

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

Ana Paula Lopes da Silva

**DIAGNÓSTICO GEOQUÍMICO E GEOCRONOLOGIA
DO SISTEMA ESTUARINO-LAGUNAR DO ROTEIRO – ALAGOAS**

Tese de Doutorado
2008

ANA PAULA LOPES DA SILVA

Geógrafa, Universidade Federal de Alagoas, 1997

Mestre em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2001

Tese de doutorado apresentada em 30 de setembro de 2008, para obtenção do título de Doutora em Geociências, área de concentração Geologia Sedimentar e Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pela Prof^a Dra. Lúcia Maria Mafra Valença e co-orientada pelo Prof^o Dr. João Adauto de Souza Neto.

Recife, PE

2008

S586d

Silva, Ana Paula Lopes da.

Diagnóstico geoquímico e geocronologia do sistema estuarino-lagunar do roteiro Alagoas / Ana Paula Lopes da Silva. - Recife: O Autor, 2008.

120 folhas, il., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2008.

Inclui referências bibliográficas e anexos.

1. Geociências. 2. Geoquímica de metais pesados. 3. Geocronologia ^{210}Pb . 4. Taxa de sedimentação e Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro. I. Título.

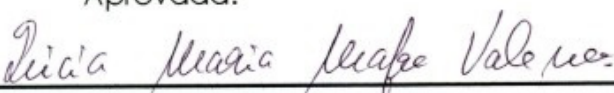
551 CDD (22. ed.)

BCTG/2009-144

"DIAGNÓSTICO GEOQUÍMICO E GEOCRONOLOGIA DO SISTEMA ESTUARINO-LAGUNAR DO ROTEIRO-ALAGOAS".

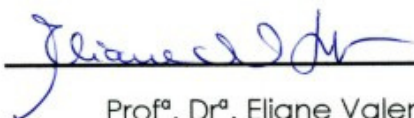
ANA PAULA LOPES DA SILVA

Aprovada:



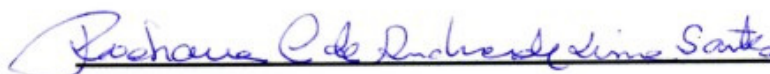
Profª. Drª. Lúcia Maria Mafra Valença

30/09/2008



Profª. Drª. Eliane Valentim Honorato

30/09/2008



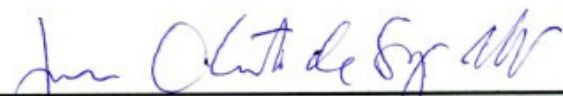
Profª. Drª. Rochana Campos de Andrade Lima Santos

30/09/2008



Prof. Dr. Edmilson Santos de Lima

30/09/2008



Prof. Dr. João Adauto de Souza Neto

30/09/2008

Dedico

A minhas filhas, Larissa e Letícia; a meu esposo Jorge Luiz Lopes pelo apoio e incentivo para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Aldo Alves e Maria Áurea por ter dado o bem mais precioso que se pode dar a uma filha, a educação, meu eterno amor a vocês.

Aos meus sogros Pedro Jacinto (*in memorian*) e Antonia Lopes por ter contribuído para a realização de um sonho, meu eterno carinho.

À minha orientadora Profa. Dra. Lúcia Maria Mafra Valença, pela orientação, estímulo e apoio que foram de fundamental importância para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. João Aduino de Souza Neto pela orientação, apoio e valiosa contribuição para a realização deste trabalho.

À Dra. Eliane Valentim Honorato, chefe do SECARQ – Seção de Análises Radiométricas e Químicas do Centro Regional de Ciências Nuclear e Centro Nacional de Energia Nuclear (CRCN/CNEN) pela orientação e apoio durante as análises de datação.

À Profa. Dra. Rochana Campos de Andrade Lima, pela amizade e apoio durante minha vida acadêmica.

Minha eterna gratidão à Profa. Msc. Jovesí de Almeida Costa pelo o estímulo e amizade.

A Profa. Dra. Alcina Magnólia Franca Barreto pelo estímulo e amizade.

Aos técnicos Gilberto Arruda, Alesxandro Francisco do Nascimento, Crescêncio Andrade Silva Filho, Waldecy Ananias da Silva, Roberto Teodozio de Melo, Emerson Emiliano Gualberto de Farias e Ana Claudia Paiva do Laboratório de Análises Ambientais do Centro Regional de Ciências Nuclear (CRCN) pelo grande apoio e amizade durante as análises de datação e geoquímica.

Ao amigo César Felipe Cordeiro Filgueiras pelo apoio e elaboração dos mapas.

À grande amiga Christianne Torres de Paiva Barbosa pelo apoio, amizade e sua valiosa contribuição durante as análises geoquímicas.

Aos amigos Nivaneide Melo e Hugo Falcão pelo apoio e amizade.

RESUMO

O Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro localiza-se no litoral centro de Alagoas, apresentando a maior área contínua preservada de manguezais deste Estado. Este ecossistema tem sido fortemente impactado por diversas atividades antropogênicas, como a urbanização, o cultivo de ostras, a produção de gás, a fabricação de cimento e o cultivo de cana-de-açúcar.

O presente trabalho teve como objetivos o diagnóstico geoquímico e a geocronologia deste Sistema. A contaminação com metais pesados (Fe, Mn, Al, Ni, Co, Cd, Pb e Cu) avaliado a partir de 3 testemunhos de até 1 metro. Determinações geocronológicas ^{210}Pb permitiram entender a evolução do nível de contaminação e do intervalo de aproximadamente 100 anos. Além disso, foram feitas medições in situ de parâmetros físico-químicos da água (T, pH, Condutividade elétrica e Sólidos totais dissolvidos) para verificação da qualidade da água do Sistema.

As análises geoquímicas das amostras dos testemunhos revelaram que os elementos analisados apresentaram concentrações características de um estuário não poluído (Fe: 3.736 a 11.197 mg.kg^{-1} ; Mn: 45 a 140 mg.kg^{-1} ; Al: 1.635 a 3.255 mg.kg^{-1} ; Ni: 3,3 a 8,5 mg.kg^{-1} ; Co: 1,02 a 3,3 mg.kg^{-1} ; Cd: 0,035 a 0,16 mg.kg^{-1} ; Pb: 0,18 a 7,78 mg.kg^{-1} ; Cu: 1,6 a 11 mg.kg^{-1}). O fator de enriquecimento sugestivo de ausência de poluição foram obtidos para a maioria dos elementos analisados. O ferro apresentou a maior concentração na desembocadura do sistema, o que sugere poluição possivelmente correlacionada a uma fonte geogênica próxima ao sistema.

O estudo geocronológico baseou-se na determinação de ^{210}Pb presente nas amostras de sedimentos. As concentrações de metais pesados foram determinadas pela técnica de espectrometria de absorção atômica acoplada com forno grafite (GFAAS). Ao longo do tempo as concentrações dos elementos Ni-Co-Cd e Pb-Cu demonstraram uma diminuição à cerca de 30 anos atrás período que começou o processo de inserção da legislação ambiental para proteger esses ambientes.

Avaliou-se também a interferência das características hidrodinâmicas do sistema no processo de sedimentação neste ambiente costeiro. Os resultados obtidos com o estudo geocronológico dos sedimentos mostraram um expressivo aumento na taxa de sedimentação do sistema. Para o testemunho 1 a taxa de sedimentação foi de 0,42 cm.ano^{-1} , definindo desta forma que a camada de 3 cm foi depositada há cerca de 13 anos, o testemunho 2 apresentou uma taxa de 0,82 cm.ano^{-1} em 1995, considerada a maior taxa entre os três testemunhos, o que

reflete uma sedimentação acelerada neste ponto. Esse ponto sofreu uma sedimentação intensa, possivelmente associada a fontes geogênicas e antropogênica que pode estar associado ao cultivo de ostras que ocorre nesse ponto. A taxa de sedimentação no testemunho 3 foi 0,35 cm.ano⁻¹ a cerca de 74 anos atrás. Este aumento pode estar associado ao período de ocupação das áreas de Mata Atlântica e substituição da mesma por cana de açúcar nos tabuleiros costeiros dos municípios de Barra de São Miguel e Roteiro (circunvizinhos à área) entre as décadas de 1970 e 1990, incentivado pelo PROALCOOL.

A análise geoquímica das concentrações de metais pesados amostras de sedimento demonstrou que os impactos ambientais sofridos pelo sistema, nos últimos 40 anos são considerados aceitáveis quando comparados com os padrões de referências Canadense (ISQG e PEL), Americano (ERL e ERM) e do CONAMA.

PALAVRAS CHAVES: Geoquímica de metais pesados, geocronologia ²¹⁰Pb, taxa de sedimentação e Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro.

ABSTRACT

The estuarine lagoon system of the Roteiro is located in the central coast of Alagoas, showing the largest continuous area of preserved mangroves of the State of Alagoas. This ecosystem has been heavily impacted by various anthropogenic activities such as urbanization, the cultivation of oysters, the gas production, the manufacture of cement and the cultivation of sugar cane.

This work aimed to the diagnosis geochronology and geochemical Estuary Lagoon System of the Roteiro. Was examined the vertical distribution of concentration of some heavy metals (Fe, Mn, Al, Ni, Co, Cd, Pb and Cu) in testimony (up to 1 meter) of sediment dating background.

The geochemical analysis of samples of bottom sediment is shown that the elements examined had concentrations characteristic of a non-polluted estuary (Fe: 3.736 to 11.197 mg.kg⁻¹, Mn: 45 to 140 mg.kg⁻¹, Al: 1.635 to 3.255 mg.kg⁻¹, Ni: 3.3 to 8.5 mg.kg⁻¹, Co: 1.02 to 3.3 mg.kg⁻¹, Cd: 0.035 to 0.16 mg.kg⁻¹, Pb : 0.18 to 7.78 mg.kg⁻¹, Cu: 1.6 to 11 mg.kg⁻¹). The enrichment factor, suggesting a lack of pollution were obtained for most elements analyzed with the exception of Fe. The iron had the highest concentration in the outfall system, which suggests pollution possibly correlated to a source close to geogenically system.

The geochronological study was based on this determination of ²¹⁰Pb in sediment samples. The concentrations of heavy metals were determined by the technique of atomic absorption spectrometry coupled with graphite furnace (GFAAS). Through the time the concentrations of the elements Ni-Co-Cu-Cd and Pb showed a decrease that of 30 years ago period that began the process of integration of environmental legislation to protect these environments.

It also assessed the interference of the hydrodynamic characteristics of the system in the process of sedimentation in the coastal environment. The results of the geochronological study of the sediments showed a significant increase in the rate of sedimentation of the system. For the testimony 1, the sedimentation rate was 0.42 cm.ano⁻¹, thus defining the 3-cm layer was deposited for about 13 years, the testimony 2 presented a rate of 0.82 cm.ano⁻¹ in 1995, considered the highest among the three testimonies, which reflects a sedimentation accelerated.

This point has intense sedimentation, possibly associated with anthropogenic sources geogenically and that may be associated with the cultivation of oysters that occurs at this point. The rate of sedimentation in evidence 3 was 0.35 cm.ano^{-1} to about 74 years ago. This increase may be linked to the period of occupation of the areas of Atlantic forest and replacing it by the sugar cane in the coastal tableland of the municipalities of Barra de São Miguel and Roteiro (the surrounding area) between the 1970s and 1990s, encouraged by PROALCOOL.

The geochemical analysis of concentrations of heavy metals in sediment samples showed that the environmental impacts caused by the system in the last 40 years are considered acceptable when compared with the standards of Canadian references (ISQG and PEL), American (ERM and ERL) and CONAMA.

KEY WORDS: Geochemistry of heavy metals, ^{210}Pb geochronology, sedimentation rate and Estuary Lagoon System of the Roteiro.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
SUMÁRIO	01
LISTA DE FIGURAS	04
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE QUADROS	11
CAPITULO I – INTRODUÇÃO	12
I.1. Relevância da pesquisa	13
I.2. Objetivos.....	16
CAPÍTULO II – ÁREA DE ESTUDO	17
II.1. LOCALIZAÇÃO	17
II.2. ASPECTOS HISTÓRICOS	20
II.3. ASPECTOS ECONÔMICOS.....	21
II.4. CLIMA	22
II.4.1. Ventos	23
II.4.2. Índice Pluviométrico	24
II.4.3. Temperatura	25
II.4.5. Balanço Hídrico	26
II.5. BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO MIGUEL	28
II.6. VEGETAÇÃO	30
II.7. BIOTA	32
II.8. ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS DO SISTEMA ESTUARINO-LAGUNAR DO ROTEIRO.....	33
II.9. DADOS BATIMÉTRICOS	36
II.10. CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO	37
II.11. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO	43
II.12. ANÁLISE DOS PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS POTENCIALMENTE EXISTENTES NA ÁREA DO SISTEMA ESTUARINO-LAGUNAR DO ROTEIRO.....	44

II.13. CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS DOS SISTEMAS ESTUARINOS.....	45
II.14. ASPECTOS TEÓRICOS DA GEOCRONOLOGIA DE SEDIMENTOS.....	47
CAPÍTULO III – MATERIAIS E MÉTODOS	50
III.1. AQUISIÇÃO DE DADOS CARTOGRÁFICOS	50
III.2. COLETA DE TESTEMUNHOS DE SEDIMENTOS DE FUNDO E DADOS FÍSICOS-QUÍMICOS DA ÁGUA	50
III.2.1. Metodologia de laboratório	56
III.3.DETERMINAÇÕES DA TAXA DE SEDIMENTAÇÃO, GEOCRONOLÓGICAS E GEOQUÍMICAS.	57
III.3.1. Determinação da variação da concentração de ^{210}Pb não-suportado em função da profundidade da camada de sedimento.....	57
III.3.2. Determinação da atividade integrada residual de ^{210}Pb na coluna de sedimento.....	59
III.3.3. Concentrações de metais pesados nos sedimentos de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro	59
III.3.3.1. Análise das amostras do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro	60
III.3.3.2. Digestão das amostras	62
III.3.3.3. Determinação das concentrações de metais pesados nos extratos	63
III.3.3.4. Controle de qualidade das análises	63
III.3.3.5. Cálculo do limite de detecção	63
III.3.3.6. Processamento de dados em laboratório	63
CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
IV.4.1. PARÂMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS DA ÁGUA DO SISTEMA	65
IV.4.1.1.Temperatura da água	66
IV.4.1.2. pH	68
IV.4.1.3. Condutividade elétrica	70
IV.4.1.4. Sólidos totais dissolvidos	72
IV.4.2. Granulometria dos Sedimentos de Fundo do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro	72
IV.4.3. CÁLCULO DA TAXA DE SEDIMENTAÇÃO DO SISTEMA ESTUARINO LAGUNAR DO ROTEIRO	73
IV.4.3.1. Determinação da Taxa de Sedimentação (cm.ano^{-1}) e Idade de cada Camada na Coluna de Sedimentação	73

IV.4.4. CONCENTRAÇÕES BIODISPONÍVEIS DE METAIS PESADOS NOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO SISTEMA ESTUARINO LAGUNAR DO ROTEIRO .	77
IV.4.4.1. Metais pesados nos sedimentos de fundo.....	77
IV.4.4.1.1 Testemunho 1	77
IV. 4.4.1.2 Testemunho 2	82
IV.4.4.1.3 Testemunho 3	88
IV.4.5. SUMÁRIO INTERPRETATIVO GERAL ENVOLVENDO TODOS OS 3 TESTEMUNHOS COLETADOS NO SISTEMA ESTUARINO LAGUNAR DO ROTEIRO.....	93
IV.4.6. COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES BIODISPONÍVEIS DE METAIS DO SISTEMA ESTUARINO-LAGUNAR DO ROTEIRO (AL) COM VALORES DE REFERÊNCIA	95
IV.4.7. COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES BIODISPONÍVEIS DE METAIS DO SISTEMA ESTUARINO-LAGUNAR DO ROTEIRO (AL) COM OUTRAS ÁREAS NO BRASIL E NO GLOBO	98
IV.4.8. DISCUSSÕES	100
IV.4.8.1. COMPARAÇÃO COM FONTES CONTAMINANTES DE OUTRAS ÁREAS DO GLOBO	102
CAPITULO V – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	104
REFERÊNCIAS.....	106
ANEXO 1- RESULTADOS ANALÍTICOS PARA FE, MN, AL, NI, CO, CD, PB E CU, NOS TRÊS TESTEMUNHOS ESTUDADOS NO SISTEMA ESTUARINO LAGUNAR DO ROTEIRO – AL.....	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem de Satélite do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro (Fonte: Google Earth,2008).....	18
Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo (Base cartográfica: IBGE,1985)	19
Figura 3 – Barra de São Miguel, cidade turística. (Fonte: Bayma,2006)	22
Figura 4 – Gráficos esquemático para vento, dados de maré e ondas (Fonte: INMET,2005).....	23
Figura 5 - Gráfico da média de chuvas para 2001 (Fonte: INMET, 2001).....	24
Figura 6 – Gráfico da média de chuvas para 2005 (Fonte: INMET, 2005)	25
Figura 7 – Gráfico da média para temperaturas referentes ao mês 09/2005. (Fonte: INMET,2005).....	26
Figura 8 – Dados do balanço hídrico da área. (Fonte:INMET,2005).....	27
Figura 9 – Gráfico do Balanço Hídrico Climatológico, período 1961 a 1990 (Fonte: INMET, 2005).....	27
Figura 10 – Gráfico do Balanço Hídrico (Fonte:INMET,2005).....	28
Figura 11 - Localização geográfica da Bacia do Rio São Miguel no Estado de Alagoas.....	29
Figura 12 - Distribuição da bacia do Rio São Miguel com relação aos mapas topográficos.....	30
Figura 13 - <i>Ipomoea littoralis</i> (salsa - branca)	31

Figura 14 – Área de restinga e coqueirais na margem direita do sistema. (Fonte: Bayma,2006)	31
Figura 15 -Vista parcial das encostas de Mata Atlântica da Barra de São Miguel. (Fonte: www.turismomaceio.com.br)	32
Figura 16 – Mata Atlântica na encosta e em cima do tabuleiro cana-de- açúcar (Fonte: www.projetomarsemfim.com.br)	32
Figura 17 - Mapa da distribuição de fácies sedimentar (Fonte: Silva, 2001).....	34
Figura 18 – Representação esquemática do testemunho 1 coletado no sistema em 2005	35
Figura 19 – Representação esquemática dos testemunhos 2 e 3 coletados no sistema em 2005	36
Figura 20 – Mapa geológico do Estado de Alagoas (Base Cartográfica: GEOPAK - CPRM,2008)	39
Figura 21 – Mapa geomorfológico da área estudada.....	40
Figura 22 – Rochas de praia que barram o Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro.....	41
Figura 23 – Mapa geológico do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro (Base Cartográfica: CPRM, 2008).....	42
Figura 24 – Manguezais do Roteiro, Alagoas (Bayma, 2005)	43
Figura 25 – Processo de assoreamento (Fonte: Bayma, 2005)	45
Figura 26 - Decaimento do núcleo do ^{238}U , ilustrando as partículas alfa e beta emitidas no processo de transmutação e o tempo de vida média correspondente a cada elemento intermediário, chegando a estabilidade somente na forma de ^{206}Pb	47
Figura 27 - Ciclo hidro-geoquímico do ^{210}Pb	48
Figura 28 – Representação dos parâmetros requeridos para cálculo da idade das camadas de sedimentos pelos modelos CIC e CRS (Fonte:Honorato,2002)	49
Figura 29 – Localização dos pontos de coleta dos parâmetros físico-químico da água (2005) e sítios de amostragem por testemunho na área do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro	51

Figura 30 – Localização da fábrica de cimento CIMPOR e do beneficiamento de gás da PETROBRÁS	52
Figura 31 – Medição físico-química da água usando sonda portátil multi-paramétrica.....	53
Figura 32 – Mapa de localização das coletas de sedimentos para as análises geoquímica do Sistema estuarino-lagunar do Roteiro (2007).....	54
Figura 33 – Testemunhador desenvolvido por Honorato (2002).....	55
Figura 34 - Testemunhador adaptado por Lopes (2005).....	55
Figura 35 - Amostras sendo seccionadas após coleta e congelamento.....	56
Figura 36 – Espectrômetro de Absorção Atômica	60
Figura 37 – Acessório Graphite Furnace GTA 110	60
Figura 38 - Lâmpadas de cátodo oco utilizada no AAS	61
Figura 39 - Tubos de grafite	62
Figura 40 – Processo de pesagem das amostras para a digestão geoquímica	64
Figura 41 - Gráfico representando os valores da temperatura das amostras de água do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro (AL) coletadas na estação chuvosa (27/28/05/2005)	67
Figura 42 – Gráfico representando os valores da temperatura das amostras de água do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro (AL) coletadas na estação seca (29/09/2005).....	68
Figura 43 - Gráfico dos valores de pH das amostras de água do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro (AL) coletadas na estação chuvosa (27/28/05/2005).....	69
Figura 44 - Gráfico dos valores de pH das amostras de água do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro (AL) coletadas na estação seca (29/09/2005).....	69
Figura 45 - Gráfico dos valores de Condutividade (mOhm/cm) das amostras de água do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro (AL) coletadas na estação chuvoso (27 e 28/05/2005).....	71
Figura 46 - Gráfico dos valores de Condutividade (mOhm/cm) das amostras de água do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro (AL) coletadas na estação seca (29/09/2005).....	71

Figura 47- Gráfico dos dois modelos matemáticos usados na avaliação do testemunho 01.....	74
Figura 48 - Gráfico dos dois modelos matemáticos usados na avaliação do testemunho 02.....	74
Figura 49- Gráfico dos dois modelos matemáticos usados na avaliação do testemunho 03.....	75
Figura 50 - Representação da taxa de sedimentação nos três testemunhos analisados no Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro, modelo CRS.....	76
Figura 51 - Mapa dos pontos de coletas dos testemunhos com dados de maiores concentrações de metais biodisponíveis	77
Figura 52 - Concentração biodisponível de Fe nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 1; quadrado preto refere-se ao teor de metais e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	78
Figura 53 - Concentração biodisponível de Mn nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 1. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	79
Figura 54 – Concentração biodisponível de Al nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 1. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	79
Figura 55 - Concentração biodisponível de Ni nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 1. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas..	80
Figura 56 - Concentração biodisponível de Co nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 1. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	80
Figura 57 - Concentração biodisponível de Cd nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 1. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	81

Figura 58- Concentração biodisponível de Pb nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 1. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	81
Figura 59 - Concentração biodisponível de Cu nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 1. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	82
Figura 60 – Concentração biodisponível de Fe nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 2. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	83
Figura 61 - Concentração biodisponível de Mn nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 2. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	84
Figura 62 – Concentração biodisponível de Al nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 2. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	84
Figura 63 - Concentração biodisponível de Ni nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 3; quadrado preto refere-se ao teor de metais e o triângulo vermelho refere-se as idades das camadas.....	85
Figura 64 - Concentração biodisponível de Co nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 2. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	85
Figura 65 - Concentração biodisponível de Cd nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 2. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	86
Figura 66 - Concentração biodisponível de Pb nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 2. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	86
Figura 67 - Concentração biodisponível de Cu nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 2. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	87
Figura 68 - Concentração biodisponível de Fe nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 3. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	89

Figura 69 - Concentração biodisponível de Mn nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 3. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	90
Figura 70 - Concentração biodisponível de Al nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 3. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	90
Figura 71 - Concentração biodisponível de Ni nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 3. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	91
Figura 72 - Concentração biodisponível de Co nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 3. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	91
Figura 73 - Concentração biodisponível de Cd nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 3. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	92
Figura 74 - Concentração biodisponível de Pb nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 3. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.....	92
Figura 75 - Concentração biodisponível de Cu nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 3; quadrado preto refere-se ao teor de metais e o triângulo vermelho refere-se as idades das camadas.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos das amostras de água coletadas na estação chuvosa no Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro (AL) na primeira amostragem em maio de 2005	66
Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos das amostras de água coletados na estação seca de no Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro (AL) em setembro de 2005.....	66
Tabela 3 Concentrações (biodisponíveis) máximas de metais nos sedimentos de fundo do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro.	96
Tabela 4 – Comparação dos valores máximos de concentrações biodisponíveis de metais pesados no sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro (AL) com os padrões de referência para avaliação da qualidade de sedimentos.....	97
Tabela 5 – Comparação dos valores máximos de concentrações biodisponíveis de metais pesados no sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro (AL) com os valores de referência para qualidade da água. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente; EPA – Agência Americana de Proteção Ambiental.....	97
Tabela 6 - Comparação dos valores máximos de concentrações biodisponíveis de metais pesados no Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro (AL) com concentrações de metais no sedimento de fundo superficial de diferentes lagoas costeiras e lagoas do Brasil, e estuários do mundo.....	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Identificação dos Impactos Ambientais Negativos sobre o Meio Físico (Adaptado por Silva, 2008)	44
---	----

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O Estado de Alagoas apresenta uma linha de costa de 220 km de extensão, desse total boa parte é recortada por rios, estuários e lagoas. No Estado a cultura da cana-de-açúcar se destaca desde a ocupação do território pelos portugueses em 1500, sendo atualmente o maior produtor do Nordeste, com uma produção anual 240 mil toneladas estimada para 2008 em uma área de 451.447 ha.

A aplicação e o uso de herbicidas, pesticidas e fertilizantes durante os diferentes estágios do cultivo da cana-de-açúcar, aliados ao problema da degradação das matas ciliares, tem acarretado vários impactos sobre os recursos hídricos nas áreas próximas a essas plantações, sobretudo através do processo de lixiviação do solo nas áreas cultivadas com adubos químicos e defensivos agrícolas. Esta situação tem ocasionado impactos sobre o ambiente das áreas adjacentes, na forma de impactos difusos desse setor agrícola e no intuito de reunir informações a respeito das consequências ambientais do cultivo da cana-de-açúcar, está sendo analisada as concentrações de metais no Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro.

O estudo dos sedimentos como meio de investigação é bastante relevante na identificação dos níveis de poluição de sistemas aquáticos por metais, uma vez que o sedimento reflete a qualidade ambiental do sistema aquático.

O presente estudo pretendeu avaliar os níveis de impacto do cultivo de cana-de-açúcar, dos efluentes domésticos e da indústria de cimento, na área do sistema lagunar. Para tanto, foram analisados 8 metais (Fe, Mn, Al, Ni, Co, Cd, Pb e Cu) em amostras de sedimento de fundo de 3 testemunhos representativos do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro.

O referido estudo esta estruturado da seguinte forma, o primeiro capitulo apresenta o referencial teórico da área estudada; o segundo capitulo retrata a descrição da área de estudo; o terceiro capitulo apresenta a discussão sobre as características de métodos e materiais utilizados durante o trabalho de campo e laboratoriais; apresenta os resultados e discussões; o quinto capítulo refere-se as considerações finais e conclusões e o último capítulo apresenta as referenciais bibliográficas.

I.1 - Relevância da pesquisa

As lagunas costeiras distribuem-se pelo mundo inteiro. Segundo Reading e Collinson, (1996) cerca de 13% das linhas costeiras exibem ilhas-barreiras com lagunas costeiras. Essas lagunas foram originadas durante o Holoceno entre 4 mil a 7 mil anos passados, em condições de abundante suprimento de areia para a zona costeira. Esses ambientes podem exibir fundo irregular até com profundos canais dispostos transversalmente à atual linha costeira, representando paleocanais de rios afogados durante a ultima transgressão.

A laguna sofre o efeito da energia das ondas e pode receber água do mar através de canais de maré ou através da percolação de água subterrânea. As águas variam de doce à salgada, porque além de marinhas podem também receber cursos d'água ou água de chuvas.

Em consequência destas condições, desenvolvem uma gradação desde água hipersalina até salina e, às vezes, elevada salinidade devido a forte evaporação, produto de variações climáticas. As definições de estuários e lagunas analisadas na literatura destacam características físicas e geológicas. As diferenças fundamentais incluem forma e tamanho, influência de maré, escoamento de riachos tributários, clima, número e tamanho dos canais (inlets) de entrada e tipo de aporte sedimentar.

O conceito de estuário sobre bases hidrodinâmicas e o conceito de laguna costeira sobre bases geomorfológicas, determinam que uma laguna costeira tende à características ambientais predominantemente estuarinas (Yáñez-Arancibia,1987).

Do ponto de vista ecológico, as lagunas costeiras e estuários constituem ecossistemas afins. Segundo Yáñez-Arancibia (1987), um ambiente lagunar estuarino é um ecótono costeiro, conectado com o mar de maneira permanente. Do ponto de vista físico-ambiental, as lagunas costeiras e estuários são sistemas dinâmicos, variáveis, extremamente

abertos, que recebem um alto nível de aporte de energia física, e são sistemas ecológicos persistentes em zona costeira a nível mundial, onde a geomorfologia, tamanho e funcionamento, são importantes para os níveis de produtividade.

As condições hidrodinâmicas dentro de uma laguna costeira bem como a disponibilidade de sedimentos são alguns dos mais importantes fatores que controlam as fácies sedimentares dos depósitos lagunares. Elas são representadas principalmente por lamas muito ricas em matéria orgânica, areias finas e conchas fragmentadas. Os sedimentos terrígenos são supridos pelos rios, pelas correntes de maré ou ainda pelos ventos. (Suguio,2003).

A poluição dos sedimentos está intimamente ligada com a poluição das águas e tem origem em diversas fontes, dentre as quais se destacam: efluentes domésticos, efluentes industriais, carga difusa urbana e agrícola. A situação é mais crítica nas regiões em que existem atividades portuárias, depósito de resíduos industriais e urbanos (CETESB, 1999). Sedimentos têm sido amplamente utilizados como indicadores ambientais, porque possuem grande capacidade de incorporar e acumular elementos contaminantes. Como os sedimentos são levados pelos rios para outro curso de água ou para o mar, as análises dos sedimentos em vários pontos de uma região de interesse servem para rastrear fontes de contaminação ou monitorar esses contaminantes (Pereira *et.al.* 1998).

Lima (1965) descreve que as lagoas litorâneas são as principais feições encontradas no litoral alagoano e seu grande número (17 no total), caracteriza parte da faixa costeira onde a colonização foi mais atuante, legou seu nome genérico pela observação geográfica de tais acidentes, como a terra das Alagoas. Acham-se inseridas na estrutura do modelado de dissecação e demonstram que foram antigos estuários dos rios principais que nelas deságuam. Tem a forma de lagoas, porque essas desembocaduras foram fechadas e desviadas por depósitos aluviônicos dos terraços de acumulação flúvio-marinho, recifes de arenito, barras arenosas e construções de praias.

A linha de costa do Estado de Alagoas vem sofrendo modificações constantes, em termos de suas características originais, por apresentarem um forte potencial de desenvolvimento e conseqüentemente, um crescimento considerável na sua taxa de ocupação.

A expansão territorial, sem um planejamento consubstanciado nas limitações e potencialidades dos recursos naturais, pertinentes aos meios físicos e bióticos e nas condições sócio-econômicas, tem acarretado a aplicação de medidas emergências nestas regiões, que no geral, funcionam como paliativos e sem nenhum caráter preventivo.

O Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro se insere na classificação de Lankford (1976) como sendo uma laguna do tipo formada pela erosão diferencial, apresentando barreira física originada pela dinâmica costeira. Com base na classificação de Pritchard (1967), este sistema estuarino lagunar faz parte de estuários formados por bancos de areia ou barreiras, paralelos a costa com contato com o mar e com o rio, que o alimenta. A Lagoa do Roteiro, como é conhecida na literatura regional é um sistema estuarino lagunar.

A área foi motivo de estudo no final da década de 60 por vários autores, entre eles: Ponte (1969), Mabesoone *et al.* (1972) e Góes (1979); na década de 80 por Barbosa (1985) e na década de 90 por Lima (1990) e Silva (1997). Cabe destacar os estudos de Coutinho (1970), que caracterizaram os sedimentos superficiais da laguna, com enfoque sedimentológico, e o de Silva (2001) que enfocou os sedimentos superficiais de fundo e à geomorfologia da área.

O Sistema vem sendo alvo, nos últimos anos, de diversos estudos, a fim de se obter dados que possam viabilizar a exploração turística na área, que possui uma beleza cênica indiscutível. Sua importância deve-se também à presença de uma grande área de manguezais, representando hoje a maior área preservada deste ecossistema, no litoral alagoano. Além disso, certas atividades antropogênicas nas bacias de drenagem têm efeito de modificar o processo natural de transporte de sedimentos do continente para as zonas costeiras. Como exemplo estão representados, desmatamentos, agricultura e urbanização que aumentam o volume dos sedimentos resultante dos processos de erosão.

Investigações mais recentes de Silva (2001) revelaram que o tema necessita de novos estudos à luz de técnicas mais modernas. Estudos sobre o litoral alagoano vêm sendo realizados desde a década de 60, quando teve início, nos tabuleiros, o processo de desmatamento para o plantio da cana-de-açúcar. Também a existência de inúmeras lagoas e lagunas neste litoral tem chamado a atenção de alguns pesquisadores, seja no âmbito geológico, geomorfológico, biológico e ambiental no sentido mais amplo do termo.

É com base nos impactos ambientais provenientes da ação antrópica e dos processos naturais que a referida área necessita de mais dados para que se possa correlacioná-los com os de outras lagunas do litoral alagoano como, por exemplo, o Complexo Estuarino Lagunar Mundau-Manguaba, no qual existem vários estudos ambientais analisando a biodiversidade biológica, a sedimentologia, geomorfologia e os processos antrópicos do complexo.

Este estudo vem ao encontro da necessidade de conhecimento científico mais detalhado do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro, tendo como propostas o reconhecimento

desses depósitos estuarino lagunares e às relações da dinâmica costeira nos processos de sedimentação dos mesmos, além do diagnóstico geoquímico, recente e histórico até cerca de 150 anos atrás, e determinação da taxa de sedimentação. Constitui-se, portanto, o primeiro trabalho a descrever verticalmente, em escala de detalhe, os sedimentos de fundo do referido sistema, imprescindível ao entendimento da evolução, diagnóstico, monitoramento e planejamento ambiental e territorial desta área.

I.2 – Objetivos

O referido estudo teve como objetivo geral avaliar as alterações ambientais do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro, a partir da análise de testemunhos de sedimentos de fundo, considerando os aspectos morfodinâmicos e o diagnóstico geoquímico do sistema. Os objetivos específicos do estudo foram:

- Analisar os parâmetros físico-químicos da água do sistema estuarino lagunar (pH, temperatura, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos) em amostras de superfície;
- Analisar a concentração de metais considerados danosos ao meio ambiente (e.g. Fe, Mn, Al, Ni, Co, Cd, Pb e Cu) em amostras de testemunhos de sedimento de fundo, utilizando-se a fração < 63 µm.
- Determinar a idade dos sedimentos (método de datação por ^{210}Pb) em testemunho para diagnóstico das concentrações históricas dos metais pesados acima.

CAPÍTULO II

ÁREA DE ESTUDO

II.1 - LOCALIZAÇÃO

O Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro ocupa uma área de aproximadamente 8 km² com largura máxima de 1,4 km e mínima de 300 m, com comprimento de linha reta de 10 km de extensão. Localiza-se entre os meridianos 35⁰ 53' e 36⁰ 02' Oeste e os paralelos 9⁰ 47' e 9⁰ 53' Sul. O acesso à área assim, como aos municípios circunvizinhos, é feito através das estradas estaduais AL - 220 e AL - 101 Sul, que liga a capital Maceió ao litoral centro e sul do Estado de Alagoas.

Este Sistema Estuarino Lagunar está associado à desembocadura do Rio São Miguel, situando-se cerca de 30 km a sul da cidade de Maceió, litoral sul do Estado de Alagoas (Figura 1), ao entorno dos municípios de Barra de São Miguel localizada a margem direita do sistema lagunar e do Roteiro a margem esquerda (Figura 2).

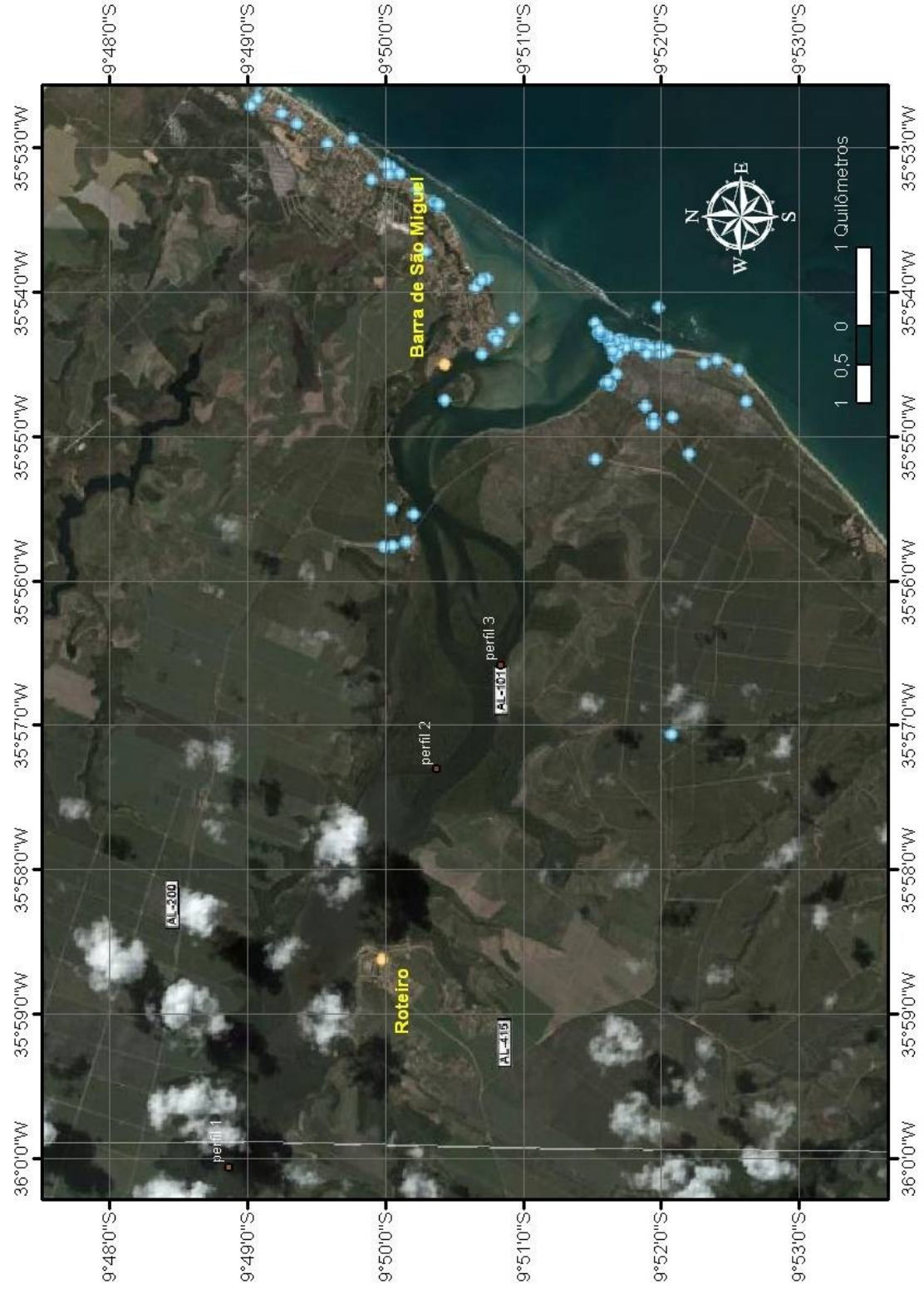


Figura 1: Imagem de Satélite do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro (Fonte: Google Earth, 2008).

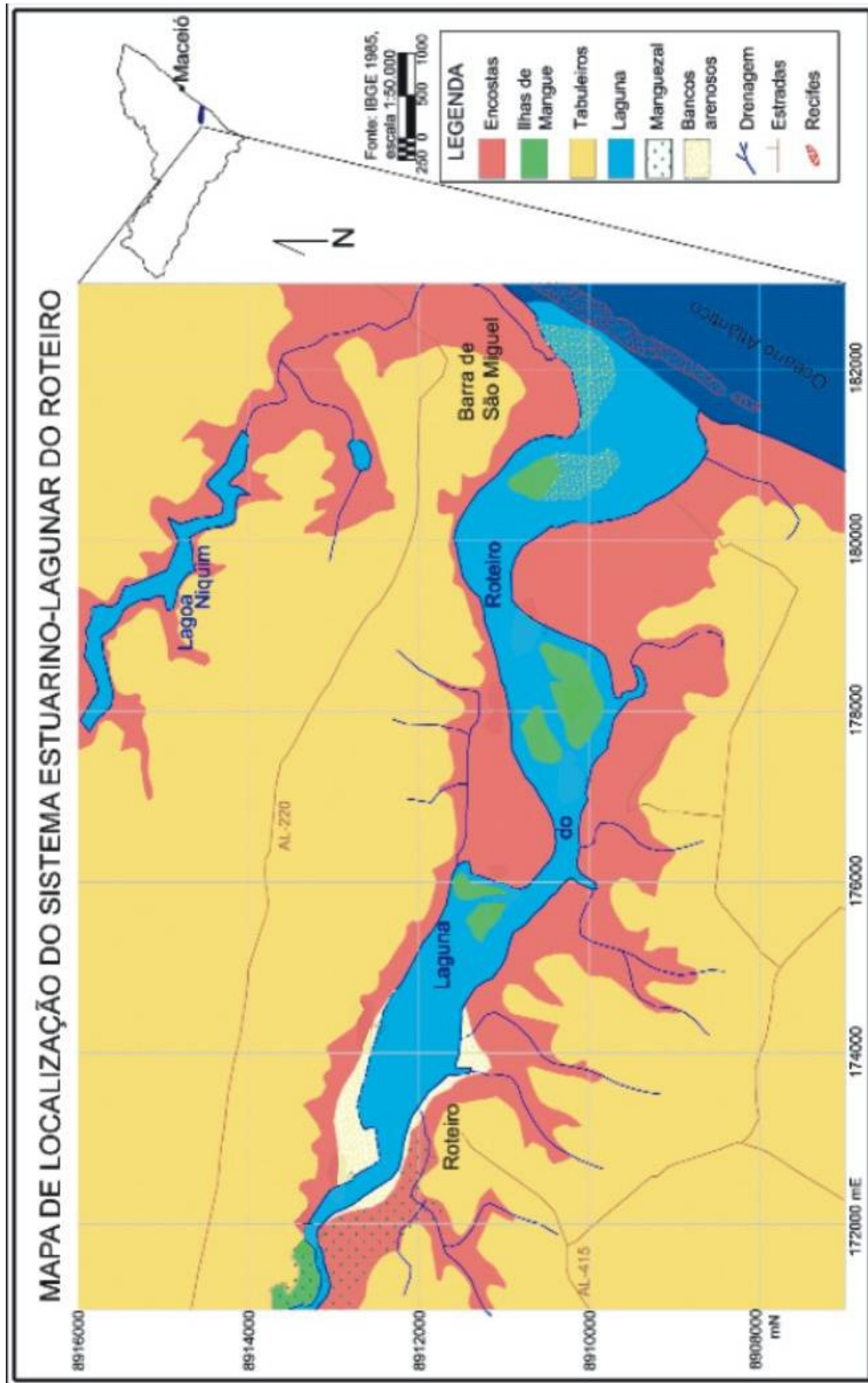


Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo. (Base cartográfica: IBGE, 1985)

II.2. ASPECTOS HISTÓRICOS

Consta de 1643 os primeiros relatos de Johannes Van Walbeeck (assessor do Superior Conselho Holandês) sobre os municípios de Barra de São Miguel e Roteiro. Nele fala dos habitantes da época, índios caetés, e a forma como eles viviam explorando a laguna apenas para sua sobrevivência (Lima,1970). Este autor descreve em seu livro que até o início do século XVI, o local onde atualmente se situa o município de Barra de São Miguel era totalmente habitado pelos índios Caetés e que no ano de 1501, a expedição comandada por Américo Vespúcio, aportando na barra do Rio São Miguel, (daí o nome da cidade, dado por ele) se deparou com os índios da tribo Caetés.

Faz parte da sua história um relato de que D. Pêro Fernandes Sardinha, primeiro Bispo do Brasil, quando viajava do Rio de Janeiro para Portugal, sofreu um naufrágio e uma das naus do seu comboio, justamente a nau que ele estava, foi a que mais se danificou. A embarcação se chamava Nossa Senhora da Ajuda, e nas proximidades do local onde atualmente se localiza a cidade de Coruripe, não resistindo ao mau tempo, afundou e naquela oportunidade toda a tripulação foi capturada e todos foram trucidados pelos índios e estes, antropófagos se alimentaram de suas carnes.

Segundo depoimentos de Johannes Van Walbeeck *em 26 de novembro de 1643, é possível ter uma visão de como se encontrava o município de Barra de São Miguel e Roteiro nessa época. A freguesia de São Lourenço estende-se até as Alagoas, de sorte que o Coreripe e Rio São Miguel nela também se compreendem; é habitada até bem longe no interior, mas as casas são extremamente espalhadas; por conseguinte o número de habitantes não é considerável, vivem da cultura da farinha e do tabaco, mas sobretudo da criação de animais, que aqui se encontram em tal abundância, que um certo Antônio de Cardosa possui, só ele, sem contar as ovelhas e porcos, umas 12 mil cabeças de gado; os vales de São Miguel e Coreripe fornecem uma grande quantidade de madeira (pau brasil), estendendo-se cerca de 8 ou 10 léguas para o interior, mas não se cuida absolutamente de cultura de cana de açúcar.*

Toda essa riqueza e por sua localização às margens dos rios e do mar, os dois municípios transformaram-se em um núcleo de pescadores, cada dia se desenvolvendo mais as atividades da pescaria, foram criados pelos seus habitantes estaleiros para a fabricação de barcos, botes, e toda espécie de pequenas embarcações.

O município de Roteiro teve sua primeira moradora, Francisca de Albuquerque que se instalou anos depois no sítio Livramento, construindo também em 1900 a primeira capela, em louvor à Nossa Senhora do Livramento. O primeiro recenseamento do local foi realizado em 1912 por João Gomes, João Balbino e Mandu Araújo.

O povoamento teve como nome escolhido de Roteiro pelos moradores, que acreditavam que os jesuítas descobriram no local o "roteiro" de Dom Pêro Fernandes Sardinha que fora devorado pelos índios. A emancipação política chegou através da Lei 2.648, em 18 de dezembro de 1963 sendo instalado definitivamente apenas em 1966. Desde este momento até os nossos dias, sete prefeitos administraram os recursos e os destinos da população. Os primeiros líderes foram: Nemésio Gomes da Silva, Abelardo Lopes e Diney Torres.

Atualmente Barra de São Miguel e Roteiro são consideradas os maiores e mais bem localizados balneários turísticos de Alagoas, distante apenas 36 km da capital. É lá que se encontram as praias mais belas do nosso litoral, no qual se destaca a praia do Gunga, considerada hoje um paraíso, o qual é banhada pelo sistema estuarino-lagunar do Roteiro localizado entre os dois municípios.

II.3. ASPECTOS ECONÔMICOS

O município de Barra de São Miguel (Figura 3) tem como sua principal fonte de renda o turismo onde praticamente todos os seus recursos naturais são explorados, pois sabedor de que este segmento tem a maior demanda em todo o mundo e que sua rentabilidade de uma forma ou de outra é segura, o município se estrutura para receber cada vez mais pessoas na alta temporada, (de novembro a fevereiro), onde há um aumento visível de visitantes na cidade. Sabe-se que o turismo é uma ação temporária, e assim, durante o período de baixa temporada, a população busca outras fontes de renda, que se baseiam principalmente na pesca de peixes, moluscos (ostra - *Ostrea equestris*) e crustáceos (caranguejo - *Cardisoma guaiumi* e siri - *Callinectes danae*), na qual a laguna se mostra ainda com um grande potencial que é explorado pela a maioria da população. O município de Roteiro tem uma economia voltada para a cana-de-açúcar que ocupa todo tabuleiro, o coco da bahia que ocupa a planície costeira, a pesca artesanal e extração de moluscos principalmente ostras, nos mangues e a agricultura de subsistência.



Figura 3 – Barra de São Miguel, cidade turística. (Fonte: Bayma, 2007)

Os impactos ambientais que ocorrem na área são avaliados com base na Lei estadual 32.355 de 03/06/1987, que constituiu uma Área de Preservação Permanente – APP, abrangendo terras dos municípios de Barra de São Miguel e Roteiro. Considerada a maior área contínua de manguezais de Alagoas, com cerca de 8km² e apesar da construção da AL 101 sul, que destruiu boa parte dos mangues, atualmente se encontra ainda bastante preservada.

II.4. CLIMA

O clima, segundo a classificação de Köppen, é o As' tropical chuvoso de monção, apresentando verão seco e inverno chuvoso. A irregularidade na distribuição anual das chuvas varia entre 1000 mm e 1600 mm, decrescendo à montante do vale. O trimestre mais seco corresponde aos meses de outubro, novembro e dezembro.

Segundo Nimer (1972) a precipitação concentra-se no outono e inverno, mas ocorre também, proporção bem menor durante o verão e a primavera. Os dados climatológicos utilizados no presente estudo tiveram como base os dados da estação climatológica de Barra de São Miguel, operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. A umidade relativa do ar é bastante elevada, 85%.

Por apresentar um regime pluviométrico de 3 meses consecutivos de chuvas e temperaturas superior a 20°C durante todo ano, ocorre uma aceleração dos processos de erosão nas encostas, no final da estação chuvosa, quando as camadas superficiais e subjacentes estão saturadas provocando assim nas áreas com declividade acentuada, deslizamentos das encostas da margem esquerda da laguna.

II.4.1. Ventos

A área encontra-se durante todo o ano sob ação dos ventos do quadrante E, alternando-se os de SE, que atuam de março a setembro, com os de NE, de outubro a fevereiro. São ventos com velocidade moderada a fraca, variando de 4,8 a 7,9 km/h (Figura 4).

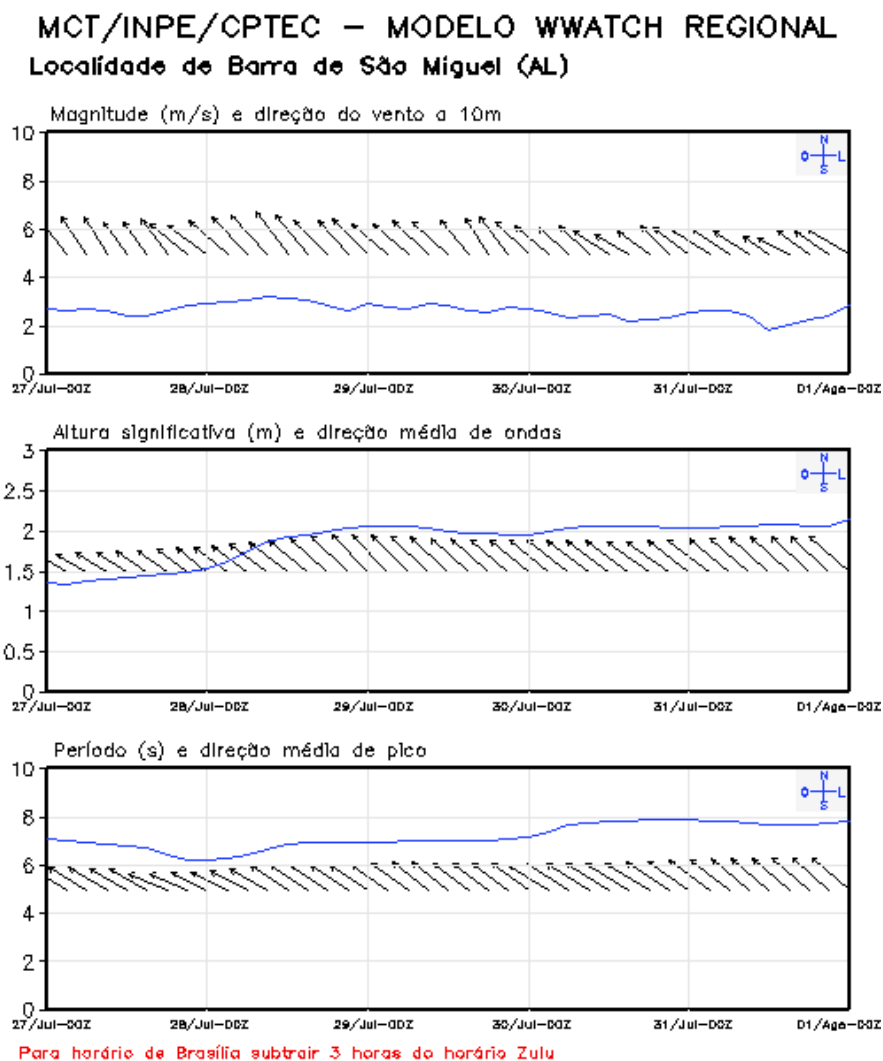


Figura 4 – Gráficos esquemático para vento, dados de maré e ondas (Fonte: INMET,2005).

II.4.2. Índice Pluviométrico

O trimestre (setembro, outubro e novembro) caracteriza-se pela diminuição considerável das chuvas no setor Leste do Estado de Alagoas. Em setembro (2001), os valores máximos oscilam entre 60 e 120 mm em Alagoas, Sergipe. Valores inferiores a 10 mm ocorrem no oeste dos estados de Alagoas e Sergipe. Em novembro os valores máximos de precipitação são inferiores a 10 mm nos estados de Alagoas e Sergipe.

O índice de precipitação na área é bem distribuído, com maiores índices nos meses de maio a agosto, oscilando entre 380 mm e 400 mm. Os meses de menor intensidade pluviométrica são os de outubro a janeiro oscilando entre 60 mm à 95 mm de chuvas.(INMET,2005).

Os gráficos da media de chuvas de 2001 a 2005 apresentam uma distribuição bem compatível para os referidos anos. Em 2001 foi um ano atípico de poucas chuvas, já 2005 o ano da coleta tivemos chuvas bem mais distribuídas em relação a 2001, o mês de setembro se apresentou com poucas chuvas (Figuras 5 e 6).

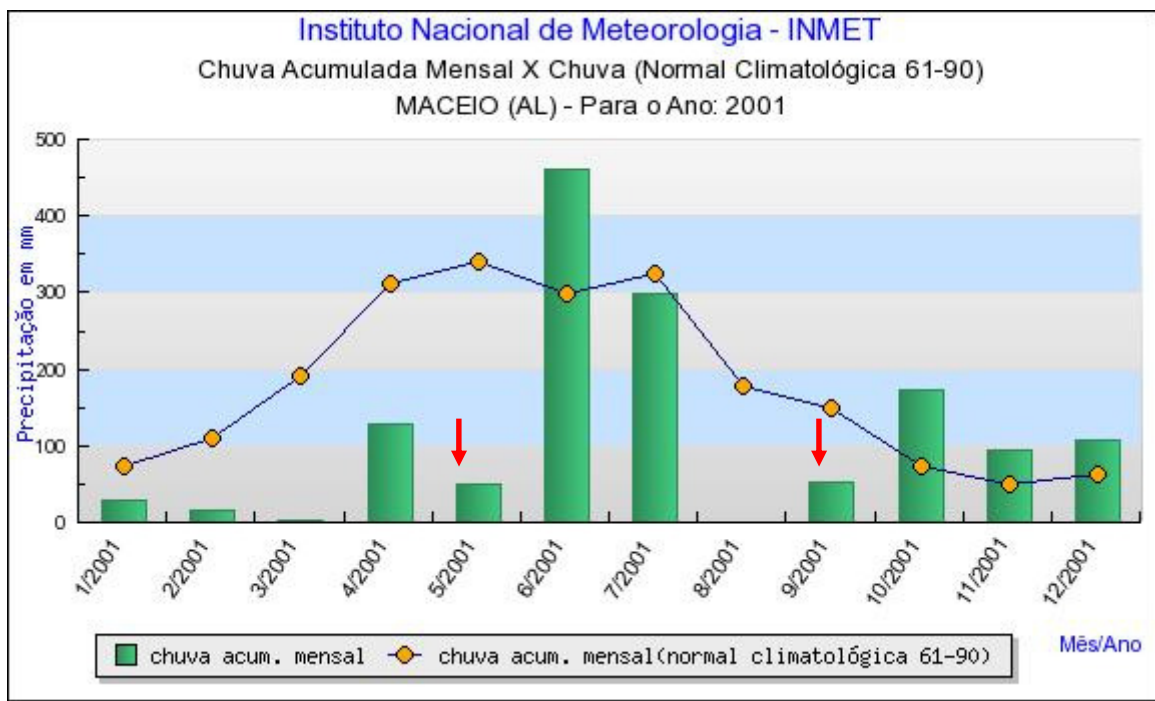


Figura 5 – Gráfico da média de chuvas para 2001 (Fonte: INMET, 2001)

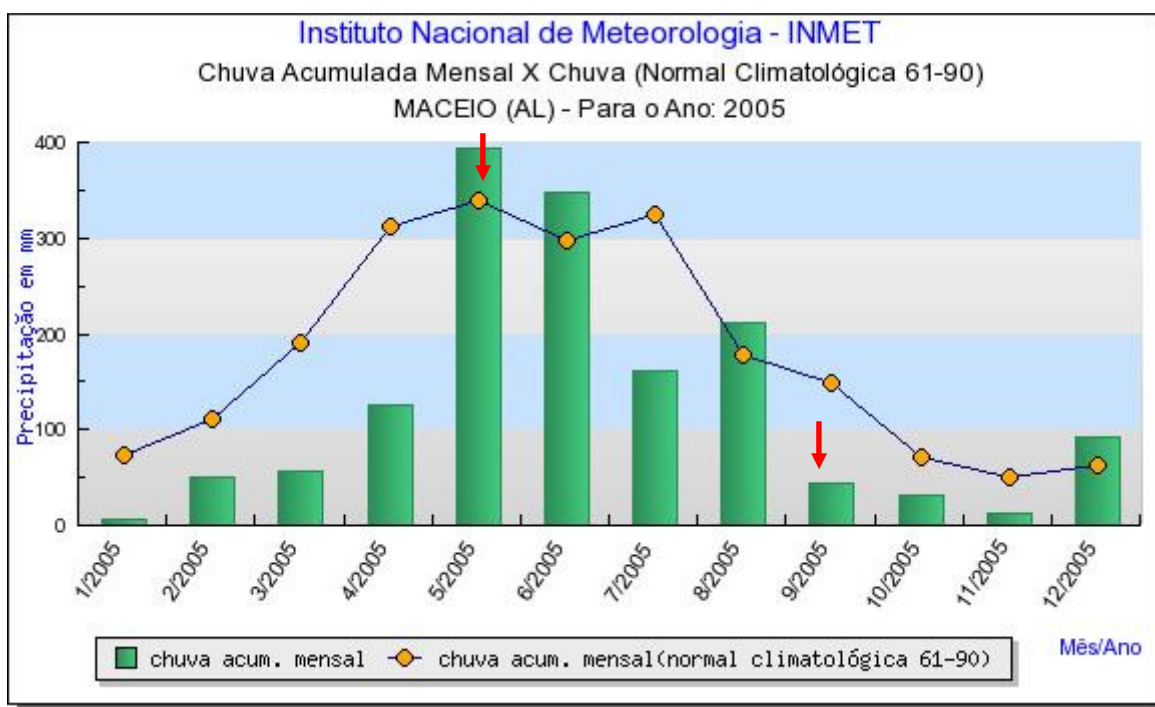


Figura 6 – Gráfico da média de chuvas para 2005 (Fonte: INMET, 2005)

II.4.3 – Temperatura

A área apresenta homogeneidade na distribuição espacial da temperatura, com amplitudes térmicas no decorrer do ano podendo chegar a 30°C . As médias anuais de temperatura variam de 22° a 25°C .

O período é caracterizado pelo aumento gradativo das temperaturas a partir da segunda quinzena de setembro. Em setembro, os valores máximos, superiores a 28°C , ocorrem entre os dias 20 e 21 de setembro de 2005; os mínimos inferiores a 15°C , são observados nos dias 4 e 7 de setembro (Figura 7)

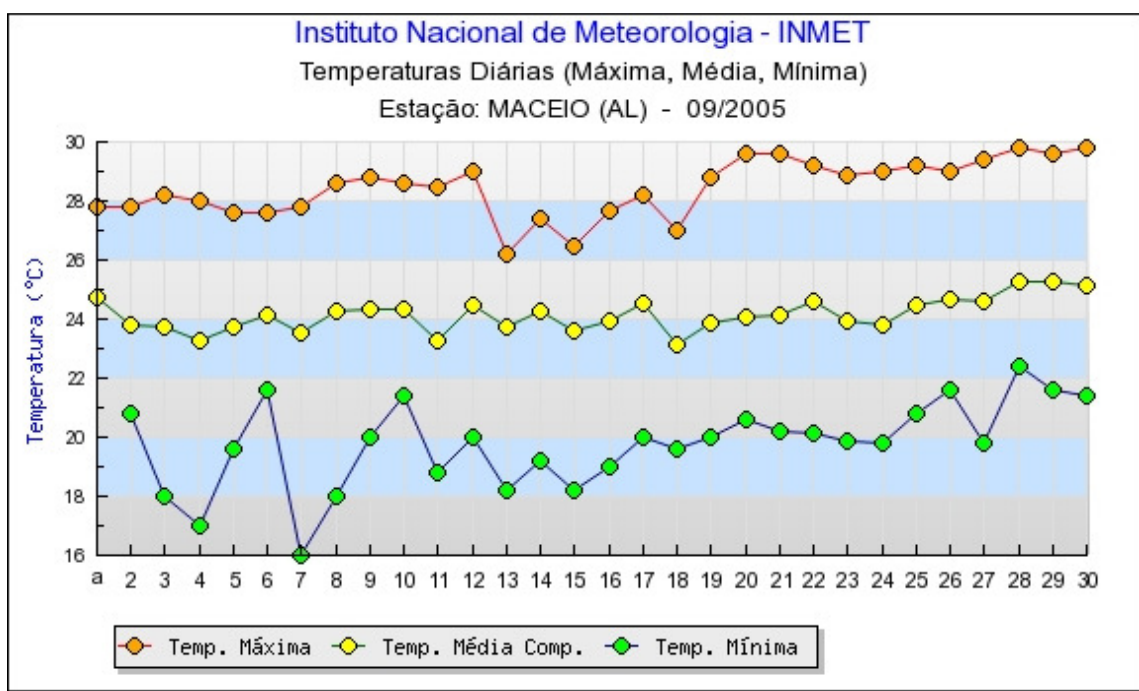


Figura 7 – Gráfico da média para temperaturas referentes ao mês 09/2005. (Fonte: INMET,2005)

II.4.5. Balanço Hídrico

O balanço hídrico baseou-se no método de THORWTHWAITE, (Figura 8). A evapotranspiração potencial (Etp) é um dado para indicar a necessidade de água por unidade de área, ou seja, a água teoricamente necessária para manter a vegetação verde durante todo o ano. É função direta da temperatura.

A evapotranspiração real (Etr) corresponde à quantidade de água que, nas condições reais, se evapora do solo e transpira das plantas. O excedente hídrico corresponde à precipitação que não é absorvida pelo solo, nem evapotranspirada, incorpora-se à rede de drenagem e aos aquíferos subterrâneos (Figuras 9 e 10).

Déficit hídrico é o saldo negativo que ocorre após o início da estação seca. Com base no balanço hídrico, pode-se dizer que o fitoclima apresenta uma curta estação, curva térmica positiva com temperaturas médias no mês mais frio superior a 20⁰ C.

Latitude: 9,67 S **Longitude:** 35,70 W **Altitude:** 65 m **Período:** 1961-1990

Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	ARM (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	26,2	75	138	13	86	52	0
Fev	26,3	111	129	11	113	16	0
Mar	25,3	191	124	78	124	0	0
Abr	25,9	313	126	100	126	0	165
Mai	25,1	341	115	100	115	0	226
Jun	24,3	298	99	100	99	0	199
Jul	23,7	325	94	100	94	0	231
Ago	23,5	179	93	100	93	0	86
Set	23,9	148	97	100	97	0	51
Out	24,1	73	105	73	100	5	0
Nov	24,4	52	108	42	83	25	0
Dez	24,8	62	119	24	80	39	0
TOTAIS	297,5	2.168	1.344	839	1.209	135	959
MÉDIAS	24,8	181	112	70	101	11	80

Figura 8 – Dados do balanço hídrico da área. (Fonte: INMET, 2005).

LEGENDA: Temperatura (T), Evapotranspiração potencial (ETP), Precipitação (P), Deficiência Hídrica (DEF), Armazenamento (ARM), Evapotranspiração real (ETR), Excedente (EXC.).

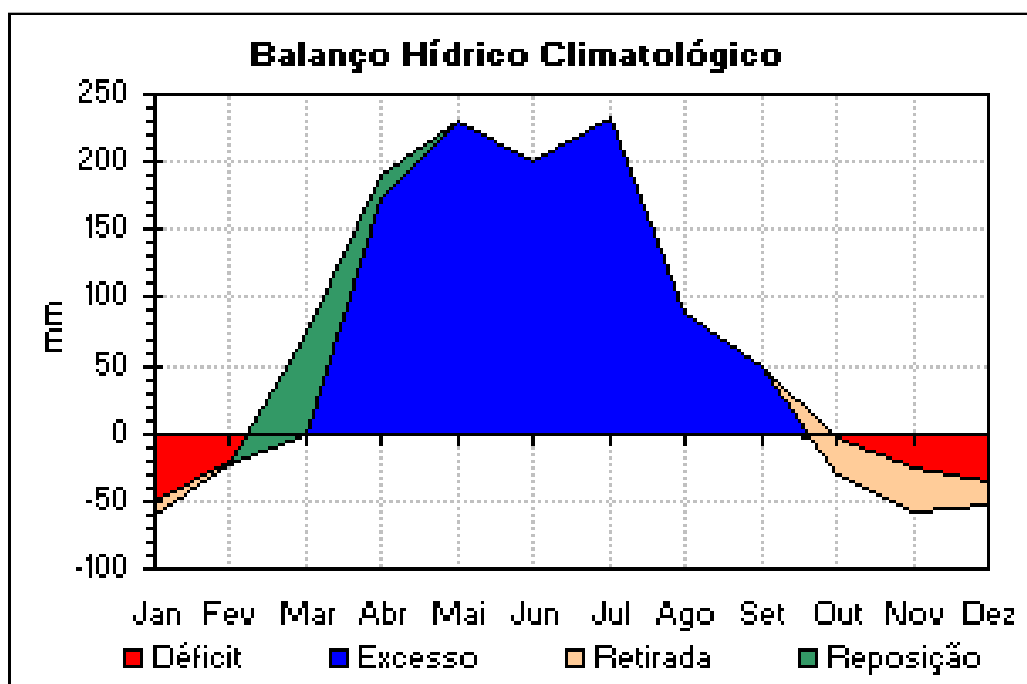


Figura 9 – Gráfico do Balanço Hídrico Climatológico, período 1961 a 1990 (Fonte: INMET, 2005)

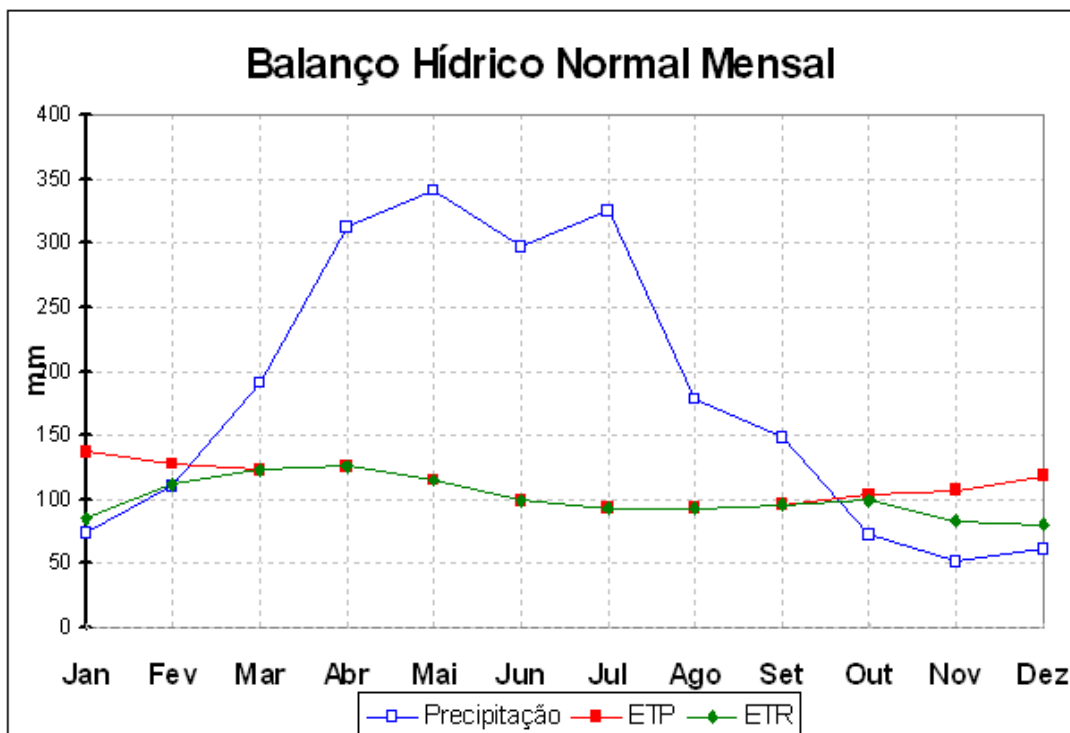


Figura 10 – Gráfico do Balanço Hídrico (Fonte:INMET,2005).

II.5. BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO MIGUEL

A rede hidrográfica é extremamente rica em recursos hídricos na região e as lagoas armazenam parte desse potencial hídrico. O sistema de drenagem, por outro lado, facilita o carreamento de agrotóxicos e produtos utilizados no cultivo da cana-de-açúcar nos tabuleiros e nas encostas. Segundo Santana (1995) este processo é facilitado pelo desmatamento da Mata Atlântica nos tabuleiros.

Sob a denominação de bacias atlânticas foram incluídos os pequenos rios que deságuam no oceano e o Rio São Miguel constitui um deles. Na área de estudo este rio corre em direção sudeste, apresentando em geral, gradientes elevados (superiores a 3 m/km) e são encaixados em vales estreitos com perfil em V agudo, até atingirem as proximidades do litoral (em média 15 km) onde o gradiente cai de modo abrupto (menos de 0,3 m/km). A parte inferior desses vales é com frequência ocupada por lagunas ligadas ao oceano por sangradouros naturais, como por exemplo a laguna do Roteiro (Ponte, 1969).

Segundo o mesmo autor, apesar dos sinais de afogamento, o Rio São Miguel deságua no oceano através de barras assoreadas, denunciando uma tendência de soerguimento

muito recente, posterior a um período de afundamento. A maioria dos cursos d'água mostra sensível angularidade, denunciando possível controle estrutural. O Rio São Miguel possui características de vales sinclinais, amplos e cursos cheios de meandros recebendo afluentes perpendiculares à sua direção média.

A bacia hidrográfica do rio São Miguel está totalmente localizada no Estado de Alagoas, com uma área de 675,62 km² (Figuras 11 e 12), indo desde suas nascentes, na Zona da Mata até a formação do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro. Localizam-se nesta bacia as cidades de Tanque D'arca, Marimondo, Anadia, Boca da Mata e São Miguel dos Campos. Tem suas nascentes no patamar cristalino de 500 m de altitude, próximo à cidade de Mar Vermelho, vem descendo e cruza uma faixa de escarpa cristalina oriental a seguir a depressão periférica até alcançar o tabuleiro com suas falésias, chegando à laguna do Roteiro (Lima, 1965 *apud* Santana, 1995). A sua forma alongada se mostra bastante favorável a não possibilidades de ocorrer enchentes. O rio é de 6^a ordem o que mostra uma ramificação de contribuintes.

O Sistema Estuarino Lagunar tem ao norte o divisor de água, no interflúvio com a bacia do Rio Niquim, ao sul as nascentes dos riachos Tabuados e Doce, e o interflúvio com a Lagoa de Jequiá, a oeste a desembocadura do Rio São Miguel, e a leste o Oceano Atlântico. É alimentado pela bacia do Rio São Miguel e por um conjunto de riachos que formam um padrão de drenagem dentrítica endorreica, com direcionamento consequente.

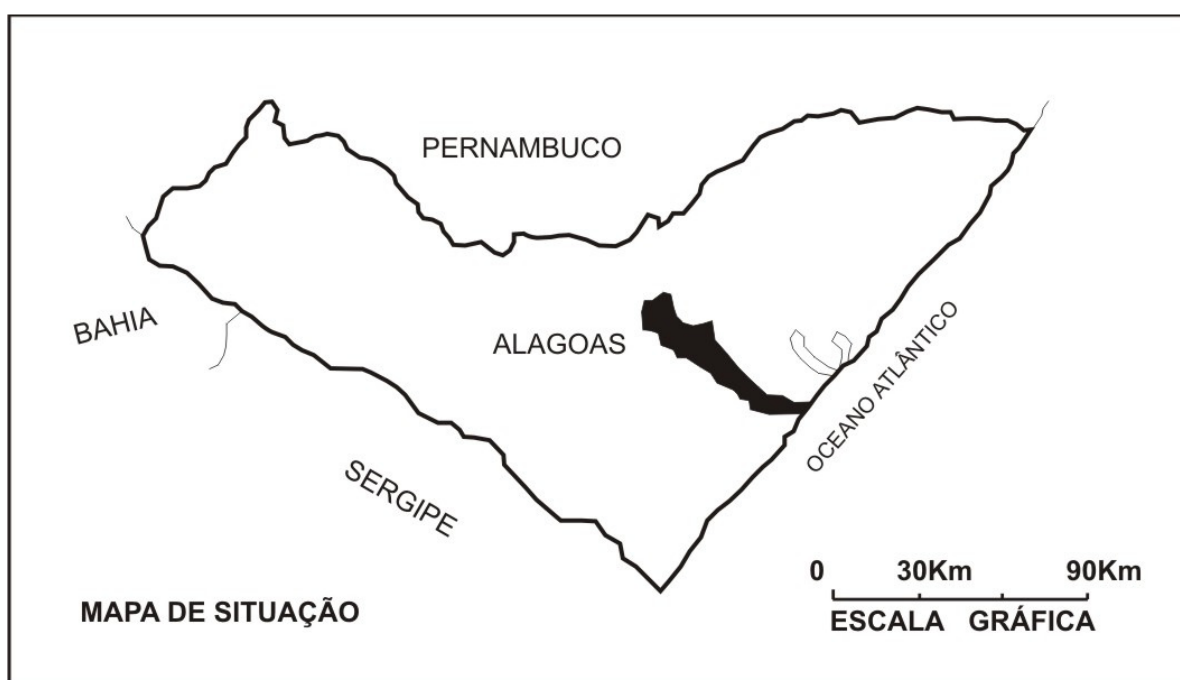


Figura 11 - Localização geográfica da Bacia do Rio São Miguel no Estado de Alagoas.

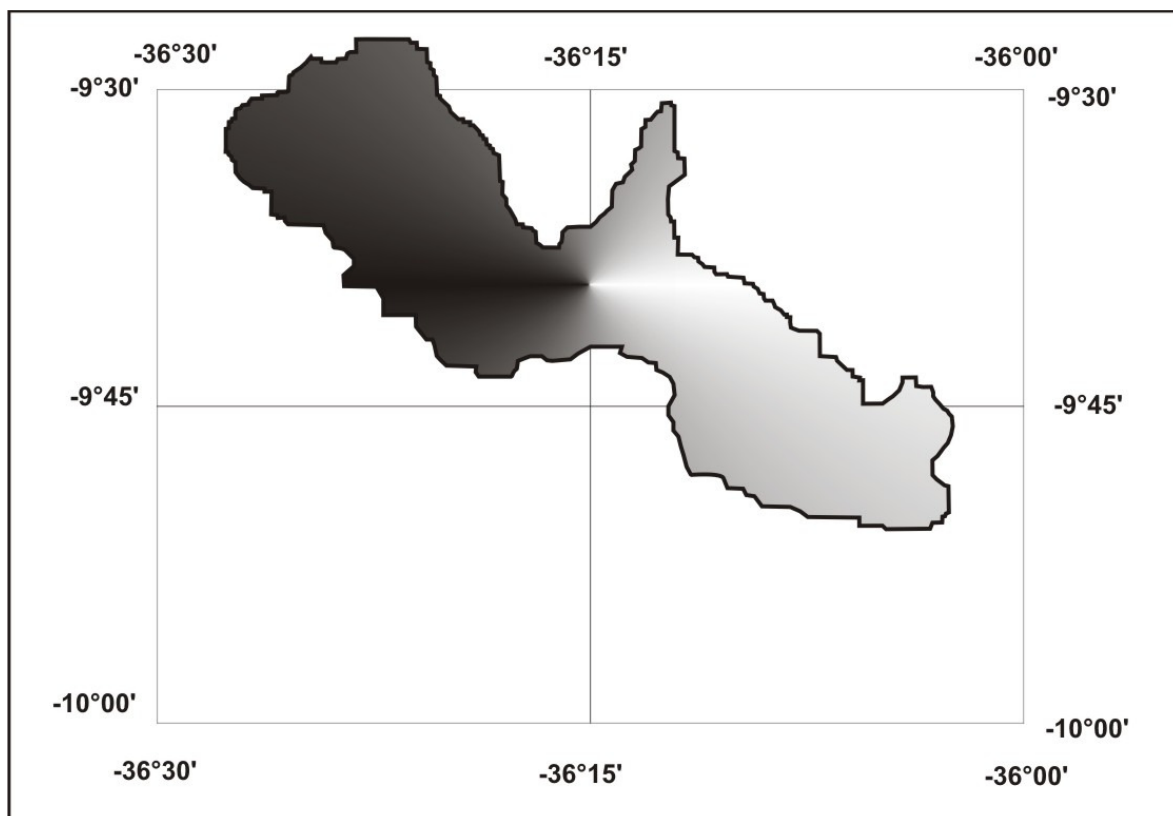


Figura 12 - Distribuição da bacia do Rio São Miguel com relação aos mapas topográficos.

II.6. VEGETAÇÃO

A vegetação natural encontra-se totalmente degradada. Atualmente na área ocorrem remanescentes de floresta ombrófila aberta secundária e vegetação pioneira sob influência flúvio-marinha, conhecida por manguezais, além das várzeas, que juntos, ladeiam as duas margens da laguna. A cobertura vegetal está associada a morfologia da área, ou seja, aos tabuleiros costeiros, as planícies flúvio-marinhas, as planícies lagunar e marinha. Outro tipo de vegetação bastante comum é a rasteira que ocorre nas praias onde encontraremos espécies como *Scaevola plumeri*, *Mariscus pedunculatus* (pinheiro-de-praia), *Turnera ulmifolia* (chanana), *Ipomoea littoralis* (salsa - branca) (Figura 13), *Canavalia rosea* (feijão-da-praia) e *Chamaecrista ramosa*.

Na planície litorânea ocorre o cultivo do coco da bahia de forma isolada nas proximidades da laguna e da praia do Gunga (Figura 14). Nos últimos 30 anos a área vem sofrendo sérios problemas ambientais, que tiveram início com a implantação do PROALCOOL, quando a vegetação de Mata Atlântica, de grande porte com árvores que compreendiam cerca de 100 m de altura e grande diâmetro, foi retirada para ceder lugar à

monocultura da cana-de-açúcar. Esta ocupa os topos e parte das encostas de declividade fraca e dos tabuleiros. Nas encostas da margem esquerda, de declividade acentuada, ocorre vegetação de mata ciliar. (Figuras 15 e 16)



Figura 13 - *Ipomoea littoralis* (salsa - branca)



Figura 14 – Área de restinga e coqueirais na margem direita do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro (Fonte: Bayma,2006).

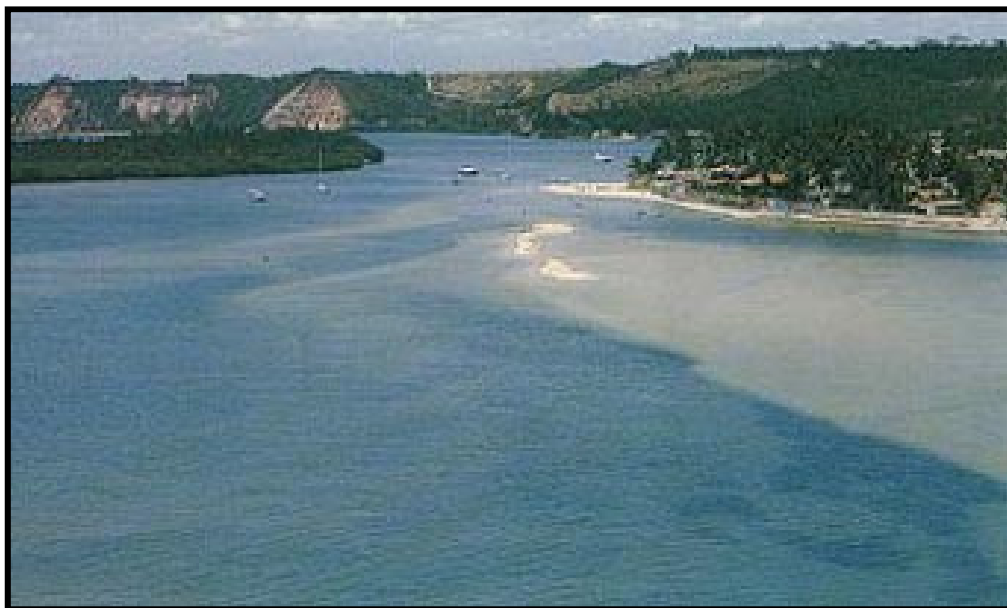


Figura 15 -Vista parcial das encostas de Mata Atlântica da Barra de São Miguel. (fonte: www.turismomaceio.com.br)



Figura 16 – Mata Atlântica na encosta e em cima do tabuleiro cana-de-açúcar (fonte: www.projetoarsemfim.com.br)

II.7. BIOTA

Os ambientes estuarino-lagunares presentes ao longo do litoral alagoano, apresentam uma fauna aquática muito rica e diversificada. Podemos destacar a ocorrência de mariscos

comestíveis, a grande maioria das espécies pertencente à Classe Bivalvia. São organismos geralmente coletados manualmente na região entre marés, durante o período de maré baixa.

É muito importante a ocorrência desses organismos para a comunidade que aí vive, pois servem não só de alimentação, como também consiste em renda familiar.

Alguns restaurantes localizados, na cidade de Barra de São Miguel servem estes moluscos como principais pratos típicos. Podemos citar como exemplo a ostra (*Ostrea equestris*) e o sururu (*Mytella charruana*). A ostra que é coletada no sistema estuarino-lagunar do Roteiro, é vendida nas praias locais e exportada para outros estados. O sururu, de tamanho maior que o da laguna Mundaú, tem melhor aceitação no mercado local. A distribuição espacial dessa espécie é bem menor em relação às de outras lagunas, possivelmente devido à condições ambientais impróprias. Podemos citar ainda espécies como: *Crassostrea rhizophore* (ostra), *Anomalocardia brasiliana* (maçunim), *Mactra fragilis* (taioba), *Tagelus plebeius* (unha-de-velho), *Cardisoma guaiumi* (caranguejo) e *Callinectes danae* (siri).

II.8. ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS DO SISTEMA ESTUARINO-LAGUNAR DO ROTEIRO

Os sedimentos encontrados no Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro têm, possivelmente, a sua origem relacionada: aos processos erosivos das encostas, provocados pela retirada da vegetação ciliar, favorecendo o aparecimento de vossorocas (tipo de erosão resultante do escoamento da água da chuva) e consequentemente desmoronamentos das encostas, situadas ao longo da bacia do rio São Miguel. Isto acarretou um grande aporte de sedimentos que foram carregados para o corpo lagunar, assoreando as áreas mais planas do sistema (Silva, 2001).

Estudos sedimentológicos realizados por Silva (2001), em sedimentos superficiais do fundo lagunar, identificaram, com base na classificação de Shepard (1954), quatro grupos de fácies: areia, areia lamosa, lama arenosa e lama. A fácies areia, composta predominantemente por grãos de quartzo e subordinadamente por bioclastos, de maior representatividade, predomina na área próxima a desembocadura do sistema. A fácies areia lamosa ocorre em menor escala, apenas em dois pontos do sistema, um próximo ao rio São Miguel e o outro na margem direita após a cidade de Roteiro. Já a fácies lama arenosa tem uma ocorrência maior que a areia lamosa, aparecendo em quatro pontos do sistema, três próximos a cidade de Roteiro sempre na margem direita, e o outro na ilha de mangue próximo a ponte da AL 101

sul. A fácies lama predomina mais para o interior do sistema onde a energia das marés é bem menor, facilitando a deposição dos sedimentos finos (Figuras 17).

Silva (2005), com base em descrição de testemunhos, obtidos em 3 pontos do sistema, à montante, na parte central e próximo à desembocadura, identificou a presença, nos primeiros 20 cm do topo do testemunho, das seguintes frações: argilosa nos testemunhos à montante e na parte central e ligeiramente arenoso naquele nas proximidades da desembocadura (Figura 18 e 19). Comparando estes resultados com aqueles obtidos em 2001, constata-se que as características texturais dos sedimentos superficiais de fundo do sistema foram mantidas.

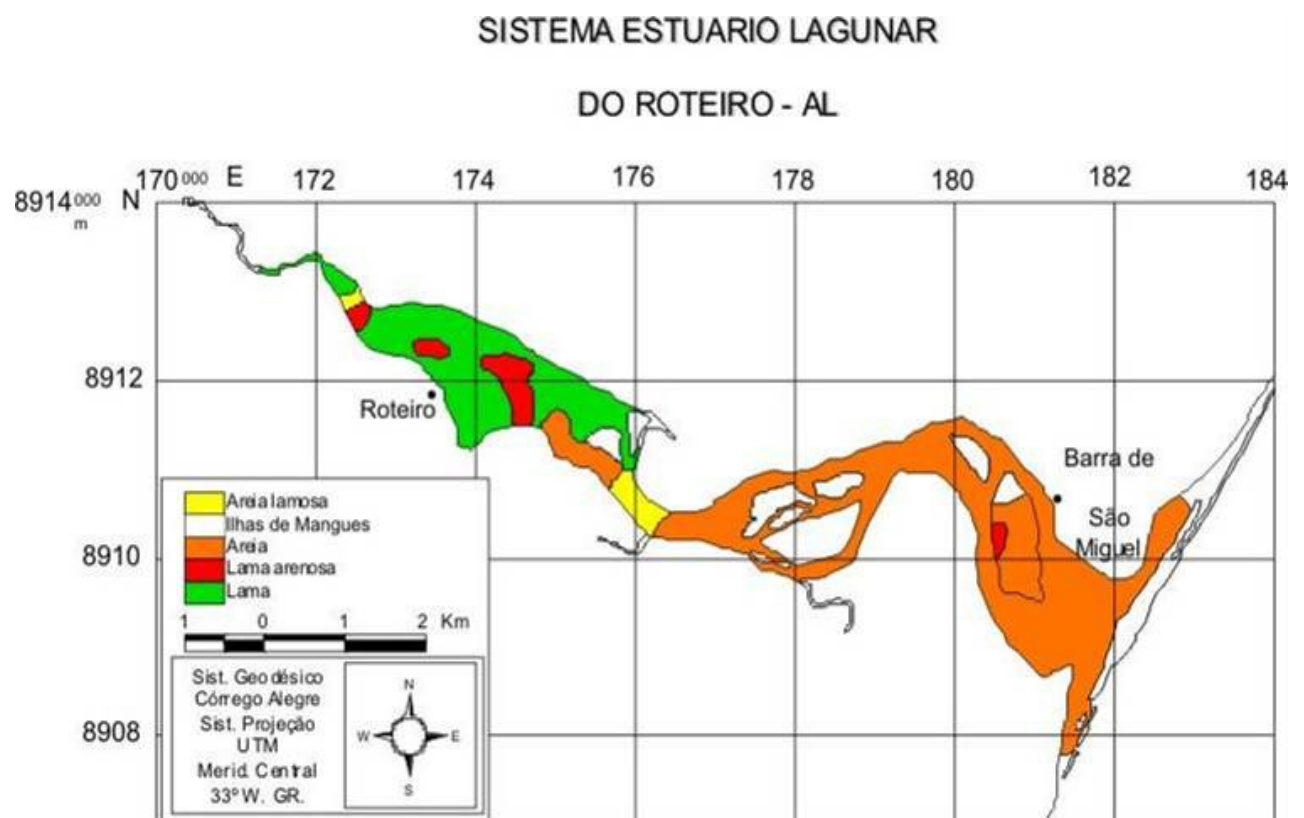


Figura 17 - Mapa da distribuição de fácies sedimentar (Fonte: Silva, 2001).

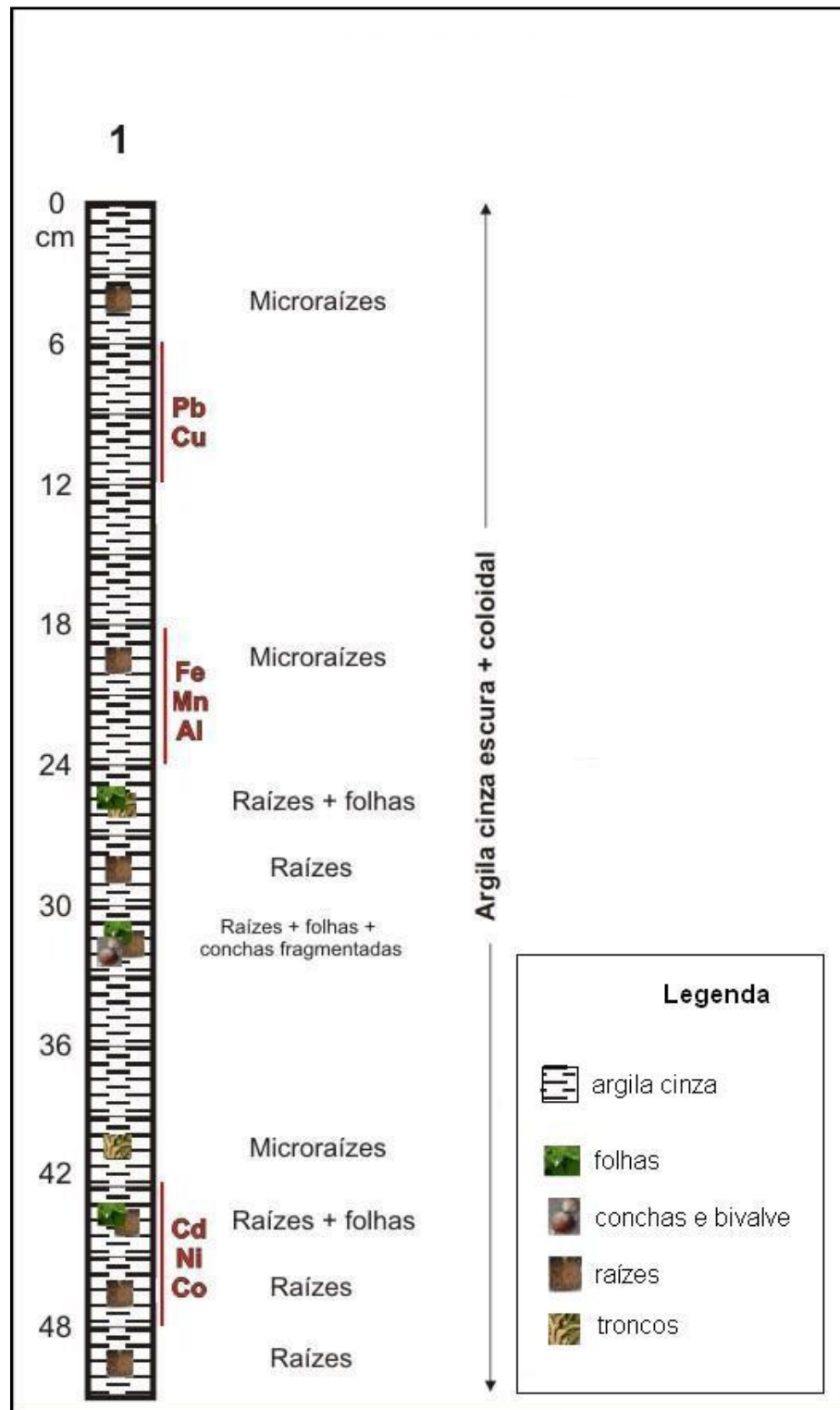


Figura 18 – Representação esquemática do testemunho 1 coletado no em 2005.

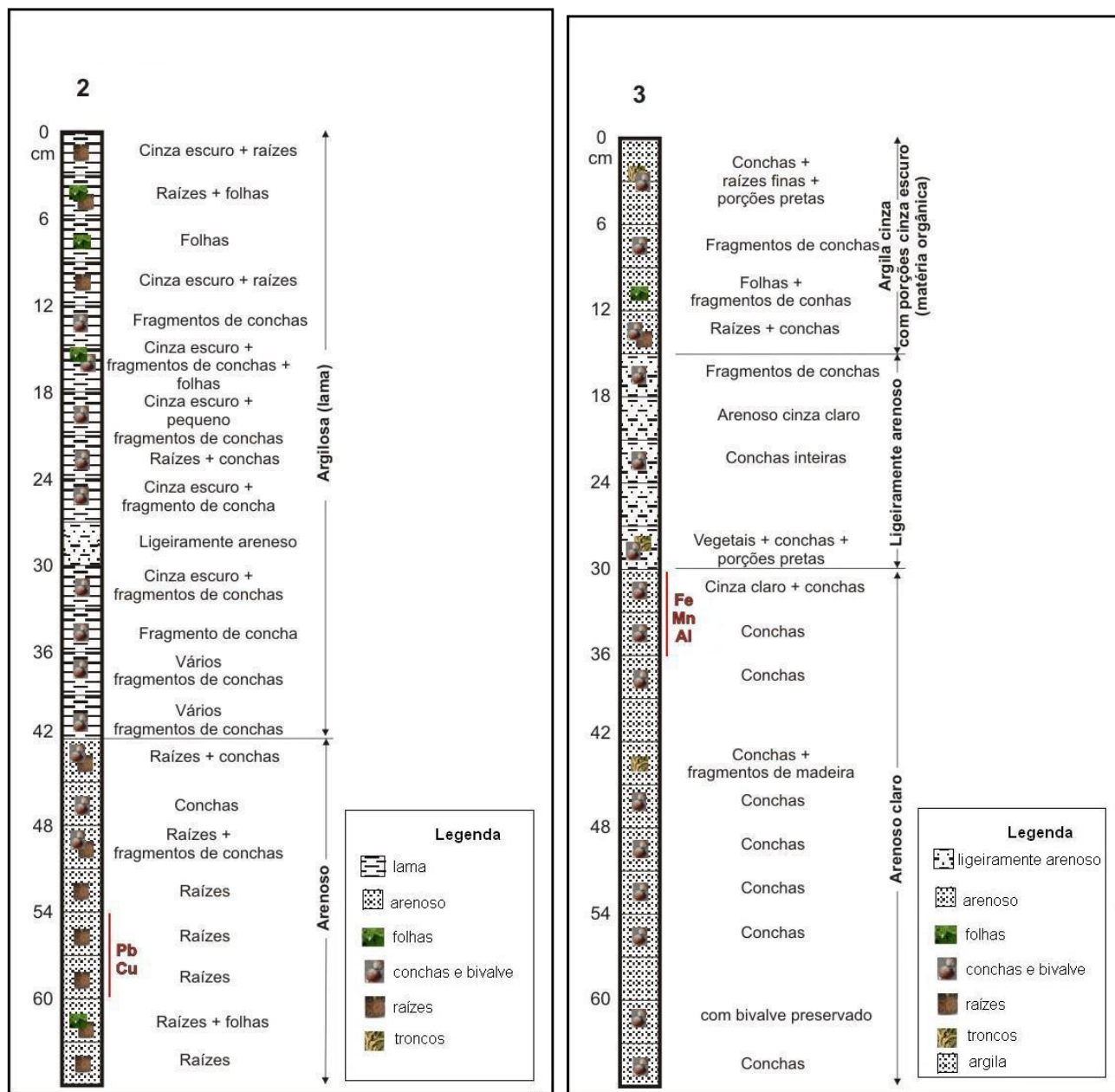


Figura 19 – Representação esquemática dos testemunhos 2 e 3 coletados em 2005.

II.9. DADOS BATIMÉTRICOS

O levantamento batimétricos no Sistema Estuarino – Lagunar realizado em 2001, mostrou diferentes pontos caracterizados por distintas profundidades, largura e forma de todo o sistema, principalmente no que diz respeito a representação dos canais. Seguindo o leito do Rio São Miguel em direção a cidade de Roteiro, a profundidade na calha do rio oscila entre 5 e 6 m, diminuindo a medida que se aproxima das margens direita e esquerda do sistema.

Na parte central do sistema, aparecem dois canais: um mais profundo, com 5m de profundidade na margem direita, e o outro, com uma profundidade de 4m próximo à margem esquerda do sistema. Esses canais estão associados à fácies areia, onde começa a maior concentração das ilhas de mangues. Ainda neste trecho onde o sedimento lamoso ocorre, localiza-se um canal próximo à margem direita do sistema com profundidade variando entre 1,5 a 2,5 m.

O fator de alteração das profundidades no sistema esta relacionado possivelmente a uma associação do aporte de sedimentos pelo rio e pelos processos de assoreamento provocados pelos desmatamentos das encostas mais íngremes na margem esquerda. No sistema estuarino-lagunar do Roteiro, todos os sedimentos das encostas são lixiviados para o corpo lagunar, diminuindo assim a profundidade do sistema.

II.10. CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLOGICO

Geologicamente, a área de estudo esta inserida na Bacia Sedimentar Sergipe - Alagoas individualizada por Feijó (1994) em Bacia Sergipe e Alagoas, devido suas diferenças estrutural e estratigráfica (Santos, 1998), (Figura 20).

O preenchimento sedimentar iniciou-se no Paleozóico Superior, com deposição dos clásticos do Grupo Igreja Nova. A Formação Barreiras, de grande expressão na área, é composta por clásticos continentais finos a grossos, de coloração variada e grau de compactação insignificante (Schaller, 1969). Estas rochas sedimentares terciárias formam um planalto pouco elevado, com altitude que varia de 30 a 150 m acima do nível do mar, correspondendo a um lençol tabular ligeiramente acunhado em direção oeste, com declividade de aproximadamente 3 m/km (Ponte, 1969).

Os sedimentos quaternários são representados por terraços pleistocênico e holocênico que testemunham dois períodos de variação do nível do mar. Segundo Barbosa (1985) na margem direita do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro observa-se terraços marinhos pleistocênicos, cuja topografia é de forma abaulada, como se fosse um grande cordão litorâneo. Provavelmente, esta feição está associada à formação de uma ilha-barreira, o que, pelo fato de ser elevada 9m acima do nível do mar atual, não foi arrasada pela Última Transgressão, ficando assim preservada.

Os terraços pleistocênicos (6 a 8 m), mostram topo aplainado e algumas lineações demarcando os alinhamentos dos antigos cordões litorâneos, recortados por zonas alagadiças.

Os terraços holocênicos em nível mais baixo, 5m, testemunham a última transgressão, quando o nível marinho esteve entre 3 e 5 m acima do atual. Aluviões ocorrem associados aos leitos dos rios, normalmente em áreas com larguras reduzidas. Inicia o seu desenvolvimento nos médios cursos, crescendo à medida que se aproximam dos baixos cursos e, nas embocaduras, alcançam larguras consideráveis próximo à costa.

Gemorfologicamente o Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro é representado por três unidades bem caracterizadas: o tabuleiro costeiro, as encostas de estuário e as planícies marinhas e flúvio-marinhas, (Silva, 1997). Os tabuleiros costeiros são representados pelos sedimentos terciários da Formação Barreiras.

Essa morfologia dá origem aos interflúvios tabuliformes dissecados, forma que ocorre em toda área da laguna e apresenta topos planos seccionados por rios e lagoas que o dissecam, dando origem a encostas com perfis íngremes, rebaixadas e menos escarpadas (Figura 21).

O trabalho erosivo é realizado pelos cursos d'água que correm para as lagoas do Roteiro e Jequiá, por riachos que correm em direção ao oceano, formando pequenas lagoas temporárias (Doce e Comprida) e permanentes (Azeda, Taboado e Jacarecica) (Costa, 1980). Segundo Silva (1997) na margem direita do sistema, observa-se a ocorrência de colinas com altitudes que variam de 20 a 50 metros, separadas do tabuleiro por cursos d'água ou por nascentes de pequenos riachos.

A erosão regressiva nos processos fluviais origina colos, áreas rebaixadas, entre os segmentos da encosta e as colinas de topo tabular. A unidade das planícies desenvolve-se no sopé das encostas, separando-as do oceano e do corpo lagunar.

A planície marinha é constituída por areias quartzosas, transportadas e depositadas pelos processos marinhos. A planície flúvio-marinha localizada ao longo da área lagunar recebe influência da água salgada, que durante a maré alta circula na laguna criando as condições necessárias para o aparecimento dos manguezais, ecossistema que esta presente nesta unidade, e que por sua importância ecológica são Áreas de Proteção Permanente - APP. Próximo à embocadura são encontradas ilhas cobertas de mangues, que fazem parte desta unidade (Silva, 1997).

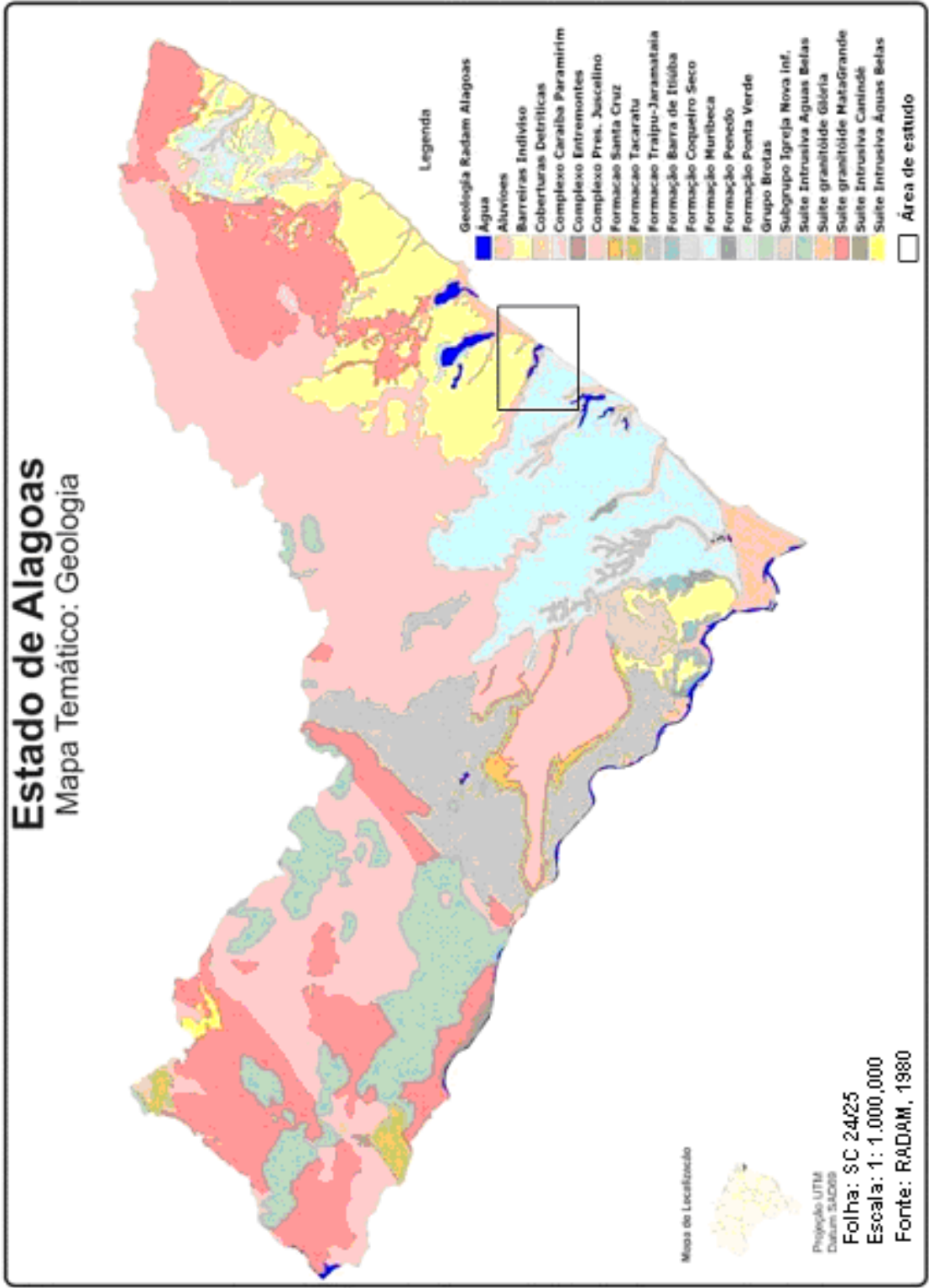


Figura 20 – Mapa geológico do Estado de Alagoas (Base Cartográfica: GEOPAK.CPRM,2008)

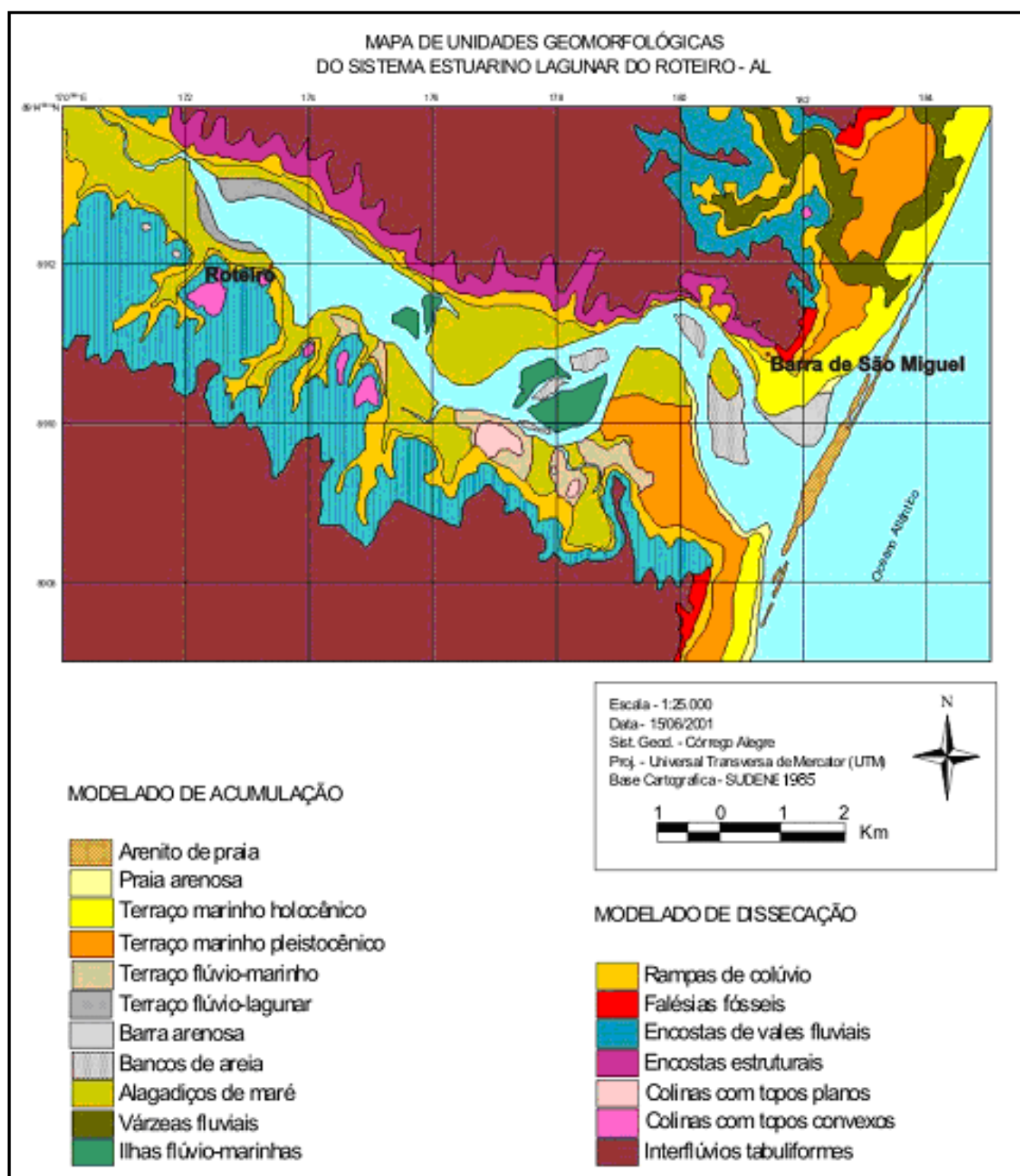


Figura 21 - Mapa geomorfológico da área estudada. (Fonte: Silva,A.P.; Junior,S.A.; Costa,J.A. 2001).

Os rochas de praia formam uma faixa paralela à linha de costa, ocorrendo desde a praia do Francês até a do Gunga, funcionando como quebra-mar natural originando uma piscina natural que protege da ação das ondas parte deste setor costeiro (Figura 22).

Nos últimos anos observou-se a formação de bancos arenosos próximo ao canal de comunicação do Sistema Estuarino e o mar, provavelmente associados à retirada da vegetação ao longo da bacia hidrográfica do Rio São Miguel e nos tabuleiros costeiros inseridos na área e a influencia das correntes flúvio-marinhas, contribuindo assim para formação dos mesmos. Segundo Barbosa (1985), com base em datação realizada em conchas de *Anomalocardia brasiliiana*, as rochas de praia que aparecem próxima a área tem idade entre 7.470 ± 200 e 3.720 ± 180 anos A. P. indicando níveis marinhos holocênicos elevados de até 1,3 m acima do nível atual (Figura 23)

As praias resultam da deposição de sedimentos arenosos por ação das ondas, marés e correntes locais. Correspondem a uma faixa de areia bem selecionada que se estende por aproximadamente 3 km na parte norte, até o canal de comunicação. Na parte sul segue por mais 6 km na faixa litorânea do município de Roteiro. Esta feição limita-se no interior com terraços marinhos holocênicos.

Esta laguna tem sua origem ligada ao afogamento do baixo vale do Rio São Miguel durante os dois últimos períodos transgressivos e o posterior estreitamento da barra, com a deposição dos dois níveis de terraços e a formação de rochas de praia. Atualmente o processo de sedimentação continua com o aparecimento de barras e bancos arenosos.



Figura 22 – Rochas de praia que barram o Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro

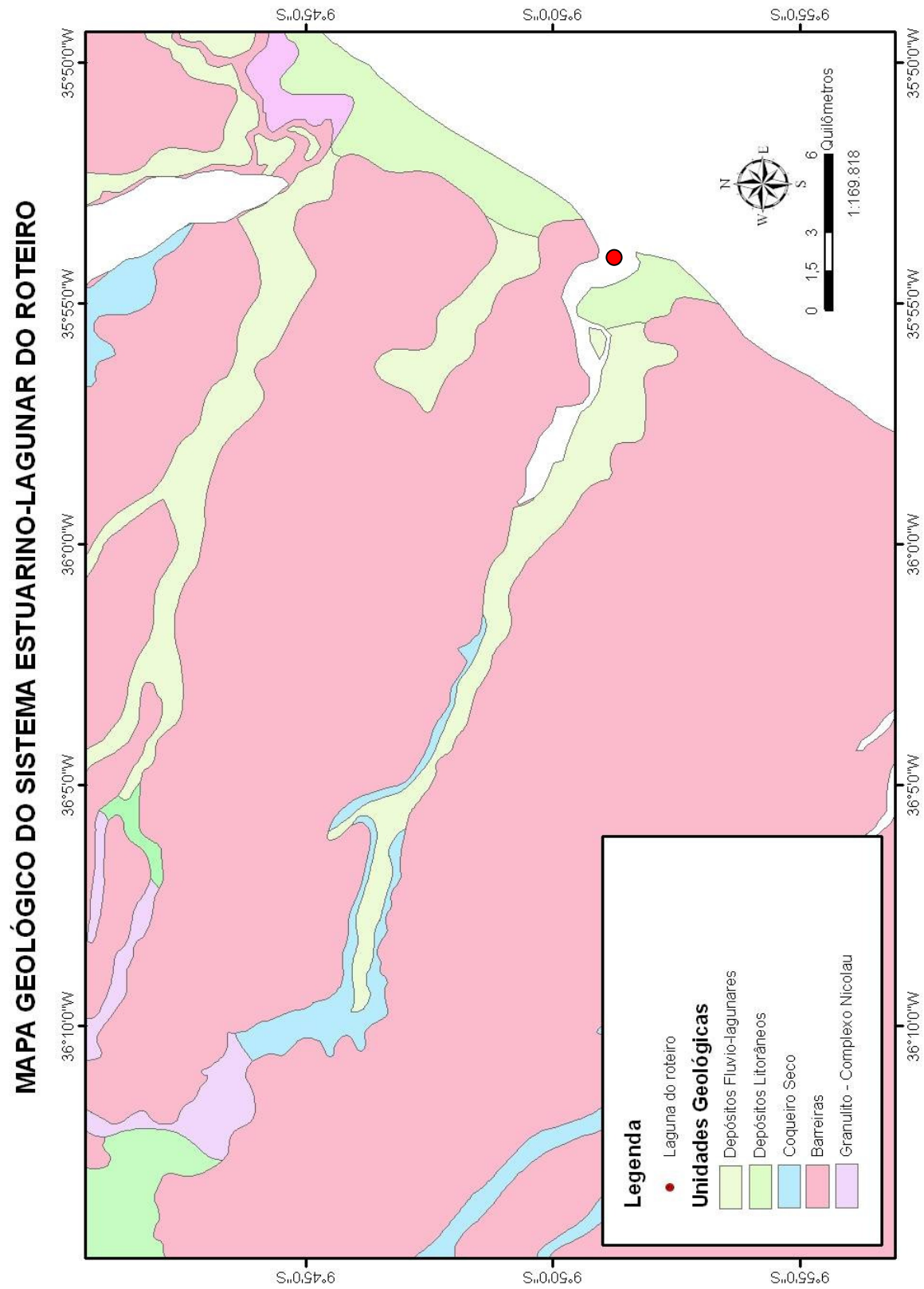


Figura 23 – Mapa geológico do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro (Base Cartográfica: CPRM, 2008)

II.11. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

A acelerada degradação dos recursos naturais compromete a qualidade de vida das atuais e futuras gerações e, por outro lado, leva a sociedade a buscar modelos alternativos que harmonizem o desenvolvimento econômico com a indispensável proteção do meio ambiente.

Os manguezais são ecossistemas de alta produtividade biológica, sendo responsáveis por parte considerável dos recursos marinho, pois são áreas de criação, refúgio permanente ou temporário para muitas espécies de peixes, crustáceos ou moluscos. Até as primeiras décadas do século XX, a exploração dos manguezais era relativamente limitada às comunidades, litorâneas. No nordeste as áreas de mangues eram utilizadas para viveiros construídos nos estuários para retenção e engorda de espécies de peixes estuarinos. Os galhos eram utilizados para fabricação de barcos e habitats artificiais.

Em período recente, no entanto, os manguezais eram usados para a construção civil com a retirada de madeira. Essa atividade, ainda que realizada por pessoas que vivem do mangue, é influenciada por fatores econômicos e políticos a essa comunidade e tem contribuído para degradação desse ecossistema principalmente em Alagoas com inúmeras ocorrências. Pesquisadores têm estudado os ambientes estuarinos lagunares ao longo do litoral alagoano, seja no âmbito ambiental, sócio-econômico e mais recentemente na área do turismo.

O Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro (Figura 24) engloba ainda os Manguezais mais preservados de toda costa Alagoana, o que desperta o interesse de diversos segmentos turísticos do estado, fazendo com que a área necessite de vários estudos ambientais para que se desenvolva essa atividade sem colocar em risco a preservação desse ecossistema.



Figura 24 – Manguezais do Roteiro, Alagoas (Bayma, 2005).

II.12. ANÁLISE DOS PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS POTENCIALMENTE EXISTENTES NA ÁREA DO SISTEMA ESTUARINO LAGUNAR DO ROTEIRO

O atual processo de degradação ambiental pelo qual vem passando o Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro configura um estado médio de desequilíbrio ainda fácil de ser revertido, através das diferentes estratégias de gestão ambiental (Quadro 01). Nas diferentes situações encontradas como problemas ambientais, o elemento comum está na diversidade dos problemas, na fragilidade dos ambientes encontrados, na complexidade de sua gestão, com uma demanda enorme por capacitação e mobilização dos diversos atores envolvidos, necessitando de intervenções integradas.

Quadro 01 - Identificação dos Impactos Ambientais Negativos sobre o Meio Físico (Adaptado por Silva, 2008)

FATOR AMBIENTAL	AÇÕES	IMPACTOS PREVISTOS
Geologia e Geomorfologia	Retirada de sedimentos das formações geológicas na área.	- Mudanças na paisagem local
Solos e Capacidade de Uso das Terras	Uso do solo e sua capacidade de forma indiscriminada pela a construção civil.	- Desaparecimento de áreas de cobertura vegetal; - Degradação de solos para a construção de empreendimentos imobiliários e processo de urbanização.
Uso atual do solo	Utilização do solo sem o devido planejamento.	- Mudanças no uso do solo; - Intensificação dos processos erosivos, com decorrente assoreamento na desembocadura do sistema e contaminação da água por despejo de efluentes das cidades circunvizinhas;
Recursos hídricos	Despejos de resíduos domésticos e industriais; Retirada da cobertura vegetal na área.	- Contaminação das águas; - Erosão das margens

Dentre os principais processos antrópicos atuantes no sistema temos:

- Urbanização – o crescimento populacional ocorrente é a principal forma de pressão no ambiente costeiro. A construção de casas e condomínios fechados em áreas de alta sensibilidade ambiental como o estuário, a falta e deficiência de saneamento básico, junto com as atividades de agricultura e atividades urbanas, degradam os ambientes naturais através da poluição orgânica, deposição de sedimentos e deteriorização dos habitats naturais.

- Assoreamento – o acúmulo de sedimentos no fundo do sistema vem a cada ano crescendo muito, diminuindo assim a profundidade de todo o ambiente (Figura 25). Como também dificultando o acesso de barco na maré baixa a alguns trechos do sistema lagunar.



Figura 25 – Processo de assoreamento (Fonte: Bayma, 2005)

II.13. CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS DOS SISTEMAS ESTUARINOS

O elevado desenvolvimento industrial ocorrido nas últimas décadas tem sido um dos principais responsáveis pela elevada contaminação ambiental, seja pela deficiência no tratamento dos efluentes antes de sua disposição final, ou por acidentes cada vez mais frequentes, que propiciam o lançamento não planejado de rejeitos nos ambientes aquáticos. Os estuários e as lagoas costeiras são ambientes que possuem menor energia hidrodinâmica que os rios que deságuam nestes corpos hídricos. Conseqüentemente, o material particulado em suspensão oriundo da descarga fluvial perde energia ao chegar nestes ambientes, sendo depositado no fundo. Por esse motivo, estuários e lagoas costeiras são ambientes propícios para o estudo da evolução do aporte sedimentar de várias décadas e até centenas de anos, possibilitando avaliar a história da poluição local (Freitas, 2002).

As atividades antropogênicas através da introdução de uma grande quantidade de poluentes nestes ambientes destroem o equilíbrio natural e expõem populações humanas a riscos de saúde. Os metais pesados são causadores de muitos efeitos negativos para saúde

humana, principalmente através da contaminação ambiental, e a remediação da poluição por metais se torna difícil devido à sua alta persistência e sua baixa degradação no ambiente (Freitas, 2002).

Os metais são elementos amplamente distribuídos pela crosta terrestre e, juntamente com os outros elementos, fazem parte da estrutura cristalina das rochas. Enquanto alguns metais são essenciais para a sobrevivência do homem, outros são essenciais para o funcionamento da sociedade moderna, onde as transformações em produtos manufaturados tornaram-se uma condição necessária para a vida e o desenvolvimento do homem (Kjellstrom, 1984).

Os metais-traços tem sido transportados ao longo do ciclo hidrológico desde a primeira ocorrência de água no planeta. A água fornece o meio para o intemperismo nos continentes bem como o meio para transportar os metais-traços, (Salomons & Förstner 1984 *apud* Brayner 1998).

Os metais pesados podem chegar aos ambientes lagunares por diversas formas de transporte, como, por exemplo, através da descarga fluvial, por deposição atmosférica, pela entrada de água marinha ou mesmo por percolação de água a partir do lençol freático. Em lagoas costeiras situadas em áreas altamente urbanizadas, o escoamento superficial, pode ser a principal fonte de poluição para esses ambientes. Nos estuários e lagoas costeiras pode ocorrer uma série de processos químicos, físico-químicos e geoquímicos. Estes processos podem reter no sedimento tanto os metais trocáveis quanto os associados a diversos substratos, por exemplo, óxidos e hidróxidos de ferro e manganês, carbonatos, sulfetos e matéria orgânica (Pestana, 1989).

Nesse caso os ecossistemas de manguezais apresentam diversas características relevantes que favorecem a retenção e a acumulação de metais pesados, dentre as quais se destacam, a distribuição de partículas finas, de matéria orgânica e dos metais associados a essas partículas. Os sedimentos desses ambientes são geralmente anóxicos, devido ao consumo de oxigênio durante o processo de decomposição da matéria orgânica presente nos sedimentos. A concentração dos metais pesados em ecossistemas de manguezais é altamente dependente das características físico-químicas de seus sedimentos (Pestana, 1989).

A cobertura vegetal também exerce influência sobre esses parâmetros, podendo modificar as características dos sedimentos na sua capacidade de reter metais pesados.

O sistema estuarino lagunar do Roteiro apresenta uma característica semelhante a essas áreas de manguezais, no qual se localiza a maior área contínua de manguezais do estado de Alagoas.

II.14. ASPECTOS TEÓRICOS DA GEOCRONOLOGIA DE SEDIMENTOS

Os radioisótopos são empregados nas mais diversas áreas, como por exemplo para obtenção de alimentos mais resistentes, detecção de doenças, produção de energia elétrica, entre outros. Porém, na geoquímica é usada no estudo da história da sedimentação, e conseqüentemente, nos processos envolvidos.

A figura 26 mostra os principais produtos do decaimento ^{238}U e ^{235}U com seus respectivos $t_{1/2}$ (tempo de meia vida) alguns produtos intermediários com $t_{1/2}$ muito curto (na ordem de segundos) estão omitidos. Os isótopos mais utilizados para datação são ^{238}U e ^{235}U , e ^{210}Pb . O último produto da série de decaimento do urânio 238 e 235 é o estável ^{206}Pb e ^{207}Pb , respectivamente.

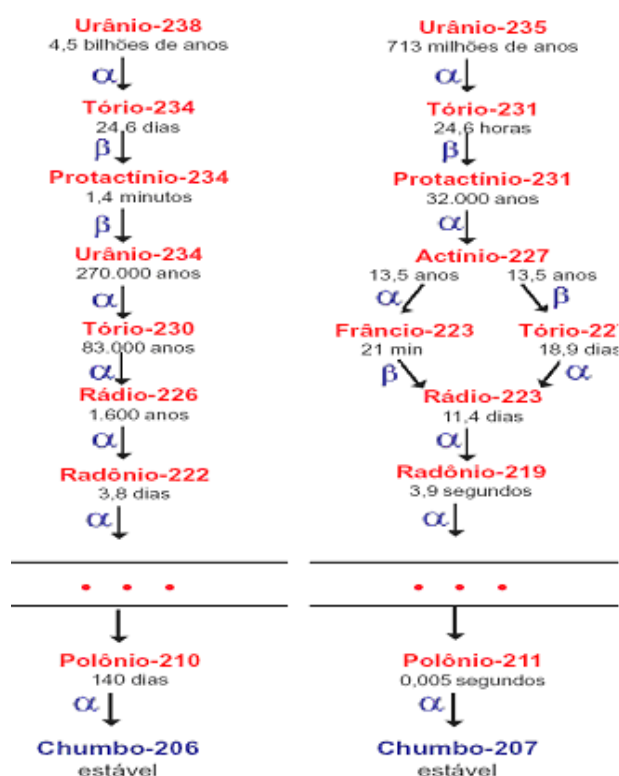


Figura 26 - Decaimento do núcleo do ^{238}U , ilustrando as partículas alfa e beta emitidas no processo de transmutação e o tempo de vida média correspondente a cada elemento intermediário, chegando a estabilidade somente na forma de ^{206}Pb e ^{207}Pb . (Fonte: CNEN, 2008).

A datação com chumbo, ^{210}Pb ($t_{1/2}=22,3$ anos) da série ^{238}U proveniente da atmosfera, como consequência do decaimento do ^{222}Rn ($t_{1/2}=3,8$ dias), emanado do solo, representa uma ferramenta muito eficaz para o estabelecimento da cronologia em sedimentos recentes (até 100 anos). Essa fração de ^{210}Pb proveniente da atmosfera, denomina-se, ^{210}Pb atmosférico ou não suportável radiologicamente para diferenciá-la, da outra, contida,

originalmente, no sedimento, presumivelmente, em equilíbrio com o ^{226}Ra . O método de ^{210}Pb é o mais indicado para análises de sedimentos de ambientes lagunar e estuarino para datar atividades nas camadas de menos de 100 anos as camadas mais recentes desses ambientes.

Segundo Honorato (2002) o método de datação por ^{210}Pb baseia-se na estimativa da atividade residual de ^{210}Pb não-suportado nos sedimentos, decorrente do seu arraste na atmosfera por meio das chuvas e precipitações gravitacional. O ^{210}Pb é um radionuclídeo da serie de decaimento do ^{238}U . Nas camadas mais antigas e profundas de sedimentos, os radionuclídeos da série do ^{238}U estão em equilíbrio secular. Assim, as atividades de ^{226}Ra e ^{210}Pb , por exemplo, são iguais e o ^{210}Pb é referido como “suportado”. Nas camadas mais recentes (<100anos) e menos profundas, a atividade do ^{210}Pb é maior que a do ^{226}Ra . O elemento gerador da acumulação de ^{210}Pb nos sedimentos em excesso daquela suportada pelo ^{226}Ra é o ^{222}Rn , um gás nobre que é produzido a partir do decaimento do ^{226}Ra . Por ser um gás, o ^{222}Rn emana do solo e passa para a atmosfera onde é absorvido em partículas de poeira ou aerossóis. Por efeito da chuva ou forças gravitacionais, partículas são carreadas para os ecossistemas aquáticos, onde ficam em suspensão. Posteriormente, estas partículas sofrerão um processo de deposição natural e alcançarão o fundo do corpo d’ água. Com o decorrer do tempo, haverá um acumulo de sedimentos contendo traços de ^{210}Pb . Ciclo hidro-geoquímico do ^{210}Pb é ilustrado abaixo (Figura 27).

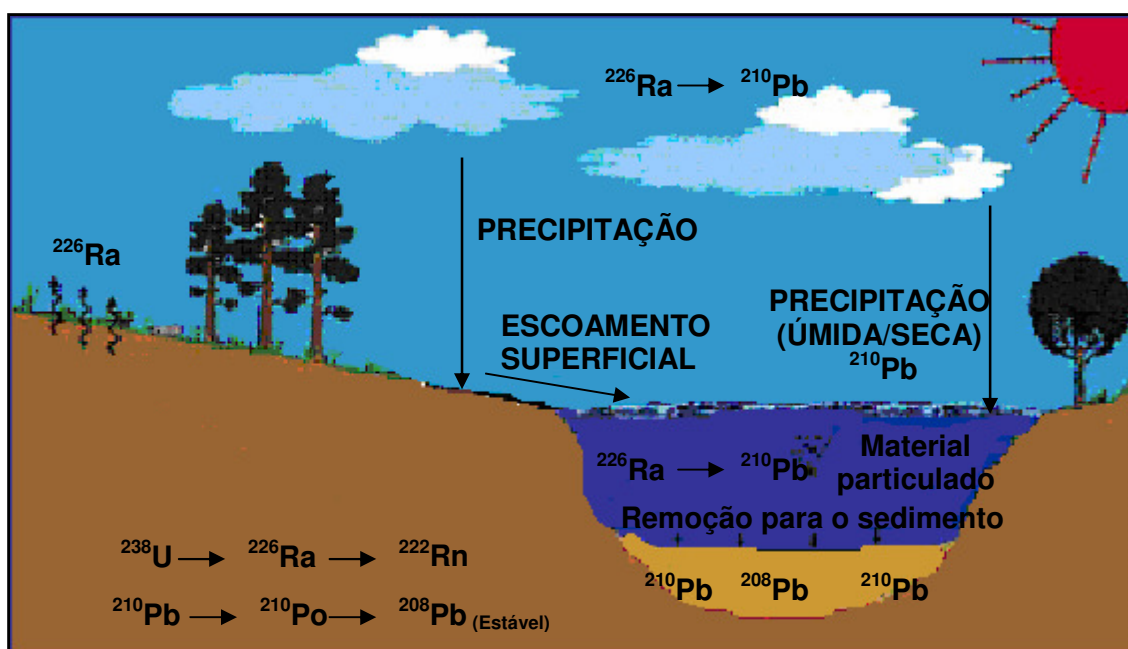


Figura 27 - Ciclo hidro-geoquímico do ^{210}Pb . (Fonte: Loureiro,2006).

A metodologia utilizada na datação das camadas de sedimentos utilizando o ^{210}Pb foi ilustrada primeiramente por Goldberg (1963) *apud* Honorato (2002). Um parâmetro crítico

na datação com ^{210}Pb é a taxa de ingresso de ^{210}Pb não-suportado nas sucessivas camadas de sedimentos que se depositarão. Dois modelos matemáticos foram desenvolvidos para ajudar na interpretação dos testemunhos de ^{210}Pb :

1) Modelo de concentração inicial constante (CIC) - Esse modelo considera que a deposição atmosférica do ^{210}Pb é governada por fatores geográficos e meteorológicos locais e que eles permanecem constantes ao longo de vários anos. Estas condições são estáveis e dão origem a um fluxo de massa constante tornando-se razoável, portanto, supor que existirá também uma taxa constante de acúmulo de ^{210}Pb não-suportado e que cada camada de material depositado terá a mesma atividade específica inicial de ^{210}Pb não-suportado. Ao se considerar que o fluxo de ^{210}Pb não-suportado é constante e que, por conseguinte, nenhuma migração significativa do chumbo ocorre na coluna de sedimento, pode-se estimar que sua atividade em relação à profundidade da camada de sedimento declina linearmente, representando uma taxa de deposição constante ao longo do tempo (Nittrouer et al. 1984 *apud* Honorato, 2002).

2) Taxa de ingresso constante (CRS) - As acentuadas mudanças ambientais produzidas pela ação do homem podem acarretar variações significativas na taxa de acúmulo de massa sob a forma de sedimentos. Quando isto ocorre, o perfil de ^{210}Pb não suportado ao longo da coluna de sedimento é não-linear. O modelo matemático representa o perfil de ^{210}Pb não-suportado que na coluna de sedimento apresenta-se não-linear. Neste contexto se faz necessário calcular a atividade integrada do ^{210}Pb não-suportado na coluna de sedimento para detecção da idade de cada camada. (Figura 28).

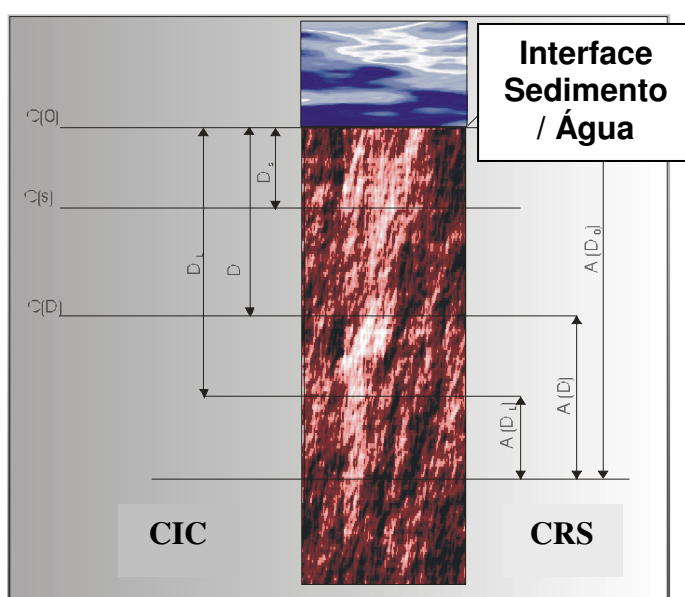


Figura 28 – Representação dos parâmetros requeridos para cálculo da idade das camadas de sedimentos pelos modelos CIC e CRS (Fonte:Honorato,2002).

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

III.1. AQUISIÇÃO DE DADOS CARTOGRÁFICOS

Os mapas de localização da área e dos pontos de coletas foram elaborados utilizando a base do mapa topográfico, Folha Roteiro (SC.25-V-C-IV-3) na escala de 1:50.000, de 1985 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Para elaboração do mapa geológico foi usado como base o mapa geológico da CPRM 2008. Em seguida foram geoprocessados utilizando programas de computadores específicos.

III.2. COLETA DE TESTEMUNHOS DE SEDIMENTOS DE FUNDO E DADOS FÍSICOS – QUÍMICOS DA ÁGUA

Os trabalhos de campo foram realizados em 2 campanhas, a 1ª em 27 e 28/05/2005 e a 2ª em 23/09/2005 para coleta de testemunhos e medição dos parâmetros físicos-químicos de água (Figura 29), a figura 30 representa as principais fontes contaminantes ao entorno do sistema. Dos pontos amostrados foram selecionados os 03 perfis mais representativos do sistema, para um primeiro estudo de diagnóstico geoquímico com geocronologia associada.

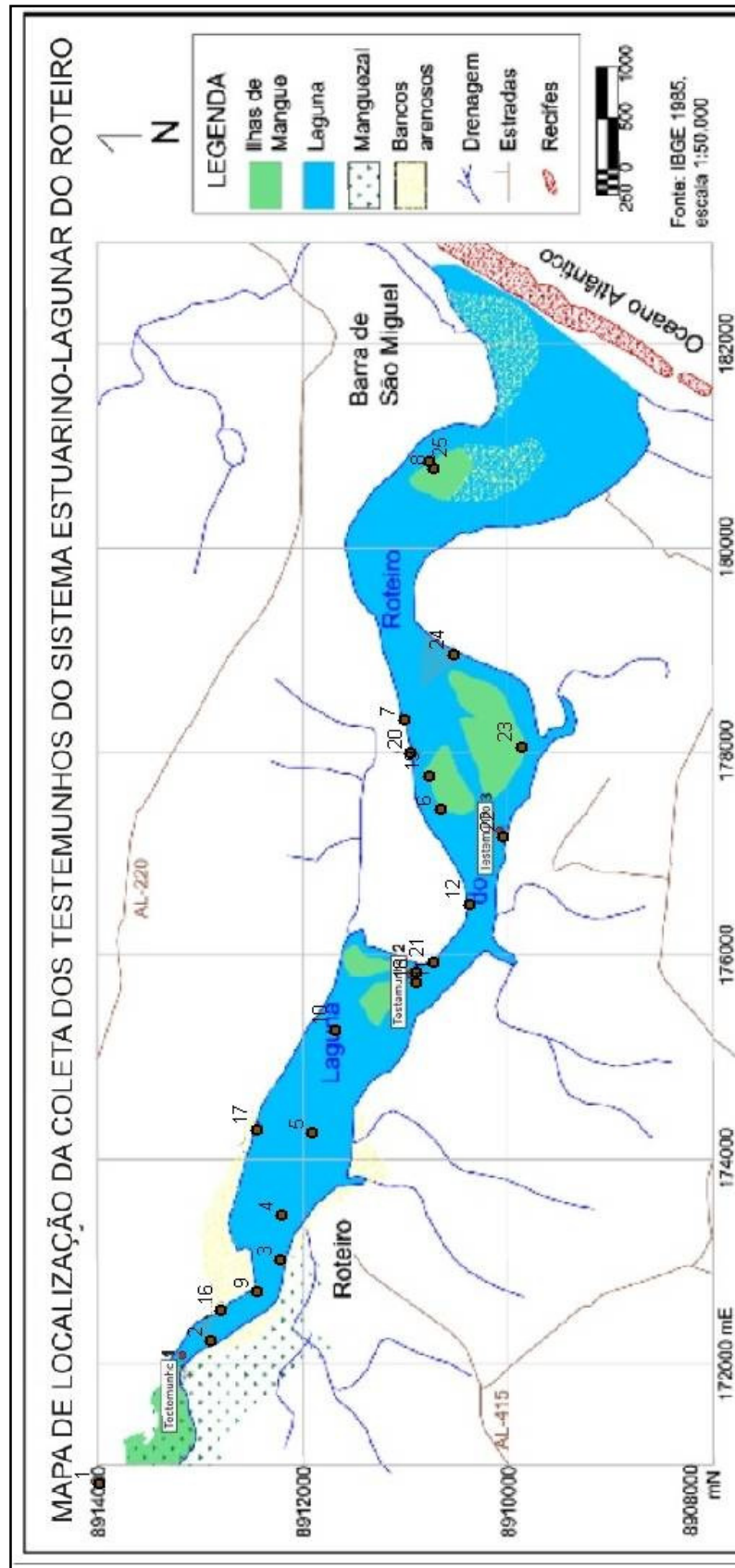


Figura 29 – Localização dos pontos de coleta dos parâmetros físico-químico da água (2005) e sítios de amostragem por testemunho na área do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro.

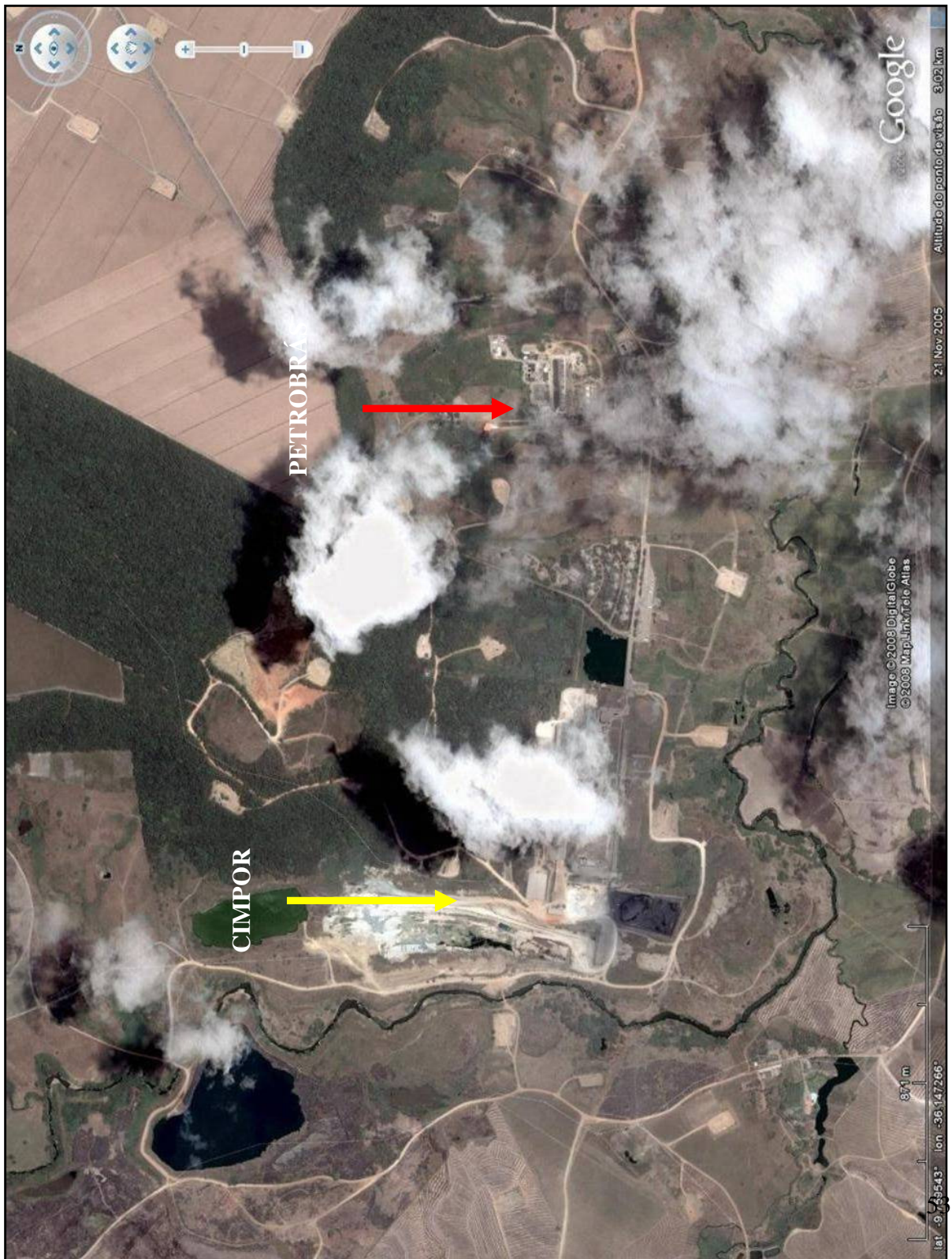


Figura 30 – Localização dos pontos da fábrica de cimento CIMPOR e do beneficiamento de gás da PETROBRÁS.

As medições dos parâmetros físico-químicos da água (Temperatura, pH, Condutividade elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos) foram feitas em maio de 2005 e setembro de 2005 nos mesmos pontos de coleta dos testemunhos no sistema (Figura 31). Em seguida os dados obtidos nas distintas etapas foram confrontados e interpretados.



Figura 31 – Medição físico-química da água usando sonda portátil multi-paramétrica.

A coleta dos testemunhos foi realizada em setembro de 2005, por se tratar da época do período seco o qual representará as concentrações máximas possíveis. Quanto aos testemunhos foi coletado um à montante do sistema (0829010 L; 8913640 N), um na parte central (175848 L; 8910892 N) e o último próximo à desembocadura (177182 L; 8910044 N) (Figura 32). Todos eles coletados a uma profundidade de até 1m para as análises geoquímicas e geocronológicas. Durante as coletas, feitas a bordo de um barco a motor foram utilizados 2 testemunhadores PVC de 75 mm de diâmetro por 1m de comprimento desenvolvidos por Honorato (2002), nos locais com predomínio de lama, e o adaptado por Jorge Luiz Lopes no substrato mais arenoso (Figuras 33 e 34).

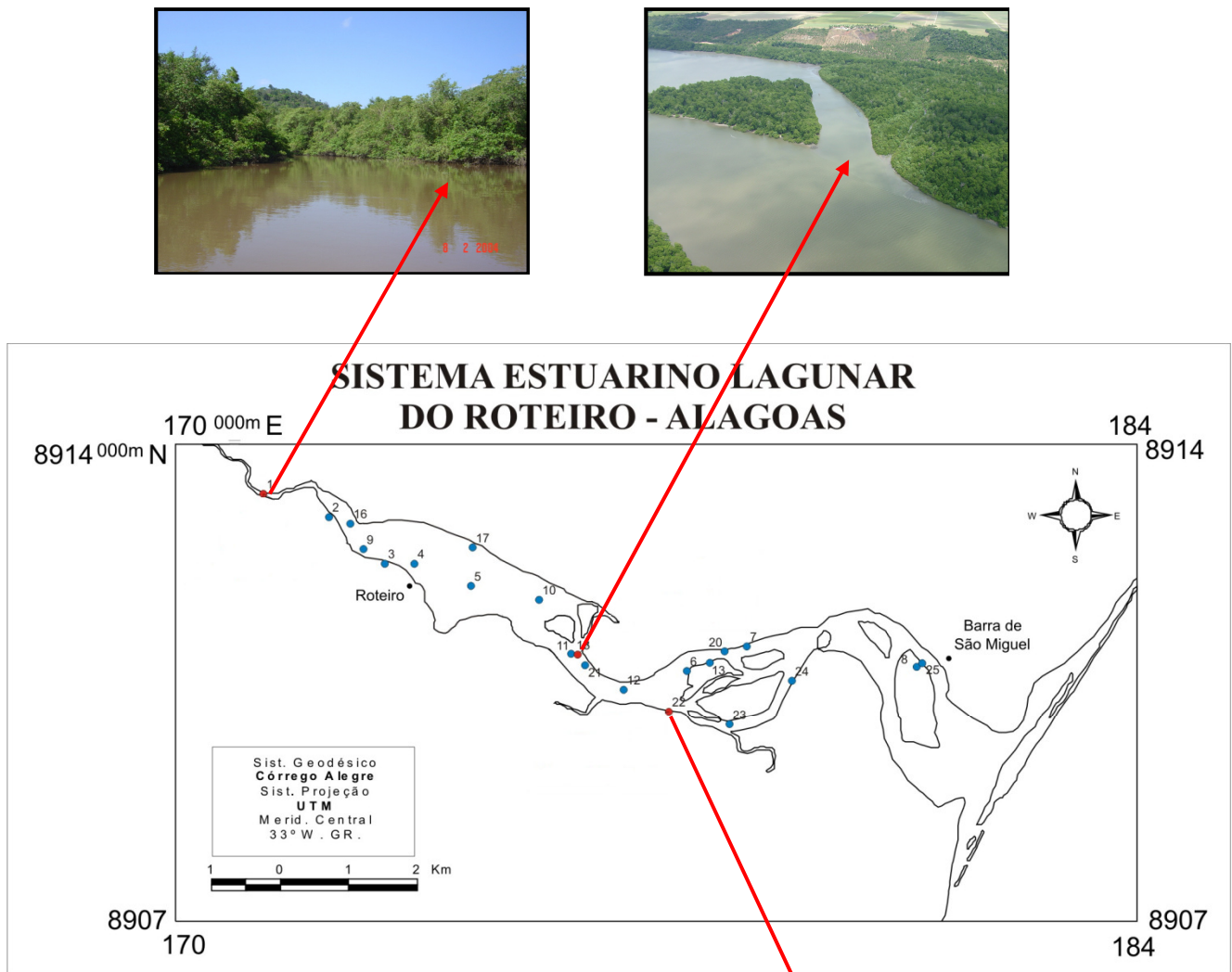


Figura 32 – Mapa de localização dos pontos de coletas de testemunhos para as análises geoquímica do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro (2007).





Figura 33 – Testemunhador desenvolvido por Honorato (2002).



Figura 34 – Testemunhador adaptado por Jorge Luiz Lopes.

Após a coleta os testemunhos foram congelados inteiros na posição vertical em freezer e posteriormente para o laboratório da Seção de Análises Radiométricas e Químicas

do Centro Regional de Ciências Nucleares, SECARQ/CRCN, onde foram congelados inteiros na posição vertical.

III.2.1. Metodologia de laboratório

Após completo congelamento, os testemunhos foram retirados para fora dos tubos e seccionados com uma espátula de plástico, de 3 em 3 centímetros em todo o seu comprimento totalizando um conjunto de 61 amostras de sedimentos (Figura 35).

Após o fatiamento, as amostras foram acondicionadas em potes plásticos, devidamente identificados, e levadas novamente ao freezer, a fim de evitar o descongelamento das mesmas, até o início das etapas das análises geoquímicas e geocronológicas. Durante o fatiamento dos testemunhos foi realizada a descrição sedimentológica sucinta observando granulometria, cor e estrutura.



Figura 35 – Amostras sendo seccionadas após congelamento.

Primeiramente as amostras foram retiradas do freezer em lotes de 20 em 20 e colocadas em béqueres de 1.000 mL. Após o descongelamento das amostras, foi retirada uma alíquota para determinação da umidade (perda ao fogo a 105⁰C). O restante da amostra foi

centrifugada a 3.400 rpm durante 15 minutos para a separação da água intersticial. O material sólido resultante da centrifugação foi novamente colocado no béquer para posterior separação do material fino através do peneiramento úmido.

O material fino ($< 63 \mu\text{m}$) foi seco em estufa a 60°C e determinados, a quantificação das concentrações de ^{210}Pb e de metais pesados.

III.3. DETERMINAÇÕES DA TAXA DE SEDIMENTAÇÃO, GEOCRONOLÓGICAS E GEOQUÍMICAS.

A determinação da taxa de sedimentação das amostras foi realizada no Laboratório da SECARQ/CRCN, e determinada a partir do método do excesso de ^{210}Pb não-suportado (Smith, 2001 *apud* Honorato, 2002).

O procedimento teve seu início com a pesagem de cerca de 5g de sedimento fino, seco e macerado. Fizeram-se então duas lixiviações: uma com HBr 0,5M a 60°C durante 2 horas, sendo a segunda lixiviação feita com adição de cloridrato de hidroxilamina. Em seguida foi adicionado um padrão interno de chumbo (Pb^{2+}) para verificação do rendimento da análise.

Preparou-se uma coluna de resina aniônica com adição de HBr 0,5M. Após a passagem da amostra pela coluna, foi realizada a eluição do chumbo retido na resina com 100 mL de HNO_3 1M, recolhendo-se a solução. A solução eluída foi evaporada até quase a secura e retomada com 100 mL de água deionizada.

Fez-se o ajuste do pH com acetato de amônio até atingir aproximadamente 5. Em seguida a solução resultante foi aquecida a 60°C e posteriormente adicionados 2 mL de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 5M, para precipitação do PbCrO_4 , ainda sob aquecimento.

Após resfriamento, a amostra foi filtrada, pesada e calculado o seu rendimento químico por gravimetria. A amostra foi então levada a um detector proporcional de fluxo gasoso para contagem das partículas β do ^{210}Bi , radionuclídeo-filho do ^{210}Pb .

III.3.1. Determinação da variação da concentração de ^{210}Pb não-suportado em função da profundidade da camada de sedimento.

Para uma determinação precisa da variação da concentração de ^{210}Pb em função da profundidade, fez-se necessário corrigir-se a espessura de cada camada de sedimento

seccionada, levando-se em consideração o efeito da compactação. Esta correção foi realizada a partir da porosidade ($\emptyset$) e da densidade total úmida (ρ_U) de cada camada conforme as equações abaixo (Behrens et al. 1980 *apud* Honorato 2002).

a)

$$\emptyset = \frac{m_{H_2O}}{\left(m_{H_2O} + \left(\frac{m_s}{\rho \cdot C_s} \right) \right)}$$

$$\rho_U = \rho(S) - 1,422 \emptyset$$

onde:

$\emptyset$ porosidade da camada de sedimento;

$m(H_2O)$ massa de água presente no sedimento (g)

m_s massa de sedimento seco (g)

$\rho(S)$ densidade do sedimento seco (2,45 g.cm⁻¹)

$\rho(u)$ densidade úmida total do sedimento (g.cm⁻¹)

A espessura corrigida (x_i) foi então obtida a partir da equação:

$$b) \quad X_i = \frac{m_T}{\pi \cdot r^2 \cdot \rho_u}$$

onde:

m_T massa úmida total da camada de sedimento (g)

r raio da camada de sedimento (cm)

ρ_u densidade úmida total do sedimento (g.cm⁻¹)

III.3.2. Determinação da atividade integrada residual de ^{210}Pb na coluna de sedimento.

A atividade integrada residual presente na coluna de sedimento (A_d) e a atividade integrada residual total (A_0) foram obtidas a partir das equações abaixo, (Joshi & Shukla, 1991 *apud* Honorato 2002).

a)

$$A_d = \sum_{i=1}^N \rho_i(d) \cdot x_i \cdot C_i(d) - 0,5 \cdot \rho_i(d) \cdot x_i \cdot C_i(d)$$

b)

$$A_0 = \sum_{i=1}^N \rho_i(d) \cdot x_i \cdot C_i(d)$$

No qual:

A_d : atividade integrada residual de ^{210}Pb não-suportado abaixo da camada de profundidade d (mBq.cm^{-2});

A_0 : atividade integrada residual total (mBq.cm^{-2});

N : número de seções da coluna de sedimento;

$\rho_i(d)$ densidade seca total da i -ésima camada de sedimento

x_i espessura da i -ésima camada de sedimento (cm);

$C_i(d)$ excesso de concentração de atividade de ^{210}Pb d (mBq.g^{-1}).

A partir da concentração do ^{210}Pb em excesso ou não-suportado, as idades de cada camada e taxa de sedimentação foram determinadas utilizando-se os modelos CRS (Taxa de ingresso constante) e CIC (Concentração inicial constante) (Robbins & Edgington, 1975, *apud* Honorato, 2002).

III.3.3. Concentrações de metais pesados nos sedimentos de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro

III.3.3.1. Análise das amostras do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro

As amostras foram analisadas para determinação das concentrações dos metais Fe, Mn, Al, Ni, Co, Cd, Pb e Cu por espectrometria de absorção atômica forno de grafite (GFAAS), utilizando-se o equipamento Varian SpectrAA 220FS (Figura 36) acoplado ao acessório Graphite Furnace GTA 110 (Figura 37), utilizando-se uma lâmpada de cátodo oco específica para cada elemento a ser analisado.



Figura 36 - Espectrômetro de Absorção Atômica.

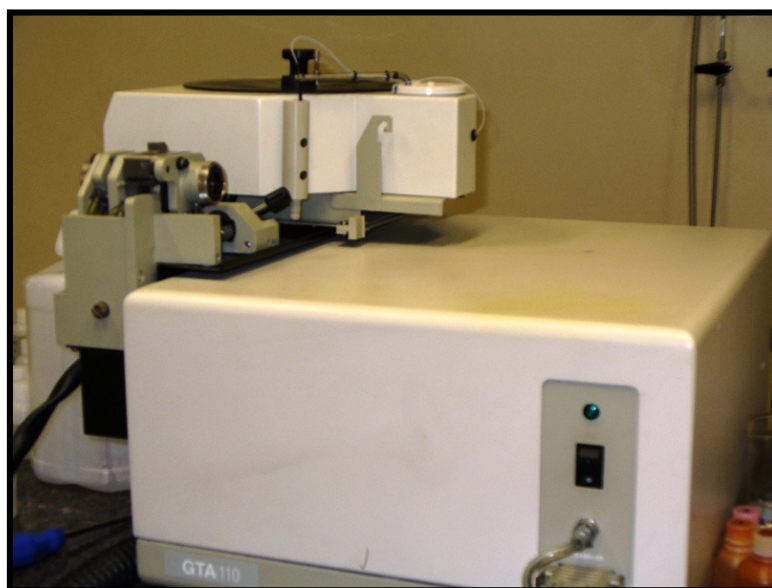


Figura 37 - Acessório Graphite Furnace GTA 110.

A aplicação da espectrometria de absorção atômica (AAS) para determinação de concentração de metais, especialmente traços, tem tido muito sucesso. O método baseia-se na absorção da energia radiante pelas espécies atômicas neutras, excitadas, em estado gasoso. Cada espécie atômica possui um espectro de absorção formado por uma série de estreitas raiais características devidas a transições eletrônicas envolvendo os elétrons externos. A maioria dessas transições corresponde a comprimentos de ondas nas regiões ultravioleta e visível. Uma certa espécie atômica, neutra e no estado fundamental, é capaz de absorver radiações de comprimentos de onda iguais aos das radiações que ela, quando excitada, é capaz de emitir (Ewing, 1989 *apud* Nascimento, 2008). A fonte de luz é a lâmpada de cátodo oco (Figura 38).



Figura 38 - Lâmpadas de cátodo oco utilizada no espectrômetro de absorção atômica (AAS).

A quantidade de luz absorvida é proporcional ao número de átomos excitados presente. Isto tem sido referido a Lei de Beer-Lambert e pode ser expresso na forma da equação abaixo:

$$\text{Absorbância} = \log (I_0/I) = K.C.L$$

Onde: I_0 = intensidade incidente

I = intensidade transmitida

K = constante de proporcionalidade

C = concentração da amostra (átomos livres)

L = caminho óptico

A região do espectro a ser lida é isolada por um monocromador, cujo sistema contém uma célula fotomultiplicadora que registra um sinal que será processado digitalmente para exprimir os resultados (Nascimento, 2008).

O forno de grafite (FGAAS) é uma técnica de alta sensibilidade, em que a energia necessária para a atomização é conseguida passando-se uma alta corrente elétrica através de um tubo de grafite (Figura 39) onde a amostra é colocada. O forno é alinhado em uma posição do espectrofotômetro, de modo que a luz proveniente da fonte passe no centro do tubo. O vapor atômico gerado da amostra pelo aquecimento do forno (3000°C) absorve a luz da lâmpada. (Vogel, 1986).



Figura 39 - Tubos de grafite.

Espectrometria de absorção atômica é uma técnica comparativa. O espectrômetro deve ser calibrado com uma série de soluções de concentrações conhecidas (“padrões”) para dar uma calibração gráfica. Através da calibração gráfica o AAS calcula-se a concentração de uma amostra desconhecida comparando a absorbância dessa com as absorbâncias das soluções padrões encontradas no gráfico.

III.3.3.2. Digestão das amostras

A metodologia de abertura das amostras está baseada em técnicas os quais o processo de abertura ou digestão das amostras é definido como sendo a decomposição do sedimento a altas temperaturas e sob pressão se houver necessidade.

Todo material que entrou em contato com as amostras ou reagentes utilizados nestas análises foram descontaminados em banhos sucessivos por 24 horas de EXTRAN 10% e ácido nítrico 10%, e todos os reagentes utilizados nas análises foram com grau de pureza P.A.

Os metais determinados nesta fase são considerados biodisponíveis, e um aumento da concentração de espécies iônicas pH, por exemplo, no meio aquático permite a remobilização destes metais (Förstner & Wittmann, 1979).

III.3.3.3. - Determinação das concentrações de metais pesados nos extratos

A determinação das concentrações dos metais pesados através leitura dos extratos, obtidos a partir dos processos de abertura e extração das amostras. Foram determinadas as concentrações de Fe, Mn, Al, Ni, Co, Cd, Pb e Cu, utilizando-se uma curva de calibração com no mínimo três pontos, para cada metal. As configurações dos metais para sedimentos utilizadas neste trabalho foram às mesmas indicadas pelo fabricante em seu manual.

III.3.3.4. Controle de qualidade das análises

A exatidão das medidas foi determinada usando-se materiais certificados da REFERENCE SHEET – IAEA-SOIL-7 Trace Elements in Soil. Para a precisão dos resultados, todas as amostras foram analisadas em duplicata e a concentração calculada como a média aritmética desses resultados (ANEXOS). O limite de detecção foi determinado como sendo 3 vezes o desvio padrão da análise de dez soluções branco (Inmetro, 2003).

III.3.3.5. Cálculo do limite de detecção

Os limites de detecção dos metais foram calculados segundo o Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO/DOQ-CGRE - 008 e Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, a partir do triplo do desvio padrão dos brancos de abertura (ANEXOS). Os valores obtidos foram calculados levando-se em consideração a massa das amostras, o volume final dos extratos e o valor das diluições realizadas para leitura de cada metal (Inmetro, 2003).

III.3.3.6. Processamento de dados em laboratório

As análises laboratoriais foram realizadas nos laboratórios de Geoquímica do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco e Laboratório do

SECARQ/CRCN. No laboratório de geoquímica as amostras de sedimentos foram pesadas (Figura 40), após a pesagem, passou na peneira fina (0,063 mm), as amostras foram lavadas com água deionizada. As amostras de sedimentos foram deixadas para decantar, logo após levadas para secar na estufa a 40⁰ C, depois de secas foram armazenadas em sacos plásticos e etiquetadas para a próxima etapa de preparação.

As amostras foram separadas nas frações menores que 63 μ m (finos). Foram levadas a estufa a 40⁰C, depois de seca, embaladas em sacos plásticos para a próxima etapa que a digestão no forno microondas.

Em seguida, a fração < 63 μ m de cada amostra foi macerada posteriormente a retirada de 0,5g e digerida. As amostras foram levadas ao laboratório de análises ambientais do Centro Regional de Ciências Nucleares - CRCN para a etapa de digestão das 61 amostras selecionadas para a interpretação geoquímica.



Figura 40 – Processo de pesagem das amostras para a digestão geoquímica.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

IV.4.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA DO SISTEMA

Os parâmetros físico-químicos abordados neste item são: temperatura, pH, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, na água superficial do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro. Os resultados destes parâmetros referem-se às estações climáticas seca e chuvosa, nas quais ocorreram a coleta das amostras de água e sedimentos.

Salienta-se que as coletas efetuadas na estação chuvosa (27/05/2005 e 28/05/2005) e seca (23/09/2005), observadas na figura 6 (página 27), ocorreram em período de baixa-mar.

Nas Tabelas 1 e 2, podem ser visualizados os resultados das análises das amostras de água (2005) referentes aos parâmetros físico-químicos considerados, em cada uma das estações de amostragem do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro.

Tabela 1: Parâmetros físico-químicos das amostras de água coletadas na estação chuvosa no Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro (AL) na primeira amostragem em maio/2005.

Estação de Amostragem	Coordenadas		Hora	Dados De Maré	T °C	pH	Sólidos Totais Dissolvidos (ppm NaCl)	Condutividade (µS/cm)
1	178469	8913988	10:13		23,4	6,1	192,9	278,00
2	172247	8912898	10:20		23,4	6,5	255	364,00
3	173046	8912218	11:30		23,5	6,6	354	501,00
4	173474	8912206	12:40	0,3	23,5	6,7	485	682,00
5	1742290	8911908	13:01		25,3	6,9	841	11.550
6	177445	8910658	14:40		23,7	7,1	>10.000	14.890
7	178320	8911010	15:30		23,8	7,2	>10.000	17.400
8	180782	8910718	16:15	1,2	25,0	7,5	>10.000	17.650
9	172736	8912444	10:12		23,5	6,8	7.170	10.030
10	175287	8911682	11:10		23,9	7,1	>10.000	16.630
11	175753	8910894	11:44	0,8	23,4	7,1	>10.000	16.690

Tabela 2: Parâmetros físico-químicos das amostras de água coletados na estação seca de no Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro (AL) em setembro/2005.

Estação de Amostragem	Coordenadas		Hora	Dados De Maré	T°C	pH	Sólidos Totais Dissolvidos (ppm NaCl)	Condutividade (µS/cm)
15	829010	8913640	09:45	1,6	23,4	6,7	175	254,00
16	172545	8912796	10:20		23,7	7,3	2.703	3.780
17	174312	8912450	10:42		23,8	7,7	> 10.000	16.810
18	175848	8910892	11:05		24,1	7,3	> 10.000	17.320
19	177769	8910770	11:34		24,7	7,7	> 10.000	17.270
20	177993	8910942	11:44		24,2	7,8	> 10.000	17.420
21	175951	8910726	12:10		23,9	8,1	> 10.000	15.770
22	177182	8910044	12:36		24,0	7,8	> 10.000	17.300
23	178060	8909866	12:47	0,8	23,7	7,7	> 10.000	17.260
24	178956	8910530	13:04		23,7	7,8	> 10.000	17.160
25	180844	8910768	13:49		23,6	7,8	> 10.000	17.470

IV.4.1.1 Temperatura da água

As temperaturas superficiais da água variam de 23,4 a 25,3⁰C (Tabela 1 e 2; Figuras 41 e 42), apresentando pequenas variações as quais são conseqüências tanto do regime climático normal quanto das variações sazonais e diurnas. Contudo, mudanças na temperatura podem resultar em modificações de outras propriedades como: redução da viscosidade da água pela elevação da temperatura, podendo ocorrer o afundamento de muitos

microorganismos aquáticos, principalmente do fitoplâncton, uma vez que quanto maior a temperatura, menor o teor de oxigênio dissolvido na água (Loureiro, 2006).

É provável que os resultados referentes à temperatura da água do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro tenham sido devido à influência de fatores, tais como estação do ano, período do dia (onde a incidência dos raios solares é mais intensa na superfície da água) e a profundidade.

Observando-se a Tabela 1, pode-se verificar que na maioria das amostras coletadas, existe uma relação diretamente proporcional entre os valores da temperatura e os valores do pH, exceção feita para as amostras referentes aos pontos 5, 11, 17, 21 e 22. Verifica-se um pequeno aumento de temperatura de um mesmo período de 2005 em dois pontos de coleta (05 e 08). Muito provavelmente se deve ao fato de que no mês de setembro, onde ocorreram a segunda coleta (como é próximo ao verão) a incidência de chuva diminuiu e com um menor volume e fluxo de água, o ambiente está mais para lântico do que lótico. E, portanto os dados apresentados demonstraram o aumento da temperatura nos dois pontos citados acima. Quanto à correlação observada entre a temperatura e os valores de pH, provavelmente reflete um aumento da maré (aporte de água do mar, tornando mais básica a água do sistema estuarino), enquanto ocorria um aumento de temperatura ligado ao longo do dia.

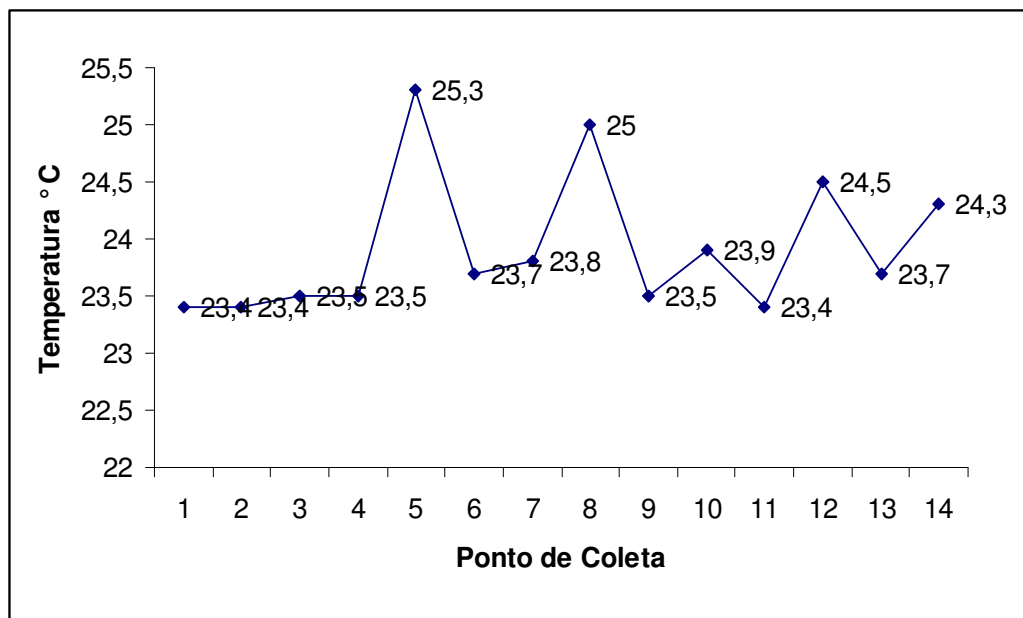


Figura 41: Gráfico representando os valores da temperatura das amostras de água do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro (AL) coletadas na estação chuvosa (27 e 28/05/2005).

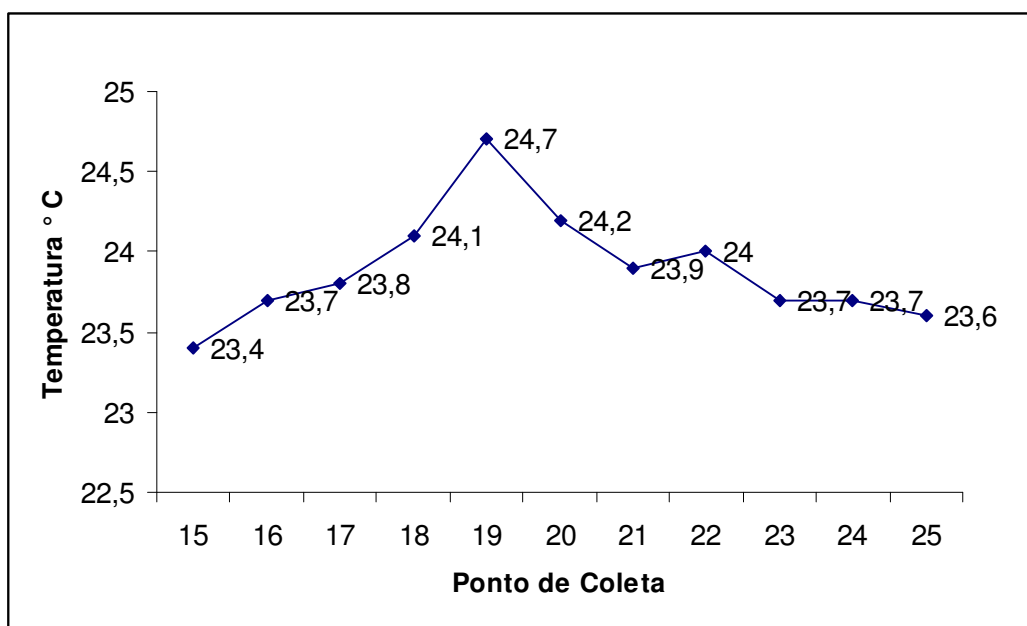


Figura 42: Gráfico representando os valores da temperatura das amostras de água do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro (AL) coletadas na estação seca (29/09/2005).

IV.4.1.2. pH

As medidas de pH são de extrema utilidade, pois fornecem inúmeras informações, como acidez e alcalinidade a respeito da qualidade da água. As águas superficiais possuem um pH entre 4 e 9. As vezes são ligeiramente alcalinas devido à presença de carbonatos e bicarbonatos. Naturalmente, nesses casos, o pH reflete o tipo de solo por onde a água percorre. Em lagoas com grande população de algas, nos dias ensolarados, o pH pode subir muito, chegando a 9 ou até mais. Isso porque as algas, ao realizarem fotossíntese, retiram muito gás carbônico, que é a principal fonte natural de acidez da água. Geralmente um pH muito ácido ou muito alcalino está associado à presença de despejos industriais (Margalef, 1983).

Verificou-se que os valores do pH das amostras coletadas no Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro, variaram de 6,1 a 8,1 (Figura 43 e 44) e que estes valores encontram-se ainda dentro dos limites desejáveis (5 a 9) conforme os padrões do CONAMA. Observa-se que, nas duas épocas de amostragem, ocorreu um aumento de pH em direção às estações de amostragem mais a jusante, refletindo a contribuição das águas marinhas de caráter alcalino. O tipo de resíduo descartado pelas usinas açucareiras é orgânico, normalmente removido por produtos alcalinos (básicos) ou alcalinos-clorados o que também faz aumentar o pH da água.

Observa-se pela análise dos dados de pH que os pontos (8 e 21) apresentam um aumento significativo do pH comparado aos demais pontos, indicando uma possível interferência de poluente, como esgoto doméstico e descarte de produtos de limpeza oriundos dos municípios de Roteiro e Barra de São Miguel, localizados nas proximidades dos pontos 8 e 21 respectivamente.

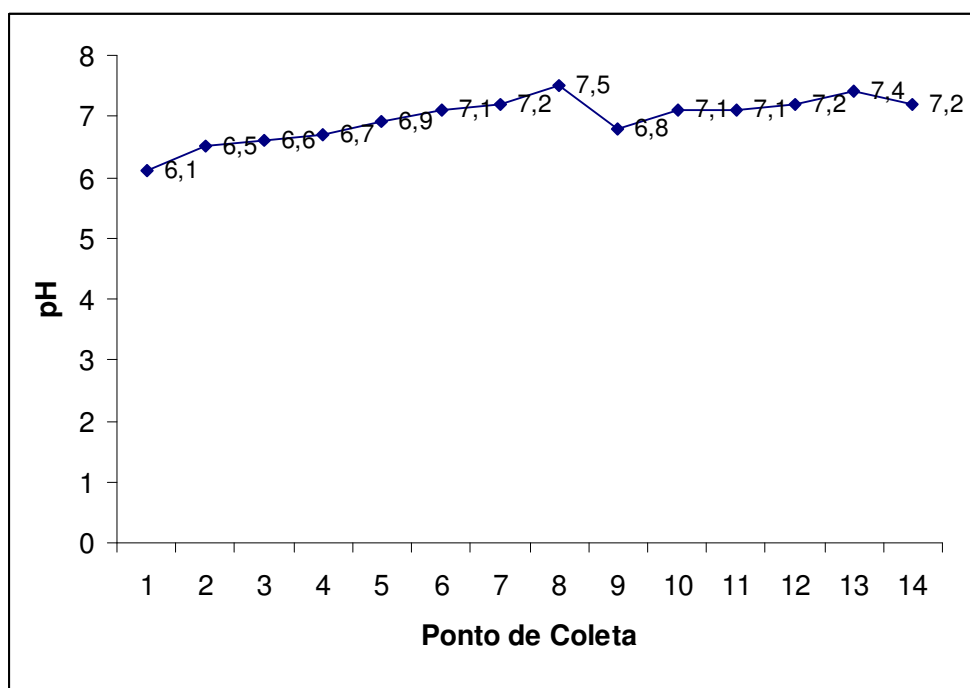


Figura 43: Gráfico dos valores de pH das amostras de água do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro (AL) coletadas na estação chuvosa (27 e 28/05/2005)

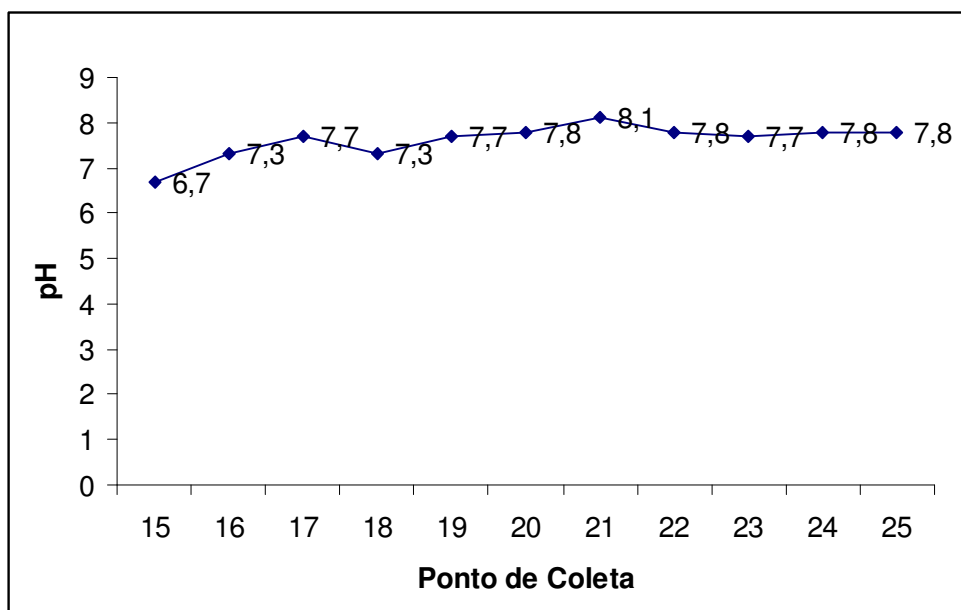


Figura 44: Gráfico dos valores de pH das amostras de água do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro (AL) coletadas na estação seca (29/09/2005).

IV.4.1.3. Condutividade elétrica

A água pura é uma substância má condutora de corrente elétrica, apresentando um valor teórico de $0,0055 \mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C , face à sua fraca ionização. Pode-se definir condutividade como a capacidade de uma substância em conduzir corrente elétrica. A dissolução de eletrólitos em água aumenta a sua condutividade e, dependendo da concentração de eletrólitos totais dissolvidos, pode conferir ao meio características eletroquímicas que o tornam altamente corrosivo (Maia, 2004). Uma relação aproximada entre condutividade (em $\mu\text{S}/\text{cm}$) e teor de eletrólitos totais dissolvidos (STD) na água é mostrada pela tabela a seguir:

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	ELETRÓLITOS DISSOLVIDOS (ppm)
Menor do que 1000	0,68 x condutividade
De 1.000 a 4.000	0,75 x condutividade
De 4.000 a 1.0000	0,82 x condutividade

* Esta relação somente é verdadeira se o pH da água estiver entre 6,5 e 8,5.

Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. Em águas continentais, os íons diretamente responsáveis pelos valores da condutividade são, entre outros, o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, carbonatos, sulfatos e cloretos. O parâmetro condutividade elétrica não determina, especificamente, quais os íons que estão presentes em determinada amostra de água, mas pode contribuir para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem ocasionados por lançamentos de resíduos industriais, mineração, esgotos, uma vez que aumenta em valor com a elevada concentração destes contaminantes. A condutividade elétrica (teor de íons) também é maior nos trechos poluídos, o que é atribuído possivelmente à elevada quantidade de matéria orgânica e de sais dissolvidos (provenientes dos rejeitos) no curso d'água (Maia, 2004).

Se compararmos os valores de condutividade obtidos nos diversos pontos de coleta, ao longo do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro, nas estações seca e chuvosa observa-se uma drástica redução da condutividade entre esses dois períodos (Figura 45 e 46). Esta

redução pode estar associada possivelmente a uma diminuição na vazão dos esgotos industrial (fábrica de cimento e a usina de cana de açúcar) e domésticos descartados ao longo da bacia hidrográfica do rio São Miguel e do Sistema Estuarino Lagunar. Esgotos esses que além da matéria orgânica, são compostos de numerosos elementos como detergentes, sabões, e óleos. As estações de coleta de 8 a 12 apresentaram os maiores valores de condutividade, possivelmente associados ao aumento da concentração de carbono orgânico e ao efluente domésticos dos municípios situados nas proximidades de Roteiro e Barra de São Miguel.

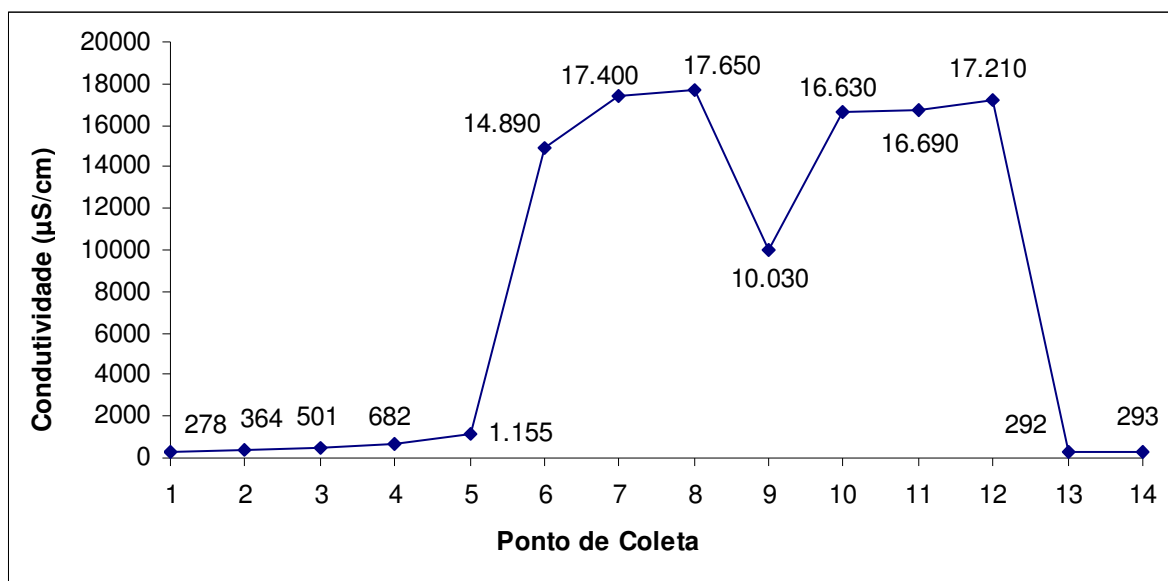


Figura 45: Gráfico dos valores de Condutividade (µS/cm) das amostras de água do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro (AL) coletadas na estação chuvoso (27 e 28/05/2005).

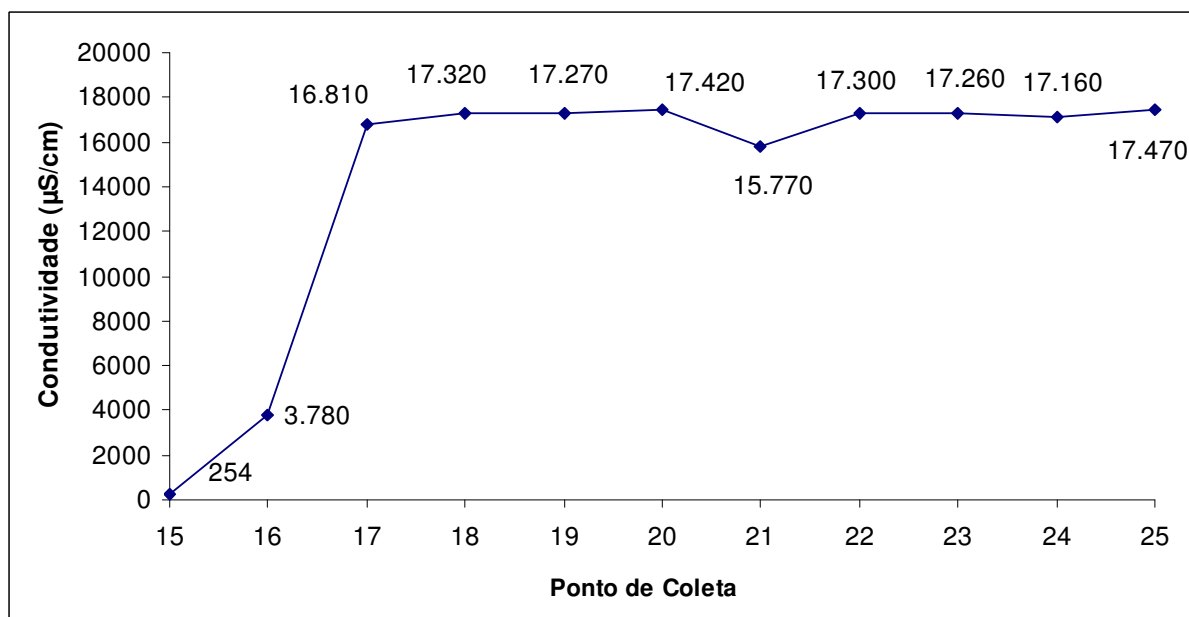


Figura 46: Gráfico dos valores de Condutividade (µS/cm) das amostras de água do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro (AL) coletadas na estação seca (29/09/2005).

IV 4.1.4. Sólidos Totais Dissolvidos

Outra relação notória é entre a concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) e a condutividade da solução, essas grandezas são diretamente proporcionais, já que os sais são compostos que se dissociam em água formando íons, e essa é uma condição para a condução elétrica: ter íons solúveis (Carvalho, 2005). Na coluna STD > limite de detecção quer dizer que a concentração de sais na água é menor que a concentração máxima que o aparelho (condutivímetro) consegue detectar (10.000 ppm). Os valores elevados de STD observados na ampla maioria das estações de amostragem refletem seguramente a influência da água do mar no sistema.

IV.4.2. Granulometria dos Sedimentos de Fundo do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro

A composição granulométrica das amostras de sedimento do fundo do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro foi determinada somente para as frações denominadas como areia, silte e argila (Silva, 2001).

Os resultados da composição granulométrica do sedimento para as amostras superficiais, mostraram um maior percentual de lama no ponto de coleta do testemunho 1. São os sedimentos mais finos, inferiores a 0,063mm. Foram localizadas no interior da laguna, onde a influência fluvial começa a decrescer, evidenciando a diminuição de energia, representada na Figura 17.

A distribuição dessa fração é muito concentrada em frente à cidade de Roteiro, onde atualmente só as pequenas embarcações do tipo canoa conseguem atracar em suas margens. Quando a maré baixa, não se tem acesso pela laguna até a cidade de Roteiro, pois a lâmina d'água chega a uma profundidade inferior a 50 cm, impossibilitando o acesso até a margem direita da laguna. O acesso só é facilitado quando a maré sobe e assim mesmo dando acesso as pequenas embarcações. O testemunho 2 apresentou lama e o testemunho 3 areia em toda sua extensão.

A fração areia distribui-se no corpo lagunar, nas áreas após a cidade de Roteiro, até os canais de fora, confirmando a influência fluvial e marinha e o processo de circulação interna. As maiores concentrações (99%) localizam-se logo após a ponte no sentido Barra de São Miguel / Roteiro, onde o fluxo marinho e lagunar é influenciado pelo canal que passa

entre as ilhas de mangues (Silva, 2001). Essas condições permitem a ocorrência dos moluscos como o sururu (*Mytella falcata*) e a ostra (*Crassostrea rhizophorae*). Os menores percentuais dessa fração estão em áreas de baixa energia do sistema, próximo à desembocadura do rio.

IV.4.3. CÁLCULO DA TAXA DE SEDIMENTAÇÃO DO SISTEMA ESTUARINO LAGUNAR DO ROTEIRO

IV.4.3.1 - Determinação da taxa de sedimentação (cm.ano⁻¹) e Idade de cada camada na coluna de sedimentação.

Foram analisadas as camadas superficiais dos sedimentos de fundo para detectar a idade e a taxa de sedimentação desses sedimentos utilizando o método de datação de ²¹⁰Pb. Os modelos matemáticos utilizados para esse processo foi o do CRS (taxa de ingresso constante) e o CIC (modelo de concentração inicial constante). Com estes se conseguiu obter bons resultados sobre as relevantes mudanças ambientais (e.g. pisoteio humano alterando a disposição dos estratos de sedimento de fundo, provocando distorção nos valores de idade obtidos) no ecossistema aquático, que podem desenvolver grandes variáveis sobre a taxa de sedimentação em ambientes lagunares. A opção do uso dos dois modelos foi devido à possibilidade de se fazer uma comparação em relação às taxas de sedimentação dos três testemunhos e as idades das camadas analisadas. Verificou-se que para alguns pontos (testemunhos 1 e 3) esses modelos são compatíveis e para o testemunho 2 difere consideravelmente.

A taxa de sedimentação (cm.ano⁻¹) foi determinada até aproximadamente 100 anos, que equivale a cinco tempos de meia-vida do ²¹⁰Pb. As maiores taxas de sedimentação foram identificadas nas camadas superficiais dos testemunhos 1 e 2 (Figuras 47 e 48). O testemunho 3 apresentou um aumento pouco relevante em comparação com os demais pontos analisados, atingiu a maior taxa de sedimentação em 1934 com 0,35 cm.ano⁻¹ (Figura 49). Este ponto 3 localiza-se próximo à desembocadura do sistema. O testemunho 1 está próximo ao rio São Miguel e o testemunho 2 localiza-se no eixo central do sistema, no qual 60% do sedimento é constituído por silte e argila.

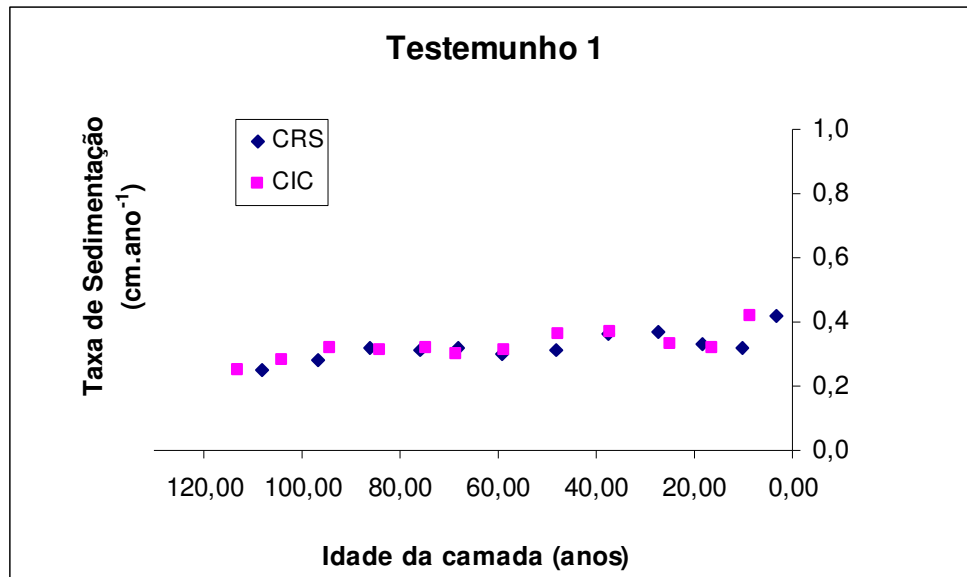


Figura 47 – Gráfico dos dois modelos matemáticos usados na avaliação do testemunho 1.

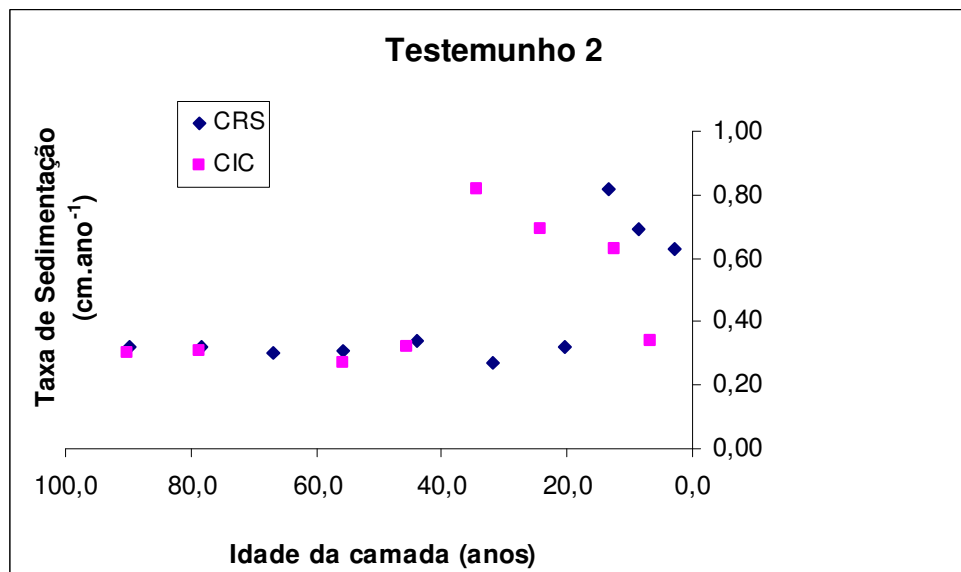


Figura 48 – Gráfico dos dois modelos matemáticos usados na avaliação do testemunho 2.

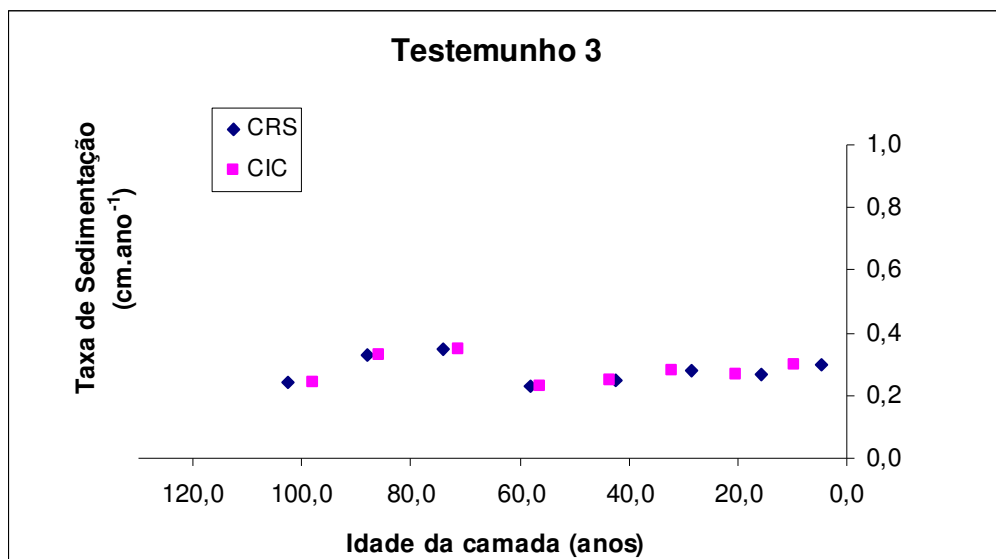


Figura 49 – Gráfico dos dois modelos matemáticos usados na avaliação do testemunho 3.

Aumento na taxa de sedimentação no testemunho 1 ocorreu entre 1970 a 1980, 0,36 a 0,37 cm.ano⁻¹ e de 1998 a 2005 a taxa de sedimentação foi de 0,10 cm.ano⁻¹. O testemunho 2 apresentou elevação na taxa de sedimentação durante os anos de 1976 a 1995. Possivelmente isto se deu por esta época ter sido marcada pela retirada de toda cobertura de mata e substituída por cana-de-açúcar, processo esse que facilita o aporte de sedimento lixiviado das encostas do Sistema Estuarino Lagunar. E apresentou diminuição desse aporte entre 1999 a 2005. Já o testemunho 3 apresentou um aumento na taxa de sedimentação entre os anos de 1920 a 1934 variando entre 0,33 cm.ano⁻¹ a 0,35 cm.ano⁻¹ e foi diminuindo até 1950 quando apresentou uma taxa de 0,23 cm.ano⁻¹ deste ponto sofreu uma tendência de crescimento até atingir em 2003 0,30 cm.ano⁻¹. A Figura 50 representa as mudanças na taxa de sedimentação (cm.ano⁻¹) observadas no sistema.

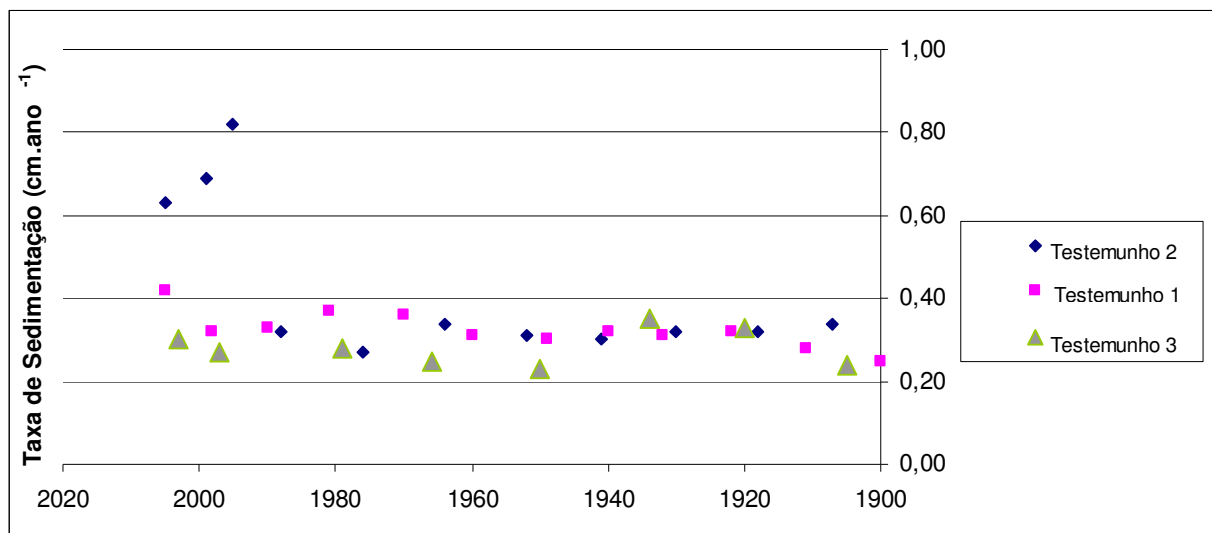


Figura 50 – Representação da taxa de sedimentação nos três testemunhos analisados no Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro, modelo CRS.

Os resultados obtidos demonstraram as conseqüências do uso e ocupação da bacia do rio São Miguel, principalmente a partir da década de 70, com o aumento das atividades agrícolas e industriais.

A década de 70 tem grande representação na área, devido o crescimento do processo urbano nos municípios de Barra de São Miguel e do Roteiro. Também faz parte deste contexto o início da ocupação dos tabuleiros costeiros pela monocultura da cana-de-açúcar e a instalação mais ao norte do sistema no município de São Miguel dos Campos da fábrica de cimento CIMPOR, antiga Companhia de Cimento Atol, que iniciou suas atividades em 1977 com uma capacidade instalada de 280.000 t/ano de clínquer (bloco de cimento cozido que sai dos fornos de fabrico de cimento pronto para ser enviado para os aparelhos de moagem). Com a finalidade de atender a demanda da região, foi ampliada em mais uma linha, novembro/98, passando então sua capacidade para 610.000 t/ano clínquer. Em 1993 ampliou a segunda linha passando a capacidade total para 660.000 t/ano de clínquer. Possui localização privilegiada, instalada próximo às jazidas de calcário, argila e pozolana natural. Atualmente opera com a marca Zebu (<http://www.cimpor.com.br>). Neste contexto de atividades antrópicas potencialmente contaminantes do meio ambiente, destaca-se também a existência de uma estação de produção de gás natural a cerca de 35 km a montante da área estudada (Figura 30).

IV.4.4. CONCENTRAÇÕES BIODISPONÍVEIS DE METAIS PESADOS NOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO SISTEMA ESTUARINO LAGUNAR DO ROTEIRO.

As concentrações biodisponíveis dos metais pesados (Fe – Mn – Al; Ni – Co – Cd; Pb – Cu), (Tabelas, anexo 1) nos sedimentos de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro (AL), coletados em testemunhos (1 m de profundidade) na estação climática seca (23/09/2005), representam as concentrações máximas obtidas para o Sistema Estuarino Lagunar nos três pontos amostrados (Figura 51).

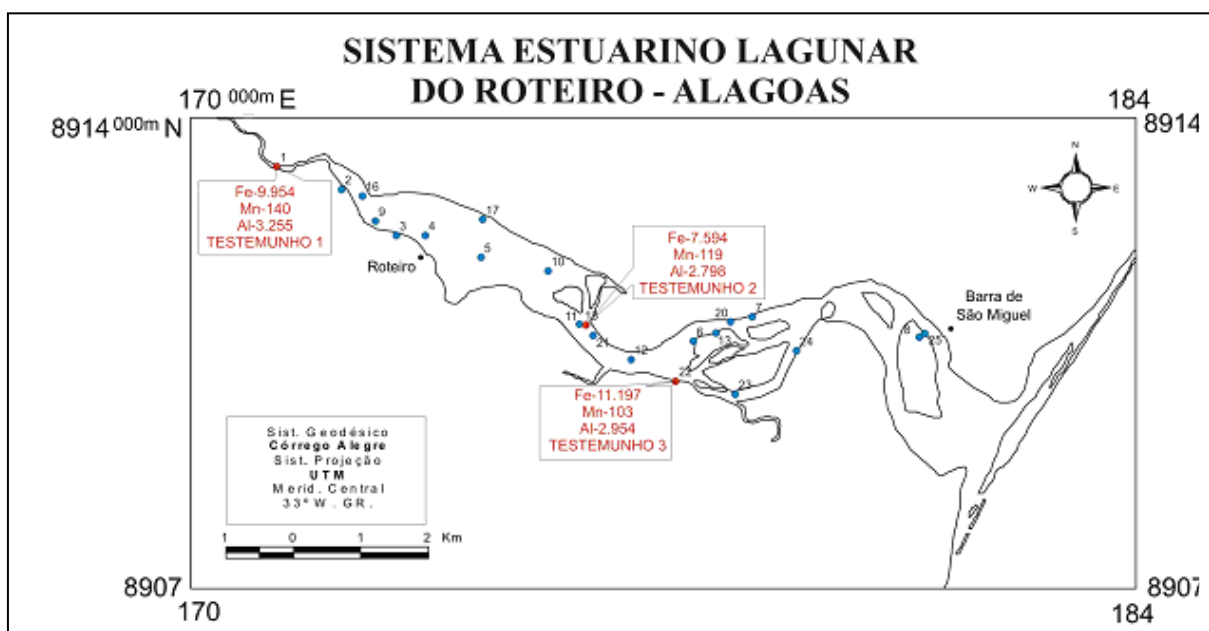


Figura 51 – Mapa dos pontos de coletas dos testemunhos com dados de maiores concentrações de metais biodisponíveis.

IV.4.4.1 Metais pesados nos sedimentos de fundo

4.4.1.1 Testemunho 1

Os perfis das concentrações de Fe, Mn e Al no testemunho 1 (Figuras 52, 53, 54, respectivamente) mostram uma tendência variável de aumento da base do testemunho em direção ao topo. Próximo à camada superficial, essas concentrações se elevam, indicando possivelmente o aumento do aporte de materiais contendo estes elementos, para o Sistema,

nos últimos 20 anos. Estes metais apresentaram um padrão de distribuição geoquímica similar entre si, o que reforça o comportamento geoquímico similar entre eles. O Ferro apresentou-se em elevadas concentrações nas camadas basais deste testemunho quando comparado com os demais metais e também, com teores maiores nas proximidades de áreas sem cobertura vegetal.

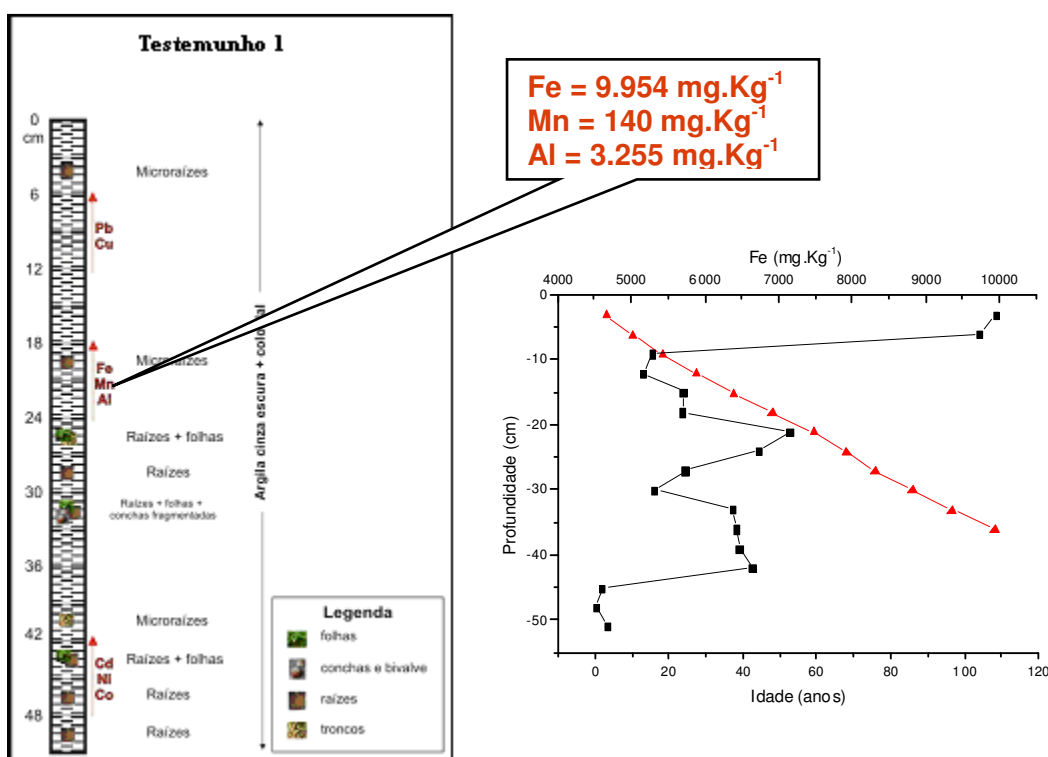


Figura 52: Concentração biodisponível de Fe nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 1. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

O Mn apresentou um valor máximo de 140 mg/Kg⁻¹ à 60 anos atrás, a maior concentração desse metal no Sistema.

O Al também teve um comportamento parecido com o Mn, neste testemunho, apresentando a maior concentração à cerca de 100 anos e a menos de 20 anos atrás.

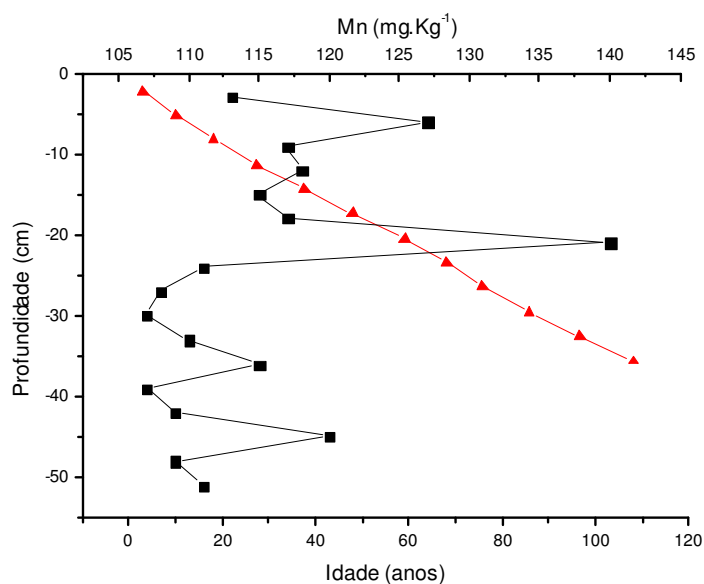


Figura 53: Concentração biodisponível de Mn nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 1. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

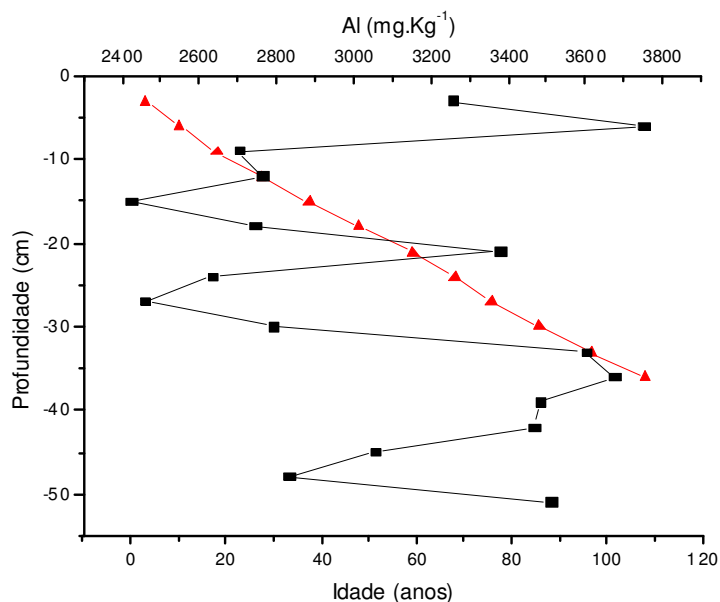


Figura 54: Concentração biodisponível de Al nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 1. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

O níquel apresentou maior concentração no testemunho 1 ($8,5\text{mg.Kg}^{-1}$) na camada de 42 cm a ± 120 anos atrás (Figura, 55).

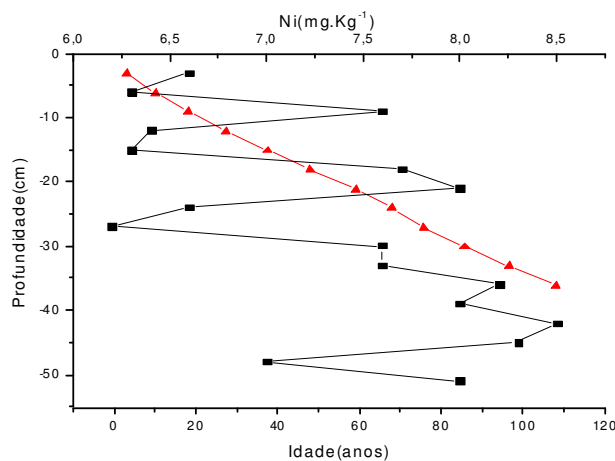


Figura 55: Concentração biodisponível de Ni nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 1. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

O Co neste testemunho teve um aumento considerável em sua concentração a 125 anos atrás (Figura, 56). O comportamento do Cd a 130 anos (Figura, 57) é aproximadamente na mesma época igual ao do Ni-Co.

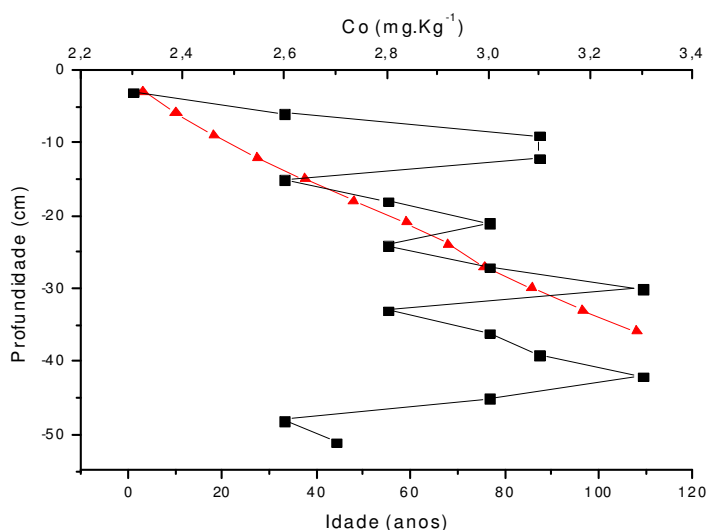


Figura 56: Concentração biodisponível de Co nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 1. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

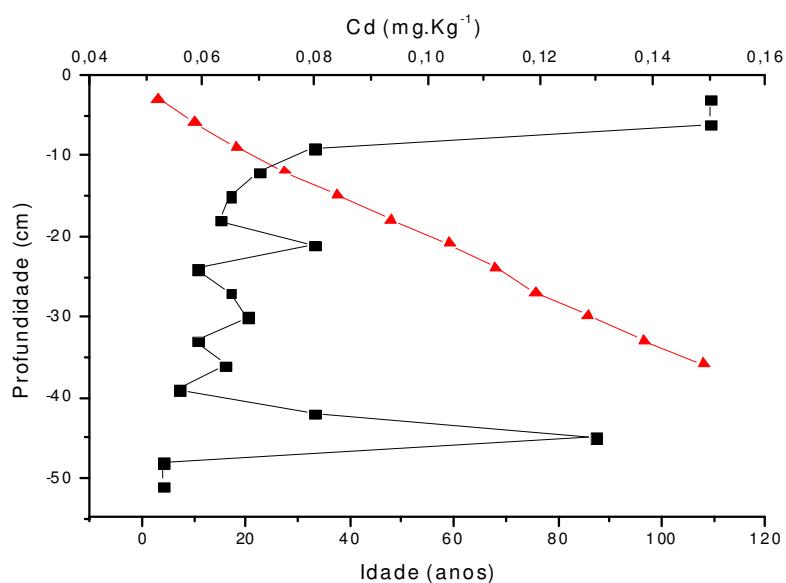


Figura 57: Concentração biodisponível de Cd nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 1. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

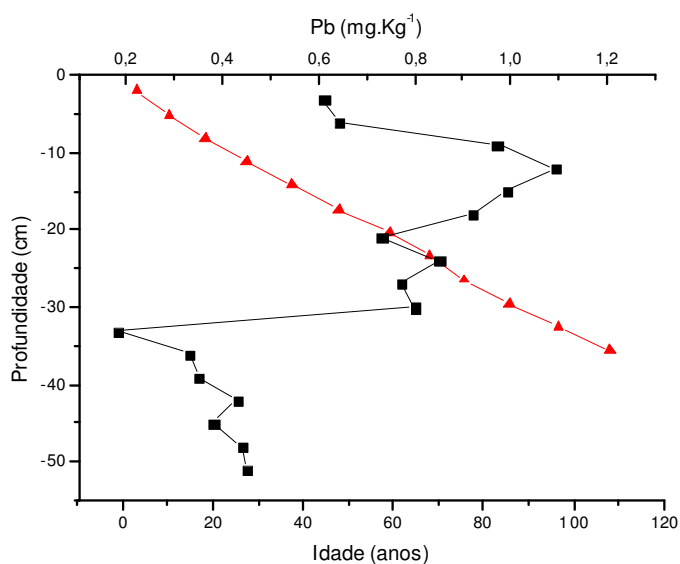


Figura 58: Concentração biodisponível de Pb nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 1. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

O Cu apresentou maiores concentrações (11 mg.Kg^{-1}) na camada de 9 cm com idade de 18,21 anos (Figura 59). O Pb, neste testemunho, apresentou a menor concentração ($1,09 \text{ mg.Kg}^{-1}$) do Sistema, no leito estudado do rio São Miguel (Figura 58). Provavelmente, o aumento da concentração de Cu nas camadas mais recentes está relacionado a uma fonte geogênica, proveniente do substrato rochoso da área, uma vez que Cu e Pb tem comportamento similar, como pode ser visto na distribuição das concentrações ao longo do testemunho 1, com pico de valor máximo para os dois elementos em cerca de 30 – 40 anos atrás, e estes elementos constituem uma associação geoquímica comum (Mason & Moore, 1982).

Como estes os elementos químicos Fe, Al e Mn estão comumente associados no ambiente geoquímico superficial (Carvalho, 2005), esta coincidência deve refletir uma fonte comum geogênica (substrato geológico).

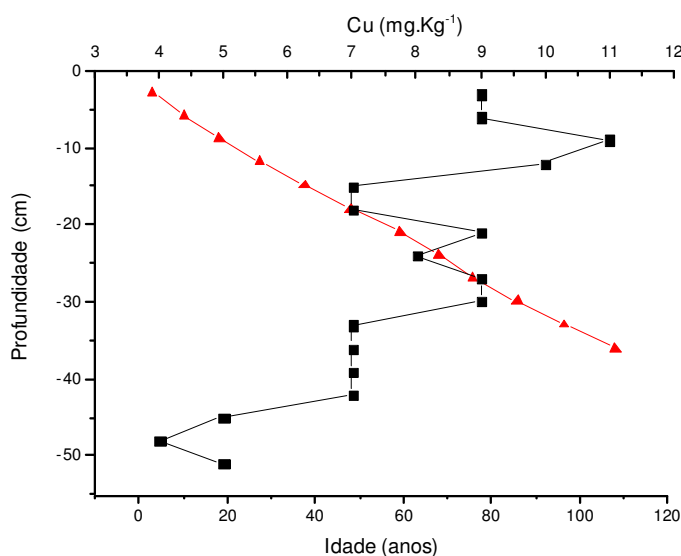


Figura 59: Concentração biodisponível de Cu nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 1. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

IV.4.4.1.2 Testemunho 2

No testemunho 2 verificou-se que a 100 anos atrás houve um aumento significativo na concentração de Fe nas camadas mais profundas em direção as mais superficiais (Figura 60).

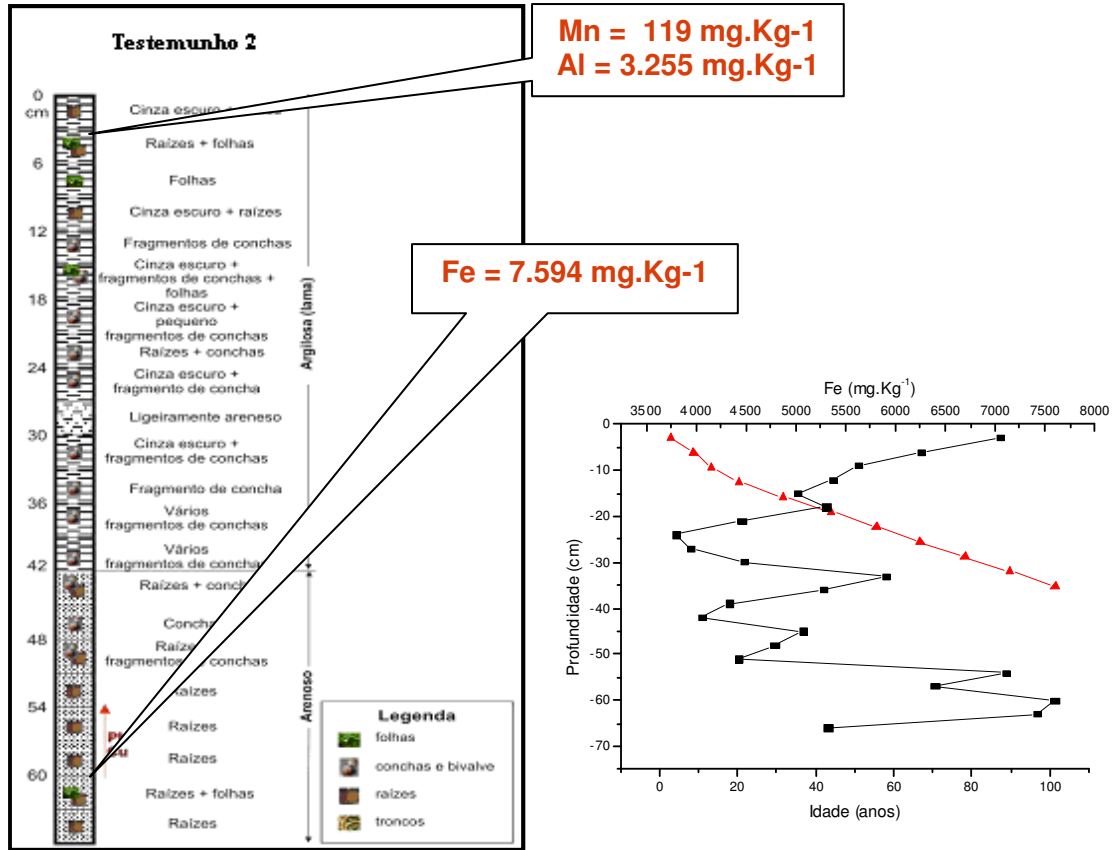


Figura 60: Concentração biodisponível de Fe nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 2. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

A curva que representa as concentrações de Mn no testemunho 2 apresenta uma tendência natural do aumento das concentrações em direção ao topo. Verificou-se um aumento considerável nos últimos 20 anos, atribuído possivelmente à associação geoquímica característica com o Fe que mostra igualmente um aumento neste mesmo período. Por este mesmo comportamento similar é que se explica que na Figura 61 existem valores relativamente elevados de Mn nas camadas de sedimento referentes a 100 anos atrás.

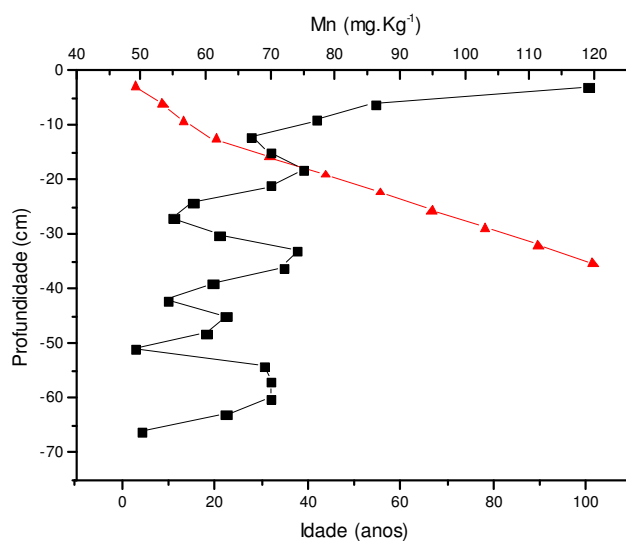


Figura 61: Concentração biodisponível de Mn nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 2. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

Nos últimos 10 anos o Al neste testemunho apresentou um aumento em sua concentração o que demonstra que neste ponto houve possivelmente uma movimentação dos sedimentos de fundo do Sistema desencadeando esse aumento e conseqüentemente o assoreamento nas áreas próximas a esse ponto (Figura 62).

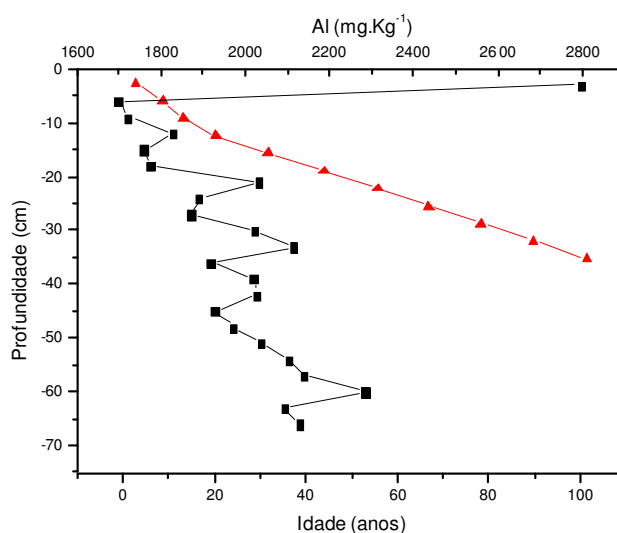


Figura 62: Concentração biodisponível de Al nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 2. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

As Figuras 63 e 64 apresentam as concentrações para o Ni e Co observou-se um aumento considerável dessas concentrações nos últimos 10 anos.

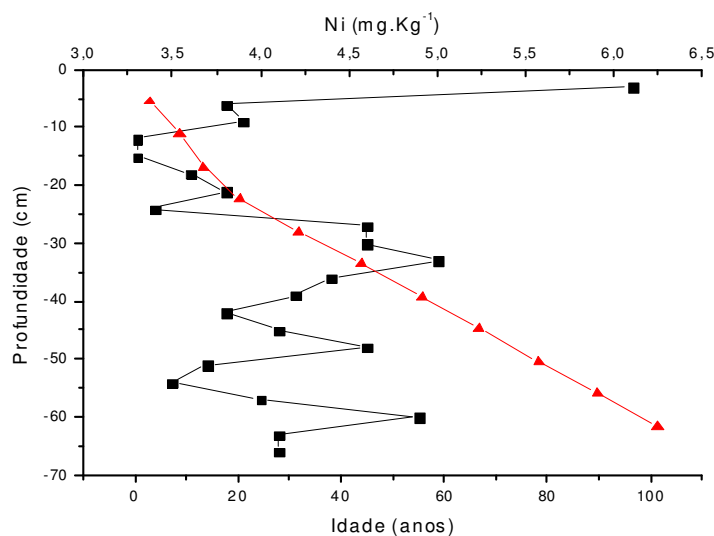


Figura 63: Concentração biodisponível de Ni nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 2. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

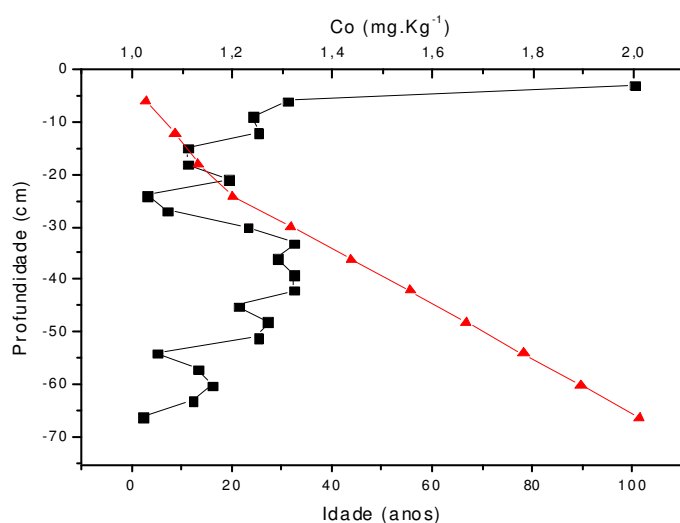


Figura 64: Concentração biodisponível de Co nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 2. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

No testemunho 2 a maior concentração de Cd (0,16 mg.Kg⁻¹) foi na camada de 42 cm com idade maior que 101,4 anos (Figura 65).

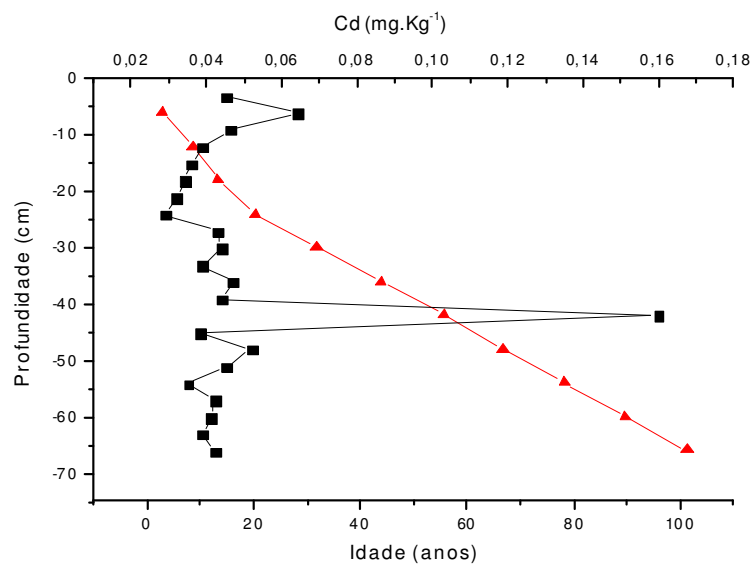


Figura 65: Concentração biodisponível de Cd nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 2. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

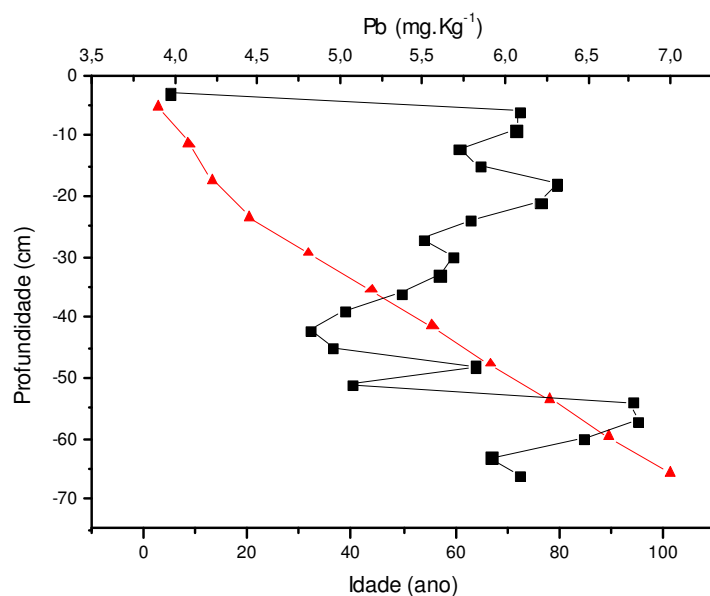


Figura 66: Concentração biodisponível de Pb nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 2. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

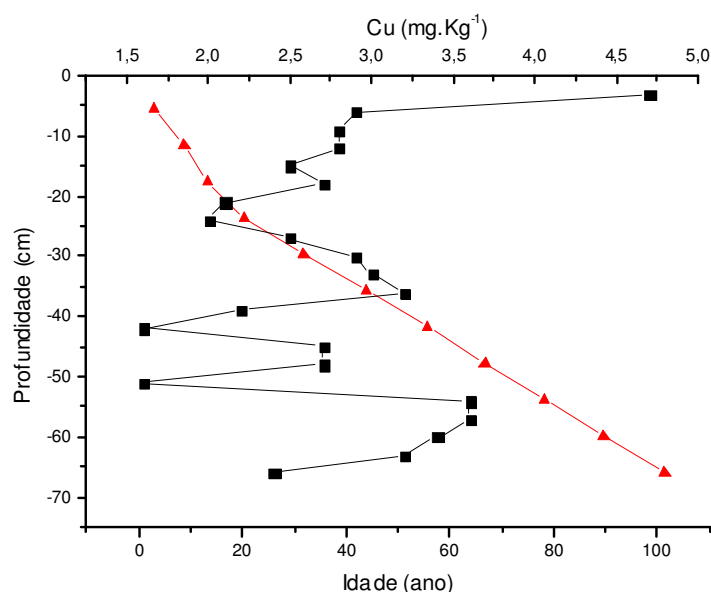


Figura 67: Concentração biodisponível de Cu nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 2. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

O Pb no testemunho 2 apresentou uma diminuição de concentração nos últimos 10 a 20 anos. Duas possibilidades: diminuição do aporte deste metal a partir da fonte contaminadora, e retenção por organismos. Quanto à retenção desse metal, o que pode ocorrer com os demais (Fe, Mn, Al, Co, Ni, Cd e Cu), destaca-se que os moluscos existentes nesse ponto, como é o caso da ostra que ocorre em grandes concentrações neste local e por serem grandes filtradores (Lima,1997), poderiam estar concentrando tais metais. Uma vez incorporado por seres vivos esse metal não se elimina mais, só se acumula cada vez mais. Sugere-se um estudo mais aprofundado da concentração de metais pesados incorporados à fauna bentônica filtradora do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro.

O Cu apresentou uma tendência natural esperada para os sistemas naturais. Aumento progressivo em direção ao topo, notadamente nos últimos vinte anos. O Pb e Cu mostram uma anomalia de concentração similar entre 55-60 cm de profundidade (cerca de 80 anos). Considerando que nesta época a influência antrópica no sistema estudado pode negligenciada (excluindo-se a atividade agrícola) e estes dois metais podem ocorrer associados no ambiente geológico, possivelmente os mesmos são provenientes de uma fonte geogênica (rochas). A atividade de pesca com bomba (Dinamites) no Sistema Estuarino Lagunar é muito comum

principalmente neste ponto por estar próximo aos canais (com profundidade de aproximadamente 6,5 m. Silva, 2001). A pesca com bomba é utilizada até o presente, mesmo os pescadores terem consciência da proibição pelo órgão fiscalizador IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) previsto na Lei nº. 221 de 28/02/1967 – (2^o Código de Pesca). Este tipo de atividade remobiliza os sedimentos de fundo, expondo as camadas mais antigas com suas concentrações de metais pesados, passando a se concentrar em camadas mais recentes.

IV.4.4.1.3 Testemunho 3

No testemunho 3, na camada com profundidade de 33 cm e de idade de cerca de 53 anos, verificou-se que as concentrações de (Fe, Mn, Al e Pb) apresentaram os maiores valores comparando com os demais testemunhos. Possivelmente esta correlação química pode estar associada a uma fonte geogênica (substrato litológico), com exceção do Pb que poderá ter sua origem correlacionada a uma fonte antropogênica, advinda da atividade agrícola (cana de açúcar) nas proximidades da área.

O Cu e o Ni obtiveram, na camada de 24 cm e de idade de cerca de 20 anos, valores elevados. O que pode retratar uma origem possivelmente antropogênica por se tratar de um período em que houve uma acelerada expansão urbana e industrial nas proximidades do Sistema.

As concentrações para o Co e Cd na camada de 66 cm de profundidade de cerca de 100 anos, apresentaram os maiores valores, o que pode refletir um enriquecimento oriundo de uma fonte geogênica (rocha ou solo).

Este testemunho apresentou a maior concentração de Fe (11.197mg.Kg⁻¹) na camada de 33 cm de profundidade com idade 53 anos (Figura 68). Este fato provavelmente pode estar relacionado com um maior aporte de material proveniente do próprio substrato geológico (rocha-solo), uma vez que o Fe-Mn-Al existentes na região mostram-se associados (quimicamente similar).

Observou-se no testemunho 3 um aumento das concentrações de Fe, Mn, Al, Pb e Cu e valores anômalos de Ni, Co e Cd a cerca de 120 – 130 anos atrás, provavelmente retratando uma fonte geogênica similar (substrato geológico natural), pois os elementos constituem uma associação geoquímica comum do ambiente superficial (rochas e solos).

O perfil de concentração de Ni nos sedimentos do testemunho 3 (Figura 72), mostra uma tendência de variação em direção à superfície.

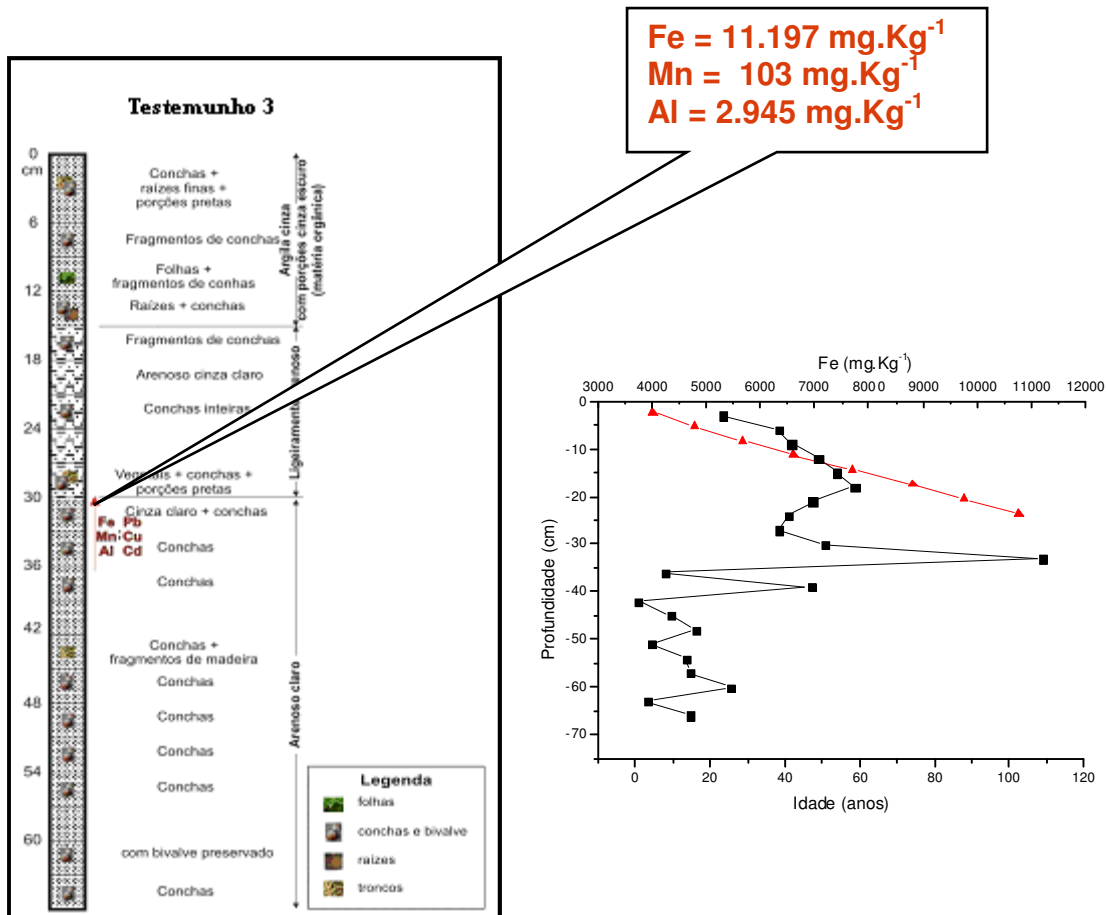


Figura 68: Concentração biodisponível de Fe nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 3. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

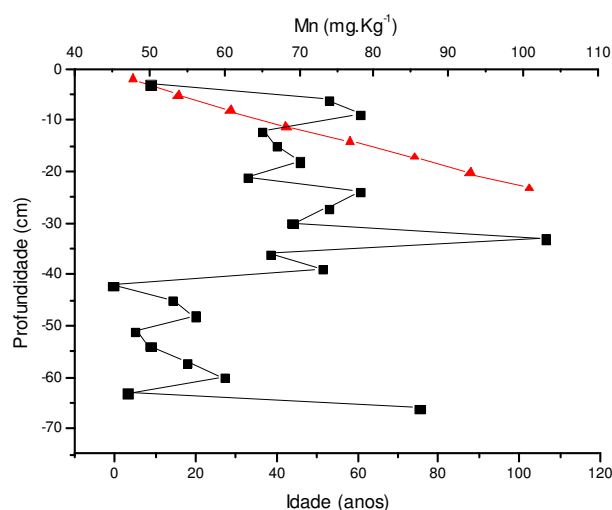


Figura 69: Concentração biodisponível de Mn nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 3. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

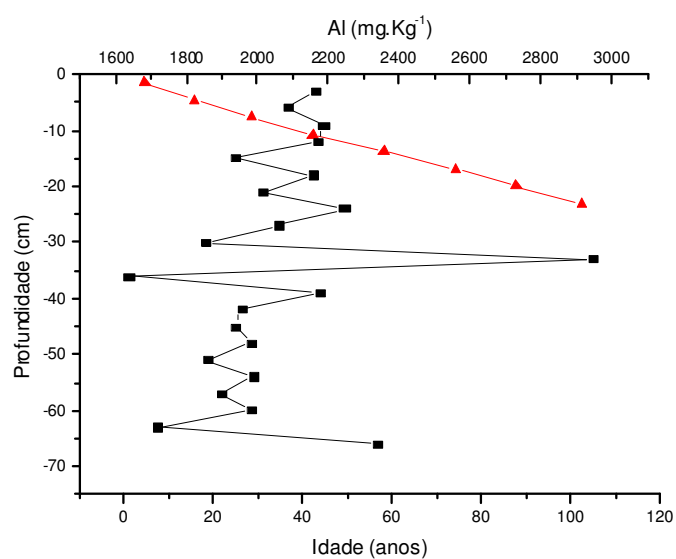


Figura 70: Concentração biodisponível de Al nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 3. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

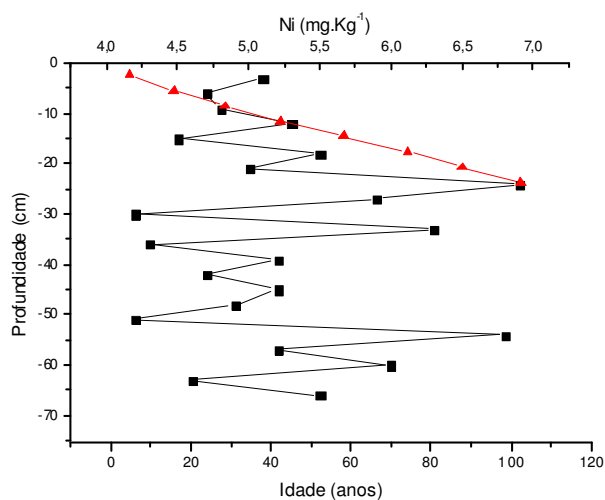


Figura 71: Concentração biodisponível de Ni nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 3. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

Os perfis de concentrações de Co e Cd (Figuras 72 e 73 respectivamente) mostram que nas camadas de 33 cm a cerca de 40 anos atrás houve diminuição das concentrações desses metais, o que reflete um ambiente favorável ao processo acumulativo desses metais para esta camada, possivelmente advindo de fonte geogênica. A profundidade de menos de 5 cm em direção a camada superficial a concentração de Co tende a aumentar.

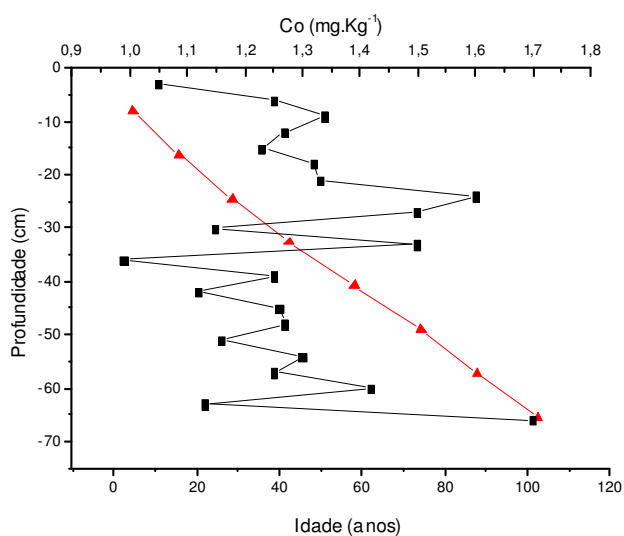


Figura 72: Concentração biodisponível de Co nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 3. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

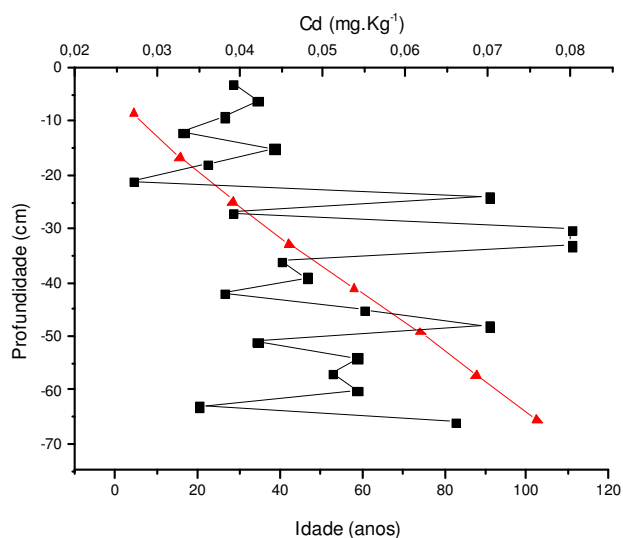


Figura 73: Concentração biodisponível de Cd nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 3. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

Nas Figuras 74 e 75, podem ser verificadas as distribuições das concentrações de Pb e Cu.

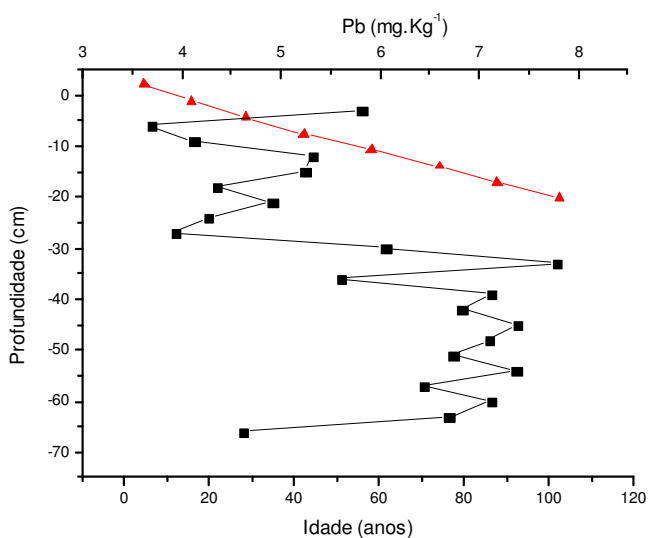


Figura 74: Concentração biodisponível de Pb nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 3. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

Com tendência a uma diminuição em direção à camada mais recente a concentração de Cu demonstra valores menores nos últimos 40 anos.

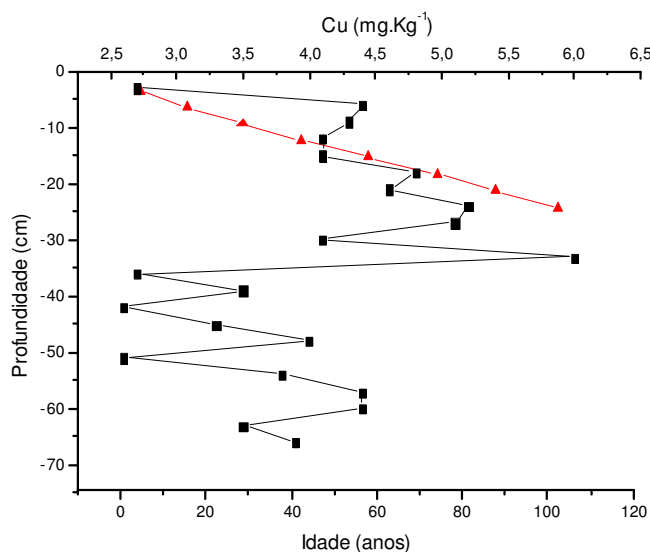


Figura 75: Concentração biodisponível de Cu nas amostras de sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro e idades das camadas amostradas no testemunho 3. Quadrado preto refere-se ao teor do metal e o triângulo vermelho refere-se às idades das camadas.

IV.4.5. SUMÁRIO INTERPRETATIVO GERAL ENVOLVENDO TODOS OS 3 TESTEMUNHOS COLETADOS NO SISTEMA ESTUARINO LAGUNAR DO ROTEIRO

O testemunho 1 notoriamente apresentou as maiores concentrações dos metais biodisponíveis para o Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro. O Mn apresentou elevadas concentrações cerca de 140mg.Kg⁻¹ para esse ponto como também, o Al (3.255 mg.Kg⁻¹), Ni (8,5 mg.Kg⁻¹), Co (3,3 mg.Kg⁻¹) e Cu (11 mg.Kg⁻¹). As maiores concentrações dos metais biodisponíveis estão nas camadas com profundidades de 3 cm, com idade de 3,11 anos. A camada 6 cm apresentou idade de 10,22 anos, com concentração de Fe (9.954 mg.Kg⁻¹) e Al (3.255 mg.Kg⁻¹). Na camada com profundidade de 42 cm de idade 108,07 anos os metais mais representativos nesta camada foram Ni e Co que apresentam similaridade química entre si.

No testemunho 02 verificou-se na camada com profundidade de 3 cm com idade 3 anos concentrações dos metais Mn (119 mg.Kg⁻¹), Al (2.798 mg.Kg⁻¹) Ni (6,1 mg.Kg⁻¹), Co

(2 mg.Kg⁻¹) e Cu (4,7 mg.Kg⁻¹). O Fe neste ponto representa maior concentração na camada com profundidade de 60 cm e com idade de 101,4 anos.

O testemunho 3 na camada com profundidade de 24 cm com idade de 102,5 anos identificou-se as concentrações dos metais Ni (6,9 mg.Kg⁻¹) e Cu (5,2 mg.Kg⁻¹).

A taxa de sedimentação para o testemunho 3 foi de 0,28 cm.ano⁻¹, no testemunho 2 observou-se uma taxa bastante elevada, 0,82 cm.ano⁻¹ em 1995 comparada ao testemunho 1 e 3. A taxa mais baixa determinada no testemunho 3 foi de 0,23 cm.ano⁻¹ para o ano de 1950. Possivelmente uma época de pouca umidade (incidência de precipitação) e modificações na área, o que permite que materiais (sedimentos provenientes do desgaste de rochas e solos que ocorreu na área) se depositem cada vez menos nas camadas de sedimentos de fundo do Sistema Estuarino Lagunar.

A taxa de sedimentação referente à camada de 24 cm para a concentração observada para Ni foi de 0,28 cm.ano⁻¹ e para o Cu 0,25 cm.ano⁻¹.

O perfil de concentração de Pb apresenta uma variação deste elemento em direção a camada mais recente do sistema, nos três testemunhos, indicando uma conjectura bastante diferente no aporte de materiais contendo estes elementos para o sistema. Considerando-se os testemunhos 1 e 2 nota-se que houve uma diminuição do aporte de materiais contendo concentrações deste metal nos últimos 10 a 20 anos.

A taxa de sedimentação média para o Sistema foi de 0,28 cm.ano⁻¹. No testemunho 2 observou-se uma taxa relativamente elevada, 0,82 cm.ano⁻¹ em 1995 comparada ao testemunho 1 e 3. A taxa mais baixa determinada no testemunho 3 foi de 0,23 cm.ano⁻¹ para o ano de 1950. Possivelmente advindo de um período mais seco de poucas chuvas, diminuindo assim, a acumulação de sedimentos de fundo do Sistema Estuarino Lagunar.

Na camada com profundidade de 66 cm (idade >102,5 anos) no testemunho 3 verificou-se as concentrações nos sedimentos de fundo do Sistema Estuarino Lagunar para os metais Co e Cd, e a taxa de sedimentação para esses metais nesta camada foram de 0,24 cm.ano⁻¹. Isto é interpretado neste trabalho como sendo uma condição de aporte comum a esses dois elementos, provavelmente de origem geogênica por se tratar de uma associação geoquímica comum no meio natural. Observou-se que em termos de distribuição das camadas que o testemunho 03 se apresenta bem definido verticalmente, do ponto-de-vista da homogeneidade na taxa de sedimentação.

IV.4.6. COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES BIODISPONÍVEIS DE METAIS DO SISTEMA ESTUARINO-LAGUNAR DO ROTEIRO (AL) COM VALORES DE REFERÊNCIA

Para a verificação do impacto ambiental que possa representar as concentrações biodisponíveis dos metais representados na Figura 3, foram considerados dois critérios comparativos para se avaliar a qualidade dos sedimentos de fundo da área em foco:

Um desses critérios foi estabelecido pela legislação canadense (MacDonald, 1996), o qual definiu dois limites: o **ISQG** ("Interim Sediment Quality Guidelines"), que indica o nível abaixo do qual não ocorre efeito adverso à comunidade biológica; e o **PEL** ("Probable Effect Level"), que é o nível acima do qual é provável a ocorrência de efeito adverso à comunidade biológica e a faixa entre o **ISQG** e o **PEL** representa uma possível ocorrência de efeito adverso à comunidade biológica.

O outro é o critério americano estabelecido por Long *et al.* (1995), que utilizou dados químicos e biológicos e realizou estudos de campo em sedimentos marinhos e estuarinos, definindo dois limites e três faixas para definir a qualidade dos sedimentos: o **ERL** ("effects range – low"), que indica o limite de concentração abaixo do qual (primeira faixa) os sedimentos raramente são tóxicos; o **ERM** ("effects range – medium"), indicando que os sedimentos provavelmente são tóxicos, quando algum elemento metálico ultrapassa (segunda faixa) esse valor (Much, 2003), e a faixa maior que o **ERL** e menor que o **ERM**, que indica que os sedimentos possivelmente são tóxicos.

Vale ressaltar que optou-se também pela comparação das concentrações dos metais pesados em sedimento de fundo da área investigada com valores de referência para água, por considerar que o ataque químico usado nas análises geoquímicas desta pesquisa foi fraco (HCl 0,5M 2% e completada com HNO₃ a 10%), que indica a fração considerada biodisponível, que admite-se aqui ser a fração que mais facilmente pode ser lixiviada diretamente para o meio aquoso (água do Sistema Estuarino Lagunar). Neste caso destaca-se que se compara as concentrações em amostras sólidas, em mg/Kg, com concentrações em meio aquoso, em mg/L, mas que pode-se entender que trata-se de concentrações equivalentes considerando-se que a densidade da água do sistema investigado é aproximadamente 1 g/cm³, e neste caso um litro de água (volume) tem cerca de 1 Kg (peso).

Tabela 3 – Concentrações (biodisponíveis) máximas de metais nos sedimentos de fundo do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro.

Metais	Testemunho 01	Testemunho 02	Testemunho 03
	Concentrações (mg.Kg ⁻¹)		
Fe	9.954	7.594	11.197
Mn	140	119	103
Al	3.255	2.798	2.945
Ni	8,5	6,1	6,9
Co	3,3	2	1,7
Cd	0,15	0,16	0,066
Pb	1,09	6,77	7,78
Cu	11	4,7	5,2

Os limites **ERL** e **ERM** da legislação canadense acima mencionada foram adotados pelo CONAMA na resolução CONAMA Resolução nº 344, de 25 de março de 2004 para definir os níveis (3 e 4) de classificação dos sedimentos de águas salinas e salobras (Tabela 4). No Art. 5^o dessa resolução está explícito que a extração deve ser feita com ácido forte (ácido nítrico) em forno de microondas e, portanto quando se compara com o método usado neste trabalho observa-se que o ácido nítrico só foi usado no processo de lixiviação das amostras, para a digestão leve utilizou-se o ácido clorídrico a 0,5 MOR/L. Na Tabela 5 encontram-se os níveis **ISQG – PEL** (Limites Canadenses) e **ERL – ERM** (Limites Americanos) para os elementos químicos avaliados nesta pesquisa.

Tabela 4 – Comparação dos valores máximos de concentrações biodisponíveis de metais pesados no sedimento de fundo do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro (AL) com os valores de referência para avaliação da qualidade de sedimentos.

Metal	Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro	Environmental Protection Agency – EPA (EUA)		Canadian Sediment Quality Guidelines	
	Valores máximo	ERL	ERM	ISQG	PEL
Fe	11.197	-	-	-	-
Mn	140	-	-	-	-
Al	3.748	-	-	-	-
Ni	8,5	20,9	51,6	-	-
Co	3,3	-	-	-	-
Cd	0,16	1,2	9,6	0,7	4,2
Pb	7,78	46,7	218	30,2	112
Cu	11	34	270	18,7	108

Valores em $\mu\text{g.g}^{-1}$ ou mg/Kg ; ERL – *Effect Range-Low*; ERM – *Effect Range-Median*; ISQG – *Interim Sediment Quality Guidelines*; PEL – *Probable Effect Level*.

Tabela 5 – Comparação dos valores máximos de concentrações biodisponíveis de metais pesados no sedimento de fundo do Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro (AL) com os valores de referência para a qualidade da água. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente; EPA – Agência Americana de Proteção Ambiental.

Metal	Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro (valores máximos; mg/Kg)	CONAMA 2005 (mg/L)	CONAMA 2001 (mg/L)	Environmental Protection Agency – EPA (EUA) (mg/L)
Fe	11.197	0,3	10	0,3
Mn	140	0,1	2,0	0,05
Al	3.748	0,1	10	0,05
Ni	8,5	0,025	1,0	-
Co	3,3	0,05	0,5	-
Cd	0,16	0,001	0,1	0,005
Pb	7,78	0,01	0,5	zero
Cu	11	0,009	0,5	1,3

Os resultados máximos obtidos para os elementos metálicos investigados nesta pesquisa (Fe, Mn, Al, Ni, Co, Cd, Pb e Cu) nas 61 amostras de sedimentos, estão relacionados na Tabela 4. Analisando-se a Tabela 4, verifica-se que os três testemunhos não apresentaram contaminação para os elementos Ni, Pb e Cu. O Cd apresentou o valor $0,16 \text{ mg.Kg}^{-1}$ que é maior que os valores indicativos da qualidade dos sedimentos descritos na literatura. Este resultado da comparação é significativamente inferior aos valores encontrados para os elementos Ni ($8,5 \text{ mg.Kg}^{-1}$), Pb ($7,78 \text{ mg.Kg}^{-1}$) e Cu (11 mg.Kg^{-1}) utilizando-se os 2 critérios que avaliam a qualidade dos sedimentos, o canadense, com os 3 testemunhos abaixo dos limites ISQG e PEL, e o americano, também com os 3 testemunhos abaixo dos limites ERL e ERM. Esses dados sugerem que a fração biodisponível dos metais não representam riscos de contaminação ao Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro. Na Tabela 5 verificou-se que os valores obtidos das concentrações desses metais dissolvidos na água apresentaram valores superiores àqueles estabelecidos pela legislação do CONAMA/2005-2001. E portanto esses resultados demonstram um ambiente de fundo do Sistema Estuarino Lagunar de médio impacto por esses metais.

IV.4.7. COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES BIOSIPONÍVEIS DE METAIS DO SISTEMA ESTUARINO-LAGUNAR DO ROTEIRO (AL) COM OUTRAS ÁREA NO BRASIL E NO GLOBO

Através da comparação com outros ambientes costeiros do litoral Brasileiro (Tabela 6), podemos observar que o Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro tem as concentrações dos metais pesados bem abaixo das encontradas nos demais ambientes comparados. Cabe ressaltar que a maioria dos trabalhos de base comparatória como os de Honorato (2002) e Freitas (2002), apresentaram ambientes bastante distintos quanto às suas concentrações de metais. Contudo o Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro apresentou um cenário não impactado por metais pesados.

Em comparação com outras lagoas costeiras do mundo, o Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro apresenta as concentrações (biodisponíveis) de Fe, Mn, Al, Ni, Co, Cd, Pb e Cu menores que os ambientes apresentados na Tabela 6. O que demonstra um cenário ainda minimamente impactado, devido à ocorrência de um número pequeno fontes poluidoras até o presente.

Tabela 6 - Comparação dos valores máximos de concentrações biodisponíveis de metais pesados no Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro (AL) com concentrações de metais pesados no sedimento de fundo superficial de diferentes lagoas costeiras e lagoas do Brasil, e estuários do mundo.

Metal	Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro – AL (mg.Kg ⁻¹) 1	Estuário de Curimataú (RN) (mg.Kg ⁻¹) 2	Estuário do Canal Santa Cruz, Rio Botafogo (PE) (mg.Kg ⁻¹) 3	Estuário de Coatzacoalcos – México (mg.Kg ⁻¹) 4	Laguna Madre – EUA (mg.Kg ⁻¹) 5	Estuário de Malabar – Austrália (mg.Kg ⁻¹) 6	Lagoa Olho D'Água – PE (mg.Kg ⁻¹) 7	Lagoa Rodrigo de Freitas – RJ (mg.Kg ⁻¹) 8
Al	3.748	a: 0,25-6,36 b:0,54-8,76	-	-	0,5-4,14	-	-	-
Fe	11.197	a: 0,10-5,02 b: 0,16-5,82	-	a:1-4 b:0,70-5	0,07-1,7	a:0,4-1,0 b:2,6-3,2	103	-
Mn	140	a:15,1-426 b:32,6-815	-	a:100-700 b:300-770	9,74-150	a:27-110 b:92-205	-	-
Ni	8,5	a:0,14-30,9 b:0,69-36,1	21	a:16-182 b:7-35	< 3,0-24,5	a:2-8 b:21-27	-	20,7
Co	3,3	-	-	-	-	-	0,11	-
Pb	7,78	a:0,38-11,6 b:1,72-23,7	47	a:39-66 b:0,02-50	< 7,5-80,5	a:6-20 b:42-86	-	105
Cu	11	a:0,15-19,7 b:0,12-25,3	32	a:7-113 b:10-84	< 0,6-18,5	a:2-13 b:32-66	-	103
Cd	0,16	a: < 0,25 b: < 0,25	1,2	a:0,74-5,07 b:1,84-3,5	< 1,2-2,7	a:< 0,3 b:<0,3-0,5	-	0,40

1. Este trabalho: fração < 63µm ataque com HCL 0,5 M e completado com HNO₃ 10% ; estação seca.
2. Garlipp (2006): fração < 1mm, ataque – água régia; a) estação seca e b) estação chuvosa;
3. Enjolras (2008):
4. Bahena-Manjarres *et al.*(2002): amostra total a) estação seca e b) estação chuvosa, ataque HNO₃ – Hcl 5:2.
5. Sharma *et al.* (1999): amostra total, ataque HF – HclO₄ –HNO₃.
6. Matthai e Birch (2000): a) amostra total e b) fração < 62,5 µm, ataque HclO₄ – HNO₃ 2:1.
7. Honorato (2002): fração < 63µm ataque com Hcl 0,5 M, estação seca.
8. Loureiro (2006): fração < 63µm, ataque Hcl 0,1N; estação seca.

IV.4.8. DISCUSSÕES

A taxa de sedimentação média calculada pelo método do excesso de ^{210}Pb foi de $0,28 \text{ cm.ano}^{-1}$. A menor taxa de sedimentação $0,23 \text{ cm.ano}^{-1}$ foi observada no testemunho 3 em 1950, possivelmente relacionado a um período de condições climáticas de menor precipitação, diminuindo o aporte de sedimento para esse ponto. O testemunho 2 apresentou a maior taxa $0,82 \text{ cm.ano}^{-1}$ em 1995. Período possivelmente de maior precipitação condição decisiva para o aporte de sedimentos.

A distribuição da concentração dos metais pesados investigados no testemunho 01 parecem estar diminuindo em direção à época atual, com exceção do caso do Fe e o do Ni, para os quais as concentrações vêm aumentando neste ponto (Figuras 50 e 53). Isto provavelmente evidencia a ação de alguns agentes aquáticos como, por exemplo, animais bentônicos (arraia), pesca com rede de arrasto e com bombas, que vem remobilizando os sedimentos de fundo do Sistema Estuarino Lagunar, trazendo a tona camadas mais antigas que concentram teores de Fe (9.954 mg.Kg^{-1}) e Ni ($8,5 \text{ mg.Kg}^{-1}$) elevados para esta ponto.

No testemunho 02 todos os metais pesquisados tiveram aumento em suas concentrações em direção ao tempo mais recente com exceção do Pb e do Cd, que mostram diminuição de concentrações neste mesmo sentido (Figuras 63 e 64).

O testemunho 03 apresentou diminuição na concentração de quase todos os elementos em direção ao tempo mais recente com exceção de Al, Ni e Pb que tiveram aumento considerável nas camadas de sedimentos da época mais atual (Figuras 68,69 e 72).

O elemento Fe apresentou nos três testemunhos os maiores valores para todo o Sistema. Entretanto, sua origem pode estar associada a uma fonte geogênica (substrato rochoso), dada a associação geoquímica preferencial com Mn e Al, em todos três testemunhos.

A comparação com valores de referência de sedimentos evidenciou que, para os elementos Fe, Mn, Al, Ni, Co, Cd, Pb e Cu seus teores nos três testemunhos apresentaram-se

abaixo dos ERL, ERM, ISQG e PEL. Verificando-se assim que suas concentrações não representam risco de contaminação para o Sistema.

Para o elemento Ni, observou-se nos três testemunhos que suas concentrações não representam contaminação para o ambiente. Os teores apresentaram-se abaixo dos ERL, ERM, ISQG e PEL.

Para o elemento Co não existem limites nos dois critérios, canadense e americano, que indicam a qualidade dos sedimentos. Esse elemento de acordo com a literatura (Referencias) tem fontes contaminantes correlacionadas a ele como, fertilizantes sem purificação adequada, incineração do lixo, entre outras. Portanto, conclui-se que esse elemento pode fazer parte da constituição natural dos sedimentos dessa área ou é resultado de processos climáticos naturais ou mesmo de ações antropogênicas de ocorrência no Sistema.

O elemento Cd apresentou um único ponto identificado com valor maior que os demais testemunhos. Este elemento no testemunho 02, não representa grau de contaminação para o ambiente com base ERL, ERM, ISQG e PEL.

Para o elemento Pb, os três testemunhos apresentaram um aumento em sua concentração. No testemunho 03 verificou-se um aumento maior em relação aos outros testemunhos. Foi verificado pelos critérios de qualidade de sedimentos como não contaminado, pois as concentrações encontradas apresentaram-se abaixo dos ERL, ERM, ISQG e PEL.

Verificou-se para o elemento Cu que seus teores estão abaixo dos ERL, ERM, ISQG e PEL. Não representando risco de contaminação para o Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro.

As análises geoquímicas das amostras de sedimento de fundo revelaram que os elementos analisados apresentaram concentrações características de um Sistema Estuarino Lagunar não poluído (Fe: 3.736 a 11.197 mg.Kg⁻¹; Mn: 45 a 140 mg.Kg⁻¹; Al: 1635 a 3748 mg.Kg⁻¹; Ni: 3,3 a 8,5 mg.Kg⁻¹; Co: 0,99 a 3,3 mg.Kg⁻¹; Cd: 0,027 a 0,16 mg.Kg⁻¹; Pb: 0,18 a 7,78 mg.Kg⁻¹ e Cu: 1,6 a 11 mg.Kg⁻¹) com base nos índices ERL, ERM, ISQG e PEL. Um padrão de distribuição espacial dos metais foi observado durante a estação seca que foi a de coleta, com maiores concentrações de Mn, Ni, Co e Cu no testemunho 1 a montante do Sistema. As maiores concentrações para Cd foi na parte central do Sistema no testemunho 2.

O testemunho 3 próximo ao canal da margem direita sentido montante-jusante, apresentou as maiores concentrações para Fe e Pb, o que representam uma associação com fontes geogênicas.

Na área de estudo destacam-se como principais atividades antropogênicas, potencialmente contaminantes, o uso de fertilizantes e de pesticidas utilizados pelas usinas de açúcar e o descarte de efluentes domésticos dos municípios de Roteiro e Barra de São Miguel contribuindo, possivelmente, como fontes poluidoras do Sistema. As concentrações dos elementos analisados no Sistema apresentaram valores característicos de um ecossistema não poluído. De um modo geral, pode-se dizer que potenciais fontes poluidoras são, na sua grande maioria, geogênicas.

No que se refere à avaliação de impacto ambiental sofrido pelo Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro, os resultados de taxa de sedimentação e a análise geoquímica dos sedimentos mostraram que apesar de várias fontes poluentes estarem presentes na área, o Sistema se apresenta com níveis de concentrações de metais nos sedimentos de fundo, baixos dentro dos padrões de referência do CONAMA.

IV.4.8.1. COMPARAÇÃO COM FONTES CONTAMINANTES DE OUTRAS ÁREAS DO GLOBO

Em seu estudo no estuário da Galicia, noroeste da Espanha, Carral (1995) investigou os níveis de metais nos sedimentos de fundo e em organismos. Os sedimentos estuarinos evidenciam uma forte tendência a acumular os contaminantes, especialmente metais pesados, e a análise desses sedimentos constitui assim um meio de obtenção rápida de informações sobre uma gama de variáveis.

A concentração dos metais (Al, Co, Ni e Cr) nos sedimentos do estuário da Galicia apresentaram um coeficiente baixo, com base nos padrões de referências (USEPA, 1998/ Agência Ambiental Canadense, 2002).

Os valores desses metais (Al, Co e Ni) para o Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro também apresentaram valores abaixo dos de referências, evidenciando um ambiente não contaminado.

Dassenakis (1994), em seu estudo com estuários gregos, aponta que o comportamento químico e dos padrões de concentração de metais traços em estuários são influenciados por atividades humanas (agricultura, irrigação entre outras) e morfológicas. A concentração de Cu em elevados valores tem sua origem antropogênica, em estuários poluídos da Grécia e do resto do Mediterrâneo.

As elevadas concentrações de Ni que foram medidas em estuários gregos tem uma probabilidade de ter sua origem em uma fonte geológica (Dassenakis, 1994).

As medições para Cu e Ni no Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro foram bem abaixo dos valores de referência internacional. É importante ressaltar que essas agências internacionais têm como referência a fração total dos contaminantes e neste trabalho os resultados obtidos referem-se à fração biodisponível.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados dos parâmetros físico-químico da água (T, pH, Condutividade elétrica e Sólidos totais dissolvidos) evidenciaram características compatíveis com um ambiente que vem passando por processo de poluição ainda considerado de menor intensidade, apesar da presença de poluentes industriais e de esgotos domésticos descartados na bacia do rio São Miguel e conseqüentemente no sistema.

A taxa de sedimentação média calculada pelo método do excesso de ^{210}Pb foi de $0,28 \text{ cm.ano}^{-1}$. A menor taxa de sedimentação $0,23 \text{ cm.ano}^{-1}$ foi observada no testemunho 3 em 1950, possivelmente relacionado a um período de condições climáticas de menor precipitação, diminuindo o aporte de sedimento para esse ponto. O testemunho 2 apresentou a maior taxa $0,82 \text{ cm.ano}^{-1}$ em 1995, período possivelmente de maior precipitação condição decisiva para o aporte de sedimentos.

As concentrações nos testemunhos revelaram que os elementos analisados apresentaram concentrações características de um estuário não poluído. O fator de enriquecimento importante para obtenção dos elementos analisados com exceção do Fe evidenciou a ausência de poluição. A maior concentração de Fe no Sistema Estuarino Lagunar foi observada nas proximidades da desembocadura, denunciando que uma parcela de sua origem se deve a uma fonte geológica, o que sugere poluição advinda da retirada de cobertura vegetal, deixando exposta a Formação Barreiras.

Atualmente a distribuição da concentração dos metais pesados investigados no testemunho 01 tende a maior diminuição, com exceção do Fe e o do Ni, cujas concentrações vêm aumentando neste ponto. No testemunho 02 todos os metais pesquisados tiveram aumento em suas concentrações em direção ao recente com exceção do Pb e do Cd, que

mostraram diminuição de concentrações neste mesmo sentido. O testemunho 3 apresentou diminuição na concentração de quase todos os elementos com exceção de Al, Ni e Pb que tiveram aumento considerável nas camadas mais recentes.

As concentrações de ferro, manganês, alumínio e chumbo, no testemunho 3 apresentaram um horizonte bem definido coincidindo provavelmente com a época de ocupação da área. A partir deste horizonte as concentrações destes elementos deixam de apresentar-se constantes, e passam a mostrar um perfil com forte tendência de aumento em direção à superfície, podendo ser consideradas fora dos padrões naturais e significativamente diferentes dos valores nas camadas mais profundas.

Os registros geoquímicos nos sedimentos da área de estudo indicam que o sistema mantém-se com bom nível de nutrientes onde se desenvolvem amplamente espécies animais como a ostra e o sururu que servem de fonte alimentar para a população local. Cientificamente foi possível acompanhar através do tempo, a assinatura geoquímica da ocupação antrópica no contexto geográfico do sistema. O registro sedimentar e geoquímico torna-se referência ambiental para a área, considerando o desenvolvimento industrial e urbano.

No que se refere à avaliação de impacto ambiental sofrido pelo Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro, os resultados de taxa de sedimentação e a análise geoquímica dos sedimentos mostraram que apesar de várias fontes poluentes estarem presentes na área, o Sistema se apresenta com níveis de concentrações de metais nos sedimentos de fundo, muito baixos dentro dos padrões de referência do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA.

Em vista disso, torna-se importante a adoção de medidas de controle de poluição e de qualidade das águas do Sistema e do rio São Miguel, seu principal contribuinte. Estas medidas de controle devem abranger principalmente ações de preservação da mata ciliar da bacia do rio São Miguel, sensibilização junto às comunidades ribeirinhas para que não lancem esgotos no rio e no Sistema, medidas estas que venham contribuir para que o Sistema permaneça com essas condições ambientais ainda favoráveis nos padrões da legislação ambiental. Os resultados aqui apresentados trazem um melhor entendimento dos Sistemas estuarinos lagunares do litoral de Alagoas, podendo ser considerado o pioneiro na determinação da taxa de sedimentação e datação, por ^{210}Pb , dos sedimentos de fundo em ambientes estuarinos do Estado de Alagoas.

REFERÊNCIAS

- Arancibia, A. Y. 1987. **Lagunas costeras y estuarios: Cronologia, criterios y conceptos para una clasificación ecológica de sistemas costeros**. Revista de La Sociedad Mexicana de Historia Natural. Vol. XXXIX. 36 a 54p.
- Barbosa, L.M. 1985. **Quaternário Costeiro no Estado de Alagoas: Influências das variações do nível do mar**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 38,39p.
- Brayner, F.M.M. 1998. **Determinação de taxas de retenção de metais-traços por sedimentos orgânicos em um viveiro de piscicultura em área estuarina e urbana**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Carlos – SP. 76, 80p.
- BRASIL. IBGE. 2005. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Cidades@. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em 18 set. 2008.
- Carvalho, I.G. **Fundamentos da geoquímica dos processos exógenos**. Bureau Gráfica e Editora Ltda., 239 p., 2005.
- Carral, E. **Background heavy metal levels in estuarine sediments and organisms in Galicia (northwest Spain) as determined by modal analysis**. The Science of the Total Environment, 175-188 p., 1995.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, 1999. **Qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo.

- Costa, J.A. 1980. **Geomorfologia as área de Maceió**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 133p.
- Dassenakis, M. A. Degaita, M. Scoullou. **Trace metals in sediments of a Mediterranean estuary affected by human activities (Acheloos river estuary, Greece)**. The Science of the Total Environment 168, 19-31p. 1995.
- Ewing, G. W. 1989. **Métodos Instrumentais de Análise Química**. 5. reimp., São Paulo: Edgard Blucher
- Feijó, F.J & Vieira, R.A.B. 1990. **Bacias de Sergipe e Alagoas**. Boletim de Geociências da PETROBRÁS. Rio de Janeiro, 8 (1): 149 – 161, jan / mar.
- Freitas, V.P.S. et.al. 2002. **Padrão físico-químico da água de abastecimento público da região de Campinas**. Rev. Inst. Adolfo Lutz 61(1) p.51-58.
- Förstner, U.; Wittmann, G. T. W. 1979. **Metal pollution in the aquatic environment**. 2 ed. Germany: Springer-Verlag Berlin. Heidelberg, 486p.
- Garlipp, A.B. 2006. **Variação especial e sazonal de elementos maiores e traço no Estuário do Rio Curimataú (RN), através de dados geoquímicos e de sensoriamento remoto**. Tese de Doutorado, PPGG. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Govett G. J. S. 1983. **Rock Geochemistry in Mineral Exploration. Handbook of Exploration Geochemistry** Serie. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, v. 3, 461 pp.
- Goes, M.H.B. 1979. **Ambientes Costeiros do Estado de Alagoas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 339p.
- Godoy, J.M., Moreira, I. Wanderley, F.F, Simões Filho e Mozeto, A.A. 1998. **An alternative method for the determination of excess ^{210}Pb in sediments**. Radiation Protection Dosimetry, Vol.75, pp. 111 – 115; Nuclear Technology Publishing.
- Godoy, J.M.; Moreira, I.; Bragança, M.J.; Wanderley, C.; Mendes, L. B. 1995. **A study of Guanabara Bay sedimentation rates**. In: III Encontro de Aplicações Nucleares, Águas de Lindóia, SP. Anais....179-185p.
- Henry, R. 1995. **A variabilidade de alguns fatores físicos e químicos da água e implicações para amostragem: estudos de caso em quatro represas do estado de São Paulo**. 245 a 262p.

- Honorato, E.V 2002. **Sedimentos da lagoa olho d'água: geocronologia e acumulação de metais-traços**. Tese de Doutorado, Departamento de Energia Nuclear. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 03-27p.
- INMETRO/2003 - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Orientações sobre validação de métodos de ensaios químicos DOQ-CGCRE-008** Revisão: 01 – Março.
- INMET/2005 – PROGCLIMA. **Boletim de prognóstico climático CPTEC/INPE**.
<http://www.inmet.gov.br>
- Kjellstrom, T.E. 1984. **Perspectives and prospectives on health effects of metal**. In: **Nriagu, J.O. (ed.) Changing Metal Cycles and Human Health**. Berlin: Springer Verlag. P. 407-423.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. **Trace elements in soils and plants**, 2.ed., New York :CRC Press. 365p, 1992.
- Lima, E.F.A. 1997. **Determinação de Cádmio, Cobre, Cromo e Zinco em mexilhões Perna perna (Linné, 1758) do litoral do Estado do Rio de Janeiro (Brasil)**. Dissertação de Mestrado, PUC RJ.
- Lima, I. F. 1965. **Geografia de Alagoas**. Editora do Brasil. São Paulo, 347p.
- _____. 1990. **Maceió a Cidade Restinga: Contribuição ao Estudo Geomorfológico do Litoral Alagoano**. Editora da Universidade Federal de Alagoas, Edufal. Maceió, Alagoas. Brasil, 225p.
- Lima Junior, F. 1970. **Maceió de Autrora**. Arquivo Público de Alagoas, Instituto Histórico e Geográfico de Alagoas, Maceió, 138p.
- Lankford, R.R., 1976. **Estuarine Processes**. New York : Martin Wiley Academic Press, Vol II. 182-215p.
- Long, E. R.; MacDonald, D. D.; Smith, S. L.; Calder, F. D. 1995. **Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments**. Environmental Management, 19 (1) 81-97.
- Loureiro, D. ; José Marcus Godoy; Gilberto Dias; Marcos Fernandez 1994. **Acúmulo de Pb, Cu e Zn nas camadas superficiais dos sedimentos de uma lagoa costeira urbana**:

Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ. Depto. Geoquímica, UFF; Depto. Oceanografia, UERJ; Depto. Química, PUC; LAGEMAR, UFF.

Loureiro, D.D., 2006. **Evolução dos aportes de metais pesados na lagoa Rodrigo de Freitas, RJ.** Dissertação de Mestrado, Niterói.

Mabesoone, J. M.; Campos E Silva, A.; Beurlen, K. 1972. **Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte.** Revista Brasileira de Geociências, 2(3): 173-188p.

Maia, A.D. 2004. **Avaliação da geração de drenagem ácida em um solo fabricado em laboratório contendo sulfeto de ferro e matéria orgânica.** Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Manahan, S. E.. **Environmental chemistry.** 8th. ed. Boca Raton (FL): CRC Press, 783 p., 2005. 783 p.

Mason, B.; Moore, C.B. 1982. **Principles of Geochemistry.** John Wiley & Sons, New York. 344p.

Margalef, R. 1983.**Limnologia.** Ed. Omega. Barcelona.

MacDonald, D.; Carr, R. S.; Calder, F. D.; Long, E. R.; Ingersoll, C. G. 1996. **Ecotoxicology.** 5, 253.

Much, A. P.; Vasconcelos, M. T. S. D.; Bordalo, A. A. 2003. **Environ. Pollut,** 121, 169.

Mcmanus, D. A. 1988. **Modern versus relict sediments on the continental shelf.** Geol.Soc.Amer.Bull.

Nascimento, A.F. 2008. **Determinação das concentrações dos metais pesados Pb, Cr, Zn, Cd, Cu e Ni em uma área estuarina da região metropolitana de Maceió (AL) através do uso do bioindicador *Callinectes Bocourti* A. Milne Edwards.** Monografia. Departamento de Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco, 35p.

Nimer, E. 1972. **Clima da Região Nordeste.** Revista Brasileira de Geografia, 2(34): 3-50p.

Pereira, M. E.; Duarte, A. C.; Millward, G. E.; Abreu, S. N.; Vale, C.1998. **Water.** Sci. Techol., 37, 125.

- Pestana, M. H. D. 1989. **Participação Geoquímica de Metais Pesados em Sedimentos Estuarinos nas Baías de Sepetiba e da Ribeira, RJ.** Dissertação de Mestrado - Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 211p.
- Popp, J.H. 1987. **Introdução ao Estudo da Estratigrafia e da Interpretação de ambientes de sedimentação.** Scientia et Labor Ed., Curitiba. 323p.
- Pritchard, D. W., 1967. **Observation on circulation in coastal plain estuaries.** In: Lauff, G. H. Ed. Estuaries, Am. Assoc. Adv. Sci., Spec. Publ., p 37-44: 757p.
- Ponte, F.C. 1969. **Estudos morfo-estrutural da bacia Sergipe – Alagoas.** Boletim Técnico da Petrobrás, Rio de Janeiro, 12(4): 439-474p.
- Reading, H.G. & Collinson, J.D. 1996. **Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy.** Edited by H.G. Reading. 3^a Ed. 213 – 219p.
- Resolução CONAMA nº 344, <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/reso344.doc>, acessada em 21 de Julho de 2008.
- Santana, A. G. 1995. **Estudo das características físicas da bacia hidrográfica do rio São Miguel/AL.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Alagoas. 18p.
- Strixino, J.J.C.; Santos, A.; Del Grande, M. 2006. **Diagnóstico ambiental de metais e organoclorados em córregos adjacentes a áreas de cultivo de cana-de-açúcar (Estado de São Paulo, Brasil).** Química Nova, Vol.29, nº 1. 61-65.
- Shepard, F.P. 1954. **Nomenclature based on sand-silt-clay ratios.** J. Sedim. Petrol. 24:151-158.
- Silva, A. P. 1997. **Avaliação preliminar de risco de deslizamento – desmoronamento por geoprocessamento: O caso da Lagoa do Roteiro.** Monografia apresentada ao Departamento de Geografia e Meio Ambiente. Universidade Federal de Alagoas, 58p.
- Silva, A. P. 2001. **Estudos geomorfológico e sedimentológico do sistema estuarino-lagunar do Roteiro - Alagoas.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 112p.
- Suguio, K. 2003. **Geologia Sedimentar.** Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo. 383p.

- Santos, R. C. A. L. 1998. **Estudo sedimentológico e Geoambiental no Sistema Lagunar Mundaú – Alagoas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 127p.
- Vogel, A. I. 1986. **Análise Inorgânica Quantitativa**. Rio de Janeiro: Guanabara.
- Zwirtes, I. R. 2003. **Uso da geocronologia e da distribuição de lipídios e fósforo na reconstituição histórica dos sedimentos da Lagoa da Conceição, Florianópolis, SC**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 82p.

ANEXO 1

Resultados Analíticos para Fe, Mn, Al, Ni, Co, Cd, Pb e Cu, nos três testemunhos estudados no Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro – AL.

Os dados do anexo referem-se aos resultados dos teores em (ppm) dos metais analisados neste trabalho nos três testemunhos. Assim como os Limites de detecção, Limites de quantificação e Exatidão do método.

Resultados do Ferro

Limite de detecção	Limite de quantificação	Exatidão do método (Erro relativo)*	Exatidão do método (coeficiente de variação)*
18,02	60,07	+0,73 %	1,29 %

* Calculados em relação ao material certificado IAEA-SOIL-7 (*Trace Elements in Soil*).

Testemunho 1	Teor de Fe em ppm	Testemunho 2	Teor de Fe em ppm	Testemunho 3	Teor de Fe em ppm
01	9.954 ± 129	18	7.051 ± 91	40	5.303 ± 69
02	9.737 ± 126	19	6.258 ± 81	41	6.327 ± 82
03	5.286 ± 69	20	5.627 ± 73	42	6.564 ± 85
04	5.163 ± 67	21	5.364 ± 70	43	7.062 ± 92
05	5.711 ± 74	22	5.013 ± 65	44	7.409 ± 96
06	5.702 ± 74	23	5.304 ± 69	45	7.734 ± 100
07	7.154 ± 93	24	4.454 ± 58	46	6.949 ± 90
08	6.736 ± 87	25	3.794 ± 49	47	6.516 ± 85
09	5.734 ± 74	26	3.948 ± 51	48	6.321 ± 82
10	5.320 ± 69	27	4.475 ± 58	49	7.180 ± 93
11	6.384 ± 83	28	5.904 ± 77	50	11.197 ± 145
12	6.439 ± 84	29	5.273 ± 68	51	4.227 ± 61
13	6.469 ± 84	30	4.327 ± 56	52	6.927 ± 90
14	6.651 ± 86	31	4.054 ± 53	53	3.736 ± 49
15	4.613 ± 60	32	5.076 ± 66	54	4.332 ± 56
16	4.522 ± 59	33	4.783 ± 62	55	4.812 ± 63
17	4.684 ± 61	34	4.418 ± 57	56	3.973 ± 52
		35	7.102 ± 92	57	4.617 ± 60
		36	6.393 ± 83	58	4.696 ± 61
		37	7.594 ± 98	59	5.443 ± 71
		38	7.420 ± 96	60	3.913 ± 51
		39	5.322 ± 69	61	4.702 ± 61

Resultados do Manganês

Limite de detecção	Limite de quantificação	Exatidão do método (Erro relativo)*	Exatidão do método (coeficiente de variação)*
0,9	3	+6,52 %	0,16 %

Calculados em relação ao material certificado IAEA-SOIL-7 (*Trace Elements in Soil*).

Testemunho 1	Teor de Mn em ppm	Testemunho 2	Teor de Mn em ppm	Testemunho 3	Teor de Mn em ppm
01	113 ± 0,4	18	119 ± 0,3	40	50 ± 0,3
02	127 ± 0,4	19	86 ± 0,3	41	74 ± 0,3
03	117 ± 0,4	20	77 ± 0,3	42	78 ± 0,3
04	118 ± 0,4	21	67 ± 0,3	43	65 ± 0,3
05	115 ± 0,4	22	70 ± 0,3	44	67 ± 0,3
06	117 ± 0,4	23	75 ± 0,3	45	70 ± 0,3
07	140 ± 0,3	24	70 ± 0,3	46	63 ± 0,3
08	111 ± 0,3	25	58 ± 0,3	47	78 ± 0,3
09	108 ± 0,3	26	55 ± 0,3	48	74 ± 0,3
10	107 ± 0,3	27	62 ± 0,3	49	69 ± 0,3
11	110 ± 0,3	28	74 ± 0,3	50	103 ± 0,4
12	115 ± 0,4	29	72 ± 0,3	51	66 ± 0,3
13	107 ± 0,3	30	61 ± 0,3	52	73 ± 0,3
14	109 ± 0,3	31	54 ± 0,3	53	45 ± 0,3
15	120 ± 0,3	32	63 ± 0,3	54	53 ± 0,3
16	109 ± 0,3	33	60 ± 0,3	55	56 ± 0,3
17	111 ± 0,3	34	49 ± 0,3	56	48 ± 0,3
		35	69 ± 0,3	57	50 ± 0,3
		36	70 ± 0,3	58	55 ± 0,3
		37	70 ± 0,3	59	60 ± 0,3
		38	63 ± 0,3	60	47 ± 0,3
		39	50 ± 0,3	61	86 ± 0,3

Resultados do Alumínio

Limite de detecção	Limite de quantificação	Exatidão do método (Erro relativo)*	Exatidão do método (coeficiente de variação)*
3	20	+6,69%	6,56%

* Calculados em relação ao material certificado IAEA-SOIL-7 (*Trace Elements in Soil*).

Testemunho 1	Teor de Al em ppm	Testemunho 2	Teor de Al em ppm	Testemunho 3	Teor de Al em ppm
01	3.255 ± 214	18	2.798 ± 184	40	2.162 ± 142
02	3.748 ± 246	19	1.699 ± 112	41	2.082 ± 137
03	2.700 ± 177	20	1.724 ± 113	42	2.185 ± 144
04	2.761 ± 181	21	1.831 ± 120	43	2.171 ± 143
05	2.421 ± 159	22	1.761 ± 116	44	1.935 ± 127
06	2.743 ± 180	23	1.776 ± 117	45	2.158 ± 142
07	3.377 ± 222	24	2.034 ± 134	46	2.014 ± 132
08	2.633 ± 173	25	1.892 ± 124	47	2.243 ± 147
09	2.458 ± 161	26	1.873 ± 123	48	2.057 ± 135
10	2.790 ± 183	27	2.024 ± 133	49	1.854 ± 122
11	3.599 ± 236	28	2.116 ± 139	50	2.945 ± 193
12	3.674 ± 241	29	1.918 ± 126	51	1.635 ± 107
13	3.481 ± 229	30	2.021 ± 133	52	2.173 ± 143
14	3.466 ± 228	31	2.028 ± 133	53	1.954 ± 128
15	3.055 ± 201	32	1.929 ± 127	54	1.938 ± 127
16	2.831 ± 186	33	1.974 ± 130	55	1.982 ± 130
17	3.509 ± 231	34	2.038 ± 134	56	1.859 ± 122
		35	2.105 ± 138	57	1.988 ± 131
		36	2.141 ± 141	58	1.897 ± 125
		37	2.286 ± 150	59	1.983 ± 130
		38	2.095 ± 138	60	1.717 ± 113
		39	2.129 ± 140	61	2.339 ± 154

Resultados do Níquel

Limite de detecção	Limite de quantificação	Exatidão do método (Erro relativo)*	Exatidão do método (coeficiente de variação)*
0,0008	0,0027	+28,26%	0,46 %

- Calculados em relação ao material certificado IAEA-SOIL-7 (*Trace Elements in Soil*).

Testemunho 1	Teor de Ni em ppm	Testemunho 2	Teor de Ni em ppm	Testemunho 3	Teor de Ni em ppm
01	6,6 ± 0,03	18	6,1 ± 0,03	40	5,1 ± 0,02
02	6,3 ± 0,03	19	3,8 ± 0,02	41	4,7 ± 0,02
03	7,6 ± 0,04	20	3,9 ± 0,02	42	4,8 ± 0,02
04	6,4 ± 0,03	21	3,3 ± 0,02	43	5,3 ± 0,02
05	6,3 ± 0,03	22	3,3 ± 0,02	44	4,5 ± 0,02
06	7,7 ± 0,04	23	3,6 ± 0,02	45	5,5 ± 0,03
07	8,0 ± 0,04	24	3,8 ± 0,02	46	5,0 ± 0,02
08	6,6 ± 0,03	25	3,4 ± 0,02	47	6,9 ± 0,03
09	6,2 ± 0,03	26	4,6 ± 0,02	48	5,9 ± 0,03
10	7,6 ± 0,04	27	4,6 ± 0,02	49	4,2 ± 0,02
11	7,6 ± 0,04	28	5,0 ± 0,02	50	6,3 ± 0,03
12	8,2 ± 0,04	29	4,4 ± 0,02	51	4,3 ± 0,02
13	8,0 ± 0,04	30	4,2 ± 0,02	52	5,2 ± 0,02
14	8,5 ± 0,04	31	3,8 ± 0,02	53	4,7 ± 0,02
15	8,3 ± 0,04	32	4,1 ± 0,02	54	5,2 ± 0,02
16	7,0 ± 0,03	33	4,6 ± 0,02	55	4,9 ± 0,02
17	8,0 ± 0,04	34	3,7 ± 0,02	56	4,2 ± 0,02
		35	3,5 ± 0,02	57	6,8 ± 0,03
		36	4,0 ± 0,02	58	5,2 ± 0,02
		37	4,9 ± 0,02	59	6,0 ± 0,03
		38	4,1 ± 0,02	60	4,6 ± 0,02
		39	4,1 ± 0,02	61	5,5 ± 0,03

Resultados do Cobalto

Limite de detecção	Limite de quantificação	Exatidão do método (Erro relativo)*	Exatidão do método (coeficiente de variação)*
0,0006	0,0019	+36,08 %	6,61 %

* Calculados em relação ao material certificado IAEA-SOIL-7 (*Trace Elements in Soil*).

Testemunho 1	Teor de Co em ppm	Testemunho 2	Teor de Co em ppm	Testemunho 3	Teor de Co em ppm
01	2,3 ± 0,2	18	2,0 ± 0,1	40	1,05 ± 0,07
02	2,6 ± 0,2	19	1,31 ± 0,09	41	1,25 ± 0,08
03	3,1 ± 0,2	20	1,24 ± 0,08	42	1,34 ± 0,09
04	3,1 ± 0,2	21	1,25 ± 0,08	43	1,27 ± 0,08
05	2,6 ± 0,2	22	1,11 ± 0,07	44	1,23 ± 0,08
06	2,8 ± 0,2	23	1,11 ± 0,07	45	1,32 ± 0,09
07	3,0 ± 0,2	24	1,19 ± 0,08	46	1,33 ± 0,09
08	2,8 ± 0,2	25	1,03 ± 0,07	47	1,6 ± 0,1
09	3,0 ± 0,2	26	1,07 ± 0,07	48	1,5 ± 0,1
10	3,3 ± 0,2	27	1,23 ± 0,08	49	1,15 ± 0,08
11	2,8 ± 0,2	28	1,32 ± 0,09	50	1,5 ± 0,1
12	3,0 ± 0,2	29	1,29 ± 0,09	51	0,99 ± 0,07
13	3,1 ± 0,2	30	1,32 ± 0,09	52	1,25 ± 0,08
14	3,3 ± 0,2	31	1,32 ± 0,09	53	1,12 ± 0,07
15	3,0 ± 0,2	32	1,21 ± 0,08	54	1,26 ± 0,08
16	2,6 ± 0,2	33	1,27 ± 0,08	55	1,27 ± 0,08
17	2,7 ± 0,2	34	1,25 ± 0,08	56	1,16 ± 0,08
		35	1,05 ± 0,07	57	1,30 ± 0,09
		36	1,13 ± 0,07	58	1,25 ± 0,08
		37	1,16 ± 0,08	59	1,42 ± 0,09
		38	1,12 ± 0,07	60	1,13 ± 0,07
		39	1,02 ± 0,07	61	1,7 ± 0,1

Resultados do Cádmio

Limite de detecção	Limite de quantificação	Exatidão do método (Erro relativo)*	Exatidão do método (coeficiente de variação)*
0,0009	0,0029	+23,09 %	13,31 %

* Calculados em relação ao material certificado IAEA-SOIL-7 (*Trace Elements in Soil*).

Testemunho 1	Teor de Cd em ppm	Testemunho 2	Teor de Cd em ppm	Testemunho 3	Teor de Cd em ppm
01	0,15 ± 0,02	18	0,045 ± 0,006	40	0,039 ± 0,005
02	0,15 ± 0,02	19	0,064 ± 0,009	41	0,042 ± 0,006
03	0,08 ± 0,01	20	0,046 ± 0,006	42	0,038 ± 0,005
04	0,07 ± 0,01	21	0,039 ± 0,005	43	0,033 ± 0,004
05	0,065 ± 0,009	22	0,036 ± 0,005	44	0,044 ± 0,006
06	0,063 ± 0,008	23	0,034 ± 0,005	45	0,036 ± 0,005
07	0,08 ± 0,01	24	0,032 ± 0,004	46	0,027 ± 0,004
08	0,059 ± 0,008	25	0,029 ± 0,004	47	0,07 ± 0,01
09	0,065 ± 0,009	26	0,043 ± 0,006	48	0,039 ± 0,005
10	0,068 ± 0,009	27	0,044 ± 0,006	49	0,08 ± 0,01
11	0,059 ± 0,008	28	0,039 ± 0,005	50	0,08 ± 0,01
12	0,064 ± 0,009	29	0,047 ± 0,006	51	0,045 ± 0,006
13	0,056 ± 0,007	30	0,044 ± 0,006	52	0,048 ± 0,006
14	0,08 ± 0,01	31	0,16 ± 0,02	53	0,038 ± 0,005
15	0,13 ± 0,02	32	0,038 ± 0,005	54	0,055 ± 0,007
16	0,053 ± 0,007	33	0,052 ± 0,007	55	0,070 ± 0,009
17	0,053 ± 0,007	34	0,045 ± 0,006	56	0,042 ± 0,006
		35	0,035 ± 0,005	57	0,054 ± 0,007
		36	0,042 ± 0,006	58	0,051 ± 0,007
		37	0,041 ± 0,005	59	0,054 ± 0,007
		38	0,039 ± 0,005	60	0,035 ± 0,005
		39	0,042 ± 0,006	61	0,066 ± 0,009

Resultados do Chumbo

Limite de detecção	Limite de quantificação	Exatidão do método (Erro relativo)*	Exatidão do método (coeficiente de variação)*
0,00440	0,01466	- 9,32 %	6,17 %

* Calculados em relação ao material certificado IAEA-SOIL-7 (*Trace Elements in Soil*).

Testemunho 1	Teor de Pb em ppm	Testemunho 2	Teor de Pb em ppm	Testemunho 3	Teor de Pb em ppm
01	0,61 ± 0,04	18	3,96 ± 0,2	40	5,81 ± 0,4
02	0,64 ± 0,04	19	6,08 ± 0,4	41	3,69 ± 0,2
03	0,97 ± 0,06	20	6,06 ± 0,4	42	4,12 ± 0,3
04	1,09 ± 0,07	21	5,72 ± 0,3	43	5,31 ± 0,3
05	0,99 ± 0,06	22	5,84 ± 0,3	44	5,24 ± 0,3
06	0,92 ± 0,06	23	6,31 ± 0,4	45	4,35 ± 0,3
07	0,73 ± 0,05	24	6,21 ± 0,4	46	4,91 ± 0,3
08	0,85 ± 0,05	25	5,79 ± 0,4	47	4,27 ± 0,3
09	0,77 ± 0,05	26	5,50 ± 0,3	48	3,93 ± 0,2
10	0,80 ± 0,05	27	5,68 ± 0,3	49	6,05 ± 0,4
11	0,18 ± 0,01	28	5,60 ± 0,3	50	7,78 ± 0,5
12	0,33 ± 0,02	29	5,37 ± 0,3	51	5,60 ± 0,3
13	0,35 ± 0,02	30	5,02 ± 0,3	52	7,12 ± 0,4
14	0,43 ± 0,03	31	4,82 ± 0,3	53	6,82 ± 0,4
15	0,38 ± 0,02	32	4,95 ± 0,3	54	7,39 ± 0,5
16	0,44 ± 0,03	33	5,82 ± 0,4	55	7,09 ± 0,4
17	0,45 ± 0,03	34	5,07 ± 0,3	56	6,73 ± 0,4
		35	6,77 ± 0,4	57	7,37 ± 0,5
		36	6,80 ± 0,4	58	6,44 ± 0,4
		37	6,47 ± 0,4	59	7,11 ± 0,4
		38	5,91 ± 0,4	60	6,69 ± 0,4
		39	6,08 ± 0,4	61	4,62 ± 0,3

Resultados do Cobre

Limite de detecção	Limite de quantificação	Exatidão do método (Erro relativo)*	Exatidão do método (coeficiente de variação)*
0,0042	0,0141	-18,41 %	18,93 %

* Calculados em relação ao material certificado IAEA-SOIL-7 (*Trace Elements in Soil*).

Testemunho 1	Teor de Cu em ppm	Testemunho 2	Teor de Cu em ppm	Testemunho 3	Teor de Cu em ppm
01	9 ± 2	18	4,7 ± 0,9	40	2,7 ± 0,5
02	9 ± 2	19	2,9 ± 0,5	41	4,4 ± 0,8
03	11 ± 2	20	2,8 ± 0,5	42	4,3 ± 0,8
04	10 ± 2	21	2,8 ± 0,5	43	4,1 ± 0,8
05	7 ± 1	22	2,5 ± 0,5	44	4,1 ± 0,8
06	7 ± 1	23	2,7 ± 0,5	45	4,8 ± 0,9
07	9 ± 2	24	2,1 ± 0,4	46	4,6 ± 0,9
08	8 ± 1	25	2,0 ± 0,4	47	5,2 ± 1,0
09	9 ± 2	26	2,5 ± 0,5	48	5,1 ± 1,0
10	9 ± 2	27	2,9 ± 0,6	49	4,1 ± 0,8
11	7 ± 1	28	3,0 ± 0,6	50	6,0 ± 1,1
12	7 ± 1	29	3,2 ± 0,6	51	2,7 ± 0,5
13	7 ± 1	30	2,2 ± 0,4	52	3,5 ± 0,7
14	7 ± 1	31	1,6 ± 0,3	53	2,6 ± 0,5
15	5 ± 1	32	2,7 ± 0,5	54	3,3 ± 0,6
16	4 ± 1	33	2,7 ± 0,5	55	4,0 ± 0,7
17	5 ± 1	34	1,6 ± 0,3	56	2,6 ± 0,5
		35	3,6 ± 0,7	57	3,8 ± 0,7
		36	3,6 ± 0,7	58	4,4 ± 0,8
		37	3,4 ± 0,6	59	4,4 ± 0,8
		38	3,2 ± 0,6	60	3,5 ± 0,7
		39	2,4 ± 0,4	61	3,9 ± 0,7