K _d	14.621,77 cm ³ g ⁻¹ (mínimo 1900, máximo 112000)	Média logarítmica entre o valor máximo e mínimo relatado por Yu et al (2006)
Fator de atenuação	10	CETESB, 2001

Desta forma, tem-se:

$$D = D_{\text{coeff}} \cdot W \cdot \frac{C}{\theta_w + K_d \cdot \rho_b}$$

$$D = 68,6 \cdot 10^{-3} \text{ mSv} \cdot \text{ano}^{-1}$$

Dividindo-se pelo fator de atenuação, a dose final é igual a $6,9 \times 10^{-3} \text{ mSv} \cdot \text{ano}^{-1}$, que é bem inferior ao limite de dose efetivo ($1 \text{ mSv} \cdot \text{ano}^{-1}$) estabelecido para membros do público, embora tenham sido adotados parâmetros conservativos. Para superar o limite de dose efetivo seriam necessários cerca de 145 pára-raios dispostos em um mesmo local, o que seria uma situação pouco provável de ocorrer.

Em outras palavras, para esse cenário hipotético, o risco decorrente da exposição de um indivíduo adulto à radiação pode ser considerado aceitável e não resultará em um dano a sua saúde, durante toda sua vida.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos experimentos nos permitem concluir que:

- A qualidade do resíduo influi nas características do chorume e no processo de degradação;
- O material radioativo liberado para o meio é limitado e deve pertencer à área exposta ou danificada da fonte, não superando mais do que 0,4 % no caso do lisímetro 6 e 0,06 % na lixiviação;
- O amerício afeta o crescimento das bactérias. Nos lisímetros, a população bacteriana foi influenciada pelas fontes durante a fase ácida, provocando alterações no Eh e no pH;
- Não foi possível demonstrar que a degradação do resíduo nos lisímetros intensificou a liberação do amerício. Os resultados obtidos com os lisímetros sugerem que a maior parte da liberação ocorre pelo efeito de lavagem (washout);
- Apesar do método empregado neste trabalho não ser tão realístico quanto os lisímetros de grande porte, pode-se afirmar que o risco de contaminação provocada pelo descarte de pára-raios em lixões é baixo. A avaliação desse risco afetando membros do público demonstrou não haver problemas levando-se em conta os níveis obtidos no presente trabalho.

APÊNDICE

Tabela A.1. Parâmetros monitorados do Lis1.

Dia	Volume (mL)	pH	Eh	Ti (°C)
1	0	3,94	200	26
2	5	4,18		26
3	4	4,19		25
6	35	4,44		26
7	5,5	3,89		26
8	9,5	3,86		26,5
9	3	4,11		26,5
10	3	3,94		26
16	28	5,38	194	24
17	14	3,7		25
20	120	3,75		23
21	50	3,65		23
22	33	3,63		23
23	12	3,57		24
24	12	3,55		24
27	29	4,12		25
28	222	3,55	188	23
29	158	3,54		24
30	71	3,54		25
31	32	3,53		23
34	100	3,95		22
35	31	3,52		23
36	20	3,64		22
37	19	3,52		23
38	14	3,49		24
41	46	4,22	188	25
44	30	4,22		25
45	4,5	3,7		22
48	52	4,31		20
49	21	3,45		22
50	21	3,88		23
51	6	3,47		22
55	46	4,11	156	22
57	22	4,21	153	23
63	45	4,01	163	23
65	4,1	3,52	189	25
69	2	4,3	162	26,5
71	3,4	4,05	176	26
76	110	3,79	187	20
77	27	3,68	194	21
83	36	4,14	170	21
84	3	3,56	204	22
90	19	4,1	173	24
92	4,9	3,65	199	24

Continua

Tabela A.1. Parâmetros monitorados do Lis1.
Cont.

Dia	Volume (mL)	pH	Eh	Ti (°C)
97	120	3,63	200	20
98	30	3,59	201	20
99	17	3,57	202	20
100	8	3,57	202	19
101	9	3,59	202	21
105	12	4,04	177	22
108	11	3,91	184	22
111	7	3,83	188	22
115	9	4,02	178	24
118	7	3,92	184	23
122	6,4	4,09	171	23
125	6	3,96	180	22
128	4	3,93	183	22
129	2,4	3,95	181	21
132	10	3,94	182	22
134	9,5	3,89	184	21
136	10	3,84	186	21
139	7,5	3,9	184	22
142	34	4	176	20
143	86	4	176	17
146	330	3,95	179	17
147	12	3,93	182	20
150	2	3,88	184	20
153	14	3,93	183	22
155	9	3,95	181	22
157	8	3,99	178	23
160	21	3,99	178	21
162	5,1	3,95	180	22
164	10	4,05	175	22
167	18,5	3,98	178	21

Tabela A.2. Parâmetros monitorados do Lis2.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol. (%)	Ti (°C)
1		0	3,94	206		
2		0				26
3		4	4,35			25
6		37	4,58			26
7		8,7	3,91			26
8		12,5	3,99			26
9		10	3,98			26
10		4,5	3,95			26
16		39	4,22	201		24
17		22	3,78			25
20		50	4,13			24
21		12	3,73			23
22		8	3,72			24
23		5	3,74			24
24		3,5	3,80			24
27		6	5,19			24
28		78	3,65	194		24
29		76	3,63			25
30		28	3,62			26
31		7	3,55			23
34		124	3,89			22
35		31	3,65			23
36		14	3,69			23
37		10	3,64			24
38		7	3,63			24
41		9	4,94	176		25
44		13,5	4,48			25
45		2,7	3,84			22
48		54	4,26			21
49		30	3,52			22
50		12	3,57			24
51		3,4	3,56			23
55		38,6	4,05	155		22
57		7	3,51	190		22
63		106	3,79	174		24
65		9	3,52	189		25
69		13	4,24	165		27
71		9	3,77	193		27
73		31	3,87	185		23
76		294	3,75	190		20
77		96	3,67	193		21
78		55	3,72	193		20
79		53	3,72	193		19
80		31	3,58	200		19,5
83		46	3,70	195		22
84		3,8	3,59	202		21,5
90		37	3,92	184		24

Continua

Tabela A.2. Parâmetros monitorados do Lis2. Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol. (%)	Ti
92		16	3,61	201		24
94		7	3,52	207		22
97		120	3,55	205		20
98		23	3,58	201		20
99		18	3,57	202		20
100		16	3,58	202		19
101		3,6	3,60	202		22
105		35	3,66	200		22
108		18	3,69	197		22
111		14	3,73	193		22
115		22	3,79	192		24,5
118		48	3,72	196		24
122		34	3,75	191		23
125		46	3,73	193		22,5
128		128	3,44	211		23
129		43	3,51	206		21
132		102	3,75	193		22
133		152	3,71	194		22
134		95	3,75	192		21,5
135		37	3,72	192		21
136		12	3,73	193		22
139		50	3,74	193		23
140		10	3,75	189		24
142		165	3,72	193		20
143		114	3,73	191		17
146		97	3,70	194		18
147		35	3,72	194		20
150		23	3,66	197		21
153		38	3,58	203		22
155		32	3,64	198		23
157		26	3,70	194		23
160		102	3,70	195		21
162		9	3,72	193		22
164		96	3,72	193		22
167		25,5	3,51	205		22
169		30	3,63	195		24
171		138	3,67	195		19
174		86	4,05	171		17
176	0	30	4,13	168	3,17	19
178	0	51	3,60	200	1,29	19
181	0	97	3,66	197	2	18
183	0	69	3,64	197	1,29	19
185	0	75	3,72	193	1,69	22
188	0	51	3,57	203	2,09	21
190	0	129	3,52	204	2,39	17
192	0	64	3,44	207	1,99	15
195	0	70	3,54	205	2,38	19

Continua

Tabela A.2. Parâmetros monitorados do Lis2. Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol.	Ti
197	0	55	3,55	204	1,59	20
199	0	35	3,54	204	1,59	21
202	0	66	3,52	204	1,69	24
204	0	12	3,52	204	2,49	20
206	0	69	3,48	202	1,89	16
209	0	95	3,49	204	2	20
211	0	19	3,53	202	2,29	19
213	0	10	3,52	205	2,3	21
216	0	115	3,49	207	1,6	24
218	0	45	3,51	209	1,5	26
220	0	133	3,46	206	1,79	20
223	0	111,96	3,46	207	1,69	22
225	0	50,07	3,51	207	1,58	23
227	0	52,43	3,48	209	1,59	23
230	0	43,27	3,49	209	1,6	25
232	0	85,83	3,46	209	1,59	23
234	0	77,15	3,47	207	1,49	22
237	0	155,17	3,48	207	1,29	20
239	0	65,36	3,47	208	1,39	21
241	0	64,7	3,48	208	1,4	20
244	0	41,84	3,45	209	1,3	23
246	0	85,88	3,45	209	1,1	22,5
248	0	73,78	3,42	211	1,3	22
253	0	92,45	3,42	210	1,4	22
255	0	151,05	3,46	210	0,7	23,5
258	0	51,49	3,77	190	0,8	19
260	0	90,4	3,58	202	1,19	20
262	0	60,05	3,45	211	1	22
265	0	62,88	3,70	198	0,7	24
267	0	87,09	3,55	206	0,6	27
269	0	57,62	3,48	209	0,7	23
272	0	98,52	3,56	206	0,8	24
274	0	71,02	3,52	206	0,5	23
276	0	13,47	3,87	185	0,7	22
279	0	43,53	3,94	183	0,7	24
281	0	16,24	3,98	180	0,79	26
283	0	9,16	4,15	169	0,86	23
286	0	194,26	3,66	197	0,4	22
288	0	8,48	4,10	174	0,29	27
290	0	9,83	4,02	177	0,56	25
293	0	27,71	4,03	176	0,69	25
295	0,00785	332,85	3,89	184	0,2	24
297	0	15,17	3,91	185	0,5	25
300	0	105,01	3,93	182	0,3	28
302	0	66	3,78	190	0,5	24
304	0	86,9	3,68	196	0,6	24
307	0	19,72	3,94	181	0,61	24

Continua

Tabela A.2. Parâmetros monitorados do Lis2. Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol.	Ti
311	0,0328	140,45	4,00	178	0,3	22
314	0,00807	94,27	4,12	170	0,1	24
318	0,011	80,5	3,93	181	0,4	21
321	0,00431	51,63	3,91	184	0,6	24
323	0	10,05	3,98	178	0,45	23
325	0	10,76	3,93	181	0,51	22
328	0	13,31	3,95	182	0,69	26
330	0	10,1	3,83	189	0,89	26
332	0	8,64	3,96	181	0,66	24
335	0	279,32	3,89	185	0,2	24
337	0	8,97			0,4	23
339	0	16,72	4,06	174	0,51	25
342	0	8			0,6	22
344	0	16,6			0,7	22
346	0	25,41	4,04	176	0,9	26
349	0	13,73	4,01	177	0,81	24
351	0	13	3,88	180	2,19	24
353	0	12,92	4,01	176	0,94	24
356	0	50,66	3,85	184	0,91	22
358	0	18,2	4,04	174	1,01	23
360	0	11	4,14	168	0,91	23
363	0	22,4	4,04	174	0,61	24
365	0	12,69	3,79	190	1,03	25
367	0	13,43	3,72	192	1,21	24
374	0	200,53	3,97	178	1,01	22
377	0	116,26	3,83	186	0,6	24
379	0	11,84	3,81	188	0,84	27
381	0	672,14	3,74	189	0,4	23
384	0	327,86	3,69	195	0,5	26
386	0	61,77	3,79	190	0,5	29
388	0	24,64	3,99	176	0,6	25
391	0	16,64	4,24	163	0,61	24
393	0	12,68	4,28	160	1,4	25
395	0	12,79	4,01	176	1,1	25
398	0	319,57	3,66	193	0,5	23
400	0	49,85	3,71	193	0,71	24
402	0	15,92	4,08	171	1,11	23
405	0	41,22	3,84	186	0,51	25
407	0	74,69	3,71	191	0,4	23
409	0	27,88	3,82	186	0,4	25
412	0	39,67	3,87	150	0,4	24
414	0	39,38	3,77	160	0,6	24
419	0	147,73	3,92	152	0,4	25
421	0	14,18	4,03	135	0,6	23
423	0	18,8	3,97	174	0,6	24
426	0	29,78	4,05	148	0,6	26
430	0,02	471,87	3,73	151	0,3	25

Continua

Tabela A.2. Parâmetros monitorados do Lis2. Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol.	Ti
433	0,01	70,89	3,88	152	0,6	21
435	0	107,22	3,72	208	0,3	22
437	0	24,03	3,77	181	0,6	23
440	0	26,41	4,05	134	0,6	25
442	0	32,34	3,83	143	0,6	24
444	0	67,34	3,75	178	0,5	21
447	0	208,84	3,74	224	0,3	21
449	0	51,01	3,77	195	0,4	22
451	0	33,15	3,94	165	0,5	20
454	0	54,95	3,72	145	0,5	18
456	0	32,82	3,83	166	0,4	19
458	0	21,91	4,06	172	0,5	19
461	0	20,05	4,18	151	0,5	19
463	0	11,6	4,16	134	0,5	18
465	0	38,84	3,77	183	0,5	18
468	0	39,99	3,85	162	0,4	18
470	0	19,25	4,72	179	0,51	19
472	0	15,29	4,63	165	0,5	18
475	0	46,32	4,66	183	0,4	18
477	0	20,7	4,88	157	0,5	18
479	0	15,48	4,90	160	0,7	20
482	0	93,73	4,33	150	0,3	16
484	0	105,08	4,64	210	0,4	18
486	0	33,14	4,49	216	0,3	21
489	0	24,14	4,62	210	0,6	22
491	0	15,09	4,68	194	0,5	22
493	0	12,55	4,51	198	0,6	21
496	0	16,33	4,56	164	0,4	22
498	0	14,06	4,38	187	0,4	23
500	0	36,41	4,40	176	0,3	24
503	0	22,85	4,69	147	0,3	22
506	0	68,74	4,81	155	0,3	20
510	0	139,35	4,75	180	0,3	14
512	0	147,97	5,21	280	0,4	18
514	0	33,68	5,22	237	0,4	18
517	0	109,79	5,42	213	0,3	19
519	0	203,61	4,64	255	0,2	15
521	0	245,8	5,02	193	0,2	14
524	0	315,1	4,91	163	0,1	14
526	0	114,01	5,20	222	0,2	17
528	0	78,8	5,64	180	0,2	16
531	0	85,9	3,73	162	0,1	17
533	0	60	3,75	179	0,2	19
535	0	50,36	3,69	198	0,2	19
538	0	69,4	3,73	188	0,2	14
540	0	77,95	3,85	216	0,2	16
542	0	61,1	3,84	196	0,2	15

Continua

Tabela A.2. Parâmetros monitorados do Lis2. Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol.	Ti
545	0	79,06	3,79	154	0,3	17
547	0	43,68	3,94	181	0,1	19
549	0	34,19	3,87	182	0,3	19
552	0	49,2	3,96	181	0,2	22
554	0	38,41	4,07	135	0,2	20
556	0	54,86	3,92	137	0,2	19
559	0	93,12	3,82	196	0,2	18
561	0	45,33	3,77	159	0,3	20
563	0	40,18	3,83	177	0,1	22
566	0	67,44	4,15	179	0,1	24
568	0	29,48	4,25	147	0,3	23
570	0	37,24	4,15	189	0,1	23
573	0	103,45	4,14	146	0,2	20
575	0	49,61	3,57	229	0,2	22
577	0	28,56	3,60	230	0,2	20
580	0	53,03	3,62	216	0,1	21
582	0	24,91	6,67	219	0,2	24
584	0	23	3,93	231	0,2	24
587	0	46,38	3,73	230	0,2	25
589	0	25,01	3,98	245	0,2	24
591	0	36,35	3,69	214	0,11	19
594	0	68,73	3,63	216	0,1	19
596	0	37,15	3,74	226	0,3	19
598	0	42,9	3,66	229	0,1	17
601	0	54,74	3,79	232	0,21	20
603	0	29,51	3,97	218	0,11	22
605	0	29,13	4,13	213	0,21	21
608	0	48,64	3,85	220	0,1	21
610	0	31,28	4,06	218	0,2	19
612	0	41,6	3,80	215	0,1	18
615	0	47,78	3,79	209	0,1	22
617	0	31,97	4,18	192	0,2	20
619	0	37,21	4,17	194	0,2	19
624	0	77,23	4,60	205	0,2	21
626	0	25,89	4,77	192	0,2	
629	0	45,31	4,48	196	0,2	20
631	0	39,05	4,10	209	0,1	21
633	0	26,78	4,34	191	0,1	20
638	0	70,74	3,96	190	0,3	21
640	0	24,08	4,63	155	0,3	21
643	0	36,95	4,80	176	0,31	19
645	0	28,2	4,81	175	0,2	21
647	0	25,23	4,93	187	0,2	25
650	0	32,48	4,94	197	0,3	22
652	0	29,2	4,70	194	0,2	21
654	0	27,79	4,86	180	0,1	21
657	0	37,77	4,93	184	0,2	23

Continua

Tabela A.2. Parâmetros monitorados do Lis2. Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol.	Ti
661	0	20,86	4,95	181	0,2	22
664	0	35,37	4,92	183	0,31	20
666	0	23,33	4,95	169	0,2	22
668	0	21,18	4,95	181	0,2	25
671	0	28,37	4,91	205	0,2	24
673	0	19,33	4,91	187	0,2	21
678	0	55,6	4,91	184	0	22
680	0	16,85	4,32	176	0,1	22
685	0	43,48	4,87	193	0,2	25
687	0	15,97	4,89	191	0,21	22
689	0	18,81	4,91	189	0,1	24
692	0	24,96	4,91	208	0,31	25
694	0	13,22	4,88	198	0,31	23
696	0	16,66	4,91	193	0,1	22
699	0	21,4	4,90	178	0,1	24
701	0	15,24	4,88	191	0,21	23
703	0	14,18	4,92	179	0,3	22
706	0	23,43	4,96	196	0,3	23
708	0	13,35	4,32	197	0,31	22
710	0	18,64	4,85	181	0,31	21
713	0	21,86	4,92	181	0,3	23
715	0	13,79	4,95	185	0,2	23
717	0	12,68	4,96	179	0,21	23
724	0	50,08	8,89	174	0,2	23
727	0	20,71	5,81	123	0,2	22
729	0	14,72	5,68	130	0,1	22
731	0	14,57	6,02	56	0,1	23
734	0	20,55	6,64	-5	0,2	24
736	0	13,47	6,75	86	0,1	26
738	0	12,32	7,06	77	0,1	25
741	0	17,75	6,87	64	0,2	25
743	0	12,94	7,54	63	0,21	23
745	0	12,43	6,96	44	0,2	21
748	0	20,72	6,44	43	0,2	22
750	0	12,91	6,78	15	0,2	24
752	0	11,91	6,93	36	0,2	26
755	0	17,12	6,95	32	0,2	25
757	0	11,1	7,14	-42	0,2	23
759	0	12,36	7,02	-4	0,2	24
762	0	18,01	7,16	-14	0,2	24
764	0	11,29	7,38	66	0,1	23
769	0	30,52	7,00	46	0,2	21
771	0	13,41	7,26	84	0,2	23
773	0	11,18	7,16	36	0,2	24
776	0	16,61	6,98	21	0,2	26
778	0	10,02	7,86	11	0,31	23
780	0	11,94	7,96	-28	0,3	26

Continua

Tabela A.2. Parâmetros monitorados do Lis2. Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol.	Ti
783	0	16,69	7,93	-165	0,1	25
785	0	11,41	7,69	-163	0,2	26
787	0	10,56	7,72	-227	0,3	26
790	0	15,39	8,50	-190	0,2	24
792	0	11,28	7,56	93	0,2	25
794	0	11,03	6,35	-92	0,31	24
798	0	21,68	7,44	46	0,1	22
801	0	18,22	7,93	17	0,2	19
805	0	26,9	6,67	35	0,2	18
808	0	19,49	7,14	2	0,31	20
812	0	23,83	7,07	-40	0,1	21
815	0	17,27	7,11	-74	0,2	23
819	0	22,42	7,71	-164	0,2	24
822	0	15,63	7,71	-178	0,3	24
826	0	21,22	7,29	-136	0,2	20
829	0	17,34	7,21	7	0,31	20
833	0	24,77	7,08	-77	0,2	20
836	0	17,46	7,30	-8	0,3	23
840	0	22,78	7,03	-4	0,2	19
843	0	18,1	7,20	-25	0,3	22
847	0	21,04	7,15	-107	0,4	23
850	0	14,66	7,95	-118	0,3	23
854	0	15,96	7,42	-115	0,3	19
857	0	11,87	7,64	-67	0,3	18
861	0	17,29	7,44	-135	0,3	20
864	0	19,7	7,47	-152	0,2	21
868	0	25,22	7,21	-139	0,3	20
871	0	19,95	7,37	-147	0,1	16
875	0	38,96	7,53	-153	0,2	17
878	0	47,99	7,43	-123	0,1	20
882	0	13,2	7,23	-137	0,1	19
885	0	16,71	7,53	-98	0,2	21
889	0	30,22	7,05	9	0,3	16
892	0	26	7,08	-78	0,2	19
896	0	31,15	7,27	-150	0,2	21
899	0	21,24	7,13	-137	0,2	20
903	0	26,77	7,19	-152	0,1	20
906	0	19,68	7,51	-184	0,2	17
910	0	27,67	7,50	-168	0,2	21
913	0	18,74	7,52	-158	0,2	22
917	0	24,24	7,22	-161	0,2	22
920	0	15,87	8,59	-10,9	0,2	19
924	0	25,05	7,45	-183	0,2	24
927	0	16,56	7,32	-164	0,31	23
931	0	20,54	7,65	-58	0,2	21
934	0	15,62	7,43	-87	0,2	18
938	0	23,19	7,39	-137	0,2	17

Continua

Tabela A.2. Parâmetros monitorados do Lis2. Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol.	Ti
941	0	18,36	7,89	-168	0,1	21
945	0	21,86	7,69	-187	0,1	19
948	0	15,75	8,00	-130	0,1	19
952	0	20,87	7,99	-136	0,1	16
955	0	15,92	7,88	-95	0,3	19
959	0	22,5	7,66	-177	0,2	21
962	0	14,56	8,06	-138	0,2	21
966	0	20,65	8,01	-155	0,2	22
969	0	17,39	7,48	-13	0,2	27
973	0	20,18	7,43	-167	0,2	24
976	0	17,21	7,77	-165	0,2	21
980	0,1	23,98	7,85	-171	0,2	22
982	0	13,03	7,41	-138	0,2	23
987	0	32,05	7,30	-147	0,2	19
990	0	23,97	7,63	-180	0,2	21
994	0,03	30	7,64	-10	0,2	22
997	0	23,74	7,31	-24	0,2	17
1002	0	42	7,27	27	0,2	25
1004	0	15,27	7,61	149	0,2	20
1008	0	36,64	7,35	-59	0,2	24
1011	0	26,17	7,35	-102	0,2	25
1015	0	39,06	7,21	10	0,2	23
1018	0	27,85	7,31	-48	0,2	22
1022	0	38,46	7,24	46	0,2	24
1025	0	26,64	7,25	98	0,2	22
1029	0	35,43	7,33	-135	0,2	20
1032	0	27,31	7,50	-148	0,2	23
1036	0	34,97	7,39	-170	0,2	22
1039	0	26,28	7,12	-148	0,2	24
1043	0	33,37	7,30	-8	0,2	22
1046	0	26,53	7,24	-109	0,2	22
1050	0	32,57	7,24	-140	0,2	21
1053	0	25,7	7,37	-136	0,2	22
1057	0,01	33,47	7,50	-175	0,2	27
1060	0	27,78	7,56	-180	0,2	28
1064	0	33,73	7,65	-214	0,2	30
1067	0	27,92	7,51	-169	0,2	25
1071	0	33,58	7,40	-160	0,1	26
1074	0	25,24	7,46	-81	0,18	25
1078	0	32,32	7,40	-99	0,1	23
1081	0	22,63	7,37	-38	0,1	25
1085	0	31,1	8,10	-7	0,1	28
1088	0	25,22	7,41	-36	0,1	24
1092	0	33,98	7,45	-45	0,1	24
1095	0,03	24,85	7,52	-15	0,1	23
1099	0	29,62	7,50	4	0,2	22
1102	0,02	20,06	8,14	122	0	23

Tabela A.3. Parâmetros monitorados do Lis3.

Dia	Volume	pH	Eh	T sol. (%)	Ti (°C)
1	0	0			22
3	32	3,61	201	5,52	22
6	61	3,53	205	5,00	23
8	40	3,67	195	4,99	17
10	27	3,7	192	4,90	15
13	34	3,65	198	5,29	16
15	29	3,55	204	5,78	18,5
17	33	3,55	203	5,59	19
20	54	3,48	207	5,76	22
22	32	3,5	205	5,99	22
24	67	3,48	202	6,15	17
27	62	3,55	201	5,66	18
29	33	3,51	202	5,77	18
31	30	3,5	206	5,67	18
34	62	3,52	205	5,66	22
36	36	3,5	209	5,80	24
38	51	3,36	212	5,80	22
41	101,8	3,47	206	5,70	21
43	61,41	3,48	208	5,87	21
45	55,29	3,49	208	5,81	22
48	77,39	3,52	206	6,15	24
50	67,74	3,6	201	6,08	22
52	75,52	3,5	205	6,24	22
55	297,15	3,52	205	6,26	19
57	124,41	3,54	204	5,39	18
59	81,41	3,5	208	4,81	19
62	66,87	3,62	199	4,55	24
64	59,55	3,53	204	4,47	22
66	93	3,51	206	4,37	21
71	237,59	3,92	183	3,29	21
73	125,82	3,55	204	3,48	22
76	128,96	3,54	204	2,99	19
78	179,17	3,48	208	2,68	19
80	79,49	3,51	207	2,29	21
83	52,82	3,75	195	1,69	23
85	30,31	3,61	203	1,50	24
87	50,11	3,55	205	1,68	24
90	189,95	3,52	208	1,10	24
92	59,85	3,53	205	0,70	23
94	66,24	3,5	206	0,79	22
97	206,13	3,63	201	0,40	23
99	27,08	3,63	201	0,69	25
101	22,66	3,76	192	0,60	24
104	115,8	3,53	204	0,79	22
106	35,09	3,64	202	0,70	25
108	19,99	3,85	187	0,60	25
111	50,2	3,93	183	0,60	24

Continua

Tabela A.3. Parâmetros monitorados do Lis3. Cont.

Dia	Volume	pH	Eh	T sol. (%)	Ti (°C)
113	78,31	3,55	205	0,60	22
115	53,93	3,58	203	0,60	24
118	54,73	3,68	196	0,60	25
120	35,6	3,67	197	0,70	26
122	482,52	3,53	205	0,40	24
125	106,77	4,03	175	0,30	23
129	112,23	4,24	164	0,40	21
132	71,53	4,3	160	0,30	23
136	76,83	4,15	169	0,30	22
139	193,03	3,9	185	0,30	22
141	111,79	3,55	203	0,40	23
143	83,05	3,6	200	0,40	22
146	81,82	4,27	163	0,20	24
148	52,63	3,81	190	0,10	25
150	46,67	4	178	0,20	24
153	77,55	4,26	163	0,20	23
155	55,83	4,02	176	0,20	23
157	63,87	3,94	182	0,20	24
160	90,59	4,23	164	0,20	22
162	73,41	3,87	185	0,10	21
164	73,76	3,98	179	0,10	25
167	54,56	4,66	140	0,10	23
169	39,41	4,79	132	0,10	24
171	30,71	4,85	128	0,20	25
174	100,96	4,33	158	0,20	21
176	68,87	4,28	161	0,10	22
178	53,58	4,37	155	0,10	23
181	76,3	4,44	152	0,20	23
183	50,98	4,29	161	0,10	24
185	40,09	4,69	137	0,20	25
192	225,72	5,74	76	0,20	19,5
195	95,23	4,47	150	0,10	23
197	57,26	4,48	149	0,20	26
199	57,96	4,3	156	0,20	22
202	111,97	4,17	168	0,20	22
204	58,78	4,43	153	0,10	26,5
206	58,99	4,3	159	0,10	24
209	113,18	4,09	171	0,10	22,5
211	81,93	4,33	157	0,10	24
213	84,29	4,05	173	0,10	23
216	118,34	4,08	169	0,10	22
218	83,37	3,94	179	0,10	24
220	74,06	4,11	169	0,10	22
223	89,55	4,52	147	0,10	25
225	68,13	4,27	160	0,10	22
227	66,25	4,39	154	0,10	23
230	75,28	5,27	34	0,10	23

Continua

Tabela A.3. Parâmetros monitorados do Lis3. Cont.

Dia	Volume	pH	Eh	T sol. (%)	Ti (°C)
232	52,87	4,84	87	0,10	23
237	123,11	5,33	43	0,10	24
239	53,76	4,71	170	0,10	23
241	58,62	4,42	125	0,10	23
244	79,51	4,92	28	0,10	25
248	107,57	4,87	52	0,10	24
251	72,44	4,94	-24	0,10	21
253	83,33	4,01	152	0,10	21
255	84,92	4,08	142	0,10	21
258	95,43	4,52	102	0,20	23
260	52,55	4,98	49	0,00	23
262	56,13	5,02	61	0,10	21
265	120,41	4,3	132	0,10	19
267	80,96	4,26	143	0,10	20
269	66,65	4,75	101	0,10	20
272	72,2	5,13	80	0,10	17
274	52,21	4,96	96	0,10	18
276	52,47	4,74	114	0,10	18,5
279	74,4	4,84	101	0,10	19
281	43,43	4,84	126	0,10	18
283	52,14	4,43	132	0,10	17
286	76,15	4,57	130	0,00	18
288	46,17	4,72	112	0,10	18
290	48,62	4,63	123	0,10	18
293	75,18	4,66	155	0,10	17
295	46,55	4,88	110	0,00	18
297	44,15	4,9	85	0,00	19
300	93,07	4,33	111	0,10	16
302	9,69	4,64	161	0,00	16
304	18,3	4,49	182	0,00	19
307	24,01	4,62	168	0,10	20
309	18,65	4,68	138	0,20	20
311	18,15	4,51	208	0,20	20
314	28,51	4,56	131	0,20	21
316	22,06	4,38	122	0,10	22
318	23,85	4,4	75	0,20	22
321	29,61	4,69	96	0,10	22
324	26,46	4,81	102	0,10	20
328	32,47	4,75	221		16
330	19	5,21	120		17
332	24,11	5,22	64	0,20	21
335	27,96	5,42	92	0,10	16
337	29,25	4,64	175	0,10	15
339	30,53	5,02	153	0,10	15
342	49,79	4,91	60		17
344	24,15	5,2	120	0,20	16
346	23,97	5,64	67	0,10	17

Continua

Tabela A.3. Parâmetros monitorados do Lis3. Cont.

Dia	Volume	pH	Eh	T sol. (%)	Ti (°C)
349	33,68	6,53	36	0,10	18
351	23,35	4,3	118	0,20	19
353	28,71	4,94	96	0,10	19
356	43,92	6,43	0	0,10	16
358	39,51	5,25	101	0,10	17
360	36,44	6,17	68	0,09	16
363	52,34	5,38	75	0,10	18
365	32,44	4,98	98	0,10	20
367	29,31	5,28	92	0,10	21
370	43,13	6,8	-50	0,10	23
372	29,59	4,54	78	0,10	22
374	40,39	4,39	72	0,20	21
377	68,69	4,58	107	0,00	19
379	37,86	5,74	24	0,00	21
381	36,45	5,52	86	0,00	23
384	56,04	6,78	-35	0,00	22
386	30,38	7,2	87	0,20	24
388	33,73	7,35	92	0,00	25
391	62,14	4,87	95	0,20	21
393	47,6	3,75	215	0,00	21
395	55,4	4,43	112	0,10	21
398	104,33	4,92	61	0,10	21
400	52,24	6,16	-21	0,00	24
402	41,17	6,36	72	0,10	25
405	92,06	5,27	58	0,00	25
407	63,62	6,17	32	0,00	25
409	127,63	4,95	119	0,00	20
412	221,47	4,64	144	0,00	19
414	137,61	4,68	131	0,00	20
416	123,07	4,73	128	0,00	17
419	153,46	4,76	123	0,00	21
421	76,73	5,32	124	0,00	22
423	57,59	6,54	93	0,00	22
426	66,53	6,84	87	0,00	22
428	28,15	5,41	146	0,00	20
430	38,96	5,87	104	0,10	19
433	58,88	6,83	97	0,10	23
435	32,73	5,9	95	0,00	20
437	38,07	4,66	167	0,00	20
442	82,89	4,84	183	0,00	20
444	27,01	5,01	162	0,10	
447	56,92	4,69	174	0,00	21
449	74,1	4,51	172	0,10	21
451	41,33	4,84	161	0,00	22
456	105,35	5,13	139	0,00	21
458	55,98	4,75	153	0,00	22
461	116,97	4,95	148	0,10	21

Continua

Tabela A.3. Parâmetros monitorados do Lis3. Cont.

Dia	Volume	pH	Eh	T sol. (%)	Ti (°C)
463	104,19	4,77	138	0,00	22
465	82,39	6,33	89	0,00	25
468	100,99	6,16	19	0,10	24
470	102,95	4,97	87	0,10	22
472	95,14	5,05	90	0,00	22
475	107,97	5,07	98	0,00	22
477	53,61	6,96	90	0,00	24
479	51,29	7,06	110	0,00	23
482	96,53	6,43	110	0,00	21
484	66,72	6,63	55	0,00	22
486	56,99	6,44	76	0,10	25
489	90,58	6,94	130	0,00	24
491	30,55	7,05	145	0,00	21
496	115,7	4,78	84	0,00	22
498	51,8	6,78	95	0,00	22
503	62,72	7,36	136	0,00	26
505	37,88	6,75	101	0,10	23
507	41,96	5,73	62	0,00	22
510	32,9	7,62	134	0,00	25
512	30,67	6,42	89	0,20	24
514	15,27	7,81	37	0,00	23
517	16	7,72	-51	0,10	25
519	10,99	8,05	143	0,00	23
521	12,42	7,69	137	0,00	23
524	51,85	6,58	135	0,00	23
526	31,06	6,18	121	0,10	23
528	77,15	4,88	93	0,10	20
531	104,61	4,64	100	0,10	22
533	64,95	6	79	0,11	24
535	70,51	6,67	37	0,00	23
542	228,39	7,36	155	0,00	23
545	78,64	6,98	88	0,00	23
547	58,85	6,35	99	0,00	22
549	53,09	6,53	59	0,00	24
552	81,12	6,78	79	0,10	24
554	49,45	6,86	127	0,00	26
556	48,8	7,46	114	0,00	25
559	82,5	5,14	119	0,10	23
561	57,77	6,54	84	0,00	25
563	56,23	5,88	123	0,10	22
566	90,97	6,39	72	0,00	23
568	73,95	6,5	80	0,00	24
570	81,43	6,61	73	0,00	26
573	110,86	5,1	63	0,10	26
575	83,79	5,03	65	0,00	24
577	88,14	5,04	91	0,00	24
580	108,1	4,96	56	0,00	25

Continua

Tabela A.3. Parâmetros monitorados do Lis3. Cont.

Dia	Volume	pH	Eh	T sol. (%)	Ti (°C)
582	58,39	6,77	75	0,00	23
587	146,88	4,79	66	0,10	21
589	64,85	7,05	99	0,00	23
591	50,54	6,96	120	0,00	24
594	55,73	7,2	103	0,00	27
596	29,42	5,8	121	0,20	23
598	30,8	7,79	87	0,00	26
601	46,33	7,52	117	0,00	25
603	36,77	7,31	91	0,10	27
605	30,39	7,57	49	0,00	26
608	47,02	7,45	131	0,00	25
610	32,83	6,97	126	0,00	25
612	39,86	6,95	43	0,00	24
616	89,38	6,08	66	0,00	24
619	74,79	6,84	26	0,10	19
623	95,51	6,38	51	0,00	18
626	62,2	7,34	43	0,00	20
630	74,67	7,29	38	0,00	23
633	51,81	7,06	25	0,20	25
637	52,47	7,66	52	0,00	27
640	28,24	7,84	53	0,00	26
644	90,32	6,33	58	0,10	22
647	32,27	7,37	80	0,00	21
651	51,15	7,33	34	0,00	24
654	30,9	7,62	78	0,10	25
658	48,01	7,32	79	0,10	23
661	37,75	7,28	87	0,00	24
665	46,13	7,42	67	0,00	25
668	29,82	7,99	71	0,00	23
672	28,47	7,67	87	0,00	21
675	32,72	7,42	85	0,00	20
679	36,29	7,55	68	0,00	21
682	24,68	7,81	56	0,00	23
686	31,76	7,53	61	0,00	23
689	23,64	7,49	72	0,00	16
693	45,25	7,65	85	0,00	18
696	53,59	7,46	53	0,00	21
700	12,37	6,93	67	0,10	20
703	13,32	7,13	43	0,00	20
707	24,75	7,62	99	0,00	19
710	18,54	8,03	52	0,00	20
714	28,06	7,6	54	0,00	23
717	17,52	7,81	50	0,00	23
721	21,58	7,97	53	0,00	22
724	15,38	8,04	58	0,00	20
728	23,99	7,93	48	0,00	24
731	15,25	7,99	53	0,00	22

Continua

Tabela A.3. Parâmetros monitorados do Lis3. Cont.

Dia	Volume	pH	Eh	T sol. (%)	Ti (°C)
735	20,32	7,94	49	0,00	22
738	13,53	8,5	45	0,00	19
742	23,16	7,98	37	0,00	24
745	14,12	7,53	42	0,00	23
749	15,18	8,06	103	0,00	21
752	14,86	8,82	109	0,00	18
756	25,4	7,93	58	0,00	17
759	15,47	8,14	75	0,00	21
763	19,42	8,16	35	0,00	19
766	14,89	8,04	64	0,00	19
770	17,76	8,41	160	0,00	16
773	14,75	8,05	68	0,00	19
777	21,48	8	52	0,00	21
780	13,1	8,21	74	0,00	21
784	17,56	8,15	68	0,00	22
787	12,79	8,11	113	0,00	27
791	12,8	8,12	82	0,00	24
794	11,9	8,11	79	0,00	21
798	19,17	7,79	56	0,10	22
800	11,48	8,11	54	0,00	23
805	23,21	7,73	58	0,00	19
808	29,06	7,55	39	0,00	21
812	24,55	8,05	121	0,00	23
815	14,2	8,22	105	0,00	18
820	38,87	8,08	109	0,00	25
822	9,86	8,33	168	0,00	20
826	27,06	8,09	83	0,00	24
829	18,79	8,04	59	0,00	24
833	28,59	8,06	102	0,00	23
836	25,35	7,84	82	0,00	22
840	35,97	7,83	133	0,10	23
843	22,64	7,93	64	0,00	21
847	23,62	8,09	64	0,00	20
850	19,9	8,17	55	0,00	23
854	20,45	8,27	46	0,00	23
857	16,43	8,15	35	0,00	24
861	21,06	8,05	105	0,00	23
864	19,54	8,06	57	0,00	23
868	21,59	8	52	0,00	21
871	17,64	8,01	46	0,00	21
875	24,36	8,06	37	0,00	27
878	23,84	7,98	41	0,00	26
882	25,44	8,1	35	0,00	28
885	24,32	7,91	55	0,00	25
889	32,16	7,77	143	0,00	24
892	39,37	7,65	75	0,00	24
896	63,2	7,33	26	0,00	23

Continua

Tabela A.3. Parâmetros monitorados do Lis3. Cont.

Dia	Volume	pH	Eh	T sol. (%)	Ti (°C)
899	49,1	7,55	134	0,00	24
903	43,49	7,78	113	0,00	27
906	45,29	7,54	99	0,00	24
910	73,82	6,97	50	0,00	23
913	55,46	7,46	62	0,10	23
917	55,68	7,58	101	0,00	23
920	37,55	7,52	169	0,00	23

Tabela A.4. Parâmetros monitorados do Lis4.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
1	0,00	0	0,00			22
3	0,00	30	3,60	201	6,34	22
6	0,00	60	3,35	216	5,31	23
8	0,00	38	3,52	204	5,89	17
10	0,00	49	3,47	206	5,79	15
13	0,00	36	3,52	206	5,59	16
15	0,00	24	3,44	210	5,99	18,5
17	0,00	20	3,57	202	5,88	19
20	0,00	43	3,50	206	5,91	22
22	0,00	32	3,51	204	5,90	22
24	0,00	48	3,48	206	6,27	17
27	0,00	48	3,53	202	5,67	18
29	0,00	27	3,54	201	5,88	18
31	0,00	31	3,54	203	5,78	18
34	0,00	52	3,53	204	5,72	22
36	0,00	37	3,57	206	5,97	24
38	0,00	33	3,56	202	5,88	22
41	0,00	99,3	3,52	204	6,06	21
43	0,00	51,31	3,53	206	5,97	21
45	0,00	45,59	3,49	208	4,28	22
48	0,07	63,84	3,55	205	3,88	24
50	0,06	53,8	3,54	204	5,88	22
52	0,10	58,4	3,52	204	3,88	22
55	4,04	435,37	3,53	204	5,22	19
57	5,43	314,04	3,56	203	1,8	18
59	5,93	215,85	3,63	200	2,1	19
62	4,55	101,8	3,71	193	1,42	25
64	4,35	53,95	3,62	199	2,07	22
66	5,35	78,12	3,60	201	1,74	21
71	6,09	165,04	4,08	172	1,63	21
73	5,95	67,86	3,56	203	2,02	22
76	5,60	81,52	3,68	196	1,44	19
78	4,59	145,67	3,55	204	2,53	19
80	3,87	78,15	3,55	205	2,18	21
83	3,45	45,24	4,12	171	1,1	23
85	3,77	30,96	4,06	176	0,9	25
87	3,21	44,9	3,61	201	1,1	24
90	2,24	112,44	3,51	208	0,90	24
92	2,40	34,84	3,64	208	0,9	23
94	2,00	31,5	3,64	199	0,8	22
97	1,85	45,73	3,65	200	0,8	23
99	1,89	21,72	3,99	180	0,7	25
101	1,84	24,84	3,74	193	0,7	24
104	1,70	49,88	3,99	178	0,6	22
106	1,57	23,09	3,78	193	0,7	25
108	1,41	21,39	3,84	187	0,6	25
111	1,36	35,6	4,37	157	0,6	24

Continua

Tabela A.4. Parâmetros monitorados do Lis4. Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
113	1,33	31,81	3,63	200		0,7 21
115	1,22	30,14	3,76	193		0,6 25
118	1,22	43,53	4,53	147		0,5 25
120	1,09	29,5	3,76	191		0,61 26
122	1,24	100,71	3,64	199		0,8 24
125	1,26	78,95	4,05	174		0,7 23
129	1,46	183,06	3,74	193		0,6 21
132	1,98	299,28	3,62	199		0,4 23
136	1,07	613,56	3,72	193		0,2 22
139	1,17	275,84	3,61	202		0,3 22
141	0,99	65,05	3,64	198		0,3 23
143	1,10	63,62	3,68	195		0,4 22
146	0,91	88,71	4,01	178		0,3 25
148	0,89	33,92	3,67	198		0,29 25
150	0,94	33,77	3,94	182		0,29 24
153	0,97	63,77	4,21	166		0,31 22
155	0,98	50,96	3,68	196		0,3 22
157	0,98	54	3,70	195		0,26 23
160	0,87	69,21	4,39	154		0,4 22
162	0,85	61,44	3,64	198		0,2 21
164	0,67	78,59	3,71	194		0,2 24
167	0,68	72,68	4,27	162		0,2 23
169	0,77	37,16	4,02	176		0,3 24
171	0,71	39,95	3,99	177		0,3 24
174	0,66	122,27	3,75	191		0,1 21
176	0,50	162,86	3,62	198		0,2 22
178	0,43	123,23	3,77	190		0,1 22
181	0,51	90,89	3,91	182		0,1 23
183	0,53	48,52	3,99	178		0,1 24
185	0,53	22,53	5,43	95		0,1 25
192	0,52	133,22	4,78	131		0,2 19
195	0,54	67,49	4,18	167		0,2 23
197	0,57	40,68	4,07	173		0,1 26
199	0,52	24,31	4,27	159		0 22
202	0,45	101,97	3,75	192		0 22
204	0,47	43,58	4,23	165		0,12 26
206	0,52	31,98	4,25	162		0,25 24
209	0,47	61,38	4,11	170		0,185 23
211	0,52	39,14	4,04	174		0,11 23,5
213	0,55	33,94	4,20	164		0,13 23
216	0,51	36,27	4,56	141		0,09 22
218	0,52	50,87	3,84	185		0,1 24
220	0,44	47,94	4,11	169		0,2 21
223	0,45	50,35	4,43	152		0,1 24
225	0,39	26,84	4,46	153		0,2 22
227	0,48	37,13	4,40	151		0,08 23
230	0,49	49,49	4,43	160		0,2 22

Continua

Tabela A.4. Parâmetros monitorados do Lis4.
Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
232	0,43	43,73	4,18	136	0,2	22
237	0,34	188,51	4,37	170	0,1	24
239	0,26	55,83	4,43	150	0,1	24
241	0,32	54,47	4,25	165	0,11	23
244	0,30	107,46	4,48	188	0,1	25
248	0,30	156,26	4,48	190	0,1	23,5
251	0,33	48,91	5,06	179	0,15	21
253	0,38	43,94	4,57	103	0,07	21
255	0,36	57,84	4,46	183	0	21
258	0,33	65,31	4,75	34	0,07	23
260	0,32	56,12	4,65	220	0	23
262	0,31	62,94	4,55	56	0,08	21
265	0,30	105,45	4,41	46	0,1	18,5
267	0,24	83,36	4,37	250	0	19
269	0,20	94,81	4,42	110	0,1	20
272	0,20	153,51	4,39	140	0,1	17
274	0,21	66,19	4,45	106	0,06	19
276	0,26	55,68	4,35	115	0,1	18,5
279	0,22	79,11	4,47	98	0,1	18
281	0,23	47,41	4,43	149	0,08	18
283	0,25	47,36	4,40	146	0	17
286	0,18	93,94	4,52	102	0,1	19
288	0,18	93,13	4,43	112	0,1	18
290	0,14	100,85	4,42	107	0	18
293	0,16	160,25	4,48	148	0,1	17
295	0,11	156,04	4,49	105	0	18
297	0,15	136,16	4,46	141	0,1	19
300	0,19	125,42	4,63	111	0	16
302	0,16	83,21	4,39	124	0,1	16
304	0,19	91,1	4,38	136	0	19
307	0,18	86,28	4,45	154	0	20
309	0,18	81,55	4,33	132	0	20
311	0,19	60,02	4,31	154	0	20
314	0,18	80,17	4,41	120	0	21
316	0,19	78,45	4,34	119	0	22
318	0,20	69,31	4,41	95	0	22
321	0,27	59,41	4,48	141	0	23
324	0,23	128,52	4,44	103	0,1	20,5
328	0,30	113,39	4,54	144	0	16
330	0,39	97,92	4,42	165	0	17
332	0,34	57,6	4,45	178	0,1	21
335	0,29	32,03	5,20	180	0	16
337	0,30	73,64	4,45	202	0	15
339	0,31	74,13	4,45	193	0	14
342	0,28	99,35	4,47	103	0	17
344	0,24	77,07	4,46	141	0	16
346	0,27	61,87	4,44	152	0	17

Continua

Tabela A.4. Parâmetros monitorados do Lis4.
Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
349	0,27	58,85	4,50	166	0	18
351	0,25	32,13	4,39	145	0,08	19
353	0,23	21,2	4,44	161	0	19
356	0,24	23,37	4,55	144	0,12	16
358	0,27	50,95	4,37	159	0	16
360	0,29	34,59	4,43	163	0,11	16
363	0,33	75,66	4,39	124	0,1	18
365	0,33	19,58	4,51	128	0	19
367	0,31	16,39	4,42	142	0,1	20
370	0,22	23,43	4,52	119	0	23
372	0,23	14,55	4,49	112	0	22
374	0,26	19,22	4,35	159	0	20
377	0,31	37,51	4,60	138	0	19
379	0,31	20,88	4,37	155	0	21
381	0,27	20,83	4,34	149	0	23
384	0,24	25,53	4,36	110	0,1	22
386	0,26	12,44	4,43	141	0,1	24
388	0,17	14,38	4,43	123	0	26
391	0,23	24,94	4,38	93	0,2	20
393	0,20	22,85	4,19	165	0	20
395	0,28	23,28	4,64	107	0	21
398	0,21	38,22	5,24	92	0	21
400	0,23	19,51	6,15	97	0	25
402	0,16	14,15	7,27	116	0	25
405	0,06	22,42	6,91	87	0	25
407	0,11	13,55	7,04	73	0	25
409	0,32	32,35	5,14	114	0	20
412	0,42	86,72	5,51	31	0	19
414	0,50	64,74	5,50	80	0,07	20
416	0,46	73,6	5,80	70	0	17
419	0,45	112,4	5,66	71	0	21
421	0,41	62,57	5,28	85	0,08	22
423	0,33	50,43	6,19	65	0	22
426	0,34	105,52	6,07	107	0	22
428	0,39	91,47	5,89	108	0	21
430	0,37	98,2	5,74	66	0	19
433	0,49	140,23	4,90	86	0,1	23
435	0,43	101,24	4,79	88	0	20
437	0,34	121,94	4,93	104	0	20
442	0,25	262,33	6,40	101	0	21
444	0,16	53,58	6,25	161	0	
447	0,31	85,42	5,40	116	0	21
449	0,45	84,61	5,23	100	0	21
451	0,30	83,31	5,32	93	0	22
456	0,42	196,68	4,85	82	0	21
458	0,27	99,38	5,44	116	0,1	22
461	0,29	127,68	5,58	98	0	21

Continua

Tabela A.4. Parâmetros monitorados do Lis4.
Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
463	0,29	79,01	5,96	96	0,1	22
465	0,17	76,13	6,72	113	0,1	25
468	0,14	76,05	6,55	89	0	24
470	0,21	59,12	6,26	99	0	22
472	0,26	68,96	6,18	89	0	22
475	0,36	106,77	5,41	77	0	21
477	0,37	66,62	6,29	77	0	24
479	0,22	64,83	6,62	157	0	23
482	0,36	97,04	5,24	99	0	21
484	0,39	64,51	6,14	86	0	22
486	0,19	63,79	6,62	116	0	26
489	0,32	95,23	5,70	28	0	24
491	0,24	65,12	6,57	95	0	22
496	0,35	142,51	5,01	48	0	22
498	0,30	52,02	6,38	95	0	22
503	0,42	140,49	5,05	16	0	26
505	0,26	56,49	6,64	99	0	23
507	0,13	53,67	6,78	56	0	22
510	0,14	82,58	6,58	97	0	25
512	0,20	48,55	6,92	92	0	24
514	0,15	50,8	6,93	61	0	23
517	0,22	74,9	5,82	-13	0	25
519	0,26	52,89	6,96	118	0	23
521	0,19	50,27	7,03	146	0	23
524	0,17	79,56	6,88	141	0	23
526	0,14	55,45	6,81	136	0	23
528	0,32	73,16	5,20	12	0	20
531	0,42	92,08	4,98	68	0	22
533	0,20	55,55	6,18	64	0	24
535	0,16	54,07	6,53	74	0	23
542	0,11	172,09	7,35	174	0	23
545	0,10	78,13	6,96	120	0	23
547	0,09	51,24	6,94	121	0	22
549	0,10	51,26	6,83	97	0	24
552	0,10	69,78	6,78	118	0	24
554	0,11	43,58	6,94	147	0	26
556	0,13	34,13	7,49	167	0	25
559	0,09	40,4	7,06	137	0	23
561	0,09	35,61	7,21	134	0	25
563	0,13	33,22	6,68	141	0	22
566	0,17	61,27	5,95	84	0	23
568	0,20	40,36	6,56	93	0	24
570	0,14	35,77	6,84	125	0	26
573	0,13	40,3	6,78	92	0	26
575	0,12	24,13	6,92	116	0	24
577	0,16	35,19	6,81	107	0	24
580	0,17	48,25	6,28	44	0	25

Continua

Tabela A.4. Parâmetros monitorados do Lis4.
Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
582	0,16	36,89	7,08	126	0,15	23
587	0,31	102,36	5,05	52	0,1	21
589	0,33	45,49	6,54	86	0	23
591	0,16	35,54	7,00	142	0	24
594	0,12	39,23	7,03	121	0	27
596	0,10	26,84	7,15	137	0	23
598	0,09	30,3	7,48	110	0	26
601	0,10	38,3	7,45	125	0,12	25
603	0,06	22,56	7,33	90	0,14	27
605	0,11	21,42	7,35	92	0,1	26
608	0,09	35,54	7,59	128	0	25
610	0,08	24,71	7,19	130	0,1	25
612	0,10	24,73	7,13	108	0,1	24
616	0,13	48,21	6,72	163	0	24
619	0,10	49,18	7,26	77	0	19
623	0,14	73,07	6,15	59	0,1	18
626	0,17	52,82	6,93	30	0	20
630	0,09	62,81	6,64	70	0	22
633	0,11	42,62	6,88	102	0	24
637	0,09	42,75	7,06	108	0	25
640	0,08	28,22	7,29	99	0	25
644	0,07	43,34	6,99	74	0,12	21
647	0,06	34,85	6,89	125	0	19
651	0,08	41,24	7,01	106	0,17	23
654	0,08	27,97	7,05	136	0	23
658	0,07	36,03	7,01	119	0	22
661	0,03	25,67	7,09	120	0	19
665	0,04	31,17	6,90	112	0	24
668	0,06	23,62	7,65	166	0	22
672	0,06	29,42	6,95	130	0	20
675	0,04	29,28	7,14	124	0	18
679	0,05	34,2	6,92	116	0	20
682	0,16	24,16	7,33	67	0	22
686	0,06	25,47	7,15	100	0	22
689	0,02	25,35	7,37	116	0	16
693	0,11	46,14	7,45	123	0	17
696	0,06	43,85	7,23	105	0	20
700	0,00	13,27	6,73	93	0	19
703	0,00	13,03	7,13	113	0	21
707	0,00	24,87	7,30	134	0	18
710	0,05	21,28	7,27	110	0	19
714	0,04	23,83	7,17	102	0,12	22
717	0,04	16,73	7,40	82	0	22
721	0,07	21,73	7,36	102	0	21
724	0,05	19,47	7,34	125	0	19
728	0,04	24,63	7,39	98	0	23
731	0,00	15,42	7,64	96	0	24

Continua

Tabela A.4. Parâmetros monitorados do Lis4.
Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
735	0,08	22,21	7,55	95	0	22
738	0,00	16,07	8,14	126	0	19
742	0,05	25,99	7,41	102	0	24
745	0,05	14,81	7,23	94	0	23
749	0,05	23,3	7,62	117	0	21
752	0,06	24,96	7,14	124	0	18
756	0,06	27,98	7,13	121	0	17
759	0,03	28,66	7,53	137	0	21
763	0,04	28,74	6,38	99	0	19
766	0,02	18,85	7,60	107	0	19
770	0,05	24,35	7,59	159	0	16
773	0,05	24,74	7,48	117	0	19
777	0,03	25,75	7,38	104	0	21
780	0,04	15,36	7,75	101	0	21
784	0,13	17,24	7,88	101	0	22
787	0,10	14,09	7,71	126	0	27
791	0,00	23,15	7,50	134	0	24
794	0,06	32,9	7,14	157	0	21
798	0,09	42,02	7,12	106	0,16	22
800	0,06	16,97	7,24	107	0	23
805	0,09	46,97	7,09	108	0	19
808	0,10	48,01	6,91	46	0	21
812	0,05	49,63	7,31	137	0	23
815	0,05	46,8	7,13	123	0	18
820	0,21	78,44	6,19	10	0,1	25
822	0,15	18,57	7,50	151	0	20
826	0,08	38,38	7,58	113	0	24
829	0,05	31,33	7,33	101	0,09	24
833	0,06	54,51	6,65	13	0	23
836	0,06	41,07	7,31	116	0	22
840	0,05	54,94	6,81	124	0	23
843	0,04	39,59	7,42	98	0	21
847	0,06	46,58	6,98	101	0	20
850	0,05	35,5	7,65	80	0	23
854	0,10	45,15	7,08	83	0	23
857	0,05	36,59	7,46	87	0	24
861	0,08	38,85	7,39	204	0	23
864	0,03	33,08	7,44	99	0	23
868	0,04	35,66	7,36	98	0	21
871	0,01	30,86	7,40	104	0,1	21
875	0,03	37,02	7,48	93	0	27
878	0,02	28,93	7,33	97	0,12	26
882	0,05	34,22	7,37	94	0	28
885	0,06	32,32	7,36	113	0	25
889	0,11	38,81	7,29	70	0	24
892	0,06	43,88	7,27	111	0	24
896	0,06	64,78	6,51	-53	0	23

Continua

Tabela A.4. Parâmetros monitorados do Lis4.
Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
899	0,06	37,55	7,30	157	0,14	24
903	0,10	35,11	7,49	138	0	27
906	0,06	42,91	7,37	130	0	24
910	0,05	58,4	6,88	83	0	23
913	0,06	41,07	7,25	122	0	23
917	0,08	52,2	7,18	180	0	23
920	0,07	36,38	7,34	177	0	23

Tabela A.5. Parâmetros monitorados do Lis5.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
1	0,00	0				
2	0,00	17,74	3,65	97	3,68	17
5	0,00	49,7	3,57	39	4,17	19
7	0,00	42,1	3,67	77	3,88	19
9	0,00	34,02	3,74	67	3,88	18
12	0,00	83,08	3,64	35	3,95	17
14	0,00	122,69	3,6	11	4,62	18
16	0,00	59,21	3,63	42	4,69	20
19	0,17	286,83	3,63	50	4,16	16
21	0,14	64,31	3,67	103	3,85	17
23	0,08	33,43	3,63	42	4,11	20
26	0,07	40,72	3,63	31	3,67	21
28	0,09	49,25	3,61	13	4,03	21
30	0,08	50,88	3,42	29	3,86	21
33	0,09	79,65	3,84	9	3,96	21
35	0,13	103,98	3,53	10	3,94	23
37	0,30	121,65	3,65	46	3,92	23
40	0,16	98,78	3,65	33	4,06	23
43	0,14	107,32	3,58	23	3,74	21
47	0,47	273,86	4,14	1	2,89	16
49	1,13	200,3	3,58	94	2,38	18
51	0,70	22,98	6,23	-74	1,42	21
54	0,43	186,98	4,22	25	1,4	16
56	0,60	148,82	3,84	63	2,59	15
58	0,52	93,55	3,82	68	2,5	15
61	0,39	110,23	3,82	-60	1,3	17
63	0,31	71,13	4,17	69	2,49	17
65	0,43	44,1	3,79	27	2,11	16
68	0,32	78,04	3,86	-162	1,21	18
70	0,26	31,88	4,3	16	2,16	20
72	0,18	20,43	3,82	53	2	19
75	0,23	31,31	4,56	4	1,73	16
77	0,23	36,45	4,19	1	1,89	17
79	0,18	23,19	3,82	94	1,92	17
82	0,37	47,91	4,61	21	1,3	18
84	0,84	33,16	5,45	-387	1,15	20
86	0,63	31,91	4,32	-432	1,64	21
89	0,42	39,92	4,05	12	1,62	23
91	0,28	24,52	4,22	-25	1,4	21
93	0,22	31,18	4,13	-47	1,48	21
96	0,16	34,04	4,04	46	1,31	19
98	0,29	43,2	4,24	-40	1,18	21
100	0,56	68,94	4,12	48	1,12	23
103	0,85	148,44	4,53	-79	0,8	23
105	0,70	51,58	4,31	22	0,91	24
107	0,67	82,44	4,23	0	0,81	25
110	0,33	63,97	4,33	-2	0,88	19

Continua

Tabela A.5. Parâmetros monitorados do Lis5. Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
112	0,63	251	4	21	0,4	20
114	0,49	24,2	4,35	31	0,6	21
117	0,21	32,55	4,36	30	0,74	21
119	0,35	59,31	4,26	37	0,56	25
121	0,34	67,71	4,3	25	0,4	25
124	0,25	53,79	4,37	-34	0,6	26
126	0,28	72,04	4,26	39	0,4	20
128	0,32	116,52	4,16	67	0,5	19
131	0,19	55,04	4,52	52	0,4	19
133	0,14	34,81	4,55	33	0,41	19
135	0,12	24,71	4,58	51	0,38	16
138	0,20	120,29	4,39	-66	0,25	21
140	0,29	132,21	5,25	-28	0,31	23
142	0,19	52,32	4,49	0	0,31	20
145	0,25	86,81	4,64	44	0,3	22
147	0,31	98,68	4,36	57	0,21	21
149	0,28	96,58	4,35	29	0,3	19
152	0,33	111,51	4,5	-154	0,2	23
154	0,35	76,98	4,36	29	0,3	20
156	0,35	71,94	4,69	-8	0,29	20
161	0,35	151,36	6,65	-58	0,27	22
163	0,50	122,93	4,67	19	0,39	
166	0,40	98,89	5,34	-35	0,3	21
168	0,37	105,65	4,67	-25	0,2	21
170	0,40	90,48	5,79	-146	0,3	21
175	0,27	88,98	6,75	-25	0,2	21
177	0,32	108,54	4,8	-42	0,4	22
180	0,29	86,28	6,45	-239	0,24	21
182	0,58	101,61	5,69	-163	0,21	21
184	0,33	55,96	7,25	-57	0,1	25,5
187	0,45	110,15	6,55	-230	0,21	24
189	1,61	174,14	5,73	-91	0,2	22
191	1,85	163,06	5,19	11	0,2	22
194	1,40	120,09	5,82	-176	0,1	23
196	1,53	71,77	6,84	-183	0	24
198	1,78	68,64	7,05	-141	0,08	23
201	1,46	89,97	6,72	-91	0,1	20
203	1,29	84,24	6,74	20	0,1	22
205	1,29	57,48	7,47	-20	0	26
208	1,06	72,17	7,25	-8	0,2	24
210	0,85	70,75	6,96	7	0,2	22
215	0,80	97,05	7,48	-21	0,1	22
217	0,58	61,31	6,94	9	0	22
222	0,51	88,9	6,9	4	0,2	26
224	0,36	27,98	7,1	-40	0	23
226	0,40	31,87	7,38	-17	0,08	23
229	0,42	41,5	7,53	-24	0,09	25

Continua

Tabela A.5. Parâmetros monitorados do Lis5. Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
231	0,34	27,01	7,68	-34	0	23
233	0,45	32,36	7,58	-27	0	23
236	0,39	47,44	7,48	-22	0,14	24
238	0,50	48,88	7,34	-14	0	23
240	0,40	33,96	7,62	-29	0	22
243	0,36	61,54	7,38	-17	0	22
245	0,32	41,29	6,82	-41	0	24
247	0,28	69,68	6,98	5	0	20
250	0,29	48,01	7,14	-3	0,13	21
252	0,33	31,34	8,03	-53	0	24
254	0,34	42	7,42	-18	0	23
261	0,17	375,01	7,63	-30	0	23
264	0,17	142,1	7,06	2	0	23
266	0,09	203,78	5,61	83	0	22
268	0,19	129,18	6,16	52	0	24
271	0,38	103,59	7,31	-12	0	21
273	0,38	69,42	7,07	1	0,1	25
275	0,40	49,81	7,28	-11	0,1	23
278	0,28	81,38	7,42	-78	0,1	23
280	0,31	73,29	7,19	-115	0	25
282	0,34	60,67	7,11	-1	0	22
285	0,39	78,65	7,51	82	0,1	23
287	0,38	50,2	7,21	78	0,1	24
289	0,38	34,18	7,46	97	0,1	27
292	0,34	53,98	8,04	120	0,1	26
294	0,28	34,18	7,48	104	0	24
296	0,24	41,59	7,38	95	0	24
299	0,21	79,9	7,69	101	0	25
301	0,18	60,82	7,18	127	0	23
306	0,21	193,45	7,76	132	0	22
308	0,19	122,35	7,15	34	0	23
310	0,13	96,72	6,85	-122	0	25
313	0,23	78,68	7,19	38	0	27
315	0,35	79,57	7,47	-56	0	23
317	0,34	51,64	7,33	53	0,16	26
320	0,34	52,61	7,46	104	0,14	25
322	0,41	38,82	7,43	51	0,12	27
324	0,41	43,47	7,45	90	0	26
327	0,31	55,89	7,93	118	0	25
329	0,31	59,01	7,32	104	0	25
331	0,28	58,81	7,19	127	0	25
335	0,24	100,95	7,02	-66	0	23
338	0,24	92,55	7,17	-26	0,1	19
342	0,25	131,62	6,63	-54	0	19
345	0,29	108	6,89	-68	0	20
349	0,26	117,09	7,07	-73	0	22
352	0,31	73,84	7,32	101	0	23

Continua

Tabela A.5. Parâmetros monitorados do Lis5. Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
356	0,27	112,97	7,41	53	0	25
359	0,30	68,37	7,27	111	0	25
363	0,22	110,57	7,44	137	0	20
366	0,30	85,16	7,07	134	0	21
370	0,35	113,59	7,24	-40	0	24
373	0,37	89,28	7,08	126	0	24
377	0,31	116,77	7,3	54	0	22
380	0,27	87,8	7,13	138	0	24
384	0,31	106,02	6,98	108	0	24
387	0,30	84,48	7,25	155	0	22
391	0,31	155,17	6,51	-95	0	20
394	0,46	79,32	7,09	134	0	19
398	0,41	120,95	6,85	-14	0	20
401	0,57	93,23	6,83	-45	0	22
405	0,53	119,18	6,76	19	0	21
408	0,69	90,57	7,12	37	0	15
412	0,73	111,98	7,34	53	0	17
415	0,88	157,21	7,17	42	0	21
419	0,69	40,51	6,92	51	0	19
422	0,67	44,92	7,56	23	0	21
426	0,47	135,43	6,68	0	0	17
429	0,64	80,53	6,71	102	0	19
433	0,54	108,47	6,74	1	0	22
436	0,65	78,83	6,78	122	0	21
440	0,59	106,94	6,87	15	0	21
443	0,69	66,75	7,13	143	0	18
447	0,81	91,93	7,15	12	0	22
450	0,65	86,63	6,72	58	0	22
454	0,51	121,85	6,76	-1	0,1	23
457	0,61	80,75	6,61	206	0,1	20
461	0,70	104,55	7,25	-14	0	25
464	0,76	85,97	7,12	-34	0,1	24
468	0,80	113,88	6,78	30	0	21
471	0,88	75,06	6,86	143	0	19
475	0,79	105,1	7,23	157	0,1	19
478	0,87	71,84	7,09	194	0	21
482	0,79	170,35	6,32	25	0,1	20
485	0,75	135,55	6,34	33	0	20
489	0,72	114,36	6,84	88	0	17
492	0,82	64,74	6,02	141	0	19
496	0,74	114,47	6,82	17	0	22
499	0,80	84,86	7,23	140	0	22
503	0,87	123,04	6,92	-9	0,1	23
506	0,93	97,8	6,77	105	0	29
510	1,25	149,58	6,81	0	0	24
513	0,97	94,28	6,77	159	0	24
517	0,98	109,05	6,82	115	0	22

Continua

Tabela A.5. Parâmetros monitorados do Lis5. Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
519	1,16	72,91	6,92	118	0,1	23
524	1,18	167,62	6,46	88	0	19
527	0,92	80,03	6,97	102	0	22
531	1,03	115,63	7,07	171	0	23
534	0,83	77,89	7,14	162	0	18
539	0,86	142,1	7,14	162	0	25
541	0,75	61,88	7,2	170	0	22
545	0,87	130,98	7,01	73	0	25
548	0,78	107,47	6,88	118	0	25
552	0,86	120,87	7,03	171	0	23
555	0,82	98,53	6,93	135	0	22
559	0,68	132,48	7,47	61	0	24
562	0,65	99,23	6,9	127	0	22
566	0,54	142,75	7,1	114	0	20
569	0,59	93,1	7,09	123	0	23
573	0,64	138,38	7,1	29	0	22
576	0,66	116,87	6,83	105	0	24
580	0,80	179,02	6,91	92	0,1	22
583	0,58	113,08	6,85	123	0	22
587	0,77	190,89	6,48	4	0	21
590	0,60	117,59	6,77	127	0	22
594	0,71	151,48	6,79	117	0	27
597	0,64	112,18	6,86	115	0	28
601	0,77	146,16	6,9	120	0,1	30
604	0,71	99,73	7,01	138	0,1	25
608	0,67	125,23	7,45	116	0	26
611	0,61	93,26	7,02	124	0	25
615	0,67	116,1	7,25	152	0	23
618	0,50	83,77	7,19	177	0	25
622	0,34	138,03	6,81	-15	0	28
625	0,40	95,01	7,12	150	0,1	24
629	0,39	129,7	7,2	169	0	24
632	0,42	92,26	7,09	141	0	23
636	0,34	123,15	6,83	148	0	22
639	0,40	69,61	7,15	184	0	23

Tabela A.6. Parâmetros monitorados do Lis6.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
1	0,00	0				
2	0,00	17,74	3,65	97	3,68	18
5	0,00	49,7	3,57	39	4,17	18
7	0,00	42,1	3,67	77	3,88	19
9	0,00	34,02	3,74	67	3,88	18
12	0,00	83,08	3,64	35	3,95	17
14	0,00	122,69	3,6	11	4,62	18
16	0,00	59,21	3,63	42	4,69	20
19	0,17	286,83	3,63	50	4,16	16
21	0,14	64,31	3,67	103	3,85	17
23	0,08	33,43	3,63	42	4,11	20
26	0,07	40,72	3,63	31	3,67	21
28	0,09	49,25	3,61	13	4,03	21
30	0,08	50,88	3,42	29	3,86	21
33	0,09	79,65	3,84	9	3,96	21
35	0,13	103,98	3,53	10	3,94	23
37	0,30	121,65	3,65	46	3,92	23
40	0,16	98,78	3,65	33	4,06	23
43	0,14	107,32	3,58	23	3,74	21
47	0,47	273,86	4,14	1	2,89	16
49	1,13	200,3	3,58	94	2,38	18
51	0,70	22,98	6,23	-74	1,42	21
54	0,43	186,98	4,22	25	1,4	16
56	0,60	148,82	3,84	63	2,59	15
58	0,52	93,55	3,82	68	2,5	15
61	0,39	110,23	3,82	-60	1,3	17
63	0,31	71,13	4,17	69	2,49	17
65	0,43	44,1	3,79	27	2,11	17
68	0,32	78,04	3,86	-162	1,21	18
70	0,26	31,88	4,3	16	2,16	19
72	0,18	20,43	3,82	53	2	19
75	0,23	31,31	4,56	4	1,73	16
77	0,23	36,45	4,19	1	1,89	16
79	0,18	23,19	3,82	94	1,92	17
82	0,37	47,91	4,61	21	1,3	18
84	0,84	33,16	5,45	-387	1,15	20
86	0,63	31,91	4,32	-432	1,64	21
89	0,42	39,92	4,05	12	1,62	23
91	0,28	24,52	4,22	-25	1,4	21
93	0,22	31,18	4,13	-47	1,48	20
96	0,16	34,04	4,04	46	1,31	19
98	0,29	43,2	4,24	-40	1,18	21
100	0,56	68,94	4,12	48	1,12	23
103	0,85	148,44	4,53	-79	0,8	23
105	0,70	51,58	4,31	22	0,91	24
107	0,67	82,44	4,23	0	0,81	25
110	0,33	63,97	4,33	-2	0,88	20

Continua

Tabela A.6. Parâmetros monitorados do Lis6. Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
112	0,63	251	4	21	0,4	21
114	0,49	24,2	4,35	31	0,6	21
117	0,21	32,55	4,36	30	0,74	21
119	0,35	59,31	4,26	37	0,56	25
121	0,34	67,71	4,3	25	0,4	25
124	0,25	53,79	4,37	-34	0,6	26
126	0,28	72,04	4,26	39	0,4	20
128	0,32	116,52	4,16	67	0,5	19
131	0,19	55,04	4,52	52	0,4	19
133	0,14	34,81	4,55	33	0,41	19
135	0,12	24,71	4,58	51	0,38	16
138	0,20	120,29	4,39	-66	0,25	21
140	0,29	132,21	5,25	-28	0,31	22
142	0,19	52,32	4,49	0	0,31	21
145	0,25	86,81	4,64	44	0,3	22
147	0,31	98,68	4,36	57	0,21	21
149	0,28	96,58	4,35	29	0,3	19
152	0,33	111,51	4,5	-154	0,2	23
154	0,35	76,98	4,36	29	0,3	20
156	0,35	71,94	4,69	-8	0,29	20
161	0,35	151,36	6,65	-58	0,27	22,5
163	0,50	122,93	4,67	19	0,39	
166	0,40	98,89	5,34	-35	0,3	21
168	0,37	105,65	4,67	-25	0,2	21
170	0,40	90,48	5,79	-146	0,3	21
175	0,27	88,98	6,75	-25	0,2	21
177	0,32	108,54	4,8	-42	0,4	22
180	0,29	86,28	6,45	-239	0,24	21
182	0,58	101,61	5,69	-163	0,21	22
184	0,33	55,96	7,25	-57	0,1	25
187	0,45	110,15	6,55	-230	0,21	24
189	1,61	174,14	5,73	-91	0,2	22
191	1,85	163,06	5,19	11	0,2	22
194	1,40	120,09	5,82	-176	0,1	23
196	1,53	71,77	6,84	-183	0	24
198	1,78	68,64	7,05	-141	0,08	22
201	1,46	89,97	6,72	-91	0,1	20
203	1,29	84,24	6,74	20	0,1	22
205	1,29	57,48	7,47	-20	0	25
208	1,06	72,17	7,25	-8	0,2	24
210	0,85	70,75	6,96	7	0,2	22
215	0,80	97,05	7,48	-21	0,1	22
217	0,58	61,31	6,94	9	0	22
222	0,51	88,9	6,9	4	0,2	26
224	0,36	27,98	7,1	-40	0	23
226	0,40	31,87	7,38	-17	0,08	23
229	0,42	41,5	7,53	-24	0,09	25

Continua

Tabela A.6. Parâmetros monitorados do Lis6.
Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
231	0,34	27,01	7,68	-34	0	24
233	0,45	32,36	7,58	-27	0	23
236	0,39	47,44	7,48	-22	0,14	25
238	0,50	48,88	7,34	-14	0	23
240	0,40	33,96	7,62	-29	0	22
243	0,36	61,54	7,38	-17	0	23
245	0,32	41,29	6,82	-41	0	22
247	0,28	69,68	6,98	5	0	20
250	0,29	48,01	7,14	-3	0,13	22
252	0,33	31,34	8,03	-53	0	23
254	0,34	42	7,42	-18	0	23
261	0,17	375,01	7,63	-30	0	23
264	0,17	142,1	7,06	2	0	22
266	0,09	203,78	5,61	83	0	22
268	0,19	129,18	6,16	52	0	24
271	0,38	103,59	7,31	-12	0	24
273	0,38	69,42	7,07	1	0,1	25
275	0,40	49,81	7,28	-11	0,1	23
278	0,28	81,38	7,42	-78	0,1	23
280	0,31	73,29	7,19	-115	0	25
282	0,34	60,67	7,11	-1	0	22
285	0,39	78,65	7,51	82	0,1	23
287	0,38	50,2	7,21	78	0,1	24
289	0,38	34,18	7,46	97	0,1	27
292	0,34	53,98	8,04	120	0,1	26
294	0,28	34,18	7,48	104	0	24
296	0,24	41,59	7,38	95	0	24
299	0,21	79,9	7,69	101	0	25
301	0,18	60,82	7,18	127	0	23
306	0,21	193,45	7,76	132	0	22
308	0,19	122,35	7,15	34	0	23
310	0,13	96,72	6,85	-122	0	25
313	0,23	78,68	7,19	38	0	27
315	0,35	79,57	7,47	-56	0	23
317	0,34	51,64	7,33	53	0,16	26
320	0,34	52,61	7,46	104	0,14	25
322	0,41	38,82	7,43	51	0,12	27
324	0,41	43,47	7,45	90	0	26
327	0,31	55,89	7,93	118	0	25
329	0,31	59,01	7,32	104	0	25
331	0,28	58,81	7,19	127	0	25
335	0,24	100,95	7,02	-66	0	23
338	0,24	92,55	7,17	-26	0,1	19
342	0,25	131,62	6,63	-54	0	19
345	0,29	108	6,89	-68	0	20
349	0,26	117,09	7,07	-73	0	22
352	0,31	73,84	7,32	101	0	23

Continua

Tabela A.6. Parâmetros monitorados do Lis6.
Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
356	0,27	112,97	7,41	53	0	25
359	0,30	68,37	7,27	111	0	25
363	0,22	110,57	7,44	137	0	20
366	0,30	85,16	7,07	134	0	21
370	0,35	113,59	7,24	-40	0	24
373	0,37	89,28	7,08	126	0	24
377	0,31	116,77	7,3	54	0	22
380	0,27	87,8	7,13	138	0	24
384	0,31	106,02	6,98	108	0	24
387	0,30	84,48	7,25	155	0	22
391	0,31	155,17	6,51	-95	0	20
394	0,46	79,32	7,09	134	0	19
398	0,41	120,95	6,85	-14	0	20
401	0,57	93,23	6,83	-45	0	22
405	0,53	119,18	6,76	19	0	21
408	0,69	90,57	7,12	37	0	15
412	0,73	111,98	7,34	53	0	17
415	0,88	157,21	7,17	42	0	21
419	0,69	40,51	6,92	51	0	19
422	0,67	44,92	7,56	23	0	21
426	0,47	135,43	6,68	0	0	17
429	0,64	80,53	6,71	102	0	19
433	0,54	108,47	6,74	1	0	22
436	0,65	78,83	6,78	122	0	21
440	0,59	106,94	6,87	15	0	21
443	0,69	66,75	7,13	143	0	18
447	0,81	91,93	7,15	12	0	22
450	0,65	86,63	6,72	58	0	22
454	0,51	121,85	6,76	-1	0,1	23
457	0,61	80,75	6,61	206	0,1	20
461	0,70	104,55	7,25	-14	0	25
464	0,76	85,97	7,12	-34	0,1	24
468	0,80	113,88	6,78	30	0	21
471	0,88	75,06	6,86	143	0	19
475	0,79	105,1	7,23	157	0,1	19
478	0,87	71,84	7,09	194	0	21
482	0,79	170,35	6,32	25	0,1	20
485	0,75	135,55	6,34	33	0	20
489	0,72	114,36	6,84	88	0	17
492	0,82	64,74	6,02	141	0	19
496	0,74	114,47	6,82	17	0	22
499	0,80	84,86	7,23	140	0	22
503	0,87	123,04	6,92	-9	0,1	23
506	0,93	97,8	6,77	105	0	29
510	1,25	149,58	6,81	0	0	24
513	0,97	94,28	6,77	159	0	24
517	0,98	109,05	6,82	115	0	22

Continua

Tabela A.6. Parâmetros monitorados do Lis6.
Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
519	1,16	72,91	6,92	118	0,1	23
524	1,18	167,62	6,46	88	0	19
527	0,92	80,03	6,97	102	0	22
531	1,03	115,63	7,07	171	0	23
534	0,83	77,89	7,14	162	0	18
539	0,86	142,1	7,14	162	0	25
541	0,75	61,88	7,2	170	0	22
545	0,87	130,98	7,01	73	0	25
548	0,78	107,47	6,88	118	0	25
552	0,86	120,87	7,03	171	0	23
555	0,82	98,53	6,93	135	0	22
559	0,68	132,48	7,47	61	0	24
562	0,65	99,23	6,9	127	0	22
566	0,54	142,75	7,1	114	0	20
569	0,59	93,1	7,09	123	0	23
573	0,64	138,38	7,1	29	0	22
576	0,66	116,87	6,83	105	0	24
580	0,80	179,02	6,91	92	0,1	22
583	0,58	113,08	6,85	123	0	22
587	0,77	190,89	6,48	4	0	21
590	0,60	117,59	6,77	127	0	22
594	0,71	151,48	6,79	117	0	27
597	0,64	112,18	6,86	115	0	28
601	0,77	146,16	6,9	120	0,1	30
604	0,71	99,73	7,01	138	0,1	25
608	0,67	125,23	7,45	116	0	26
611	0,61	93,26	7,02	124	0	25
615	0,67	116,1	7,25	152	0	23
618	0,50	83,77	7,19	177	0	25
622	0,34	138,03	6,81	-15	0	28
625	0,40	95,01	7,12	150	0,1	24
629	0,39	129,7	7,2	169	0	24
632	0,42	92,26	7,09	141	0	23
636	0,34	123,15	6,83	148	0	22
639	0,40	69,61	7,15	184	0	23

Tabela A.7. Parâmetros monitorados do Lis7. Cont.

Dia	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
1					
2	12,73	3,62	117	3,59	17,5
5	43,72	3,8	103	3,89	19
7	26,57	3,74	54	4,17	19
9	28,81	3,66	54	3,97	18
12	52,98	3,8	68	4,07	17
14	65,89	3,66	30	4,46	18
16	40,27	3,65	66	4,22	20
19	364,8	3,68	1	3,86	16
21	100,96	3,64	73	3,88	17
23	38,55	3,67	46	3,8	20
26	42,84	3,85	18	4,07	21
28	31,11	4,12	58	3,39	21
30	26,64	4,11	19	3,39	21
33	70,59	3,86	-18	4,13	21
35	48,06	3,86	-46	3,55	23
37	39,94	3,99	-37	4,63	22
40	66,37	3,95	-23	4,37	23
43	76,08	3,76	-21	4,44	21
47	198,04	4,29	-87	3,87	16
49	104,15	3,66	54	3,88	18
51	39,37	3,92	31	2,22	21
54	137,07	4,04	47	3,96	16
56	121,86	3,84	117	3,29	15
58	366,9	3,74	101	1,51	15
61	98,69	4,9	-93	1,1	16
63	18,55	4,57	-89	1,41	16,5
65	33,89	3,88	-15	1,81	17
68	43,26	6,09	-312	1,89	18
70	34,32	3,91	11	2,99	19
72	27,76	3,73	42	3,09	19
75	171,16	3,92	15	1,9	16
77	295,77	3,94	4	1,01	17
79	43,45	3,87	31	1,6	17
82	36,03	6,68	-130	1,11	18
84	15,74	6,67	-273	1,31	20
86	20,08	6,46	-344	1,5	21
89	22,36	7,6	-260	1,5	23
91	18,89	7,11	-264	1,11	21
93	234,49	4,22	-394	0,3	20
96	16,36	6,6	-167	1,05	19
98	18,95	4,72	-230	1,42	21
100	16,58	6,94	-175	1	23
103	18,02	8,42	-481	1,01	23
105	14,51	7,68	-465	1,11	24
107	14,15	7,76	-472	0,63	25
110	31,14	8,46	-482	0,81	20

Continua

Tabela A.7. Parâmetros monitorados do Lis7. Cont.

Dia	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
112	25,99	7,08	-457	0,81	21
114	23,57	7,47	-430	0,8	21
117	48,08	5,72	-353	0,69	21
119	32,09	5,4	-109	0,69	25
121	23,57	7,19	-430	0,71	26
124	50,04	7,14	-437	0,91	26
126	620,05	4,47	-74	0,2	20
128	82,01	4,6	-56	0,28	19
131	23,39	7,35	-273	0,81	19
133	9,57	8,2	-268	0,45	19
135	143,03	4,55	-20	0,1	16
138	16,21	7,61	-243	0,21	21
140	9,93	8,2	-298	0,32	22
142	136,85	4,54	-96	0,31	20
145	16,79	7,73	-300	0,31	22
147	14,08	7,52	-215	0,2	20
149	20,97	8,15	-280	0,2	19
152	29,07	7,43	-220	0,52	23
154	17,44	7,88	-282	0,3	20
156	16,11	7,31	-345	0,41	20
161	78,69	8,04	-19	0,82	22
163	575,25	5,1	-77	0,2	
166	19,64	7,71	-274	0,3	21
168	26,77	7,67	-376	0,4	21
170	27,41	7,49	-404	0,4	22
175	54,93	8,28	-99	0,3	21
177	33,86	7,74	-409	0,81	22
180	40,1	7,48	-415	0,51	21
182	132,78	4,49	-108	0,41	22
184	441,25	4,42	50	0,2	26
187	23,71	7,48	-261	0,2	24
189	90,23	7,3	-97	0,31	22
191	11,47	7,25	-196	0,33	22
194	25,03	7,6	-295	0,2	23
196	234,53	6,62	-24	0,2	24
198	100,08	6,61	-184	0,2	23
201	106,57	6,32	-169	0,37	21
203	70,57	6,48	-256	0,22	22
205	55,6	6,78	-268	0,1	26
208	79,06	7,13	-362	0,41	24
210	107,34	7,04	-200	0,42	22,5
215	119,42	6,69	-95	0,1	22
217	104,15	6,8	-106	0,2	22
222	119,97	6,65	-349	0,3	27
224	93,4	6,87	-120	0,41	23
226	65,8	7,01	-284	0,2	23
229	68,14	7,32	-274	0	25

Continua

Tabela A.7. Parâmetros monitorados do Lis7. Cont.

Dia	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
231	30,24	7,36	-230	0,21	24
233	44,65	7,44	-293	0,1	23
236	57,58	7,31	-313	0	25
238	52,24	7,31	-292	0	23
240	77,77	7	-310	0,2	23
243	110,76	6,44	-204	0,1	23
245	58,88	7,03	-279	0,1	22
247	67,33	6,87	-191	0,1	20
250	66,92	7,45	-190	0,11	22
252	47,76	7,6	-93	0,23	24
254	104,52	6,55	-185	0	23
261	136,14	7,81	95	0,2	24
264	74,67	7,33	51	0,1	27
266	31,03	7,48	63	0	26
268	129,06	6,79	-29	0	24
271	180,16	6,57	-41	0,1	24
273	20,36	7,76	14	0	25
275	15,18	8	25	0	23
278	30,03	8,04	61	0,1	23
280	19,37	8,21	49	0,1	25
282	21,69	7,87	59	0,1	22
285	25,18	8,29	98	0,1	23
287	18,71	7,65	69	0,1	24
289	19,64	7,64	56	0,1	27
292	29,51	8,23	84	0	26
294	23,54	7,65	85	0	24
296	26,23	7,94	-50	0	24
299	25,12	8,25	80	0	25
301	62,36	7,07	-22	0	23
306	712,66	7,24	57	0	22
308	79,4	7,34	-85	0,2	23
310	42,02	7,38	19	0	25
313	25,3	7,76	98	0	27
315	39,48	8,09	67	0,1	23
317	76,28	7,23	83	0,1	26
320	187,84	6,37	-41	0	25
322	85,1	7,13	-1	0	27
324	74,93	7,28	-57	0	26
327	33,35	8,1	82	0	25
329	34,62	7,82	94	0,1	25
331	26,83	7,5	101	0,2	25
335	102,32	7	-113	0	23
338	159,99	6,63	18	0	19
342	120,51	6,7	-49	0	19
345	59,77	7,52	-22	0	20
349	88,74	7,7	47	0	22
352	46,17	7,53	110	0	23

Continua

Tabela A.7. Parâmetros monitorados do Lis7. Cont.

Dia	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
356	50,67	7,98	94	0	25
359	81,18	7,29	-22	0,1	25
363	297,59	6,19	-7	0,1	20
366	130,3	6,6	-39	0	21
370	118,34	6,09	-30	0	24
373	92,79	7,3	5	0,1	24
377	104,02	7,52	-49	0,1	22
380	63,52	7,39	89	0,1	24
384	152,4	7,1	-39	0	24
387	42,27	7,6	-23	0,1	22
391	91,81	7,36	20	0	20
394	186,05	6,2	-89	0	19
398	91,63	6,97	-25	0	20
401	148,81	9,96	-49	0	22
405	32,08	8,06	55	0	21
408	57,96	7,42	32	0	15
412	194,86	7,69	43	0	17
415	151,51	7,53	51	0	21
419	151,76	7,23	37	0,1	19
422	22,69	6,98	23	0	21
426	49,68	7,43	48	0	17
429	43,06	7,1	111	0	19
433	56,67	7,73	58	0	22
436	38,24	7,51	117	0	21
440	51,12	7,84	92	0,1	21
443	46,41	7,71	135	0	18
447	62,09	8,02	161	0	22
450	49,42	7,53	148	0	22
454	69,65	7,79	161	0	23
457	50,06	7,41	171	0	20
461	75,53	7,96	88	0	25
464	62,81	7,53	102	0,1	24
468	99,54	7,28	-53	0	21
471	120,88	6,7	16	0	19
475	151,19	7,17	54	0	19
478	313,37	6,9	76	0	21
482	232,89	5,91	47	0	20
485	320,88	6,37	103	0	20
489	213,38	6,55	32	0,1	17
492	109,99	6,39	49	0	19
496	198,42	6,69	-4	0	22
499	153,77	6,62	54	0	22
503	101,14	7,22	-43	0,1	23
506	52,69	7,34	128	0	29
510	68,31	8,03	150	0	24
513	43,67	7,52	129	0	24
517	50,19	7,71	167	0	22

Continua

Tabela A.7. Parâmetros monitorados do Lis7. Cont.

Dia	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
519	28,43	7,89	140	0	23
524	87,37	7,3	-11	0	19
527	75,77	7,31	98	0	22
531	78,52	7,64	120	0,1	23
534	80,46	6,52	27	0,1	18
539	117,27	6,52	27	0,1	25
541	43,15	7,41	173	0	22
545	107,4	7,43	-33	0	25
548	78,36	7,16	164	0,1	25
552	130,93	7,21	0	0	23
555	93,61	7,21	-4	0	22
559	128,44	7,08	30	0	24
562	96,31	6,74	-43	0	22
566	112,44	6,92	-22	0	20
569	90,7	7	-26	0,1	23
573	105,97	7,11	-48	0	22
576	82,48	6,91	-16	0	24
580	116,5	7,12	-1	0	22
583	93,65	7,03	-24	0	22
587	108,88	6,94	-49	0	21
590	89,4	6,97	-21	0,1	22
594	112,05	7,12	-33	0	27
597	77,73	6,96	2	0	28
601	113,73	6,95	-10	0	30
604	106,01	6,93	-27	0	25
608	147,24	6,85	-42	0	26
611	114,69	6,6	20	0	25
615	156,12	6,94	-33	0	23
618	98,73	6,94	57	0,2	25
622	122,76	6,86	-39	0	28
625	109,54	6,78	15	0	24
629	156,22	6,94	-37	0	24
632	96,47	6,75	-5	0	23
636	125,19	6,66	-49	0	22
639	90,75	6,52	64	0	23

Tabela A.8. Parâmetros monitorados do Lis8.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
1	0					
2	0	17,14	3,69	88	3,88	17
5	0	54,54	3,69	19	4,57	19
7	0	33,6	3,67	45	4,46	19
9	0	30,41	3,68	15	4,46	18
12	0	134,82	3,57	41	4,44	17
14	0	45,4	3,65	12	4,74	18
16	0	36,09	3,61	9	4,84	19
19	0,04	317,71	3,66	0	4,16	16
21	0,03	87,69	3,61	28	4,04	16
23	0,03	25,17	3,56	32	4,42	19
26	0,02	40,81	3,67	0	4,15	21
28	0,03	32,56	3,64	20	4,59	21
30	0	27,27	3,68	18	4,55	21
33	0,02	51,85	3,75	-15	4,42	21
35	0,02	37,08	3,75	-8	4,29	22
37	0,03	36,39	3,92	-46	4,7	22
40	0,1	83,96	3,72	-30	4,88	23
43	0	456,11	3,83	14	1,81	21
47	0,08	129,07	4,58	-133	1,79	16
49	0,18	237,66	3,74	93	2,4	18
51	0,14	29,92	7,08	-79	1,81	21
54	0,07	94,29	5,07	-38	1,8	16
56	0,12	130,51	3,78	50	3,6	15
58	0,24	115,58	3,77	62	3,09	15
61	0,2	100	4,83	-105	1,5	16
63	0,13	63,2	3,82	-11	3,69	16
65	0,16	50,38	3,78	2	3,41	17
68	0,09	49,63	7,5	-247	2,11	18
70	0,06	37,43	3,97	-12	3,4	19
72	0,03	22,7	3,8	7	2,58	18
75	0,09	55,73	4,06	-1	3,38	16
77	0,13	73,57	3,93	-14	3,18	16
79	0,05	23,67	3,87	22	3,09	17
82	0,07	39,71	3,86	26	3,27	18
84	0,05	23,57	4,02	-5	2,79	19
86	0,08	28,59	4,04	-34	3,14	21
89	0,05	37,48	3,88	-22	2,49	23
91	0,06	28,1	4,07	-17	2,57	21
93	0,07	36,84	4,02	-79	2,7	20
96	0,03	39,27	3,79	9	2,4	18
98	0,07	35,61	3,99	-80	1,91	21
100	0,04	53,03	3,97	51	2,2	23
103	0,04	63,2	6,08	-165	1,48	23
105	0,03	37,85	4,32	-212	1,86	24
107	0,03	53,75	4,26	-84	1,69	26
110	0,03	67,01	4,35	-71	1,32	19

Continua

Tabela A.8. Parâmetros monitorados do Lis8. Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
112	0,03	48,06	4,38	-45	1,05	21
114	0	39,45	4,5	-95	1,2	21
117	0	70,28	4,43	-251	1,02	21
119	0,02	53,97	4,47	-98	1,05	24
121	0	58,37	4,47	-79	0,87	25
124	0	198,01	4,46	-12	0,21	26
126	0,02	82,68	4,33	-12	0,91	20
128	0	102,11	4,34	-43	0,6	17
131	0	198,92	4,47	-30	0	19
133	0	454,63	4,5	-96	0,1	19
135	0	24,95	4,89	112	0,9	15
138	0	44,04	5,46	-44	0,79	21
140	0	26,15	7,32	-413	0,65	22
142	0	18,57	7,85	-443	0,29	19
145	0	32,04	7,61	-396	0,51	22
147	0	30,14	6,83	-342	0,4	20
149	0	45,08	4,78	83	0,81	18
152	0	197,51	4,55		0,3	23
154	0	44,52	4,81	-25	0,5	20
156	0	31,14	5,3	14	0,73	20
161	0,02	64,42	8,3	-9	0,54	23
163	0	23,98	8,05	-347	0,47	
166	0,02	55,43	6,79	-401	0,5	21
168	0	57,81	4,53	-157	0,62	21
170	0	36,12	6,94	-385	0,47	22
175	0	424,94	5,01	-13	0,1	21
177	0	178,9	4,38	-60	0,1	22
180	0	62,37	6,21	-94	0,26	21
182	0	39,75	5,84	-208	0,47	22
184	0	30,91	7,19	-312	0,3	25
187	0	38,01	7,29	-356	0,26	24
189	0	28,52	7,33	-344	0,25	21,5
191	0	26,98	7,78	-180	0,15	22
194	0	50,86	7,06	-334	0,1	23
196	0	193,7	4,47	26	0,1	24
198	0	130,5	4,68	-103	0	22
201	0	45,26	6,97	-254	0,21	21
203	0	31,2	7,23	-293	0,2	22
205	0	139,95	4,81	-108	0	26
208	0	49,97	7,29	-382	0,3	24
210	0	41,16	6,82	-379	0,28	22
215	0	135,83	5,75	-47	0,21	22
217	0	134,5	4,92	-138	0,1	22
222	0	56,63	7,32	-238	0,1	26
224	0	26,79	7,3	-278	0,15	23
226	0	25,81	7,32	-284	0,1	23
229	0	40,89	7,56	-355	0,1	25

Continua

Tabela A.8. Parâmetros monitorados do Lis8.
Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
231	0	30,99	7,31	-254	0,21	24
233	0	33,12	7,58	-158	0,1	23
236	0	47,13	7,42	-162	0,1	25
238	0	37,3	7,26	-385	0,1	23
240	0	37,49	7,42	-155	0,3	22
243	0	61,58	7,06	-381	0,1	23
245	0	210,14	4,83	-80	0	23
247	0	191,95	4,52	-20	0	20
250	0	111,32	7,15	-245	0,41	21
252	0	38,65	7,58	-208	0,12	23
254	0	24,73	7,51	-302	0,2	23
261	0	110,97	7,79	-8	0,2	23
264	0	92,8	7,17	-67	0,1	23
266	0	41,29	7,32	-205	0,1	23
268	0	42,26	7,23	-108	0	24
271	0	201,93	4,95	71	0,1	24
273	0	35,54	7,2	-198	0,1	26
275	0	49,35	7,47	-255	0,1	26
278	0	76,09	7,33	-195	0	23
280	0	41,59	7,57	-225	0,1	25
282	0	48,44	7,05	-170	0,2	22
285	0	193,6	5,05	68	0	23
287	0	41,58	7,16	-166	0,18	24
289	0	34,57	7,22	-205	0,1	27
292	0	65,3	7,7	-172	0	26
294	0	49,17	7,03	-122	0,1	24
296	0	55,07	6,91	-162	0	24
299	0	65,53	7,36	-9	0	25
301	0	191,81	4,81	71	0	23
306	0	72,19	7,92	110	0	22
308	0	53,95	7,78	82	0	23
310	0	163,45	6,7	5	0	24
313	0	51,02	7,19	-58	0	27
315	0	94,44	6,8	-11	0,1	23
317	0	73,79	6,5	-62	0,1	26
320	0	53,82	7,28	-91	0	25
322	0	105,03	6,48	18	0	27
324	0	42,52	7,21	25	0	26
327	0	96,79	6,75	-31	0	25
329	0	56,09	7,03	-42	0,1	25
331	0	55,41	7,04	-69	0,2	24
335	0	115,46	6,4	-13	0	23
338	0	147,92	6,3	77	0	19
342	0	163,88	6,5	49	0,1	19
345	0	128,63	6,53	63	0	19
349	0	86,63	6,64	-43	0,1	22
352	0	108,95	6,75	-69	0	23

Continua

Tabela A.8. Parâmetros monitorados do Lis8.
Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
356	0	69,92	7,34	-109	0,07	23
359	0	80,5	6,97	-103	0,1	25
363	0	106,95	7,1	-61	0,1	20
366	0	144,57	6,05	0	0	20
370	0	118,75	6,95	33	0	24
373	0	127,85	7,3	23	0,1	24
377	0	102,9	6,07	44	0	22
380	0	81,12	7,19	-62	0,1	23
384	0	125,39	6,64	19	0,1	24
387	0	105,03	7,15	-65	0	21
391	0	81,7	7,45	-60	0,1	20
394	0	103,53	6,89	-52	0,1	19
398	0	129,56	7,01	-32	0	19
401	0	137,78	6,5	-15	0	22
405	0	52,51	7,37	86	0,14	21
408	0	119,65	7,39	92	0	15
412	0	167,3	7,54	104	0	17
415	0	124,68	7,46	95	0	20
419	0,03	87,84	7,23	123	0	20
422	0	53,94	7,52	113	0	21
426	0	105,08	6,28	-11	0	18
429	0	83,98	6,65	-29	0	19
433	0	111,41	7,22	-52	0	22
436	0	120,16	6,79	-37	0	21
440	0	96,17	7,19	65	0	21
443	0	99,05	7	108	0	18
447	0	94,65	7,12	88	0	22
450	0	79,96	7,08	134	0	22
454	0	110,15	7,24	-25	0	23
457	0	119,62	6,69	-50	0	20
461	0	106,87	7,11	89	0	25
464	0	92,26	6,78	72	0	26
468	0	237,94	6,75	53	0	21
471	0	126,72	6,84	85	0	18
475	0,03	97,03	5,47	94	0	19
478	0	104,75	6,24	121	0	21
482	0	95,92	7,3	-41	0	20
485	0	117,91	7,01	25	0	20
489	0	115,26	7,1	-5	0	17
492	0	144,74	7,4	69	0	19
496	0,05	90,95	6,91	-12	0	22
499	0	88,36	6,72	-34	0	21
503	0	112,2	7,15	-20	0	23
506	0	101,27	7,14	142	0	29
510	0	165,24	7,22	-28	0	24
513	0	126,07	4,98	63	0	21
517	0	83,13	7,29	180	0,1	22

Continua

Tabela A.8. Parâmetros monitorados do Lis8.
Cont.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
519	0	109,72	5,61	29	0	24
524	0	73,8	7,24	86	0	19
527	0	157,24	6,23	28	0,1	22
531	0	84,47	6,18	138	0,1	23
534	0	102,08	6,65	15	0	18
539	0	112,9	6,65	15	0	25
541	0	156,39	6,01	143	0	19
545	0	55,95	7,57	93	0	24
548	0	76,91	6,97	42	0	24
552	0	150,63	7,33	0	0	22
555	0	122,64	6,47	4	0	22
559	0	129,43	6,72	56	0	23
562	0	124,82	5,41	73	0	22
566	0	95,85	6,3	67	0	20
569	0	119,33	6,58	16	0	24
573	0	73,37	7,34	172	0	21
576	0	105,59	7,02	9	0	24
580	0	95,66	7,36	147	0	22
583	0	87,93	6,9	-29	0	23
587	0	102,29	7,04	-11	0	22
590	0	153,47	5,05	89	0	22
594	0	90,66	6,93	107	0	27
597	0	141,45	6,53	11	0	27
601	0	65,59	6,7	-1	0	29
604	0	144,68	6,82	-5	0	25
608	0	83,96	7,07	-23	0	25
611	0	91,33	7,04	84	0	24
615	0	95,3	7,14	55	0	23
618	0	152,02	7,04	145	0	25
622	0	106,08	7,15	98	0	27
625	0	141,23	7,01	92	0	24
629	0	118,86	7,17	-19	0	24
632	0	119,71	6,34	36	0	24
636	0	85,07	7,05	78	0	24
639	0	127,79	6,76	67	0	23

Tabela A.9. Parâmetros monitorados do Lis9.

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
1	0,00	0	0	0		
3	0,00	0	0	0		
5	0,00	0	0	0		23
8	18,18	29,77	7,26	-213	2,2	24
10	12,61	82,29	6,79	-322	1,91	24
12	12,51	64,87	6,82	-300	2,23	25
15	11,97	61,86	6,9	-296	2,17	18
17	9,42	88,97	6,83	-303	1,6	21
19	9,63	60,23	6,85	-250	1,7	21
22	7,57	118,7	6,8	-339	1,44	21
24	7,48	42,19	7	-142	1,76	25
26	8,76	69,76	6,96	-288	1,51	25
29	7,56	64,37	6,96	-284	1,65	25
31	6,81	96,1	7,02	-147	1,3	25
33	7,22	56,9	6,93	-31	1,38	18
36	5,57	61,58	7,35	-244	1,43	19
38	6,20	91	6,89	38	1,21	18
40	5,36	60,84	6,89	-71	1,13	17
43	4,94	70,4	6,92	-230	1,01	21
45	4,61	90,72	7,07	-270	1	22
47	7,90	61,48	7,17	-186	1,16	20
50	6,96	62,01	7,04	-211	1	22
52	6,73	84,71	7,56	13	1,01	20
54	11,93	59,96	7,01	-189	1,03	19
57	6,95	65,86	6,94	-185	1,02	22
59	6,30	85,08	7,11	-182	0,9	20
61	7,13	46,84	7,14	16	1,02	20
66	7,69	72,85	8,3	47	1,09	23
68	4,39	134,18	7,13	-272	0,61	
71	9,10	71,49	7,19	-183	0,91	20
73	8,10	81,43	7,13	-34	0,81	21
75	6,89	65,08	7,14	-12	1,02	21
80	7,76	67,92	7,17	101	0,91	21
82	4,44	138,57	7,02	-139	0,5	22
85	8,40	57,56	7,17	39	0,87	20
87	7,41	74,66	7,12	102	0,91	22
89	7,19	80,79	7,04	88	0,81	25,5
92	6,77	68,35	7,11	112	0,91	24
94	4,88	79,7	7,08	0	0,61	21
96	6,23	55,16	7,16	172	0,82	22
99	6,89	67,24	7,11	27	0,71	23
101	4,98	86,44	7,04	47	0,5	24
103	6,43	57,1	7,08	173	0,75	23
106	5,97	56,68	7,27	36	0,72	20,5
108	5,42	82,34	7,17	10	0,71	22
110	5,33	68,67	7,03	132	0,61	26
113	4,86	65,81	7,15	135	0,71	24

Continua

Tabela A.9. Parâmetros monitorados do Lis9. Cont

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
115	4,65	82,23	7,18	19	0,51	22
120	4,73	69,17	6,99	91	0,61	22
122	2,28	141,64	7,03	18	0,3	22
127	5,01	78,45	7,25	4	0,41	26
129	2,66	108,68	7,14	68	0,36	23
131	4,07	57,73	7,11	108	0,4	23
134	3,73	66,07	7,34	36	0,41	25
136	3,77	55,18	7,28	113	0,51	24
138	3,31	58,83	7,48	163	0,47	23
141	3,36	63,84	7,36	147	0,51	24
143	2,53	82,08	7,28	152	0,3	23
145	2,71	56,17	7,41	56	0,41	23
148	2,93	64	7,37	41	0,4	23
150	2,48	89,01	6,78	3	0,4	23
152	2,81	54,52	7,04	13	0,51	20
155	2,42	67,41	7,07	20	0,4	22
157	2,16	86,57	6,93	5	0,3	24
159	2,71	56,16	7,23	6	0,4	23
166	2,76	68,21	8,18	111	0,41	23
169	2,42	194,7	7,09	174	0,3	23
171	3,10	80,36	7,26	107	0,21	23
173	3,70	60,93	7,32	87	0,2	24
176	3,27	65,69	7,22	127	0,51	25
178	2,41	84,93	7,29	57	0,2	27
180	2,70	63,5	7,44	92	0,3	26
183	2,68	57,72	7,14	137	0,31	23
185	1,99	82,35	7,33	90	0,31	25
187	2,12	52,06	7,36	102	0,31	22
190	1,97	63,53	7,06	132	0,4	23
192	1,77	90,08	7,06	123	0,3	24
194	2,49	60,78	7,23	98	0,31	27
197	2,44	63,18	7,19	158	0,2	26
199	1,76	82,4	6,88	126	0,2	24
201	2,11	54,34	7,16	118	0,2	24
204	1,90	63,92	7,18	109	0,2	25
206	1,59	85,28	6,86	108	0,16	23
211	1,87	73,37	7,15	155	0,2	22
213	0,99	137,95	6,58	57	0,1	23
215	1,75	56,64	7,11	89	0,34	25
218	1,59	64,43	7,24	105	0,2	27
220	1,30	85,47	6,99	156	0,1	23
222	1,39	59,38	7,45	110	0,34	26
225	1,21	63,81	7,26	107	0,22	25
227	1,26	88,15	7	117	0,2	27
229	1,38	60,85	7,17	142	0,19	26
232	1,15	60,51	7,6	97	0,2	25
234	0,97	84,53	7,02	148	0,1	25

Continua

Tabela A.9. Parâmetros monitorados do Lis9.
Cont

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
236	1,21	57,95	7,34	118	0,13	24
240	1,00	64,73	7,38	178	0,21	23
243	0,82	111,19	6,84	177	0,09	19
247	0,91	93,36	7	150	0,21	19
250	0,74	116,13	7,11	120	0,13	20
254	0,90	96,1	7,01	111	0,2	22
257	0,70	116,78	7,32	99	0	23
261	0,80	96,8	6,96	117	0,1	25
264	0,67	119,32	6,82	102	0,1	25
268	0,77	92,91	6,86	115	0,2	20
271	0,58	115,09	6,65	120	0,1	21
275	0,72	92,58	6,94	107	0,2	24
278	0,47	116,01	6,79	110	0	24
282	0,64	93,41	6,88	124	0,2	22
285	0,43	115,74	6,78	150	0	24
289	0,61	97,17	6,87	103	0,1	24
292	0,44	115,8	6,83	95	0	22
296	0,51	90,65	6,94	160	0	20
299	0,36	115,12	6,77	120	0,1	19
303	0,51	144,92	6,78	97	0,1	20
306	0,61	59,85	7,05	121	0	22
310	0,65	96,1	6,86	141	0	21
313	0,57	110,12	7,12	152	0,1	16
317	0,68	95,7	7,57	167	0,1	18
320	0,52	119,7	6,92	112	0,1	20
324	0,44	111,57	7,42	138	0	20
327	0,51	87,53	7,37	157	0,1	22
331	0,43	152,31	6,75	161	0,1	17
334	0,41	117,81	6,72	89	0	19
338	0,44	92,29	7,12	137	0	22
341	0,50	118,6	6,76	108	0	21
345	0,51	92	7,06	134	0,1	21
348	0,38	113,58	6,85	179	0	18
352	0,44	94,66	7,11	141	0	22
355	0,42	120,28	6,82	160	0	22
359	0,44	91,36	7,15	128	0,1	23
362	0,41	118,27	7,05	155	0	20
366	0,40	91,99	7,24	137	0	25
369	0,42	74,94	7,17	122	0	26
373	0,44	139,94	6,67	147	0	21
376	0,24	111,72	6,63	120	0,18	19
380	0,18	99,74	6,77	151	0	19
383	0,27	106,94	6,69	163	0,16	22
387	0,27	99,18	6,87	97	0	20
390	0,22	119,78	6,69	104	0	20
394	0,25	92,88	6,85	183	0,1	17
397	0,20	112,66	6,61	117	0	19

Continua

Tabela A.9. Parâmetros monitorados do Lis9.
Cont

Dia	Atividade (Bq/mL)	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
401	0,23	102,07	7,09	143	0	21
404	0,22	121,62	7,06	167	0,1	22
408	0,25	96,34	6,95	150	0,1	23
411	0,20	110,88	7,11	152	0	29
415	0,48	105,85	6,71	120	0	24
418	0,19	110,02	6,7	101	0	21
422	0,23	98,8	6,88	197	0	23
424	0,15	112,21	6,71	137	0	24
429	0,13	62,67	7,13	148	0,1	19
432	0,10	138,48	6,35	141	0	22
436	0,22	97,22	7,06	165	0	23
439	0,18	111,9	6,65	123	0	18
444	0,18	105,21	7,17	183	0	26
446	0,17	139,46	6,6	167	0	22
450	0,13	70,85	7,3	145	0,1	25
453	0,17	114,19	6,76	140	0	25
457	0,14	94,55	6,98	118	0	23
460	0,11	113,56	6,73	102	0	23
464	0,12	98,22	6,96	163	0	24
467	0,14	115,31	6,75	115	0	22
471	0,15	91,78	6,86	133	0	20
474	0,10	112,49	6,97	119	0	24
478	0,15	101,21	7,13	119	0	22
481	0,09	114,53	6,99	103	0	24
485	0,15	95,67	7,1	204	0	23
488	0,13	115,54	6,92	94	0,2	24
492	0,12	95,93	6,89	172	0	22
495	0,12	109,25	6,6	172	0	22
499	0,12	93,97	7,33	118	0	27
502	0,15	114,41	7	89	0	27
506	0,14	97,73	7,26	118	0	29
509	0,14	112,15	6,94	176	0,13	25
513	0,14	99,29	7,04	144	0	25
516	0,08	112,45	7,02	181	0	20
520	0,10	91,5	6,78	79	0	23
523	0,10	115,18	6,93	158	0	25
527	0,10	95,59	6,98	181	0	28
530	0,12	115,26	7,04	151	0	25
534	0,13	91,27	6,92	128	0	24
537	0,10	112,24	6,94	124	0	19
541	0,08	95,18	6,97	127	0	24
544	0,09	113,98	6,89	178	0,1	23

Tabela A.10. Parâmetros monitorados do Lis10.

Dia	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
1	0	0	0		0
3	0	0	0		0
5	0	0	0		24
8	28,43	7,74	-81	1,91	24
10	54,09	6,88	-161	1,71	24
12	64,76	6,75	-163	1,89	25
15	62,25	6,71	-211	2	19
17	89,82	6,74	-297	1,52	21
19	58,24	6,81	-242	2	21
22	118,36	6,82	-316	1,59	21
24	40,23	7,01	47	1,7	25
26	67,58	6,89	-303	1,61	25
29	68,53	7,06	-213	1,52	25
31	91,45	7,26	-24	1,3	25
33	52,84	7,05	-112	1,51	19
36	56,69	7,61	-44	1,4	19
38	81,17	7,51	51	1,3	19
40	63,45	7,17	-132	1,31	17
43	71,04	7,23	-271	1,24	21
45	84,25	7,33	-340	1,2	22
47	65,35	7,3	-256	1,23	21
50	66,07	7,3	-195	1,16	22
52	80,13	7,71	-247	0,91	19
54	56,48	7,32	-169	1,11	20
57	71,36	7,3	-75	1	23
59	76,91	7,62	20	0,91	20
61	63,78	7,28	-32	0,9	20
66	77,07	8,1	69	1	22
68	126,61	6,99	-270	0,8	
71	74,69	7,09	-84	0,9	21
73	85,78	7,48	55	0,8	21
75	63,64	7,25	47	0,8	22
80	73,1	7,27	93	1,01	21
82	136,53	7,08	-180	0,6	22
85	64,37	7,38	30	0,61	21
87	86,69	7,36	158	0,61	22
89	64,23	7,28	112	0,71	26
92	66,86	7,38	104	0,71	24
94	86,16	7,35	46	0,61	21
96	57,38	7,12	122	0,61	22
99	71,08	7,3	56	0,6	23
101	86,08	7,27	35	0,6	24
103	57,67	7,11	109	0,71	22,5
106	67,27	7,16	72	0,71	20,5
108	79,12	7,19	41	0,51	22
110	61,88	7,34	124	0,61	26
113	65,3	7,27	130	0,71	24

Continua

Tabela A.10. Parâmetros monitorados do Lis10. Cont.

Dia	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
115	83,7	7,29	2	0,5	22
120	77,21	7,1	104	0,61	22
122	139,03	7,08	-192	0,4	22
127	72,69	7,12	34	0,51	23
129	107,29	7,31	93	0,5	23
131	56,27	7,26	134	0,53	23
134	65,68	7,43	48	0,51	25
136	52,53	7,52	95	0,71	24
138	61,41	7,37	168	0,41	23
141	66,66	7,32	136	0,51	25
143	88,33	7,33	121	0,3	23
145	61,29	7,46	75	0,41	23
148	64,92	7,4	64	0,4	23
150	90,76	7,18	45	0,4	22
152	67,49	7,63	32	0,51	20
155	55,95	7,28	54	0,4	23
157	96,03	7,2	54	0,3	24
159	55,5	7,3	39	0,4	23
166	74,42	7,98	128	0,41	23
169	192,71	7,12	-135	0,3	22
171	89,93	7,39	86	0,21	22
173	62,63	7,52	92	0,2	24
176	66,23	7,38	102	0,51	25
178	84,03	7,42	63	0,2	26
180	61,25	7,38	82	0,3	26
183	61,5	7,37	115	0,31	23
185	87,21	7,49	84	0,31	25
187	52,46	7,87	95	0,31	22
190	65,97	7,24	125	0,4	23
192	89,55	7,3	90	0,3	24
194	59,85	7,36	92	0,31	27
197	64,66	7,32	120	0,2	26
199	87,08	7,03	99	0,2	24
201	56,27	7,35	108	0,2	24
204	59,64	7,43	100	0,2	25
206	87,66	7,25	107	0,1	23
211	72,49	7,21	142	0,2	22
213	129,68	6,95	120	0,2	23
215	74,74	7,23	86	0,1	25
218	58,95	7,31	142	0,2	27
220	86,56	7,23	121	0,2	23
222	60,61	7,55	85	0,2	26
225	65,28	7,36	95	0,2	25
227	75,65	7,35	112	0,3	27
229	61,16	7,5	113	0,2	26
232	64,38	7,81	87	0,2	25
234	78,53	7,15	88	0,2	25

Continua

Tabela A.10. Parâmetros monitorados do Lis10. Cont.

Dia	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
236	59,09	7,46	104	0,1	24
240	64,31	7,34	165	0,2	23
243	112,07	7,3	152	0,1	19
247	94,05	7,06	116	0	19
250	109,29	6,99	92	0,2	20
254	91,61	7,06	109	0	22
257	115,73	7,01	83	0,1	23
261	98,16	7,07	101	0,1	25
264	109,28	6,99	77	0,1	25
268	82,49	7,15	163	0,1	20
271	109,26	6,9	89	0,1	21
275	97,44	7,04	101	0,1	24
278	115,59	6,95	80	0,1	24
282	95,06	7,01	113	0,1	22
285	111,54	6,96	66	0,1	24
289	96,19	6,95	89	0	24
292	116,57	6,97	75	0,1	23
296	92,39	7	94	0,1	20
299	110,25	6,88	89	0,1	19
303	140,48	6,83	95	0	20
306	76,04	7,17	104	0	22
310	95,59	7,14	95	0,1	21
313	109,18	7,35	105	0	16
317	99,1	7,53	117	0	18
320	128,24	7,43	105	0	21
324	119,05	6,98	112	0	19
327	91,17	7,29	123	0,1	21
331	127,43	6,82	155	0	17
334	119,83	6,76	85	0,1	19
338	97,15	7,27	132	0,1	22
341	116,32	6,89	117	0,1	21
345	94,07	7,01	121	0,1	20
348	112,64	6,99	120	0	18
352	95,75	7,39	131	0	22
355	118,04	6,88	129	0	22
359	90,03	7,22	120	0	23
362	115,62	7,13	103	0	19
366	94,62	7,4	120	0	25
369	104,75	7,34	109	0,1	26
373	91,94	7,26	127	0,1	21
376	110,19	6,73	118	0	19
380	99,24	7,08	139	0	18
383	100,31	6,76	164	0	22
387	97,47	7,04	114	0	20
390	120,45	6,69	116	0	20
394	94,54	6,94	169	0	17
397	112,17	6,83	118	0	19

Continua

Tabela A.10. Parâmetros monitorados do Lis10. Cont.

Dia	Volume	pH	Eh	T sol (%)	Ti (°C)
401	98,18	6,93	134	0	22
404	121,02	6,74	140	0,1	22
408	96,47	6,97	136	0	23
411	120,25	7,05	143	0	28
415	89,6	6,9	167	0,1	24
418	112,76	6,61	107	0	21
422	96,26	6,8	156	0	23
424	114,2	6,72	118	0	24
429	63,3	6,91	150	0	19
432	140,33	6,59	83	0	22
436	99,57	7,14	159	0,1	23
439	110,35	6,72	137	0	18
444	101,52	7,07	153	0	26
446	145,13	6,67	161	0	22
450	69,86	7,07	169	0	25
453	116,95	6,86	140	0	25
457	90,33	7,04	157	0,1	23
460	118,7	6,81	118	0	22
464	91,52	6,98	166	0,1	23
467	114,09	6,75	129	0	22
471	93,33	6,84	136	0,1	20
474	116,85	6,91	133	0,1	23
478	92,97	7,13	125	0	23
481	118,32	6,2	113	0,1	24
485	94,75	6,95	198	0	23
488	114,12	6,8	109	0,1	24
492	94,95	6,85	159	0,1	22
495	112,27	6,78	170	0	22
499	95,81	7,18	124	0	27
502	113,42	6,87	117	0	27
506	96,63	7,13	121	0	29
509	110,25	7	161	0	25
513	95,85	7	139	0	24
516	112,76	7,02	157	0	24
520	88,93	6,94	97	0	23
523	116,41	6,97	169	0,1	25
527	95,49	7,04	158	0	27
530	108,2	6,96	152	0	23
534	93,72	6,99	135	0	24
537	115,48	6,82	137	0	22
541	96,26	6,91	134	0	24
544	109,62	6,91	170	0	24

Tabela A.11: Valores de temperaturas ambiente, máxima e mínima.

Tempo (dias)				Temperatura		
Lis1 e 2	Lis3 e 4	Lis5 a 8	Lis9 e 10	Ambiente	Máxima	Mínima
1				25		
2				26		
3				24		
6				25		
7				26		
8				25		
9				25		
10				27		
16				24		
17				26		
20				24		
21				23		
22				23,5		
23				24		
24				25		
27				25		
28				23		
29				23		
30				25		
31				23		
34				23		
35				23		
36				23		
37				23		
38				22		
41				26		
44				25,5		
45				22		
48				20		
49				21,5		
50				23		
51				22		
55				22		
57				22		
63				24		
65				24		
69				26,5		
71				26		
73				22		
76				19,5		
77				20,5		
78				19		
79				19		
80				19		

Continua

Tabela A.11: Valores de temperaturas ambiente, máxima e mínima. Cont.

Tempo (dias)				Temperatura		
Lis1 e 2	Lis3 e 4	Lis5 a 8	Lis9 e 10	Ambiente	Máxima	Mínima
83				20,5		
84				21,5		
90				23,5		
92				23		
94				22		
97				20		
98				19		
99				19		
100				19		
101				21		
105				22		
108				22		
111				22		
115				24		
118				23		
122				23		
125				21,5		
128				22		
129				20		
132				21		
133				20		
134				20		
135				20		
136				21		
139				21		
140				22,5		
142				19		
143				16		
146				17		
147				19		
150				21		
153				23		
155				23		
157				23		
160				21		
162				22		
164				21		
167				22		
169				23		
171				20		
174				16		
176				19		
178				19		

Continua

Tabela A.11: Valores de temperaturas ambiente, máxima e mínima. Cont.

Tempo (dias)				Temperatura		
Lis1 e 2	Lis3 e 4	Lis5 a 8	Lis9 e 10	Ambiente	Máxima	Mínima
181				18		
183	1			22		
185	3			23		
188	6			20		
190	8			17		
192	10			14		
195	13			19		
197	15			20		
199	17			22		
202	20			24		
204	22			22		
206	24			17		
209	27			20		
211	29			19		
213	31			21		
216	34			24		
218	36			27		
220	38			20		
223	41			21		
225	43			23		
227	45			24		
230	48			25		
232	50			24		
234	52			22		
237	55			20		
239	57			20		
241	59			21		
244	62			23		
246	64			23		
248	66			24		
253	71			22		
255	73			24		
258	76			19		
260	78			19		
262	80			21		
265	83			24		
267	85			28		
269	87			23		
272	90			23		
274	92			23		
276	94			22		
279	97			25		
281	99			25	26,5	22,5
283	101			22	26,5	23

Continua

Tabela A.11: Valores de temperaturas ambiente, máxima e mínima. Cont.

Tempo (dias)				Temperatura		
Lis1 e 2	Lis3 e 4	Lis5 a 8	Lis9 e 10	Ambiente	Máxima	Mínima
286	104			22	24,5	21
288	106			26	26	22
290	108			23	27	23
293	111			26	27,5	21
295	113			24	25,5	20,5
297	115			25	26	20,5
300	118			29	26	20,5
302	120			23	23,5	22
304	122			24	23,5	21,5
307	125			26	27	21
311	129			23	26,5	23,5
314	132			24	27	23
318	136			20	27	23,5
321	139			24	25,5	23,5
323	141			22	26	22
325	143			22	26	22,5
328	146			25	26	23
330	148			25	23,5	22
332	150			24	26	22
335	153			24	25,5	22
337	155			22	23	21,5
339	157			25	23	21,5
342	160			22	24,5	22
344	162			22	27,5	22
346	164			25	27	23
349	167			28	28,5	24
351	169			27	27	23
353	171			23	25	20,5
356	174			23	25	21
358	176			25	25,5	22,5
360	178			25	26,5	22
363	181			26	27,5	22
365	183			28	29	24
367	185			23	25	20
374	192			25	26,5	21,5
377	195			27	29	23
379	197			28	28	23,5
381	199			22	24	22
384	202			27	26,5	21
386	204			28	28,5	24
388	206			24	28,5	24
391	209			25	26	22,5
393	211			26	26,5	22,5
395	213			27	27	23,5

Continua

Tabela A.11: Valores de temperaturas ambiente, máxima e mínima. Cont.

Tempo (dias)				Temperatura		
Lis1 e 2	Lis3 e 4	Lis5 a 8	Lis9 e 10	Ambiente	Máxima	Mínima
398	216			23	27	20,5
400	218			24	24	20,5
402	220			24	25	20
405	223			25	26,5	21,5
407	225			25	26	22,5
409	227			27	27,5	22,5
412	230			26	28	22
414	232			25	26,5	22
419	237			26	26	22,5
421	239			22	26,5	23
423	241			26	26	23
426	244			27	27	22
430	248			28	27	22
433	251			22	27	21,5
435	253			24	24	21,5
437	255			25	25	20
440	258			27	26,5	20,5
442	260			25	27	23
444	262			21	26	21,5
447	265			20	22	18
449	267			24	23,5	20
451	269			21		
454	272			20	24,5	17,5
456	274			19	21	19
458	276			20	20	18,5
461	279			21	21,5	18
463	281	1		19	21,5	18
465	283	2		19	20	16
468	286	5		18	21	17
470	288	7		20	20,5	18
472	290	9		18	21	17,5
475	293	12		20	20	15
477	295	14		18	20	17
479	297	16		23	23	18
482	300	19		17	23	15,5
484	302	21		20	20,5	17
486	304	23		22	22	18
489	307	26		23,5	23	18
491	309	28		24	24	20,5
493	311	30		23	24	19,5
496	314	33		24	24	19
498	316	35		25	25	21
500	318	37		25	24,5	21
503	321	40		22	25	21

Continua

Tabela A.11: Valores de temperaturas ambiente, máxima e mínima. Cont.

Tempo (dias)				Temperatura		
Lis1 e 2	Lis3 e 4	Lis5 a 8	Lis9 e 10	Ambiente	Máxima	Mínima
506	324	43		23	24	19,5
510	328	47		16	23,5	16
512	330	49		20	20	20
514	332	51		22	23,5	18,5
517	335	54		16	22	16
519	337	56		17	16,5	15
521	339	58		16	18	15,5
524	342	61		18	18,5	14,5
526	344	63		18	19	16
528	346	65		17	20	17
531	349	68		18	21	17
533	351	70		19	22	19
535	353	72		20	23	19
538	356	75		15	24	15
540	358	77		17	23	15
542	360	79		16	23	17
545	363	82		18	20	16,5
547	365	84		19	24	18
549	367	86		21	25	20
552	370	89		21	27	20
554	372	91		19	26	20
556	374	93		19	26	20
559	377	96	1	21	23	19
561	379	98	3	18	24	20
563	381	100	5	21	25	20
566	384	103	8	28	28	21
568	386	105	10	23	27	22
570	388	107	12	24	29	23
573	391	110	15	19	30	21
575	393	112	17	24	25,5	20
577	395	114	19	20	25,5	20,5
580	398	117	22	22	24	20
582	400	119	24	25	28	22,5
584	402	121	26	25	29	25
587	405	124	29	26	30	23
589	407	126	31	26	30	24
591	409	128	33	17	27	18
594	412	131	36	18	21	18
596	414	133	38	19	23,5	19
598	416	135	40	18	20,5	17
601	419	138	43	21	24	18
603	421	140	45	22	24,5	22
605	423	142	47	21	26	21
608	426	145	50	22	26	21

Continua

Tabela A.11: Valores de temperaturas ambiente, máxima e mínima. Cont.

Tempo (dias)				Temperatura		
Lis1 e 2	Lis3 e 4	Lis5 a 8	Lis9 e 10	Ambiente	Máxima	Mínima
610	428	147	52	19	23	19,5
612	430	149	54	20	21	19
615	433	152	57	21	24	20
617	435	154	59	21	23	20
619	437	156	61	19	23,5	19
624	442	161	66	25	26	20
626	444	163	68	25	28,5	23,5
629	447	166	71	18	27	19,5
631	449	168	73	21	25	20
633	451	170	75	20	27	21
638	456	175	80	20	24	21
640	458	177	82	21	23,5	21
643	461	180	85	19	23,5	20
645	463	182	87	20	25,5	20
647	465	184	89	25	28,5	21,5
650	468	187	92	22	29,5	22,5
652	470	189	94	21	29	21,5
654	472	191	96	21	25	21,5
657	475	194	99	24	25	22
659	477	196	101	22	26	22,5
661	479	198	103	22	25,5	22
664	482	201	106	20	23,5	20
666	484	203	108	22	25	21
668	486	205	110	24	28	22
671	489	208	113	23	26	23
673	491	210	115	21	27	21
678	496	215	120	23	24	21
680	498	217	122	22	25	22,5
685	503	222	127	26	27,5	23
687	505	224	129	23	27	22
689	507	226	131	24	24,5	22,5
692	510	229	134	26	27	22
694	512	231	136	23	28	23
696	514	233	138	24	26	22
699	517	236	141	23	27	23
701	519	238	143	23	27	23
703	521	240	145	22	24	22
706	524	243	148	24	25	22
708	526	245	150	22	25	18
710	528	247	152	21	22,5	20
713	531	250	155	24	24	21
715	533	252	157	23	26	22
717	535	254	159	23	25	23
724	542	261	166	22	26	21

Continua

Tabela A.11: Valores de temperaturas ambiente, máxima e mínima. Cont.

Tempo (dias)				Temperatura		
Lis1 e 2	Lis3 e 4	Lis5 a 8	Lis9 e 10	Ambiente	Máxima	Mínima
727	545	264	169	21	27	22
729	547	266	171	23	25	22
731	549	268	173	23	28	23
734	552	271	176	24	28	24
736	554	273	178	26	28,5	24
738	556	275	180	27	30	26
741	559	278	183	23	27	23
743	561	280	185	24	28	23
745	563	282	187	21	23	22
748	566	285	190	22	25	22
750	568	287	192	26	28	23
752	570	289	194	26	30	26
755	573	292	197	24	30	25
757	575	294	199	23	27	23
759	577	296	201	24	27	23
762	580	299	204	24	27	23
764	582	301	206	24	25	24
769	587	306	211	21	27	22
771	589	308	213	23	26	22,5
773	591	310	215	25	27	24,5
776	594	313	218	25	28	25
778	596	315	220	24	27	24
780	598	317	222	26	29	25
783	601	320	225	26	29	25
785	603	322	227	26	29	26
787	605	324	229	27	29,5	25
790	608	327	232	24	29	24,5
792	610	329	234	25	27	24,5
794	612	331	236	24	28	23,5
798	616	335	240	21	27	22
801	619	338	243	19	21	20
805	623	342	247	19	22	19
808	626	345	250	21	23	20
812	630	349	254	21	25	21
815	633	352	257	25	26	21
819	637	356	261	25	28	23
822	640	359	264	23	28	24
826	644	363	268	20	27	21
829	647	366	271	22	22	20
833	651	370	275	24	25	20
836	654	373	278	24	25	22
840	658	377	282	21	25	21
843	661	380	285	25	25	21
847	665	384	289	23	25	22

Continua

Tabela A.11: Valores de temperaturas ambiente, máxima e mínima. Cont.

Tempo (dias)				Temperatura		
Lis1 e 2	Lis3 e 4	Lis5 a 8	Lis9 e 10	Ambiente	Máxima	Mínima
850	668	387	292	25	26	22
854	672	391	296	19	27	20
857	675	394	299	18	21	18
861	679	398	303	19	22	21
864	682	401	306	20	26,5	19
868	686	405	310	20	28	21
871	689	408	313	18	19	15
875	693	412	317	20	23	15
878	696	415	320	21	22	18
882	700	419	324	21	21	16
885	703	422	327	23	24	17
889	707	426	331	15	24	16
892	710	429	334	18	25	17
896	714	433	338	20	27	19
899	717	436	341	19	28	20
903	721	440	345	19	28	20
906	724	443	348	17	25	18
910	728	447	352	22	28	18
913	731	450	355	21	29	21
917	735	454	359	21	28	21
920	738	457	362	19	28	19
924	742	461	366	23	30	21
927	745	464	369	25	29	24
931	749	468	373	21	29	21
934	752	471	376	18	22	18
938	756	475	380	17	18	18
941	759	478	383	21	25	18
945	763	482	387	19	25	18
948	766	485	390	20	25	21
952	770	489	394	16	26	17
955	773	492	397	19	26	20
959	777	496	401	21	28	24
962	780	499	404	21	28	24
966	784	503	408	22	29	22
969	787	506	411	26	38	23
973	791	510	415	23	31	23
976	794	513	418	21	25	21
980	798	517	422	22	28	21
982	800	519	424	22	30	22
987	805	524	429	19	31	19
990	808	527	432	21	30	21
994	812	531	436	22	30	21
997	815	534	439	19	25	19

Continua

Tabela A.11: Valores de temperaturas ambiente, máxima e mínima. Cont.

Tempo (dias)				Temperatura		
Lis1 e 2	Lis3 e 4	Lis5 a 8	Lis9 e 10	Ambiente	Máxima	Mínima
1002	820	539	444	25	35	25
1004	822	541	446	20	28	21
1008	826	545	450	24	26	24
1011	829	548	453	24	29	24
1015	833	552	457	22	33	23
1018	836	555	460	22	32	22
1022	840	559	464	22	33	23
1025	843	562	467	21	27	21
1029	847	566	471	20	32	21
1032	850	569	474	21	33	23
1036	854	573	478	21	25	22
1039	857	576	481	22	28	23
1043	861	580	485	21	32	23
1046	864	583	488	23	31	23
1050	868	587	492	21	31	22
1053	871	590	495	21	27	22
1057	875	594	499	23	29	24
1060	878	597	502	23	29	23
1064	882	601	506	23	37	23
1067	885	604	509	22	32	24
1071	889	608	513	21	34	21
1074	892	611	516	22	31	22
1078	896	615	520	22	31	23
1081	899	618	523	21	28	22
1085	903	622	527	24	39	24
1088	906	625	530	22	39	23
1092	910	629	534	21	34	22
1095	913	632	537	21	29	22
1099	917	636	541	21	30	23
1102	920	639	544	21	27	21

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AANENSON, J.W., G.G. KILLOUGH, K.R. MEYER, A.S. ROOD, AND J.E. TILL. **Radionuclide Soil Action Level Independent Review. Task 3: Inputs and Assumptions**. Risk Assessment Corporation (USA): October 1999. (RAC Report No. 15-RSALOP-RFSAL-1999-FINAL). Disponível em: http://www.racteam.com/Experience/Publications/RSALS_Task3_Abs.htm. Acesso em: 14 abr. 2006

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Lixiviação de resíduos**. Setembro/1987. (ABNT-NBR-10005).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos. Coletânea de normas: ABNT NBR 10004, ABNT NBR 10005, ABNT NBR 10006, ABNT NBR 10007**. maio/2004. (ABNT-NBR-10004).

ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Landfill Gas Primer. An Overview for Environmental Health Professionals**. 2001. USA. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/hac/landfill/html/intro.html>>. Acesso em: 14 abr. 2006a.

ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological Profile for americium**. 2004. USA. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp156.html>>. Acesso em: 12 mai. 2006b

BARLAZ, M.A.; ROOKER, A.P.; KJELDSSEN, P.; GABR, M.A.; BORDEN, R.C. Critical evaluation of factors required to terminate the postclosure monitoring period at solid waste landfills. **Environmental Science & Technology**, v.36 (16), p. 3457-3464. 2002.

BELLI, M.; SALVADORI, P.; SGRILLI, E.; SUSANNA, A. **Public Health aspects in use of radium-226 and americium-241 in lightning rods**. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC (USA). Radioactivity in consumer products. Aug 1978. p. 441-447 (NUREG/CP—0001).

BRITO FILHO, L.F. **Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos**. 2005. Dissertação (mestrado). COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ

BOZKURT, S.; MORENO, L.; NERETNIEKS, I.; Long-term fate of organics in waste deposits and its effect on metal release. **The Science of the total Environment**, v. 228, p. 135-152. 1999.

CAMPOS, A.L.O. **Comportamento de dois reatores em batelada seqüenciais aeróbios com diferentes idades do lodo e retorno total do lodo em excesso após desintegração com ultra-som.** 2002. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos (USP), São Paulo.

CARVALHO, M.F. **Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos.** 1999. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos (USP), São Carlos, São Paulo.

CARVALHO, M.S. DE; SAMPAIO, E.A.L.; ALLELUIA, I.B. **Recuperação de amerício-241 de detetores de fumaça e pára-raios.** Instituto de Engenharia Nuclear, Rio de Janeiro, 1987 (IEN-DIRMA—02/87).

CASTILHOS JR, A. B. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte.** Rio de Janeiro: Abes, Rima, 2003. 294p. (Projeto PROSAB)

CASTRO, M.G.S.; TARIFA, J.R. **A acidez da chuva na cidade de São Paulo. GeoWeb PUC-SP, São Paulo, 1º. sem. 1999. Disponível em: <<http://www.pucsp.br/geoweb/chuva.htm>>. Acesso em: 10 dez. 2002.**

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Glossário Ecológico Ambiental. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/ambiente/glossario/glossario_a.asp> Acesso em 26 mai 2006.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo.** CETESB : Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2001.

CHRISTENSEN, T.H.; KJELDSSEN, P. Basic biochemical process in landfills. In: CHRISTENSEN, T.W.; COSSU, R. AND STEGMANN, R. (Ed.). **Sanitary landfilling: process, technology and environmental impact.** Academic Press, 1991. p. 29-49.

CHRISTENSEN, T.H.; KJELDSSEN, P.; BJERG, P.L.; JENSEN, D.L.; CHRISTENSEN, J.B.; BAUN, A.; ALBRECHTSEN, H; HERON, G. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. **Applied Geochemistry**, v. 16: p. 659-718. 2001.

CIAVATTA, C.; GOVI, M.; PASOTTI, L.; SEQUI, P. Changes in organic matter during stabilization of compost from municipal solid wastes. **Bioresource Technology**, v. 43, p. 141-145. 1993.

CLAIN, A.F.; AQUINO, J.O. DE; DOMINGUES, M.L.F. Recuperação de Am-241 de pára-raios e detetores de fumaça. **Química Nova**, v. 22(5), p.677-678, 1999.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Diretrizes básicas de radioproteção.** Rio de Janeiro, 1988 (CNEN-NE-3.01).

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Gerência de rejeitos radioativos em instalações radiativas**. Rio de Janeiro, 1985 (CNEN-NE-6.05).

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Licenciamento de instalações radiativas**. Rio de Janeiro, 1984 (CNEN-NE-6.02).

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Resolução da CNEN proíbe pára-raios radioativos. **Eletricidade Moderna**, v.27(182), p.10-11, 1989a.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Resolução nº 4 de 19 de abril de 1989, que suspende a concessão de autorização para utilização de material radioativo na elaboração de pára-raios**. Diário Oficial da União, 09 mai. 1989b, p. 7070.

COSTA, F.X.; de LUCENA, A. M. A.; TRESENA, N.L.; GUIMARÃES, F.S.; GUIMARÃES; M.M.B.; da SILVA, M.M.P.; GUERRA; H.O.C. Estudo qualitativo e quantitativo dos resíduos sólidos do campus I da Universidade Estadual da Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.4, n.2, 2004

CUI, X. D. **Arsenic in a landfill environment – A field investigation at Löt Landfill, North of Stockholm, Sweden**. 2004. Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden. Disponível em: http://www.lwr.kth.se/publikationer/PDF_Files/LWR_EX_04_32.PDF. Acesso em 12 abr 2006

EL-FADEL, M.; FINDIKAKIS, A.N.; LECKIE, J.O. Environmental impacts of solid waste landfilling. **Journal of Environmental Management**, v. 50, p.1-25, 1997.

ENRESA – EMPRESA NACIONAL DE RESIDUOS RADIOACTIVOS S.A. **Objetivos alcanzados. Proyectos de futuro**. Unidad de Soportes de la Comunicación, Dez, 1997. (Publicação Institucional)

ERIKSSON, Å; FREDRIKSSON, L. Leaching of transuranics observed in lysimeter experiments. In: 24th annual ESNA/IUR meeting: soil-plant relationships, 12-16 September, 1994, Varna (Bulgaria). **Proceedings...** Varna, 1994. p. 149-154.

FERGUSON, C.C. Assessing risks from contaminated sites: policy and practice in 16 European countries. **Land Contamination & Reclamation**, v. 7, n. 2, p. 33-54, 1999.

FERREIRA, Y.N.; DE FRANÇA, V.; SPOLADORE, A.; KANASHIRO, M.; HIRATA, C.A.; DIAS, L.F.P.; RIBEIRO, E.R.; TURINI, B.; TURINI, C.A.; MARÇAL, W.S.; CAZOTI, J.A.; HINO, M.Y.; NAKASHIMA, S.Y.; DA COSTA, D.R.F.; SANTAN'ANNA, S.; MARANDOLA JR.; E.; CASTILHO, F.J.V.; DOS SANTOS, M.A.; OKAMURA, C.T.; DUCCI, L.F.; MARCONI, G.H. Riscos ambientais urbanos. In: 9^a Reunião da Sociedade Brasileira de Pesquisadores Nikkeis, 16 a 18 de agosto, 2001, Bauru, São Paulo. **Anais...** Bauru: SBPN, 2001. p. 269-271.

HAMADA, J. Estimativas de geração e caracterização do chorume em aterros sanitários. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 14-19 Setembro, 1997, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ABES, 1997. p. 1801-1809.

HAMADA, J. **RESÍDUOS SÓLIDOS. Conceituação e Caracterização.** Faculdade de Engenharia de Bauru (Unesp). Bauru, Set. 2003.

HEILBRON F^o, P.F.L.; XAVIER, A.M. Pára-raios “radioativos”: proteção ou perigo? In: IV Congresso Geral de Energia Nuclear, 5-9 de julho, 1992, Rio de Janeiro. **Anais....**Rio de Janeiro, CGEN, 1992. p. 493-498.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Characterization of radioactively contaminated sites for remediation purposes.** IAEA, Viena, 1998. (IAEA-TECDOC-1017).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources.** Vienna, 1996. (Safety Series, 115)

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Radioactive waste management glossary.** 2nd ed. Vienna, 1988. (IAEA - TECDOC-447).

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000.** IBGE, Rio de Janeiro, 2002.

INANC, B.; IDRIS, A.; TERAZONO, A.; SAKAI, S. Development of a database of landfills and dump sites in Asian countries. **J. mater Cycles Waste Manag.** v.6: 97-103.

IWAI, C.K. **Tratamento de chorume através de percolação em solos empregados como material de cobertura de aterros para resíduos sólidos urbanos.** 2005. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Engenharia da UNESP – Campus de Bauru, Bauru, SP.

KELLY, E.J.; BELL, D.I.; JOHNSTONE, T.L. Lysimeter studies to investigate the leaching of ²⁴¹Am from low level radioactive waste. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 271-273, 227-230, 1998.

KHATTABI, H. & MANIA, J. Changes in the quality of landfill leachates from recent and aged municipal solid waste. **Waste Manage. Res.**, v. 20, p.357-364, 2002

KJELDSSEN, P.; BARLAZ, M.A.; ROOKER, A.P.;BAUN, A.; LEDIN, A. CHRISTENSEN, T. H. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v.32(4), p. 297-336. 2002.

LIMA, L.M.Q. **Estudo da influência da reciclagem de chorume na aceleração da metanogênese em aterro sanitário.** 1988. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos (USP), São Carlos, SP.

- LIMA, F.P. **Energia no tratamento de esgoto: Análise tecnológica e institucional para conservação de energia e uso do biogás**. 2005. Dissertação (mestrado) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia - PIPGE - da USP - Campus São Paulo, Sp.
- MARCHAIM, U. **Biogas processes for sustainable development**. Fao agricultural Services Bulletins no. 95, 1992.
- MARUMO, J.T. & SUAREZ, A.A. The determination of the cesium distribution coefficient of the interim storage soil from Abadia de Goiás, GO, Brazil. **Waste management**, v.10, pp. 111-115, 1990.
- MAZZILLI, B.; ROMERO FILHO; C.R.; KODAMA, Y.; SUZUKI, F.F.; DELLAMANO, J.C.; MARUMO, J.T.; SANCHES, M.P.; VICENTE, R.; BELLINTANI; S.A. **Noções básicas de proteção radiológica**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2002.
- MIRANDA, L.E.T.; VICENTE, R. **Processo para a gestão dos pára-raios radioativos no Brasil**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Departamento de Rejeitos Radioativos. São Paulo, 1999.
- MORAES, B.S. **Lixiviação de metal pesado cromo a partir de aparas de couro acabados, semi-acabados e "wet-blue", dispostos em lisímetros e células de aterros sanitários**. 1999. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre, Rio Grande do Sul.
- NATIONAL HEALTH AND MEDICAL RESEARCH COUNCIL. **Australian Drinking Water Guidelines**. 2004. Disponível em: <<http://www.nhmrc.gov.au/publications/files/awgfull.pdf>> Acesso em 01 fev. 2006
- OGAWA, H. Sustainable solid waste management in developing countries. In: 7th ISWA International Congress and Exhibition. **Proceedings of ...** Yokohama (Japan): 1996, October 27 – November 1.
- OPLUSTIL, C.P.; ZOCCOLI, C.M.; TOBOUTI, N.R.; SINTO, S.I. **Procedimentos Básicos em Microbiologia**. São Paulo. Sarvier Editora de Livros Médicos Ltda, 2000.
- LOUDIZ, A.; CESSAC, B.; BRENOT, J.; MAIGNÉ, J.P.; SANTUCCI, P. Methodological guide for risk assessment and management of industrial sites contaminated with radionuclides. In: 10th International Congress of the International radiation Protection Association, 14-19 may 2000, Hiroshima, Japan. **Proceedings of...** Hiroshima, Japan, 2000.
- PEREIRA, J.C. **Os microrganismos e os metais pesados do solo**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Ago. 2001. (Documento nº 132). Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br/serviços/download/doc132.pdf>>. Acesso em: 04 mai. 2004.

PERES, C.S.; NAUMOFF, A.F. Destinação de resíduos sólidos urbanos: o processo de compostagem. In: II Reunião Nacional de Microbiologia Aplicada ao Meio Ambiente, 1998, Florianópolis, Santa Catarina. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: UFSC, 1998. Disponível em: <<http://www.ufsc.br/ccb/untitled.htm>>. Acesso em: 28 nov. 2001.

RIZZO, A.C.L.; LEITE, S.G.F. **Produção de sulfeto em reator do tipo UASB e sua potencial aplicação na remoção de metais pesados de efluentes**. Rio de Janeiro, 2004. 102p. (Série Tecnologia Ambiental, 32)

ROBINSON, H.D.; MARIS, P.J. **Leachate from domestic waste: generation, composition, and treatment. A review**. Water Research Centre (WRC). Medmenham. USA. 1979. (TR 108).

SCARLATO, F.C.; PONTIM, J.A. **Do nicho ao lixo**. 14^a ed. São Paulo, Editora Atual, 1993.

SCHALCH, V. **Produção e características do chorume em processo de decomposição de lixo urbano**. 1984. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, SP.

SILVA, C. E. R. **O processo de trabalho da limpeza e coleta do lixo hospitalar na emergência do Hospital Municipal Paulino Werneck**. Dissertação (Mestrado) Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública; 1999. 97 p.

SISINNO, C.L.S. & MOREIRA, J.C. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. **Cad. Saúde Públ.**, v.12, n.4, p.515-523, 1996.

STANFORTH, R.; HAM, R.; ANDERSON, M. Development of a synthetic municipal landfill leachate. **Journal WPCF**, v. 51 (7), p. 1965-1974, 1979.

TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. **Handbook of solid waste management**. 2004. McGraw-Hill Companies. Disponível em: <<http://www.digitalengineeringlibrary.com>>. Acesso em: 28 mar 2006.

TEIXEIRA, E.N. **Efeito inibidor da recirculação direta de chorume na decomposição anaeróbia de resíduos sólidos**. 1993. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos (USP), São Carlos, SP.

TOLAYMAT, T.; KREMER, F.; CARSON, D.; DAVIS-HOOVER, W. **Monitoring Approaches for Landfill Bioreactors**. Cincinnati (USA): EPA – U.S. Environmental Protection Agency. National Risk Management research Laboratory, Dec. 2004 (EPA/600/R-04/301).

TORTORA, G.J.; FUNKE, B.R.; CASE, C.L. **Microbiologia**. 6^a ed. Porto Alegre, Ed Artmed, 2000.

TRÄNKLER, J. & VISVANATHAN, C. Municipal Solid Waste Management in Asia – A Comparative Analysis. In: Workshop on Sustainable Landfill Management. **Proceedings of ...** Chennai (India): 2003, 3-5 December, p. 3-15.

TUBTIMTHAI, O. **Landfill Lysimeter studies for leachate characterization and top cover methane oxidation**. 2003. Thesis (Master of Science) – School of Environment, Resources and Development, Thailand.

URASE, T.; SALEQUZZAMAN, M.; KOBAYASHI, S.; MATSUO, T.; YAMAMOTO, K.; SUZUKI, N. Effect of high concentration of organic and inorganic matters in landfill leachate on the treatment of heavy metals in very low concentration level. **Wat. Sci. Tech.**, v. 36, n. 12, p. 349-356, 1997.

VADYIA, R.D. Solid waste degradation, compaction and water holding capacity. 2002. Thesis (Master of Science)- Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia (USA).

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. V.2. Princípios básicos do tratamento de esgoto. Belo Horizonte: departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1996. 211p.

WANG, J.; MERRY-LIBBY, P. Environmental impacts of the release of a transuranic actinide, americium-241, from a contaminated facility. In: Nineteenth Midyear Topical Symposium on Health Physics Society, February 2-6, 1986, Knoxville, Tennessee. **Proceedings of ...**Knoxville, TN (USA): 1986. p. 217-225 .

WICKER, F.W.; SHAW, G.; VOIGT, G.; HOLM, E. Radioactive contamination: state of the science and its application to predictive models. **Environmental pollution**, v.100, p.133-149, 1999.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality**. 3rd edition V.1 Recommendation. Geneva: 2004.

YU, C.; LOUREIRO, C.; CHENG, J.-J.; JONES, L.G.; WANG, Y.Y.; CHIA, Y.P. AND FAILLACE, E. **Data collection handbook to support modeling impacts of radioactive material in soil**. Environmental Assessment and Information Sciences Division. Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois: April 1993. Disponível em: <<http://web.ead.anl.gov/resrad/home2/>>. Acesso em: 15 mar. 2006.

ZEHNDER, A.J.B.; INGVORSEN, K.; MARTI, T. Microbiology of methane bacteria. In: D. E. Hughes, D. A. Stafford, B. I. Wheatley, W. Baader, G. Lettinga, E. J. Nijns, W. Verstraete and R. L. Wentworth (eds). **Anaerobic Digestion**. Elsevier, Amsterdam, 1981. p. 45-68.

ZIPSE, D.W. Lightning protection systems: advantages and disadvantages. In: Petroleum and Chemical Industry Conference, 13-15 September, 1993, St. Louis (USA). **Proceedings...**St. Louis, 1993. p. 51-64

