

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

Uso do ^{210}Pb no estudo da deposição de
mercúrio em lagos da bacia do rio Madeira (RO)

Marcelo Vergotti

Orientador: Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto

Tese de Doutorado elaborada junto ao
Programa de Pós-Graduação em
Geociências - Área de Concentração
em Geociências e Meio-Ambiente, para
obtenção do título de Doutor em
Geociências.

Rio Claro (SP)

2008

551.9 Vergotti, Marcelo
V498u Uso do ^{210}Pb no estudo da deposição de mercúrio em
 lagos da bacia do rio Madeira (RO) / Marcelo Vergotti. – Rio
 Claro : [s.n.], 2008
 126 f. : il., tabs., figs., gráfs., mapas

 Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista,
 Instituto de Geociências e Ciências Exatas
 Orientador: Daniel Marcos Bonotto

 1. Geoquímica. 2. Metais pesados. 3. Geocronologia. 4.
 Contaminação por mercúrio. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI – Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Banca Examinadora

Prof. Dr. Antônio Carlos Arthur

Prof. Dr. Antônio Fernando Monteiro Camargo

Prof. Dr. Carlos Renato Corso

Prof. Dr. Francisco Yukio Hiodo

Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto
Orientador

Marcelo Vergotti

Rio Claro, 29 de julho de 2008.

Resultado : _____

*Dedico este trabalho a pessoa que certamente mais
sofreu com ele, minha esposa Joana Dargue, que
sempre me incentivou, de uma forma só sua, mas
sempre esteve ao meu lado.*

Agradecimentos

Talvez os agradecimentos sejam mais difíceis de fazer que a própria tese. São muitas as pessoas importantes até esse momento, muitos deram alguma contribuição para que eu chega-se a o momento de agradecer.

Passar no vestibular foi importante, me inscrevi em uma prorrogação do prazo porque o Prof. Oríci pagou minha inscrição. Oríci, obrigado! Sem você a história seria outra.

Ganhar uma bolsa de iniciação científica PIBIC para o laboratório de mercúrio da Unir também foi decisivo. Ao camarada que incendiou o laboratório e me cedeu a bolsa, obrigado.

A Priscila Galí que me ensinou todos os procedimentos de laboratório e me colocou em nível de fazer um mestrado. A Unir que me fez gente, nas pessoas de todos aqueles que sempre me mostraram o caminho.

Prof. Dr. Jairo Rueda, não há adjetivo em nosso vocabulário que possa descrever sua importância para os alunos de Rondônia, e para mim não podia ser diferente, muchas gracias maestro!

Nas novas edições dos dicionários de Língua Portuguesa, ao lado da palavra ENTUSIASMO mandarei colocar uma foto sua Wanderley (BASTOS), ter sua presença no laboratório foi a mola propulsora para essa aventura de viver intensamente a Academia, agradeço a Deus todos os dias por tê-lo como amigo.

Fazendo um paralelo com as histórias de ficção, nesse caso Frankenstein (eu), só uma pessoa pode ser responsabilizada como CRIADOR, você Ene Glória. Para você não posso agradecer, não quero ofende-lo com um muito obrigado, deixo então um abraço e espero sempre merecer tudo que fez por mim.

Para concluir, como não poderia ser diferente, agradeço a meu Fiel orientador Prof. Dr. Daniel Bonotto. Sua paciência é inacreditável, Gandhi teria esganado um orientado desse a muito mais tempo!! Só quem for seu orientado pode saber do que estou falando. Convier com você foi o grande aprendizado desse doutorado, a você também não vou agradecer, essa dívida eu não pago nem vivendo 200 anos! Um abraço.

Sumário

ÍNDICE	i
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. O CHUMBO COMO CRONÔMETRO	9
3. ASPECTOS GERAIS DA ÁREA	23
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
5. RESULTADOS	49
6. TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO.....	62
7. CONCLUSÃO.....	77
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
APÊNDICE A	87
APÊNDICE B	99
APÊNDICE C	105
APÊNDICE D	108

ÍNDICE

Página

CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 – O OURO ALUVIONAR NO RIO MADEIRA	1
1.2 – JUSTIFICATIVAS	2
1.3 – OBJETIVOS	3
1.4 – CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O MERCÚRIO	3
1.5 – CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O CHUMBO	5
1.6 – O CHUMBO 210	6
CAPÍTULO 2	9
O CHUMBO 210 COMO CRONÔMETRO	9
2.1 – PREMISSAS BÁSICAS	9
2.2 – REDUÇÃO DA ATIVIDADE DO CHUMBO 210 EM FUNÇÃO DE SUA MEIA VIDA	12
2.3 – EQUILÍBRIO RADIOATIVO ENTRE O ^{210}Pb E O ^{210}Po	13
2.4 – EQUILÍBRIO RADIOATIVO ENTRE O ^{210}Pb , ^{210}Bi E O ^{210}Po	15
2.5 – DATAÇÃO POR Pb-210	17
2.6 – MODELOS PARA A DETERMINAÇÃO DE Pb-210	18
2.6.1 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS	19
2.6.2 - MODELO SIMPLES	20
2.6.3 - MODELO DE FLUXO CONSTANTE	21
2.6.4 - MODELO DE ATIVIDADE ESPECÍFICA CONSTANTE	22
CAPÍTULO 3	23
ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO	23

3.1 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA	23
3.2 – CLIMA E VEGETAÇÃO	25
3.3 – GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA	25
3.3.1 – O TERRENO JAMARI	30
3.3.2 – O TERRENO ROOSEVELT	30
3.3.3 – O TERRENO NOVA BRASILÂNDIA	31
3.4 – HIDROGRAFIA	33
3.5 – DESCRIÇÃO DOS LAGOS	33
3.5.1 – LAGO BRASILEIRA	34
3.5.2 – LAGO TUCUNARÉ.....	34
3.5.3 – LAGO ARAÇÁ	35
3.5.4 – LAGO PACA	35
3.5.5 – LAGO NAZARÉ	35
3.5.6 – LAGO SANTA CATARINA	35
3.5.7 – LAGO CONCEIÇÃO	36
3.5.8 – LAGO DEMARCAÇÃO	36
3.5.9 – LAGO DA USINA HIDROELÉTRICA DE SAMUEL (U. H. S)	36
 CAPÍTULO 4	 37
MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1 – AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE ÁGUAS	37
4.2 – ANÁLISES DE MATÉRIA ORGÂNICA, MERCÚRIO E PRINCIPAIS ÓXIDOS NOS SEDIMENTOS	38
4.3 – ANÁLISE DOS SEDIMENTOS POR ESPECTROMETRIA GAMA	40
4.4 – CALIBRAÇÃO DO SISTEMA ESPECTOMÉTRICO GAMA	42
4.5 – ANÁLISES DOS SEDIMENTOS COM ESPECTROMETRIA ALFA	45
4.5.1 – CALIBRAÇÃO DO SISTEMA ESPECTROMÉTRICO ALFA	47

CAPÍTULO 5	49
RESULTADOS	49
5.1 – AMOSTRAS DE ÁGUA	49
5.2 – CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS	54
5.3 – DADOS ESPECTROMÉTRICOS PARA OBTENÇÃO DO Pb – 210 TOTAL	58
5.4 – DADOS ESPECTROMÉTRICOS PARA OBTENÇÃO DO “Pb - 210 PRODUZIDO”	60
 CAPÍTULO 6	62
TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO	62
6.1 – O ^{210}Pb “PRODUZIDO” NOS SEDIMENTOS	62
6.2 – O ^{210}Pb “NÃO PRODUZIDO” NOS SEDIMENTOS	66
6.3 – COMPARAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS PARA AS TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO	70
6.4 – O Hg NOS LAGOS ESTUDADOS E O TEMPO DE DEPOSIÇÃO DOS SEDIMENTOS	74
 CAPÍTULO 7	77
CONCLUSÃO	77
 CAPÍTULO 8	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 - Atividades relativas em função do tempo para Pb-210	12
TABELA 2 - Janelas espectrais comumente utilizadas para medidas com espectrômetro gama na investigação de urânio, tório e potássio	42
TABELA 3 - Calibração em energia para o sistema utilizado	44
TABELA 4 - Dados utilizados para a elaboração das curvas de calibração para os detectores utilizados nos sistemas espectrométricos alfa	48
TABELA 5 - Valores do pH e condutividade elétrica nas águas dos lagos estudados	50
TABELA 6 – Resultados das análises dos principais cátions e ânions dissolvidos (mg/L) nas águas dos lagos estudados	52
TABELA 7 – Teores médios dos principais óxidos (em %) nos testemunhos estudados.	55
TABELA 8 – Valores médios das Bases e do R_2O_3 nos testemunhos dos lagos estudados	55
TABELA 9 – Teores de Hg (ppb) nos perfis de sedimentos dos lagos estudados.	57
TABELA 10 - Resultados das análises de Po-210 por espectrometria ALFA no perfil de sedimentos do Lago Araçá	88

TABELA 11 - Resultados das análises de Po-210 por espectrometria ALFA no perfil de sedimentos do Lago Tucunaré	90
TABELA 12 - Resultados das análises de Po-210 por espectrometria ALFA no perfil de sedimentos do Lago Paca	91
TABELA 13 – Resultados das análises de Pó - 210 por espectrometria ALFA no perfil de sedimentos do Lago Nazaré	91
TABELA 14 - Resultados das análises de Po-210 por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago Demarcação	92
TABELA 15 - Resultados das análises de Po - 210 por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago Santa Catarina	93
TABELA 16 - Resultados das análises de Pó - 210 por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago Conceição.	94
TABELA 17 - Resultados das análises de Po - 210 por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago Brasileira	95
TABELA 18 - Resultados das análises de Po - 210 por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago da U.H.S.	96
TABELA 19 - Resultados das análises por espectrometria gama no perfil de sedimentos do Lago Araçá	97
TABELA 20 - Resultados das análises por espectrometria gama no perfil de sedimentos do Lago Tucunaré	98

TABELA 21 - Resultados das análises por espectrometria gama no perfil de sedimentos do Lago Paca	100
TABELA 22 - Resultados das análises por espectrometria gama no perfil de sedimentos do Lago Demarcação	101
TABELA 23 - Resultados das análises por espectrometria gama no perfil de sedimentos do Lago Nazaré	102
TABELA 24 - Resultados das análises por espectrometria gama no perfil de sedimentos do Lago Santa Catarina	102
TABELA 25 - Resultados das análises por espectrometria gama no perfil de sedimentos do Lago Brasileira	103
TABELA 26 - Resultados das análises por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago da U.H.S.	103
TABELA 27 - Resultados das análises por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago Conceição	104
TABELA 28 - Coeficientes de correlação entre o Pb_s (^{210}Pb "produzido") e os principais constituintes dos sedimentos.	106
TABELA 29 - Parâmetros para a determinação da taxa de sedimentação pelo método do ^{210}Pb nos testemunhos do Lago Araçá.	107
TABELA 30 - Parâmetros para determinação da taxa de sedimentação pelo método de ^{210}Pb nos testemunhos do Lago Tucunaré.	109
TABELA 31 - Parâmetros para determinação da taxa de sedimentação pelo método de ^{210}Pb nos testemunhos do Lago Paca.	110

TABELA 32 - Parâmetros para determinação da taxa de sedimentação pelo método de ^{210}Pb nos testemunhos do Lago Demarcação.	111
TABELA 33 - Parâmetros para determinação da taxa de sedimentação pelo método de ^{210}Pb nos testemunhos do Lago Nazaré.	111
TABELA 34 - Parâmetros para determinação da taxa de sedimentação pelo método de ^{210}Pb nos testemunhos do Lago Santa Catarina.	112
TABELA 35 - Parâmetros para determinação da taxa de sedimentação pelo método de ^{210}Pb nos testemunhos do Lago Conceição.	112
TABELA 36 – Parâmetros para determinação da taxa de sedimentação pelo método de ^{210}Pb nos testemunhos do Lago Brasileira.	113
TABELA 37 - Parâmetros para determinação da taxa de sedimentação pelo método de ^{210}Pb nos testemunhos do Lago da U.H.S.	113
TABELA 38 - Taxas de sedimentação obtidas pelo método do ^{210}Pb nos lagos estudados.	114
TABELA 39 - Taxas de sedimentação determinadas pelo método do ^{210}Pb	114
TABELA 40 - Taxas de sedimentação nos lagos estudos.	73

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 - Esquema de decaimento da série do ^{238}U (Ivanovich, 1992)	8
FIGURA 2 - Atividades relativas em função do tempo para o Pb - 210	13
FIGURA 3 - Equilíbrio radioativo entre o ^{210}Pb e o ^{210}Po	14
FIGURA 4 - Atividade do Pb - 210 e seus “filhos” em função do tempo	17
FIGURA 5 - – Mapa de Localização da área de coleta dos perfis de sedimentos em lagos	24
FIGURA 6 - Mapa Geológico do Estado de Rondônia.	27
FIGURA 7 – Mapa Geológico da área de estudo	28
FIGURA 8 – Mapa de Terrenos tectônicos-estatigráficos no Estado de Rondônia .	32
FIGURA 9 – Espectro de raios gama obtido para fontes de U, Th e K, segundo Ward (1981)	41
FIGURA 10 – Espectro gama obtido para fonte de ^{137}Cs	42
FIGURA 11 – Espectro gama obtido para fonte de ^{60}Co , com a presença do pico soma	43
FIGURA 12 – Espectro gama obtido para pechblenda contendo 1% de U	43

FIGURA 13 – Espectro gama obtido para areia monazítica contendo 1% de Th e 0,004% de U	43
FIGURA 14 – Espectro gama obtido para KCl	44
FIGURA 15 – Calibração do espectrômetro gama utilizado	44
FIGURA 16 – Curva de calibração do U em concentração.	45
FIGURA 17 – Espectro alfa típico obtido através da leitura de padrão contendo isótopos de urânio e descendentes do ^{232}U (DUARTE, 2002)	47
FIGURA 18 – Curva de calibração para o espectrômetro alfa em com detectores de barreira de superfície ORTEC por meio de padrão contendo isótopos de urânio e descendentes do ^{232}U (detector 1)	48
FIGURA 19 – Diagrama de PIPER para as amostras de água coletadas na área de estudo.	53
FIGURA 20 – Correlação entre as médias de LOI (perda ao fogo) e SiO_2 nos perfis de sedimento dos lagos estudados (VERGOTTI, 2002)	56
FIGURA 21 – Correlação entre as médias de SiO_2 e Bases nos perfis de sedimento dos lagos estudados (VERGOTTI, 2002)	56
FIGURA 22 – Correlação entre as médias de Hg (ppb) e LOI (%) nos perfis de sedimento dos lagos estudados	58
FIGURA 23 – Espectrograma alfa para o polônio extraído da amostra de sedimentos de 15 a 20 cm de profundidade do perfil coletado no lago Tucunaré.	59

FIGURA 24 – Espectrograma gama obtido para a amostra de sedimentos de 15 a 20 cm de profundidade do perfil coletado no lago Tucunaré.	61
FIGURA 25 – Correlações significativas obtidas no lago Brasileira.	65
FIGURA 26 – Correlações significativas obtidas no lago Santa Catarina.	65
FIGURA 27 – Variação da atividade do ^{210}Pb “não produzido” em função da profundidade.	68
FIGURA 28 – Variação da atividade do ^{210}Pb “não produzido” em função da massa seca acumulada por unidade de área.	69
FIGURA 29 – Tempo de deposição em função da profundidade.	72
FIGURA 30 – Teores de Hg (ppb) em função da profundidade nos lagos estudados.....	76

RESUMO

Nesse trabalho foram estudados lagos na bacia do rio Madeira a jusante de Porto Velho, Estado de Rondônia, Brasil, com o propósito de determinar a taxa de acumulação de sedimentos, usando o ^{210}Pb como geocronômetro e buscando estabelecer um histórico da deposição de mercúrio. Dois perfis de sedimentos apresentaram correlações significativas entre alguns constituintes e a atividade de ^{210}Pb , estando as diferenças possivelmente relacionadas com a abundância relativa de matéria orgânica e óxidos de ferro. As taxas de sedimentação obtidas situam-se entre 118,9 e 2256,5 mg/cm².ano (1,7 e 16,7 mm/ano), com média igual a 975,4 mg/cm².ano. A atividade garimpeira do ouro aluvionar no final e início das décadas de 70 e 80, respectivamente, poderia contribuir com a deposição de Hg nos sedimentos dos lagos, em virtude das emissões atmosféricas/transporte fluvial, porém, como há sedimentos que exibem teores de Hg anteriores ao garimpo mais elevados que aqueles associados às décadas de 70 e 80, sugere-se que os teores de Hg encontrados são geogênicos, não estando relacionados com atividades antrópicas realizadas na região.

Palavras chave: Mercúrio, geocronologia por ^{210}Pb , rio Madeira

ABSTRACT

Lakes situated downstream from Porto Velho city, Rondônia State, Brazil, in the Madeira river basin, were studied in this investigation with the purpose of evaluating the sedimentation rate. ^{210}Pb has been utilized as a geochronometer with the aim of establishing the mercury depositional history. Two sediments profiles exhibited significant correlations among some constituents and the ^{210}Pb activity. The differences are probably associated to the relative abundance of organic matter and iron oxides. The measured sedimentation rates are between 118.9 and 2256.5 $\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{year}$ (1.7 and 16.7 mm/year); the average value is 975.4 $\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{year}$. The alluvial gold exploitation using prospector methods during the 70 and 80s could contribute with the Hg deposition in lake sediments due to atmospheric emissions/fluvial transport. However, previously to the gold mining activities during 70s and 80s, there was the occurrence of sediments whose Hg content was more pronounced, suggesting that the values obtained are geogenic rather than related to anthropogenic activities held in the area.

Key words: Mercury, ^{210}Pb geochronology, Madeira river

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. O ouro aluvionar no rio Madeira

O garimpo de ouro aluvionar no rio Madeira surgiu a partir de 1978 no município de Porto Velho (RO) e cresceu até 1985, e hoje pouco significa para a economia local. O mercúrio é utilizado para separar a fração ouro dos minerais pesados através do amálgama, o qual é queimado, liberando outra vez o mercúrio na forma de vapor para atmosfera.

Nos processos de concentração de ouro também há uma perda de mercúrio metálico (Hg^0) para o meio ambiente durante seu manuseio, principalmente nos rejeitos ricos do metal (LACERDA & SALOMONS, 1991). No ato da venda, nos centros urbanos, o ouro sofre uma re-queima eliminando, para atmosfera o Hg que não foi retirado na queima durante a extração.

Calcula-se que foram lançados na atmosfera de 55% a 65% do mercúrio usado no garimpo de ouro em Porto Velho, sendo que a quantidade de Hg para extrair 1Kg de ouro é de 1,32 Kg (PFEIFFER & LACERDA, 1988).

LACERDA et al. (1989) estimam que no garimpo do Rio Madeira jogava-se no meio ambiente cerca de 25 toneladas de Hg anualmente, o que representa em 10 anos aproximadamente 150 toneladas de mercúrio para a atmosfera.

Na atmosfera, principal meio de transporte e dispersão do Hg a longas distâncias (MILLER, 1970), o Hg em contato com a água e o ozônio pode sofrer ionização, ficando assim mais solúvel e precipitando com a chuva ou partículas em suspensão. O seu tempo de residência na atmosfera ainda é muito discutido, provavelmente cinco dias ou ainda menos para concentrações mais elevadas (LIDQUIST et al., 1984).

Os lagos constituem grandes captadores da precipitação pluviométrica, sendo os sedimentos excelentes acumuladores de metais pesados. Com relação ao mercúrio, o tamanho das partículas do sedimento está inversamente ligado ao teor do metal, ou seja, quanto menor as partículas de sedimento maior a acumulação de mercúrio (LORING, 1975).

Os teores de mercúrio apresentam-se diretamente ligados aos teores de matéria orgânica dissolvida, sendo que mais de 70% do Hg encontra-se adsorvido pela matéria orgânica (LORING, 1975). Desta maneira, os perfis de sedimentos extraídos de lagos são ideais para uma avaliação histórica da contaminação do Hg na região (PFEIFFER & LACERDA, 1988).

Nos sedimentos do rio Madeira, PFEIFFER et al. (1989) verificaram que os teores de Hg encontrados próximos às dragas atingiam $2,60 \mu\text{g.g}^{-1}$, diminuindo até valores de *background* a poucos quilômetros de distância, o que sugere que lagos na bacia do Madeira não devem ter sofrido uma influência direta das águas do rio, estando talvez isentos de contaminação via material particulado em suspensão nessa água. Também, o *background* de mercúrio estabelecido por SILVEIRA (1998) para rochas da região (média de $0,0045 \mu\text{g.g}^{-1}$) descarta a possibilidade de ter sido esta uma fonte significativa para a presença de Hg nos sedimentos.

1.2. Justificativas

Depois de passado o auge do garimpo, a sociedade civil organizada e órgãos governamentais como Secretaria de Meio Ambiente (SEDAM), centros de pesquisa e fomento procuraram avaliar o impacto causado pelo garimpo ao meio ambiente, os prejuízos e riscos às populações ribeirinhas (povoados situados às margens do rio Madeira) causados pela contaminação relacionada com o uso do mercúrio. Tragédias como a de Minamata (Japão) e no Iraque nas décadas de 50, 60 e 70 servem de alerta para a comunidade internacional a respeito dos perigos desse tipo de contaminação.

As populações que vivem hoje às margens do rio Madeira estão diretamente expostas aos perigos da contaminação por mercúrio, pois, a sua dieta tem como principal alimento o peixe, geralmente pescado em lagos da região.

Esta pesquisa pretende contribuir para o estudo de porção da bacia do rio Madeira potencialmente afetada pelo uso de mercúrio (Hg), através da avaliação histórica da deposição desse metal em lagos situados a jusante do município de Porto Velho, capital do Estado de Rondônia.

1.3. Objetivo

Esta pesquisa tem o propósito de determinar a taxa de acumulação de sedimentos em lagos da bacia do rio Madeira, usando o ^{210}Pb como geocronômetro de maneira a estabelecer um histórico da deposição de mercúrio. Pretende-se, com isto, avaliar se fatores geogênicos ou antrópicos estão relacionados com a acumulação de mercúrio nos sedimentos dos lagos estudados.

1.4. – Considerações sobre o mercúrio

Desde a Antigüidade, o mercúrio e seus compostos vêm sendo utilizados para os mais diferentes fins. O HgS era usado como pigmento vermelho em pinturas ou para o tratamento de sífilis na Europa dos séculos 17 e 18. Hoje sua aplicação é requisitada em lâmpadas, indústrias de cloro-soda, eletro – eletrônica, e de tintas ou, então, para fazer o amálgama em garimpos de ouro.

As jazidas de mercúrio encontram-se em áreas “tectonicamente ativas” como no Japão, Itália, México e Califórnia, onde é extraído na forma de HgS (cinábrio). O mercúrio pode ser encontrado em grande variedade com relação aos seus estados físico e químico, residindo a diferença das formas nas propriedades atômicas.

Chamado de metal pesado devido sua elevada massa atômica ($\text{Hg}_{200,59}$) e com distribuição eletrônica $K = 2$, $L = 8$, $M = 18$, $N = 32$, $O = 18$, $P = 2$ e configuração $1s^1$, $2s^2$, $2p^6$, $3s^2$, $3p^6$, $4s^2$, $3d^{10}$, $4p^6$, $3s^2$, $4d^{10}$, sp^6 , $6s^2$, $4f^{14}$, $5d^{10}$, o mercúrio pode ser encontrado em três estados de oxidação: Hg^0 , em seu estado elementar, Hg^{1+} e Hg^{2+} , respectivamente, com perda de um e dois elétrons. Tem ponto de fusão a $38,9^\circ\text{C}$, de ebulição a $356,9^\circ\text{C}$ e seu calor específico a 25°C é de $0,0331\text{cal/g}$. A uma temperatura de 20°C , tem viscosidade de $1,55\text{cp}$, pressão de vapor de 14mg/m^3 e concentração de vapor de $13,2\text{ mg/m}^3$ (U.S. BUREAU OF MINES, 1970 *apud* SILVEIRA, 1998).

As reações de oxidação do Hg^0 (mercúrio metálico) para suas formas iônicas Hg^{2+} e Hg_2^{2+} podem ocorrer de diferentes formas. Na bacia do rio Madeira a principal forma está ligada aos lançamentos de Hg na atmosfera: o Hg^0 vai à atmosfera na forma de vapor, depois é oxidado para Hg^{2+} por reações com o ozônio e vapores d'água. Uma vez oxidado, o mercúrio retorna à superfície com a precipitação das chuvas, podendo sofrer varias reações além da organificação e assimilação pela biota (LINDQVIST et al., 1984). Também pode ser depositado na forma Hg^0 ligado a partículas em suspensão na atmosfera (LINDBERG et al., 1996).

Como Hg^{2+} , o mercúrio poderá sofrer adsorção em argilominerais, óxidos hidratados de ferro e manganês, matéria orgânica e pela biota, reagir com a metilcobalina formada pelas bactérias e com o metano, formando o metilmercúrio, ou formar íons complexos com cloreto, carbonato, sulfato, hidróxido de metilmercúrio, além de recomplexar com outros grupos orgânicos. Esses processos de adsorção de íons podem ocorrer principalmente por troca iônica, adsorção não específica e adsorção específica (CETEM/CNPq, 1991).

Na formação de sais com cloreto, nitrato e sulfato, o mercúrio (II) forma uma importante classe de compostos organometálicos. Esta formação é caracterizada por ligação do mercúrio com um ou dois átomos de carbono para formar compostos do tipo RHgX e RHgR' onde R e R' representam compostos orgânicos. A maior parte dos compostos é do tipo RHgX , onde X pode ser uma variedade de ânions (WHO, 1989)

Seu principal mineral é o cinábrio (HgS), com 86% de Hg e 14% de S. Frequentemente está associado a argilas, óxidos de ferro e betume. Em segundo, na ordem de importância, está a metacinabarita, $\text{HgS}-(\text{HgS})_{80}(\text{HgSe})_{20}$, que tem a mesma origem do cinábrio.

1.5. – Considerações gerais sobre o chumbo

O chumbo é um elemento tóxico e raramente encontra-se na sua forma metálica. Geralmente ocorre combinado com o enxofre, sob forma de sulfetos, sendo a galena, PbS , o mais abundante dos minérios de chumbo.

O chumbo também pode ser encontrado na forma de carbonato (cerusita, PbCO_3), sulfato (anglesita, PbSO_4), cromato (crocoisita, PbCrO_4), fosfato [piromorfita, $\text{PbCl}_2 \cdot 3\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$], molibdato (wulfenita, PbMoO_4) e cloreto (matloquita, PbCl_2).

Assim como o mercúrio, o chumbo é um elemento químico chamado de metal pesado devido sua elevada massa atômica ($\text{Pb}_{207, 21}$). Apresenta distribuição eletrônica $K = 2$, $L = 8$, $M = 18$, $N = 32$, $O = 18$, $P = 4$ e configuração $1s^1, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^{10}, 4p^6, 3s^2, 4d^{10}, sp^6, 6s^2, 4f^{14}, 5d^{10}$, tem ponto de fusão a 327°C e de ebulição a 1620°C .

O chumbo é um metal maleável, pesado, cinzento-opaco e pode ser cortado facilmente. Devido sua propriedade tóxica inibe várias reações bioquímicas catalisadas por enzimas. Quando está fundido, sua oxidação é rápida e quando exposto ao ar forma-se em sua superfície uma película de óxido que o protege da corrosão atmosférica (ROCHA, 1973)

As principais fontes naturais de chumbo são as erupções vulcânicas, o intemperismo geológico e as emissões das nebulizações marinhas, totalizando 19000 toneladas ao ano (WHO, 1995). No caso das erupções vulcânicas, temos uma presença muito marcante na cordilheira dos Andes, o que torna a Amazônia uma área suscetível à deposição de cinzas.

Os óxidos de chumbo conhecidos são: o óxido de chumbo II (PbO), o dióxido de chumbo (PbO_2) e o tetróxido de trichumbo Pb_3O_4). Seus íons bivalentes Pb^{2+} são os mais estáveis e mais comuns; os compostos orgânicos tendem a apresentar-se de forma tetravalente, instável, sendo o íon Pb^{4+} inexistente em soluções.

Dentre os compostos de Pb destacam-se: acetato de Pb bivalente $[\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2]$; cloreto de Pb (PbCl_2), cotumita; óxido de Pb bivalente (PbO), litárgio; sulfeto de Pb bivalente (PbS), galena; sulfato de Pb bivalente (PbSO_4),

anglesita; carbonato de Pb bivalente (PbCO_3), cerusita; cromato de Pb (PbCrO_4), crocoíta.

Quanto ao uso, o chumbo tem importância na preparação da gasolina, aumentando o índice de octanas, que torna a queima mais estável; contudo, posteriormente é liberado pelos escapamentos dos automóveis, contribuindo com a contaminação atmosférica (RUSSEL, 1980). No Brasil este aditivo deixou de ser usado como antidetonante desde 1978.

1.6 – O Chumbo - 210

O ^{210}Pb é um radionuclídeo que pertence à série do ^{238}U . Está presente nos solos e nas rochas em quantidades diferentes, devendo sua presença no meio ambiente ao Ra-226, que decai para o gás nobre radônio, Rn-222. Com uma meia vida de 3,8 dias e depois de passar por alguns nuclídeos de meia-vida curta o Rn-222 decai para Pb-210, que possui meia-vida de 21,4 anos (**Figura 1**). Na **Figura 1** verifica-se que a série do ^{238}U apresenta ainda dois outros isótopos de chumbo, o Pb-214 (instável) e o Pb-206 (estável).

O Pb-210 na atmosfera, após um tempo de residência de 9,6 dias ou algumas semanas, é depositado pela precipitação das chuvas, entrando em lagos e reservatórios dessa forma ou por intermédio do escoamento superficial (FRANCIS et al., 1970; BURTON & STEWART, 1960; PEIRSON et al. 1966; EAKINS & MORRISON, 1978).

Nos lagos, o Pb-210 deposita-se no fundo por sedimentação e trocas químicas, incorporando-se às camadas de sedimento. Nos sedimentos é possível encontrar Pb-210 gerado pelo decaimento do Ra-226 presente (Pb-210 “produzido”) e o Pb-210 proveniente da deposição atmosférica (Pb-210 “não-produzido”), $^{210}\text{Pb}_{\text{XS}}$.

Como geocronômetro, o Pb-210 tem aplicação na medida da taxa de acumulação de sedimentos, que é muito importante nos estudos de limnologia, do histórico da poluição de metais pesados, de taxas de erosão regional e crescimento de pântanos (CHRISTENSEN & GOETZ, 1987)

A datação por meio do Pb-210 pode ser feita de forma indireta mediante a medida do Bi-210 (contagem de partículas beta) ou do Po-210, que apresenta vantagens, pois, esse nuclídeo pode ser identificado sem erros por espectrometria alfa (técnica mais sensível) e sua extração dos sedimentos é simples.

A determinação direta do Pb-210 pode ser feita por intermédio da medida da radiação gama (energia de 46,51 KeV) ou das partículas beta (energia de 18 KeV). Porém, elas são de difícil mensuração por estarem em uma região de baixa energia. Dessa forma, a determinação indireta a partir do ^{210}Po foi adotada nesse trabalho.

	MEMBROS DA SÉRIE DO ^{238}U						
U	$^{92}\text{U}^{238}$ 4,5x10 ⁹ a		$^{92}\text{U}^{234}$ 2,5x10 ⁵ a				
Pa	↓	$^{91}\text{Pa}^{234}$ 1,18 m	↓				
Th	$^{90}\text{Th}^{234}$ 24,1d		$^{90}\text{Th}^{230}$ 7,5x10 ⁴ a				
Ac			↓				
Ra			$^{88}\text{Ra}^{226}$ 1602 a				
Fr			↓				
Rn			$^{86}\text{Rn}^{222}$ 3,825 d				
At			↓	$^{85}\text{At}^{218}$ 2 s			
Po			$^{84}\text{Po}^{218}$ 3,05 m	↓	$^{84}\text{Po}^{214}$ 1,6x10 ⁻⁴ s		$^{84}\text{Po}^{210}$ 138,4 d
Bi			↓	$^{83}\text{Bi}^{214}$ 19,7 m	↓	$^{83}\text{Bi}^{210}$ 5 d	↓
Pb			$^{82}\text{Pb}^{214}$ 26,8 m	↓	$^{82}\text{Pb}^{210}$ 21,4 a		$^{82}\text{Pb}^{206}$ estável
Tl				$^{81}\text{Tl}^{210}$ 1,3 m			

Figura 1: Esquema de decaimento da série do ^{238}U (Ivanovich & Harmon, 1992).

Símbolos: ↓ decaimento alfa; ↗ decaimento beta.

CAPÍTULO 2

O CHUMBO - 210 COMO CRONÔMETRO

2.1 - Premissas básicas

As informações relativas ao emprego do Pb-210 como geocronômetro foram baseadas nas descrições feitas por LIMA (2000).

A atividade **A** dos radionuclídeos é definida como o módulo da função:

$$A = \left| -\frac{dN}{dt} \right| \quad (1)$$

onde **dN/dt** expressa a taxa de variação do número de nuclídeos por unidade de tempo, também expressa por:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (2)$$

sendo λ a constante de decaimento e **N** o número de átomos no sistema num tempo **t**.

Integrando a equação (2) obtém-se:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Com **N₀** sendo o número de átomos inicialmente presentes no sistema, e **T_½** o tempo para a desintegração de metade dos átomos do sistema, então, podemos escrever:

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}} \quad (4)$$

O acúmulo dos produtos de decaimento em uma série radioativa, para um número muito grande de átomos, é descrito pelo sistema de equações diferenciais:

$$dN_1 = -\lambda_1 N_1 dt$$

$$dN_2 = (\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2) dt \quad (5)$$

$$dN_3 = (\lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3) dt$$

.....

$$dN_i = (\lambda_{i-1} N_{i-1} - \lambda_i N_i) dt$$

Cada N_i é o número de átomos do i-ésimo elemento da série radioativa presente no instante t e λ_i é a sua respectiva constante de decaimento.

Se o índice “0” corresponder ao estado inicial no instante $t = 0$, então, assumindo $N_2 = 0$, a integração da segunda equação fornece o número de núclídeos produzidos a partir do decaimento radioativo de um determinado “pai”:

$$N_2 = \frac{N_1 \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} [1 - e^{-(\lambda_2 - \lambda_1)t}] \quad (6)$$

No caso em que $\lambda_2 \gg \lambda_1$, é possível simplificar a expressão para:

$$N_2 = \frac{\lambda_1 N_1^0}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (7)$$

Se o sistema existe há muito tempo ($t \rightarrow \infty$), pode-se escrever:

$$N_2 = \frac{\lambda_1 N_1^0}{\lambda_2} \quad (8)$$

Nessas condições $dN_2/dt = 0$ e o número de átomos do produto permanece inalterado. O conjunto de equações diferenciais (5) indica, então, um estado estacionário, valendo as relações:

$$dN_1/dt = -\lambda_1 N_1$$

$$dN_2/dt = 0$$

$$dN_3/dt = 0 \quad (9)$$

.....

$$dN_i/dt = 0$$

A essa condição dá-se o nome de “equilíbrio radioativo” ou “equilíbrio secular”. O desaparecimento em função do tempo é igual ao número de átomos formados no mesmo intervalo de tempo, situação que ocorre em sistema fechado para os membros de uma série radioativa natural (BONOTTO, 1982). Excetuando-se a primeira equação em (5), em que $\lambda_1 N_1 \cong 0$, teremos:

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \dots\dots\dots = \lambda_{i-1} N_{i-1} \quad (10)$$

Dessa forma, o número de núcleos que se desintegram por unidade de tempo é o mesmo para qualquer radionuclídeo, ou seja, num sistema constituído por uma série de decaimento em equilíbrio radioativo secular, as atividades dos produtos de decaimento são iguais entre si.

Numa série como a do urânio, iniciada pelo ^{238}U e encerrada no ^{206}Pb estável, tem-se o equilíbrio radioativo entre os membros intermediários da cadeia estabelecido em diferentes intervalos de tempo.

2.2 - Redução da atividade do Pb-210 em função de sua meia-vida

A utilização da meia-vida de um nuclídeo é uma forma conveniente para estabelecer a taxa com que ele perde sua radioatividade, a qual, pode variar de alguns segundos até milhões de anos (**Figura 1**).

A equação (3) pode ser descrita em termos de atividade e meia-vida como:

$$\frac{A}{A_0} = e^{\frac{-0,693}{T_{1/2}} \cdot t} \quad (11)$$

onde, A_0 corresponde à atividade inicial dos nuclídeos radioativos e A representa a atividade num instante t .

A **Tabela 1** e a **Figura 2** ilustram as atividades relativas A/A_0 e o tempo decorrido em função de unidades de meia-vida do Pb-210. Como podemos verificar, após 156 anos, a atividade do Pb-210 é inferior a 1% da atividade inicial, o que restringe as datações com este radionuclídeo a esse período.

Tabela 1 – Atividades relativas em função do tempo para o Pb-210.

$T_{1/2}$	A/A_0	Tempo decorrido (anos)
0	1,000	0
1	0,500	22
2	0,250	44
3	0,125	67
4	0,062	89
5	0,031	111
6	0,016	112
7	0,008	156

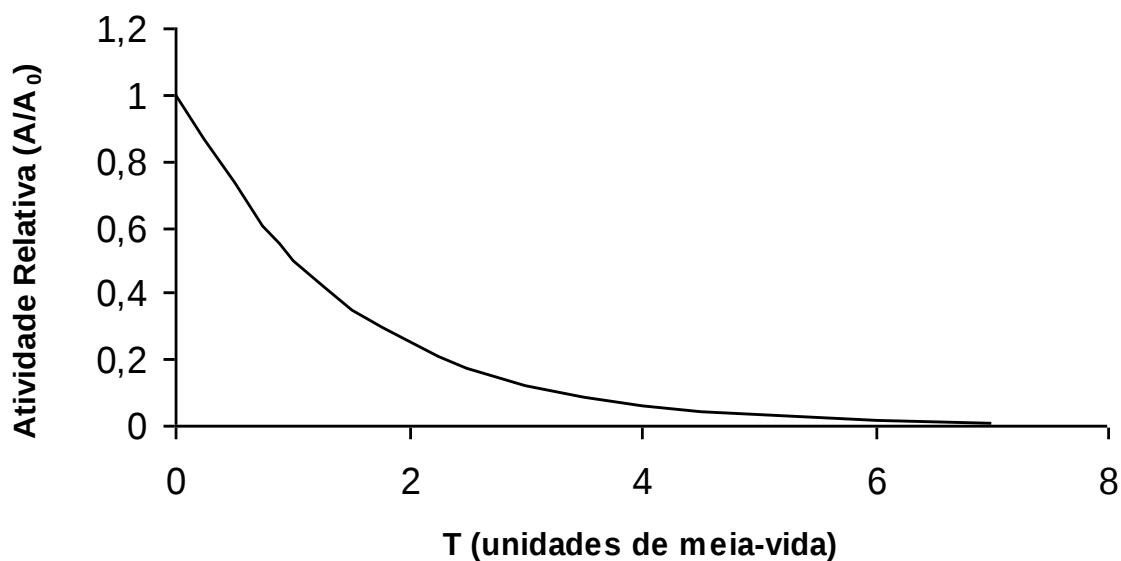


Figura 2 – Atividades relativas em função do tempo para o Pb-210.

2.3 - Equilíbrio radioativo entre o ^{210}Po e o ^{210}Pb

Na série do U-238 (**Figura 1**) constata-se que o ^{210}Po é descendente do ^{210}Pb (é neto). Com base na equação (10) podemos escrever:

$$\lambda_{\text{Pb}} N_{\text{Pb}} = \lambda_{\text{Po}} N_{\text{Po}} \quad (12)$$

A razão (RA) entre as atividades dos núclídeos Po e Pb pode ser escrita como:

$$RA = \frac{A_{\text{Po}}}{A_{\text{Pb}}} \quad (13)$$

Aplicando a equação (12) à (13), obtém-se $RA = 1$ nos sistemas fechados em equilíbrio secular. Como $\lambda_{\text{Pb}} \ll \lambda_{\text{Po}}$, pode-se determinar o tempo para que o

^{210}Po atinja o equilíbrio radioativo com o ^{210}Pb , por intermédio da equação (7) modificada:

$$t = -\frac{1}{\lambda_{Po}} \cdot \ln\left(1 - \frac{\lambda_{Po} \cdot N_{Po}}{\lambda_{Pb} \cdot N_{Pb}}\right) \quad (14)$$

Quando $RA = 1$, essa equação não apresenta solução. A indeterminação é resolvida considerando-se a razão entre os dois núclídeos como sendo igual a 0,99, o que simplifica a equação para:

$$t = \frac{4,61}{\lambda_{Po}} \quad (15)$$

Substituindo-se o valor de λ_{Po} na equação (15) conclui-se que o ^{210}Po entra em equilíbrio radioativo com seu antecessor em aproximadamente 920 dias, conforme ilustra a **Figura 3**.

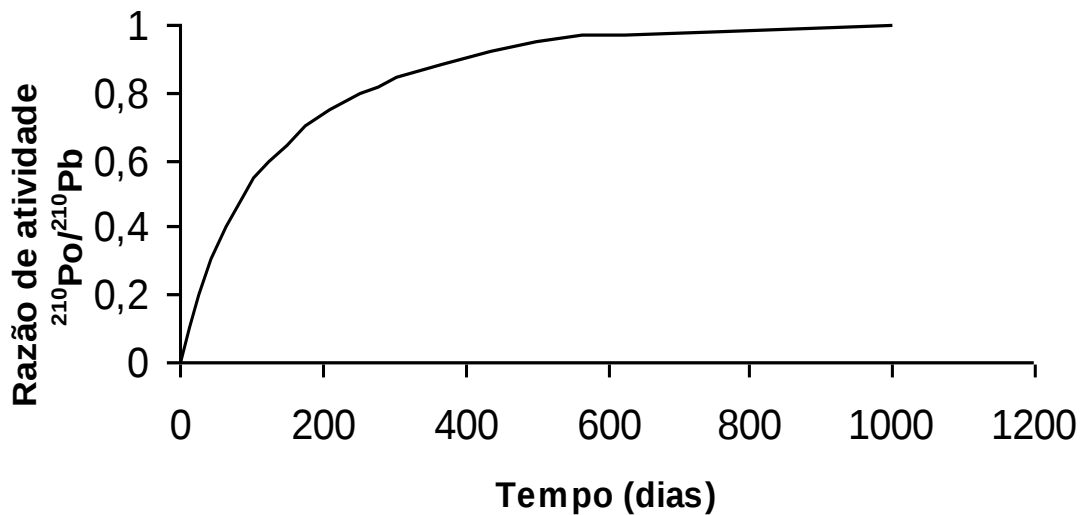


Figura 3 – Equilíbrio radioativo entre o ^{210}Pb e o ^{210}Po .

2.4 - Equilíbrio radioativo entre o ^{210}Pb , o ^{210}Bi e o ^{210}Po

O Po-210 tem como “pai” o Bi-210, ou melhor, é o resultado do decaimento do Bi-210, filho do Pb-210. A situação de equilíbrio radioativo precisa ser avaliada de maneira que leve em conta essa relação, “avô” (^{210}Pb), “pai” (^{210}Bi) e “filho” (^{210}Po). Assim, tomando o sistema de equações diferenciais (5), que representa o decaimento numa série radioativa de um grande número de átomos, e aplicando a ela a solução proposta por BATEMAN (1910), ou seja, quando $t = 0$ somente o “pai” está presente, temos:

$$t = 0$$

$$N_1 = N_1^0 \quad (16)$$

$$N_2^0 = N_3^0 = \dots = N_n^0 = 0$$

Para o n-ésimo membro da cadeia o número de átomos é dado por:

$$N_{n(t)} = (C_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2 e^{-\lambda_2 t} + C_3 e^{-\lambda_3 t} + \dots + C_{n-1} e^{-\lambda_{n-1} t} + C_n e^{-\lambda_n t}) N_1^0 \quad (17)$$

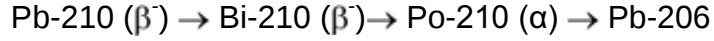
Com

$$C_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \dots (\lambda_n - \lambda_1)} N_1^0$$

$$C_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2) \dots (\lambda_n - \lambda_2)} N_1^0 \quad (18)$$

$$C_n = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_n)(\lambda_2 - \lambda_n) \dots (\lambda_{n-1} - \lambda_n)} N_1^0$$

Esta solução pode ser aplicada aos núclídeos “filhos” do Pb-210 compreendidos na seguinte sucessão de decaimento:



sendo Pb-206 estável.

Na **Figura 1** vemos que a meia-vida do Bi-210 é de 5 dias, pequena em relação à de seu antecessor e de seu sucessor, então, poderia ser assumido que o Pb-210 decai diretamente para o Po-210.

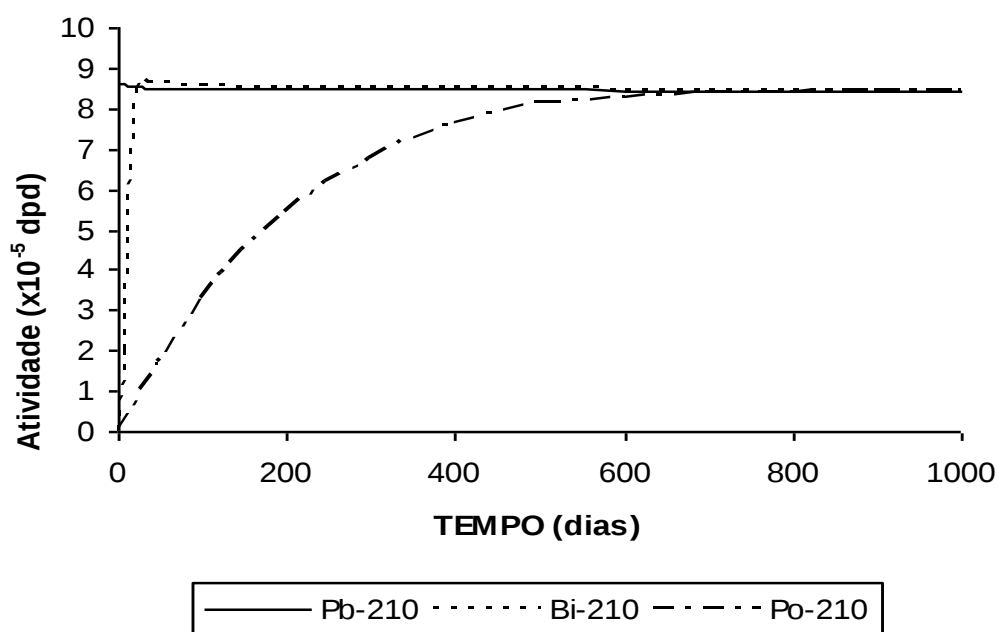
Evitando-se esta premissa, é possível efetuar a substituição dos valores da constante de decaimento do Pb-210, do Bi-210 e do Po-210 na equação (17), obtendo-se o número de átomos em função do tempo para cada membro da sucessão de decaimento. Assim, respectivamente, para Pb-210, Bi-210 e Po-210 tem-se:

$$N_{Pb} = N_{Pb}^0 e^{-\lambda_{Pb}t} \quad (19)$$

$$N_{Bi} = \frac{\lambda_{Pb}}{(\lambda_{Bi} - \lambda_{Pb})} N_{Pb}^0 (e^{-\lambda_{Pb}t} - e^{-\lambda_{Bi}t}) \quad (20)$$

$$N_{Po} = \lambda_{Pb} \lambda_{Bi} N_{Pb}^0 \left[\frac{e^{-\lambda_{Pb}t} + e^{-\lambda_{Bi}t} + e^{-\lambda_{Po}t}}{(\lambda_{Bi} - \lambda_{Pb})(\lambda_{Po} - \lambda_{Pb})} \right] \quad (21)$$

A **Figura 4** ilustra a variação da atividade do Pb-210 e de seus “filhos”, em função do tempo, para uma amostra isolada desse nuclide. Observamos que o Bi-210 atinge o equilíbrio radioativo com o Pb-210 após cerca de 35 dias e o Po-210 atinge o equilíbrio depois de aproximadamente 900 dias.



Dpd = desintegrações por dia

Figura 4 – Atividade do Pb-210 e seus “filhos” em função do tempo.

2.5 - Datação por Pb-210

No método de datação por ^{210}Pb , geralmente é assumido que condições de equilíbrio radioativo existem nos sedimentos entre as atividades do ^{210}Pb e de seus antecessores ^{222}Rn , ^{226}Ra e ^{238}U (BRENNER et al., 1994). Por essa razão, o ^{226}Ra é freqüentemente usado para determinar a atividade do ^{210}Pb “produzido” no sedimento. No entanto, se houver uma entrada adicional ou remoção de quaisquer dos antecessores de ^{210}Pb , então, a condição de equilíbrio não será obedecida. Dado que o ^{226}Ra decai para o ^{210}Pb via ^{222}Rn , adição ou escape de radônio dos sedimentos resultará em excesso ou empobrecimento do filho, o ^{210}Pb “produzido” (IMBODEN & STILLER, 1982).

A estimativa da taxa de acumulação de sedimentos baseada na geocronologia do ^{210}Pb requer determinações precisas das variações de ^{210}Pb “não produzido” ao longo de coluna de sedimentos, porém, na maioria das investigações, os valores de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ para uma profundidade no testemunho tem sido obtidos

assumindo-se que a concentração de ^{210}Pb é devida somente ao seu “pai”, ou seja, ao Pb-210 “produzido” (BASKARAN & NAIDU, 1995).

2.6 - Modelos para a determinação de Pb - 210

A quantificação de taxas de sedimentação é um aspecto importante nas investigações biogeoquímicas em ambientes marinhos e de água doce, pois, os sedimentos se comportam como fornecedores e depósitos de componentes químicos. Assim, padrões espaciais e temporais de sedimentação influenciam os ciclos elementares e de nutrientes nestes sistemas.

A geocronologia com Pb-210 é o principal método de avaliação da dinâmica de sedimentação moderna (ROBBINS, et al. 1978; GOLDBERG et al. 1978; GOLDBERG & BRULAND, 1974; KOIDE et al., 1972, 1973). Porém, observações indicam que a grande maioria dos perfis de Pb-210 não se adequam às suposições requeridas pelo método de datação. Por exemplo, a migração de sedimentos pode afetar profundamente a distribuição de radioisótopos em ambientes onde a quantidade de testemunho é relativamente baixa e os sedimentos presentes estão bastante misturados (GARDNER et al., 1987; NITTROUER et al., 1983, 84; DeMASTER & COCHRAN, 1982; OLSEN et al., 1981; KRISHNASWAMI et al., 1980; BENNINGER et al., 1979; PENG et al., 1979; GOREAU, 1977; ALLER & COCHRAN, 1976; GUINASSO & SCHINK, 1975; ROBBINS & EDGINGTON, 1975; GOLDBERG & KOIDE, 1962). Além disso, variações intrínsecas na determinação da atividade de Pb-210 nos sedimentos ocorrem em resposta à natureza do próprio processo de sedimentação, que é afetada por mudanças na atividade de Pb-210 na água do mar, mudanças na composição do sedimento e variações na taxa de sedimentação de acordo com o clima.

Para corrigir as dificuldades da geocronologia empregando-se o Pb-210, vários modelos foram inicialmente utilizados na interpretação de dados de perfis. Estes modelos empíricos predizem os efeitos de sedimentação e a causa da distribuição de Pb-210, resolvendo explicitamente a taxa de acumulação de sedimentos por uma equação que descreve a distribuição de Pb-210

(CHRISTENSEN, 1982; OFFICER, 1982; ROBBINS, 1978; APPLEBY & OLDFIELD, 1978; GOLDBERG & KOIDE, 1962). Estes modelos funcionam razoavelmente bem em casos onde a taxa de acumulação é ligeiramente variável.

Existe uma necessidade crítica para ampliar a aplicação da geocronologia por Pb-210 de maneira a incluir perfis mais complexos misturados e não-misturados. Uma nova aproximação para sedimentos não misturados, conhecido como Tomografia Isotópica de Sedimentos (TIS), usa técnicas de análise numérica inversa em combinação com modelos para ajuste de perfis complexos de Pb-210 não misturados (CARROLL & LERCHE, 1990 a,b). LIU et al. (1991) mostram como o modelo separa os efeitos de sedimentação de outros processos em perfis de Pb-210, onde as mudanças não-exponenciais na atividade de Pb-210 causada por sedimentação são modeladas através da série de Fourier para seno, enquanto que mudanças causadas por outros processos são modeladas por uma série de Fourier para co-seno. Neste caso, os valores dos coeficientes de Fourier são determinados para os dados medidos através de análise numérica inversa, produzindo uma expressão matemática que descreve mudanças na atividade de Pb-210 com a profundidade dos sedimentos

2.6.1 - Fundamentos Teóricos

O método de datação por Pb-210 é fundamentado no decaimento radioativo do Pb-210 em função da profundidade na coluna de sedimentos. Considerando-se que o fornecimento de Pb-210 para um corpo d'água e seu tempo de residência no mesmo sejam razoavelmente constantes, que o Pb-210 “produzido” nos sedimentos está em equilíbrio radioativo com o Ra-226, que a taxa de sedimentação é constante e que não há migração significativa do Pb-210 dentro da coluna sedimentar, então, a concentração de Pb-210 “não-produzido” nos sedimentos decrescerá em função da profundidade devido ao seu decaimento radioativo, de acordo com a expressão:

$$P_{(x)} = P_0 \exp(-\lambda x/V) \quad (22)$$

onde P_0 é a atividade de Pb-210 na superfície da coluna sedimentar no instante $t=0$, λ é a constante de decaimento do Pb-210 ($0,03114 \text{ anos}^{-1}$), V é a velocidade de sedimentação obtida pelo ajuste exponencial dos dados medidos de Pb-210 e $P(x)$ a atividade de Pb-210 com a profundidade x .

Para sedimentos sem migração foi desenvolvido um modelo utilizado originalmente para ambientes lacustres e depois para aplicações oceanográficas (CHANTON et al., 1989), o qual foi estabelecido com base em suposições referentes às relações entre a mudança da razão da atividade específica do Pb-210 (dpm/g) com o tempo, $A_s(t)$, o fluxo ($\text{dpm.cm}^{-2}.\text{ano}^{-1}$) de Pb-210 “não-produzido” da água para os sedimentos, $F(t)$, e a taxa de sedimentação ($\text{g.cm}^{-2}.\text{ano}^{-1}$), $R(t)$, tal que, no instante de deposição dos sedimentos é possível escrever:

$$A_s(t) = \frac{F(t)}{R(t)} \quad (23)$$

2.6.2 - Modelo Simples

Este modelo, também denominado Modelo de Sedimentação de Fluxo constante (CFCS) (APPLEBY & OLDFIELD, 1978), é aplicado em ambientes onde as informações disponíveis sugerem um fluxo constante da água para o sedimento de Pb-210 “não produzido” e uma taxa de sedimentação também constante com o tempo, gerando perfis que apresentam uma diminuição exponencial da atividade em função da profundidade da coluna de sedimento (ROBBINS et al., 1978). O modelo é semelhante ao da equação (22), porém, a atividade de Pb-210, $P(m)$, varia com o acúmulo de massa seca de sedimento, m , em determinada profundidade, de acordo com a equação:

$$P(m) = P_0 \exp(-\lambda m/V)$$

onde a “velocidade” V corresponde à taxa de acumulação de massa (em g) por unidade de tempo. Esta aproximação se faz necessária devido às mudanças

ocorridas na taxa de acumulação provocadas por variações na porosidade do sedimento devido a sua compactação após soterramento.

2.6.3 - Modelo de Fluxo Constante

Este modelo foi desenvolvido inicialmente por GOLDBERG (1963). Em aplicações mais recentes, ROBBINS (1978) criou o termo Modelo de Fluxo Constante (CF) enquanto que APPLEBY & OLDFIELD (1978) o designaram como Modelo de Taxa Constante de Fornecimento (CRS). O Modelo de Fluxo Constante é aplicado quando a taxa de sedimentação é variável com o tempo e o fluxo de Pb-210 para os sedimentos remanescentes é constante (ROBBINS, 1978). O excesso de Pb-210 a uma profundidade x de um perfil se igualará ao fluxo (constante) integrado durante o correspondente intervalo de tempo.

Considerando a profundidade x , as equações fundamentais são:

$$A(X) = A_0 \exp(-\lambda t) \quad (25)$$

onde $A(x)$ é a atividade residual cumulativa do Pb-210 “não-produzido” nos sedimentos a uma profundidade x e A_0 é a atividade total do Pb-210 “não-produzido” na coluna de sedimentos. A idade dos sedimentos à profundidade x é, então:

$$t = (1/\lambda) \ln[A_0 / A(x)] \quad (26)$$

e a velocidade de sedimentação V é:

$$V = \lambda A(x) / P(x) \quad (27)$$

onde $P(x)$ é a atividade de Pb “não-produzido” à profundidade x .

2.6.4 - Modelo de Atividade Específica Constante

Este modelo foi estabelecido com base na suposição de que os sedimentos têm uma atividade inicial constante de Pb-210 “não-produzido”, sendo aplicável quando a atividade do Pb-210 na superfície da coluna de sedimento é constante com o tempo e a taxa de sedimentação é variável com o tempo. A atividade do Pb-210 “não-produzido”, $P(x)$, a qualquer profundidade x está relacionada com a atividade P_0 referente ao sedimento da superfície pela equação:

$$P(X) = P_0 \exp(-\lambda t) \quad (28)$$

O modelo é conhecido como Modelo de Atividade Específica Constante (CSA) (ROBBINS, 1978) ou Modelo de Atividade Inicial Constante (CIA) (APPLEBY & OLDFIELD, 1978).

CAPÍTULO 3

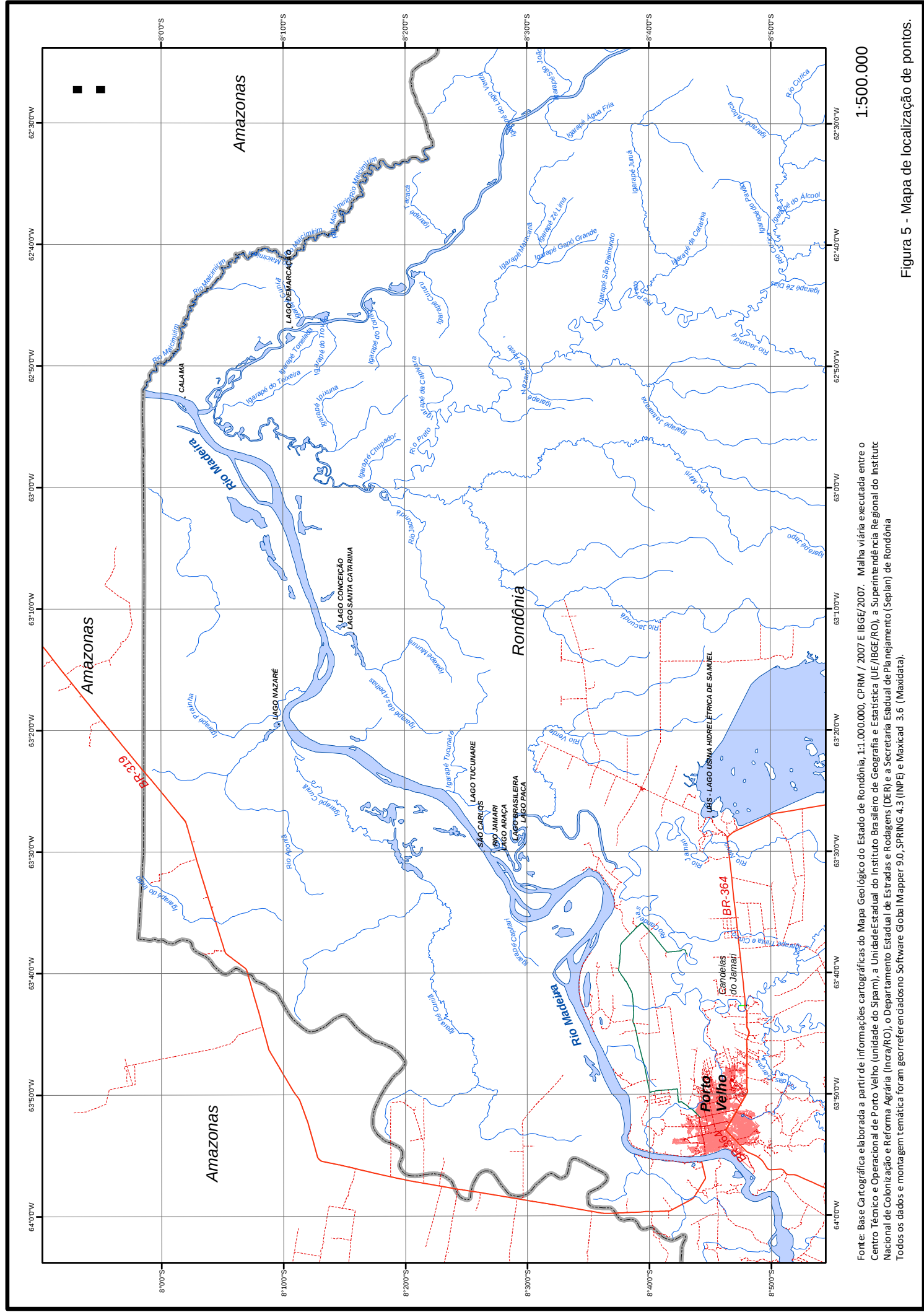
ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 – Localização e acesso à área

A área de estudo desta pesquisa está situada nas margens do rio Madeira entre a foz do rio Jamari e a foz do rio Machado, ambos seus afluentes. Está compreendida entre os paralelos 08° e 09° de latitude S e os meridianos 62° e 64° de longitude W (**Figura 5**). O acesso a essa área é possível com o uso de barco pelo rio Madeira e depois com embarcações menores entrando na mata pelos igarapés acessando os lagos.

Como pontos de referência e apoio foram usados os distritos de Calama, na foz do rio Machado, e São Carlos, na foz do rio Jamari e a partir deles partiu-se para a coleta das amostras.

Para os dois distritos existem barcos que partem diariamente da cidade de Porto Velho, com viagens descendo o rio Madeira, de 5 horas até São Carlos e 10 horas até Calama. As viagens de volta, subindo o rio Madeira, chegam a ser o dobro de tempo. É importante salientar que mesmo sendo distritos isolados por via terrestre, já contam com alguns serviços básicos como eletricidade (termo-elétrica), telefone, postos de saúde, escolas e delegacia.



Fonte: Base Cartográfica elaborada a partir de informações cartográficas do Mapa Geológico do Estado de Rondônia, 1:1.000.000, CPRM / 2007 E IBGE/2007. Malha viária executada entre o Centro Técnico e Operacional de Porto Velho (Unidade do Sipam), a Unidade Estadual do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (UE/IBGE/RO), a Superintendência Regional do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incrs/RO), o Departamento Estadual de Estradas e Rodagens (DER) e a Secretaria Estadual de Planejamento (Seplan) de Rondônia. Todos os dados e montagem temática foram georreferenciados no Software Global Mapper 9.0, SPRING 4.3 (INPE) e MaxCad 3.6 (Maxidata).

Figura 5 - Mapa de localização de pontos.

3.2 – Clima e vegetação

O estado de Rondônia, localizado na Amazônia Ocidental, tem clima tropical, úmido e quente, que, de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Aw – Clima Tropical chuvoso e umidade relativa do ar variando entre 74,2 a 90,8 % e temperaturas entre 21 °C e 32°C, sem grandes influências do mar ou da altitude. Na região tem-se duas estações climáticas distintas: um período chuvoso, que compreende os meses de outubro a abril, com precipitação média mensal próximo de 250 mm/mês, e outro de maio a setembro, com precipitação média mensal inferior a 20 mm/mês. A evapotranspiração potencial (ETP) tem valores superiores a 100 mm/mês durante todo ano (RONDÔNIA, 2002).

Em termos de vegetação, o Estado tem grande diversidade de espécies vegetais, representadas por:

- Floresta Ombrófila Aberta, abrangendo cerca de 55% da área total coberta por vegetação: as espécies *arbóreas* de maior interesse comercial são o mogno *Swietenia macrophylla*, o cedro *Cedrella odorata*, a cerejeira *Torresia acreana*, a ucuuba *Virola spp*, o ipê amarelo *Tabebuia serratifolia*, o roxinho *Peltogine paniculata*, o angelim-pedra *Dinizia excelsa* e a faveira;
- A cobertura vegetal ainda é composta por Floresta Ombrófila Densa (4%), Cerrado (5%), Formação Pioneira (4%), Floresta de Transição ou Contato (8%); de abrangência não superior a 2%, tem-se também a Floresta Estacional Semidecidual ou Subcaducifólia, Campinarana e Umirizal (RONDÔNIA, 2002).

A área de estudo tem uma vegetação densa com trechos de vegetação pioneira (IBGE, 1993).

3.3 – Geologia e geomorfologia

A área de estudo está situada exatamente em uma faixa da Planície Amazônica que margeia o rio Madeira a partir de 40km a jusante de Porto Velho e

tem uma largura que varia de 15 a 30 km. Neste trecho de planície, o rio Madeira (principal eixo hidrográfico) recebe na margem direita seus principais afluentes, o rio Jamari e o rio Machado ou Ji-Paraná. Na margem esquerda, os afluentes são pouco significativos. A **Figura 6** ilustra um mapa geológico do Estado de Rondônia e a **Figura 7** o mapa geológico da área de estudo, onde observa-se que os lagos estudados estão sobre depósitos aluvionares, situação adequada para a determinação de taxas de sedimentação.

A caracterização geológica de idade Cenozóica corresponde a sedimentos aluvionares e coluvionares depositados nos canais fluviais e planícies de inundação, materiais detríticos pouco selecionados compostos por sedimentos arenosos, siltosos e argilosos com níveis conglomeráticos. Tomando o rio Madeira como referência, temos à esquerda da área estudada terraços fluviais sub-recentes constituídos por sedimentos mal selecionados compostos por cascalho, areia e argila, depositados acima do nível médio das águas; à direita ocorrem depósitos lacustres constituídos por sedimentos finos, argilas e grande quantidade de matéria orgânica associada.

Toda esta bacia sedimentar está, no estado de Rondônia, sobreposta ao Complexo Gnáissico – Migmatítico Jarú e Complexo Jamari, ambos de idade Paleozóica – Mesoproterozóica, e também sobreposta à suíte intrusiva de Santo Antônio e do Alto Candeias, as duas de idade Mesoproterozóica – Neoproterozóica. Algumas características deste complexo e suíte são descritas a seguir e podem ser observadas na **Figura 6**.

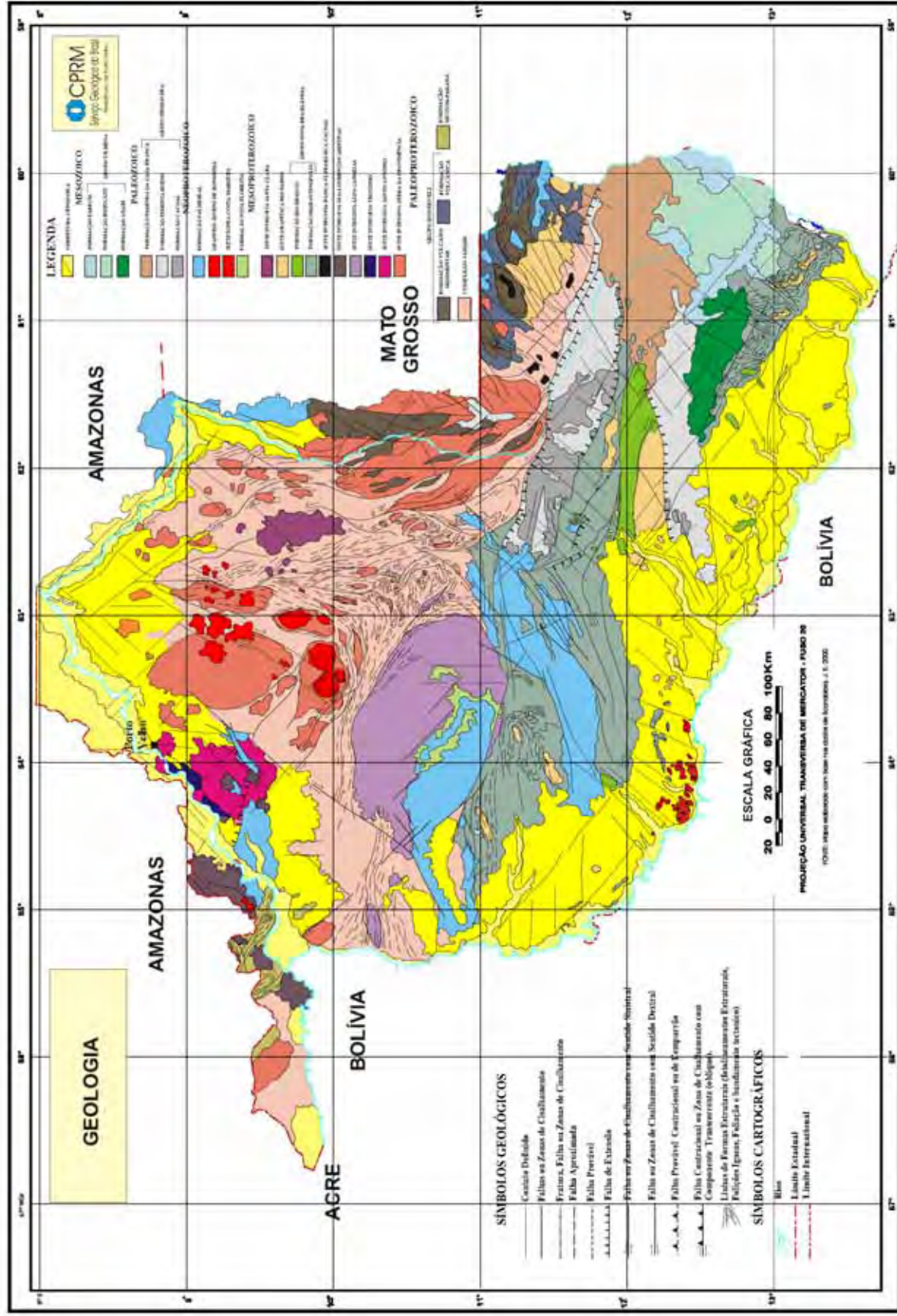
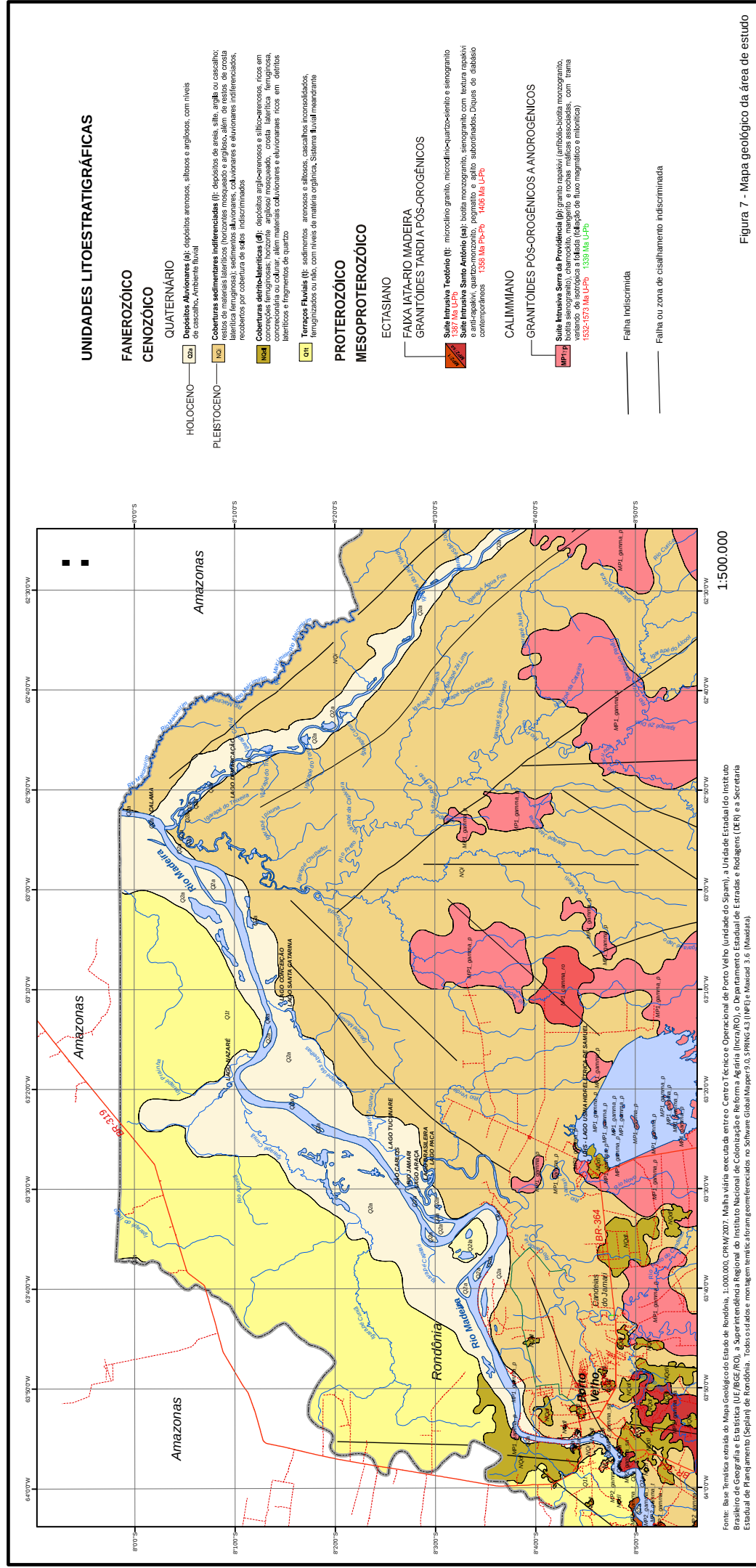


Figura 6 – Mapa geológico do Estado de Rondônia segundo CPRM (1999)



Complexo Gnáissico – Migmatítico Jarú – notável alinhamento tectônico dos litotipos, em condições metamórficas de alto e médio grau, envolvendo ortognaisses graníticos, granodioríticos, tonalíticos charnoquíticos, enderbíticos, charno-enderbíticos, gnaisses bandados, gnaisses paraderivados (biotita – gnaisses, kinzigitos e calcossilicicas) e, subordinadamente, anfibolitos, granulitos máficos e granulitos de anatexia. Migmatização expressiva gerando litotipos com estruturas nebulíticas, estromatíticas e chlieren (CPRM, 1999).

♦ Complexo Jamari – predomínio de ortognaisses e gnaisses bandados de composição granítica e granodiorítica, secundariamente diorítica, tonalítica e quartzo-diorítica; presença subordinada de gnaisses paraderivados, anfibolitos, meta – gabros e meta – ultramáficas. Metamorfismo de médio a alto grau e migmatização localizada (CPRM, 1999).

♦ Suíte intrusiva Santo Antônio – biotita monzogranitos, biotita sienogranitos, anfibólio – biotita – quartzo monzonitos, rochas híbridas (CPRM, 1999).

♦ Suíte intrusiva Alto Candeias – anfibólio – biotita sienogranitos, biotita monzogranitos, quartzo biotita sienogranitos, quartzo-biotita, monzogranitos, rochas sienitóides e charnoquitóides porfíricas e pegmatóides, localmente milonitizadas (CPRM, 1999).

Na região abrangida pelo Estado de Rondônia o quadro geológico do Cráton Amazônico compreende unidades litológicas e os sistemas estruturais envolvidos tem seu início no final do Paleoproterozóico (1,8 a 1,9 Ga), com continentalização no início do período Neoproterozóico (900 Ma). Processos geodinâmicos designados intra-cratônicos atuaram em períodos determinados da evolução Fanerozóica, desde 560 Ma atrás até muito recente (RONDÔNIA, 2002).

Do ponto de vista tectono-estatigráfico, a região foi dividida em terreno Jamari, subdividido nos domínios Ariquemes - Porto Velho e Central de Rondônia, terreno Roosevelt e terreno Nova Brasilândia (RONDÔNIA, 2002) **(Figura 8).**

3.3.1 - O Terreno Jamari

O Terreno Jamari caracteriza-se por um quadro tectono-estrutural onde se ressalta a superimposição de estruturas, em condições de alto grau metamórfico; é representado por uma associação de rochas orto e paraderivadas metamorfizadas, com leve predomínio em condições de P/T condizentes com a fácies anfibolito superior (**Figura 8**).

Os gnaisses ortoderivados mostram composições dioríticas, quartzodioríticas e tonalíticas, enquanto as rochas de paraderivação constituem-se de biotita gnaisses, biotita-granada gnaisses, sillimanita-granada gnaisses, granada-cordierita gnaisses, gnaisses calcosilicáticos, sillimanita xistos e quartzitos (RONDÔNIA, 2002).

A associação dos tipos litológicos e das estruturas sedimentares sugere que as rochas da Formação Mutum-Paraná tiveram origem em materiais depositados em condições de mar raso, epicontinental, com episódios de deposição continental restritos a certas porções da seqüência. O metamorfismo de baixo grau, fácies xisto-verde inferior, imposto a essa unidade, parece não ter caráter generalizado. Os segmentos extensionais associados a este terreno são formados por bacias preenchidas por sedimentos predominantemente continentais, com influência marinha, atribuídos às Formações Palmeiral e Prosperança e por rochas máficas incluídas na Formação Nova Floresta (RONDÔNIA, 2002).

3.3.2 - O Terreno Roosevelt

O Terreno Roosevelt é constituído por "fragmentos" do Complexo Jamari, que é o embasamento da região, pelo Grupo Roosevelt (RIZZOTTO et al. 2001 *apud* RONDÔNIA, 2002), por uma suíte granítica de composição *rapakivi* (Suíte Intrusiva Serra da Providência), pelos corpos máficos relacionados à Suíte Básica-Ultrabásica Cacoal (SCANDOLARA et al., 1997 *apud* RONDÔNIA, 2002) e por coberturas sedimentares indeformadas correlacionáveis à Formação Palmeiral (**Figura 8**).

O Complexo Jamari aflora sob a forma de megalentes irregulares, às vezes como mega xenólitos no interior dos granitos e supracrustais, constituem-se por

ortognaisses polideformados de composição granodiorítica a tonalítica, fortemente migmatizados e com associação a porções anfibolíticas. No Grupo Roosevelt incluem-se as rochas vulcânicas (lavas e piroclásticas bimodais ácidas) com baixo grau de metamorfismo (fácies xisto-verde inferior) e um conjunto sedimentar (Grupo Beneficente) representado por uma seqüência psamopelítica, de deposição marinha rasa, constituída por uma variedade de litotipos organizados através de camadas métricas a decamétricas, incluindo filitos, quartzitos, sericita quartzo xistos, xistos manganésíferos, formações ferríferas, arenitos ortoquartzíticos e arcosianos, siltitos, *cherts* e conglomerados (RONDÔNIA, 2002).

3.3.3 - O Terreno Nova Brasilândia

Constituído de forma predominante pela seqüência Metavulcano-Sedimentar, o terreno Nova Brasilândia compõe-se: de granitóides intrusivos das Suítes Rio Pardo e Costa Marques; do Granito Rio Branco; das coberturas continentais da Formação Palmeiral e das coberturas Paleo/Mesozóicas dos Grupos Primavera e Vilhena (**Figura 8**). O terreno Nova Brasilândia também apresenta um agrupamento de idades entre 1 Ga e 1,2 Ga que indicam acréscimo de material juvenil neste segmento crustal, e unidades litoestratigráficas cronologicamente mais novas, que ocorrem intrudidas nas duas formações; são representadas pelo Granito Rio Branco, Suíte Granítica Rio Pardo e Suíte Ígnea Costa Marques (RONDÔNIA, 2002).

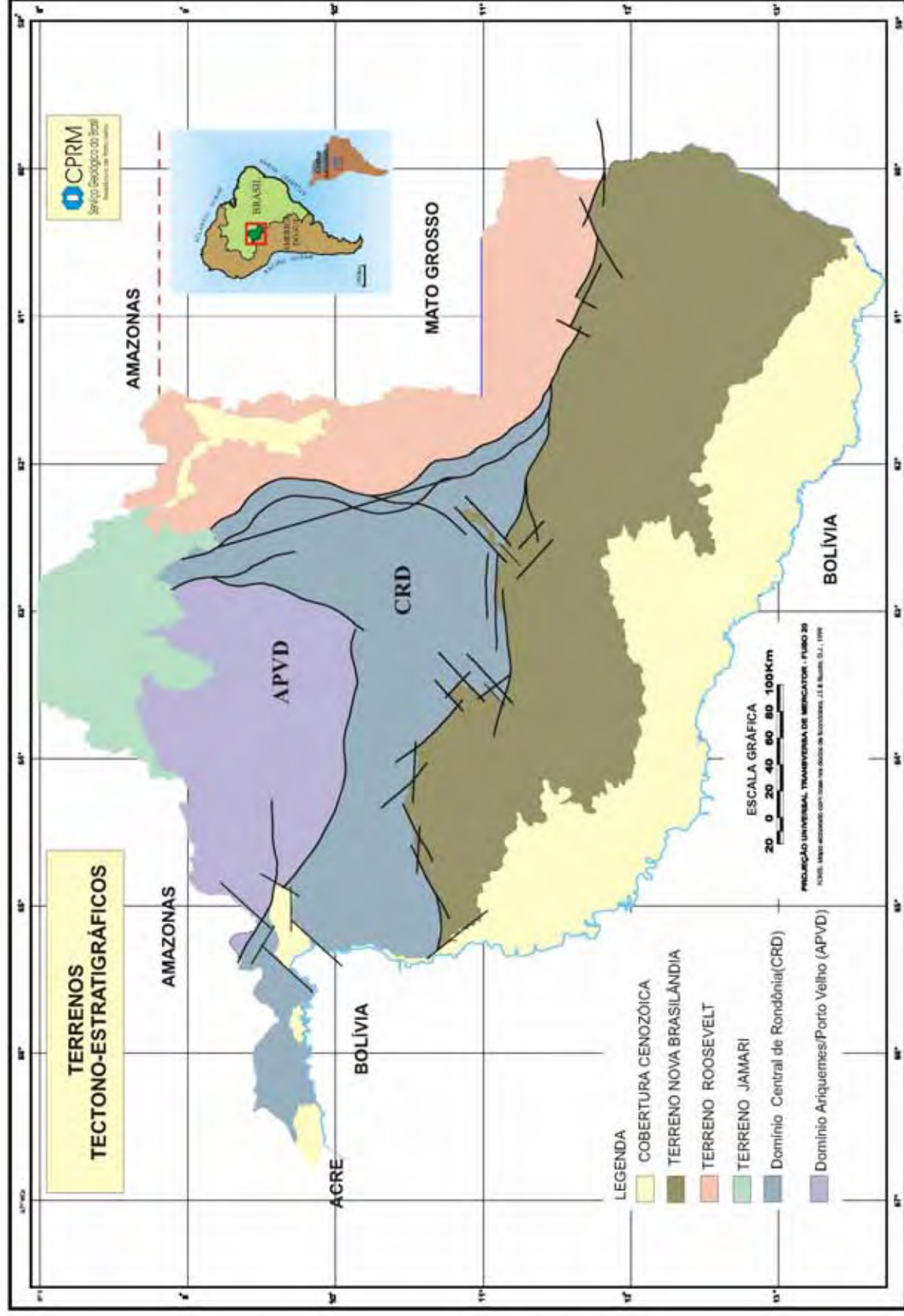


Figura 8 Mapa Tectono - Estratigráfico segundo CPRM (1999)

3.4 – Hidrografia

As chapadas dos Parecis e Pacaás Novos (com sentido de sudeste a oeste) formam o grande divisor da drenagem superficial do Estado. A rede hidrográfica é composta principalmente pelo rio Madeira e seus tributários, Machado (ou Ji-Paraná), Mamoré, Guaporé e Jamari.

O rio Madeira é formado a partir da confluência dos rios Mamoré e Beni, originário dos planaltos andinos, e torna-se totalmente navegável a partir da cachoeira de Santo Antônio, nas proximidades da cidade de Porto Velho. Sua bacia se estende por Brasil, Bolívia e Peru, sendo responsável pela drenagem de uma área de 1.324.727 km² que possui três unidades morfo-estruturais com a proporção: Andes (15%), planície Amazônica (44%) e escudo Brasileiro (41%). Devido a essa característica, verificam-se grandes altitudes na parte montante da bacia, vastas zonas de inundação na planície e a presença de cachoeiras no escudo brasileiro, principalmente próximo a Porto Velho (NETO, 2006).

A variação do nível das águas do rio Madeira pode chegar a 10 metros entre cheia e vazante. Na seca de 2005 o rio chegou a ter suas águas nos níveis de 7,28 metros e na cheia de 1997 atingiu 17 metros, período em que o rio Madeira invadiu a estrada de ferro e a praça da estação da ferrovia Madeira Mamoré, além de uma das principais avenidas da cidade de Porto Velho.

O rio Mamoré e seu afluente rio Guaporé (que nasce nas encostas da Chapada dos Parecis) se apresentam como limites naturais entre o Brasil e a Bolívia; o rio Machado é formado pela confluência dos rios Pimenta Bueno e Comemoração sendo o mais extenso, com 1243 km; o rio Jamari possui o maior lago artificial do Estado, a represa da Hidrelétrica de Samuel (RONDÔNIA, 2002).

3.5 – Descrição dos lagos estudados

Nove lagos foram estudados nesta investigação, a saber: Brasileira, Tucunaré, Araçá, Paca, Nazaré, Santa Catarina, Demarcação, Conceição e Usina

Hidroelétrica de Samuel (U. H. S.). Esses lagos foram escolhidos por estarem em uma área sem histórico de garimpos, por serem de correnteza e de deposição lenta, com pouca influência das águas do rio Madeira, de maneira a evitar o transporte de Hg pelos particulados em suspensão, e por serem de fácil acesso de barco.

3.5.1 – Lago Brasileira

Este lago fica aproximadamente a 5 Km a montante da foz do rio Jamari, onde localiza-se o distrito de São Carlos (**Figura 5**). Tem dimensões aproximadas de 2000 m de comprimento e 500 m de largura. Suas águas são claras e é alimentado por um canal de aproximadamente 10 m de largura que o liga diretamente ao rio Jamari; as águas depois retornam ao Jamari por dois canais, ou furos, como chamam os pescadores da região.

Os sedimentos são compostos predominantemente de argila clara, sem a presença de areia, ocorrendo também muitas folhas e outros materiais orgânicos.

3.5.2 – Lago Tucunaré

O lago Tucunaré situa-se 10 km a jusante da foz do rio Jamari à margem direita do rio Madeira (**Figura 5**), mais precisamente no vilarejo de Terra Caída que fica na margem oposta (esquerda). Seu acesso é obtido subindo o igarapé Tucunaré entre 1000 e 1500 metros, descendo pela margem esquerda e caminhando pela selva aproximadamente 500m.

A coleta de sedimentos neste lago foi realizada no ápice da estação seca, quando suas águas estavam totalmente represadas; na ocasião suas dimensões aproximadas eram de 800 por 300 metros, sendo o menor dos lagos estudados. Possui águas claras e sedimentos argilosos.

3.5.3. – Lago Araçá

Situado à margem esquerda do rio Jamari, o lago Araçá fica a pouco mais de 500 metros da confluência com o Madeira **(Figura 5)**. Possui águas claras e sedimentos argilosos escuros. Mantém um canal estreito, com cerca de 5 m de largura, por onde deságua no Jamari. No período de vazante, o lago fica isolado. Suas dimensões aproximam-se das do lago da Brasileira (2000 por 500 metros).

3.5.4 – Lago Paca

O Lago do Paca é o último dos lagos adjacentes ao Jamari estudado neste trabalho, situando-se à margem oposta (margem direita) à do canal que alimenta o Lago da Brasileira na mesma altura do Jamari **(Figura 5)**. Recebe influência direta do rio, sendo na realidade uma área de remanso. Sua água é clara e o tamanho pouco menor que o Lago Tucunaré (400 por 600 metros).

3.5.5 – Lago Nazaré

O lago Nazaré situa-se na vila Nazaré (margem esquerda do rio Madeira), sendo o acesso pelo igarapé de mesmo nome. Suas águas são pretas, seus sedimentos apresentam a mesma coloração e grande quantidade de folhas. Representa uma grande área de floresta inundada e possui correnteza fraca. As áreas de floresta inundada não se distanciam mais que 100 metros uma da outra, o que na estação seca deve corresponder às suas margens **(Figura 5)**.

3.5.6 – Lago Santa Catarina

Este lago situa-se à margem direita do rio Madeira **(Figura 5)**. Seu acesso é obtido subindo o igarapé Conceição, que desemboca no rio Madeira no vilarejo

Conceição. Suas águas e sedimentos tem cor preta. Quanto ao tamanho, é seguramente o maior dentre os lagos aqui estudados (3000 por 1000 metros). Sua profundidade estava por volta de 10 m e o fluxo de água era quase imperceptível quando se realizou a amostragem de sedimentos.

3.5.7 – Lago Conceição

O Lago Conceição tem acesso por um igarapé de mesmo nome e as características são semelhantes às do lago Santa Catarina quanto ao tamanho (5000 m X 1200 m), cor das águas e aparência dos sedimentos **(Figura 5)**.

3.5.8 – Lago Demarcação

Demarcação é uma vila na margem direita do rio Machado, localizando-se a mais de 10 km da foz, onde situa-se o distrito de Calama **(Figura 5)**. Localizado a montante da vila Demarcação na margem direita do rio Machado, tem acesso pelo primeiro igarapé, de mesmo nome. Suas águas caracterizam-se como pretas e com correnteza muito fraca, seus sedimentos apresentaram cor preta e grande presença de materiais orgânicos.

As margens do lago Demarcação também estavam inundadas e ele se expandia muito floresta a dentro, de maneira que, a clareira onde está o lago tem um raio de aproximadamente 200m.

3.5.9. – Lago da Usina Hidroelétrica de Samuel (U. H. S.)

A usina hidroelétrica está em atividade desde 1989 e seu reservatório tem aproximadamente 450 km², está localizado na calha do rio Jamari e o acesso pode ser feito pela BR 364. Suas águas são claras e os sedimentos coletados são de coloração amarela e um pouco arenosos **(Figura 5)**.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 – Amostragem e análise de águas

As amostras analisadas nessa pesquisa consistiram em águas e sedimentos de fundo provenientes dos lagos descritos no **item 3.5**, além de amostras de água dos rios Jamari e Machado para comparação com a hidroquímica dos lagos.

Todas as amostras de sedimentos (testemunhos) foram coletadas e analisadas quanto ao teor de Hg por VERGOTTI (2002). Essas amostragens deram-se no período seco (outubro de 1999) nos lagos Brasileira, Tucunaré, lago do Paca e na Usina Hidroelétrica de Samuel, e durante o período chuvoso (fevereiro de 2000) nos lagos Araçá, Nazaré, Santa Catarina, Conceição e Demarcação.

Para retirar os perfis de sedimentos, utilizou-se um tubo de acrílico de 1m de comprimento adaptado a um perfilador de ferro para que um êmbolo pudesse vedar uma extremidade do cano. Depois de retirado o perfil, preferencialmente do meio do lago, ele foi seccionado em alíquotas de 5 cm, cada uma acondicionada em saco de plástico devidamente identificado e congelado. Cada alíquota foi ainda peneirada à fração de 0,075mm (200 mesh), seca em estufa a 60°C e macerada em gral de porcelana.

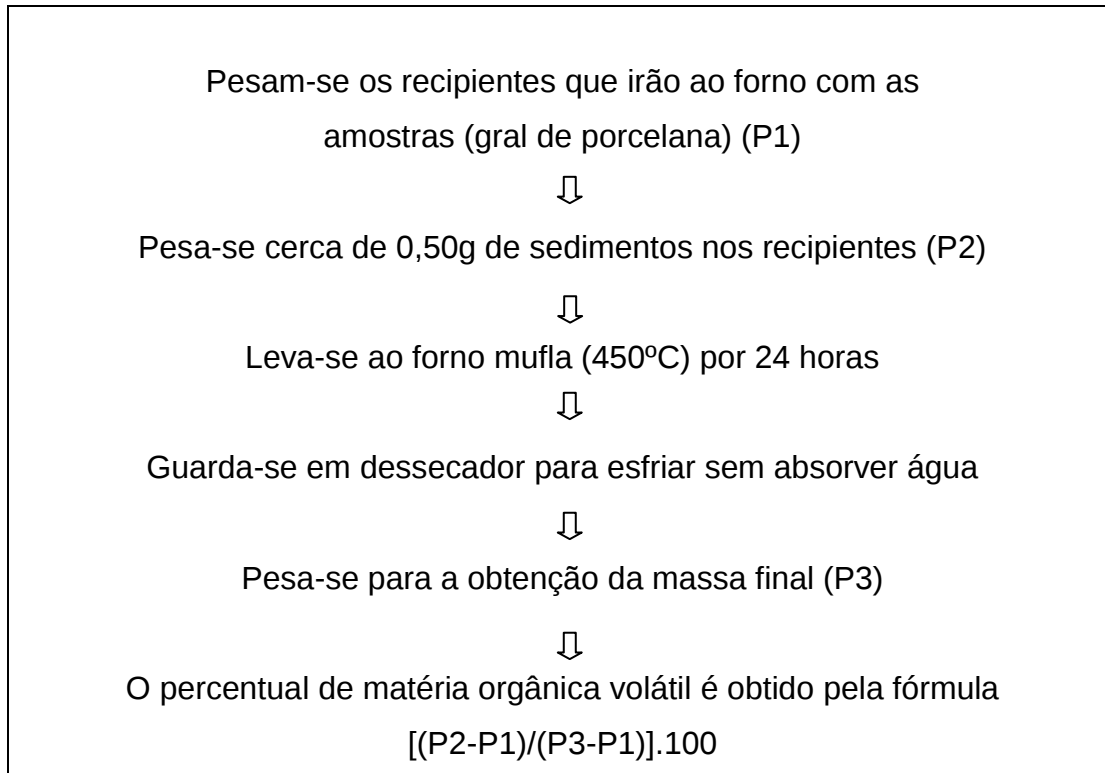
A amostragem de águas foi realizada em dezembro de 2004, durante o período de chuvas. As amostras foram coletadas com uso de garrafas plásticas de 2 litros e mantidas em caixas de isopor com gelo para conservar as propriedades físico-químicas da água até a análise em laboratório.

Dessas amostras verificou-se o pH *in loco* e em laboratório, a condutividade e os principais cátions e ânions dissolvidos no LABIDRO – Laboratório Isótopos e

Hidroquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP – Campus de Rio Claro. Os teores de Na, Cl⁻ e F⁻ foram determinados por potenciometria com eletrodos sensíveis a esses íons, enquanto que a alcalinidade por titrimetria e as concentrações de K, Ca, Mg, Fe, SiO₂, tanino/lignina, nitrato, sulfato e fosfato por espectrofotometria.

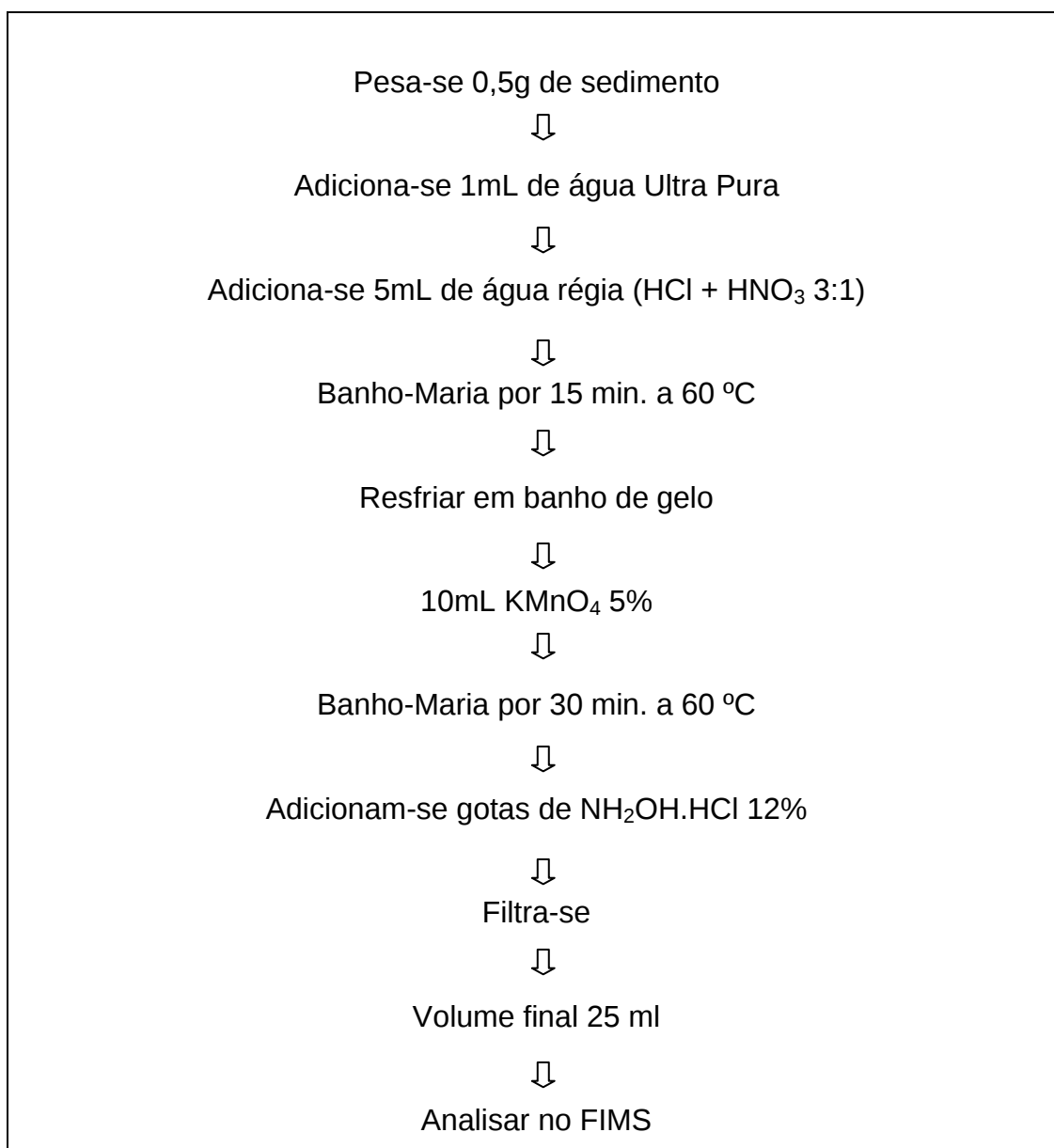
4.2 – Análise de matéria orgânica, mercúrio e principais óxidos nos sedimentos

A determinação do teor de matéria orgânica volátil em alíquotas de sedimentos foi realizada no Laboratório de Radioisótopos, Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Utilizou-se o método gravimétrico, onde se calcinam massas conhecidas das amostras **(Fluxograma 1)**.



Fluxograma 1 – Metodologia para a determinação de matéria orgânica volátil nos Sedimentos.

Para a análise de mercúrio usou-se no preparo das amostras a metodologia desenvolvida por BASTOS et al. (1998) (**Fluxograma 2**). A detecção de Hg foi conduzida em espectrofotômetro de absorção atômica (Flow Injection Mercury System – FIMS-400) da Perkin-Elmer. Cada amostra foi analisada em triplicata, utilizando-se também de padrões de referência certificados para o controle da qualidade analítica (IAEA-365) e uma amostra de controle interno do Laboratório de Biogeoquímica da Universidade Federal de Rondônia, onde foram feitas as análises.



Fluxograma 2 – Fluxograma da digestão das amostras de sedimentos para a determinação de Hg (BASTOS et. al., 1998).

Nas colunas de sedimentos foram determinados os teores dos principais óxidos por fluorescência de raios X Philips, modelo PW2510, equipamento instalado no LABOGEO – Laboratório de Geoquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP – Campus de Rio Claro.

4.3 – Análise dos sedimentos por espectrometria gama

Segundo BONOTTO (1990), no espectrômetro de raios gama tem-se um sensor e circuitos eletrônicos que separam a radiação incidente no cristal em dois ou mais componentes de energia, utilizando o espectro eletromagnético de raios gama, numa faixa de 100 keV - 3 MeV. A radiação gama emitida pela fonte interage com o cristal cintilador de NaI(Tl) e são produzidos pulsos de pequena amplitude no ânodo de uma fotomultiplicadora, e para que sejam detectados, cada pulso é pré-amplificado e aplicado a um amplificador.

O analisador de alturas de pulsos, é o responsável pela separação dos pulsos de acordo com suas alturas, que representam de forma direta as energias das radiações emanadas da fonte, e ainda fornece os espectros da radiação gama emitida.

BONOTTO (1990) ainda observa que dos vários mecanismos de interação do feixe de radiação gama com o cristal de NaI(Tl), dois são bastante importantes: o efeito fotoelétrico e o efeito Compton. Considera-se a radiação eletromagnética como um conjunto de fótons com energia $E = h\nu$, onde ν é a frequência e h a constante de Planck. Quando a radiação eletromagnética de frequência ν atinge o cristal, os fótons associados à radiação interagem com os elétrons do cristal. No efeito fotoelétrico, cada elétron que absorve um fóton ganha uma energia $h\nu$, alguns sendo arrancado com energia cinética máxima de $K_{MAX} = h\nu - \theta$, onde θ , chamada função trabalho, representa a energia necessária para arrancar um elétron do cristal. No efeito Compton, na colisão entre um fóton e um elétron livre do cristal, o elétron absorve parte da energia do fóton e este, por conseguinte, passa a ter uma frequência menor e, portanto, um comprimento de onda maior que é dispersada pelo

cristal. Um espectro típico de radiação gama apresenta um pico de absorção total, um contínuo Compton e um pico de retroespalhamento.

No presente trabalho, o espectrômetro de raios gama usado é formado por uma blindagem de chumbo onde estão colocados o pré-amplificador e o cristal de NaI(Tl), conectados a uma fonte de alta tensão, além da amostra acondicionada em recipiente de alumínio. Através de um cabo, o pré-amplificador emite um sinal ao amplificador, e este para o multicanal conectado a um computador que processa o sinal e executa a contagem. Os dados obtidos neste trabalho foram processados com o *software* Maestro II da EG & G – ORTEC.

Na **Figura 9** ilustra-se um espectro de raios gama para amostra contendo U, Th e K. O urânio é mensurado pelo ^{214}Bi , o tório pelo ^{208}Tl e o potássio pelo ^{40}K . Essas janelas espectrais são escolhidas visando obter emissões gama que não se sobreponham e estejam associadas a distintos radioelementos. Os resultados são expressos em termos de taxas de contagem ou em termos de concentrações equivalentes de maneira que as determinações de U e Th por meio da espectrometria gama são indicadas pelo prefixo 'e' (equivalente), 'eU' e 'eTh' (KILLEEN, 1979). Na **Tabela 2** consta a energia a ser monitorada para obter as leituras equivalentes ao urânio, tório e potássio.

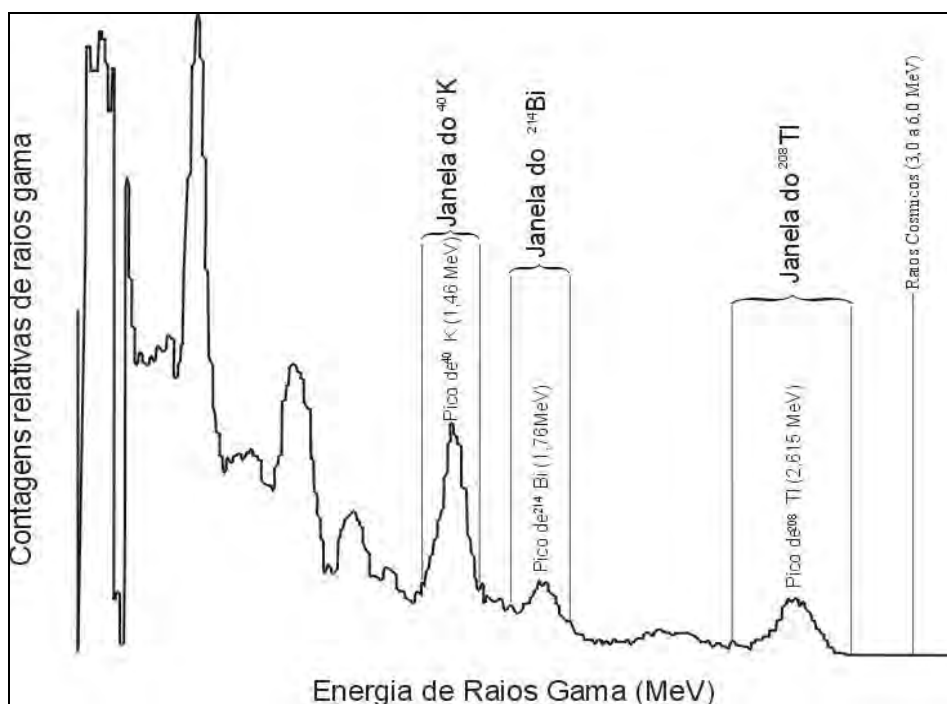


Figura 9: Espectro de raios gama obtido para amostras contendo de U, Th e K, segundo WARD (1981).

Tabela 2: Janelas espectrais comumente utilizadas para medidas com espectrômetro gama na investigação de urânio, tório e potássio.

Intervalo de Energia (MeV)	Radioelemento	Radionuclídeo e emissão gama monitorada (MeV)
1,36 - 1,56	Potássio (K)	^{40}K (1,46)
1,66 - 1,86	Urânio (eU)	^{214}Bi (1,76)
2,42 - 2,82	Tório (eTh)	^{208}Tl (2,62)

4.3.1 – Calibração do sistema espectrométrico gama

Na calibração do sistema de espectrometria gama instalado no LABIDRO – Laboratório de Isótopos e Hidroquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia – IGCE, onde foi realizado esse trabalho, empregaram-se fontes radioativas de energia conhecida, consistindo de ^{137}Cs e ^{60}Co e padrões de pechblenda, areia monazítica e KCl. Os espectros obtidos para as fontes de ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{214}Bi e de ^{208}Tl podem ser visualizados nas **Figuras 10 a 14**. A partir desses espectros obtiveram-se os dados para a calibração do sistema (**Tabela 3**). Com base nas energias e canais representados na **Tabela 3**, traçou-se a curva de calibração do espectrômetro gama para a realização das leituras, conforme ilustrado na **Figura 15**.

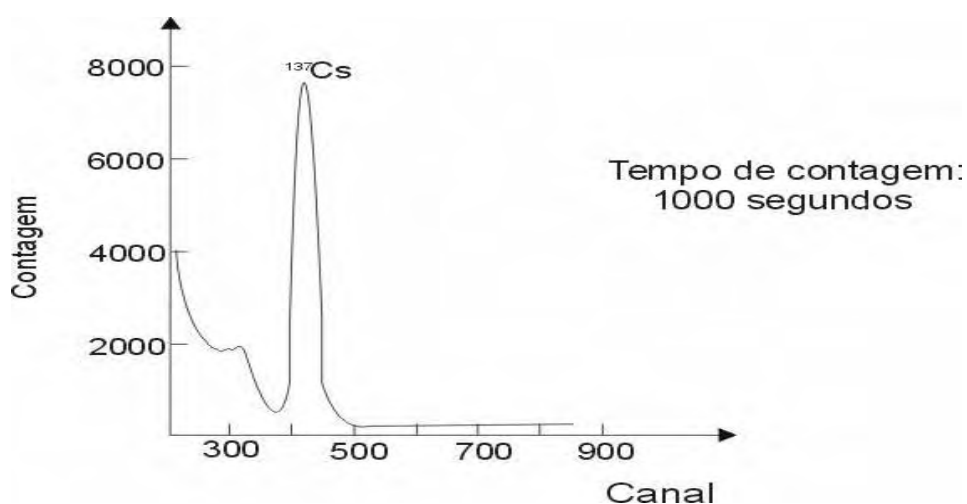


Figura 10: Espectro gama obtido para fonte de ^{137}Cs .

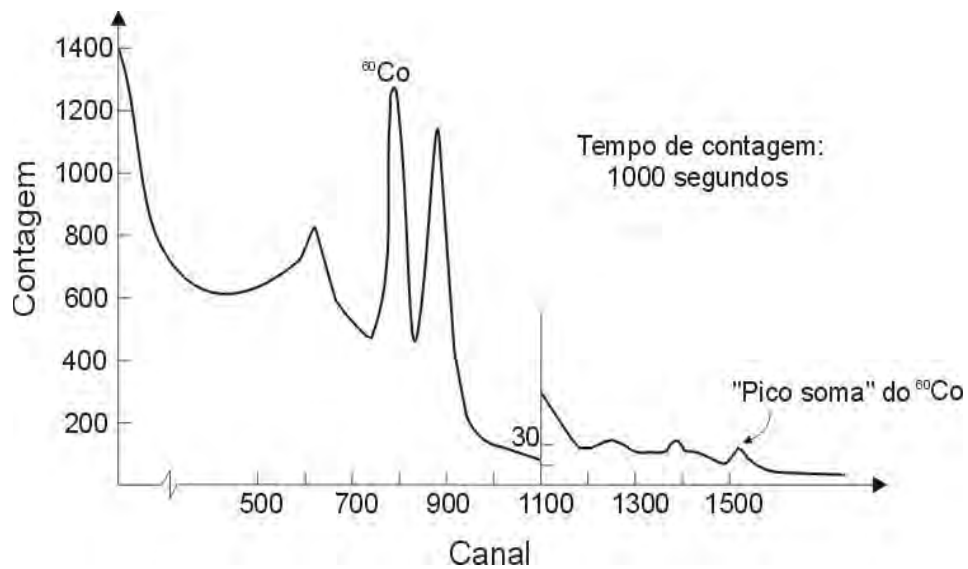


Figura 11: Espectro gama obtido para fonte de ^{60}Co , com a presença do pico soma.

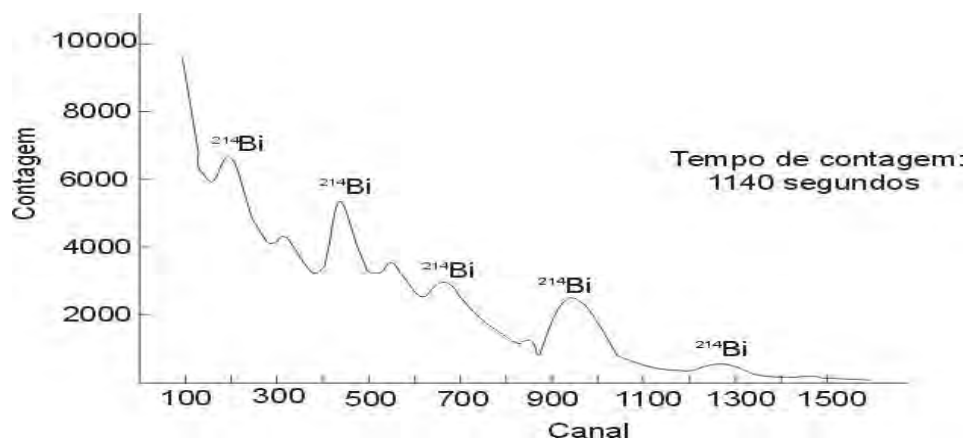


Figura 12: Espectro gama obtido para pechblenda contendo 1% de U.

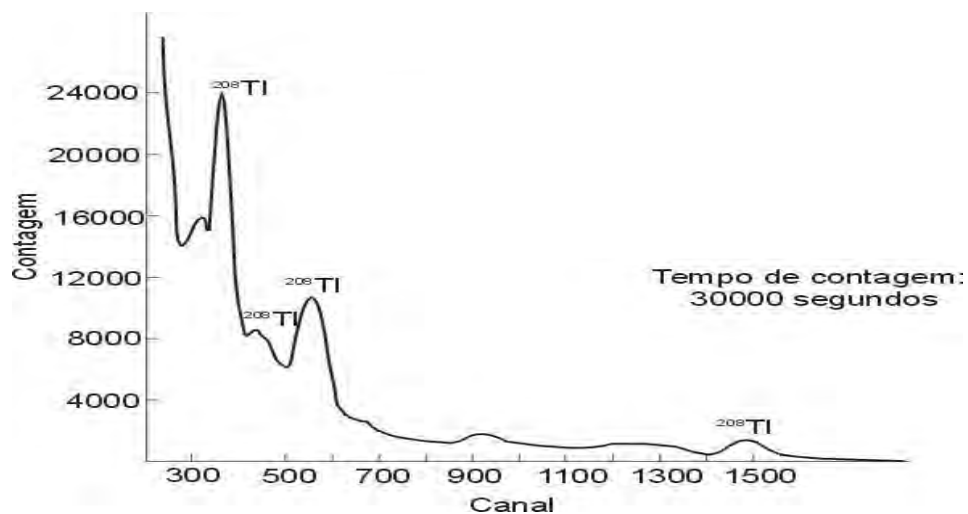


Figura 13: Espectro gama obtido para areia monazítica contendo 1% de Th e 0,004% de U.

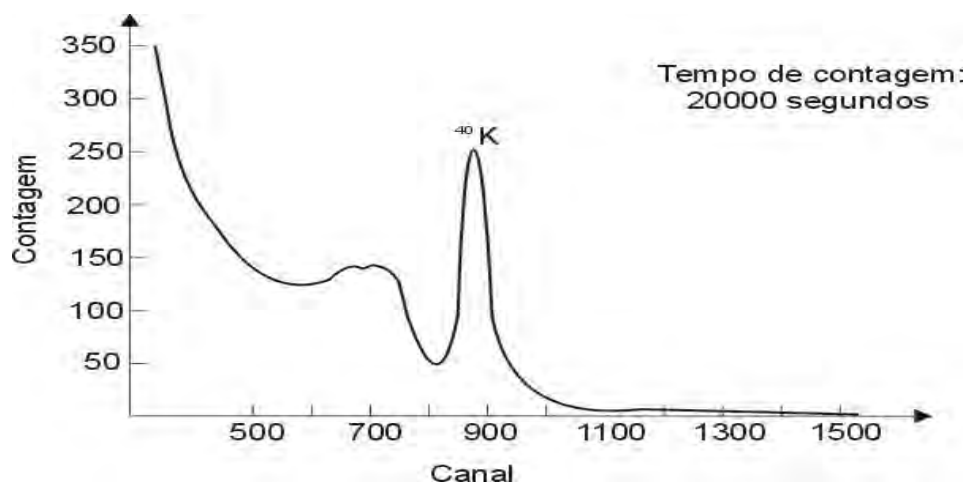


Figura 14: Espectro gama obtido para KCl (52%K).

Tabela 3: Calibração em energia para o sistema utilizado.

Nuclídeo	Canal	Energia (MeV)
^{137}Cs	416	0,661
^{60}Co	736	1,173
^{60}Co	832	1,332
^{60}Co	1568	2,405
^{40}K	876	1,46
^{214}Bi	1000	1,76
^{208}Tl	1485	2,62

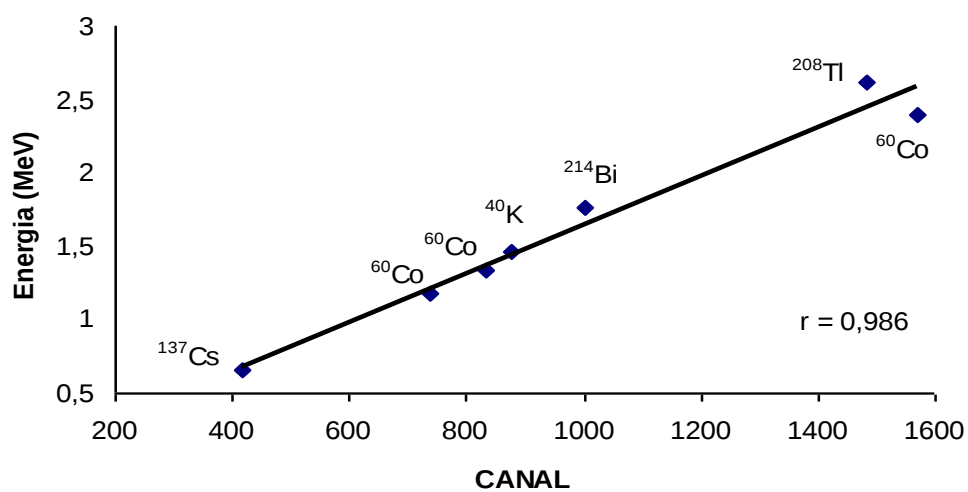


Figura 15: Calibração do espectrômetro gama utilizado.

O espectrômetro gama também foi calibrado a partir de padrões de concentração conhecida visando determinar o Pb-210 “produzido”. Para isso, determinou-se a taxa de contagem no fotopico do ^{214}Bi , empregando-se padrões consistindo de pechblenda do “New Brunswick Laboratory” do “U.S. Department of Energy”, Argonne, Illinois - EUA, com códigos NBL101-A, NBL102-A, NBL103-A, NBL104-A, NBL105-A, NBL106-A e NBL107-A. Com os resultados obtidos foi possível traçar uma curva de calibração (**Figura 16**) da concentração do urânio (C_U) em função da intensidade efetiva (I_U), expressa pela equação:

$$\log C_U = 1,057 \bullet (\log I_U) + 2,578 \quad (29)$$

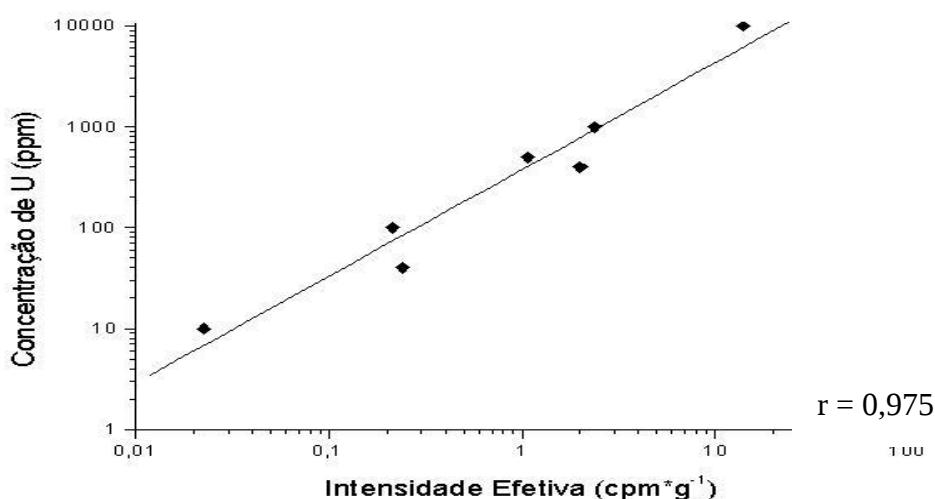


Figura 16: Curva de calibração do U em concentração.

4.4 – *Análise dos sedimentos por espectrometria Alfa*

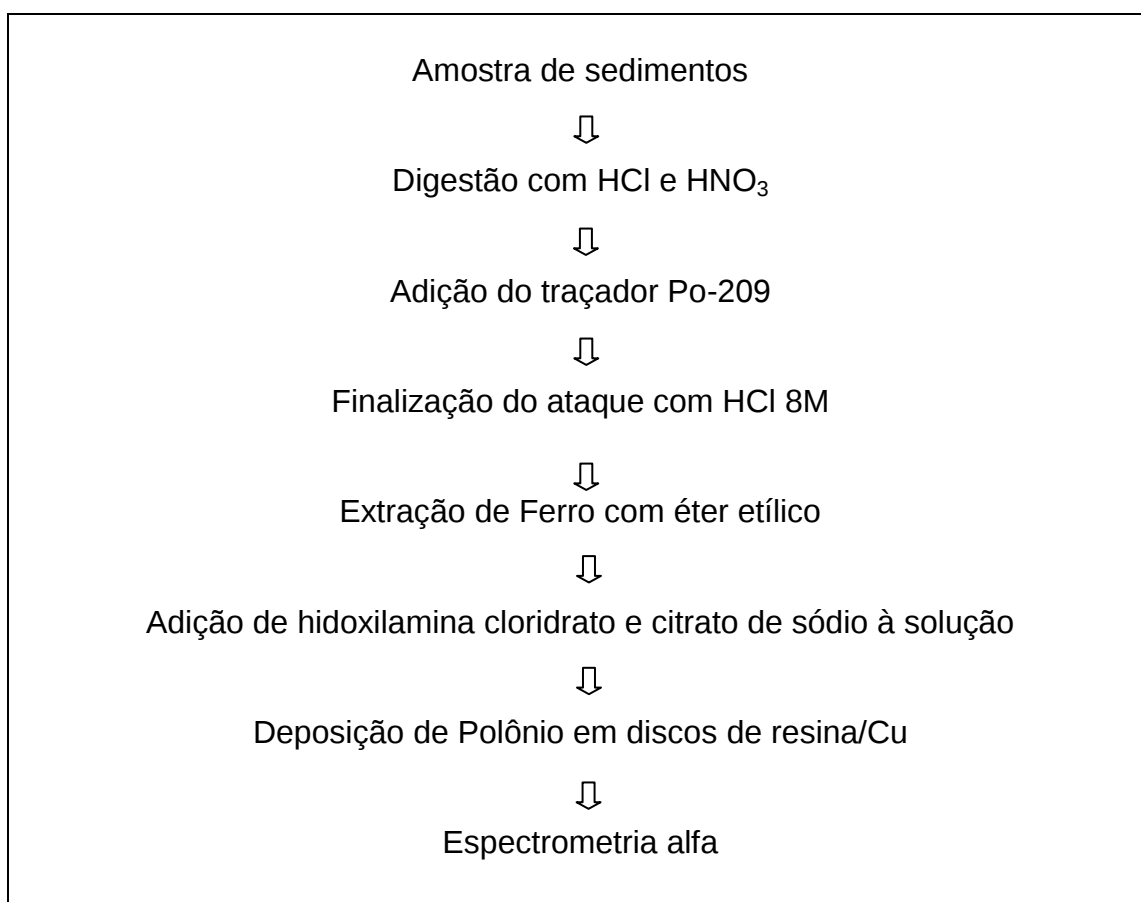
A espectrometria alfa foi utilizada para a determinação indireta da atividade do ^{210}Pb , através da contagem alfa de seu “neto”, o ^{210}Po (**Fluxograma 3**). Das amostras, foi extraído o ^{210}Po para a preparação de discos de cobre/fenolite com uma camada extremamente fina e uniforme.

A espectrometria alfa dos discos foi feita através de detectores de Si(Au) da ORTEC: modelo BA-025-200-100, com 200mm^2 de área ativa, $100\mu\text{m}$ de

profundidade de depleção, 25 KeV de resolução no pico de 5,48 MeV, e modelo BA-026-450-300, com 450mm² de área ativa, 300μm de profundidade de depleção e 26 KeV de resolução no pico de 5,48 MeV.

Os detectores trabalham sob polarização reversa de 50 volts, sendo inseridos em câmaras de formato cilíndrico com duas saídas conectadas a um vacuômetro e bomba de vácuo. Cada câmara possui tampa com rosca, na qual se encontra instalado um conector BNC-Microdot e um porta amostra onde é colocado cada disco contendo o polônio extraído.

O conector BNC está ligado diretamente a um pré-amplificador que envia os pulsos para o amplificador, que amplifica o sinal até o nível requerido pela interface ACE 2k EG&G ORTEC acoplada a um microcomputador. Nesse ponto, o *software* Maestro II (EG&G ORTEC) simula um analisador multicanal, com 1024 canais, que é responsável pela aquisição dos dados.



Fluxograma 3 - Metodologia empregada para mensuração do Po-210 em sedimentos.

4.4.1 – Calibração do sistema espectrométrico Alfa

A calibração do sistema espectrométrico alfa foi feita por meio de um padrão contendo os isótopos naturais de urânio ^{238}U e ^{234}U e traçador artificial $^{232}\text{U}+^{228}\text{Th}$, todos eles depositados em um disco de aço inox (54,6 dpm de atividade para o ^{238}U e 10 dpm de atividade para o $^{232}\text{U}+^{228}\text{Th}$) (BONOTTO, 1986). A **Figura 17** ilustra um espectro alfa típico.

A **Tabela 4** apresenta os dados utilizados para a construção das curvas de calibração associadas a cada sistema de detecção utilizado. Na **Figura 18** consta a curva de calibração para o detector 1, a qual foi elaborada a partir dos dados obtidos. O ^{209}Po é o nuclídeo usado como traçador (“spike) no início do processo de extração de polônio dos sedimentos. Sua energia de emissão alfa corresponde a 4,98 MeV, enquanto que a do ^{210}Po é de 5,4 MeV.

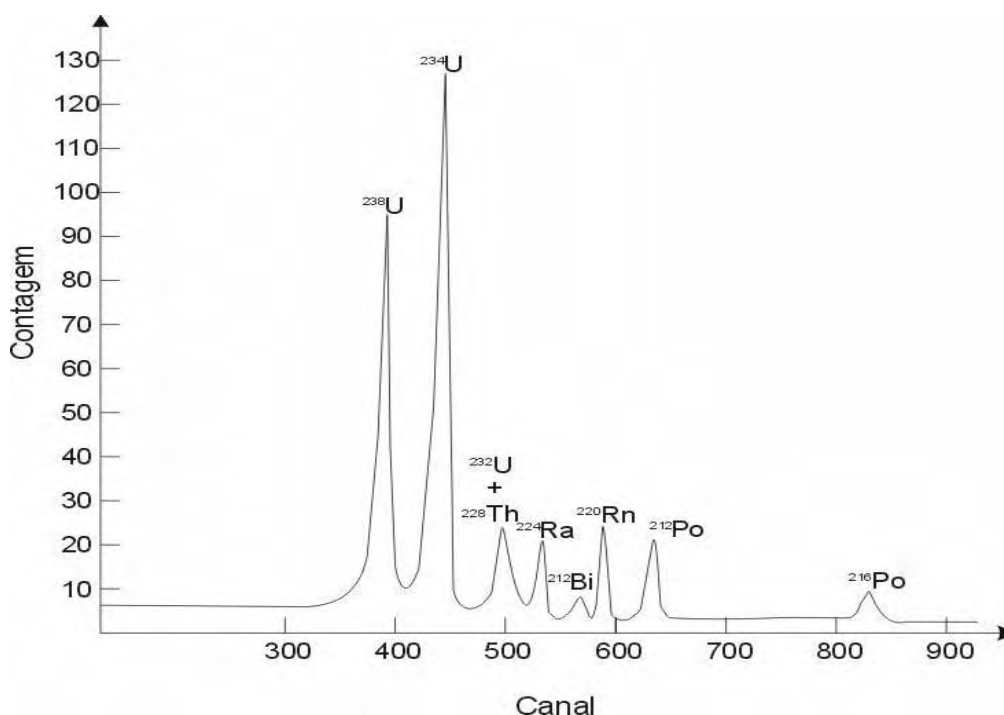


Figura: 17 - Espectro alfa típico obtido através da leitura de padrão contendo isótopos de urânio e descendentes do ^{232}U (DUARTE, 2002).

Tabela 4: Dados utilizados para a construção das curvas de calibração para os detectores utilizados nos sistemas espectrométricos alfa.

Nuclídeo	Energia (MeV)	Canais			
		Detector 1	Detector 2	Detector 3	Detector 4
^{238}U	4,19	474	471	470	488
^{234}U	4,77	538	537	534	557
^{232}U	5,32	600	597	598	623
^{224}Ra	5,58	642	639	640	664
^{212}Bi	6,05	686	680	680	710
^{220}Rn	6,29	710	706	710	730
^{212}Po	6,78	766	762	767	791

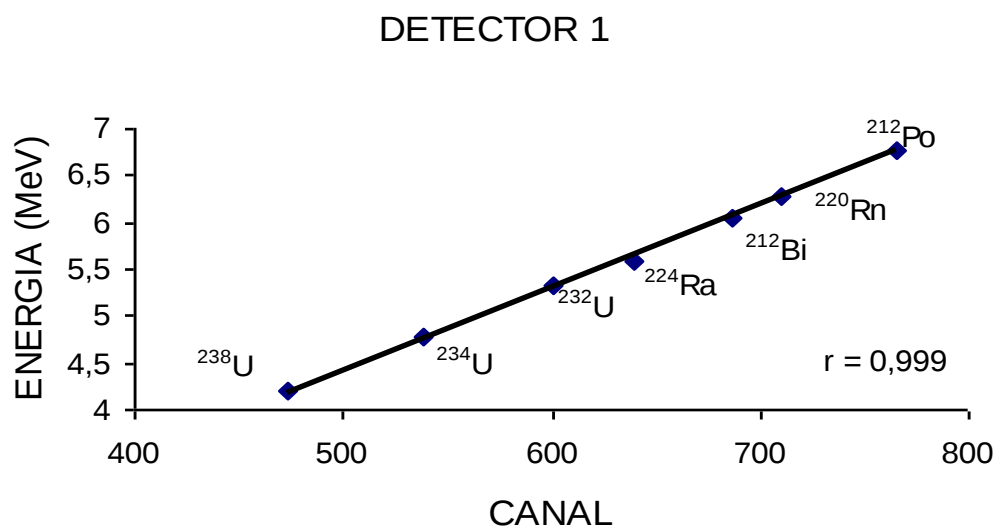


Figura 18: Curva de calibração para o espectrômetro alfa com detector de barreira de superfície ORTEC.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – Características da água

Segundo LACERDA et al. (1990), na bacia do rio Madeira, as águas classificam-se hidroquimicamente em Águas Claras e Águas Pretas, com as seguintes características:

- Águas Claras – pH ($5,7 \pm 0,6$); teor de matéria orgânica nos sedimentos $5,2 \pm 2,8\%$
- Águas Pretas – pH ($5,7 \pm 0,7$); teor de matéria orgânica nos sedimentos $9,0 \pm 4,4\%$.

Na **Tabela 5** constam os resultados obtidos *in situ* e em laboratório para o pH e condutividade das águas coletadas neste trabalho.

O pH “in situ” nos lagos variou de 5,9 a 7,7 (média = 6,8) e no laboratório de 5,1 a 7,1 (média = 6,4), sendo a média obtida em laboratório ligeiramente inferior à encontrada para os valores determinados “in situ”, o que também se verificou com as amostras de água superficiais dos rios Jamari e Machado (média = 7,2 – “in situ” e média = 6,6 – laboratório). Os valores médios obtidos nos lagos não diferem daqueles encontrados para os rios Jamari e Machado. A condutividade das águas dos lagos e nos rios Jamari e Machado variou da 9 a 34 $\mu\text{s}/\text{cm}$, que são valores baixos relacionados com a forte influência das chuvas no regime hídrico da região.

Tabela 5 – Valores do pH e condutividade elétrica nas águas analisadas.

Amostra	pH “in situ”	Condutividade
Lago Nazaré	6,3	13 $\mu\text{s/cm}$
Lago Sta. Catarina	6,3	9 $\mu\text{s/cm}$
Lago Conceição	5,9	
Lago Tucunaré	6,6	21 $\mu\text{s/cm}$
Lago Demarcação	7,0	19 $\mu\text{s/cm}$
Lago Araçá	7,6	19 $\mu\text{s/cm}$
Lago Brasileira	7,7	17 $\mu\text{s/cm}$
Lago Paca	6,7	15 $\mu\text{s/cm}$
Lago U.H.S.		18 $\mu\text{s/cm}$
Rio Jamari	6,9	17 $\mu\text{s/cm}$
Rio Machado	7,4	34 $\mu\text{s/cm}$

Os resultados das análises hidroquímicas estão sumarizadas na **Tabela 6**, onde se nota que o transporte mais acentuado de material particulado e sílica ocorre nas águas dos rios Jamari e Machado, respectivamente. O rio Jamari também transporta mais produtos de deposição vegetal, conforme evidenciam os valores de tanino/lignina. As águas dos lagos Nazaré, Santa Catarina e Conceição exibem os valores mais elevados de fosfato dissolvido, possivelmente relacionado com produtos de decomposição animal/vegetal.

O caráter químico das águas superficiais analisadas pode ser determinado a partir dos dados na **Tabela 6** referentes aos principais cátions e ânions dissolvidos. Na **Figura 19** consta o diagrama de PIPER (1944) produzido a partir dos resultados obtidos, o qual fornece uma boa visualização da *facies* química das águas. Nesse diagrama, os cátions, como porcentagem total de cátions em mEq/l são representados por um ponto num triângulo e os ânions, também dados em mEq/l como porcentagem total de ânions, são representados por um ponto num outro triângulo. Os dois pontos são projetados no losango central, resultando num único ponto que fornece a distribuição iônica total, indicando a característica da água e mostrando semelhanças entre águas de localidades diferentes (BONOTTO & MANCINI, 1992). Na **Figura 19** também está representada a concentração média obtida no Rio Madeira, de acordo com os dados de SILVEIRA (1998). Essas águas

diferem daquelas analisadas neste trabalho, pois, são cálcicas quando aos cátions dissolvidos e mistas quanto aos ânions dissolvidos. As águas dos lagos e rios Jamari e Machado são potássico-sódicas quanto aos cátions dissolvidos e sulfatadas quanto aos ânions dissolvidos, exceto do lago de Demarcação que é cloro-nitratada.

Tabela 6 – Resultados das análises dos principais cátions e ânions dissolvidos (mg/L) nas amostras de águas estudadas.

Amostras	Sólidos em Suspensão	NO_3^-	F^-	Cl^-	PO_4^{3-}	Na^+	SiO_2	SO_4^{2-}	Fe total	K^+	Tanino/ Lignina	Mg	Ca	Alcalinidade
Nazaré	0,01	0,5	0,27	0,89	2,75	0,89	13,5	15	0,24	1,09	1,1	<0,1	0,32	0,45
S. Catarina	0,08	0,7	0,25	0,67	2,78	2,81	3,5	25	0,11	0,69	1,0	<0,1	0,31	0,20
Conceição	0,11	0,5	0,25	0,81	2,75	1,12	7,5	13	0,09	0,58	0,7	<0,1	0,29	0,15
Tucunaré	0,02	0,5	0,28	0,83	0,69	3,54	12,5	12	0,36	1,37	0,9	<0,1	0,54	0,50
Demarcação	0,11	0,5	0,26	0,73	0,62	<0,1	7,0	<0,1	0,25	1,51	1,0	<0,1	0,21	0,50
Araçá	0,16	0,3	0,28	0,91	0,69	3,16	4,7	15	0,31	1,62	0,6	<0,1	0,12	0,50
Brasileira	0,07	0,3	0,29	0,71	1,58	2,81	7,2	9	0,64	1,58	0,8	<0,1	0,28	0,50
Paca	0,02	0,5	0,28	0,65	0,69	4,46	10,1	19	0,55	1,59	0,7	<0,1	0,17	0,30
U. H. S.	0,17	0,4	0,27	0,67	0,97	0,70	7,6	2	0,02	1,53	0,9	<0,1	0,53	0,45
Rio Jamari	0,21	0,3	0,28	0,87	0,70	3,98	4,8	18	0,23	1,66	2,1	<0,1	0,59	0,45
Rio Machado	0,12	0,9	0,28	0,93	1,08	5,01	17,8	8	0,52	3,08	1,0	<0,1	0,83	0,85

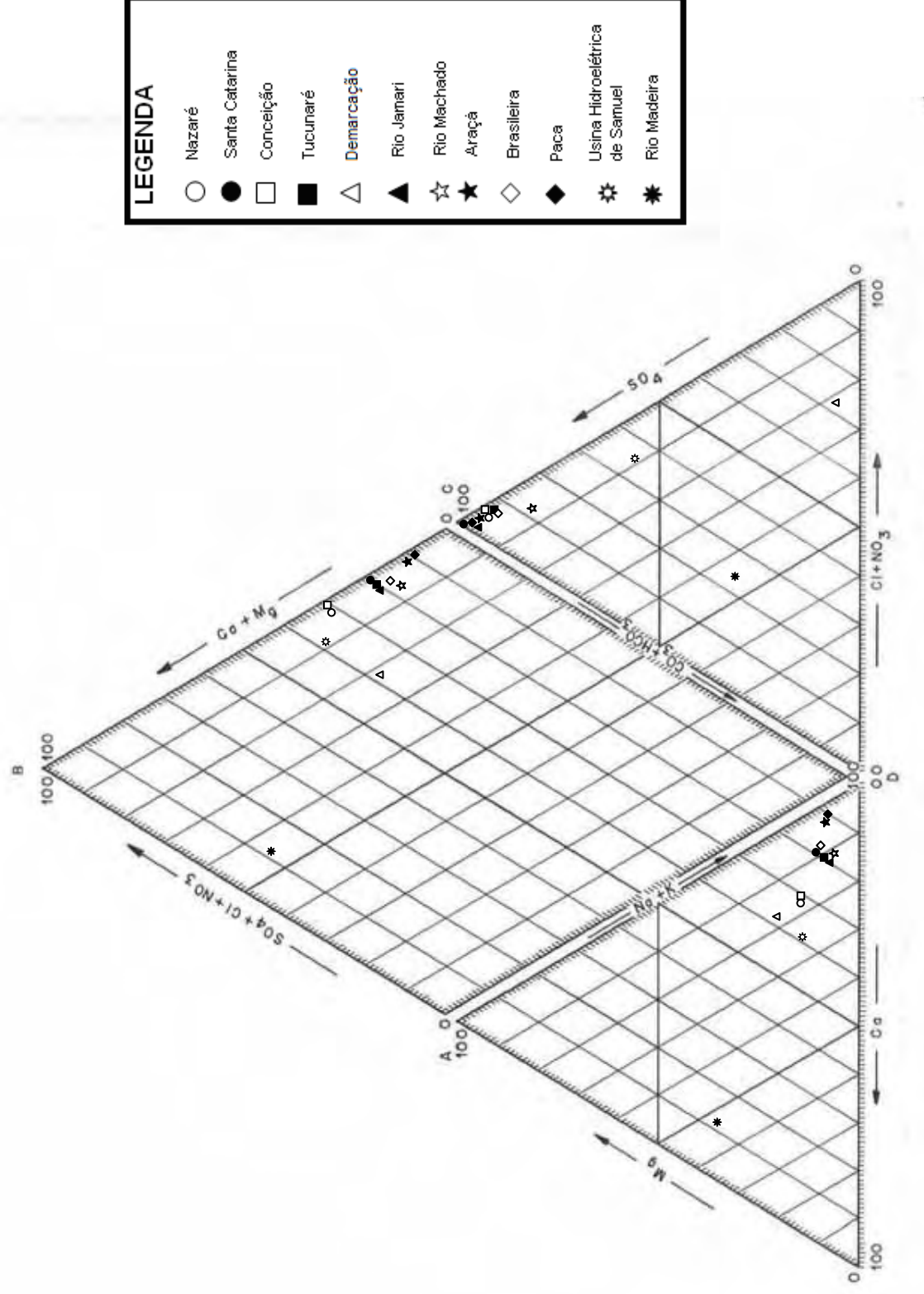


Figura 19 – Diagrama de Piper para as amostras de água coletadas na área de estudo.

5.2 – Caracterização dos sedimentos

Nos perfis de sedimentos estudados neste trabalho, foram determinados os principais óxidos, matéria orgânica e perda ao fogo (LOI), que está relacionada com o teor de matéria orgânica volátil (**Tabela 7**). Estes parâmetros possibilitaram determinar as bases ($\text{MgO}+\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) e R_2O_3 ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$) (COLMAN, 1982), os quais estão expressos na **Tabela 8**. Em todos os testemunhos, a sílica é o principal componente, variando de 46 a 62% do total. A **Figura 20** mostra que a sílica têm uma relação inversa ($r = -0,94$) com LOI e a **Figura 21** que a sílica apresenta uma relação direta com as bases ($r = 0,95$).

Os teores de Hg nos perfis de sedimentos dos lagos estão representados na **Tabela 9**. Os teores de Hg (ppb) e LOI (%) nos lagos exibem uma forte correlação ($r=0,90$) (**Figura 22**). A relação sugere que o mercúrio está associado com a matéria orgânica, conforme também observado por LORING (1975). Por outro lado, um ambiente com elevado teor de sílica e bases tende a exibir baixos teores de matéria orgânica, e, conseqüentemente, baixos teores de mercúrio.

Tabela 7 – Teores médios dos principais óxidos (em %) nos testemunhos estudados.

Lago	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	M.O.*	LOI**
Nazaré	60,35	0,93	20,09	5,93	0,04	1,41	0,22	0,74	3,24	0,14	3,48	6,87
Araçá	58,70	0,89	20,37	6,63	0,04	1,40	0,23	0,73	3,23	0,17	5,70	7,65
S. Catarina	59,59	1,00	21,00	5,21	0,03	1,44	0,20	0,70	3,36	0,11	6,10	7,40
Brasileira	52,81	1,36	27,72	3,94	0,02	0,35	0,07	0,22	1,99	0,15	4,98	11,40
Conceição	56,58	1,11	22,32	4,07	0,02	1,13	0,11	0,45	2,81	0,10	7,74	11,38
Paca	53,75	1,21	23,87	4,37	0,03	0,64	0,18	0,37	2,23	0,16	9,37	13,20
Tucunaré	62,38	0,89	18,48	6,44	0,04	1,33	0,27	0,82	2,99	0,16	3,60	6,28
U. H. S.	46,00	1,85	28,61	7,87	0,02	0,03	0,04	0,08	0,03	0,19	18,07	15,14
Demarcação	53,20	1,22	22,58	7,29	0,09	1,16	0,14	0,23	2,13	0,20	7,58	11,76

Fonte: VERGOTTI (2002)

* Matéria Orgânica

** perda ao fogo

Tabela 8 – Valores médios das Bases e R₂O₃ nos testemunhos analisados.

Lago	Bases (%)	R ₂ O ₃ (%)	Lago	Bases (%)	R ₂ O ₃ (%)	Lago	Bases (%)	R ₂ O ₃ (%)
Nazaré	4,95	14,28	Brasileira	1,87	16,82	Tucunaré	4,86	13,63
Araçá	4,89	14,48	Conceição	3,53	13,58	U.H.S.	0,17	18,96
S. Catarina	4,96	14,40	Paca	3,53	13,58	Demarcação	3,07	14,99

Fonte: VERGOTTI (2002)

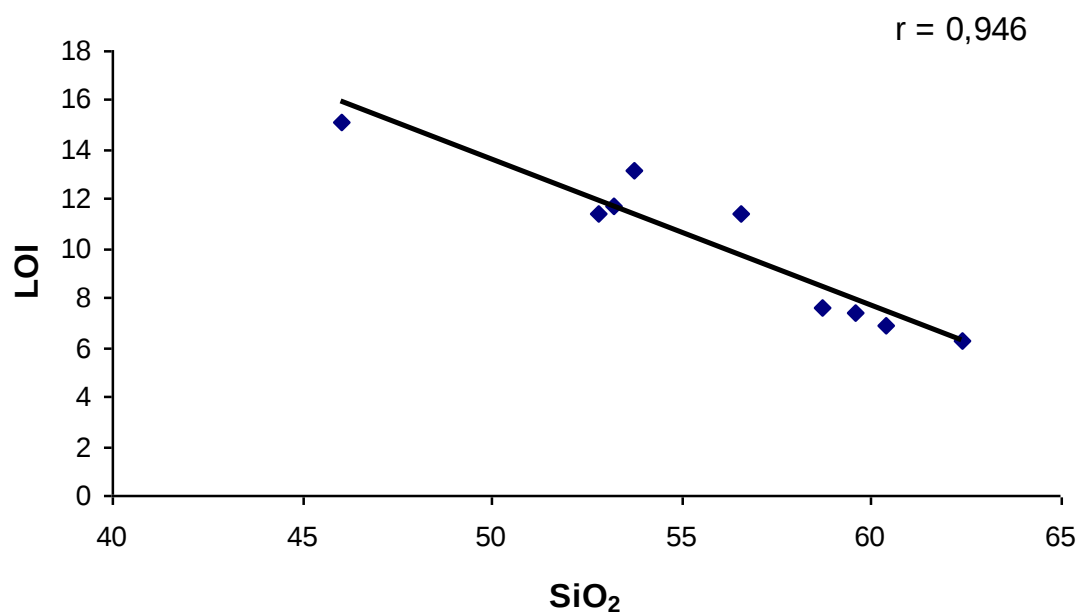


Figura 20: Correlação entre as médias de LOI (perda ao fogo) e SiO_2 nos perfis de sedimentos dos lagos estudados (VERGOTTI, 2002).

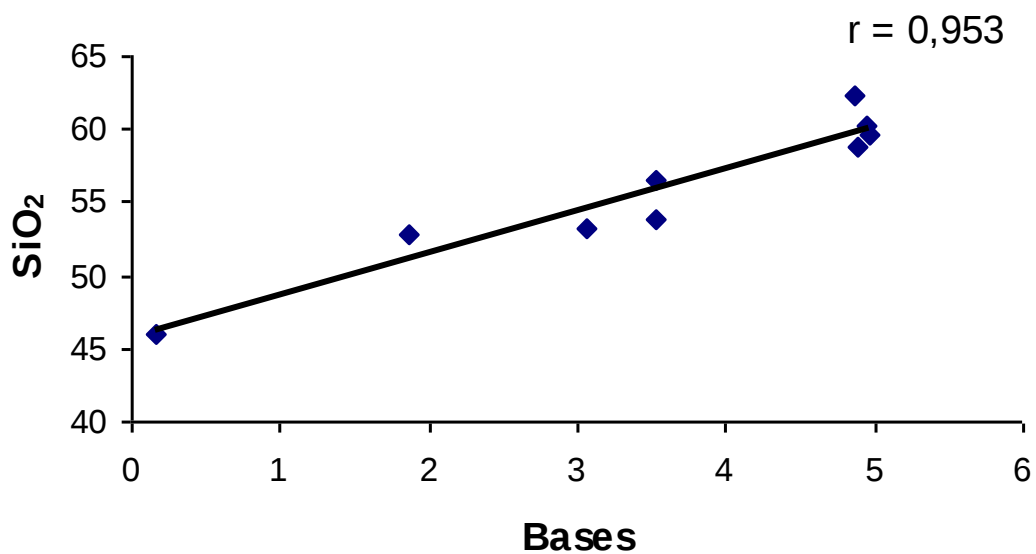


Figura 21: Correlação entre as médias de SiO_2 e Bases nos perfis de sedimentos dos lagos estudados (VERGOTTI, 2002).

Tabela 9 – Teores de Hg (ppb) nos perfis de sedimentos dos lagos estudados.

Profundidade	Nazaré	Santa Catarina	Conceição	Tucunaré	Demarcação	Araçá	Brasileira	Paca	U.H.S.
0cm a 5cm	33,81	49,70	64,64	48,83	164,93	58,47	76,46	128,76	126,20
5cm a 10cm	34,05	57,64	48,35	44,74	110,31	55,23	78,75	145,30	162,87
10cm a 15cm	23,71	82,39	47,27	45,39	92,92	46,84	113,80	148,39	171,39
15cm a 20cm	30,89	83,44	50,80	39,59	84,19	42,55	120,00	58,20	168,22
20cm a 25cm	41,31	74,20	49,59	34,02	99,63	42,54	118,58	175,52	
25cm a 30cm		74,31	80,65	39,29	100,33	47,42	115,38		
30cm a 35cm		72,44	62,41	36,54	97,81	44,20	114,55		
35cm a 40cm		82,20	66,88	36,70		37,21	126,99		
40cm a 45cm		77,01	66,14	38,12		33,99	153,18		
45cm a 50cm		95,02	65,60	49,01		33,78	131,67		
50cm a 55cm				38,12		35,83	119,59		
55cm a 60cm				39,05		36,46			
60cm a 65cm				40,17		33,84			
65cm a 70cm						39,68			
70cm a 75cm						50,16			
75cm a 80cm						49,46			
Média	32,75	74,84	59,43	40,74	107,16	42,98	115,36	131,23	157,17

Fonte: VERGOTTI, (2002).

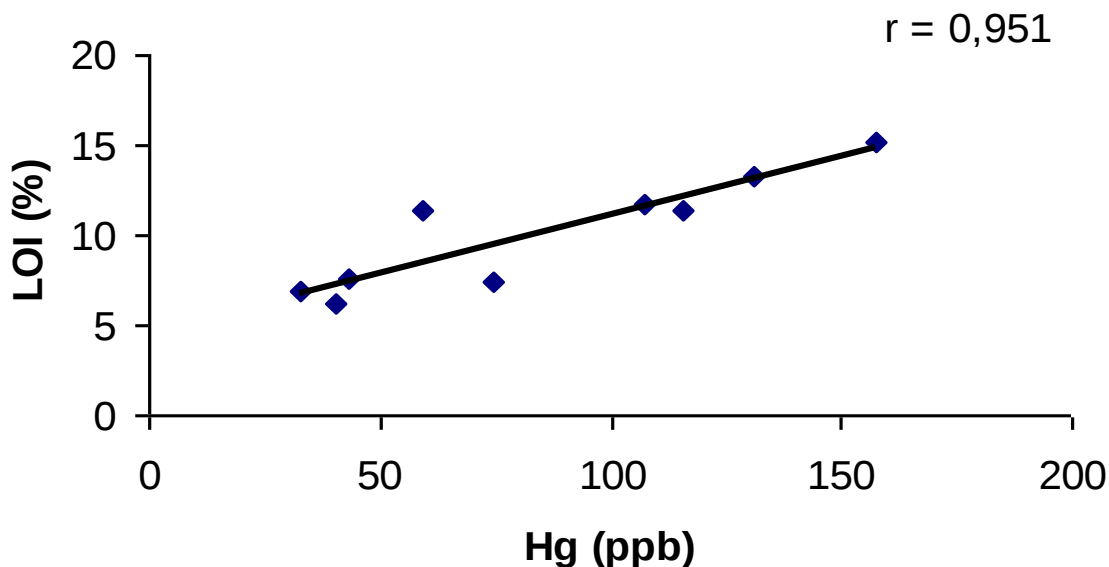


Figura 22: Correlação entre as médias de Hg (ppb) e LOI (%) nos perfis de sedimentos dos lagos estudados.

5.3 – Dados espectrométricos para obtenção do Pb – 210 total

A **Figura 23** ilustra o espectrograma alfa para o polônio extraído da amostra de sedimentos de 15 a 20 cm de profundidade do perfil coletado no lago Tucunaré.

No ANEXO 1 estão as Tabelas **10 a 18** onde constam os resultados obtidos a partir da análise dos espectrogramas alfa. A atividade de ^{210}Po (A_{210}) foi determinada a partir da equação:

$$A_{210} = \frac{N_{210}}{N_{209}} \cdot A_0 \quad (30)$$

onde N_{209} e N_{210} correspondem à taxa de contagem nos picos do ^{209}Po e ^{210}Pb , respectivamente, e A_0 é a atividade do ^{209}Po adicionado à amostra (20 ou 40 dpm).

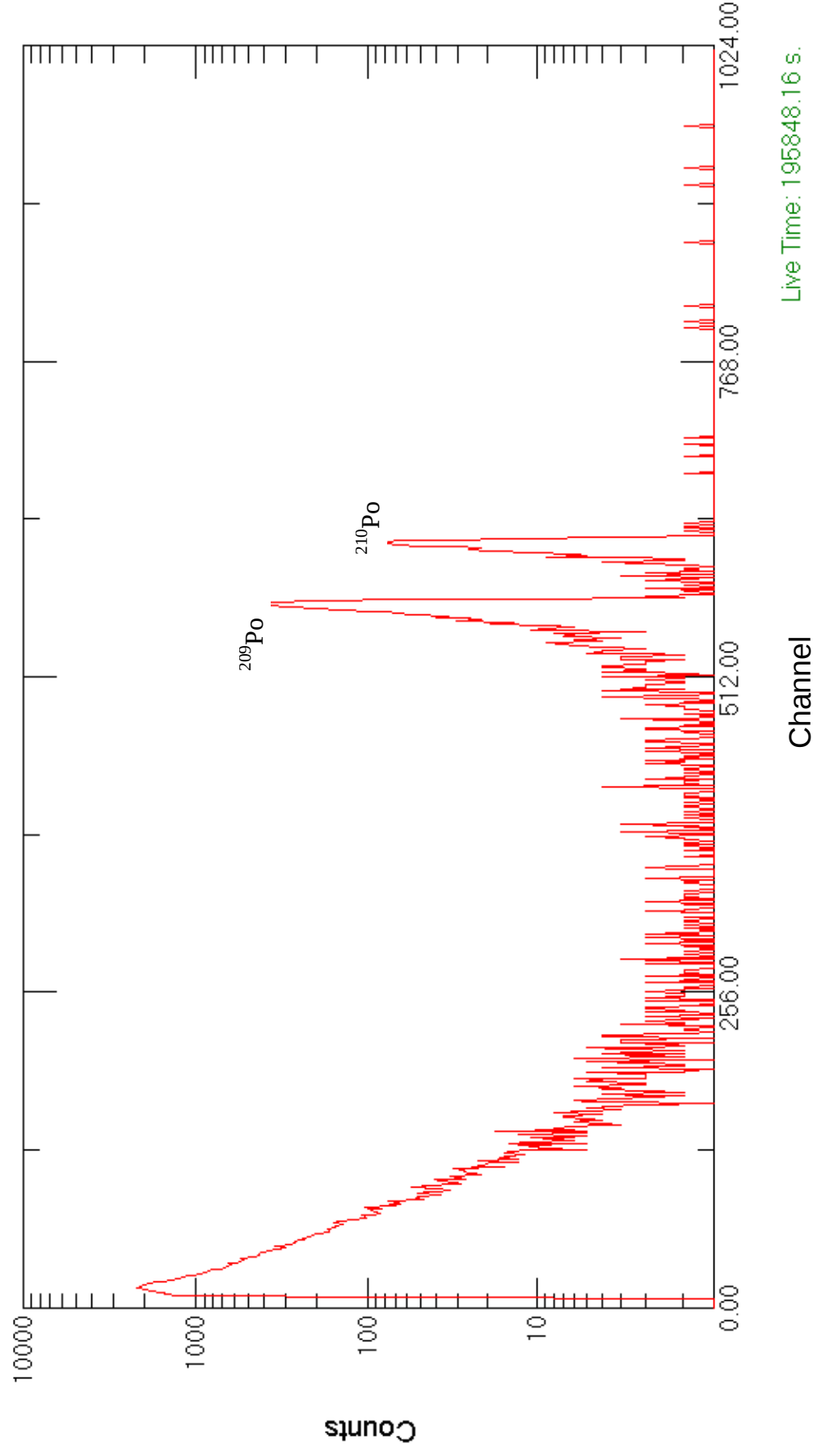


Figura 23: Espectrograma alfa para o polônio extraído da amostra de sedimentos de 15 a 20 cm de profundidade do perfil coletado no lago Tucunaré.

5.4 – Dados espectrométricos para obtenção do “Pb-210 produzido”

A **Figura 24** ilustra o espectrograma gama obtido para a amostra de sedimentos de 15 a 20 cm de profundidade do perfil coletado no lago Tucunaré, no qual é possível identificar o fotopico do ^{214}Bi empregado para a aquisição de dados. No ANEXO 2 estão as Tabelas 19 a 25 em que constam os resultados obtidos a partir da análise dos espectros. O urânio equivalente (eU) foi calculado a partir da equação:

$$eU = 10^{\log C_U} \quad (31)$$

onde: $\log C_U = 1,057 \bullet (\log I_U) + 2,578$ (equação 29). Como cada micrograma de ^{238}U tem atividade de 0,746dpm, obtém-se a concentração de U em dpm/g multiplicando eU por 0,746.

No cálculo do $^{210}\text{Pb}_s$ por esse método, deve ser obedecida a condição de equilíbrio radioativo entre o ^{226}Ra e o ^{210}Pb , assumindo – se também que o ^{226}Ra está em equilíbrio radioativo com o ^{238}U .

Conforme se verifica na **Figura 1**, o ^{226}Ra atinge o ^{210}Pb após 4 decaimentos alfa e 2 decaimentos beta. Nessa sucessão de decaimentos é produzido o gás ^{222}Rn , que se perde para a fase líquida ou atmosfera, e, assim, apenas uma parcela do radônio produzido nos sedimentos contribuirá para a geração de ^{210}Pb . Portanto, é necessário levar em conta um fator para a emanção do radônio. Nesse trabalho, será adotado um valor de 0,84 obtido por **BONOTTO & CAPRIOGLIO (2002)**. Dessa forma, o emprego desse valor permite considerar que apenas 16% do radônio gerado pelo decaimento do ^{226}Ra contribui para a produção de $^{210}\text{Pb}_s$, ou seja:

$$^{210}\text{Pb}_s = 0,16 \bullet eU \quad (32)$$

Para as amostras de sedimentos dos lagos Demarcação (0 a 5cm de profundidade), Conceição e da U.H.S. o $^{210}\text{Pb}_s$ foi avaliado por espectrometria alfa, a partir do urânio extraído de acordo com o método descrito por BONOTTO (1986). As Tabelas 26 e 27 sumarizam os resultados obtidos.

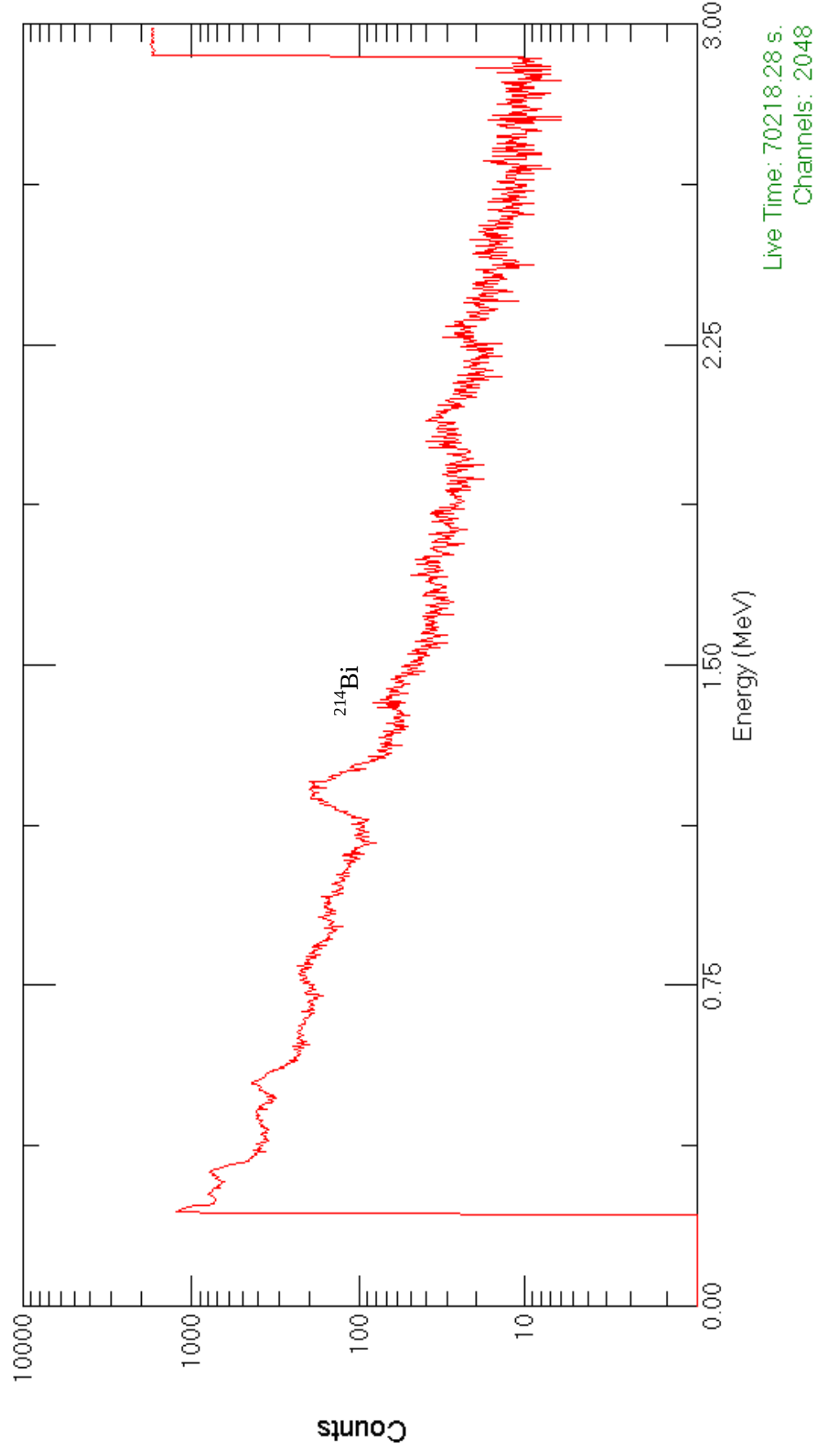


Figura 24: Espectrograma gama obtido para a amostra de sedimentos de 15 a 20 cm de profundidade do perfil coletado no lago Tucunaré.

CAPÍTULO 6

TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO

6.1 – O ^{210}Pb "produzido" nos sedimentos

Os valores obtidos para o ^{210}Pb "produzido" nos sedimentos foram correlacionados com os resultados da análise dos principais constituintes, conforme ilustrado na **Tabela 28**. No lago da Usina Hidroelétrica de Samuel, o baixo número de pontos no perfil de sedimentos inviabiliza a discussão dos coeficientes de correlação elevados. Diferentes dos demais, os lagos Brasileira e Santa Catarina são os únicos que apresentaram correlações que possibilitam uma melhor discussão.

Os teores de matéria orgânica nos sedimentos podem alterar sua real densidade, porosidade e influenciam nos valores de sua superfície específica, de forma que, para cada 1% de sua matéria orgânica nos sedimentos ocasiona um aumento de aproximadamente 7 m² de sua superfície específica (KIEHL, 1977). Conseqüentemente, outros parâmetros são significativamente afetados, por exemplo, a capacidade de troca iônica, adsorção de cátion e percentual de retenção de água, os quais aumentam com o acréscimo da superfície específica dos sedimentos.

Nos dois testemunhos considerados (lagos Brasileira e Santa Catarina), a sílica é o principal constituinte, estando inversamente relacionada com a matéria orgânica, conforme evidenciam as correlações entre LOI e SiO₂ nas **Figuras 25 e 26**. Assim, com a diminuição em sílica, espera-se a ocorrência da elevação da superfície específica dos sedimentos e, conseqüentemente, da capacidade de troca/adsorção dos cátions, o que efetivamente foi constatado no perfil do lago Brasileira a partir da relação direta significativa entre LOI e ^{210}Pb "produzido" (**Figura**

25). Essa relação reflete também nas correlações inversas entre a sílica e o ^{210}Pb “produzido” nos dois lagos, conforme ilustrado nas **Figuras 25 e 26**.

Apesar de algumas similaridades entre os dois perfis, ocorrem, contudo, diferenças que estão possivelmente relacionadas com a abundância de matéria orgânica presente. No perfil do lago Santa Catarina, a presença da matéria orgânica é menos acentuada (menos valores de LOI), tornando-se importante a presença de óxidos de ferro na adsorção do ^{210}Pb “produzido” (**Figura 26**). Nota-se, inclusive, que no lago Santa Catarina os óxidos de ferro aumentam na medida em que LOI aumenta (**Figura 26**), enquanto que no lago Brasileira ocorre decréscimo de LOI na medida que se verifica elevação no teor de ferro (**Figura 25**), de maneira que é diferente sua importância relativa nos dois perfis. A contribuição dos óxi-hidróxidos amorfos de ferro nos processos de adsorção de radionuclídeos tem sido extensivamente reconhecida na literatura (LANGMUIR, 1978; LANGMUIR & HERMAN, 1980; JIA et al., 2000), tornando-se proeminente no lago Santa Catarina.

Tabela 28 – Coeficientes de correlação entre o Pb_s (²¹⁰Pb "produzido") e os principais constituintes dos sedimentos.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI*
Lago Araçá	-0,331	0,035	0,231	0,219	0,161	-0,003	0,236	-0,259	0,001	0,294	0,503
Lago Tucunaré	0,448	0,378	-0,433	-0,566	-0,507	-0,776	0,316	0,327	-0,760	-0,492	-0,144
Lago Paca	0,419	-0,349	-0,344	0,252	0,604	0,415	0,186	0,429	0,375	-0,269	-0,456
Lago Nazaré	0,348	0,681	-0,395	-0,301	0,000	-0,398	-0,297	-0,026	0,058	0,544	-0,090
Lago Demarcação	0,546	0,333	-0,699	0,425	0,496	0,568	-0,369	0,441	0,579	-0,754	-0,646
Lago S. Catarina	-0,707	-0,766	0,774	0,696	0,000	-0,176	0,626	-0,542	0,853	0,633	0,497
Lago Brasileira	-0,669	0,288	0,603	-0,593	-0,586	-0,434	-0,566	-0,465	-0,538	-0,591	0,650
Lago Conceição	0,269	0,572	0,067	-0,771	-0,663	-0,582	-0,620	-0,618	-0,563	-0,853	0,476
Lago da U. H. S.	0,910	-0,980	-0,706	-0,800	0,000	-0,393	-0,973	0,131	-0,147	-0,741	-0,695

*LOI – perda ao fogo

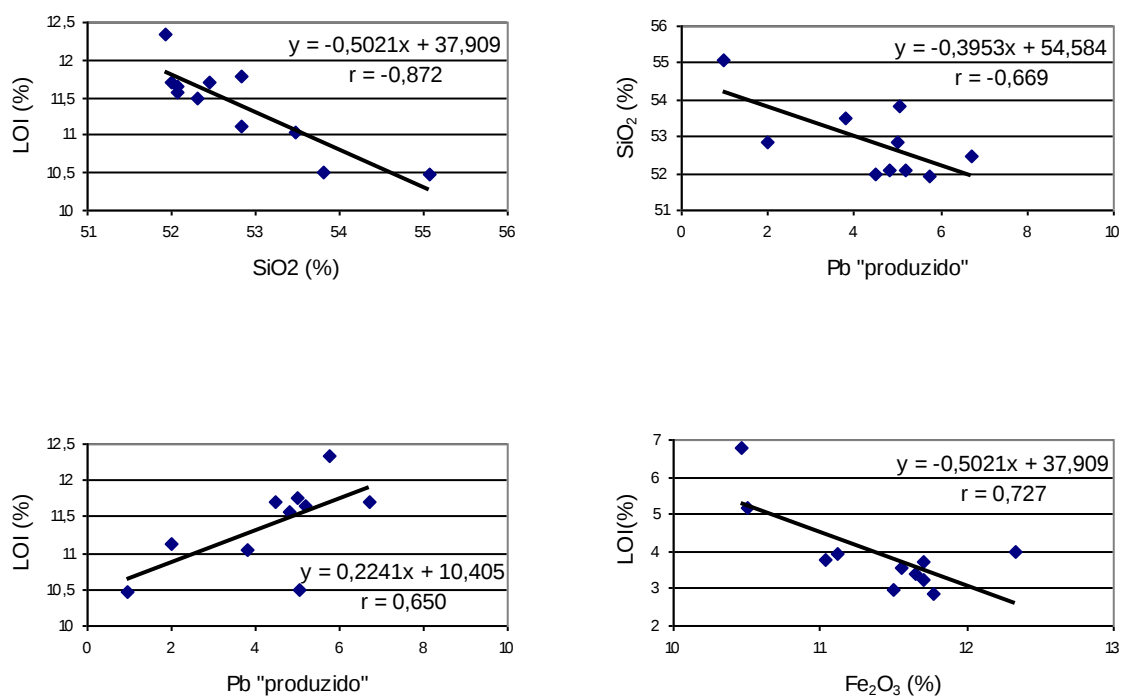


Figura 25 – Correlações significativas obtidas no lago Brasileira.

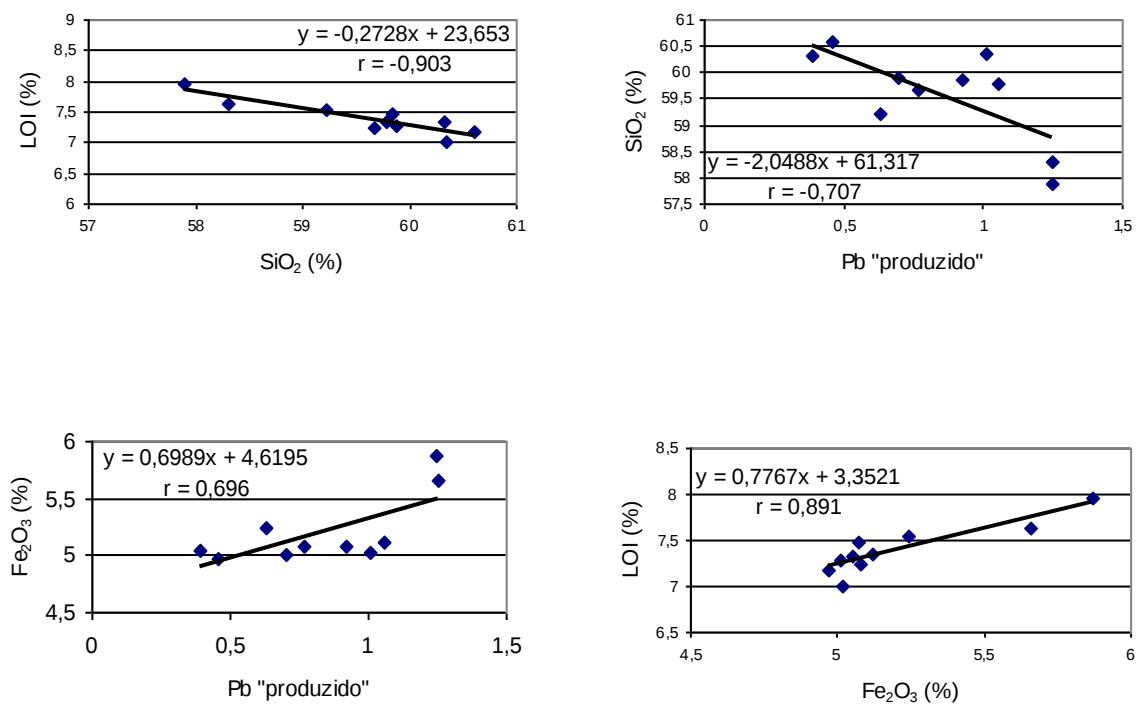


Figura 26 – Correlações significativas obtidas no lago Santa Catarina.

6.2 – O ^{210}Pb “não produzido” nos sedimentos

Segundo ROBBINS (1978) a maior parte dos trabalhos feitos com o método de datação por ^{210}Pb em sedimentos de água doce destina-se a avaliar taxas de sedimentação em ambientes como lagos e represas. Neste trabalho será adotado o modelo simples citado no item 2.6.2 para estimar a taxa de sedimentação nos lagos estudados. A estimativa da taxa de sedimentação baseada na geocronologia do ^{210}Pb requer valores de ^{210}Pb “não-produzido” (Pb_{xs}) ao longo da coluna de sedimentos, os quais podem ser obtidos a partir da diferença entre a atividade total de ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$) e a atividade do ^{210}Pb “produzido” ($^{210}\text{Pb}_{\text{s}}$):

$$^{210}\text{Pb}_{\text{xs}} = ^{210}\text{Pb}_{\text{total}} - ^{210}\text{Pb}_{\text{s}} \quad (33)$$

O modelo da taxa de acumulação constante (ROBBINS, 1978; APPLEBY & OLDFIELD, 1992), baseia-se na premissa de que a atividade de ^{210}Pb “não produzido” numa camada z de sedimentos é dada por:

$$A(z) = A(0) \bullet e^{(-\lambda_{210} \bullet m / r)} \quad (34)$$

sendo $A(z)$ e $A(0)$, respectivamente, as atividades à profundidade z e na interface sedimento-água, m é a massa seca acumulada por unidade de área (g/cm^2), r é a taxa de sedimentação ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{ano}$) e λ_{210} é a constante de decaimento do ^{210}Pb ($0,03114 \text{ ano}^{-1}$). A equação (34) pode ser reescrita como:

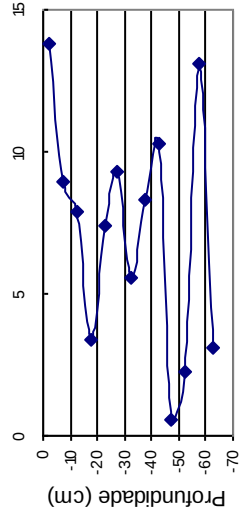
$$\ln A(z) - \ln A(0) = \left(\frac{-\lambda_{210}}{r} \right) \bullet m \quad (35)$$

Assim, quando o $\ln$ da atividade A de ^{210}Pb “não produzido” é representado em função da massa seca acumulada por unidade de área m , obtém-se um perfil linear de ^{210}Pb , com o coeficiente de inclinação da curva correspondendo a $-\lambda_{210}/r$. Conseqüentemente, a taxa de sedimentação r pode ser

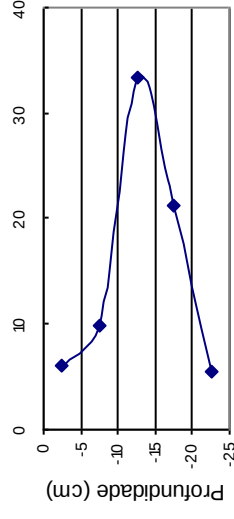
determinada a partir da inclinação da reta ajustada pelo método dos mínimos quadrados.

O valor do *ln* da atividade de ^{210}Pb em excesso ao ser representado em função da massa seca acumulada propicia a eliminação de efeitos de compactação (ROBBINS, 1978). Isso se deve ao fato de que ao se representar dados de ^{210}Pb em função da profundidade, geralmente ocorre diminuição da inclinação da reta na superfície devido a efeitos da compactação, a qual é reduzida proximamente à superfície.

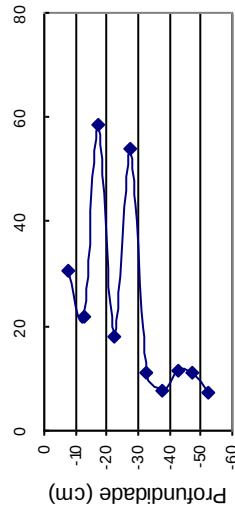
No ANEXO 3 estão as Tabelas **29 a 37** que sumarizam os parâmetros necessários para determinação da taxa de sedimentação. A **Figura 27** ilustra a variação da atividade do ^{210}Pb “não produzido” em função da profundidade para cada lago estudado, e a **Figura 28** mostra os gráficos do ^{210}Pb “não produzido” em função da massa seca acumulada, os quais permitem encontrar a taxa de sedimentação em cada lago.



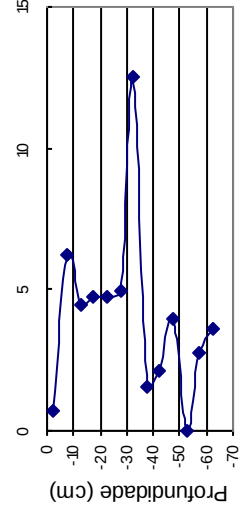
Lago Araçá



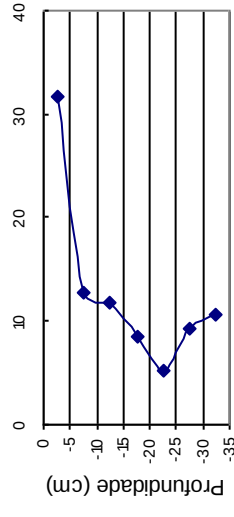
Lago Nazaré



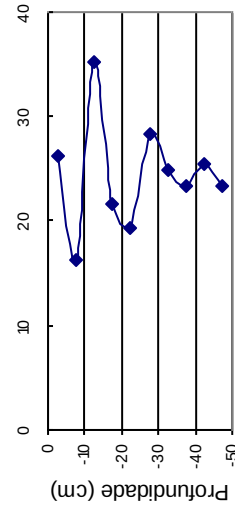
Lago Brasileira



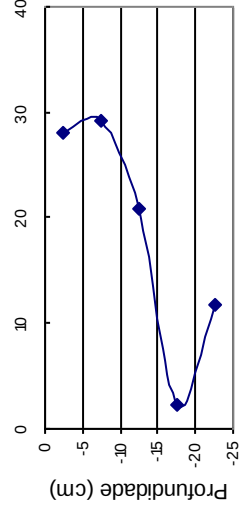
Lago Tucunaré



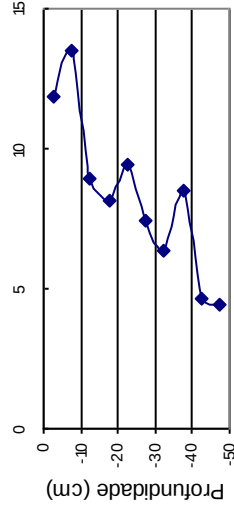
Lago Demarcação



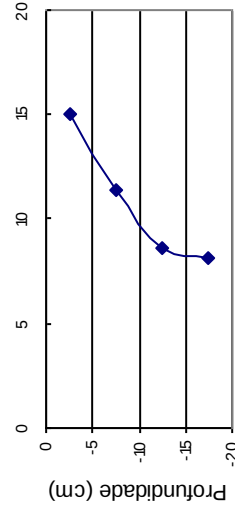
Lago Conceição



Lago Paca

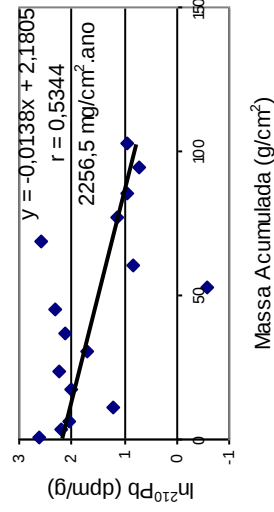


Lago Santa Catarina

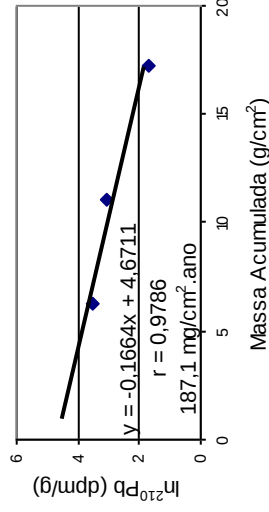


Lago da U.H.S.

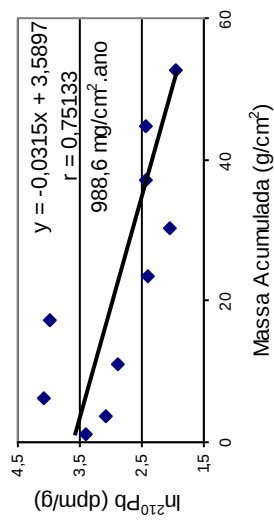
FIGURA 27 - Variação da atividade do ^{210}Pb “não produzido” em função da profundidade.



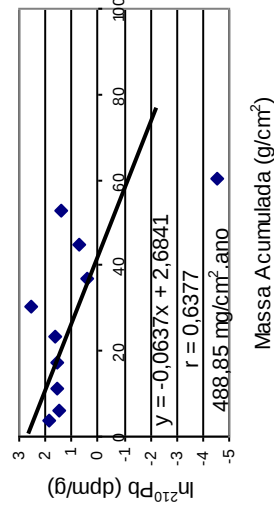
Lago Araçá



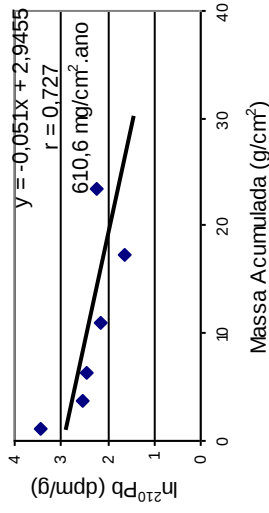
Lago Nazaré



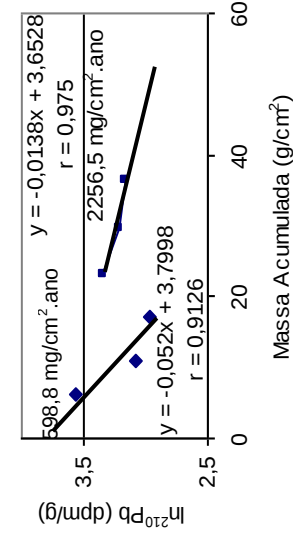
Lago Brasileira



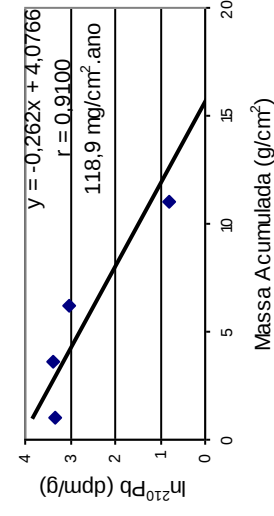
Lago Tucunaré



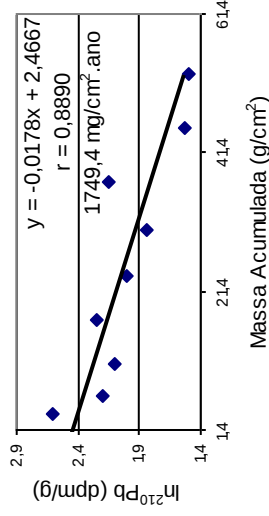
Lago Demarcação



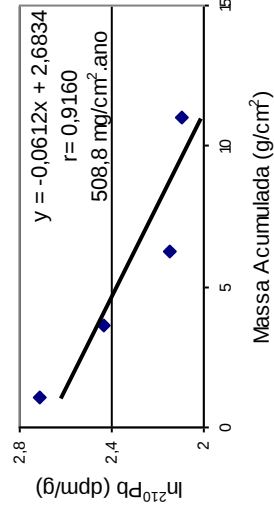
Lago Conceição



Lago Paca



Lago Santa Catarina



Lago da U.H.S.

FIGURA 28 - Variação da atividade do ²¹⁰Pb “não produzido” em função da massa seca acumulada por unidade de área.

6.3 – Comparação dos valores obtidos para as taxas de sedimentação

A **Tabela 38** sumariza as taxas de sedimentação obtidas neste trabalho. Os valores situam-se entre 118,9 e 2256,5 mg/cm².ano, sendo a taxa de sedimentação média igual a 975,4 mg/cm².ano. Muitos pesquisadores tem utilizado a mesma técnica para determinar taxas de sedimentação em diferentes ambientes, estando sumarizados na **Tabela 39** alguns resultados referidos na literatura. A taxa de sedimentação média obtida neste trabalho é superior àquelas determinadas nas águas do rio Corumbataí no Estado de São Paulo e dos lagos canadenses, porém, relativamente semelhante a dois valores obtidos por TURCQ et al. (2004) para lago também situado na região Amazônica.

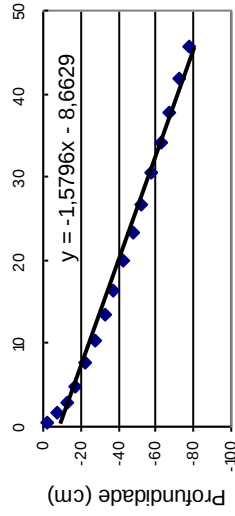
Quando a massa acumulada/área é dividida pela taxa de sedimentação, podemos estimar a idade do perfil de sedimentos para cada profundidade, o que possibilita realizar um histórico da deposição. Na **Figura 29** estão ilustrados os gráficos do tempo de deposição em função da profundidade para todos os lagos estudados. No lago da Brasileira verifica-se que um perfil de sedimentos com 50 cm de profundidade resulta numa deposição de aproximadamente 61 anos, enquanto que no lago de Santa Catarina, que têm quase o dobro da taxa de sedimentação, o tempo de deposição é de 30 anos.

Tabela 38 – Taxas de sedimentação obtidas pelo método do ²¹⁰Pb nos lagos estudados.

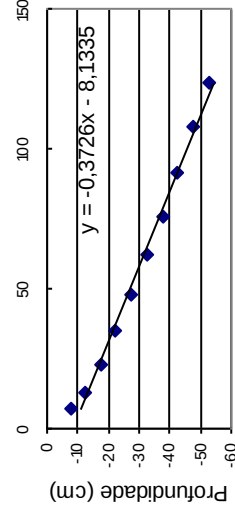
Lago	Funções das retas	Taxa de sedimentação
Lago Araçá	$Y = - 0,0138x + 2,1805$	2256,5 mg/cm ² .ano
Lago Tucunaré	$Y = - 0,0637x + 2,6841$	488,85mg/cm ² .ano
Lago Paca	$Y = - 0,262x + 4,0766$	118,9 mg/cm ² .ano
Lago Nazaré	$Y = - 0,1664x + 4,6711$	187,1 mg/cm ² .ano
Lago Demarcação	$Y = - 0,051x + 2,7270$	610,6 mg/cm ² .ano
Lago Santa Catarina	$Y = - 0,0178x + 2,4667$	1749,4 mg/cm ² .ano
Lago Brasileira	$Y = - 0,0315x + 3,5897$	988,6 mg/cm ² .ano
Lago Conceição	$Y = - 0,052x + 3,7998$	598,8 mg/cm ² .ano
Lago Conceição	$Y = - 0,0138x + 3,6528$	2256,5 mg/cm ² .ano
Lago da U. H. S.	$Y = - 0,0612x + 2,6834$	508,8 mg/cm ² .ano

Tabela 39 – Taxas de sedimentação determinadas pelo método do ^{210}Pb .

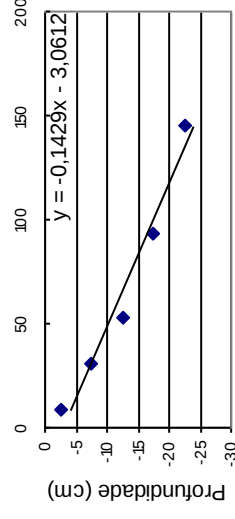
Descrição	Localidade	Referência	Taxa de Sedimentação
Lago Navarro de Andrade	Rio Claro (SP) Brasil	BONOTTO et al. (2005)	752 mg/cm ² .ano
Rio Corumbataí	Ajapi (SP) Brasil	LIMA (2000)	802 mg/cm ² .ano
Rio Corumbataí	Piracicaba (SP) Brasil	LIMA (2000)	224 mg/cm ² .ano
Lago Amisk	Alberta Canadá	TURNER & DELORME (1996)	20 mg/cm ² .ano
Lago Birchbark	Saskatchewan Canadá	TURNER & DELORME (1996)	10 mg/cm ² .ano
Lago Clearwater	Saskatchewan Canadá	TURNER & DELORME (1996)	260 mg/cm ² .ano
Lago Elkwater	Alberta Canadá	TURNER & DELORME (1996)	270 mg/cm ² .ano
Lago Gillis	Saskatchewan Canadá	TURNER & DELORME (1996)	40 mg/cm ² .ano
Lago Grande de Curuaí	Óbidus (AM) Brasil	TURCQ et al. (2004)	420 mg/cm ² .ano
Lago Grande de Curuaí	Óbidus (AM) Brasil	TURCQ et al. (2004)	1160 mg/cm ² .ano
Lago Grande de Curuaí	Óbidus (AM) Brasil	TURCQ et al. (2004)	1100 mg/cm ² .ano
Lago Chapala	Guadalajara México	FERNEX et al. (2001)	620 mg/cm ² .ano
Lago Chapala	Guadalajara México	FERNEX et al. (2001)	440 mg/cm ² .ano



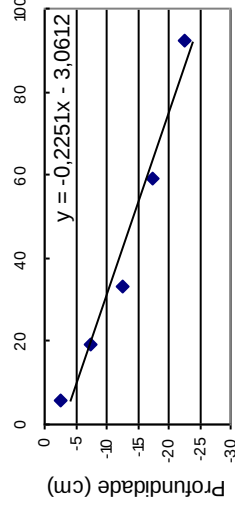
Lago Araçá



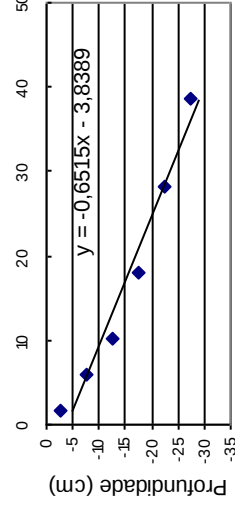
Lago Tucunaré



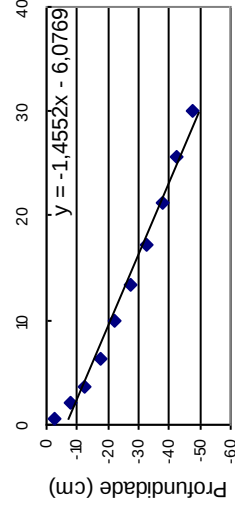
Lago Paca



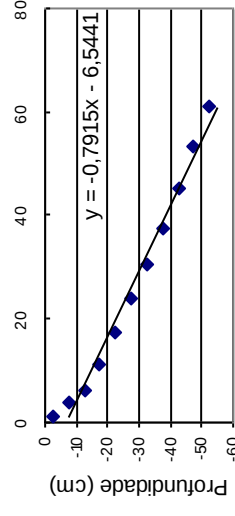
Lago Nazaré



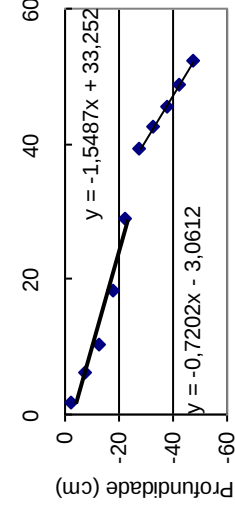
Lago Demarcação



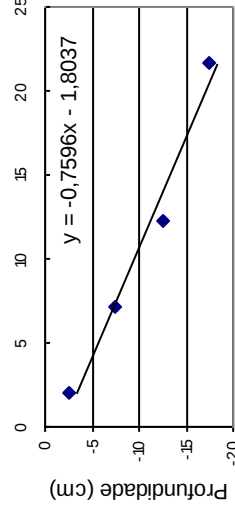
Lago Santa Catarina



Lago Brasileira



Lago Conceição



Lago da U.H.S.

FIGURA 29 - Tempo de deposição (anos) em função da profundidade (cm).

Quando a espessura total da coluna de sedimentos é dividida pelo tempo de deposição, é possível obter uma taxa de sedimentação média com dimensão LT^{-1} , de maneira que valores correspondentes a 9,0 mm/ano e 16,7 mm/ano são obtidos, respectivamente, para os testemunhos dos lagos Brasileira e Santa Catarina (Tabela 40).

Tabela 40 – Taxas de sedimentação nos lagos estudados

Lago	Espessura da coluna	Tempo de deposição	Taxa de sedimentação
Lago Araçá	80 cm	66 anos	12,1 mm/ano
Lago Tucunaré	55 cm	92 anos	6,0 mm/ano
Lago Paca	25 cm	145 anos	1,7 mm/ano
Lago Nazaré	25 cm	92 anos	2,7 mm/ano
Lago Demarcação	50 cm	93 anos	5,4 mm/ano
Lago Santa Catarina	50 cm	30 anos	16,7 mm/ano
Lago Brasileira	55 cm	61 anos	9,0 mm/ano
Lago Conceição	25 cm	29 anos	8,6 mm/ano
Lago Conceição	25 cm	23 anos	10,9 mm/ano
Lago da U. H. S.	20 cm	22 anos	7,9 mm/ano

Comparando as taxas de sedimentação encontradas nesse trabalho com outras taxas referidas na literatura, verifica-se que alguns valores são relativamente semelhantes aos determinados para o lago Grande de Curuaí, na margem do rio Amazonas, isto é, 4,2 mm/ano, 13,4 mm/ano e 11,6 mm/ano (TURCQ et al., 2004). Além disso, alguns valores são próximos daqueles determinados na baía de Guaratuba no Estado do Paraná, onde as taxas de sedimentação foram de 5,2 mm/ano e 6,1 mm/ano (SANDERS, 2006).

6.4 – O Hg nos lagos estudados e o tempo de deposição dos sedimentos

Se o ano de amostragem (2000) é utilizado como referência para o estabelecimento da cronologia a partir do topo de cada testemunho, então, é possível estimar o ano no qual teria ocorrido a deposição de sedimentos correspondente à base de cada segmento. A **Figura 30** apresenta os teores de Hg (ppb) em função de sua profundidade (ou tempo de deposição).

Para o lago da Usina Hidroelétrica de Samuel não é possível atingir um histórico por volta de 1970, que é um período importante relacionado com a atividade garimpeira na região estudada. Já no lago Paca, tendo em vista a menor taxa de sedimentação obtida, foi possível chegar a um período correspondente à metade do século XIX, praticamente no limite de aplicabilidade do método.

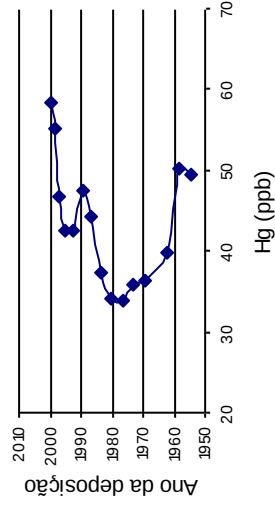
Alguns fatores geogênicos e antrópicos relacionados com a acumulação de mercúrio nos sedimentos dos lagos estudados poderiam ser:

- 1) emissões atmosféricas decorrentes de atividades vulcânicas nos Andes;
- 2) emissões atmosféricas/transporte fluvial relacionados com a atividade garimpeira do ouro aluvionar no final e início das décadas de 70 e 80, respectivamente;
- 3) transporte fluvial de material particulado relacionado com o regime hídrico do rio Madeira e tributários.

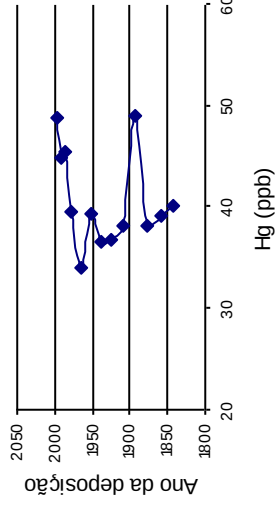
O primeiro fator é de escala relativamente ampla, de maneira que todos os lagos estariam sendo afetados, porém, isto não está evidenciado nos diagramas ilustrados na **Figura 30**, os quais diferem grandemente para cada lago estudado. Quando se considera o final e início das décadas de 70 e 80, respectivamente, verifica-se que há tendência de elevação no teor de Hg nos lagos Araçá, Tucunaré, Nazaré, Demarcação, Santa Catarina, Conceição e Brasileira, a qual poderia ser atribuída à atividade garimpeira relacionada com o ouro aluvionar. Isto também é reforçado pelo fato de que as atividades garimpeiras ocorreram no rio Madeira,

sobretudo a montante do município de Porto Velho, enquanto que os lagos estudados estão situados a jusante daquele município.

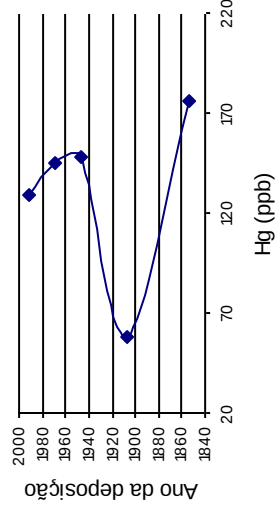
A questão se torna complexa, contudo, quando se leva em conta as flutuações naturais do nível d'água do rio Madeira e tributários, que implicam em aportes diferenciais de sedimentos aos lagos estudados. Por exemplo, os lagos Araçá, Paca, Nazaré, Santa Catarina, Tucunaré, Conceição e Brasileira exibiram teores de Hg anteriores ao garimpo mais elevados que aqueles associados às décadas de 70 e 80. Isto sugere que os valores de Hg podem ser considerados como “normais” (geogênicos) para a região, de maneira que as flutuações nos teores estariam relacionadas com o regime hídrico do rio Madeira e tributários. Um reforço a esta proposição está no fato de que duas taxas de sedimentação diferentes foram obtidas para o lago Conceição (Figura 30). Dessa forma, não é possível assegurar que o aumento no teor de Hg verificado para a maioria dos lagos no final e início das décadas de 70 e 80, respectivamente, estaria associado às atividades antrópicas na região.



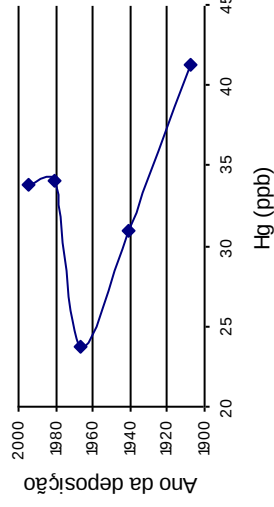
Lago Araçá



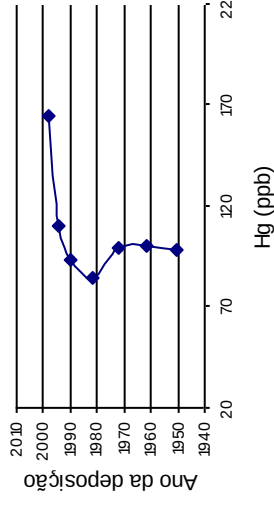
Lago Tucunaré



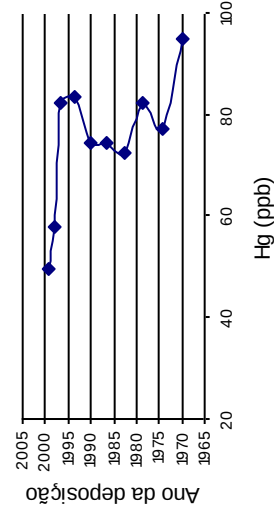
Lago Paca



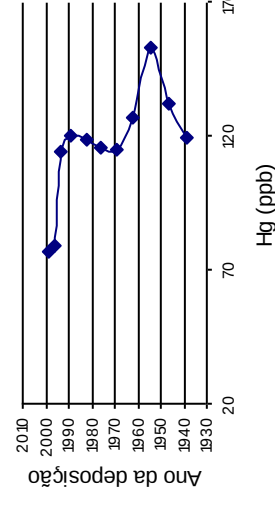
Lago Nazaré



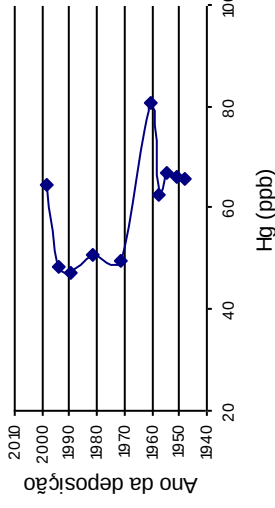
Lago Demarcação



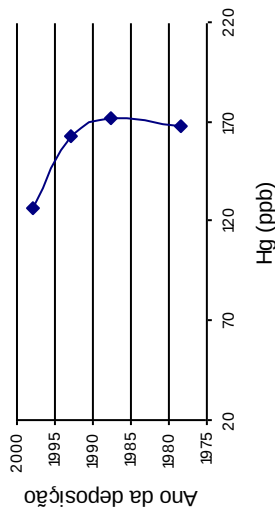
Lago Santa Catarina



Lago Brasileira



Lago Conceição



Lago da U.H.S.

FIGURA 30 – Teores de Hg (ppb) em função do ano de deposição (profundidade) nos lagos estudados.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO

Este trabalho envolveu o estudo de lagos situados na bacia do rio Madeira no Estado de Rondônia, a jusante de Porto Velho, sua capital. Nove lagos foram estudados nesta investigação, a saber: Brasileira, Araçá, Tucunaré, Paca, Nazaré, Conceição, Santa Catarina, Demarcação e o lago da Usina Hidroelétrica de Samuel (U. H. S.). Com exceção do lago Demarcação que tem águas cloro-nitratadas, os demais lagos possuem águas potássico-sódicas quanto aos cátions dissolvidos e sulfatadas quanto aos ânions dissolvidos.

Testemunhos em sedimentos foram coletados de cada lago por intermédio de um tubo de acrílico, visando a aplicação do método cronológico do ^{210}Pb . Os perfis de sedimentos não apresentaram correlações significativas entre seus principais constituintes e a atividade de ^{210}Pb , exceto nos lagos Brasileira e Santa Catarina. Nesses lagos, apesar de algumas similaridades entre os dois perfis, ocorrem diferenças que estão possivelmente relacionadas com a abundância de matéria orgânica presente. No perfil do lago Santa Catarina, a presença da matéria orgânica é menos acentuada (menos valores de LOI), tornando-se importante a presença de óxidos de ferro na adsorção do ^{210}Pb “produzido”, os quais aumentam na medida em que o LOI aumenta. Porém, no lago Brasileira, ocorre decréscimo do LOI na medida em que se verifica elevação no teor de ferro, diferindo, portanto, sua importância relativa nos dois perfis.

O método cronológico do ^{210}Pb possibilitou determinar neste trabalho taxas de sedimentação entre 118,9 e 2256,5 $\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{ano}$. Obteve-se um valor médio igual a 975,4 $\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{ano}$, que é superior às taxas determinadas nas águas do rio Corumbataí, Estado de São Paulo e em lagos canadenses, porém, é um pouco inferior a valores obtidos por outros investigadores para lago situado na várzea do rio Amazonas.

Quanto ao tempo de deposição em função da profundidade, no lago Brasileira verificou-se que um perfil de sedimentos com 50 cm de profundidade resulta numa deposição de aproximadamente 61 anos, enquanto que no lago Santa Catarina, que têm quase o dobro da taxa de sedimentação, o tempo de deposição é de 30 anos. Estes valores correspondem a 9,0 mm/ano e 16,7 mm/ano, respectivamente, para os testemunhos dos lagos Brasileira e Santa Catarina.

Comparando as taxas de sedimentação com dimensão LT^{-1} encontradas nesse trabalho com outras taxas referidas na literatura, verificou-se que alguns valores são relativamente semelhantes aos do Lago Grande de Curuaí, nas margens do rio Amazonas (entre, 4,2 e 13,4 mm/ano), bem como àqueles determinados na baía de Guaratuba – PR (5,2 e 6,1 mm/ano).

Usando o ano de amostragem (2000) como referência para o estabelecimento da cronologia a partir do topo de cada testemunho, nos lagos Conceição e da Usina Hidroelétrica de Samuel não foi possível atingir um histórico anterior à atividade garimpeira, por volta de 1970. Já no lago Paca foi possível chegar a um período correspondente à metade do século XIX, praticamente no limite de aplicabilidade do método.

Possíveis emissões atmosféricas de Hg decorrentes de atividades vulcânicas nos Andes não parecem ter deixado registros nos sedimentos dos lagos estudados. Constatou-se tendência de elevação no teor de Hg nos lagos Araçá, Tucunaré, Nazaré, Demarcação, Santa Catarina e Brasileira no final e início das décadas de 70 e 80, respectivamente, a qual poderia ser atribuída às emissões atmosféricas/transporte fluvial relacionados com a atividade garimpeira do ouro aluvionar naquele período. Contudo, o transporte fluvial de material particulado relacionado com o regime hídrico do rio Madeira e tributários torna complexa a discussão quando se leva em conta as flutuações naturais do nível d'água, que implicam em aportes diferenciais de sedimentos aos lagos estudados. Por exemplo, os lagos Araçá, Paca, Nazaré, Santa Catarina e Brasileira exibiram teores de Hg anteriores ao garimpo mais elevados que aqueles associados às décadas de 70 e 80, sugerindo que os valores de Hg podem ser considerados como “normais” (geogênicos) para a região, de maneira que as flutuações nos teores estariam relacionadas com o regime hídrico do rio Madeira e tributários. Dessa forma, não é possível assegurar que o aumento no teor de Hg verificado para a maioria dos lagos

no final e início das décadas de 70 e 80, respectivamente, estaria associado às atividades antrópicas na região.

CAPÍTULO 8

Referências bibliográficas

ALLER, R. C. & COCHRAN, J. K. $^{234}\text{Th}/^{238}\text{Th}$ disequilibrium in near-shore sediment: particle reworking and diagenetic time scales. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 29, 37-50, 1976

APPLEBY, P. G. & OLDFIELD, F. The calculation of ^{210}Pb dates assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment. *Catena* 4: 1 – 8, 1978.

APPLEBY, P. G. & OLDFIELD, F. Application of lead – ^{210}Pb to sedimentation studies. In: M. Ivanovich and R. S. Harmon (Editors), *Uranium – series Disequilibrium*. Oxford Science, New York, N. Y., pp. 731 – 778, 1992.

BASTOS, W. R.; MALM, O.; PFEIFFER, W. C.; CLEARY, D. Establishment and analytical quality control of laboratories for Hg determination in biological and geological samples in the Amazon, Brazil. *Ciência e Cultura. Jornal of the Brazilian Association for the Advancement of Science*. V. 50(4) July/August. P. 255-260, 1998.

BATEMAN, H. The solution of a System of Differential Equations Occurring in the Theory of Radioactive Transformations. *Proc. Cambridge Phil. Soc.*, 16, 423, 1910.

BASKARAN, M & NAIDU, A. S. ^{210}Pb -derived chronology and the fluxes of ^{210}Pb and ^{137}Cs isotopes into shelf sediments, East Chukchi Sea, Alaskan Arctic. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 4435-4448, 1995.

BENNINGER, L. K.; LEWIS, D. M. & TUREKIAN, K. K. The use of natural Pb-210 as a heavy metal tracer in the river-estuarine system. In *Marine Chemistry in the Coastal Environment* (editor T. M. Church), ACS Symposium Series Number 18, pp. 202-210, American Chemical Society, 1975.

BONOTTO, D.M. Aplicação dos dados do fracionamento isotópico $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ nos problemas geoquímicos dos aquíferos de Águas do Prata (SP). Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

BONOTTO, D.M. Aplicações hidrogeoquímicas dos isótopos naturais das séries do U ($4n+2$) e Th ($4n$) no Morro do Ferro, Poços de Caldas (MG). Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

BONOTTO, D.M. Espectrometria gama com detector de cintilação de NaI (TI). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Júlio de

Mesquita Filho, campus de Rio Claro. Apostila da disciplina Radioelementos no Ambiente, 1990.

BONOTTO, D.M. & MANCINI, L. H., Estudo hidroquímico e isotópico dos aquíferos de Rio Claro (SP). *Geochim. Brasil.*, 6 (2): 153-167, 1992.

BONOTTO, D. M. ; CAPRIOGLIO, L. . Radon in groundwaters from Guarany aquifer, South America: environmental and exploration implications. *Applied Radiation and Isotopes*, Oxford, v. 57, n. 6, p. 931-940, 2002.

BONOTTO, D. M. . The U-isotopes modeling in aquifers from Poços de Caldas plateau, Brazil. *Environmental Geology* (Berlin), Heidelberg, v. 48, n. 4-5, p. 507-523, 2005.

BONOTTO, D. M. ; ALMEIDA, Kelly Yaeko Miyashiro de ; SIEBER, Sammy Sampaio . Sedimentation rates in the Corumbataí River basin, Brazil, derived from Pb-210 measurements. In: Des E. Walling; Arthur J. Horowitz. (Org.). *Sediment Budgets*. 1 ed. Wallingford: IAHS Press, 2005, v. 1, p. 294-302.

BENNINGER, L. K.; ALLER, R. C.; COCHRAN, J. K. & TUREKIAN, K. K. Effects of biological mixing on the ^{210}Pb chronology and trace metal distribution in a Long Island Sound sediment core. *Earth Planet. Sci. Lett.* 43, 241 – 259, 1979.

BRENNER, M., PELOW, A. J. & SCHELSKE, C. L. Disequilibrium between ^{226}Ra and supported ^{210}Pb in a sediment core from a shallow lake. *Limnol. Oceanogr.*, 39 (5): 1222-1227, 1994.

BURTON, W. M. & STEWART, N. G. (1960). Use of long-lived natural radioactivity as an atmospheric tracer. *Nature* 186, 584 – 589

CARROL, J. L. & LERCHE, I. A cautionary note on the use of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sediment ages in stratigraphy studies. *Nucl. Geophys.* 4, 461-466. 1990 a

CARROL, J. L. & LERCHE, I. Determining resolution for $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ profiles in marine sediments. *Nucl. Geophys.* 33, 119-129, 1990 b.

CETEM/CNPq. Desenvolvimento e Tecnologia Ambiental. Estudos Biogeoquímicos sobre o mercúrio em Ambientes Aquáticos de Poconé. Relatório Técnico. Rio de Janeiro, p. 92, 1991.

CHANTON, J. P.; MARTENS, C. S. & KIPPHUT, G. W. Lead-210 sediment geochronology in changing coastal environment. *Geochim. Cosmochim. Acta* 47, 1791-1804, 1989.

CHRISTENSEN, E. R. A model for radionuclides in sediments influenced by mixing and compaction. *J. Geophys. Res.* 87, 566-572, 1982.

CHRISTENSEN, E. R. & GOETZ, R. H. Historical fluxes of particle-bound pollutants from deconvolved sedimentary records. *Environ Sci Technol* 21, 1088 – 1096, 1987.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Mapa Geológico do Estado de Rondônia. Superintendência Regional de Manaus. Residência de Porto Velho, 1999.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Mapa de Terrenos Tectono-estatigráficos do Estado de Rondônia. Superintendência Regional de Manaus. Residência de Porto Velho, 2002

CURRIE, L.A. Limits for Qualitative Detection and Quantitative Determination. *Anal. Chem.*, v.40, n. 3, p. 586 – 93, 1968.

DeMASTER, D. J. & COCHRAN, J. K. Particle mixing rates in deep-sea sediments determined from excess ^{210}Pb and ^{32}Si profiles. *Earth Planet. Sci. Lett.* 61, 257-271, 1982.

DUARTE, C. R. Radioelementos Naturais na Área do Projeto Rio Preto (GO). Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP, 2002.

EAKINS, J. D. & MORRISON, R. T., A new procedure for the determination of lead-210 in lake and marine sediments. *International Journal Applied Radiation and Isotopes*, 29, 531 – 536. Pergamon Press Ltd, 1978.

FIRESTONE, R. B. Table of Isotopes, 8ª edição, 1996.

FRANCIS. C. W., CHESTER. G. & HASKIN. L. A. Determination of lead-210 mean residence time in atmosphere. *Envir. Sci. Techn.*, 4, 586 – 589, 1970.

FERNEX, F.; VALLE P. Z.; SANCHEZ H. R.; MICHAUD, F.; PARRON, P.; DALMASSO, J.; FUNEL, G. B.; ARROYO, M. G. Sedimentation rates in Lake Chapala (Western Mexico): possible active tectonic control. *Chemical Geology* 177, 213–228, 2001.

GARDNER, L. R.; SHARMA, P. & MOORE, W. S. A regeneration model for effect of bioturbation by fiddler crabs on ^{210}Pb profiles in salt marsh sediments. *J. Environ. Radioact.* 5, 23-36, 1987.

GOLDBERG, E. D. & KOIDE, M. Geochronological studies of deep-sea sediments by the Iu/Th method. *Geochim. Cosmochim. Acta* 26, 417-450, 1962.

GOLDBERG, E. D. Geochronological with lead-210. In *Radioactive Dating*, pp. 121-131. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1963.

GOLDBERG, E. D. & BRULAND, K. Radioactive geochronologies. In *The Sea Volume 5: Marine Chemistry* (Ed. Goldberg E.D.). Wiley-Interscience, New York, 1974.

GOLDBERG, E. D.; HODGE, V.; KOIDE, M.; GRIFFIN, J.; BRICKER, O. P.; MATTIDSOFF, G.; HOLDEN, G. R. & BRAUN, R. A pollution history of Chesapeake bay. *Geochim. Cosmochim. Acta* 42, 1413-1425, 1978.

GOREAU, T. J. Quantitative effects of sediment mixing on stratigraphy and biogeochemistry: signal theory approach. *Nature* 265, 525-526, 1977.

GUINASSO, N. L. & SCHINK, D. R. Quantitative estimates of biological mixing rates in abyssal sediments. *J. Geophys. Res.* 80, 3032-3043, 1975

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de vegetação do Brasil. Diretoria de Geociências., MEFP, 1993.

IMBODEN, D. M. & STILLER, M. The influence of radon diffusion on the ^{210}Pb distribution in sediments. *J. Geophys. Res.* 87 (cl): 557-565, 1982.

IVANOVICH, M. & HARMON, R. S. Uranium-series Disequilibrium: Applications to Earth, Marine, and Environment Sciences. Clarendon Press. Oxford, 1992.

JIA, G.; BELLI, M.; BLASI, M.; MARCHETTI, A.; ROSAMILIA, S.; SANSONE, U. ^{210}Pb ^{210}Po determination in environmental samples. *Appl. Radiat. Isot.* 53, 115-120, 2000.

KIEHL, E. J. Texto da disciplina Interpretação das propriedades dos solos – ESALQ – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, 1977.

KILLEEN, P.G. Gamma-ray spectrometric methods in uranium exploration - application and interpretation. In: HOOD, P.J (Ed.) *Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores*. [s.l.]: Geological Survey of Canada, p. 163 – 229 (Economic Geology Report, 31), 1979.

KOIDE, M., SOUTAR, A. & GOLDBERG, E. D. Marine chronology with ^{210}Pb . *Earth Planet. Sci. Lett.* 42, 442-446, 1972.

KOIDE, M., BRULAND, K. W. & GOLDBERG, E. D. Th-228/Th-232 & Pb-210 geochronologies in marine and lake sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 37, 1171 - 1019, 1973.

KRISHNASWAMI S., BENNINGER, L. K., ALLER, R. C. AND VON DAMM, K. L. Atmospherically derived radionuclides as tracers of sediment mixing and accumulation in near shore marine and lake sediments; evidence from ^7Be , ^{210}Pb and $^{239, 240}\text{Pu}$. *Earth Planet Sci. Lett.* 47, 307 – 318, 1980.

LACERDA, L. D.; PFEIFFER, W. C.; OTT, A. T. & SILVEIRA, E. G. (1989). Mercury contamination in the Madeira River. Amazon: Mercury inputs to the environment. *biotropica* 21: p. 91-93

LACERDA, L. D.; DEPAULA, F. C.; OVALLE, A. R. C., PFEIFFER, W. C. & MALM, O. Trace metals in fluvial sediments of the Madeira River watershed, Amazon, Brasil. *Sci. Tot. Environm.* 97/98: p.525-530, 1990.

LACERDA, L. D. & SALOMONS, W. Mercury in the Amazon: a Chemical time-bomb. Dutch Ministry of Housing. Physical Planning and Environment, Haren, 1991.

LANGIMUIR, D. Uranium solution-mineral equilibria at low temperatures with applications to sedimentary ore deposits, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42, 547–569, 1978.

LANGIMUIR, D., HERMAN, J.S. The mobility of thorium in natural waters at low temperatures. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 44, 1753 – 1766, 1980.

LIMA, J. L. N. Hidroquímica pluvial e fluvial na bacia do rio Corumbataí (SP) e relações com o uso do Pb-210 como geocronômetro. São Paulo. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2000.

LINDBERG, S. E.. Forest and the global biochemical cycle of mercury. In: *Global and Regional Mercury Cycles*, NATO Advanced Science Institute Serie, Eds R. Ebinghaus, W. Bayens e O. Vasiliev. Novosibirsk, Siberia. Kluwer, Dordrecht, Holland, (1996).

LIDQUIST, O.; JERNELOV, A.; JOHANSSON, K.; RODHE, H. Mercury in the swedish environment: global and local sources. National Swedish Environmental Protection Board, p. 105, 1984.

LIU, J. ; CARROL, J. L. & LERCHE, I. A technique for disentangling temporal source and sediment variations from radioactive isotope measurements with depth. *Nucl. Geophys.* 5, 31–45. 1991.

LORING, D. H. Mercury In the sediments of the Gulf of the St. Lawrence. *Can. J. Earth Sciences*, Canadá, v. 12, p. 1219-1237, 1975.

MILLER, D. R. Mercury Transport in the environment. In: *Mercury in the Environment*. Washinton. U.S. Geological Survey Professional Paper, nº 713. p. 76-83, 1970.

NETO, A. R. Simulação Hidrológica na Bacia Amazônica: Rio Madeira. Rio de Janeiro. Tese (Doutorado Ciências) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. p. 56, 2006.

NITTROURER, C. A.; DeMASTER, D. J.; McKEE, B. A.; CUTSHALL, N. H. & LARSEN, I. L. The effect of the sediment mixing on Pb-210 accumulation rates for the Washington continental shelf. *Mar. Geol.* 54, 210 – 221, 1983/84.

OFFICER, C. B. Mixing, sedimentation rates and age dating for sediment cores. *Mar. Geol.* 46, 261-278, 1982.

OLSEN, C. R.; SIMPSON, H. J.; PENG, T. H.; BOPP, R. T. & TRIER, R. M. (1981). Sediment mixing and accumulation rate effects on radionuclide depth profiles in Hudson estuary sediments. *J. Geophys. Res.* 86, 11020 – 11028, 1981.

ORTEC; (1984). *Experiments in Nuclear Science AN 34*, 3. [s.l.]: Laboratory Manual. p. 15 – 24, 65 – 70, 1984.

- PEIRSON, D. H., CAMBRAY, R. S. & SPINCER, G. S. Lead-210 and polonium-210 in the atmosphere. *J. Geophys. Res.*, 77, 6515-6521, 1966.
- PENG, T. H.; BROECKER, W. S. & BERGER, W. H. Rates of benthic mixing in deep-sea sediment as determined by radioactive tracers. *Quat. Res.* 11, 141-149, 1979.
- PFEIFFER, W. C.; LACERDA, L. D. Mercury inputs to the Amazon region, Brazil. *Environ. Technol. Lett.*, London, 9: p. 325-330, 1988.
- PFEIFFER, W. C.; LACERDA, L. D. MALM, O; SOUZA, C. M. M. ; SILVEIRA, E. G. & BASTOS, W.R. Mercury concentrations in inland waters of Rondônia, Amazon, Brasil. *Sci. Tot. Environm.* 87/88: p. 233-240, 1989.
- ROBBINS, J. A. & EDGINGTON, D. N. L. Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137. *Geochim. Cosmochim. Acta* 39, 285-304, 1975.
- ROBBINS, J. A. Geochemical and geophysical applications of radioactive lead isotopes. In *Biochemistry of Lead* (ed. Nriago J. P.), pp. 285-393. North Holland, Amsterdam, 1978.
- ROBBINS, J. A., EDGINGTON, D. N. & KEMP, A. L. Comparative ²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs, and pollen geochronologies of sediments from Lakes Ontario and Erie. *Quat Geol* 10: 256-278, 1978
- ROCHA, A. J. D. Perfil analítico do chumbo. Ministério das Minas e Energia. Boletim nº 8. Departamento Nacional de Produção Mineral. Rio de Janeiro, 1973.
- RONDÔNIA, SEDAM (Secretaria Estadual do Meio Ambiente). Atlas Geoambiental de Rondônia. Porto Velho, 2002.
- RUSSEL. J. B. Química Geral. 1ª edição. Mc Graw-Hill, p 897, 1980.
- SANDERS, C. J.; SANTOS, I. R.; FILHO, E. V. S.; PATCHINEELAM, S. R. Mercury flux to estuarine sediments, derived from Pb-210 and Cs-137 Geochronologies (Guaratuba Bay, Brazil) *Marine Pollution Bulletin*, 52, 1085 – 1089, 2006.
- SILVEIRA, E. G. Mobilização do Mercúrio e outros Elementos no Rio Madeira (RO) entre as cachoeiras de Teotônio e Santo Antônio. São Paulo. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. p. 93, 1998.
- TURCQ, P.M.; JOUANNEAU, J.M.; TURCQ, B.; SEYLER, P; WEBER, O.; GUYOT, J. L. Carbon sedimentation at Lago Grande de Curuai, a floodplain lake in the low Amazon region: in sight into sedimentation rates. 27 – 40, 2004.
- TURNER, L. J., DELORME, L. D. Assessment of ²¹⁰Pb data from Canadian lakes using the CIC and CRS models. *Environmental Geology* 28, 78 – 87, 1996.

VERGOTTI, M. O Mercúrio em Lagos da Bacia do Rio Madeira. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP, 2002.

WARD, S.H. Gamma-ray spectrometry in geologic mapping and uranium exploration. *Econ. Geol.*, v.75, p. 840 – 49, 1981.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. . Environmental Health Criteria 86. Mercury – Environmental Aspects. Genebra,1989.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Environmental Health Criteria 165. Inorganic Lead. World Health Organization – WHO. Genebra, 1995.

APÊNDICE A

Tabela 10 – Resultados das análises de Po-210 por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago Araçá

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Núcleo	Canal	Número de Contagens	Taxa de Contagem (cpm)	Atividade A_{210} (dpm)	A_{210}/m (dpm/g)	Pb_{total}
0cm a 5cm	0,5	55,2	Po - 209	437 – 482	727	0,2188	7,502	15,0041	
			Po - 210	484 – 523	274	0,0821			
5cm a 10cm	0,5	27,7	Po - 209	446 – 499	3256	1,9512	5,317	10,6331	
			Po - 210	505 – 533	868	0,5287			
10cm a 15cm	0,5	30,9	Po - 209	442 – 493	2357	1,2663	4,906	9,8130	
			Po - 210	497 – 527	604	0,3106			
15cm a 20cm	0,5	20,4	Po - 209	533 – 597	1429	1,1650	3,504	7,0081	
			Po - 210	608 – 647	250	0,2041			
20cm a 25cm	0,5	39,6	Po - 209	514 – 560	2339	0,9818	4,166	8,3317	
			Po - 210	583 – 607	491	0,2045			
25cm a 30cm	0,5	20,4	Po - 209	496 – 522	1513	1,2344	5,0910	10,1813	
			Po - 210	546 – 565	387	0,3142			
30cm a 35cm	0,5	30,9	Po - 209	430 – 486	945	0,5092	3,5780	7,1553	
			Po - 210	497 – 521	170	0,0911			
35cm a 40cm	0,5	40,9	Po - 209	529 – 554	1884	0,7672	4,5190	9,0376	
			Po - 210	590 – 602	430	0,1733			

(cpm – contagens por minuto; dpm – decaimento por minuto)

(continua)

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Nuclídeo	Canal	Número de Contagens	Taxa de Contagem (cpm)	Atividade A₂₁₀ (dpm)	A₂₁₀/m (dpm/g)
Pb_{total}								
40cm a 45cm	0,5	40,9	Po - 209	546 – 576	2122	0,8638	5,6910	11,3815
			Po - 210	613 – 625	603	0,2458		
45cm a 50cm	0,5	39,6	Po - 209	441 – 504	3216	1,3535	0,7660	1,5311
			Po - 210	517 – 539	147	0,0518		
50cm a 55cm	0,5	39,5	Po - 209	532 – 596	3563	1,5003	1,4720	2,9447
			Po - 210	611 – 641	262	0,1104		
55cm a 60cm	0,5	20,4	Po - 209	429 – 498	1428	1,1633	7,0290	14,0575
			Po - 210	501 – 540	515	0,4088		
60cm a 65cm	0,5	5	Po - 209	442 – 497	2051	6,8081	1,8440	3,6880
			Po - 210	504 – 530	192	0,6272		
65cm a 70cm	0,5	25,6	Po - 209	532 – 576	3281	2,1346	2,0240	4,0486
			Po - 210	608 – 627	166	0,1080		
70cm a 75cm	0,5	22,8	Po - 209	555 – 576	561	0,4104	2,6060	5,2121
			Po - 210	615 – 626	73	0,0535		
75cm a 80cm	0,5	21,9	Po - 209	553 – 577	780	0,5923	2,2910	4,5817
			Po - 210	608 – 626	90	0,0678		

(cpm – contagens por minuto; dpm – decaimento por minuto)

Tabela 11 – Resultados das análises de Po-210 por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago Tucunaré.

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Nuclídeo	Canal	Número de Contagens	Taxa de Contagem (cpm)	Atividade A_{210} (dpm)	A_{210}/m (dpm/g)	Pb_{total}
0cm a 5cm	0,5	61,76	Po - 209	455 – 526	5462	1,4677	3,4972	6,9943	
			Po - 210	530 – 572	964	0,2566			
5cm a 10cm	0,5	93,83	Po - 209	430 – 486	1857	0,3292	4,9471	9,8942	
			Po - 210	490 – 526	462	0,0814			
10cm a 15cm	0,5	88,17	Po - 209	434 – 489	1920	0,3623	3,294	6,5880	
			Po - 210	498 – 530	319	0,5970			
15cm a 20cm	0,5	54,40	Po - 209	550 – 580	3133	0,9593	3,4748	6,9495	
			Po - 210	605 – 629	544	0,1667			
20cm a 25cm	0,5	41,12	Po - 209	441 – 476	3172	1,2827	2,8211	5,6421	
			Po - 210	498 - 515	454	0,1809			
25cm a 30cm	0,5	23,23	Po - 209	553 – 579	1456	1,0316	3,2985	6,5970	
			Po - 210	610 - 629	240	0,1701			
30cm a 35cm	0,5	26,13	Po - 209	455 – 512	1786	1,1347	6,4036	12,8072	
			Po - 210	522 – 577	577	0,3633			
35cm a 40cm	0,5	55,21	Po - 209	438 – 489	1889	0,5686	1,1585	3,1701	
			Po - 210	499 – 521	153	0,0451			
40cm a 45cm	0,5	27,8	Po - 209	448 – 484	728	0,436	1,3743	2,7486	
			Po - 210	501 – 522	51	0,03			

(continua)

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Nuclídeo	Canal	Número de Contagens	Taxa de Contagem (cpm)	Atividade A_{210} (dpm)	A_{210}/m (dpm/g)	Pb_{total}
45cm a 50cm	0,5	27,8	Po - 209 Po - 210	444 – 493 502 – 530	1799 215	0,7770 0,1279	2,373	4,7461	
50cm a 55cm	0,5	50,5	Po - 209 Po - 210	450 – 537 547 – 578	1844 200	0,6084 0,0660	2,1692	4,3384	
55cm a 60cm	0,5	50,5	Po - 209 Po - 210	430 – 484 495 – 522	554 61	0,1821 0,0195	2,1407	4,2815	
60cm a 65cm	0,5	22,9	Po - 209 Po - 210	540 – 577 606 – 626	1554 165	1,1298 0,1201	2,1257	4,2513	

Tabela 12 – Resultados das análises de Po-210 por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago Paca.

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Nuclídeo	Canal	Número de Contagens	Taxa de Contagem (cpm)	Atividade A_{210} (dpm)	A_{210}/m (dpm/g)	Pb_{total}
0cm a 5cm	0,5	21,9	Po - 209 Po - 210	468 – 514 521 – 559	517 398	0,3899 0,2999	15,4000	30,7687	
5cm a 10cm	0,5	40,9	Po - 209 Po - 210	445 – 478 490 – 514	2136 1733	0,8669 0,7050	16,3000	32,5302	
10cm a 15cm	0,5	45,4	Po - 209 Po - 210	542 – 576 601 – 626	3067 1761	1,1255 0,6466	11,5000	22,9786	

(continua)

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Nuclídeo	Canal	Número de Contagens	Taxa de Contagem (cpm)	Atividade A_{210} (dpm)	A_{210}/m (dpm/g)	Pb_{Total}
15cm a 20cm	0,5	26,0	Po - 209 Po - 210	549 – 577 610 – 627	1083 151	0,6940 0,0968	2,7900	5,5816	
20cm a 25cm	0,5	24,1	Po - 209 Po - 210	518 – 550 578 - 597	1550 573	1,0698 0,3956	7,4000	14,7903	

Tabela 13 – Resultados das análises de Po-210 por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago Nazaré.

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Nuclídeo	Canal	Número de Contagens	Taxa de Contagem (cpm)	Atividade A_{210} (dpm)	A_{210}/m (dpm/g)	Pb_{Total}
0cm a 5cm	0,5	22,2	Po - 209 Po - 210	553 – 579 611 – 627	2933 340	2,2014 0,2552	4,6393	9,2785	
5cm a 10cm	0,5	30,8	Po - 209 Po - 210	440 – 494 495 - 535	5250 670	2,8393 0,3625	5,1062	10,2123	
10cm a 15cm	0,5	4,2	Po - 209 Pó - 210	421 – 487 493 – 524	243 105	0,9520 0,4111	17,2750	34,5493	
15cm a 20cm	0,5	30,3	Pó - 209 Po - 210	441 – 489 495 – 524	1554 421	0,8551 0,2312	10,815	21,6302	
20cm a 25cm	0,5	22,2	Po - 209 Po - 210	420 – 498 499 - 536	4621 345	3,4601 0,2511	2,9796	5,9590	

Tabela 14 – Resultados das análises de Po-210 por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago Demarcação.

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Nuclídeo	Canal	Número de Contagens	Taxa de Contagem (cpm)	Atividade A_{210} (dpm)	A_{210}/m (dpm/g)	Pb_{total}
0cm a 5cm	0,5	22,78	Po - 209	443 – 468	715	0,5203	15,9120	31,8235	
			Po - 210	488 – 509	566	0,4139			
5cm a 10cm	0,5	17,25	Po - 209	556 – 577	536	0,5167	7,5164	15,0327	
			Po - 210	611 – 627	201	0,1942			
10cm a 15cm	0,5	17,40	Po - 209	443 – 496	1691	1,6149	6,1502	12,3004	
			Po - 210	491 – 508	260	0,2483			
15cm a 20cm	0,5	25,62	Po - 209	424 – 469	2521	1,6360	5,5871	11,1742	
			Po - 210	480 – 508	353	0,2285			
20cm a 25cm	0,5	45,38	Po - 209	393 – 503	1474	0,5328	3,6057	7,2113	
			Po - 210	511 – 550	270	0,0961			
25cm a 30cm	0,5	17,44	Po - 209	547 – 577	1543	1,4736	5,8891	11,7783	
			Po - 210	610 – 626	227	0,2170			
30cm a 35cm	0,5	24,03	Po - 209	431 – 467	598	0,4104	6,0449	12,0897	
			Po - 210	483 – 505	180	0,1240			

Tabela 15 – Resultados das análises de Po-210 por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago Santa Catarina.

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Nuclídeo	Canal	Número de Contagens	Taxa de Contagem (cpm)	Atividade A_{210} (dpm)	A_{210}/m (dpm/g)	Pb_{total}
0cm a 5cm	0,5	24,0	Po - 209 Po - 210	554 – 577 609 – 626	772 252	0,5351 0,1449	6,5350	13,0708	
5cm a 10cm	0,5	40,9	Po - 209 Po - 210	548 – 577 611 – 627	1885 693	0,7673 0,2823	7,3580	14,7164	
10cm a 15cm	0,5	22,9	Po - 209 Po - 210	438 – 513 515 - 558	1079 262	0,7786 0,1867	4,7950	9,5908	
15cm a 20cm	0,5	24,1	Po - 209 Po - 210	552 – 578 609 – 628	653 145	0,4514 0,1004	4,4470	8,8932	
20cm a 25cm	0,5	21,7	Po - 209 Po - 210	449 – 517 527 - 555	2889 377	2,2151 0,2891	5,2210	10,4414	
25cm a 30cm	0,5	30,5	Po - 209 Po - 210	554 – 578 610 – 627	1677 170	0,9161 0,0929	4,0570	8,1147	
30cm a 35cm	0,5	34,5	Po - 209 Po - 210	432 – 487 496 – 520	1244 116	0,5997 0,0553	3,6220	7,3838	
35cm a 40cm	0,5	4,3	Po - 209 Po - 210	489 – 519 545 – 563	557 66	2,1556 0,2544	4,7210	9,4425	
40cm a 45cm	0,5	34,1	Po - 209 Po - 210	562 – 513 536 – 555	4326 276	2,1117 0,1343	2,5430	5,0867	

(continua)

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Nuclídeo	Canal	Número de Contagens	Taxa de Contagem (cpm)	Atividade A_{210} (dpm)	A_{210}/m (dpm/g)	Pb_{total}
45cm a 50cm	0,5	46,2	Po - 209	470 – 519	6087	2,1941	2,4190	4,8373	
			Po - 210	547 – 564	371	0,1327			

Tabela 16 – Resultados das análises de Po-210 por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago Conceição.

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Nuclídeo	Canal	Número de Contagens	Taxa de Contagem (cpm)	Atividade A_{210} (dpm)	A_{210}/m (dpm/g)	Pb_{total}
0cm a 5cm	0,5	46,0	Po - 209	438 – 519	8274	2,9899	13,0880	26,1760	
			Po - 210	525 - 567	2712	0,9783			
5cm a 10cm	0,5	24,0	Po - 209	415 – 486	2496	0,9021	8,1566	16,3132	
			Po - 210	492 – 523	510	0,1839			
10cm a 15cm	0,5	40,9	Po - 209	410 – 486	248	0,9713	17,5775	35,1550	
			Po - 210	488 – 526	109	0,4268			
15cm a 20cm	0,5	22,9	Po - 209	416 – 486	1685	0,9266	10,8600	21,7201	
			Po - 210	487 – 523	458	0,2516			
20cm a 25cm	0,5	24,1	Po - 209	444 – 513	714	2,7752	9,7166	19,4331	
			Po - 210	518 – 561	174	0,6741			
25cm a 30cm	0,5	30,5	Po - 209	443 – 494	5591	3,0452	14,1312	28,2623	
			Po - 210	495 – 540	2002	1,0758			

(continua)

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Nuclídeo	Canal	Número de Contagens	Taxa de Contagem (cpm)	Atividade A_{210} (dpm)	A_{210}/m (dpm/g)	Pb_{total}
30cm a 35cm	0,5	34,5	Po - 209 Po - 210	424 – 514 520 – 561	4989 1549	2,8933 0,8978	12,4116	24,8235	
35cm a 40cm	0,5	4,3	Po - 209 Po - 210	427 – 511 515 – 556	4368 1282	2,3222 0,6811	11,7312	23,4624	
40cm a 45cm	0,5	34,1	Po - 209 Po - 210	424 – 489 492 – 526	1492 476	1,1167 0,3560	12,750	25,4993	
45cm a 50cm	0,5	46,2	Po - 209 Po - 210	430 – 488 493 - 525	1797 527	0,9606 0,2813	11,7122	23,4243	

Tabela 17 – Resultados das análises de Po-210 por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago Brasileira.

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Nuclídeo	Canal	Número de Contagens	Taxa de Contagem (cpm)	Atividade A_{210} (dpm)	A_{210}/m (dpm/g)	Pb_{total}
5cm a 10cm	0,5	16,1	Po - 209 Po - 210	490 – 505 532 – 548	474 370	0,4548 0,3579	15,7387	31,4775	
10cm a 15cm	0,5	16,0	Po - 209 Po - 210	451 – 487 498 – 529	278 190	0,2891 0,1950	13,4925	26,9850	
15cm a 20cm	0,5	58,3	Po - 209 Po - 210	433 – 489 489 – 526	1399 2259	0,3984 0,6420	32,2271	64,4542	

(continua)

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Nuclídeo	Canal	Número de Contagens	Taxa de Contagem (cpm)	Atividade A_{210} (dpm)	A_{210}/m (dpm/g)	Pb_{total}
20cm a 25cm	0,5	26,45	Po - 209 Po - 210	473 – 514 523 – 548	1571 774	0,9486 0,4697	9,90388	19,8078	
25cm a 30cm	0,5	13,56	Po - 209 Po - 210	447 – 497 497 – 540	881 1316	1,0496 1,5133	28,8363	57,6726	
30cm a 35cm	0,5	41,08	Po - 209 Po - 210	545 – 583 599 – 628	2434 1108	0,9499 0,4245	8,9369	17,8739	
35cm a 40cm	0,5	26,3	Po - 209 Po - 210	442 – 513 517 – 559	1921 607	1,2143 0,3838	6,3209	12,6420	
40cm a 45cm	0,5	22,4	Po - 209 Po - 210	542 – 580 603 – 628	1616 672	1,2002 0,4967	8,2775	16,5551	
45cm a 50cm	0,5	22,1	Po - 209 Po - 210	646 -679 601 - 628	1404 557	1,0595 0,4175	7,8810	15,7620	
50cm a 55cm	0,5	19,9	Po - 209 Po - 210	544 – 578 608 - 626	1279 388	1,0679 0,3238	6,0644	12,1288	

Tabela 18 – Resultados das análises de Po-210 por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago da U.H.S..

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Nuclídeo	Canal	Número de Contagens	Taxa de Contagem (cpm)	Atividade A_{210} (dpm)	A_{210}/m (dpm/g)	Pb_{total}
0cm a 5cm	0,5	24,0	Po - 209	436 - 495	2930	0,8783	7,5356	15,0712	
			Po - 210	495 - 537	1112	0,3309			
5cm a 10cm	0,5	40,9	Po - 209	538 – 560	831	0,8600	5,7238	11,4476	
			Po - 210	593 – 608	239	0,2461			
10cm a 15cm	0,5	22,9	Po - 209	471 – 514	2947	0,7160	4,3073	8,6146	
			Po - 210	530 – 546	636	0,1542			
15cm a 20cm	0,5	24,1	Po - 209	529 – 553	3527	0,8583	4,0833	8,1666	
			Po - 210	580 – 602	729	0,1752			

APÊNDICE B

Tabela 19 – Resultados das análises por espectrometria gama no perfil de sedimentos do Lago Araçá.

Nuclídeo de interesse Bi-214									
Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Número de contagens	Tc líquida (cpm)	Intensidade efetiva (I) (cpm/g)	Radioelemento equivalente eU (ppm)	U (dpm/g)	Pb _s (dpm/g)	
0cm a 5cm	19,40	22,9	6213	0,6330	0,03263	10,16	7,5801	1,2128	
5cm a 10cm	22,10	14,6	4592	1,0051	0,04548	14,43	10,7657	1,7225	
10cm a 15cm	21,70	10,3	3597	1,0969	0,05048	16,14	12,0380	1,9261	
15cm a 20cm	25,12	23,0	8976	2,2951	0,09138	30,17	22,5090	3,6014	
20cm a 25cm	25,21	11,4	3247	0,6282	0,02492	7,64	5,6996	0,9119	
25cm a 30cm	23,10	11,0	3616	0,5405	0,02340	7,15	5,3332	0,8533	
30cm a 35cm	21,50	12,5	3900	0,8938	0,04157	13,12	9,7903	1,5664	
35cm a 40cm	23,30	13,4	3967	0,4969	0,02090	6,34	4,7326	0,7572	
40cm a 45cm	25,00	9,5	2598	0,7285	0,02914	9,02	6,7254	1,0761	
45cm a 50cm	23,60	11,3	3277	0,6302	0,02670	8,22	6,1324	0,9812	
50cm a 55cm	22,60	12,9	3575	0,4274	0,01891	5,71	4,2578	0,6813	
55cm a 60cm	25,60	16,3	5014	0,6665	0,02603	8,00	5,9700	0,9552	
60cm a 65cm	25,60	12,7	3701	0,4002	0,01563	4,67	3,4822	0,5571	
65cm a 70cm	25,08	11,2	2378	1,0008	0,03990	12,57	9,3758	1,5001	
70cm a 75cm	25,12	12,1	3309	2,0495	0,08159	26,77	19,9688	3,1950	
75cm a 80cm	7,38	24,0	6531	0,3970	0,0538	17,24	12,86	2,0576	

Tabela 20 – Resultados das análises por espectrometria gama no perfil de sedimentos do Lago Tucunaré.

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Número de contagens	Tc líquida (cpm)	Intensidade efetiva (I) (cpm/g)	Radioelemento equivalente eU (ppm)	U	
							(dpm/g)	Pb _s (dpm/g)
0cm a 5cm	25,42	14,2	6949	7,50453	0,295233	104,22	39,2530	6,2805
5cm a 10cm	25,13	9,8	3831	2,24456	0,090873	30,00	23,1123	3,6980
10cm a 15cm	24,40	19,7	6582	6,88541	0,282189	99,36	13,3258	2,1321
15cm a 20cm	24,70	19,5	6859	7,35270	0,259813	91,05	13,9326	2,2292
20cm a 25cm	22,90	9,9	2833	0,56097	0,024076	7,37	5,4963	0,8794
25cm a 30cm	25,80	24,4	7025	1,24900	0,044134	13,98	10,4296	1,6687
30cm a 35cm	24,60	12,7	3319	0,20470	0,008939	2,59	1,9286	0,3086
35cm a 40cm	26,00	12,6	6144	1,12329	0,043538	13,78	10,2808	1,6449
40cm a 45cm	24,00	21,9	5786	0,44514	0,018095	5,45	4,0642	0,6503
45cm a 50cm	28,00	13,9	3997	0,56659	0,021792	6,63	4,9467	0,7915
50cm a 55cm	25,16	9,8	3599	2,60927	0,108719	36,26	27,0468	4,3275
55cm a 60cm	28,00	22,9	6100	1,14641	0,040943	12,91	9,6342	1,5415
60cm a 65cm	28,00	12,5	3433	0,44246	0,017587	5,29	3,9438	0,6310

Tabela 21 – Resultados das análises por espectrometria gama no perfil de sedimentos do Lago Paca.

Profundidade	Nuclídeo de interesse Bi-214						U	
	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Número de contagens	Tc líquida (cpm)	Intensidade efetiva (I) (cpm/g)	Radioelemento equivalente eU (ppm)	(dpm/g)	Pb _s (dpm/g)
0cm a 5cm	8,779	24,3	7984	0,62222	0,070876	23,07	17,2076	2,7532
5cm a 10cm	8,878	23,3	7203	0,75166	0,084666	27,83	20,7647	3,3224
10cm a 15cm	9,776	12,9	3592	0,55145	0,056409	18,12	13,5180	2,1629
15cm a 20cm	19,102	22,8	7388	1,62296	0,084963	27,94	20,8417	3,3347
20cm a 25cm	19,568	23,1	7331	1,52169	0,077764	25,44	18,9799	3,0368

Tabela 22 Resultados das análises por espectrometria gama no perfil de sedimentos do Lago Demarcação.

Profundidade	Nuclídeo de interesse Bi-214						U	
	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Número de contagens	Tc líquida (cpm)	Intensidade efetiva (I) (cpm/g)	Radioelemento equivalente eU (ppm)	(dpm/g)	Pb _s (dpm/g)
0cm a 5cm*						0,49	0,3655	0,0585
5cm a 10cm	25,13	11,1	3778	1,50498	0,059878	19,30	14,3984	2,3037
10cm a 15cm	25,19	11,7	2870	0,39393	0,015639	4,67	3,4835	0,5574
15cm a 20cm	27,33	12,7	4774	1,83645	0,067195	21,80	16,2643	2,6023
20cm a 25cm	26,33	9,8	3131	1,42045	0,05395	17,29	12,8960	2,0634
25cm a 30cm	25,07	26,0	9525	1,65148	0,065885	21,35	15,9293	2,5487
30cm a 35cm	25,76	13,1	4484	0,96594	0,037504	11,77	8,7808	1,4049

* Analisado com espectrometria alfa

Tabela 23 – Resultados das análises por espectrometria gama no perfil de sedimentos do Lago Nazaré.

Nuclídeo de interesse Bi-214							U	
Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Número de contagens	Tc líquida (cpm)	Intensidade efetiva (I) (cpm/g)	Radioelemento equivalente eU (ppm)	(dpm/g)	Pb _s (dpm/g)
0cm a 5cm	24,26	12,8	4523	1,97434	0,081372	26,69	19,9119	3,1859
5cm a 10cm	25,12	26,1	6260	0,25993	0,010347	3,02	2,2511	0,3602
10cm a 15cm	25,54	22,9	6280	0,8382	0,03282	10,22	7,6272	1,2203
15cm a 20cm	25,30	23,1	6297	0,26928	0,010644	3,11	2,3194	0,3711
20cm a 25cm	25,02	10,4	2885	0,35014	0,01399	4,15	3,0978	0,4956

Tabela 24– Resultados das análises por espectrometria gama no perfil de sedimentos do Lago Santa Catarina.

Nuclídeo de interesse Bi-214							U	
Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Número de contagens	Tc líquida (cpm)	Intensidade efetiva (I) (cpm/g)	Radioelemento equivalente eU (ppm)	(dpm/g)	Pb _s (dpm/g)
0cm a 5cm	25,03	14,5	4340	0,83799	0,033479	10,44	7,7881	1,2461
5cm a 10cm	25,04	22,7	6848	0,84181	0,033624	10,49	7,8237	1,2518
10cm a 15cm	25,05	9,8	2677	0,43906	0,017525	5,27	3,9291	0,6287
15cm a 20cm	25,01	10,4	2880	0,53122	0,021239	6,45	4,8142	0,7703
20cm a 25cm	30,79	12,0	3438	0,84481	0,027436	8,46	6,3102	1,0096
25cm a 30cm	26,84	1,6	455	0,52044	0,019392	5,86	4,3727	0,6996
30cm a 35cm	25,28	10,2	2890	0,72476	0,028675	8,86	6,6118	1,0579

35cm a 40cm	26,45	13,0	3573	0,6672	0,0252	7,74	5,7742	0,9239
40cm a 45cm	24,10	1,1	263	0,31302	0,012988	3,84	2,8626	0,4580
45cm a 50cm	25,51	10,6	3170	0,28397	0,01113	3,26	2,4316	0,3890

Tabela 25 – Resultados das análises por espectrometria gama no perfil de sedimentos do Lago Brasileira.

Nuclídeo de interesse Bi-214								
Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Número de contagens	Tc líquida (cpm)	Intensidade efetiva (I) (cpm/g)	Radioelemento equivalente eU (ppm)	U	
							(dpm/g)	Pb _s (dpm/g)
5cm a 10cm	25,20	10,9	3057	0,66706	0,026475	8,15	6,0767	0,9723
10cm a 15cm	29,17	10,4	4121	3,67297	0,125907	42,34	31,5859	5,0537
15cm a 20cm	27,04	13,7	5597	3,84880	0,142353	48,21	35,9623	5,7540
20cm a 25cm	26,68	14,7	4395	1,38671	0,051981	16,62	12,3991	1,9839
25cm a 30cm	25,07	10,4	3450	2,41688	0,096413	31,93	23,8215	3,8114
30cm a 35cm	25,02	10,1	4276	4,11411	0,164407	56,13	41,8760	6,7002
35cm a 40cm	26,40	13,2	4854	3,16659	0,119947	40,22	30,0074	4,8012
40cm a 45cm	23,50	28,9	11457	3,03255	0,129044	43,46	32,4183	5,1869
45cm a 50cm	28,50	21,8	8007	3,20562	0,112478	37,58	28,0361	4,4858
50cm a 55cm	24,50	13,7	5171	3,05778	0,124807	41,95	31,2942	5,0071

APÊNDICE C

Tabela 26 – Resultados das análises por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago da U.H.S..

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Nuclídeo	Canal	Número de Contagens	Taxa de Contagem (cpm)	U (ppm)	Atividade U_{238} (dpm/g)	Pb_s (dpm/g)
0cm a 5cm	0,51	51,0	U – 238	453 – 465	19	0,0062	0,1933	0,1450	0,0227
			U – 232	560 – 587	871	0,2844			
5cm a 10cm	0,60	48,9	U – 238	464 – 479	11	0,0037	0,2673	0,1930	0,0310
			U – 232	578 – 606	322	0,1097			
10cm a 15cm	0,50	23,4	U – 238	561 – 481	51	0,0362	0,2289	0,1717	0,0275
			U – 232	573 – 631	2014	1,4289			
15cm a 20cm	0,49	19,7	U – 238	447 – 465	53	0,0449	0,4728	0,3546	0,0561
			U – 232	560 - 587	1034	0,8765			

Tabela 27 – Resultados das análises por espectrometria alfa no perfil de sedimentos do Lago Conceição.

Profundidade	Massa (g)	Tempo de contagem (horas)	Nuclídeo	Canal	Número de Contagens	Taxa de Contagem (cpm)	U (ppm)	Atividade U_{238} (dpm/g)	Pb_s (dpm/g)
0cm a 5cm	0,51	69,8	U – 238 U – 232	481 – 497 589 – 632	145 6638	0,0346 1,5854	0,1936	0,1444	0,0231
5cm a 10cm	0,51	19,67	U – 238 U – 232	484 – 496 602 – 630	44 2372	0,0373 2,0101	0,1644	0,1220	0,0196
10cm a 15cm	0,55	89,3	U – 238 U – 232	462 – 476 575 – 605	28 940	0,0052 0,1754	0,2448	0,1826	0,0292
15cm a 20cm	0,50	23,4	U – 238 U – 232	453 – 466 566 – 588	11 344	0,0078 0,2455	0,2891	0,2156	0,0345
20cm a 25cm	0,53	17,47	U – 238 U – 232	478 – 500 598 – 630	39 1039	0,0372 0,9913	0,3201	0,2388	0,0382
25cm a 30cm	0,50	15,48	U – 238 U – 232	464 – 477 577 – 605	53 1762	0,0571 1,8972	0,2719	0,2029	0,0325
30cm a 35cm	0,50	25,8	U – 238 U – 232	450 – 465 560 – 587	34 1195	0,0219 0,7709	0,2572	0,1919	0,0307
35cm a 40cm	0,51	22,9	U – 238 U – 232	464 – 478 578 – 604	53 1608	0,0386 1,1721	0,2921	0,2179	0,0349
40cm a 45cm	0,50	15,5	U – 238 U – 232	481 – 499 599 – 631	99 2619	0,1065 2,8174	0,3417	0,2549	0,0408
45cm a 50m	0,50	22,9	U – 238 U – 232	480 – 499 595 – 630	94 2941	0,0685 2,1429	0,2889	0,2155	0,0345

APÊNDICE D

Tabela 29 – Parâmetros para a determinação da taxa de sedimentação pelo método do ^{210}Pb nos testemunhos do Lago Araçá.

Profundidade	Massa Seca (g)	Massa seca acumulada/área* (g/cm ²)	Pb _{total} dpm/g	Pb _s dpm/g	Pb _{xs} , ^{210}Pb em excesso (dpm/g)	Ln $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (dpm/g)
0cm a 5cm	40	1,04	15,0041	1,2128	13,7913	2,6240
5cm a 10cm	100	3,64	10,6331	1,7225	8,9106	2,1872
10cm a 15cm	100	6,24	9,8130	1,9261	7,8869	2,0652
15cm a 20cm	185	11,04	7,0081	3,6014	3,4066	1,2257
20cm a 25cm	240	17,28	8,3317	0,9119	7,4198	2,0042
25cm a 30cm	240	23,52	10,1813	0,8533	9,3280	2,2330
30cm a 35cm	260	30,27	7,1553	1,5664	5,5889	1,7208
35cm a 40cm	260	37,03	9,0376	0,7572	8,2803	2,1139
40cm a 45cm	300	44,82	11,3815	1,0761	10,3054	2,3327
45cm a 50cm	300	52,62	1,5311	0,9812	0,5500	-0,5979
50cm a 55cm	300	60,41	2,9447	0,6813	2,2634	0,8169
55cm a 60cm	320	68,73	14,0575	0,9552	13,1023	2,5728
60cm a 65cm	320	77,04	3,6880	0,5571	3,1308	1,1413
65cm a 70cm	320	85,36	4,0486	1,5001	2,5485	0,9355
70cm a 75cm	340	94,19	5,2121	3,1950	2,0171	0,7017
75cm a 80cm	340	103,03	4,5817	2,0577	2,5240	0,9259

* Área estimada com base no diâmetro interno de 7 cm do amostrador

Tabela 30 – Parâmetros para determinação da taxa de sedimentação pelo método de ^{210}Pb nos testemunhos do Lago Tucunaré.

Profundidade	Massa Seca (g)	Massa seca acumulada/área* (g/cm ²)	Pb _{total} dpm/g	Pb _s dpm/g	Pb _{xs} , ^{210}Pb em excesso (dpm/g)	Ln $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (dpm/g)
0cm a 5cm	40	1,04	6,9943	6,2805	0,7139	-0,3371
5cm a 10cm	100	3,64	9,8942	3,6980	6,1962	1,8239
10cm a 15cm	100	6,24	6,5880	2,1321	4,4559	1,4942
15cm a 20cm	185	11,04	6,9495	2,2292	4,7203	1,5519
20cm a 25cm	240	17,28	5,6421	0,8794	4,7627	1,5608
25cm a 30cm	240	23,52	6,5970	1,6687	4,9283	1,5950
30cm a 35cm	260	30,27	12,8072	0,3086	12,4986	2,5256
35cm a 40cm	260	37,03	3,1701	1,6449	1,5252	0,4221
40cm a 45cm	300	44,82	2,7486	0,6503	2,0983	0,7411
45cm a 50cm	300	52,62	4,7461	0,7915	3,9546	1,3749
50cm a 55cm	300	60,41	4,3384	4,3275	0,0109	-4,5181
55cm a 60cm	320	68,73	4,2815	1,5415	2,7400	1,0080
60cm a 65cm	320	77,04	4,2513	0,6310	3,6203	1,2866

* Área estimada com base no diâmetro interno de 7 cm do amostrador

Tabela 31 – Parâmetros para determinação da taxa de sedimentação pelo método de ^{210}Pb nos testemunhos do Lago Paca.

Profundidade	Massa Seca (g)	Massa seca acumulada/área* (g/cm ²)	Pb _{total} dpm/g	Pb _s dpm/g	Pb _{xs} , ^{210}Pb em excesso (dpm/g)	Ln $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (dpm/g)
0cm a 5cm	40	1,04	30,7687	2,7532	28,0155	3,3328
5cm a 10cm	100	3,64	32,5302	3,3224	29,2079	3,3744
10cm a 15cm	100	6,24	22,9786	2,1629	20,8157	3,0357
15cm a 20cm	185	11,04	5,5816	3,3347	2,2470	0,8096
20cm a 25cm	240	17,28	14,7903	3,0368	11,7535	2,4641

* Área estimada com base no diâmetro interno de 7 cm do amostrador

Tabela 32 – Parâmetros para determinação da taxa de sedimentação pelo método de ^{210}Pb nos testemunhos do Lago Demarcação.

Profundidade	Massa Seca (g)	Massa seca acumulada/área* (g/cm ²)	Pb _{total} dpm/g	Pb _s dpm/g	Pb _{xs} , ^{210}Pb em excesso (dpm/g)	Ln $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (dpm/g)
0cm a 5cm	40	1,04	31,8235	0,0585	31,7650	3,4584
5cm a 10cm	100	3,64	15,0327	2,3037	12,7290	2,5439
10cm a 15cm	100	6,24	12,3004	0,5574	11,7430	2,4633
15cm a 20cm	185	11,04	11,1742	2,6023	8,5719	2,1485
20cm a 25cm	240	17,28	7,2113	2,0634	5,1479	1,6386
25cm a 30cm	240	23,52	11,7783	2,5487	9,2296	2,2224
30cm a 35cm	260	30,27	12,0897	1,4049	10,6848	2,3688

* Área estimada com base no diâmetro interno de 7 cm do amostrador

Tabela 33 – Parâmetros para determinação da taxa de sedimentação pelo método de ^{210}Pb nos testemunhos do Lago Nazaré.

Profundidade	Massa		Pb_{total} dpm/g	Pb_s dpm/g	$\text{Pb}_{\text{xs}}, ^{210}\text{Pb}$ em excesso (dpm/g)	$\text{Ln}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (dpm/g)
	Seca (g)	Massa seca acumulada/área* (g/cm ²)				
0cm a 5cm	40	1,04	9,2785	3,1859	6,0926	1,8071
5cm a 10cm	100	3,64	10,2123	0,3602	9,8521	2,2877
10cm a 15cm	100	6,24	34,5493	1,2203	33,3290	3,5064
15cm a 20cm	185	11,04	21,6302	0,3711	21,2591	3,0568
20cm a 25cm	240	17,28	5,9593	0,4956	5,4636	1,6981

* Área estimada com base no diâmetro interno de 7 cm do amostrador

Tabela 34 – Parâmetros para determinação da taxa de sedimentação pelo método de ^{210}Pb nos testemunhos do Lago Santa Catarina.

Profundidade	Massa		Pb_{total} dpm/g	Pb_s dpm/g	$\text{Pb}_{\text{xs}}, ^{210}\text{Pb}$ em excesso (dpm/g)	$\text{Ln}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (dpm/g)
	Seca (g)	Massa seca acumulada/área* (g/cm ²)				
0cm a 5cm	40	1,04	13,0708	1,2461	11,8247	2,4702
5cm a 10cm	100	3,64	14,7164	1,2518	13,4646	2,6001
10cm a 15cm	100	6,24	9,5908	0,6287	8,9621	2,1930
15cm a 20cm	185	11,04	8,8932	0,7703	8,1229	2,0947
20cm a 25cm	240	17,28	10,4414	1,0096	9,4318	2,2441
25cm a 30cm	240	23,52	8,1147	0,6996	7,4151	2,0035
30cm a 35cm	260	30,27	7,3838	1,0579	6,3259	1,8447
35cm a 40cm	260	37,03	9,4425	0,9239	8,5186	2,1422
40cm a 45cm	300	44,82	5,0867	0,4580	4,6287	1,5323
45cm a 50cm	300	52,62	4,8373	0,3890	4,4483	1,4925

* Área estimada com base no diâmetro interno de 7 cm do amostrador

Tabela 35 – Parâmetros para determinação da taxa de sedimentação pelo método de ^{210}Pb nos testemunhos do Lago Conceição.

Profundidade	Massa Seca (g)	Massa seca acumulada/área* (g/cm ²)	Pb _{total} dpm/g	Pb _s dpm/g	Pb _{xs} , ^{210}Pb em excesso (dpm/g)	Ln ²¹⁰ Pb _{xs} (dpm/g)
0cm a 5cm	40	1,04	26,1761	0,0231	26,1534	3,2640
5cm a 10cm	100	3,64	16,3132	0,0196	16,2941	2,7908
10cm a 15cm	100	6,24	35,1550	0,0292	35,1264	3,5590
15cm a 20cm	185	11,04	21,7201	0,0345	21,6854	3,0766
20cm a 25cm	240	17,28	19,4333	0,0382	19,3951	2,9650
25cm a 30cm	240	23,52	28,2623	0,0325	28,2301	3,3404
30cm a 35cm	260	30,27	24,8235	0,0307	24,7925	3,2105
35cm a 40cm	260	37,03	23,4624	0,0349	23,4278	3,1539
40cm a 45cm	300	44,82	25,4993	0,0408	25,4587	3,2371
45cm a 50cm	300	52,62	23,4243	0,0345	23,3897	3,1523

* Área estimada com base no diâmetro interno de 7 cm do amostrador

Tabela 36 – Parâmetros para determinação da taxa de sedimentação pelo método de ^{210}Pb nos testemunhos do Lago Brasileira.

Profundidade	Massa Seca (g)	Massa seca acumulada/área* (g/cm ²)	Pb _{total} dpm/g	Pb _s dpm/g	Pb _{xs} , ^{210}Pb em excesso (dpm/g)	Ln $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (dpm/g)
5cm a 10cm	40	1,04	31,4775	0,9723	30,5052	3,4179
10cm a 15cm	100	3,64	26,9850	5,0537	21,9312	3,0879
15cm a 20cm	100	6,24	64,4542	5,7540	58,7003	4,0724
20cm a 25cm	185	11,04	19,8078	1,9839	17,8239	2,8805
25cm a 30cm	240	17,28	57,6726	3,8114	53,8611	3,9864
30cm a 35cm	240	23,52	17,8739	6,7002	11,1737	2,4136
35cm a 40cm	260	30,27	12,6420	4,8012	7,8408	2,0593
40cm a 45cm	260	37,03	16,5551	5,1869	11,3682	2,4308
45cm a 50cm	300	44,82	15,7620	4,4858	11,2762	2,4227
50cm a 55cm	300	52,62	12,1288	5,0071	7,1217	1,9631

* Área estimada com base no diâmetro interno de 7 cm do amostrador

Tabela 37 – Parâmetros para determinação da taxa de sedimentação pelo método de ^{210}Pb nos testemunhos do Lago da U.H.S.

Profundidade	Massa Seca (g)	Massa seca acumulada/área* (g/cm ²)	Pb _{total} dpm/g	Pb _s dpm/g	Pb _{xs} , ^{210}Pb em excesso (dpm/g)	Ln $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (dpm/g)
0cm a 5cm	40	1,04	15,0712	0,0227	15,0485	2,7113
5cm a 10cm	100	3,64	11,4476	0,0310	11,4165	2,4351
10cm a 15cm	100	6,24	8,6146	0,0275	8,5871	2,1503
15cm a 20cm	185	11,04	8,1666	0,0561	8,1105	2,0932

* Área estimada com base no diâmetro interno de 7 cm do amostrador