



COPPE/UFRJ

ESTUDO DA DISPERSÃO DE RADIONUCLÍDEOS NA BAÍA DA ILHA GRANDE – RJ

Franciane Martins de Carvalho Gomes

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Nuclear, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Nuclear.

Orientadores: Ricardo Tadeu Lopes

José Marcus de Oliveira Godoy

Rio de Janeiro

Maio de 2010

ESTUDO DA DISPERSÃO DE RADIONUCLÍDEOS NA BAÍA DA ILHA GRANDE – RJ

Franciane Martins de Carvalho Gomes

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA NUCLEAR.

Examinada por:

Prof. José Marcus de Oliveira Godoy, D.Sc.

Prof. Ademir Xavier da Silva, D.Sc.

Prof. Delson Braz, D.Sc.

Prof^a. Dejanira da Costa Lauria, D.Sc.

Prof. Sambasiva Rao Patchineelan, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MAIO DE 2010

Gomes, Franciane Martins de Carvalho

Estudo da Dispersão de Radionuclídeos na Baía da Ilha Grande – RJ / Franciane Martins de Carvalho Gomes.
– Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

XIX, 135 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Ricardo Tadeu Lopes

José Marcus de Oliveira Godoy

Tese (doutorado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Nuclear, 2010.

Referências Bibliográficas: p. 85-95.

1. Dispersão de Radionuclídeos. 2. Baía da Ilha Grande. 3. CNAAA. I. Lopes, Ricardo Tadeu *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Nuclear. III. Título.

Ao meu filho Lucca, pela compreensão
das horas subtraídas de nosso convívio.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação do Programa em Engenharia Nuclear (COPPE/UFRJ) e seu corpo docente, pelos ensinamentos e conhecimentos técnico-científicos ministrados.

Ao Instituto de Radioproteção e Dosimetria, da Comissão Nacional de Energia Nuclear (IRD/CNEN), pela oportunidade e suporte técnico-financeiro dado a este trabalho.

Aos Drs. Ricardo Tadeu Lopes (PEN/COPPE) e José Marcus Godoy (SEANA/IRD) - respectivamente orientador e co-orientador - pela orientação científica durante a realização desta tese.

Aos Drs. Eduardo Dutra do Carmo, Inayá Correa Barbosa Lima, Ademir Xavier da Silva, Delson Braz, Dejanira da Costa Lauria e Sambasiva Rao Patchineelan – membros da pré-banca e banca -, por ter aceitado este encargo.

À Dra. Mariza Ramalho Franklin por disponibilizar dados relativos à sua dissertação de mestrado – ponto de partida para a realização desta tese.

À Dra. Ana Cristina Ferreira e à colega Heliane Zylberberg por disponibilizarem instalações e demais subsídios técnico-analíticos no decorrer deste projeto.

Aos colegas do Serviço de Análises Ambientais (SEANA/IRD) - Zenildo Lara, Ricardo Lobo, Maria Luiza Godoy, Luis Alfredo Roldão, Carlos Henrique Romeiro, Virgínia Medeiros, José Ivan Silva, Elder Souza, Vagner Reis, Luis Cláudio Pimentel -, pelo suporte técnico-científico para a elaboração deste trabalho.

Aos colegas Fernando Gonçalves, Elisabeth Ferreira, Isis Ferreira, Tânia Regina Magalhães, Josevalda Laranjeira, Reginaldo Baptista, Liliane Oliveira, pelo inestimável suporte administrativo e bibliográfico.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste projeto.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

A Deus, por ter me segurado quando eu precisei, para que eu pudesse continuar esta jornada até o fim.

Ao Plano Espiritual Superior, pela oportunidade de aprendizado e crescimento contínuo.

Ao meu filho Lucca, pela compreensão e paciência durante o tempo em que eu não o pertenci tanto quando ele merecia.

Aos meus pais, por me transmitirem valores que me trouxeram até aqui e fizeram tornar esse projeto uma realidade.

A minha família, por ter me apoiado sempre incondicionalmente, em todos os momentos, e pela torcida para que tudo corra bem.

Ao companheiro Nilton Barros, exemplo de dedicação em tempo integral, por todo o apoio dado no campo afetivo e emocional.

Ao amigo Aloísio Ferreira (DIEME/IRD), pelas sugestões, debates acalorados, e por ter conseguido suportar meus infundáveis diagramas explicativos.

À Dra e amiga Dejanira Lauria, por acreditar em mim como profissional, me orientando e incentivando no início desta minha trajetória científica.

A quem me fez, mesmo involuntariamente, contribuir para a redação de seu trabalho de dissertação de mestrado, por me ter me dado a chance de ajudar a quem precisava tanto de auxílio, exercendo assim o perdão e a caridade.

A todos aqueles que me ajudaram em algum momento deste projeto. Foram muitos para serem nominalmente citados.

***“O mundo é um lugar perigoso de se viver,
não por causa daqueles que fazem o mal,
mas sim por causa daqueles que
observam e deixam o mal acontecer”***

Albert Einstein

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

ESTUDO DA DISPERSÃO DE RADIONUCLÍDEOS NA BAÍA DA ILHA GRANDE – RJ

Franciane Martins de Carvalho Gomes

Maio/2010

Orientadores: Ricardo Tadeu Lopes

José Marcus de Oliveira Godoy

Programa: Engenharia Nuclear

O presente trabalho teve como objetivo geral o estudo do perfil de dispersão de radionuclídeos liberados nos efluentes líquidos da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA) na Baía da Ilha Grande (RJ). Tomando-se a atividade liberada na descarga de efluentes líquidos da CNAAA no Saco de Piraquara de Fora como parâmetro de referência para o mapeamento de seus índices de diluição, considera-se como relevante o grau de concordância entre o resultado do ^3H obtido (1:16) e o reportado por Franklin (1:20). O incremento na concentração do ^{137}Cs no período posterior a 1965 pode ser justificada pela atividade inicial na CNAAA, concluindo-se que seu endereçamento preferencial é a Baía da Ribeira, a partir do deslocamento da pluma na maré enchente e retenção deste radionuclídeo, em função das condições favoráveis de deposição local. A avaliação da predominância de mecanismo na dispersão de isótopos de rádio de meia-vida longa demonstrou ser esta uma função dos parâmetros meteorológicos predominantes no decorrer do processo de coleta. Ocorrendo predominância difusiva, as distribuições de ^{223}Ra e ^{224}Ra acarretam coeficientes de difusão na faixa de $20,12 \pm 3,81 - 21,07 \pm 3,91 \text{ km}^2 \cdot \text{d}^{-1}$, para um valor de fluxo *offshore* de ^{228}Ra de $3,18 \pm 1,01 \times 10^8 \text{ Bq} \cdot \text{d}^{-1}$ e tempo de residência aproximado de $25,35 \pm 0,45$ dias. Alternativamente, foram constatados um intervalo de tempo de residência e um nível de fluxo *offshore* de ^{228}Ra de, respectivamente, $13,08 \pm 0,21$ dias e $2,26 \pm 0,424 \times 10^8 \text{ Bq} \cdot \text{d}^{-1}$, em períodos de predominância do processo advectivo.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

STUDY OF THE DISPERSION OF RADIONUCLIDES IN THE ILHA GRANDE BAY – RJ

Franciane Martins de Carvalho Gomes

May/2010

Advisors: Ricardo Tadeu Lopes

José Marcus de Oliveira Godoy

Department: Nuclear Engineering

The present work aimed the study of the dispersion profiles of radionuclides released in liquid radioactive effluents from the Central Nuclear Almirante Alvaro Alberto (CNAAA), in the Ilha Grande Bay, located in Angra dos Reis, RJ. Taking the overall activity released by liquid effluents discharge from the CNAAA in the Piraquara de Fora Bay as a reference parameter to the dilution rates scanning, the accordance level between the achieved ^3H results (1:16) and those reported by Franklin (1:20) can be seen as relevant. The post-1965 ^{137}Cs concentration raise can be regarded as a consequence of the operational start up in the CNAAA, being the Ribeira Bay considered its preferential uptake, from the plume displacement high tide, as well as its retention, due to local deposition favourable trends. The evaluation of the prevailing mechanism on long half-life radio isotopes dispersion pointed out its dependence on meteorological condition parameters, during the sampling procedures. If diffusion prevailingness occurs, both ^{223}Ra and ^{224}Ra distribution pathways result in diffusion coefficients ranging from $20,12 \pm 3,81 - 21,07 \pm 3,91 \text{ km}^2.\text{d}^{-1}$, to a ^{228}Ra offshore flux and time of residence of, respectively, $3,18 \pm 1,01 \times 10^8 \text{ Bq.d}^{-1}$ and 25,35 $\pm 0,45$ days. On the other hand, an uppermost advection process provided ^{228}Ra offshore flux and time of residence of, respectively, $2,26 \pm 0,424 \times 10^8 \text{ Bq.d}^{-1}$ and 13,08 $\pm 0,21$ days.

ÍNDICE DO TEXTO

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 - OBJETIVOS | 6 |
| 1.1.1 - Objetivo Geral | 6 |
| 1.1.2 – Objetivos Específicos | 6 |
| CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS | 7 |
| 2.1 – ÁREA DE ESTUDO | 7 |
| 2.2 - VARIABILIDADE DA ATIVIDADE DO TRÍCIO NO MEIO HÍDRICO | 13 |
| 2.3 - VARIABILIDADE DA ATIVIDADE DO RÁDIO NO MEIO HÍDRICO | 16 |
| 2.4 - VARIABILIDADE DA ATIVIDADE DO CÉSIO EM MEIO SEDIMENTAR | 23 |
| 2.5 - VARIABILIDADE DA ATIVIDADE DO BISMUTO EM MEIO SEDIMENTAR | 24 |
| 2.6 - VARIABILIDADE DA ATIVIDADE DO CHUMBO EM MEIO SEDIMENTAR | 25 |
| CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA | 27 |
| 3.1 - DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE DO TRÍCIO EM ÁGUA DO MAR | 27 |
| 3.1.1 – Critérios de Amostragem e Aquisição de Amostras | 27 |
| 3.1.2 – Determinação da Atividade do Trício por Cintilação em Meio Líquido | 28 |
| 3.2 - DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE DO RÁDIO EM ÁGUA DO MAR | 29 |
| 3.2.1 – Síntese da Fibra de Manganês | 29 |
| 3.2.2 – Critérios de Amostragem em Águas superficiais | 31 |
| 3.2.3 – Critérios de Amostragem de Águas Subterrâneas | 34 |
| 3.2.4 – Determinação da Atividade dos Isótopos do Rádio de Meia-Vida Curta | 36 |
| 3.2.5 – Determinação da Atividade dos Isótopos de Rádio de Meia-Vida Longa | 37 |
| 3.3 – DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE DO CÉSIO EM SEDIMENTOS | 38 |
| 3.3.1 – Critérios de Amostragem e Aquisição de Amostras | 38 |
| 3.3.2 – Determinação da Atividade do Césio-137 e Bismuto-207 em Sedimentos | 39 |
| 3.3.3 – Determinação da Atividade do Chumbo-210 em Sedimentos | 39 |

| | |
|--|----|
| 3.3.4 – Determinação da Concentração de Metais em Sedimentos | 40 |
| CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO | 41 |
| 4.1 – LEVANTAMENTO DO PERFIL DA DISPERSÃO DOS RADIONUCLÍDEOS CONSERVATIVOS NO SACO DE PIRAQUARA DE FORA | 41 |
| 4.2 – LEVANTAMENTO DO PERFIL DA DISPERSÃO DOS RADIONUCLÍDEOS CONSERVATIVOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS NA BAÍA DA ILHA GRANDE | 45 |
| 4.2.1. – Análise dos Resultados Inerentes à Seqüência de Campanha de Amostragem | 45 |
| 4.2.1.1. – Primeira Campanha de Amostragem | 46 |
| 4.2.1.2. – Segunda Campanha de Amostragem | 50 |
| 4.2.1.3. – Terceira Campanha de Amostragem | 55 |
| 4.2.1.4. – Quarta Campanha de Amostragem | 58 |
| 4.2.2 – Discussão dos Resultados | 60 |
| 4.3 – LEVANTAMENTO DO PERFIL DA DEPOSIÇÃO DOS RADIONUCLÍDEOS NÃO- CONSERVATIVOS EM SEDIMENTOS NA BAÍA DA ILHA GRANDE | 73 |
| CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 81 |
| 5.1 – CONCLUSÕES | 81 |
| 5.2 – RECOMENDAÇÕES | 84 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 85 |
| ANEXOS | 96 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Baía da Ilha Grande e subdivisões (Porção Oeste, Leste e Canal Central) | 7 |
| Figura 2 - Mapa de distribuição de fácies sedimentares | 8 |
| Figura 3 - Campo de velocidades em período de maré vazante simulado pelo SisBAHIA® | 11 |
| Figura 4 - Campo de velocidades em período de maré enchente simulado pelo SisBAHIA® | 12 |
| Figura 5 – Esquema de decaimento radioativa da série do ^{238}U | 19 |
| Figura 6 - Esquema de decaimento radioativa da série do ^{235}U | 19 |
| Figura 7 - Esquema de decaimento radioativa da série do ^{232}Th | 20 |
| Figura 8 – Perfil dos pontos de coleta como função da distância do ponto de liberação | 27 |
| Figura 9 – (a) Ponto de liberação de efluentes da CNAAA e (b) Amostragem de água local | 28 |
| Figura 10 – (a) Sistema de destilação e (b) Contador de cintilação em meio líquido | 28 |
| Figura 11 – (a) Transferência da solução de KMnO_4 e (b) Imersão da fibra acrílica | 29 |
| Figura 12 – (a) Repouso em estufa a 40°C e (b) Coloração preto-lustrosa da Fibra-Mn | 30 |
| Figura 13 – (a) Secagem em bandeja esmaltada e (b) Acondicionamento em frascos | 30 |
| Figura 14 - Perfil dos pontos de coleta como função da distância offshore da CNAAA. | 32 |
| Figura 15 - Perfil dos pontos de coleta como função da distância offshore de Mambucaba | 32 |
| Figura 16 – (a) Acondicionamento das amostras em tambores e (b) Alíquotas da amostra | 33 |
| Figura 17 - Pontos de coleta de água subterrânea nas praias adjacentes à CNAAA | 34 |
| Figura 18 – Amostragem de (a) água subterrânea e (b) areia em praias adjacentes à CNAAA | 35 |
| Figura 19 – Análise radiométrica com espectrômetro gama portátil nas praias. | 35 |
| Figura 20 - Sistema de contagem de rádio por coincidência em retardo | 36 |
| Figura 21 – (a) Lixiviação da fibra de manganês e (b) Sistema de filtração | 37 |
| Figura 22 - Pontos de coleta de sedimentos na Baía da Ribeira | 38 |
| Figura 23 – Espectrômetro gama e (b) Laboratório IAEA-MEL (Mônaco) | 39 |
| Figura 24 – Sistema de percolação e (b) Precipitação de amostras contendo ^{210}Pb | 39 |
| Figura 25 – Digestão em um recipiente de Teflon e (b) Espectrômetro de massa (ICP-MS) | 40 |

| | |
|--|----|
| Figura 26 - Simulação do transporte de um contaminante conservativo pelo SisBAHIA® | 42 |
| Figura 27 - Gráfico da Atividade de ^3H em relação os pontos de amostragem | 43 |
| Figura 28 – Gráfico da Atividade de ^3H em função do tempo de liberação do efluente | 44 |
| Figura 29 – Gráfico da Atividade de ^3H em função da distância <i>offshore</i> | 44 |
| Figura 30 – Distribuição dos índices de diluição em função da distância <i>offshore</i> | 45 |
| Figura 31 - Perfil do ^{228}Ra como função da distância <i>offshore</i> | 48 |
| Figura 32 - Perfil do ^{223}Ra como função da distância <i>offshore</i> | 49 |
| Figura 33 - Perfil do ^{224}Ra como função da distância <i>offshore</i> | 49 |
| Figura 34 - Perfil do ^{226}Ra como função da distância <i>offshore</i> | 53 |
| Figura 35 - Perfil do ^{223}Ra como função da distância <i>offshore</i> | 54 |
| Figura 36 - Perfil do ^{224}Ra como função da distância <i>offshore</i> | 54 |
| Figura 37 - Perfil da idade $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ como função da distância <i>offshore</i> – CNAAA | 64 |
| Figura 38 - Perfil da idade $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ como função da distância <i>offshore</i> – Mambucaba | 65 |
| Figura 39 – Descarga Normalizada de Água subterrânea Submarina | 67 |
| Figura 40 - Perfil da concentração de Silício como função da salinidade | 68 |
| Figura 41 - Perfil da concentração de Bário como função da salinidade | 68 |
| Figura 42 – Análise radiométrica na Praia Vermelha | 70 |
| Figura 43 – Análise Radiométrica na Praia do Coqueiro e na Praia de Mambucaba | 71 |
| Figura 44 – Análise Radiométrica na Praia brava | 71 |
| Figura 45 – Gráfico da Atividade de ^{210}Pb como função da Massa acumulada (RB-01) | 73 |
| Figura 46 – Gráfico da Atividade de ^{210}Pb como função da Massa acumulada (RB-02) | 73 |
| Figura 47 – Gráfico da Atividade de ^{210}Pb como função da Massa acumulada (RB-03) | 74 |
| Figura 48 – Gráfico da Atividade de ^{210}Pb como função da Massa acumulada (RB-04) | 74 |
| Figura 49 – Gráfico da Atividade de ^{210}Pb como função da Massa acumulada (RB-05) | 74 |
| Figura 50 – Gráfico da Atividade de ^{210}Pb como função da Massa acumulada (RB-06) | 75 |
| Figura 51 – Gráfico da Atividade de ^{210}Pb como função da Massa acumulada (RB-07) | 75 |
| Figura 52 – Gráfico da concentração elementar média do perfil de sedimento RB-04 | 77 |

| | |
|--|----|
| Figura 53 – Gráfico da razão das concentrações de Fe/Al como função da Profundidade do perfil de sedimento RB-04 | 79 |
| Figura 54 – Gráfico da razão das concentrações de Ti/Fe como função da Profundidade do perfil de sedimento RB-04 | 79 |
| Figura 55 – Gráfico da Atividade de ^{137}Cs e ^{207}Bi como função da Profundidade do perfil de sedimento RB-04 | 80 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Resultados referentes à primeira campanha de amostragem | 46 |
| Tabela 2 – Correlações estatísticas de Pearson referentes à primeira campanha | 47 |
| Tabela 3 – Resultados referentes à segunda campanha de amostragem | 51 |
| Tabela 4 – Correlações estatísticas de Pearson referentes à segunda campanha | 52 |
| Tabela 5 – Resultados referentes à terceira campanha de amostragem | 56 |
| Tabela 6 – Correlações estatísticas de Pearson referentes à terceira campanha | 57 |
| Tabela 7 – Resultados referentes à quarta campanha de amostragem | 58 |
| Tabela 8 – Correlações estatísticas de Pearson referentes à quarta campanha | 59 |
| Tabela 9 – Valores de coeficiente de difusão (K_h) | 61 |
| Tabela 10 – Valores obtidos de $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ para as águas subterrâneas | 63 |
| Tabela 11 – Valores obtidos para $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ para as águas superficiais - CNAAA | 64 |
| Tabela 12 – Valores obtidos para $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ para as águas superficiais - Mambucaba | 65 |
| Tabela 13 – Valores obtidos na Praia Vermelha | 70 |
| Tabela 14 - Valores obtidos na Praia do Coqueiro e na Praia de Mambucaba | 71 |
| Tabela 15 - Valores obtidos na Praia Brava | 72 |
| Tabela 16 – Estatística descritiva da concentração elementar (mg/kg) para amostras do perfil de sedimento RB-04 (N=11) | 78 |
| Tabela 17 – Dados relativos à coleta de Água da Descarga para análise de ^3H realizada em Dez/2006 | 97 |
| Tabela 18 – Dados relativos à coleta de Água da Descarga para análise de ^3H realizada em Jan/2008 | 98 |
| Tabela 19 – Dados relativos à coleta de Água da Descarga para análise de ^3H realizada em Out/2008 | 99 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 20 – Dados relativos à coleta de Água da Descarga (boca) para análise de ^3H realizada em Out/2009 | 100 |
| Tabela 21 – Dados relativos à coleta de Água da Descarga para análise de ^3H realizada em Out/2009 | 101 |
| Tabela 22 – Dados relativos à coleta (1) de Água Superficial para análise de $^{223}\text{Ra}/^{224}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$ realizada em Dez/2006 | 104 |
| Tabela 23 – Dados relativos à coleta (2) de Água Superficial para análise de $^{223}\text{Ra}/^{224}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$ realizada em Dez/2006 | 105 |
| Tabela 24 – Dados relativos à coleta (1) de Água Superficial para análise de $^{223}\text{Ra}/^{224}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$ realizada em Dez/2007 | 106 |
| Tabela 25 – Dados relativos à coleta (2) de Água Superficial para análise de $^{223}\text{Ra}/^{224}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$ realizada em Dez/2007 | 107 |
| Tabela 26 – Dados relativos à coleta (1) de Água Superficial para análise de $^{223}\text{Ra}/^{224}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$ realizada em Jan/2008 | 108 |
| Tabela 27 – Dados relativos à coleta (2) de Água Superficial para análise de $^{223}\text{Ra}/^{224}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$ realizada em Jan/2008 | 109 |
| Tabela 28 – Dados relativos à coleta (1) de Água Superficial para análise de $^{223}\text{Ra}/^{224}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$ realizada em Out/2008 | 110 |
| Tabela 29 – Dados relativos à coleta (1) de Água Superficial para análise de Ba/Si/Salinidade realizada em Dez/2006 | 111 |
| Tabela 30 – Dados relativos à coleta (2) de Água Superficial para análise de Ba/Si/Salinidade realizada em Dez/2006 | 112 |
| Tabela 31 – Dados relativos à coleta (1) de Água Superficial para análise de Ba/Si/Salinidade realizada em Dez/2007 | 113 |
| Tabela 32 - Dados relativos à coleta (2) de Água Superficial para análise de Ba/Si/Salinidade realizada em Dez/2007 | 114 |
| Tabela 33 – Dados relativos à coleta (1) de Água Superficial para análise de Ba/Si/Salinidade realizada em Jan/2008 | 115 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 34 – Dados relativos à coleta (2) de Água Superficial para análise de Ba/Si/Salinidade realizada em Jan/2008 | 116 |
| Tabela 35 – Dados relativos à coleta (1) de Água Superficial para análise de Ba/Si/Salinidade realizada em Out/2008 | 117 |
| Tabela 36 – Dados relativos à coleta de Água Subterrânea para análise de $^{223}\text{Ra}/^{224}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$ realizada em Dez/2006 | 118 |
| Tabela 37 – Dados relativos à coleta de Água Subterrânea para análise de $^{223}\text{Ra}/^{224}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$ realizada em Dez/2007 | 119 |
| Tabela 38 – Dados relativos à coleta de Água Subterrânea para análise de $^{223}\text{Ra}/^{224}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$ em Jan/2008 | 120 |
| Tabela 39 – Dados relativos à coleta de Água Subterrânea para análise de $^{223}\text{Ra}/^{224}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$ realizada em Out/2008 | 121 |
| Tabela 40 – Dados relativos à coleta de Água Subterrânea para análise de Ba/Si/Salinidade realizada em Dez/2006 | 122 |
| Tabela 41 – Dados relativos à coleta de Água Subterrânea para análise de Ba/Si/Salinidade realizada em Dez/2007 | 123 |
| Tabela 42 – Dados relativos à coleta de Água Subterrânea para análise de Ba/Si/Salinidade realizada em Jan/2008 | 124 |
| Tabela 43 – Dados relativos à coleta de Água Subterrânea para análise de Ba/Si/Salinidade realizada em Out/2008 | 125 |
| Tabela 44 – Dados relativos à coleta de Areia para análise de Radionuclídeos realizada em Jan/2008 | 126 |
| Tabela 45 – Dados relativos à coleta de Sedimentos para análise de $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}/^{207}\text{Bi}$ /Metais pesados realizada em Dez/2006 | 127 |
| Tabela 46 – Dados relativos à coleta de Sedimentos para análise de $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}/^{207}\text{Bi}$ /Metais pesados realizada em Jan/2008 | 128 |
| Tabela 47 – Distribuição da concentração de ^3H no ponto de descarga | 129 |
| Tabela 48 – Distribuição da concentração de ^3H ao longo das transecções | 129 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 49 – Resultados referentes ao primeiro perfil de amostragem – RB1 | 131 |
| Tabela 50 – Resultados referentes ao segundo perfil de amostragem – RB2 | 131 |
| Tabela 51 – Resultados referentes ao terceiro perfil de amostragem – RB3 | 132 |
| Tabela 52 – Resultados referentes ao quarto perfil de amostragem – RB4 | 132 |
| Tabela 53 – Resultados referentes ao quinto perfil de amostragem – RB5 | 133 |
| Tabela 54 – Resultados referentes ao sétimo perfil de amostragem – RB6 | 134 |
| Tabela 55 – Resultados referentes ao sétimo perfil de amostragem – RB7 | 135 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ALARA - *As Low As Reasonable Achievable*

CNAAA - Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto

PWR - *Pressurized Water Reactor*

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

SisBAHIA - Sistema Base de Hidrodinâmica e Ambiental

EPA - *Environmental Protection Agency*

IAEA - *International Atomic Energy Agency*

FEMAR - Fundação de Estudos do Mar

SEANA - Serviço de Análise Ambiental

IRD – Instituto de Radioproteção e Dosimetria

SGD - *Submarine Groundwater Discharge*

LNMRI - Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes

PUC-Rio - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

IAEA-MEL - *International Atomic Energy Agency Marine Environment Laboratory*

PBq – Petabequerel = 10^{15} Bq

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O aporte de radionuclídeos no meio oceânico pode se dar a partir de duas fontes, a natural e a artificial. Primordialmente, as fontes de radionuclídeos naturais são a crosta terrestre – principalmente rochas e minerais – e a atmosfera. Submetidas a um processo contínuo de intemperismo associado à erosão e à lixiviação pela ação do vento e da água, tanto as rochas quanto os minerais liberam elementos radioativos, os quais são posteriormente carregados para o meio oceânico (JOSEPH *et al.*, 1971).

No meio atmosférico, a formação de elementos radioativos ocorre a partir do bombardeamento contínuo de alguns de seus constituintes estáveis por raios cósmicos. Posteriormente, os radionuclídeos formados são transferidos para o meio oceânico por mecanismos tanto de deposição conjunta com particulados maiores, quanto por precipitação com águas pluviais (JOSEPH *et al.*, 1971).

As fontes de radionuclídeos artificiais de aporte provável no meio oceânico compreendem a deposição submarina de rejeitos radioativos, extravios de materiais radioativos diretamente no mar, liberações acidentais de efluentes líquidos e atmosféricos de instalações nucleares e liberações controladas de efluentes líquidos e atmosféricos de baixa atividade a partir da costa (IAEA, 1999).

Uma vez liberados para o meio oceânico, os mecanismos de transporte e distribuição dos radionuclídeos – tanto aqueles de origem natural quanto de origem artificial – irão depender de uma sequência de parâmetros intrínsecos, tais como níveis de interação com a massa d'água, a biota, os sedimentos e a meia-vida, assim como das interações dos radionuclídeos entre si. (GUIMARÃES, 1982).

Sob esse aspecto, os radionuclídeos são classificados como conservativos – que tendem a permanecer solúveis na massa d'água, seguindo seu movimento, e sendo transportados a maiores distâncias - e não-conservativos, que se caracterizam por apresentarem uma afinidade acentuada com o sedimento e/ou a biota, apresentando, em decorrência, uma tendência de limitação da área de dispersão às proximidades do ponto de liberação (SANTSCHI *et al.*, 1989).

Comprovadamente, ao mesmo tempo em que o número de reatores nucleares em operação vem aumentando em escala mundial, os limites de liberação de radionuclídeos a partir das demais fontes de radioatividade artificial – incluindo-se extravios e liberações não programadas - para o meio oceânico vêm se tornando cada vez mais restritivos. (IAEA, 1997).

Em consequência, considera-se que a liberação de efluentes líquidos radioativos por parte de instalações nucleares seja um componente bastante relevante em termos de contribuição para o transporte de elementos radioativos artificiais para o meio oceânico, embora seja dos radionuclídeos naturais a maior contribuição para a dose de radiação na população. (IAEA, 1985).

No Brasil, as liberações de efluentes líquidos radioativos são realizadas de forma controlada pelas duas unidades (Angra 1 e Angra 2) da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAEA), localizada no município de Angra dos Reis (RJ). Ambas operam com um reator tipo PWR (*Pressurized Water Reactor*) e dispõem, respectivamente, de uma capacidade de geração de energia de 657 e 1350 *megawatts* elétricos, sendo esta última a previsão energética de uma terceira unidade atualmente em fase de construção (Angra 3).

Fundamentalmente, o controle sistemático da liberação de efluentes obedece a diretrizes definidas quando do processo de licenciamento da instalação nuclear, mais especificamente relativas à limitação dos níveis de dose no grupo crítico.

Na qualidade de autoridade regulatória, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) estabelece a conformidade da operação de uma instalação nuclear com o limite máximo de dose de 1 mSv/ano a membros do público, associada a todas as práticas existentes em um sítio, e à exposição direta ou indireta de grupos populacionais.

Sítios que possuem mais de uma instalação nuclear - como no caso da CNAAA - requerem a introdução de valores individuais de restrição de dose, em conformidade com o princípio ALARA (*As Low As Reasonable Achievable*), condição determinante para as diretrizes do controle de liberação de efluentes radioativos para o meio ambiente, tendo-se em vista que essa prática corresponderá a uma fração do valor do limite de dose (ACPR, 1991). Especificamente para Angra 1 e Angra 2, o índice de restrição individual foi fixado em 0,25 mSv/ano, compatível com o projeto da instalação e sem comprometer sua operacionalidade (CNEN, 2005).

A influência dos níveis de atividade dos efluentes líquidos no processo restritivo de dose é monitorada continuamente por análise gama total, tendo-se o ^{137}Cs como constituinte referencial, sendo a liberação automaticamente descontinuada caso os limites autorizados sejam excedidos (PERES *et al.*, 2005).

Em condições operacionais de normalidade, monitoramentos de rotina confirmam que os eventos de liberação de efluentes da CNAAA para o meio oceânico correspondem a níveis irrelevantes de transferência de atividade radioativa.

Entretanto, para a avaliação mais precisa do impacto ambiental no meio oceânico devido às liberações de rotina, bem como das consequências radiológicas para a população envolvida em situações de liberação acidental, torna-se essencial o conhecimento do perfil de comportamento hidrodinâmico da região, de forma a que se disponha de dados referentes à sistemática de transporte dos radionuclídeos liberados na massa d'água.

Por outro lado, o comportamento dinâmico de um corpo d'água pode ser descrito por correlação de uma grande diversidade de parâmetros, de tal forma que se torna inconcludente o estudo isolado de alguns desses parâmetros, sem se levar em conta as múltiplas conseqüências desses processos interativos.

Até 2001, a literatura apresentava trabalhos enfocando o estudo de um parâmetro de forma isolada (FRANKLIN, 2001), e não se constatava a ênfase que seria desejável na avaliação do comportamento hidrodinâmico da região, um pré-requisito para a determinação dos perfis de dispersão dos radionuclídeos liberados pela CNAAA na Baía de Ilha Grande.

Com esse objetivo, utilizando o sistema operacional SisBAHIA[®] (Sistema Base de Hidrodinâmica e Ambiental) e a partir das informações disponíveis na literatura, FRANKLIN (2001) simulou o padrão de circulação hidrodinâmica na Baía da Ilha Grande, bem como a dispersão dos radionuclídeos conservativos, através de técnicas de modelagem numérica.

Essa abordagem, uma tendência restrita somente à dispersão dos radionuclídeos conservativos, se justifica pela complexidade devida à inclusão no modelo matemático de um número elevado de parâmetros adicionais, os quais são requisitos para a descrição do comportamento dos radionuclídeos não-conservativos.

Por outro lado, e em função do perfil de contaminação industrial da região, projetos de controle ambiental vêm priorizando a avaliação da presença de metais pesados, na condição de principais poluentes locais (MAHIQUES, 1987; DORNELLES, 1993; SILVA FILHO, 1997; VILLENA, 1999; FIGUEIREDO, 1999; PAULA, 1999; CARDOSO, 2000; BARBOSA, 2001; SILVA, 2002; CUNHA, 2005).

O processo de modelagem pode estar sujeito a diversos graus de incerteza, decorrentes tanto das incertezas associadas aos parâmetros utilizados, como das medidas aplicadas na sua aquisição. Em função disto, a adoção de uma metodologia que possibilite a aquisição de dados locais não apenas minimizaria as incertezas anteriores, como também viabilizaria a utilização de uma base de dados mais atualizada, aumentando a confiabilidade dos resultados obtidos no processo da modelagem.

Dentro desta proposição, foram adotados, no presente trabalho, métodos analíticos consolidados (GODOY *et al.*, 2006), de forma a se obter o perfil de dispersão de radionuclídeos conservativos e não-conservativos em meio oceânico provenientes dos efluentes da CNAAA, a partir da avaliação da variabilidade da distribuição radial de seus níveis de atividade.

Visando uma maior confiabilidade dos resultados, adotou-se uma metodologia, centralizando os estudos em representantes locais de cada uma das classes de radionuclídeos, conservativos e não-conservativos. Dentro desta premissa, optou-se, respectivamente, pelo ^3H , bem como pelo ^{137}Cs , por sua maior representatividade em termos tanto de níveis de ocorrência nos efluentes líquidos de reatores do tipo PWR, quanto de riscos radiológicos potenciais inerentes.

Por outro lado, o ^3H apresenta limitações analíticas para distâncias radiais maiores a partir do ponto de liberação, sendo seus níveis residuais de concentração incompatíveis com as exigências do processo de aquisição de dados, mesmo dispondo-se de um método de sensibilidade alta.

Como conseqüência, o rádio foi incluído na investigação de dispersão como um traçador natural, sendo os dados obtidos a partir de seus isótopos utilizados em um mapeamento espacialmente mais extensivo, além do que seria factível se obter somente com o trício.

1.1 - OBJETIVOS

1.1.1 - Objetivo Geral

- O presente trabalho tem como objetivo geral o estudo do perfil de dispersão de radionuclídeos liberados nos efluentes líquidos das duas unidades da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA) na Baía da Ilha Grande (RJ).

1.1.2 – Objetivos Específicos

- Obter a variabilidade da atividade do ^3H na água, tomando-se como parâmetro de referência à atividade deste mesmo radionuclídeo liberada com os efluentes líquidos da CNAAA, visando o mapeamento de seus índices de diluição, considerando-se seu comportamento conservativo.
- Obter a variabilidade da atividade dos isótopos de rádio na água, visando a determinação da importância relativa dos processos de difusão e advecção na dispersão dos radionuclídeos na massa d'água, considerando-se o comportamento conservativo desses radioisótopos. Paralelamente, determinar os níveis de salinidade bem como a concentração do silício e do bário, de forma a validar os resultados obtidos com o rádio.
- Obter a variabilidade da atividade do ^{137}Cs em áreas com maiores níveis observáveis de sedimentação, visando a correlação dos perfis de deposição com o histórico de liberação da CNAAA, considerando-se seu comportamento não-conservativo. Paralelamente, datar os sedimentos a partir da determinação da concentração de ^{210}Pb , validando-a através das determinações de ^{207}Bi , bem como dos níveis de concentração de metais em cada camada sedimentar.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 – ÁREA DE ESTUDO

A Baía da Ilha Grande – localizada no município de Angra dos Reis, Estado do Rio de Janeiro - está circunscrita no espaço delimitado pela Ponta de Trindade, a Ponta de Marambaia e o oceano Atlântico, respectivamente a oeste, leste e sul. Em 1987, MAHIQUES (1987) propôs a divisão da Baía da Ilha Grande nas unidades fisiográficas *Porção Oeste, Canal Central e Porção Leste* (Fig.1).

O Canal Central se constitui em uma feição estreita e extensa, orientada no sentido Leste-Oeste, na qual se verificam as maiores profundidades do interior da baía, correspondendo a um máximo de 55 metros. Já na Porção Oeste, a profundidade média supera os 20 metros, com um pico aproximado de 40 m. Finalmente, a Porção Leste se caracteriza por um relevo mais nivelado em função da faixa de profundidade limitada a 10-25 m.



Figura 1 - Baía da Ilha Grande e subdivisões (Porção Oeste, Leste e Canal Central)

O perfil sedimentar das unidades fisiográficas se apresenta como outro diferencial, uma vez que, ainda segundo MAHIQUES (1987), ocorrem grupos de sedimentos distribuídos de modo diferencial ao longo dessas subdivisões. Especificamente, predominam areias com granulometrias médias e grossas na Porção Leste, lamas no Canal Central, areias finas na Porção Oeste e plataforma continental adjacente. Bilateralmente, o Canal Central apresenta comportamentos opostos no desenvolvimento das zonas de transição lama-areia fina, especificamente, gradual no sentido oeste e acentuada a leste (Fig. 2).

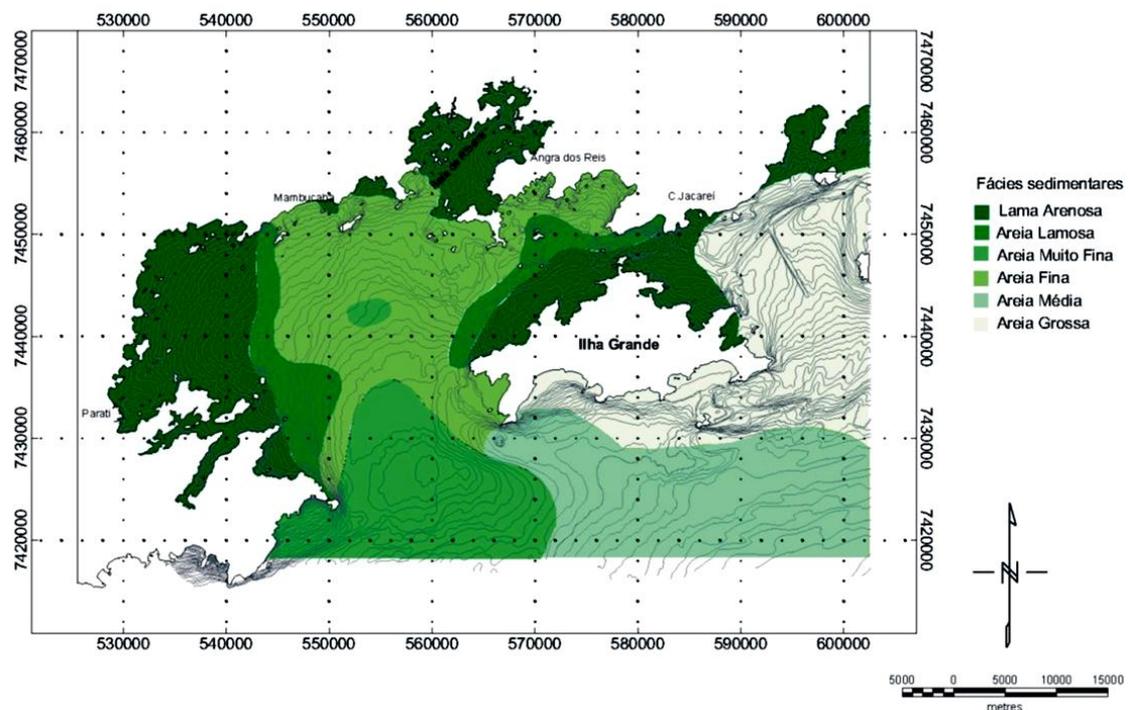


Figura 2 - Mapa de distribuição de fácies sedimentares
(Disponibilizado por DIAS *et al.* (1990))

O clima local é principalmente caracterizado pelo relevo acidentado da Serra do Mar, bem como pela forte incidência de efeitos orográficos. Mais especificamente na Baía da Ilha Grande, os quadrantes SE (210°) e o NE (50°) correspondem aos ventos de predominância. Nesse segmento, a linha de costa coincide com o relevo da Serra do Mar, uma vez que a formação de planícies costeiras relevantes é restrita pela indisponibilidade espacial.

Além disso, a malha local de cursos hídricos se caracteriza por apresentar extensão limitada e ocorrência perene, sendo passível de modificações periódicas decorrentes da influência de correntes (MUEHE *et al.*, 1998).

As águas costeiras da Baía da Ilha Grande estão sujeitas ao aporte intenso de sedimentos, decorrentes de eventos frequentes de deslizamentos de encostas e de margens fluviais, resultantes, predominantemente, do desmatamento indiscriminado e do regime pluviométrico agressivo.

Este processo de assoreamento – de origem predominantemente antropogênica – vem ocorrendo ao longo das últimas décadas na região da Angra dos Reis, e contribuindo para alterações na dinâmica sedimentar natural da área. Dentre as obras realizadas cita-se: implantação da Marina do Bracuí, a dragagem da principal rede de drenagem e o desmatamento da região, devido à construção da BR-101, bem como a destruição de áreas de mangue (BARBOSA, 2001).

É também factível o aporte de sedimentos na Baía da Ilha Grande, a partir da Baía de Sepetiba. Neste sentido, podem ser considerados alguns indícios de processos interativos entre ambas, tais como a incidência de frentes salinas na Porção Leste, principal via de interligação entre a Baía de Sepetiba e o oceano (MIRANDA *et al.* 1977; IKEDA *et al.*, 1982).

De acordo com a conceituação proposta por SIGNORINI (1980), o sistema constituído por ambas as baías pode ser classificado como estuarino parcialmente estratificado, cabendo à Baía de Sepetiba o papel de principal responsável pelo aporte de água na região. De forma característica, o mecanismo de circulação no interior da Baía da Ilha Grande não está associado à presença de uma correlação bem definida entre os ciclos de maré, os padrões eólicos, bem como o direcionamento e intensidade das correntes. Adicionalmente, SIGNORINI (1980) identificou fluxos horários circundantes à Ilha Grande, praticamente estacionários, eventualmente decorrentes de gradientes de densidades entre as Porções Oeste e Leste da Baía da Ilha Grande.

Sob esse prisma, inicialmente a água salgada - oriunda da plataforma continental - teria acesso à baía via Porção Oeste, circundando em seguida a Ilha Grande – processo durante o qual entra em contato com água com menor grau de salinidade, proveniente da Baía de Sepetiba, retornando, finalmente, ao oceano via entrada leste da Baía da Ilha Grande.

De acordo com FRANKLIN (2001), o padrão de circulação hidrodinâmico local é fundamentalmente regido pela propagação da onda de maré, sendo caracterizado por baixas velocidades de correntes. Entretanto, a partir de uma vazão de alta intensidade - em torno de $120 \text{ m}^3/\text{s}$ - o fluxo da descarga dos efluentes líquidos pela CNAAA atua como parâmetro na alteração do padrão hidrodinâmico local, através da formação de um vórtice extenso, além de intensificar as correntes próximas à área de lançamento, direcionando por arraste hidrodinâmico o transporte de sedimentos finos para fora do perímetro correspondente à região do Saco de Piraquara de Fora.

Segundo a mesma autora, à medida que se verifica o aumento da diluição da concentração dos radionuclídeos, as variações da onda de maré influenciam o padrão de mobilidade da pluma, embora a linha de deslocamento desta última tenda a convergir com o fluxo de saída da Baía da Ilha Grande (maré vazante – Fig.3), preferencialmente ao da Baía da Ribeira (maré enchente – Fig.4).

Ao atingirem a Baía da Ribeira, os radionuclídeos não-conservativos contidos na pluma tendem a se depositar preferencialmente na massa sedimentar local, em função tanto da grande disponibilidade de material fino em suspensão quanto da baixa mobilidade da massa d'água, resultante da predominância de correntes de baixa velocidade. Por outro lado, os radionuclídeos conservativos – que tendem a permanecer solúveis na massa d'água, seguindo seu movimento - são transportados em direção à saída da Baía da Ilha Grande, endereçamento preferencial da pluma radioativa.

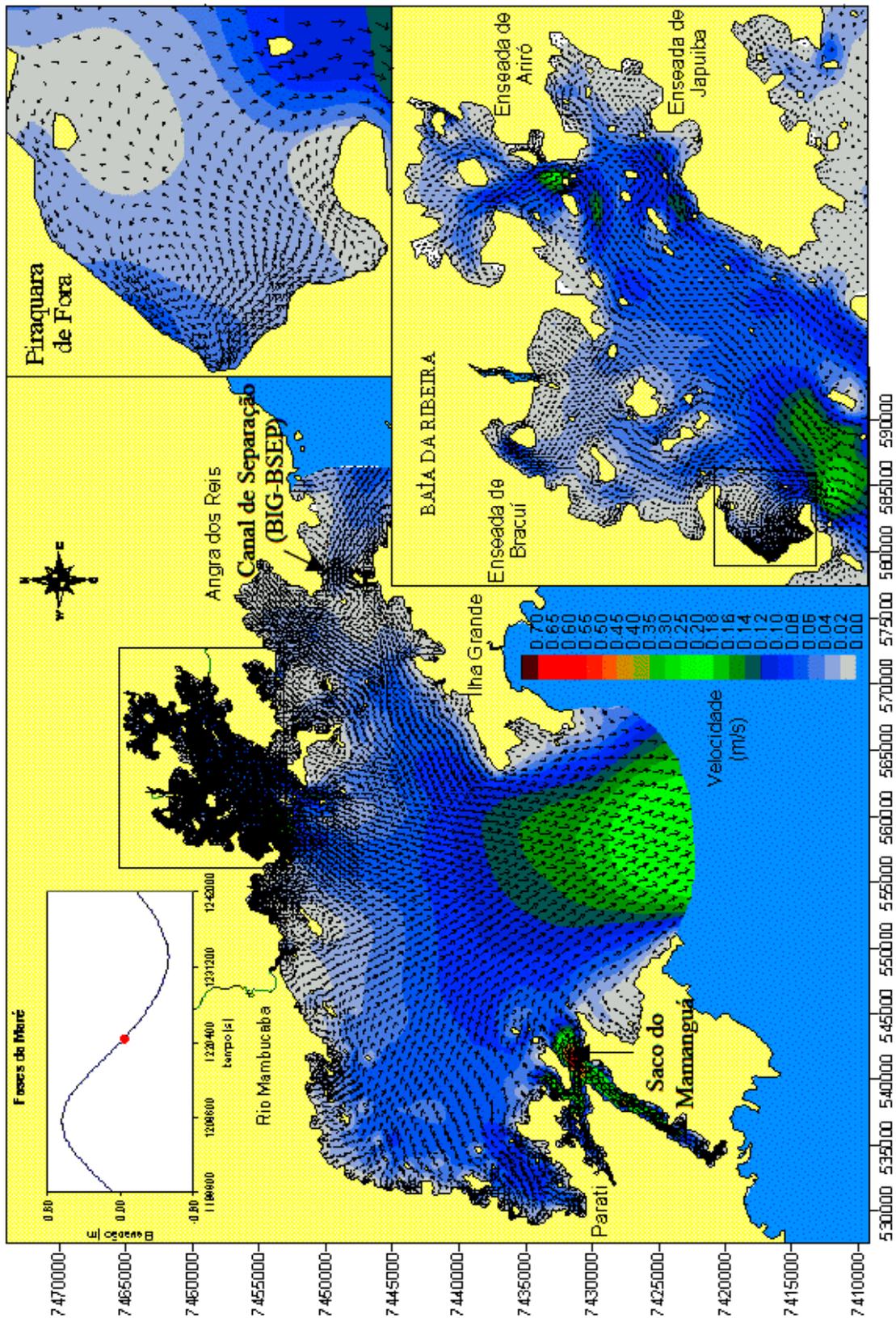


Figura 3 - Campo de velocidades em período de maré vazante simulado pelo SisBAHIA®
(Disponibilizado por FRANKLIN (2001))

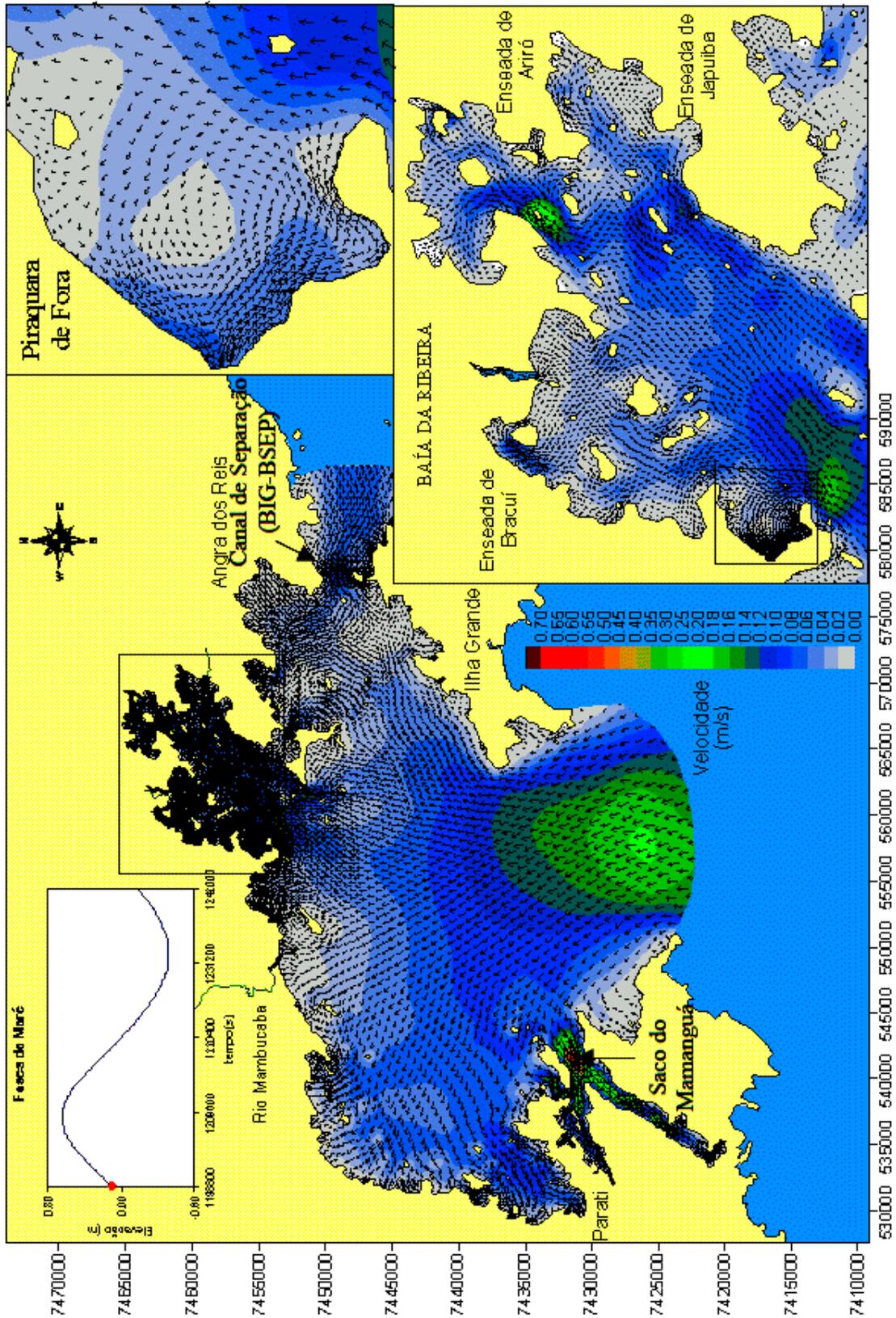


Figura 4 - Campo de velocidades em período de maré enchente simulado pelo SisBAHIA® (Disponibilizado por FRANKLIN (2001))

Do ponto de vista analítico, o trítio apresenta limitações relacionadas ao seu nível de detecção, os quais inviabilizam a aquisição de dados específicos e estatisticamente significativos, mesmo sendo o processo analítico associado a um método com alta sensibilidade. Portanto, o trítio possui utilidade – como traçador do deslocamento da pluma radioativa – restrita ao Saco de Piraquara de Fora.

Visando a solução do problema, o rádio – que em meio salino apresenta-se como radionuclídeo conservativo - foi introduzido na metodologia como um traçador natural, de forma a que seus dados possam ser aplicados na definição de um mapeamento mais extensivo e abrangente de todo o complexo hidrográfico estudado.

Tomando por base o direcionamento do fluxo da pluma radioativa, serão seqüencialmente apresentados os resultados referentes aos radionuclídeos conservativos no Saco de Piraquara de Fora (^3H) e na Baía da Ilha Grande (isótopos de Ra), bem como aos radionuclídeos não-conservativos na Baía da Ribeira (^{210}Pb , ^{137}Cs e ^{207}Bi).

2.2 - VARIABILIDADE DA ATIVIDADE DO TRÍTIO NO MEIO HÍDRICO

O trítio (^3H) - isótopo do hidrogênio com maior número de massa - ocorre naturalmente em um percentual reduzido no hidrogênio total presente na água, tanto na forma líquida como na de vapor. Nesse caso, sua produção deriva de processos interativos entre a radiação cósmica e gases nas camadas atmosféricas superiores. Uma vez formado na massa atmosférica, o trítio reage com o oxigênio e se precipita na superfície terrestre majoritariamente por arraste pluvial na forma de água tritiada, sendo prontamente incorporado aos meios hídricos e por extensão, ao ciclo hidrológico natural.

Artificialmente, a produção de trítio – emissor β de baixa energia - ocorre em reatores nucleares de potência através dos mecanismos independentes de fissão e de ativação de elementos leves como boro e lítio. Anualmente, um reator de potência comercial de grande porte produz aproximadamente 0,74 PBq de trítio.

Efluentes de usinas nucleares promovem a liberação sistemática de quantidades reduzidas de trítio para o meio ambiente – e ambientes costeiros como decorrência –, contribuindo, dessa forma, para o incremento da dose de radiação anual média para o homem (IAEA, 1975). Visando especificamente a restrição desses níveis de dose, a *Environmental Protection Agency* (EPA) estabeleceu um limite na concentração de trítio em água potável de 740 Bq/l (ASTM, 1995).

Em ambiente hídrico, a formação de água tritiada – tanto na forma líquida como na de vapor - ocorre por uma segunda via, qual seja, pelo deslocamento dos átomos de hidrogênio da molécula da água pelo trítio.

Do ponto de vista físico-químico, as moléculas da água tritiada e de água estável apresentam comportamentos diversificados na evaporação e na condensação, dentre outros, em função de incrementos de massa produzidos pela substituição de átomos.

Na prática, entretanto, essas alterações comportamentais são irrelevantes, e, levando-se em conta a meia-vida relativamente alta do trítio (12,3 anos), não interferem nem impedem a utilização extensiva da água tritiada como traçador em pesquisas sobre misturas de massas d'água oceânicas associadas a gradientes de tempo de até centenas de anos.

Essa perspectiva se mantém também para ambientes hídricos costeiros, onde o trítio pode ser utilizado em estudos sobre a dispersão de efluentes, bem como de seus componentes solúveis, liberados por usinas nucleares – em conformidade com a CNAAA – satisfeito o atendimento a requisitos específicos que delimitam a utilização do trítio como traçador *in situ* (IAEA, 1985).

Inicialmente, o processo de mistura do efluente no meio hídrico tem lugar em meio a uma intensa turbulência produzida por sua descarga, mantida uma camada sobrenadante com níveis mais elevados de concentração de trítio. Em si, a mistura se dá em um intervalo de tempo relativamente curto, abrangendo uma área equivalente a 10 -100 vezes a da área de descarga, sendo essa última estimada a partir do valor obtido pela raiz quadrada da área da seção transversal da descarga (FERNANDES, 2003).

Considerando-se então a similaridade de comportamento físico-químico entre os radionuclídeos, extrapola-se a discussão para o padrão de dispersão da pluma a partir dos dados obtidos para o trítio, definindo-se os índices de diluição para os demais radionuclídeos conservativos, referentes ao sistema Baía de Ilha Grande.

Teoricamente, o índice de diluição S é definido pela razão (Eq.1):

$$S = \frac{C_x}{C_0} \quad (1)$$

onde C_x é a concentração local em algum ponto X de interesse e C_0 é a concentração na saída do efluente, englobando os efeitos da advecção, difusão e dispersão turbulentas envolvidos no fenômeno de transporte descrito anteriormente.

A opção por se trabalhar com índices de diluição se justifica por viabilizar um entendimento global e bem fundamentado da distribuição da concentração de atividade em todo o sistema Baía da Ilha Grande. Além disso, a utilização de índices de diluição como parâmetro de pesquisa permite a comparação desse estudo para estudos similares em outros cenários, mesmo em situações nas quais se verificasse uma variação relevante da magnitude do termo fonte de liberação (FRANKLIN, 2001).

2.3 - VARIABILIDADE DA ATIVIDADE DO RÁDIO NO MEIO HÍDRICO

A descarga submarina de água subterrânea é presentemente considerada como um importante elo de ligação entre o mar e a terra, à medida que seu fluxo contribui para o perfil geoquímico de águas das proximidades da costa. Tipicamente, entretanto, esse evento apresenta grande variabilidade tanto espacial quanto temporal, o que contribui com um grau de dificuldade adicional em seu processo de avaliação.

O avanço das águas subterrâneas é irregular, difuso, temporalmente variável e pode envolver diversos aquíferos, o que torna sua quantificação – bem como a quantificação dos fluxos químicos a ele associados – uma prática dificultada por desafios técnicos.

Eventualmente, a descarga direta de águas subterrâneas no ambiente marinho próximo à costa pode acarretar conseqüências ambientais relevantes, devido à possibilidade de contaminação dessas águas com uma ampla faixa de substâncias, tais como nutrientes, metais pesados, radionuclídeos, além de compostos orgânicos.

A presença de vias de transporte de material sem direcionamento específico pode apresentar alta relevância em determinadas áreas costeiras (MOORE, 1999). Uma vez que, a ocorrência de um fluxo lento - porém persistente - da água subterrânea através de sedimentos é provável em todo local no qual um aquífero com pressão positiva em relação ao nível do mar está hidráulicamente conectado ao corpo aquático superficial. Pode-se dizer que a grande maioria das zonas costeiras está sujeita aos efeitos associados a esse tipo de fluxo (JOHANNES, 1980; MOORE, 1996; LI *et al.*, 1999).

Atualmente, a relevância dos parâmetros que definem os mecanismos de escoamento ainda não está bem consolidada, sendo requisitado um volume maior de informações, bem como o estabelecimento de uma sistemática de quantificação paramétrica. Em outras palavras, é necessária uma otimização das metodologias atualmente acessíveis para a determinação desses fluxos.

Uma das alternativas mais consistentes compreende a utilização de traçadores geoquímicos de ocorrência natural, como método de abordagem para a avaliação - tanto a nível local quanto regional - do aporte da água subterrânea no oceano.

Uma vantagem associada à utilização de traçadores de água subterrânea consiste no fato de apresentarem um sinal integrado tão logo atingem a coluna de água oceânica. Por outro lado, traçadores naturais requerem que todas as outras fontes e sumidouros de traçadores sejam também avaliados, além da própria água subterrânea, uma prática que pode apresentar dificuldades (BURNETT *et al.*, 2001).

O processo de avaliação das taxas de descarga de águas subterrâneas no oceano - utilizado no presente trabalho - consiste na utilização de traçadores geoquímicos enriquecidos na água subterrânea em relação à água do mar. Em outras palavras, nesse caso, a concentração de um soluto no corpo d'água receptor é atribuída em sua totalidade aos aportes de constituintes oriundos apenas da água subterrânea (MOORE, 1996; PORCELLI *et al.*, 2003).

Ao ser adotada uma metodologia desse gênero, diversas condições de contorno devem ser previamente estabelecidas, tais como área e volume de estudo, fontes e sumidouros tanto de água quanto de constituintes, tempo de residência do corpo d'água superficial, além da concentração do traçador. As fontes podem incluir água do oceano, de rios, água subterrânea, precipitação, produção *in situ*, transporte pela coluna d'água horizontal, além de ressuspensão ou difusão do sedimento. Já os sumidouros podem compreender consumo ou degradação *in situ*, transporte pela coluna d'água horizontal, turbilhonamento horizontal e vertical e evasão via atmosfera.

Na água subterrânea, os isótopos de rádio se encontram normalmente enriquecidos em relação às águas superficiais, principalmente quando a água salgada entra em contato com superfícies normalmente banhadas por água doce.

Em sua totalidade, águas costeiras apresentam níveis relevantes de atividade dissolvida de quatro isótopos de rádio, provenientes de processos de desorção de rádio da superfície de partículas, bem como da contribuição de águas subterrâneas submarinas enriquecidas com esse radionuclídeo. Ocorre sistematicamente um mecanismo de compensação dinâmico, de tal forma que a contribuição de rádio próximo da costa é balanceada por fluxos de cada um de seus isótopos em direção ao mar aberto (LI *et al.*, 1977).

Embora dois desses isótopos em decorrência da curta meia-vida - ^{223}Ra ($t_{1/2}= 11,4$ dias) e ^{224}Ra ($t_{1/2}= 3,66$ dias) -, decaiam completamente antes de poderem alcançar a margem continental, os demais de meia vida relativamente longa praticamente não decaem - ^{226}Ra ($t_{1/2}= 1,6 \times 10^3$ anos) e ^{228}Ra ($t_{1/2}= 5,75$ anos). Essas diferenças nas taxas de decaimento são altamente significativas, sendo responsáveis por limitações na utilização de modelos descritivos do comportamento hidrodinâmico, à medida que restringem informações à cerca do movimento e da mistura de águas na plataforma continental (RAMA *et al.*, 1996).

Todos os isótopos de rádio citados apresentam a possibilidade de utilização como traçadores, uma vez que, ao mesmo tempo em que são conservativos, i.e., permanecem na massa d'água sem serem adsorvidos ou absorvidos no material em suspensão, mantêm constantes seus níveis de aporte no decorrer do período necessário para o desenvolvimento de um experimento com esse objetivo.

No caso específico dos isótopos de meia-vida curta - ^{223}Ra e ^{224}Ra -, a minimização de seus níveis de ocorrência em função do decaimento em curto prazo é compensada por seu aporte contínuo na massa d'água a partir dos sedimentos ricos em isótopos de urânio e tório (Fig.5 – 7) nas imediações, promovendo uma regeneração quantitativa a curto prazo.

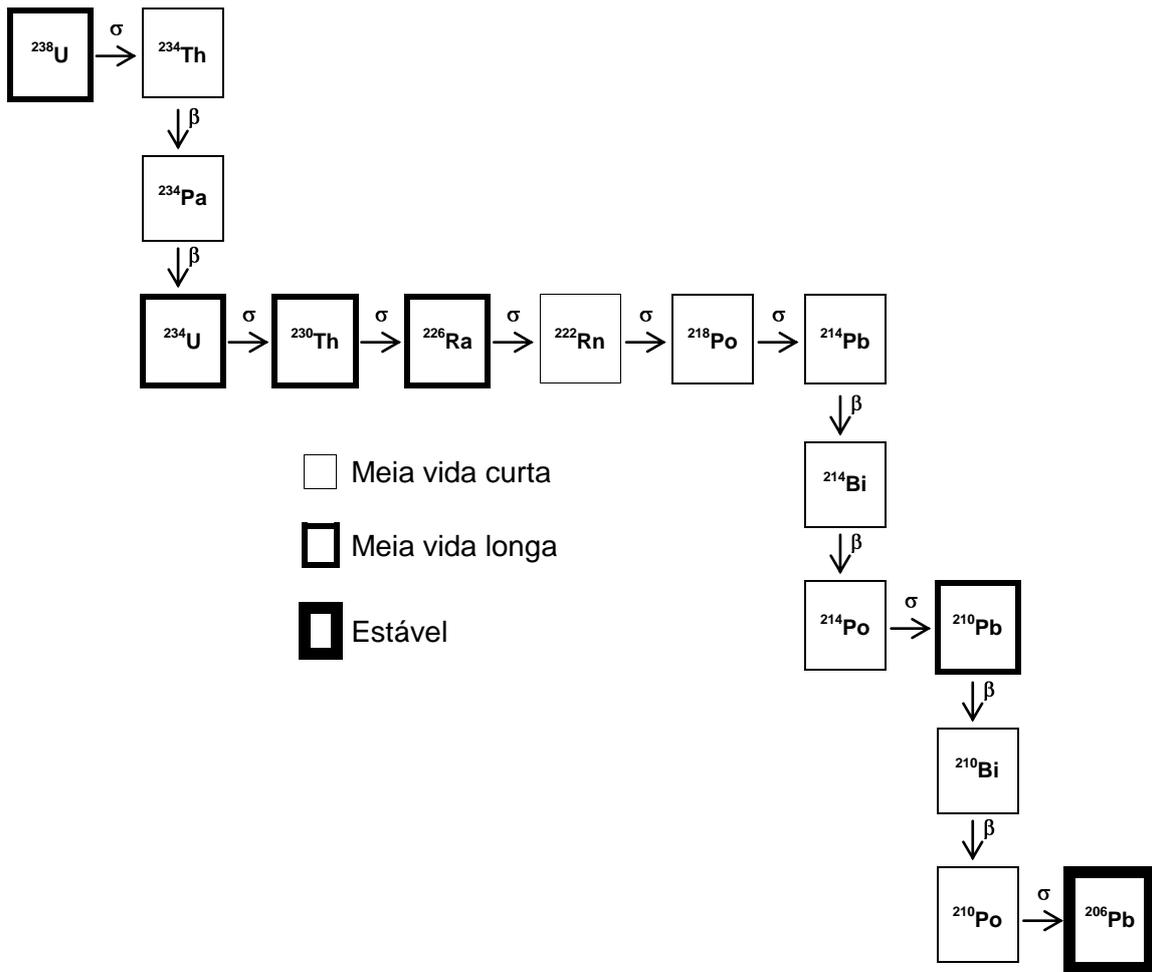


Figura 5 – Esquema de decaimento radioativa da série do ^{238}U

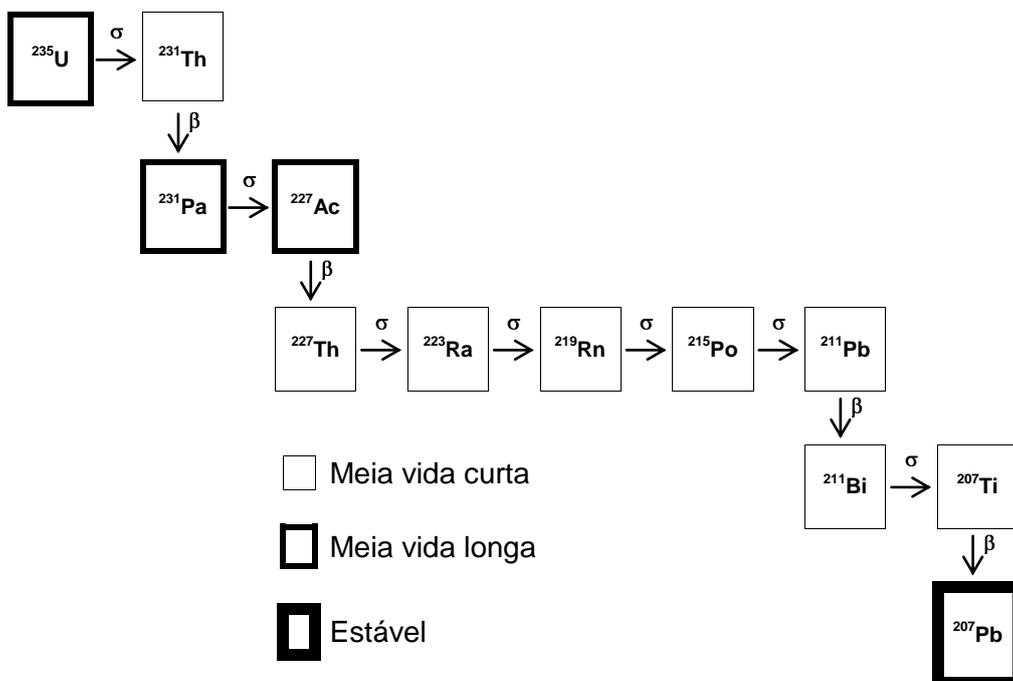


Figura 6 - Esquema de decaimento radioativa da série do ^{235}U

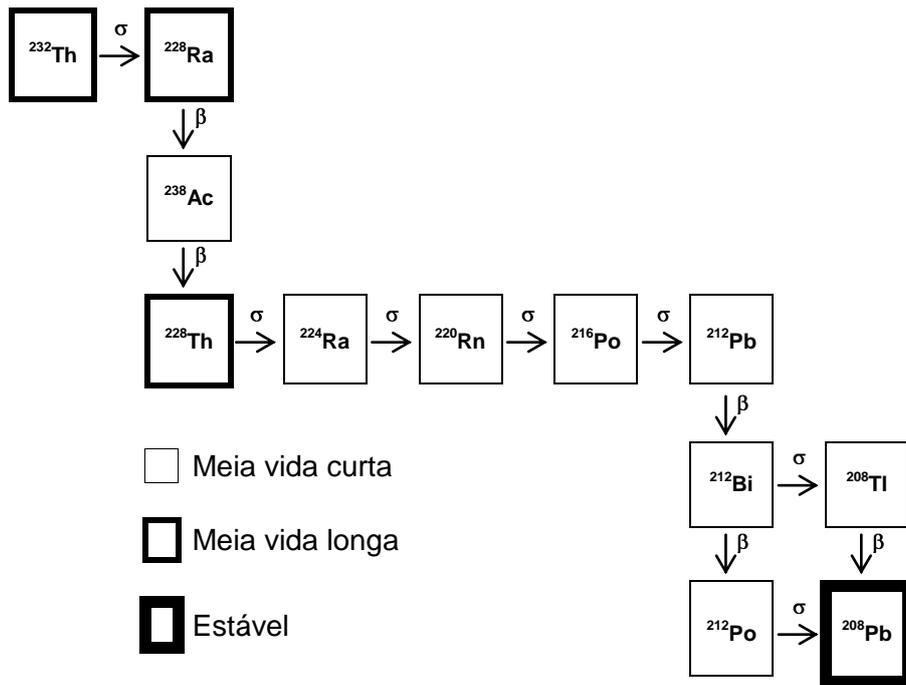


Figura 7 - Esquema de decaimento radioativa da série do ^{232}Th

O transporte dos elementos dissolvidos na massa d'água - sejam eles traçadores ou não - se dá em função dos processos inerentes à própria movimentação da massa d'água, quais sejam, difusão e advecção.

A avaliação das atividades de ^{226}Ra ou de ^{228}Ra serve para determinar a importância relativa de cada processo. Caso ocorra predominância do processo difusivo na distribuição desses isótopos em direção ao alto-mar, o gráfico da atividade *versus* distância apresentará uma função de proporcionalidade inversa. Por outro lado, ocorrerá uma deflexão vertical, caso a advecção seja o parâmetro dominante no processo. O sentido da deflexão será definido pelo sentido do próprio processo advectivo, de forma que a advecção em direção ao alto mar e em direção à costa definirá encurvamentos positivos e negativos no gráfico, respectivamente (MOORE, 2000).

A variação da concentração ou atividade (A) de um traçador não reativo e conservativo ao longo do tempo (t) e em função da distância (x), tendo a margem costeira como referencial, pode ser expressa como um balanço dinâmico entre difusão e advecção. Entretanto, a utilização de traçadores que correspondam a isótopos de meia-vida curta requer a inclusão de um termo adicional relativo a seu decaimento (Eq. 2):

$$\frac{dA}{dt} = K_h \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} - \omega \frac{\partial A}{\partial x} - \lambda A \quad (2)$$

onde K_h é o coeficiente de difusão e ω é a velocidade advectiva. Tanto o ω quanto o K_h são fatores comuns a todos os traçadores conservativos, inclusive todos os isótopos do rádio, sendo o coeficiente de difusão determinado experimentalmente a partir dos resultados de atividades relativos ao ^{223}Ra e ^{224}Ra (MOORE, 2000).

No caso específico da Baía da Ilha Grande, foi concluído que a distribuição dos isótopos é predominantemente controlada pelo efeito difusivo (FRANKLIN, 2001) podendo, portanto a advecção líquida ser desprezada.

Em decorrência desse fato e das meias-vidas curtas de ambos, a equação anterior pode ser simplificada, omitindo-se o componente da advecção (Eq. 3):

$$\frac{dA}{dt} = K_h \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} - \lambda A \quad (3)$$

É importante ressaltar que, em função dos pontos de amostragem escolhidos, pode haver inversão dessa tendência, passando a predominar o processo advectivo. Portanto, a omissão do último termo da equação acima vai depender do processo aleatório da escolha desses pontos, sendo essa decisão tomada previamente em função dos resultados analíticos preliminares, relativos aos isótopos do rádio com meia-vida longa (^{226}Ra e ^{228}Ra).

Partindo-se da premissa de que o K_h apresenta um valor constante e de que o sistema está submetido a um processo regenerativo contínuo quanto ao aporte dos traçadores, $dA/dt = 0$, é factível a estimativa de K_h a partir da utilização de um gráfico do $\ln {}^{223}\text{Ra}$ (ou do ${}^{224}\text{Ra}$), conhecidos os valores de atividade para a distância x (Eq. 4).

$$\ln A_x = \ln A_0 - x \sqrt{\frac{\lambda}{K_h}} \quad (4)$$

Neste caso, o coeficiente angular (Eq. 5),

$$m = \sqrt{\frac{\lambda}{K_h}} \quad (5)$$

Embora os modelos mencionados sejam prioritariamente aplicáveis à avaliação de parâmetros que controlam a dispersão do rádio, sua utilização pode ser expandida, de forma que, por via de extrapolação, chegue-se ao entendimento dos processos físicos que regulam os fluxos de outros constituintes dissolvidos na massa d'água oceânica costeira, dentre os quais os radionuclídeos presentes nos efluentes líquidos liberados pela CNAAA.

Uma via alternativa de aplicação dos isótopos de rádio de meia-vida curta consiste na utilização da razão ${}^{223}\text{Ra}/{}^{224}\text{Ra}$ na estimativa das idades das águas da plataforma (MOORE *et al.*, 2007). Tal metodologia se baseia nas suposições de que a ${}^{223}\text{Ra}/{}^{224}\text{Ra}$ assume um valor constante nas proximidades da costa, somente sofrendo alterações por decaimento se a água estiver isolada da fonte de rádio (Eq. 6). A razão ${}^{223}\text{Ra}/{}^{224}\text{Ra}$ diminui em uma meia-vida aparente de 5,4 dias.

$$\left(\frac{Ra_{224}}{Ra_{223}} \right) = \left(\frac{Ra_{224}}{Ra_{223}} \right)_0 \frac{e^{-\lambda_{224} \cdot t}}{e^{-\lambda_{223} \cdot t}} \quad (6)$$

2.4 - VARIABILIDADE DA ATIVIDADE DO CÉSIO EM MEIO SEDIMENTAR

O perfil de distribuição de radionuclídeos no meio aquático tende a um comportamento exponencial a partir do ponto de liberação, tanto na massa d'água quanto nos sedimentos (SCHAEFFER, 1975; NAGAYA *et al.*, 1975). Para eventos de liberação de radionuclídeos em regiões costeiras, os mecanismos de dispersão ao longo da massa d'água dependerão do parâmetro do radionuclídeo relacionado ao particulado em suspensão, ao plâncton e ao sedimento (LOWMAN *et al.*, 1971).

Segundo os mesmos autores, os coeficientes de distribuição associados a determinados radionuclídeos não-conservativos - relativos à biomassa planctônica e aos sedimentos - apresentam ordens de grandeza equivalentes. Teoricamente, o plâncton e o sedimento competem pela captação dos radionuclídeos em suspensão, sendo que a eficiência do primeiro depende fundamentalmente de uma velocidade de incorporação superior àquelas associadas aos movimentos de correntes, bem como aos processos de difusão, precipitação química e adsorção nos sedimentos (LOWMAN *et al.*, 1971).

De acordo com estudos realizados em 1972 pela Fundação de Estudos do Mar (FEMAR), a biomassa planctônica é reduzida na área de influência da CNAAA, principalmente devido à deficiência de nitratos no meio. Por outro lado, a ocorrência de particulados em suspensão é significativa, em função da presença constante de massa lódica bem como de freqüentes oscilações meteorológicas (BRUGNARA, 1977). Sob este prisma, projeta-se uma influência discreta dos processos biológicos na distribuição dos radionuclídeos não-conservativos, de forma a que se verifique uma predominância dos mecanismos de interação física e química com a água e com os sedimentos.

Entre os anos de 1945 e 1998, testes de artefatos nucleares introduziram quantidades significativas de radionuclídeos artificiais no meio ambiente global, correspondendo o biênio 1962-1963 ao pico de injeção atmosférica de atividade radioativa. Adicionalmente, fatores como acidentes pontuais em reatores nucleares e a liberação de efluentes radioativos como produtos secundários da operação de usinas nucleares também contribuem para o aporte de radionuclídeo para a atmosfera.

Segundo KIM *et al.* (1997), dentre os radionuclídeos artificiais, o ^{137}Cs ($t_{1/2} = 30,2$ anos) – juntamente com o traçador natural ^{210}Pb ($t_{1/2} = 22,2$ anos) – tem sido largamente utilizado em pesquisas geocronológicas de sedimentos com alta taxa de deposição, ocorrentes em lagos, mangues, estuários e baías, embora o grau de mobilidade do primeiro em sedimentos aquáticos ainda permaneça como objeto de discussão.

Especificamente para o caso de mangues, os perfis de distribuição do ^{137}Cs podem ser significativamente afetados tanto pela hidrologia local, bem como pela ocorrência de tipos de vegetação capazes de promoverem alterações sazonais na massa d'água saturando o sedimento. Adicionalmente, deve ser considerada a possibilidade, no caso de sedimentos insaturados, do pico de ^{137}Cs ser alterado pelo fluxo ascendente intersticial (CASEY, 1985 *apud* KIM *et al.*, 1997).

2.5 - VARIABILIDADE DA ATIVIDADE DO BISMUTO EM MEIO SEDIMENTAR

O ^{207}Bi se situa dentre os radionuclídeos produzidos e dispersos no meio atmosférico em decorrência da realização de testes nucleares no período de 1945 a 1980. Por outro lado, sua ocorrência é menos relevante que as de outros produtos de fissão e de ativação como ^{137}Cs , ^{90}Sr e ^{60}Co , provavelmente devido ao fato de sua produção estar vinculada somente a um tipo específico de bomba termonuclear, sendo sua concentração de atividade no meio atmosférico apreciavelmente baixa (NOSHKIN *et al.*, 2001).

A distribuição global de ^{207}Bi ($t_{1/2} = 38$ anos) tendo sido pouco aplicada em pesquisas geocronológicas, apesar de sua meia-vida relativamente longa e baixa mobilidade ao longo das colunas de sedimento. Por outro lado, os níveis reduzidos de ocorrência atmosférica deste radioisótopo, bem como a dificuldade de detecção por espectroscopia gama em decorrência da interferência por parte do ^{134}Cs podem ser considerados como fatores limitantes para este tipo de análise (SCHELL *et al.*, 1980).

AARKROG *et al.* (1984) são, a princípio, os primeiros autores a avaliarem seus níveis de ocorrência no hemisfério norte, tendo reportado traços deste radioisótopo em amostras do norte da Europa e da região do Ártico. Segundo os mesmos autores, a maior parte do ^{207}Bi presente no meio ambiente foi produzida pelo teste nuclear de 10 de outubro de 1961, na localidade de *Novaya Zemlya*, até então a detonação nuclear de maior intensidade, tendo sido posteriormente depositado ao longo do hemisfério norte, principalmente no decorrer de 1963.

JOSHI *et al.* (1988) detectaram ^{207}Bi em amostras de sedimento do Canadá, provenientes de camadas depositadas no decorrer da década de 70. KIM *et al.* (1997) detectaram a presença de ^{207}Bi em amostras de sedimentos em *Delaware*, EUA, tendo proposto sua utilização como um eventual traçador geocronológico mais confiável que o ^{137}Cs , o qual apresenta um grau maior de mobilidade no sedimento.

2.6 - VARIABILIDADE DA ATIVIDADE DO CHUMBO EM MEIO SEDIMENTAR

No âmbito de pesquisas enfocando ambientes marinhos, a técnica de avaliação geocronológica por ^{210}Pb ($t_{1/2} = 22,2$ anos) de sedimentos se constitui em um parâmetro de alta relevância na estimativa do efeito antropogênico, inclusive para fins de planejamento e gestão ambiental. Dentro dessa premissa, a análise desses sedimentos vem sendo utilizada intensivamente na obtenção dos níveis de ocorrência de poluentes sendo os resultados associados ao levantamento da variação cronológica local dos índices de poluição.

A utilização de ^{210}Pb como traçador desta técnica se baseia na relativa estabilidade da taxa anual de deposição do excesso deste radionuclídeo pela atmosfera (TUREKIAN *et al.*, 1977; RANGARAJAN *et al.*, 1986). Na década de 70, KRISHNASWAMI *et al.*, (1971) e ROBBINS *et al.*, (1975) implementaram com sucesso um modelo de aplicação direta na datação de depósitos de ^{210}Pb , denominado *Constant Flux and Constant Sedimentation Rate* (CFCS).

A aplicação do CFCS parte do pressuposto de que são constantes tanto o fluxo do excesso de ^{210}Pb para a interface água-sedimento, quanto a taxa de sedimentação ao longo da coluna de sedimento, considerando-se adicionalmente como ausente a migração do radionuclídeo depositado no substrato.

Segundo KOIDE *et al.* (1973), é factível a perda da porção do topo do testemunho durante os processos de amostragem com os instrumentos de coleta usuais, acarretando incertezas adicionais na determinação da cronologia dos sedimentos e nas avaliações do fluxo e da atividade do ^{210}Pb na camada superficial. Conseqüentemente, é altamente recomendável o estabelecimento de uma data de referência relativa a uma das camadas do testemunho, para que seja convenientemente consolidada a análise geocronologia. Neste trabalho, o ^{137}Cs – assim como o ^{207}Bi - foi adotado no processo de estabelecimento desta data de referência.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

3.1 - DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE DO TRÍCIO EM ÁGUA DO MAR

3.1.1 – Critérios de Amostragem e Aquisição de Amostras

Inicialmente, o processo de amostragem objetivou a avaliação do nível de diluição do efluente no corpo receptor (Fig.8). A coleta abrangeu uma transecção constituída por seis amostras, com volume unitário aproximado de 500 ml, estocadas em frascos de plástico e identificadas quanto ao ponto da amostragem (Fig.9).

O ponto inicial de amostragem coincidiu com o ponto de liberação de efluentes da CNAAA, de forma que fossem determinados os valores de concentração inicial de radionuclídeos lançados pontualmente na massa d'água, especificamente naquele evento (ANEXO; Tab. 17-22).

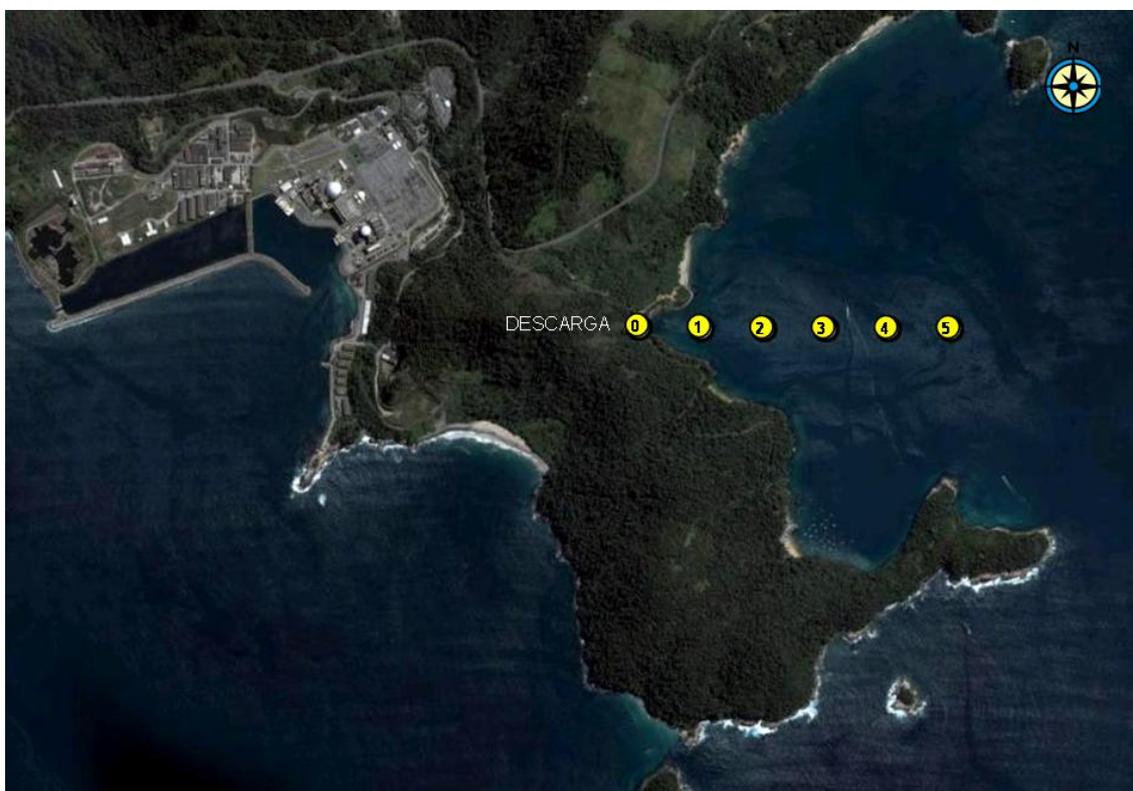


Figura 8 – Perfil dos pontos de coleta como função da distância *offshore* do ponto de liberação



(a)

(b)

Figura 9 – (a) Ponto de liberação de efluentes da CNAEA e (b) Amostragem de água local

3.1.2 – Determinação da Atividade do Trício por Cintilação em Meio Líquido

As amostras foram submetidas a bi-destilação, visando eliminar o K-40 (Fig.10a). Em seguida, uma alíquota de 10 ml foi adicionada a 12 ml de solução cintiladora (*Ultra Gold, Perkin and Elmer*), sendo analisada em dois sistemas autônomos de cintilação em meio líquido - *Packard Tricarb®* modelo 3170 TR/SL e, posteriormente, *Wallac 1220 Quantalus™* - dispondo este último de menores níveis de ruído e limites de detecção - por um período aproximado de 400 minutos (Fig.10b).

Na determinação do nível de *quenching* - e, por extensão, da eficiência de contagem - foi adotada a metodologia de fonte externa. Esta etapa foi realizada no Serviço de Análises Ambientais do Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear (IRD/CNEN).



(a)

(b)

Figura 10 – (a) Sistema de destilação e (b) Contador de cintilação em meio líquido

3.2 - DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE DO RÁDIO EM ÁGUA DO MAR

3.2.1 – Síntese da Fibra de Manganês

Inicialmente, preparou-se 2,0 L de uma solução 0,5 M de permanganato de potássio (158,04 g KMnO_4) em água deionizada. Após aquecimento à aproximadamente 70°C , a solução foi transferida do becker original para bombona plástica (Fig.11a). Em seguida, foi adicionada gradativamente à solução a quantidade requerida de fibra acrílica, previamente desfiada, de forma que a massa fibrosa ficasse totalmente imersa em excesso de solução (Fig.11b).



Figura 11 – (a) Transferência da solução de KMnO_4 e (b) Imersão da fibra acrílica

Seguiu-se um período de repouso da solução com a fibra, dividido em duas etapas: três dias a temperatura ambiente e três dias em estufa à temperatura de cerca de 40°C (Fig.12a). Nesse ponto, o indicador do término da fase é uma coloração preta-lustrosa da solução (Fig.12b). Concluída a fase de repouso, lavou-se continuamente a fibra acrílica – agora impregnada de dióxido de manganês e designada como fibra de manganês (Fibra-Mn) – até o efluente de lavagem se tornar límpido.



(a)



(b)

Figura 12 – (a) Repouso em estufa a 40°C e (b) Coloração preto-lustrosa da Fibra de manganês

Posteriormente, procedeu-se à etapa de secagem: toda a massa de fibra de manganês foi transferida para bandeja esmaltada (Fig.13a), sendo então levada à estufa a aproximadamente 40°C, até que o término do processo seja visualmente constatado. A etapa final consistiu no fracionamento da massa de fibra de manganês: após novo desfiação, foram retiradas alíquotas de massa com aproximadamente 40g, acondicionadas em frascos plásticos devidamente identificados (Fig.13b).



(a)



(b)

Figura 13 – (a) Secagem em bandeja esmaltada e (b) Acondicionamento em frascos plásticos

3.2.2 – Critérios de Amostragem em Águas superficiais

Inicialmente, foram estabelecidos os pontos de coleta da transecção de água superficial, a partir do registro cartográfico da Baía da Ilha Grande. Foram definidos como locais de amostragem a região correspondente à área restrita próxima à CNAAA, bem como a orla da praia de Mambucaba.

Para a coleta realizada próxima a CNAAA, o ponto inicial se localizou logo após a zona de exclusão, correspondente a uma distância de aproximadamente 500 m da orla, delimitada por bóias. Por outro lado, o ponto inicial de amostragem em Mambucaba correspondeu a uma distância aproximada de 1 km da orla, tendo sido sua escolha influenciada pela distância mínima necessária para que se dispusesse de condições adequadas de estabilidade na embarcação no decorrer do processo.

Em seguida, traçou-se uma linha-base entre a Ilha Grande e o Morro de Juatinga, de forma a que fosse dividida a Baía da Ilha Grande, conforme ilustrado nas Figuras 14 e 15. Desta forma, minimizou-se a contribuição das frações de aporte lateral de rádio provenientes tanto do continente como da Ilha Grande. Em seguida - e sendo conhecidos os pontos inicial e final - procedeu-se à marcação em relação à orla dos demais pontos de amostragem pertencentes à transecção (ANEXO ; Tab. 22-28).

Uma vez atingido o ponto, a coleta de um volume variável de água era realizada para cada ponto de amostragem, em função de suas coordenadas, ou seja, o volume coletado era proporcional à distância da orla, uma vez que se esperam níveis de concentração menores em regiões mais distantes da costa. Sob essas condições, obteve-se um volume de coleta de 100 litros nos três primeiros pontos, dobrando-se esse valor para os demais (Fig.16a).



Figura 14 - Perfil dos pontos de coleta como função da distância offshore da CNAAA.



Figura 15 - Perfil dos pontos de coleta como função da distância offshore de Mambucaba

Paralelamente, uma alíquota de 100 ml foi retirada da amostra mãe de cada ponto de amostragem (Fig.16b), sendo mantidas em condições de refrigeração para a determinação da salinidade, silício e bário (ANEXO; Tab. 29-35).

Especificamente, a análise destes últimos foi realizada por um sistema de espectrometria de emissão ótica por plasma indutivamente acoplado enquanto utilizou-se um condutivímetro para a obtenção dos resultados relativos à salinidade do meio. Esta etapa foi realizada no Laboratório de Espectrometria de Emissão Ótica do Departamento de Química da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

Ainda na própria embarcação, as amostras - previamente filtradas - foram então processadas em uma coluna contendo fibra de manganês, de forma a se promover a extração quantitativa do rádio (MOORE, 1976). Em seguida, o material obtido foi submetido a processo de secagem parcial, de forma que a massa unitária individual se situasse próxima a 80g.



Figura 16 – (a) Acondicionamento das amostras em tambores e (b) Alíquotas da amostra mãe

3.2.3 – Critérios de Amostragem de Águas Subterrâneas

Conforme ilustrado na Figura 17 (ANEXO, Tab. 20-23), foram realizadas coletas de 20L amostras em diferentes praias adjacentes à CNAAA, objetivando a caracterização mais precisa do perfil de aporte de rádio através da água subterrânea na região da Baía da Ilha Grande (Fig.18a).

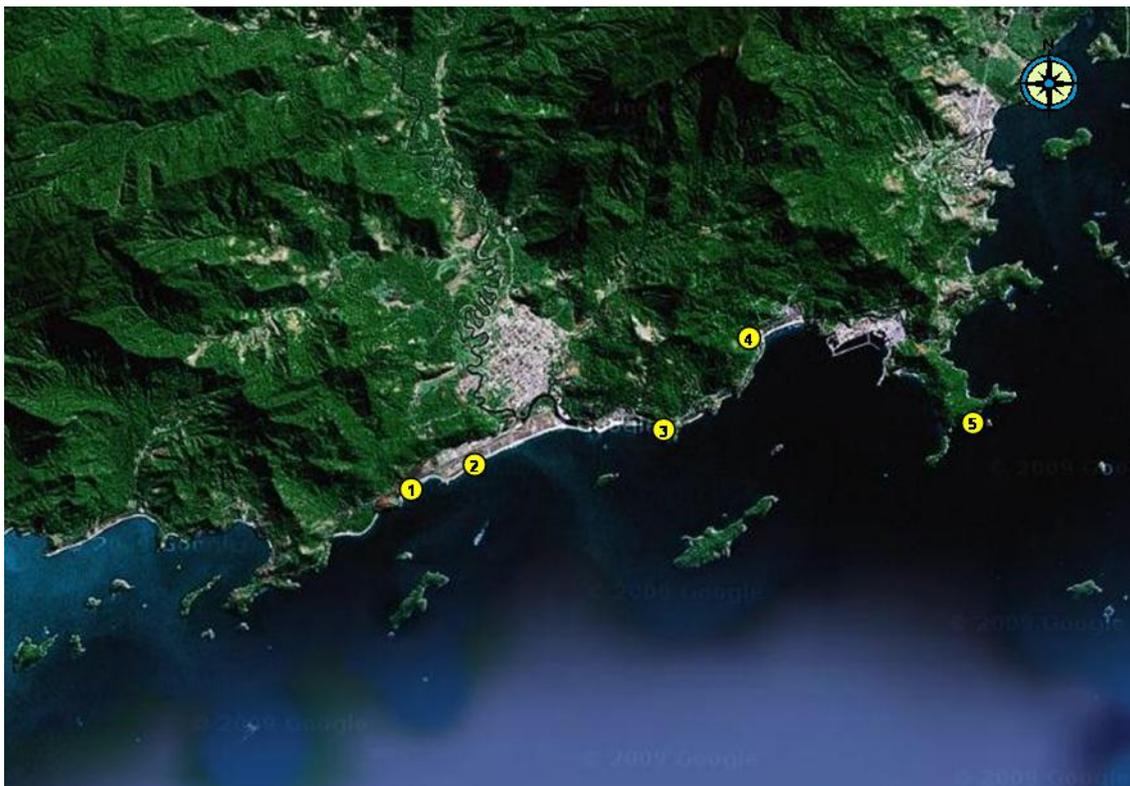


Figura 17 - Pontos de coleta de água subterrânea nas praias adjacentes à CNAAA

Mantida a mesma metodologia anterior, as amostras previamente filtradas foram processadas em coluna contendo fibra de manganês, sendo então submetidas a processo de secagem parcial, ainda na praia (ANEXO; Tab. 36-39). Em seguida, foram coletadas alíquotas de 100 ml para a determinação da salinidade, silício e bário, para cada ponto de água subterrânea (ANEXO; Tab. 40-43). Simultaneamente, foram coletadas amostras de areia para posterior correlação com os níveis de concentração de rádio nas águas coletadas (Fig18b) (ANEXO; Tab. 44).



(a)

(b)

Figura 18 – Amostragem de (a) água subterrânea e (b) areia em praias adjacentes à CNAAA

Para comprovação que a areia é a fonte do aporte de isótopos de rádio de meia-vida longa, realizou-se uma análise radiométrica ao longo das praias, a partir um com espectrômetro portátil de varredura de radiação gama espectral, acoplado a função de posicionamento por GPS (*ATOMTEX* modelo AT6101C), constituído por um cintilador de NaI (TI) e dispendo de 512 canais para faixas operacionais de energia gama e taxa de dose de, respectivamente, 40 a 3000 keV e 0,01 a 100 $\mu\text{Sv/h}$ (Fig.19 a-b).



(a)

(b)

Figura 19 – Análise radiométrica com espectrômetro gama portátil nas praias.

3.2.4 – Determinação da Atividade dos Isótopos do Rádio de Meia-Vida Curta

Na determinação das atividades do ^{223}Ra e ^{224}Ra , foi empregado um sistema de contagem de rádio por coincidência em retardo (RADECC MODELO 612) com especificações equivalentes às do adotado inicialmente por GIFFIN *et al.* (1963) e adaptado para as medidas de rádio por MOORE *et al.* (1996) – Fig.20.

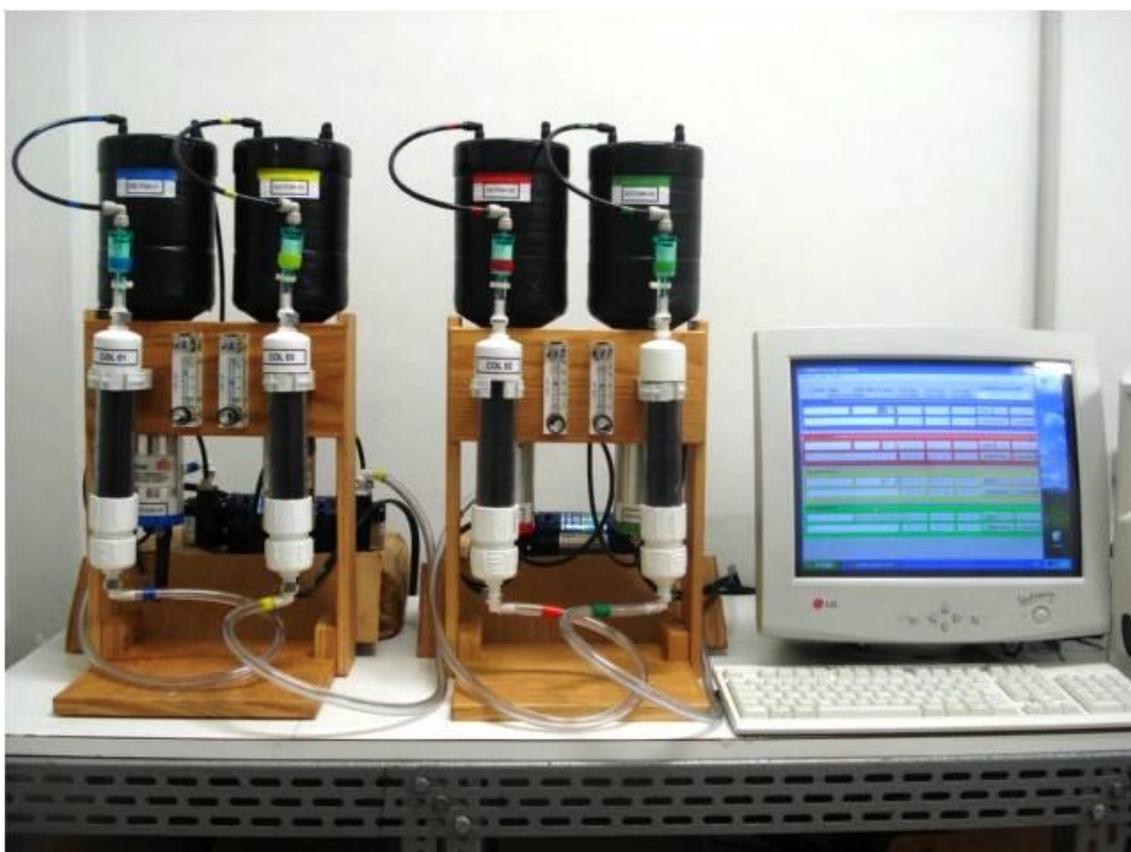


Figura 20 - Sistema de contagem de rádio por coincidência em retardo

Neste sistema, o hélio percolado ao longo da estrutura de fibra de manganês remove o ^{219}Rn e ^{220}Rn gerados pelo decaimento do ^{223}Ra e ^{224}Ra . Uma vez removidos, os isótopos de radônio atravessam uma célula de Lucas acoplada a uma unidade fotomultiplicadora (TFM), a qual promove a captação das partículas alfa produzidas pelo decaimento tanto dos isótopos originais quanto dos de seus filhos, gerando um conjunto de pulsos intrínsecos analisados sequencialmente.

Foram realizadas três contagens para cada uma das amostras. A primeira - visando a determinação do ^{224}Ra (3,6 dias) - realizada logo após a amostragem, a segunda - visando a determinação do ^{223}Ra (11 dias) - cerca de 10 dias após a amostragem e equivalendo a um período suficiente para o decaimento de aproximadamente 75% do ^{224}Ra e, finalmente, a terceira - visando a correção da determinação de ^{224}Ra realizada na primeira contagem - cerca de 30 dias após à amostragem, período este suficiente para o estabelecimento do equilíbrio radioativo entre ^{224}Ra e ^{228}Th .

3.2.5 – Determinação da Atividade dos Isótopos de Rádio de Meia-Vida Longa

A etapa seguinte consistiu na extração quantitativa dos isótopos de rádio de meia-vida longa (^{226}Ra , ^{228}Ra), através da lixiviação das fibras de manganês com ácido clorídrico concentrado (Fig.21a) e co-precipitação com sulfato de bário (Fig.21b). Após um período de repouso de três semanas do precipitado – de forma que fosse alcançada a condição de equilíbrio do ^{222}Rn e seus filhos com o ^{226}Ra - as amostras foram medidas em um contador proporcional para se determinar as atividades do ^{226}Ra e ^{228}Ra (GODOY *et al.*, 1994).



Figura 21 – (a) Lixiviação da fibra de manganês e (b) Sistema de filtração

3.3 – DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE DO CÉSIO EM SEDIMENTOS

3.3.1 – Critérios de Amostragem e Aquisição de Amostras

Inicialmente, o processo de coleta de testemunhos objetivou o levantamento do registro cronológico dos eventos ocorridos na área de estudo, escolhida em função da ocorrência de uma taxa de sedimentação significativa (Fig.22). O critério de escolha dos pontos de amostragem se baseou em processos intercomparativos cronológicos entre mapas de batimetria anuais ao longo do tempo, identificando pontos onde o gradiente de profundidade é mais acentuado.



Figura 22 - Pontos de coleta de sedimentos na Baía da Ribeira

Neste trabalho, um coletor gravitacional de 20 kg com tubos de PVC de 100 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro interno foi utilizado para a coleta de perfis de sedimentos na Baía da Ribeira. A etapa final *in loco* consistiu na secção em lâminas de 2 cm, estocagem e identificação dos perfis. No laboratório, as amostras, ainda úmidas, passam por etapas de homogeneização, pesagem e secagem a peso constante (40°C) (ANEXO; Tab. 45-46).

3.3.2 – Determinação da Atividade do Césio-137 e Bismuto-207 em Sedimentos

A espectrometria gama se constituiu na metodologia utilizada para a determinação da atividade do césio-137 e bismuto-207 (Fig.23a-b). Esta etapa teve lugar no Laboratório de Ambiente Marinho da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA-MEL - *International Atomic Energy Agency Marine Environment Laboratory*) em Mônaco.



Figura 23 – Espectrômetro gama e (b) Laboratório IAEA-MEL (Mônaco)

3.3.3 – Determinação da Atividade do Chumbo-210 em Sedimentos

Para o processo de datação sistemática do sedimento (Fig. 24a-b), a metodologia aplicada consistiu na determinação da atividade do ^{210}Pb em excesso por contagem beta total, de acordo com procedimento descrito por GODOY *et al.* (1998).



Figura 24 – Sistema de percolação e (b) Precipitação de amostras contendo ^{210}Pb

3.3.4 – Determinação da Concentração de Metais em Sedimentos

A metodologia analítica aplicada na determinação dos níveis de concentração de metais - Na, Mg, Al, K, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Nb, Mo, Cd, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, W, Pb, Bi, Th e U - foi descrita por GODOY *et al.* (2004), pela qual uma alíquota de 0,25 g de sedimento é submetido à digestão completa em um recipiente de Teflon[®] através da adição de ácido nítrico e ácido fluorídrico seguidos por ácido perclórico, em temperaturas e intervalos de tempo diversificados (Fig.25a).

Foram utilizados reagentes com grau analítico *suprapur* e o meio hídrico suprido por água deionizada e purificada obtida através de um sistema Millipore[®]. Sequencialmente, a solução obtida foi submetida à secagem, tendo sido o resíduo re-dissolvido em ácido nítrico a 2%, produzindo-se uma solução final de 40 ml.

Na etapa final, as concentrações elementares foram determinadas por espectrometria de plasma - ICP-MS (*Perkin and Elmer* SCIEX[™] modelo ELAN[®] 6000), posteriormente a uma diluição de 1:10 com solução de ácido nítrico a 2% (Fig.25b).



Figura 25 – Digestão em um recipiente de Teflon e (b) Espectrômetro de massa (ICP-MS)

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – LEVANTAMENTO DO PERFIL DA DISPERSÃO DOS RADIONUCLÍDEOS CONSERVATIVOS NO SACO DE PIRAQUARA DE FORA

Até 2003, a Eletrobrás Termonuclear S.A. – responsável pelo complexo nuclear de Angra dos Reis – não dispunha de dados consistentes relativos aos mecanismos de dispersão, bem como à própria distribuição dos efluentes de Angra 1, 2 e 3, especificamente para condições de operação simultânea das três unidades. Visando a resolução do problema, foi instituído o projeto PENO - 4841, denominado “Aspectos Ambientais Pertinentes à Implantação de Angra 3, RJ”, pelo qual a Fundação Coppetec - órgão gestor de convênios e contratos de pesquisa do COPPE/UFRJ - foi contratada pela Eletrobrás Termonuclear S.A em janeiro de 2004. Dentro do escopo do projeto, foi desenvolvido uma modelagem a partir do SisBAHIA[®], sistema profissional de modelos computacionais, baseada no Modelo Hidrodinâmico 3D e no Modelo de Transporte Euleriano (Fig. 26).

Neste trabalho, inicialmente, foram realizadas três campanhas – DEZ/2006, JAN/2008 e OUT/2008 (Tab. 1-3) - compreendendo seis pontos cada uma, distanciados entre si de 250 metros, a partir do ponto de liberação, conforme descrito no item 3.1.1.

Entretanto, foi constatado que os dados obtidos apresentavam uma dispersão restrita em sua maioria, insuficiente para que fosse avaliado em bases consistentes o comportamento da dispersão. Verificou-se a ocorrência de picos aleatórios em cada uma das campanhas, eventualmente associados a uma dispersão heterogênea pontual, sendo os dados de uma delas apresentados a seguir, a nível de exemplificação (Fig. 27).

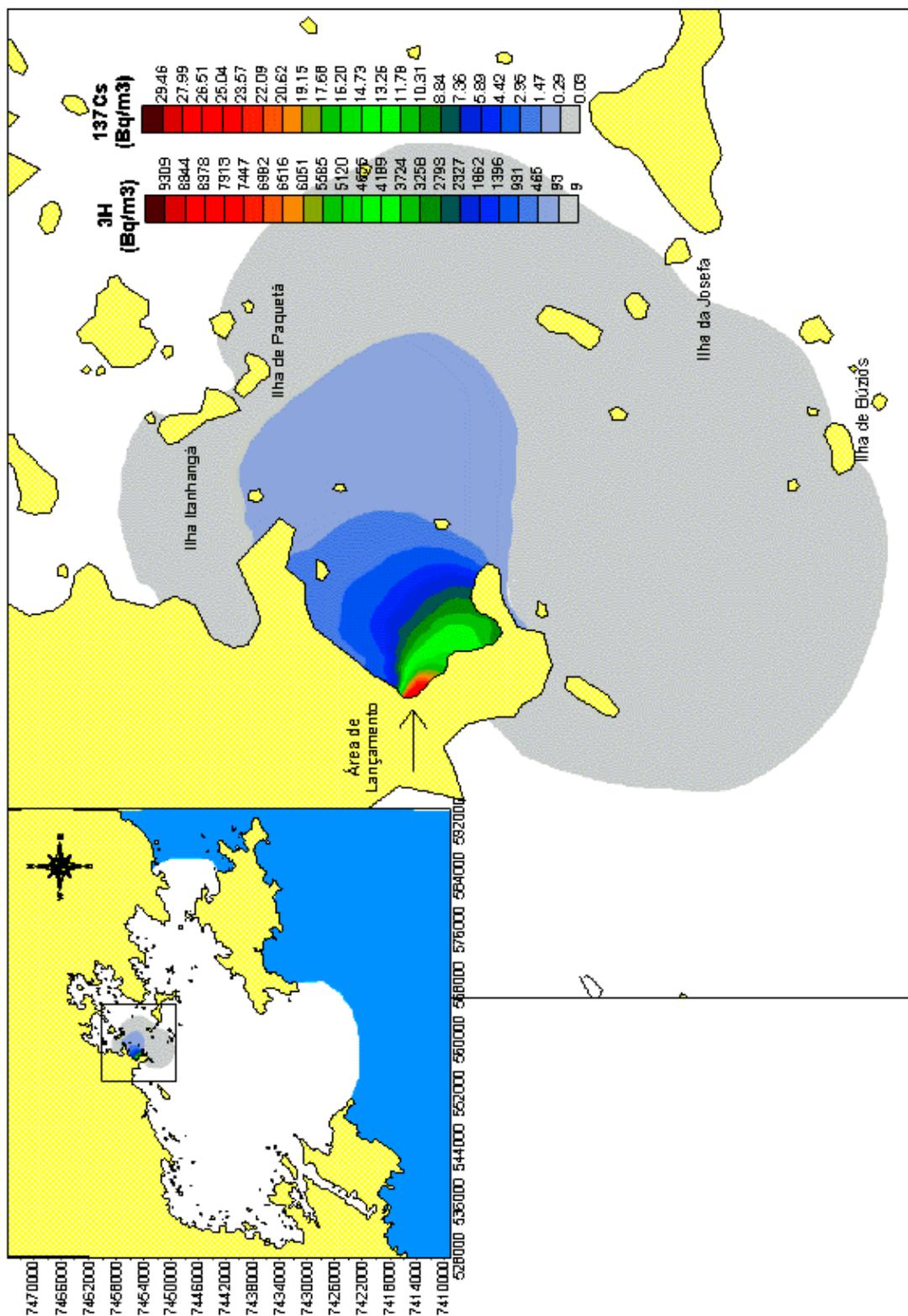


Figura 26 - Simulação do transporte de um contaminante conservativo pelo SisBAHIA®
(Disponibilizado por FRANKLIN (2001))

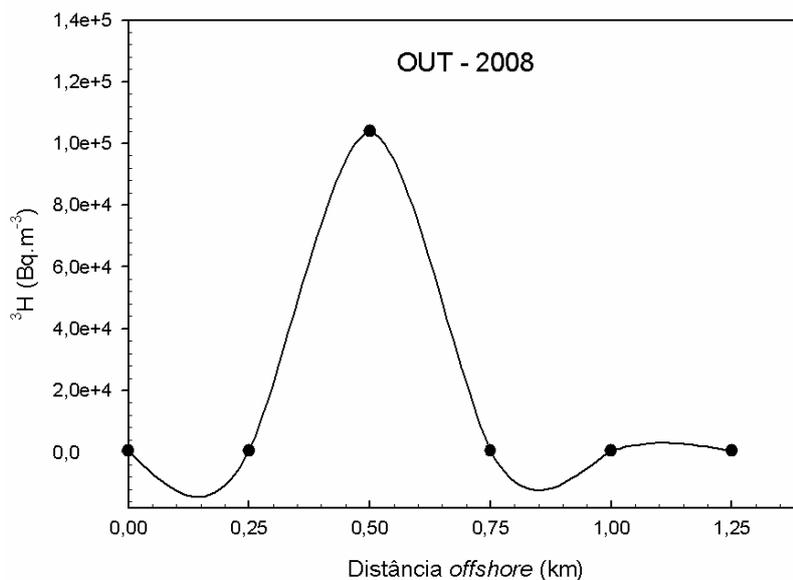


Figura 27 - Gráfico da Atividade de ^3H em relação os pontos de amostragem

Em função dos resultados inconclusivos então obtidos, foi realizada uma nova abordagem, compreendendo uma quarta campanha, segundo a metodologia a seguir. Inicialmente, foi feita a confirmação junto à CNAAA do cronograma de liberação dos efluentes líquidos, inclusive quanto ao horário, sendo comunicado o início do processo de liberação. Em seguida, foi adotado um tempo de espera de 60 minutos – segundo informações da própria CNAAA – correspondente ao processo de transporte do efluente pelo sistema de dutos até o ponto de descarga.

O processo de coleta de amostras foi realizado no decorrer dos 60 minutos subsequentes e compreendeu - além da amostragem sistemática a cada 10 minutos no ponto de descarga, de forma que fosse certificada a presença do ^3H no decorrer de todo o processo de amostragem.

A amostragem foi realizada por idas e vindas entre o ponto de descarga e a distância máxima de 1250 m, sendo adotado o mesmo espaçamento das demais campanhas, num total de nove transecções consecutivas. As figuras 28 e 29 apresentam, respectivamente, os resultados de concentração de trício no ponto de descarga (ANEXO; Tab. 47) e ao longo das transecções (ANEXO; Tab. 48).

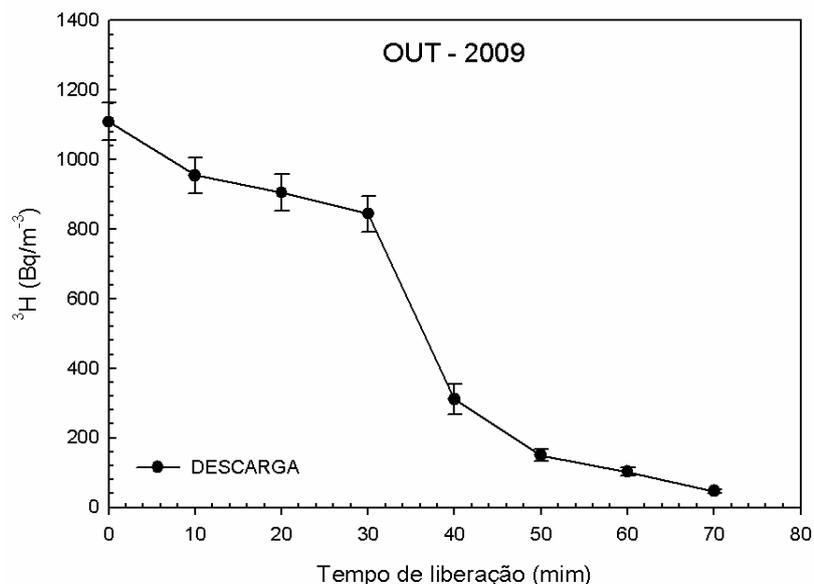


Figura 28 – Gráfico da Atividade de ^3H em função do tempo de liberação do efluente

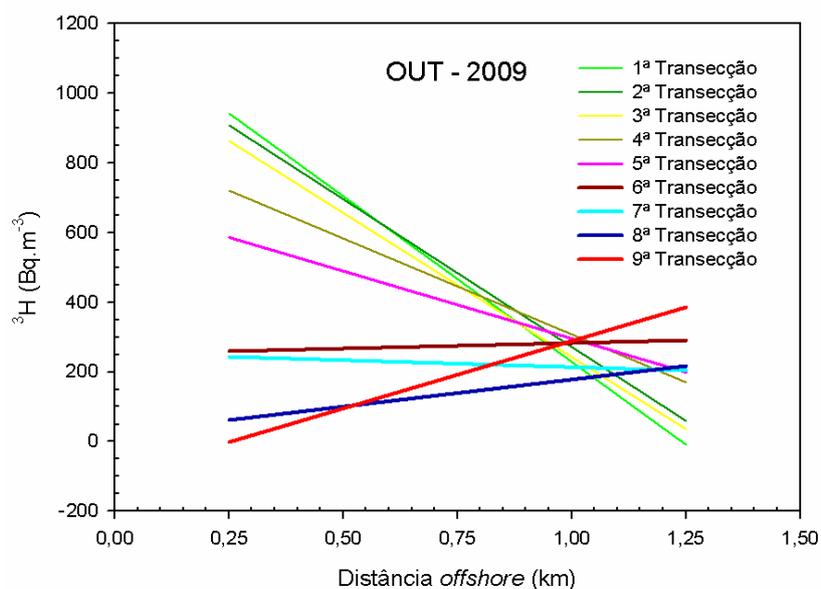


Figura 29 – Gráfico da Atividade de ^3H em função da distância offshore

De acordo com o gráfico da figura 28, é factível se afirmar que a totalidade do período de liberação do efluente coincidiu com os 30 primeiros minutos de coleta (H-A a H-D), os quais, por sua vez, corresponderam a amostragens nas três primeiras transecções (H-01 a H-13), sendo, em função disso, viável o mapeamento dos índices de diluição a partir do conjunto de dados destas linhas de amostragem.

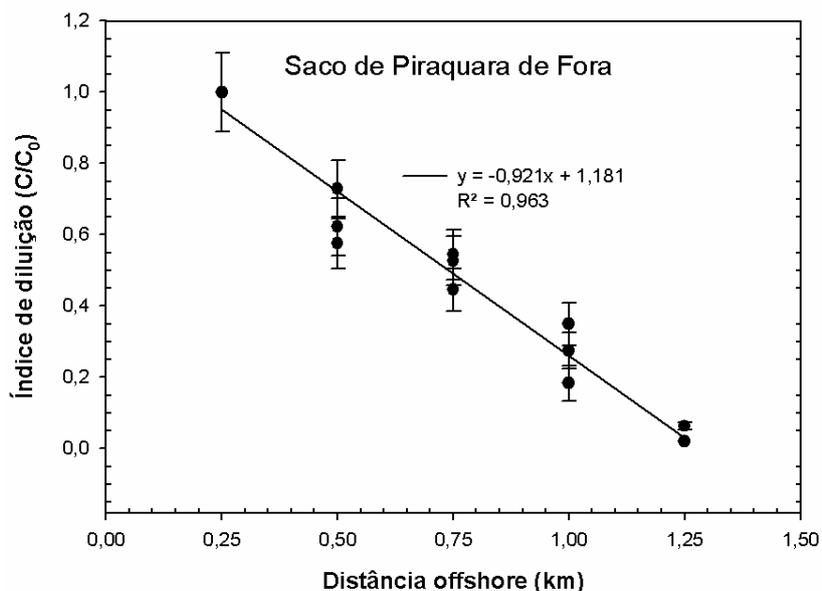


Figura 30 – Distribuição dos índices de diluição em função da distância *offshore*

A figura 30 apresenta a distribuição dos índices de diluição em função da distância *offshore* no Saco de Piraquara de Fora, a partir dos resultados de concentração, cujos limites de variação corresponderam a $950,00 \pm 51,40 \text{ Bq.m}^{-3}$ – início da liberação no ponto de descarga – e a $60,15 \pm 6,62 \text{ Bq.m}^{-3}$ – término da liberação no limite do Saco de Piraquara de Fora e ao qual corresponde a um valor de diluição de 1:16 – coerente com o resultado de 1:20 relatado por FRANKLIN (2001), no primeiro dia de simulação computacional.

4.2 – LEVANTAMENTO DO PERFIL DA DISPERSÃO DOS RADIONUCLÍDEOS CONSERVATIVOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS NA BAÍA DA ILHA GRANDE

4.2.1. – Análise dos Resultados Inerentes à Seqüência de Campanha de Amostragem

A seguir, são apresentados os resultados obtidos para as concentrações dos isótopos de rádio estudados, bem como de bário e de sílica, além de índices de salinidade (Tab. 1, 3, 5 e 7). A apresentação dos resultados obedecerá a uma seqüência cronológica em relação às campanhas de amostragem, sendo então individualmente discutidos em cada evento, e, finalmente, intercomparados sob uma ótica abrangente em relação a essas campanhas.

4.2.1.1. – Primeira Campanha de Amostragem

Foi realizada no intervalo de 19 a 20 de dezembro de 2006, nas condições especificadas no Anexo (Tab. 22 - 23). As condições meteorológicas, no decorrer do processo de amostragem, foram as seguintes: tempo claro durante o dia, com céu aberto e ensolarado, temperatura na faixa de 25,8 a 28,4°C, índice pluviométrico de 0,0 mm, ventos de bafagem e originários do referencial norte, com médias diárias de velocidade, seqüencialmente, 1,65 e 1,45 m.s⁻¹. Nestas condições, foram constatadas pequenas ondulações na superfície oceânica, de origem eólica, no período da maré enchente - resultante de lua nova -, com um gradiente de altura de 0,8 m. Por outro lado, ocorreu precipitação pluviométrica na noite do dia 19 – correspondendo a um índice pluviométrico de 1,75 mm -, de forma que as condições iniciais de amostragem em ambos os dias apresentaram pequenas variações entre si.

Tabela 1 – Resultados referentes à primeira campanha de amostragem

| Amostra | ²²⁴ Ra (Bq.m ⁻³) | ²²³ Ra (Bq.m ⁻³) | ²²⁶ Ra (Bq.m ⁻³) | ²²⁸ Ra (Bq.m ⁻³) | Si (μmol.l ⁻¹) | Ba (nmol.l ⁻¹) | Salinidade |
|---------|--|--|--|--|-------------------------------|-------------------------------|------------|
| IG 1-1 | 4,46±0,42 | 0,35±0,04 | 0,75±0,08 | 3,86±0,23 | 30,47±1,52 | 51,12±2,56 | 25,39±1,27 |
| IG 1-2 | 2,52±0,28 | 0,44±0,05 | 1,36±0,12 | 4,33±0,32 | 23,40±1,17 | 46,01±2,30 | 22,01±1,10 |
| IG 1-3 | 2,42±0,28 | 0,06±0,01 | 0,36±0,05 | 0,79±0,12 | 13,80±0,69 | 43,90±2,20 | 25,26±1,26 |
| IG 1-4 | 2,65±0,30 | 0,35±0,03 | 0,03±0,01 | 4,74±0,18 | 9,00±0,45 | 32,65±1,63 | 29,35±1,47 |
| IG 1-5 | 1,00±0,11 | 0,18±0,02 | 1,13±0,10 | 2,25±0,24 | 10,53±0,53 | 40,39±2,02 | 26,75±1,34 |
| IG 1-6 | 0,43±0,08 | 0,16±0,02 | 0,78±0,07 | 2,21±0,17 | 7,33±0,37 | 35,99±1,80 | 26,30±1,31 |
| IG 1-7 | 0,39±0,06 | 0,11±0,01 | 0,41±0,04 | 1,48±0,11 | 6,06±0,30 | 35,22±1,76 | 28,31±1,42 |
| IG 1-8 | 0,32±0,05 | 0,07±0,01 | 1,14±0,10 | 1,34±0,22 | 6,17±0,31 | 32,47±1,62 | 27,53±1,38 |
| IG 2-1 | 6,30±0,68 | 0,34±0,04 | 1,55±0,14 | 3,66±0,33 | 11,59±0,58 | 35,94±1,80 | 25,52±1,28 |
| IG 2-2 | 5,55±0,56 | 0,41±0,04 | 1,23±0,11 | 3,92±0,29 | 12,02±0,60 | 46,08±2,30 | 26,95±1,35 |
| IG 2-3 | 3,17±0,34 | 0,27±0,03 | 1,48±0,13 | 3,39±0,32 | 19,83±0,99 | 40,83±2,04 | 23,64±1,18 |
| IG 2-4 | 2,14±0,21 | 0,25±0,03 | 1,61±0,12 | 3,81±0,29 | 11,45±0,57 | 38,73±1,94 | 26,56±1,33 |
| IG 2-5 | 1,66±0,17 | 0,18±0,02 | 1,31±0,10 | 2,69±0,26 | 10,57±0,53 | 35,62±1,78 | 27,01±1,35 |
| IG 2-6 | 0,73±0,09 | 0,23±0,02 | 1,25±0,10 | 2,68±0,24 | 7,19±0,36 | 31,36±1,57 | 31,62±1,58 |
| IG 2-7 | 1,20±0,12 | 0,15±0,02 | 1,54±0,13 | 0,96±0,31 | 7,00±0,35 | 34,72±1,74 | 27,66±1,38 |
| IG 2-8 | 0,55±0,08 | 0,09±0,01 | 1,06±0,10 | 1,38±0,23 | 6,24±0,31 | 31,95±1,60 | 28,64±1,43 |

Tabela 2 – Correlações estatísticas de Pearson referentes à primeira campanha

| | | Dist | ²²⁴ Ra | ²²³ Ra | ²²⁶ Ra | ²²⁸ Ra | Sal | Si | Ba |
|-------------------------|------------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|----------|----------|
| Dist. | Corr. Pearson | 1.000 | -0,819** | -0,756** | -0,430 | -0,727** | 0,587* | -0,716** | -0,728** |
| | Sig. (bi-caudal) | , | 0,000 | 0,001 | 0,875 | 0,001 | 0,017 | 0,002 | 0,001 |
| | N | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| ²²⁴Ra | Corr. Pearson | | 1.000 | 0,729** | 0,173 | 0,628** | -0,413 | 0,539* | 0,563* |
| | Sig. (bi-caudal) | | , | 0,001 | 0,521 | 0,009 | 0,112 | 0,031 | 0,23 |
| | N | | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| ²²³Ra | Corr. Pearson | | | 1.000 | 0,190 | 0,928** | -0,352 | 0,592* | 0,563* |
| | Sig. (bi-caudal) | | | , | 0,481 | 0,000 | 0,182 | 0,031 | 0,023 |
| | N | | | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| ²²⁶Ra | Corr. Pearson | | | | 1.000 | 0,099 | -0,253 | 0,066 | 0,008 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | , | 0,715 | 0,345 | 0,808 | 0,977 |
| | N | | | | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| ²²⁸Ra | Corr. Pearson | | | | | 1.000 | -0,264 | 0,522* | 0,366 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | | , | 0,323 | 0,38 | 0,163 |
| | N | | | | | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Sal. | Corr. Pearson | | | | | | 1.000 | -0,702** | -0,696** |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | | | , | 0,002 | 0,003 |
| | N | | | | | | 16 | 16 | 16 |
| Si | Corr. Pearson | | | | | | | 1.000 | 0,854** |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | | | | , | 0,000 |
| | N | | | | | | | 16 | 16 |
| Ba | Corr. Pearson | | | | | | | | 1.000 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | | | | | , |
| | N | | | | | | | | 16 |

** Correlação é significativa ao nível 0,01 (bi-caudal)

* Correlação é significativa ao nível 0,05 (bi-caudal)

Observa-se na Tabela 2, uma correlação estatisticamente consistente entre os parâmetros estudados e a distância, com exceção do ²²⁶Ra. Os resultados obtidos confirmam trabalhos anteriores para a mesma região (GODOY *et al.*, 2006). Embora o ²²³Ra e o ²²⁴Ra também apresentem uma correlação linear e estatisticamente válida em relação ao parâmetro distância, constata-se, para este último, um aumento do coeficiente de correlação r^2 – de 0,671 para 0,893 – ao se optar por uma relação exponencial, condição prevista em se tratando de um ambiente com predominância da difusão como mecanismo de dispersão. Além disso, verifica-se a incidência de correlações estatisticamente válidas entre os parâmetros salinidade, e concentrações de bário e silício.

A Figura 29 exprime a correlação linear inversa entre a concentração de ^{228}Ra e a distância em relação à linha da costa, indicativo da predominância de processo difusivo na região amostrada. Conclusivamente e de acordo com a proposição de MOORE (2000), é factível a estimativa do coeficiente de difusão (K_h) a partir da utilização de um gráfico do $\ln ^{223}\text{Ra}$ (ou do ^{224}Ra), conhecidos os valores de atividade para a distância x .

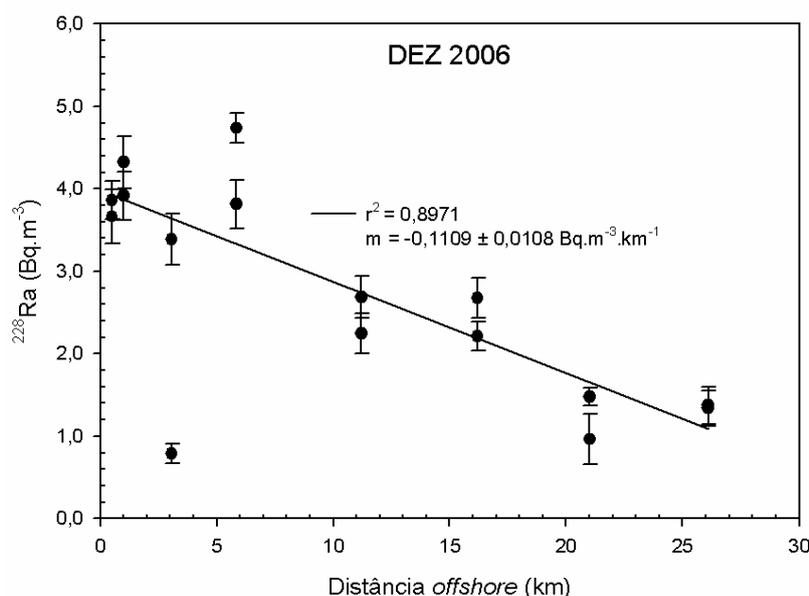


Figura 31 - Perfil do ^{228}Ra como função da distância *offshore*

As Figuras 32 e 33 apresentam, respectivamente, os gráficos das razões logarítmicas naturais das concentrações de ^{223}Ra e de ^{224}Ra como função da distância *offshore*. As concentrações foram normalizadas em relação à primeira amostra, de forma a que pudesse ser levada em conta a variação dos níveis de descarga submarina subterrânea em relação às diferenças nos níveis da maré no decorrer dos diversos dias de amostragem.

Estes traçadores naturais de meia-vida curta apresentaram níveis elevados de concentração nas proximidades da região costeira, reduzindo em direção ao mar aberto. Para ambos, os dados relativos a essa região se ajustam, respectivamente, a uma função exponencial de decaimento com constantes $-0,0549 \pm 0,0052$ e $-0,0948 \pm 0,0088 \text{ km}^{-1}$, e coeficientes de correlação linear r^2 iguais a 0,897 e 0,893.

Analicamente, as curvas obtidas se constituem em evidências potenciais do controle da dispersão através de um mecanismo de difusão, com uma contribuição líquida desprezível por parte da advecção *offshore*. A partir da equação 6 – e adotando suas aproximações -, foram obtidos valores de K_h de $20,12 \pm 3,81 \text{ km}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ e $21,07 \pm 3,91 \text{ km}^2 \cdot \text{d}^{-1}$, relativos aos isótopos ^{223}Ra e ^{224}Ra , respectivamente.

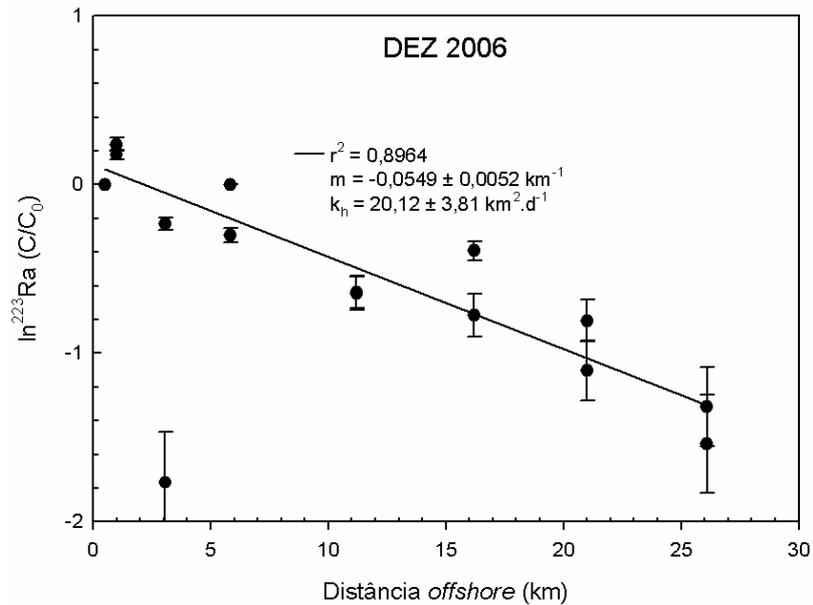


Figura 32 - Perfil do ^{223}Ra como função da distância *offshore*

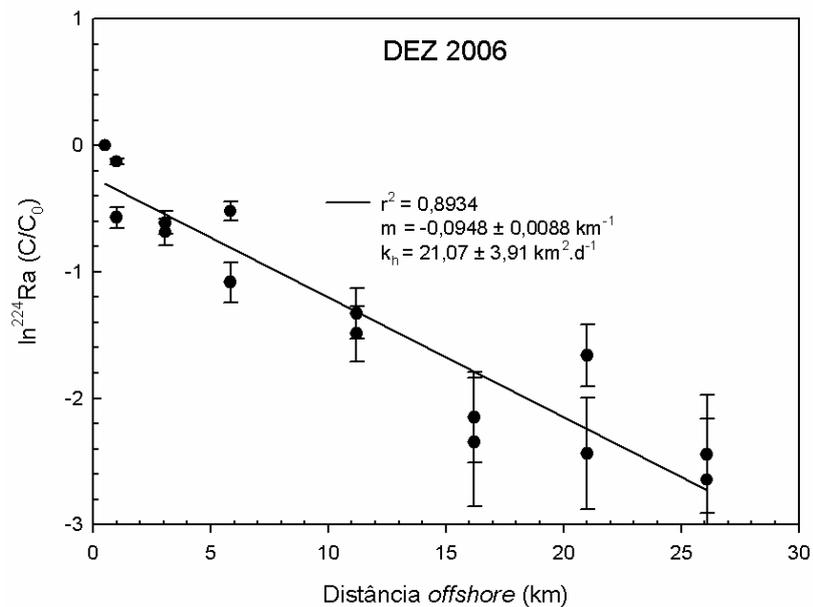


Figura 33 - Perfil do ^{224}Ra como função da distância *offshore*

Foi verificada uma interrupção no declive nas curvas das Figuras 29 e 30, especificamente a 3,07 km, cuja ocorrência está provavelmente associada à existência de corrente de escoamento da Baía da Ribeira.

A salinidade na região superficial da massa d'água variou de $22,01 \pm 1,10$ a $31,6 \pm 1,58$ – sendo o primeiro relativo à região mais interna da baía. Os níveis de concentração do silício, do bário e dos isótopos de rádio atingiram seus valores máximos nessa mesma região, o que parece indicar a disponibilidade de fontes semelhantes de águas de baixa salinidade.

4.2.1.2. – Segunda Campanha de Amostragem

Foi realizada no intervalo de 18 a 19 de dezembro de 2007, nas condições especificadas no Anexo (Tabelas 24 - 25). As condições meteorológicas, no decorrer do processo de amostragem, foram as seguintes: tempo parcialmente encoberto, temperatura na faixa de 23,2 a 25,7°C, índice pluviométrico de 0,0 mm, ventos de calma a de bafagem e originários do referencial sudoeste, com médias diárias de velocidade, seqüencialmente, 1,95 e 0,9 m.s⁻¹. Nessas condições, foram constatadas pequenas ondulações na superfície oceânica que sucederam a um aspecto inicial definido como espelhado, de origem eólica, no período de maré vazante que precedeu a enchente ao final do processo de amostragem - resultantes de lua crescente -, com um gradiente médio de altura de 0,5 m. Ocorreu precipitação pluviométrica nas vinte e quatro horas que precederam a primeira coleta, no dia 18, correspondendo a um índice pluviométrico total 20,75 mm, sendo 0,5 mm relativos a um período de estiagem nas primeiras horas do mesmo dia, anteriores ao início do processo de amostragem. As amostras referentes à segunda transecção (IG 2-1 a 2-8) foram perdidas no decorrer do processo analítico para a determinação da concentração de atividade de ²²⁶Ra e ²²⁸Ra.

Tabela 3 – Resultados referentes à segunda campanha de amostragem

| Amostra | ²²⁴Ra (Bq.m ⁻³) | ²²³Ra (Bq.m ⁻³) | ²²⁶Ra (Bq.m ⁻³) | ²²⁸Ra (Bq.m ⁻³) | Si (μmol.l ⁻¹) | Ba (nmol.l ⁻¹) | Salinidade | |
|----------------|--|--|--|--|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|------------|
| IG 1-1 | 3,75±0,36 | 0,52±0,07 | 1,51±0,14 | 1,92±0,32 | 4,47±0,22 | 15,75±0,79 | 31,30±1,56 | |
| IG 1-2 | 4,38±0,41 | 0,33±0,05 | 1,41±0,14 | 1,71±0,31 | 5,20±0,26 | 23,181,16 | 30,84±1,54 | |
| IG 1-3 | 3,91±0,41 | 0,40±0,05 | 1,32±0,13 | 2,31±0,29 | 5,26±0,26 | 19,15±0,96 | 30,97±1,55 | |
| IG 1-4 | 0,23±0,05 | 0,13±0,02 | 1,38±0,12 | 0,72±0,27 | 5,17±0,26 | 22,791,14 | 33,64±1,68 | |
| IG 1-5 | 0,93±0,10 | 0,12±0,01 | 1,35±0,11 | 1,24±0,25 | 3,09±0,15 | 23,391,17 | 33,64±1,68 | |
| IG 1-6 | 0,27±0,04 | 0,09±0,01 | 1,21±0,10 | 1,49±0,23 | 3,78±0,19 | 20,771,04 | 33,83±1,69 | |
| IG 1-7 | 0,23±0,07 | 0,15±0,01 | 1,04±0,09 | 1,29±0,20 | 3,11±0,16 | 20,411,02 | 34,09±1,70 | |
| IG 1-8 | 0,34±0,05 | 0,07±0,01 | 1,11±0,10 | 1,05±0,22 | 2,74±0,14 | 23,731,19 | 34,35±1,72 | |
| IG 2-1 | 2,44±0,25 | 0,29±0,06 | - | - | - | 3,88±0,19 | 26,761,34 | 32,40±1,62 |
| IG 2-2 | 3,88±0,36 | 0,48±0,07 | - | - | - | 5,76±0,29 | 19,48±0,97 | 32,14±1,61 |
| IG 2-3 | 3,26±0,34 | 0,26±0,05 | - | - | - | 4,76±0,24 | 15,56±0,78 | 31,49±1,57 |
| IG 2-4 | 0,78±0,10 | 0,20±0,03 | - | - | - | 3,27±0,16 | 19,31±0,97 | 32,92±1,65 |
| IG 2-5 | 0,83±0,09 | 0,20±0,02 | - | - | - | 2,83±0,14 | 23,021,15 | 33,31±1,67 |
| IG 2-6 | 1,24±0,13 | 0,22±0,02 | - | - | - | 3,54±0,18 | 19,65±0,98 | 32,66±1,63 |
| IG 2-7 | 0,38±0,07 | 0,16±0,02 | - | - | - | 3,58±0,18 | 19,65±0,98 | 33,25±1,66 |
| IG 2-8 | 0,55±0,07 | 0,15±0,02 | - | - | - | 3,59±0,18 | 18,65±0,93 | 33,05±1,65 |

Tabela 4 – Correlações estatísticas de Pearson referentes à segunda campanha

| | | Dist | ²²⁴ Ra | ²²³ Ra | ²²⁶ Ra | ²²⁸ Ra | Sal | Si | Ba |
|-------------------|------------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|--------|
| Dist. | Corr. Pearson | 1.000 | -0,816** | -0,768** | -0,903** | -0,588 | 0,771** | -0,711** | 0,072 |
| | Sig. (bi-caudal) | , | 0,000 | 0,001 | 0,002 | 0,126 | 0,000 | 0,002 | 0,791 |
| | N | 16 | 16 | 16 | 8 | 8 | 16 | 16 | 16 |
| ²²⁴ Ra | Corr. Pearson | | 1.000 | 0,893** | 0,659 | 0,823* | -0,934** | 0,746** | -0,263 |
| | Sig. (bi-caudal) | | , | 0,000 | 0,075 | 0,012 | 0,000 | 0,001 | 0,325 |
| | N | | 16 | 16 | 8 | 8 | 16 | 16 | 16 |
| ²²³ Ra | Corr. Pearson | | | 1.000 | 0,673 | 0,804* | -0,836* | 0,679** | -0,381 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | , | 0,680 | 0,016 | 0,000 | 0,004 | 0,146 |
| | N | | | 16 | 8 | 18 | 16 | 16 | 16 |
| ²²⁶ Ra | Corr. Pearson | | | | 1.000 | 0,340 | -0,701 | 0,683 | -0,319 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | , | 0,409 | 0,053 | 0,062 | 0,441 |
| | N | | | | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| ²²⁸ Ra | Corr. Pearson | | | | | 1.000 | -0,818* | 0,424 | -0,654 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | | , | 0,013 | 0,295 | 0,079 |
| | N | | | | | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Sal. | Corr. Pearson | | | | | | 1.000 | -0,708** | -0,383 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | | | , | 0,002 | 0,143 |
| | N | | | | | | 16 | 16 | 16 |
| Si | Corr. Pearson | | | | | | | 1.000 | 0,269 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | | | | , | 0,313 |
| | N | | | | | | | 16 | 16 |
| Ba | Corr. Pearson | | | | | | | | 1.000 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | | | | | , |
| | N | | | | | | | | 16 |

** Correlação é significativa ao nível 0,01 (bi-caudal)

* Correlação é significativa ao nível 0,05 (bi-caudal)

Na tabela 4, pode ser observada uma correlação estatisticamente consistente entre a distância e os parâmetros estudados, com exceção do ²²⁸Ra e do bário. Adicionalmente, tanto o ²²³Ra quanto o ²²⁴Ra voltaram a apresentar uma correlação linear estatisticamente válida em relação ao parâmetro distância, associada a um aumento do coeficiente de correlação r^2 – de 0,665 para 0,819 – dentro do comportamento exponencial previsto para os dados.

Comparativamente aos resultados obtidos na primeira campanha, foi verificada uma correlação estatisticamente relevante entre os parâmetros salinidade e concentração de silício. Por outro lado, não se manteve o mesmo comportamento estatístico para o primeiro parâmetro em relação ao bário.

Na Figura 34, está representada a correlação linear inversa entre a concentração de ^{226}Ra e a distância x relativa à linha costeira, re-confirmando a predominância do processo difusivo na região amostrada, bem como uma contribuição líquida desprezível por parte da advecção *offshore*. Mais uma vez, o coeficiente de difusão (K_h) pode ser presumido a partir do gráfico do $\ln ^{223}\text{Ra}$ (ou ^{224}Ra), em relação a x .

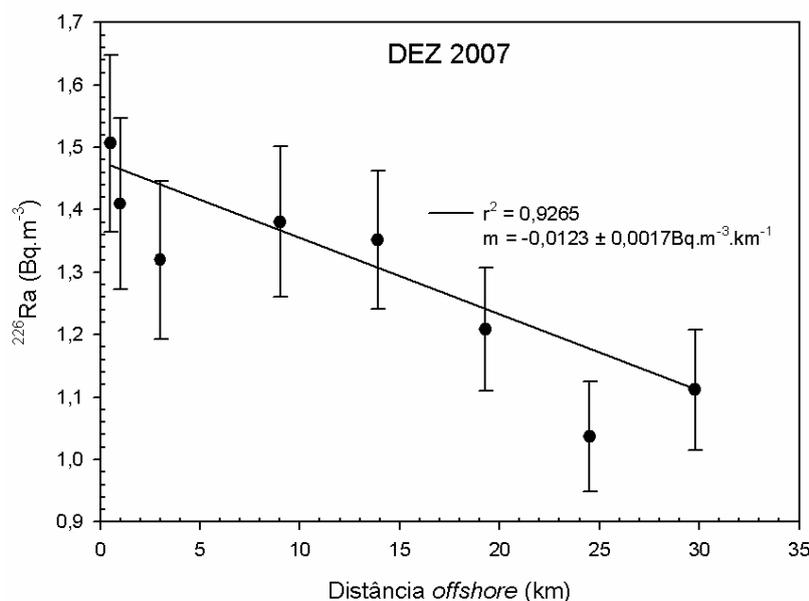


Figura 34 - Perfil do ^{226}Ra como função da distância *offshore*

Nas Figuras 35 e 36 estão representados, respectivamente, os gráficos das razões logarítmicas naturais das concentrações de ^{223}Ra e de ^{224}Ra como função da distância *offshore*. Nos dois casos, os dados relativos a essa região se ajustam, respectivamente, a uma função exponencial de decaimento com constantes $-0,0418 \pm 0,0134$ e $-0,0742 \pm 0,0105 \text{ km}^{-1}$, e coeficientes de correlação linear r^2 iguais a 0,409 e 0,819. Em seguida, a equação 4 e suas aproximações fornecem valores de K_h de $34,71 \pm 9,93 \text{ km}^2.\text{d}^{-1}$ e $34,40 \pm 9,74 \text{ km}^2.\text{d}^{-1}$, relativos aos isótopos ^{223}Ra e ^{224}Ra , respectivamente.

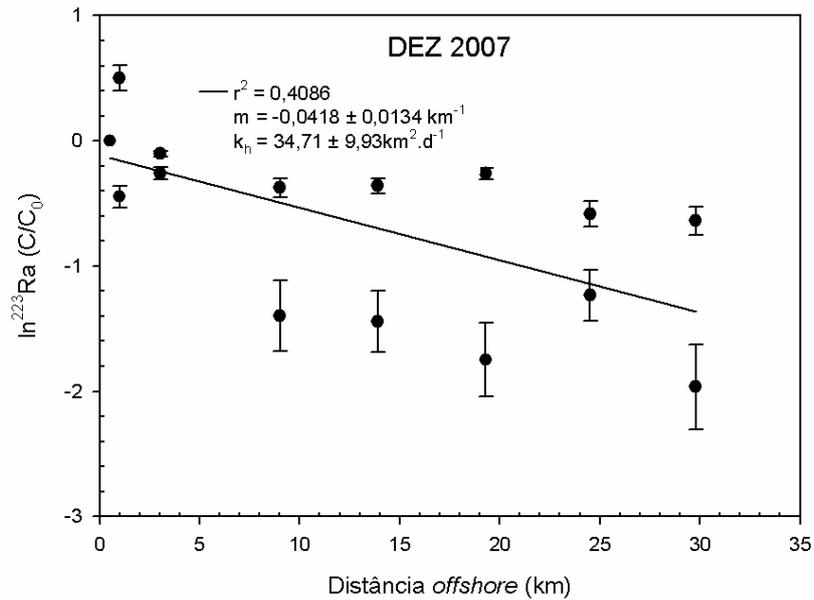


Figura 35 - Perfil do ^{223}Ra como função da distância *offshore*

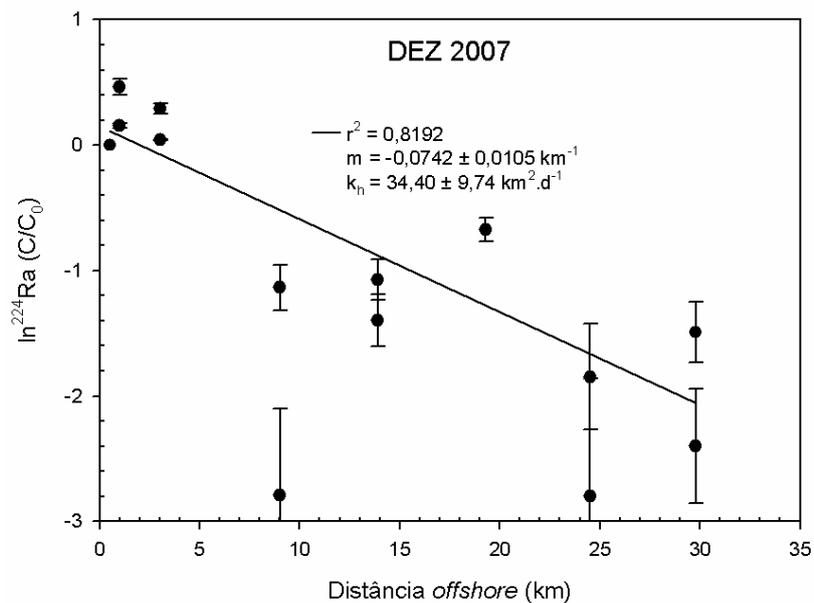


Figura 36 - Perfil do ^{224}Ra como função da distância *offshore*

Foram verificadas duas interrupções no declive da curva na Fig. 36, especificamente às distâncias *offshore* de 9,02 e 24,5 km, cujas ocorrências estão eventualmente associadas à incidência de corrente de escoamento ao longo do canal de interligação entre as Baía da Ilha Grande e Baía de Sepetiba, bem como à descarga subterrânea submarina da Ilha Grande.

A Figura 34 apresenta uma interrupção coincidente na maior distância *offshore* anterior, além de outra a 3,07 km, sendo esta última de provável associação com a ocorrência de corrente de escoamento da Baía da Ribeira.

No que se refere ao parâmetro salinidade, repetiu-se a correlação adicional com o silício, mas o mesmo não foi verificado em relação ao bário, sendo este último fator um diferenciador, nestes limites, entre as duas primeiras campanhas. A salinidade na região superficial da massa d'água variou de $30,84 \pm 1,54$ a $34,35 \pm 1,72$ – sendo o primeiro relativo à região mais interna da baía. Sintomaticamente, os níveis de concentração de silício e dos isótopos de rádio voltaram a atingir seus valores de pico na mesma região, o que novamente reitera a ocorrência de fontes semelhantes de águas de baixa salinidade.

4.2.1.3. – Terceira Campanha de Amostragem

Foi realizada no intervalo de 22 a 23 de janeiro de 2008, nas condições especificadas no Anexo (Tabelas 26 - 27). As condições meteorológicas, no decorrer do processo de amostragem, foram as seguintes: tempo nublado com temperatura na faixa de 19,6 a 22,3°C, precipitação pluviométrica somente no dia 23 – correspondendo a índices pluviométricos de 0,0 a 0,25 mm, respectivamente - ventos de calmaria a de bafagem e originários do referencial lês-nordeste, com médias diárias de velocidade, seqüencialmente, 0,4 e 1,3 m.s⁻¹. Nessas condições, foram constatadas pequenas ondulações na superfície oceânica que sucederam a um aspecto inicial definido como espelhado, de origem eólica, no período de maré enchente - resultante de lua cheia -, com um gradiente de altura de 0,9 m. Ocorreu precipitação pluviométrica nas vinte e quatro horas que precederam a primeira coleta, no dia 22, correspondendo a um índice pluviométrico total 44,0 mm, sendo 2,0 mm relativos a um período de estiagem nas primeiras horas do mesmo dia, anteriores ao início do processo de amostragem.

Por outro lado, ocorreu precipitação pluviométrica na noite do dia 22 – correspondendo a um índice pluviométrico de 9,75 mm -, de forma que as condições iniciais de amostragem em ambos os dias apresentaram variações entre si. A amostra IG1-1, referente à primeira transecção, foi perdida no decorrer do processo analítico para a determinação da concentração de ^{226}Ra e ^{228}Ra . O mesmo se deu com a amostra IG2-5 na segunda transecção, no decorrer da amostragem, impossibilitando, neste caso específico, a determinação da concentração dos isótopos de rádio.

Tabela 5 – Resultados referentes à terceira campanha de amostragem

| Amostra | ^{224}Ra (Bq.m ⁻³) | ^{223}Ra (Bq.m ⁻³) | ^{226}Ra (Bq.m ⁻³) | ^{228}Ra (Bq.m ⁻³) | Si (μmol.l ⁻¹) | Ba (nmol.l ⁻¹) | Salinidade | |
|---------|--|--|--|--|-------------------------------|-------------------------------|------------|------------|
| IG 1-1 | 6,13±0,62 | 0,37±0,04 | - | - | - | 10,73±0,54 | 30,23±1,51 | 26,10±1,31 |
| IG 1-2 | 7,37±0,74 | 0,74±0,09 | 1,77±0,16 | 1,37±0,35 | 11,82±0,59 | 27,77±1,39 | 28,57±1,43 | |
| IG 1-3 | 5,82±0,56 | 0,37±0,05 | 1,49±0,14 | 2,30±0,32 | 11,13±0,56 | 28,22±1,41 | 27,14±1,36 | |
| IG 1-4 | 1,76±0,18 | 0,27±0,04 | 0,88±0,10 | 1,58±0,22 | 3,21±0,16 | 26,71±1,34 | 26,69±1,33 | |
| IG 1-5 | 0,27±0,07 | 0,22±0,02 | 2,80±0,21 | 1,95±0,49 | 4,30±0,22 | 26,91±1,35 | 30,19±1,51 | |
| IG 1-6 | 1,86±0,21 | 0,34±0,03 | 1,27±0,10 | 1,63±0,24 | 3,07±0,15 | 25,92±1,30 | 27,53±1,38 | |
| IG 1-7 | 2,26±0,22 | 0,08±0,01 | 2,05±0,17 | 0,11±0,39 | 3,36±0,17 | 26,31±1,32 | 28,64±1,43 | |
| IG 1-8 | 0,68±0,08 | 0,17±0,02 | 0,34±0,04 | 2,56±0,13 | 3,23±0,16 | 27,92±1,40 | 29,42±1,47 | |
| IG 1-9 | 1,61±0,17 | 0,18±0,02 | 0,56±0,05 | 2,27±0,15 | 2,52±0,13 | 21,85±1,09 | 29,03±1,45 | |
| IG 2-1 | 4,15±0,41 | 0,36±0,03 | 0,46±0,07 | 0,25±0,14 | 6,84±0,34 | 29,29±1,46 | 31,69±1,58 | |
| IG 2-2 | 5,52±0,55 | 0,29±0,03 | 1,89±0,17 | 2,04±0,38 | 7,12±0,36 | 27,94±1,40 | 27,66±1,38 | |
| IG 2-3 | 2,86±0,27 | 0,58±0,06 | 1,45±0,15 | 1,06±0,32 | 10,61±0,53 | 30,29±1,51 | 26,88±1,34 | |
| IG 2-4 | 2,21±0,24 | 0,31±0,03 | 1,42±0,14 | 0,74±0,31 | 6,24±0,31 | 27,73±1,39 | 29,42±1,47 | |
| IG 2-5 | - | - | - | - | 5,31±0,27 | 27,30±1,36 | 29,16±1,46 | |
| IG 2-6 | 1,42±0,14 | 0,20±0,02 | 1,26±0,10 | 2,00±0,16 | 5,61±0,28 | 27,82±1,39 | 29,87±1,49 | |
| IG 2-7 | 1,49±0,15 | 0,23±0,02 | 0,14±0,02 | 0,06±0,04 | 3,61±0,18 | 25,92±1,30 | 27,40±1,37 | |
| IG 2-8 | 2,46±0,28 | 0,25±0,02 | 0,09±0,02 | 0,40±0,03 | 3,35±0,17 | 26,43±1,32 | 28,44±1,42 | |

Tabela 6 – Correlações estatísticas de Pearson referentes à terceira campanha

| | | Dist | ²²⁴ Ra | ²²³ Ra | ²²⁶ Ra | ²²⁸ Ra | Sal | Si | Ba |
|-------------------------|------------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|----------|----------|
| Dist. | Corr. Pearson | 1.000 | -0,673** | -0,645** | -0,474 | 0,026 | 0,167 | -0,770** | -0,745** |
| | Sig. (bi-caudal) | , | 0,004 | 0,007 | 0,074 | 0,926 | 0,522 | 0,000 | 0,001 |
| | N | 17 | 16 | 16 | 16 | 16 | 17 | 17 | 17 |
| ²²⁴Ra | Corr. Pearson | | 1.000 | 0,672** | 0,194 | -0,008 | -0,309 | 0,829** | 0,454 |
| | Sig. (bi-caudal) | | , | 0,004 | 0,485 | 0,976 | 0,244 | 0,000 | 0,078 |
| | N | | 16 | 16 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 |
| ²²³Ra | Corr. Pearson | | | 1.000 | 0,168 | -0,026 | -0,238* | 0,796** | 0,477 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | , | 0,550 | 0,926 | 0,376 | 0,000 | 0,062 |
| | N | | | 16 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 |
| ²²⁶Ra | Corr. Pearson | | | | 1.000 | 0,220 | 0,003 | 0,346 | 0,213 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | , | 0,430 | 0,991 | 0,207 | 0,446 |
| | N | | | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| ²²⁸Ra | Corr. Pearson | | | | | 1.000 | -0,081 | 0,077 | -0,124 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | | , | 0,775 | 0,785 | 0,660 |
| | N | | | | | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Sal. | Corr. Pearson | | | | | | 1.000 | -0,286 | -0,118 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | | | , | 0,265 | 0,651 |
| | N | | | | | | 17 | 17 | 17 |
| Si | Corr. Pearson | | | | | | | 1.000 | 0,628** |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | | | | , | 0,002 |
| | N | | | | | | | 17 | 17 |
| Ba | Corr. Pearson | | | | | | | | 1.000 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | | | | | , |
| | N | | | | | | | | 17 |

** Correlação é significativa ao nível 0,01 (bi-caudal)

* Correlação é significativa ao nível 0,05 (bi-caudal)

De acordo com a Tabela 6, a correlação linear estatisticamente relevante entre a distância e os demais parâmetros se restringiram aos isótopos de meia-vida curta do rádio (²²³Ra e ²²⁴Ra), além do silício e do bário. Especificamente em relação ao ²²⁴Ra, não se pode considerar como otimização o incremento do coeficiente de correlação linear r^2 (de 0,453 para 0,520), associado a um comportamento exponencial da função. A ausência de correlação entre as concentrações de ²²⁶Ra e ²²⁸Ra com a distância *offshore* descarta a hipótese de predominância local do processo difusivo como mecanismo de dispersão, bem como torna inaplicável o cálculo do coeficiente de difusão a partir de gráficos \ln ²²³Ra e ²²⁴Ra *versus* distância *offshore*. Também diferentemente do verificado na primeira campanha, tanto o silício quanto o bário não produziram correlações relevantes com a salinidade, do ponto de vista estatístico.

4.2.1.4. – Quarta Campanha de Amostragem

Foi realizada no dia 08 de outubro de 2008, nas condições especificadas no Anexo (Tabela 28). As condições meteorológicas, no decorrer do processo de amostragem, foram as seguintes: chuva torrencial, temperatura na faixa de 18,7 a 19,6°C, índice pluviométrico de 7,75 mm, ventos de calmaria a de bafagem e originários do referencial nordeste e posteriormente sudoeste, com médias diárias de velocidade, seqüencialmente, 0,5 e 1,7 m.s⁻¹. Nessas condições, foram constatadas pequenas ondulações na superfície oceânica que sucederam a um aspecto inicial definido como espelhado, de origem eólica, no período de maré enchente - resultante de lua crescente -, com um gradiente de altura de 0,5 m. Ocorreu precipitação pluviométrica nas vinte e quatro horas que precederam a primeira coleta, no dia 08, correspondendo a um índice pluviométrico total 42,00 mm, sendo 38,25 mm relativos às primeiras horas do mesmo dia, anteriores ao início do processo de amostragem. Por outro lado, ocorreu precipitação pluviométrica relevante na noite do dia 08 – correspondendo a um índice pluviométrico de 30,75 mm -, configurando um quadro meteorológico desfavorável ao prosseguimento do processo de amostragem no dia seguinte, restringindo-o a somente uma transecção.

Tabela 7 – Resultados referentes à quarta campanha de amostragem

| Amostra | ²²⁴ Ra (Bq.m ⁻³) | ²²³ Ra (Bq.m ⁻³) | ²²⁶ Ra (Bq.m ⁻³) | ²²⁸ Ra (Bq.m ⁻³) | Si (μmol.l ⁻¹) | Ba (nmol.l ⁻¹) | Salinidade |
|---------|--|--|--|--|-------------------------------|-------------------------------|------------|
| MAM 1-1 | 1,76±0,16 | 0,08±0,01 | 1,60±0,14 | 3,97±0,34 | 13,29±0,66 | 47,19±2,36 | 32,11±1,61 |
| MAM 1-2 | 1,27±0,12 | 0,16±0,02 | 1,01±0,10 | 2,90±0,25 | 10,69±0,53 | 46,11±2,31 | 32,48±1,62 |
| MAM 1-3 | 0,42±0,04 | 0,09±0,01 | 0,89±0,09 | 2,04±0,22 | 9,09±0,45 | 45,72±2,29 | 33,41±1,67 |
| MAM 1-4 | 0,42±0,05 | 0,08±0,01 | 1,19±0,12 | 2,49±0,27 | 8,81±0,44 | 43,35±2,17 | 33,13±1,66 |
| MAM 1-5 | 0,15±0,02 | 0,03±0,00 | 0,96±0,08 | 1,89±0,19 | 8,92±0,45 | 42,78±2,14 | 33,41±1,67 |
| MAM 1-6 | 0,20±0,03 | 0,06±0,01 | 0,79±0,07 | 2,27±0,18 | 8,84±0,44 | 44,17±2,21 | 33,41±1,67 |
| MAM 1-7 | 0,27±0,03 | 0,06±0,01 | 1,17±0,10 | 2,63±0,23 | 7,16±0,36 | 45,54±2,28 | 33,32±1,67 |

Tabela 8 – Correlações estatísticas de Pearson referentes à quarta campanha

| | | Dist | ²²⁴ Ra | ²²³ Ra | ²²⁶ Ra | ²²⁸ Ra | Sal | Si | Ba |
|-------------------|------------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|---------|
| Dist. | Corr. Pearson | 1.000 | -0,779* | -0,621 | -0,394 | -0,496 | 0,724 | -0,822* | -0,485 |
| | Sig. (bi-caudal) | , | 0,039 | 0,136 | 0,382 | 0,257 | 0,066 | 0,023 | 0,270 |
| | N | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| ²²⁴ Ra | Corr. Pearson | | 1.000 | 0,590 | 0,710 | 0,906** | -0,986** | 0,921** | -0,777* |
| | Sig. (bi-caudal) | | , | 0,163 | 0,074 | 0,005 | 0,000 | 0,003 | 0,040 |
| | N | | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| ²²³ Ra | Corr. Pearson | | | 1.000 | 0,039 | 0,355 | -0,567 | 0,382 | 0,552 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | , | 0,935 | 0,435 | 0,185 | 0,398 | 0,199 |
| | N | | | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| ²²⁶ Ra | Corr. Pearson | | | | 1.000 | 0,867* | -0,744 | 0,621 | 0,510 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | , | 0,011 | 0,055 | 0,136 | 0,242 |
| | N | | | | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| ²²⁸ Ra | Corr. Pearson | | | | | 1.000 | -0,922** | 0,790* | 0,750 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | | , | 0,003 | 0,034 | 0,052 |
| | N | | | | | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Sal. | Corr. Pearson | | | | | | 1.000 | -0,896** | -0,698 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | | | , | 0,006 | 0,081 |
| | N | | | | | | 7 | 7 | 7 |
| Si | Corr. Pearson | | | | | | | 1.000 | 0,595 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | | | | , | 0,158 |
| | N | | | | | | | 7 | 7 |
| Ba | Corr. Pearson | | | | | | | | 1.000 |
| | Sig. (bi-caudal) | | | | | | | | , |
| | N | | | | | | | | 7 |

** Correlação é significativa ao nível 0,01 (bi-caudal)

* Correlação é significativa ao nível 0,05 (bi-caudal)

De acordo com a Tabela 8, a correlação linear estatisticamente relevante entre a distância e os demais parâmetros se restringiram ao ²²⁴Ra, além do silício. A ausência de correlação entre as concentrações de ²²⁶Ra e ²²⁸Ra com a distância *offshore* descarta a hipótese de predominância local do processo difusivo como mecanismo de dispersão, bem como torna inaplicável o cálculo do coeficiente de difusão a partir de gráficos ln ²²³Ra e ²²⁴Ra *versus* distância *offshore*. Analogamente ao ocorrido na segunda campanha, somente o silício produziu correlações relevantes com a salinidade, do ponto de vista estatístico.

4.2.2 – Discussão dos Resultados

São várias as condições de contorno teóricas para a resolução da equação 2, quais sejam: sistema em estado estacionário, dispersão constante ao longo da área estudada e via de aporte de rádio restrita ao ponto de amostragem para a determinação de atividade inicial.

Na determinação do processo predominante de dispersão de radionuclídeos conservativos através da análise de isótopos de rádio de meia-vida longa, observou-se que a prevalência da difusão ficou restrita somente às duas primeiras campanhas. Por outro lado, a predominância da advecção nas duas amostragens finais foi constatada por exclusão, uma vez que ficou comprovado que a dispersão não manteve seu caráter dominante, como nas duas amostragens iniciais.

As razões para a maior relevância do processo advectivo na fase final estão eventualmente ligadas à ausência de uma ou mais das condições de contorno anteriores, a qual está, dentre outros parâmetros, vinculada às condições meteorológicas locais. Especificamente, as conseqüências desta instabilidade compreenderam uma elevação dos índices pluviométricos, além de modificações na direção dos ventos, ocasionando estas últimas a formação de redemoinhos e alterações no perfil hidrodinâmico de circulação (FRANKLIN, 2001). Sob essas circunstâncias, a decorrente inviabilização em curto prazo da condição de estado estacionário para o sistema favoreceu o modelo advectivo em detrimento do difusivo.

Comparativamente para cada uma das campanhas iniciais, os valores obtidos para o coeficiente de difusão (K_h) (Tab. 9) apresentaram uma concordância significativa. Os desvios observados podem eventualmente estar associados principalmente à irregularidade do relevo costeiro, a partir da qual diversas baías e pequenas ilhas interferem no comportamento de mistura da massa d'água.

Tabela 9 – Valores de coeficiente de difusão (K_h)

| Distância (km) | $K_h^{223}\text{Ra}$ ($\text{km}^2 \cdot \text{d}^{-1}$) | $K_h^{224}\text{Ra}$ ($\text{km}^2 \cdot \text{d}^{-1}$) |
|-------------------|---|---|
| Dez/2006 | 20,12 \pm 3,81 | 21,07 \pm 3,91 |
| Dez/2007 | 34,71 \pm 9,93 | 34,40 \pm 9,74 |

Por outro lado, do ponto de vista comparativo entre as campanhas, observa-se uma variação expressiva – da ordem de 65% em média - nos coeficientes obtidos para ambos os isótopos de rádio. Por exclusão, uma vez que não foram reportadas intercorrências de origem externa no local de amostragem que pudessem de alguma forma influenciar os resultados, é factível concluir que a amplitude dos desvios está associada a diferenças nos perfis de dispersão, decorrentes de variações nas escalas de tempo e espaço da mistura turbulenta, inerente a cada um destes isótopos.

Especificamente para situações de predominância difusiva, os valores obtidos para K_h podem ser aplicados no cálculo dos fluxos *offshore* de ^{228}Ra e ^{226}Ra da costa para o oceano. Segundo MOORE (2000), o fluxo (F) de um traçador conservativo corresponde ao produto do gradiente da concentração *offshore* (m) por K_h e pela área S estudada, sendo m a inclinação do gráfico de concentração do traçador *versus* distância (Eq.7).

$$F = m.K_h.S \quad (7)$$

Por apresentar maior relevância estatística em termos do universo de dados coletados, somente a primeira campanha foi incluída no cálculo do fluxo *offshore* dos isótopos de rádio com meia-vida longa, e desta, apenas o ^{228}Ra demonstrou uma correlação mais eficiente com a distância *offshore*.

Neste caso, para um gradiente de ^{228}Ra de $0,1109 \pm 0,01084 \text{ Bq.m}^{-3}.\text{km}^{-1}$, um valor de K_h de $20,5 \pm 5,46 \text{ km}^2.\text{d}^{-1}$ – média entre os valores relativos a ^{223}Ra e ^{224}Ra - e uma área de $0,14 \text{ km}^2$ – equivalente a 14 km de extensão da faixa costeira e 10 m de profundidade da camada de água superficial -, o valor de fluxo de ^{228}Ra correspondeu a $3,20 \pm 1,01 \times 10^8 \text{ Bq.d}^{-1}$.

Segundo SOUSA (2007), o tempo de residência t_{res} corresponde ao quociente do produto da concentração em excesso de um traçador conservativo na água C_{exc} e volume V da baía monitorada pelo fluxo *offshore* F do traçador.

$$t_{res} = \frac{C_{exc} \cdot V}{F} \quad (8)$$

Define-se C_{exc} como o resultado da subtração entre a concentração média do traçador na região costeira e sua concentração média oceânica. Neste caso, foram utilizados, respectivamente, valores de $2,72 \pm 0,07 \text{ Bq.m}^{-3}$ – até 26,1 km *offshore* – e $0,5 \pm 0,05 \text{ Bq.m}^{-3}$, sendo este último referenciado por KEY *et al.* (1985), fornecendo um resultado final de $2,22 \pm 0,09 \text{ Bq.m}^{-3}$ para a concentração em excesso de ^{228}Ra . Tendo sido obtido um volume V de $3,65 \times 10^9 \text{ m}^3$, referente às coordenadas 14 km (extensão da faixa costeira), 26,1km *offshore* e 10 m de profundidade da camada de água superficial, e considerando o valor de fluxo *offshore* de $3,20 \pm 1,01 \times 10^8 \text{ Bq.d}^{-1}$ calculado anteriormente, define-se um tempo de residência correspondente a $25,35 \pm 4,50$ dias.

Por outro lado, a predominância da advecção nas duas últimas campanhas requereu a adoção de metodologias alternativas para a estimativa do tempo de residência. Sob esse prisma, o modelo de idade $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ foi considerado como a opção mais vantajosa, uma vez que independe das condições do estado estacionário, bem como do comportamento de mistura constante.

Na aplicação deste modelo, utilizou-se as amostras de água subterrânea coletadas nas praias próximas à CNAAA, com uma razão de $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ próxima a $21,7 \pm 0,02$ (Tab. 10), valor similar ao encontrado por MOORE *et al.* (2007) em Ubatuba (RA = 21,7).

Tabela 10 – Valores obtidos de $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ para as águas subterrâneas

| Amostra | $(^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra})$ |
|---------|-------------------------------------|
| VER | 43,23 $\pm 0,17$ |
| MAM | 8,15 $\pm 0,16$ |
| COQ | 23,46 $\pm 0,15$ |
| BRV | 19,87 $\pm 0,18$ |
| VHL | 19,03 $\pm 0,18$ |
| VER | 23,43 $\pm 0,16$ |
| MAM | 15,09 $\pm 0,15$ |
| COQ | 21,77 $\pm 0,14$ |
| VHL | 13,84 $\pm 0,15$ |
| MAM | 19,57 $\pm 0,16$ |
| COQ | 23,00 $\pm 0,12$ |
| BRV | 41,29 $\pm 0,15$ |
| VHL | 16,78 $\pm 0,17$ |
| MAM | 25,61 $\pm 0,12$ |
| | 21,71 $\pm 0,020$ |

As tabelas 11 e 12 apresentam, respectivamente, os valores de idade calculada como função da distância *offshore* para as amostras das campanhas em JAN 2008 e OUT 2008, em seguida aos respectivos gráficos (Fig. 37 e 38). As amostras coletadas na baía apresentam uma idade na faixa de 13 dias relativamente à da água subterrânea coletada e constatando-se uma tendência de proporcionalidade direta entre os parâmetros idade e distância *offshore*.

Tabela 11 – Valores obtidos para $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ para as águas superficiais - CNAAA

| Distância (km) | ($^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$) | Idade (dias) |
|----------------|---------------------------------------|--------------|
| 0,5 | 16,55 ±0,16 | 2,21 ±0,03 |
| 1,51 | 10,02 ±0,15 | 6,11 ±0,10 |
| 3,51 | 15,66 ±0,16 | 2,64 ±0,03 |
| 6,53 | 6,61 ±0,17 | 9,34 ±0,25 |
| 14,6 | 5,47 ±0,28 | 10,80 ±0,30 |
| 24,5 | 4,06 ±0,15 | 13,12 ±0,52 |
| 0,5 | 11,49 ±0,15 | 5,04 ±0,07 |
| 1,51 | 19,33 ±0,16 | 1,01 ±0,01 |
| 3,51 | 4,90 ±0,14 | 11,67 ±0,33 |
| 6,53 | 7,25 ±0,16 | 8,62 ±0,18 |
| 9,55 | 7,13 ±0,15 | 8,76 ±0,18 |
| 14,6 | 9,72 ±0,17 | 6,35 ±0,20 |
| 19,5 | 6,63 ±0,16 | 9,32 ±0,11 |

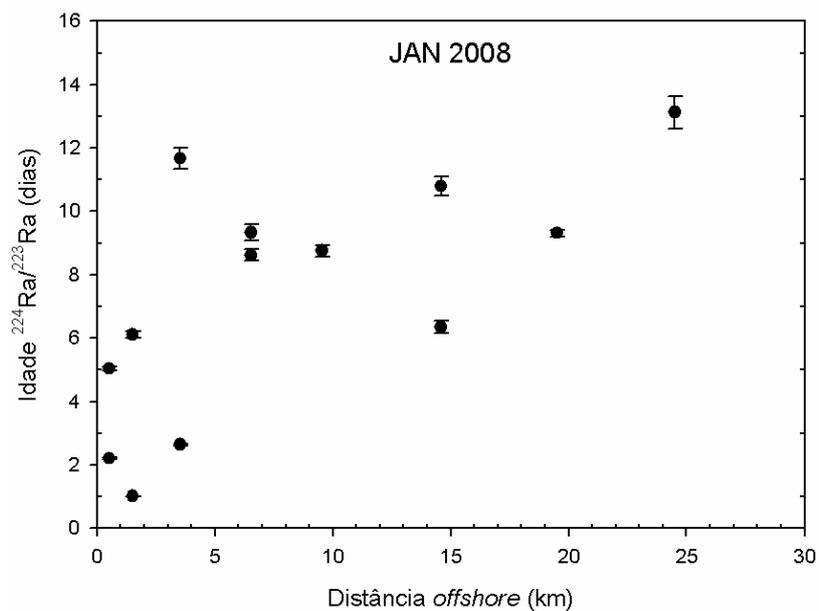


Figura 37 - Perfil da idade $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ como função da distância *offshore* – CNAAA

Tabela 12 – Valores obtidos para $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ para as águas superficiais - Mambucaba

| Distância (km) | ($^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$) | Idade (dias) |
|----------------|---------------------------------------|--------------|
| 1,00 | 21,76 ±0,16 | 0,09 ±0,00 |
| 3,00 | 7,87 ±0,16 | 7,99 ±0,17 |
| 6,00 | 4,81 ±0,16 | 11,81 ±0,40 |
| 10,00 | 5,29 ±0,19 | 11,06 ±0,40 |
| 15,00 | 4,76 ±0,19 | 11,88 ±0,49 |
| 20,00 | 3,18 ±0,20 | 13,03 ±0,82 |
| 25,00 | 4,34 ±0,16 | 12,61 ±0,47 |

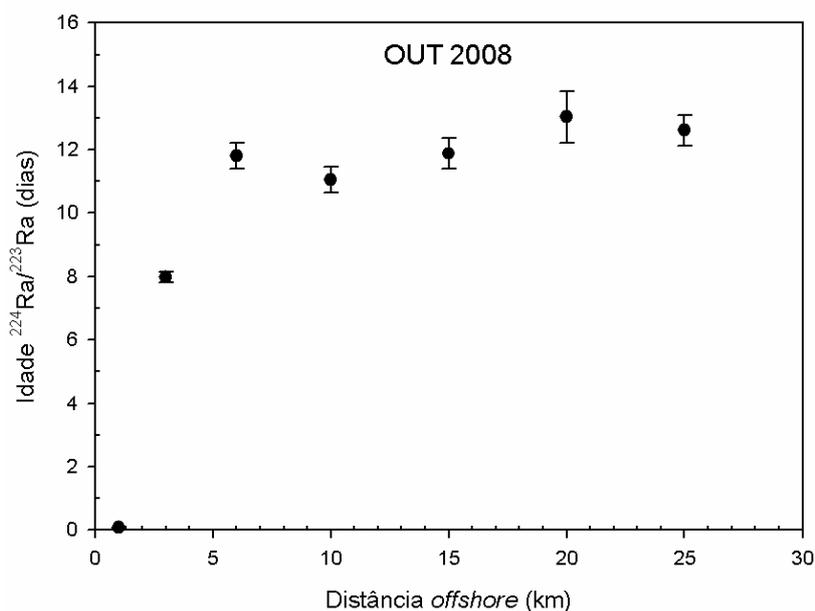


Figura 38 - Perfil da idade $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ como função da distância *offshore* – Mambucaba

Para manter a uniformidade do tratamento dos dados obtidos – levando-se em conta os mesmos critérios estatísticos anteriores - somente os dados da campanha de JAN-2008 foram utilizados no cálculo do fluxo *offshore* de ^{228}Ra (Eq. 16).

Neste caso, foram utilizados, respectivamente, valores de $1,36 \pm 0,35 \text{ Bq.m}^{-3}$ – até 24,5 km *offshore* – e $0,5 \pm 0,05 \text{ Bq.m}^{-3}$, sendo este último referenciado por KEY *et al.* (1985), fornecendo um resultado final de $0,86 \pm 0,061 \text{ Bq.m}^{-3}$ para a concentração em excesso de ^{228}Ra .

Tendo sido obtido um volume V de $3,43 \times 10^9 \text{ m}^3$, referente às coordenadas 14 km (extensão da faixa costeira), 24,5 km *offshore* e 10 m de profundidade da camada de água superficial, e considerando um tempo de residência correspondente a 13,08 $\pm 0,21$ dias em média obtido anteriormente, define-se o valor de fluxo *offshore* de $2,26 \pm 0,424 \times 10^8 \text{ Bq.d}^{-1}$.

A comparação entre os resultados para tempo de residência e fluxo *offshore* aponta tendências que se justificam pela teoria. O maior tempo de residência do processo difusivo – exatamente o dobro – coincide com o fato de que a difusão apresenta, intrinsecamente, um mecanismo de ocorrência mais lenta. Além disso, tanto o fluxo quanto o processo difusivo foram favorecidos pela estabilidade meteorológica, embora aparentemente os comportamentos dos dois primeiros não estejam diretamente interligados ou demonstrem qualquer tipo de dependência direta.

Este processo de favorecimento se deve à ocorrência de aquíferos de rochas cristalinas fraturadas – originalmente ricas em precursores do rádio - na região de Angra dos Reis, fazendo com que as águas de contato sejam mais mineralizadas em períodos de estiagem, por não estarem sujeitas a diluições decorrentes do aporte das chuvas.

Para uma concentração média em excesso de ^{228}Ra na água subterrânea submarina na baía de Ilha Grande de $1,57 \pm 0,017 \text{ Bq.m}^{-3}$ e um fluxo *offshore* médio de ^{228}Ra igual a $2,73 \pm 0,415 \times 10^8 \text{ Bq.d}^{-1}$, calculou-se uma descarga de água subterrânea de submarina local de $1,77 \pm 0,27 \times 10^8 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$. Para uma extensão da faixa costeira de 14 km, a descarga de água subterrânea de submarina é igual a $1,27 \pm 0,23 \times 10^4 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}\text{m}^{-1}$.

FADLELMAWLA *et.al.* (2010) calcularam os níveis de vazão de descarga de água subterrânea submarina para a baía do Kuwait, obtendo um valor médio de $2,0 \times 10^7 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Dentro de uma abordagem comparativa, valores referentes a outros locais foram obtidos através da literatura, sendo então estabelecido como critério de normalização, os quocientes (em $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) entre cada um destes valores e a extensão costeira da baía do Kuwait, correspondente a $19 \times 10^5 \text{ m}$. Os resultados normalizados foram plotados pelo autor no gráfico 39, no qual foi inserido o valor obtido para a baía da Ilha grande igualmente normalizado.

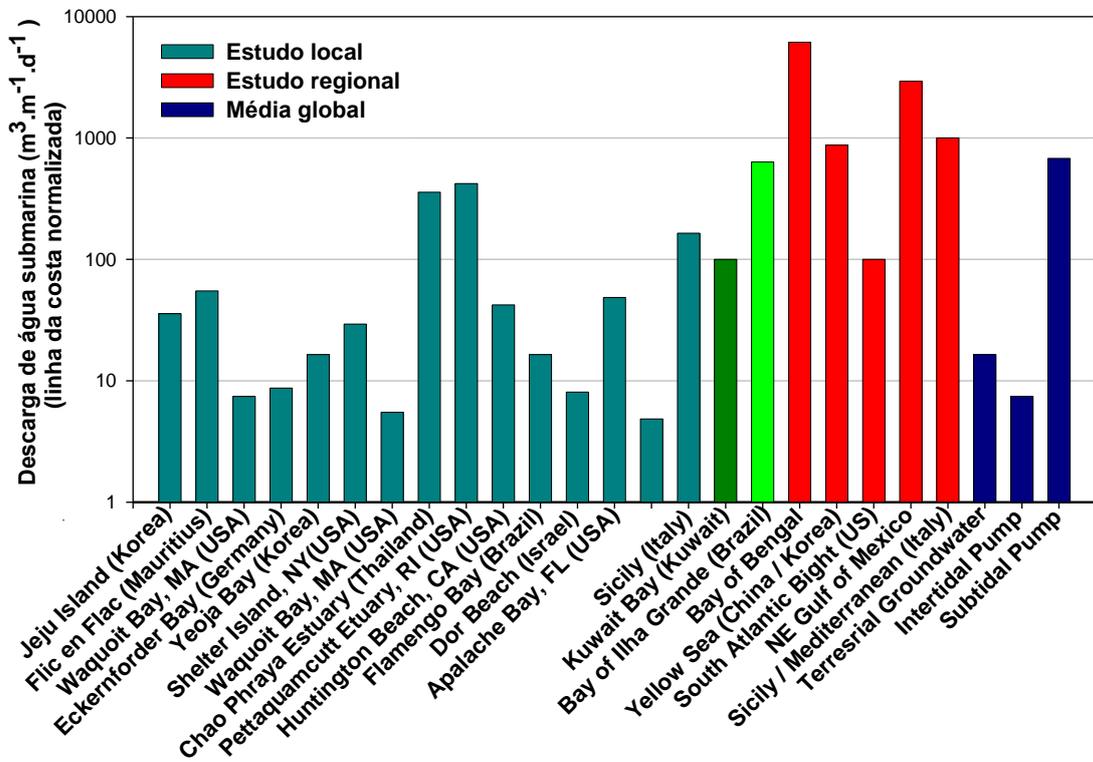


Figura 39 – Descarga Normalizada de Água subterrânea Submarina (FADLELMAWLA *et al.*, 2010).

Nos gráficos das figuras 40 e 41 estão expressas as dispersões dos valores de concentração de silício e bário, respectivamente, em função da salinidade.

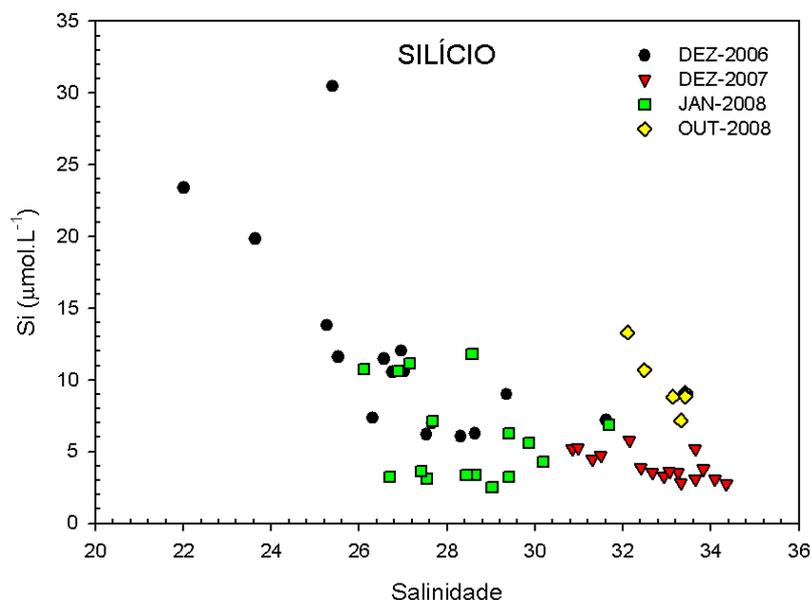


Figura 40 - Perfil da concentração de Silício como função da salinidade

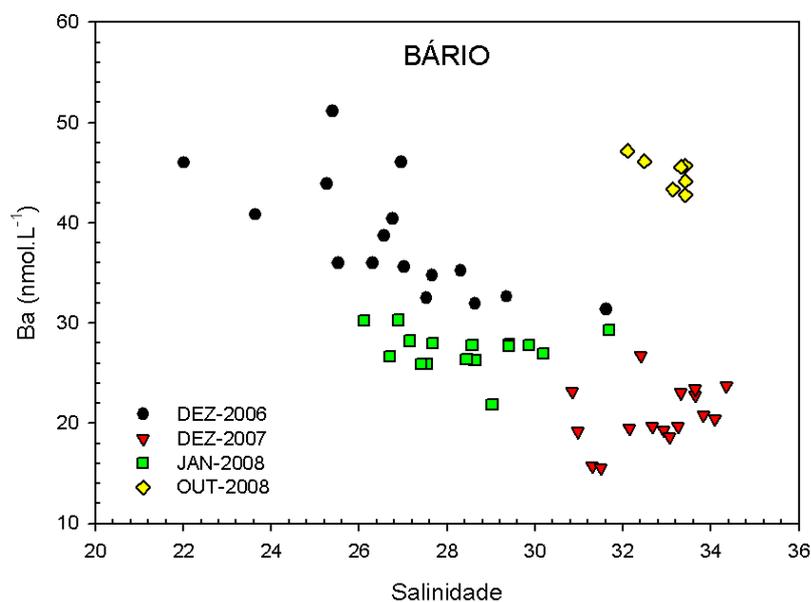


Figura 41 - Perfil da concentração de Bário como função da salinidade

De campanha para campanha, foram observados desvios decorrentes de variações meteorológicas e tidais, as quais interferem na movimentação e no aporte de água subterrânea submarina. Isto se torna evidente a partir da constatação de que ocorreram variações nas faixas de concentração para a mesma área de amostragem.

Comparativamente entre as campanhas de DEZ-2007 e JAN-2008, foram observados comportamentos divergentes em relação ao esperado, para as condições meteorológicas predominantes no decorrer do processo de coleta. No primeiro caso, mantida a estabilidade meteorológica, foram constatados valores de concentração de silício e bário abaixo do previsto. Por outro lado, na campanha JAN-2008, os níveis de concentração de silício e bário atingiram valores maiores que os da campanha DEZ-2007, apesar da incidência de fatores meteorológicos desfavoráveis.

A discrepância observada pode ser conseqüência das condições meteorológicas vigentes no período imediatamente anterior ao das campanhas, chuvoso e seco, respectivamente, para DEZ-2007 e JAN-2008. Desta forma, é factível que o aumento do componente pluviométrico tenha previamente diluído a água subterrânea no primeiro caso, tendo sido mantido o nível atual de concentração para JAN-2008.

Nas figuras 42, 43 e 44, estão representados os levantamentos radiométricos realizados nas praias adjacentes à CNAAA, com a evidenciação dos pontos de coleta simultânea de água subterrânea e areia. Em relação a esta última, as tabelas 13, 14 e 15 apresentam - em seqüência e para ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{40}K - as atividades obtidas em laboratório por espectrometria gama (Ge) e os respectivos níveis de taxa de dose tanto a partir da equação 9, como obtidos *in loco* por espectrômetro gama portátil [NaI(Tl)].

$$D = a.C_U + b.C_{Th} + c.C_K + 34 \quad (9)$$

sendo **D** a taxa de dose absorvida no ar a 1 metro do solo (nGy.h^{-1}); **a** a taxa de dose por unidade de concentração de atividade de ^{238}U em massa de solo ($4,27 \times 10^{-10} \text{ Gy.h}^{-1}/ \text{Bq. Kg}^{-1}$); **C_u** a concentração de ^{238}U no solo (Bq.kg^{-1}), tomada como a concentração de ^{226}Ra ; **b** a taxa de dose por unidade de concentração de atividade de ^{232}Th em massa de solo ($6,62 \times 10^{-10} \text{ Gy.h}^{-1}/ \text{Bq.kg}^{-1}$); **C_{Th}** a concentração de ^{232}Th no

solo (Bq.kg^{-1}), tomada como a concentração de ^{228}Ra , **c** a taxa de dose por unidade de concentração de atividade de ^{40}K em massa de solo ($0,43 \times 10^{-10} \text{ Gy.h}^{-1}/ \text{Bq.Kg}^{-1}$; **C_k** concentração de ^{40}K no solo (Bq.Kg^{-1}); **d** a taxa de dose por unidade de concentração de atividade de ^{137}Cs em massa de solo ($0,30 \times 10^{-10} \text{ Gy.h}^{-1}/ \text{Bq.kg}^{-1}$); **C_{Cs}** a concentração de ^{137}Cs no solo (Bq.kg^{-1}); **34** a contribuição da radiação cósmica para os níveis de taxa de dose referentes a latitudes superiores a 50° (nGy.h^{-1}), (UNSCEAR, 1982).

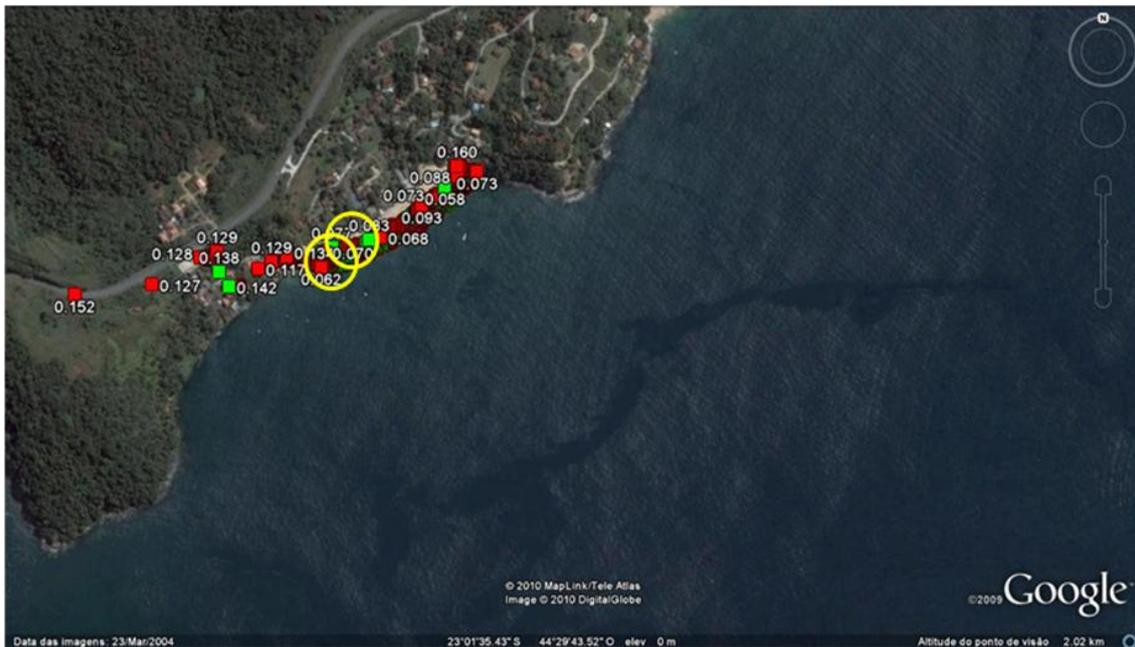


Figura 42 – Análise radiométrica na Praia Vermelha

Tabela 13 – Valores obtidos na Praia Vermelha

| Amostra | ^{226}Ra (Bq.kg^{-1}) | ^{228}Ra (Bq.kg^{-1}) | ^{40}K (Bq.kg^{-1}) | Dose-Areia (mGy.h^{-1}) | Dose-Praia (mGy.h^{-1}) |
|-------------|--|--|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| PR-VER (01) | 11,42±0,53 | 13,28±0,68 | 394,60±16,80 | 0,065±0,004 | 0,062±0,012 |
| PR-VER (02) | 12,57±0,56 | 12,88±0,53 | 665,20±27,28 | 0,076±0,004 | 0,077±0,016 |



Figura 43 – Análise Radiométrica na Praia do Coqueiro e na Praia de Mambucaba

Tabela 14 - Valores obtidos na Praia do Coqueiro e na Praia de Mambucaba

| Amostra | ^{226}Ra (Bq.kg $^{-1}$) | ^{228}Ra (Bq.kg $^{-1}$) | ^{40}K (Bq.kg $^{-1}$) | Dose-Areia (mGy.h $^{-1}$) | Dose-Praia (mGy.h $^{-1}$) |
|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| PR-COQ (01) | 16,47±0,75 | 13,23±0,77 | 1153,00±44,78 | 0,099±0,004 | 0,100±0,020 |
| PR-COQ (02) | 10,54±0,55 | 16,59±0,80 | 372,70±16,07 | 0,066±0,004 | 0,063±0,012 |
| PR-MAM | 11,00±0,53 | 12,37±0,66 | 580,70±23,36 | 0,072±0,004 | 0,076±0,016 |

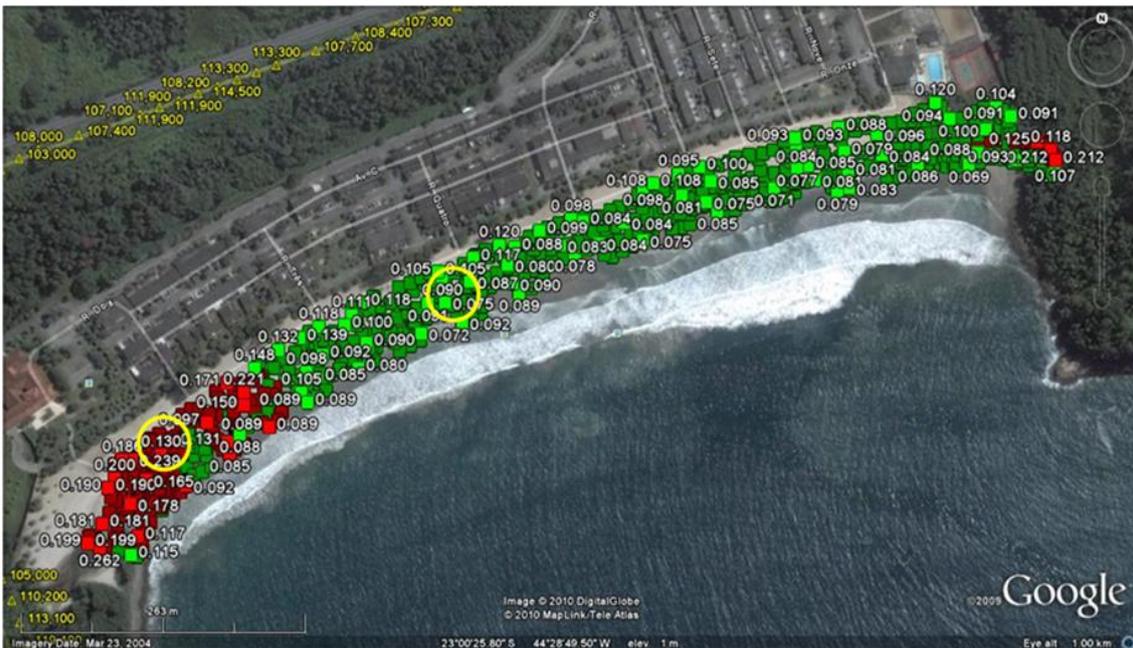


Figura 44 – Análise Radiométrica na Praia Brava

Tabela 15 - Valores obtidos na Praia Brava

| Amostra | ²²⁶ Ra (Bq.kg ⁻¹) | ²²⁸ Ra (Bq.kg ⁻¹) | ⁴⁰ K (Bq.kg ⁻¹) | Dose-Areia (mGy.h ⁻¹) | Dose-Praia (mGy.h ⁻¹) |
|----------------|---|---|---|---|---|
| PR-BRV (01) | 20,12±0,82 | 28,84±1,15 | 596,2±23,78 | 0,087±0,004 | 0,090±0,018 |
| PR-BRV (02) | 716,30±27,76 | 1469,00±45,43 | 180,30±15,91 | 1,330±0,033 | 0,130±0,026 |

Nas tabelas acima, fica evidenciada a equivalência entre os valores de taxa de dose obtidos por ambas as técnicas, em todos os casos.

4.3 – LEVANTAMENTO DO PERFIL DA DEPOSIÇÃO DOS RADIONUCLÍDEOS NÃO-CONSERVATIVOS EM SEDIMENTOS NA BAÍA DA ILHA GRANDE

A apresentação dos resultados segue a cronologia das campanhas de amostragem, sendo então intercomparados.

Os gráficos das figuras 45-51 apresentam os resultados referentes à concentração de ^{210}Pb em função da profundidade nos testemunhos de sedimento provenientes da baía da Ribeira (ANEXO; Tab. 49-55).

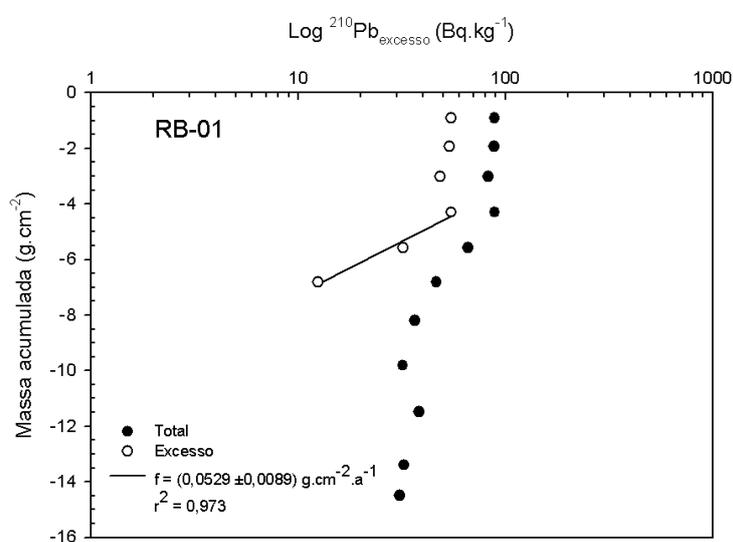


Figura 45 – Gráfico da Atividade de ^{210}Pb como função da Massa acumulada (RB-01)

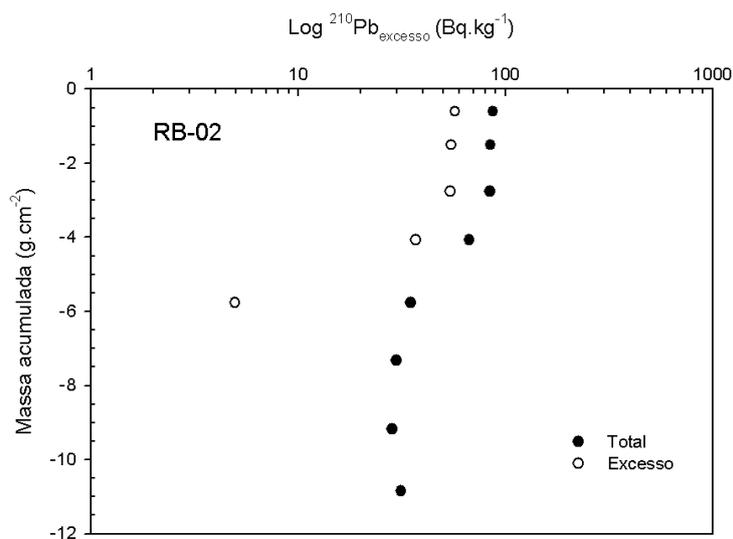


Figura 46 – Gráfico da Atividade de ^{210}Pb como função da Massa acumulada (RB-02)

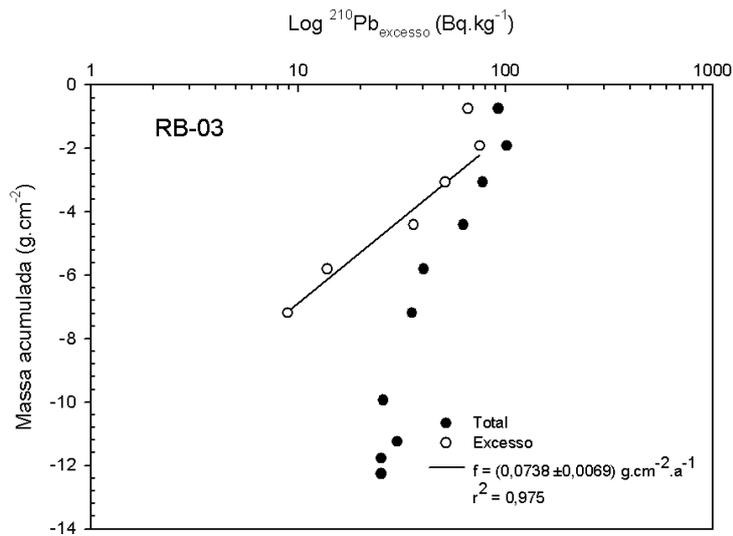


Figura 47 – Gráfico da Atividade de ^{210}Pb como função da Massa acumulada (RB-03)

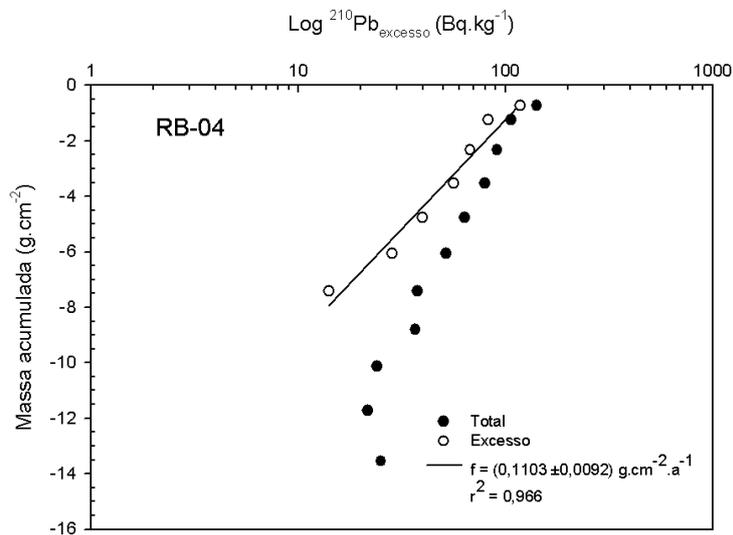


Figura 48 – Gráfico da Atividade de ^{210}Pb como função da Massa acumulada (RB-04)

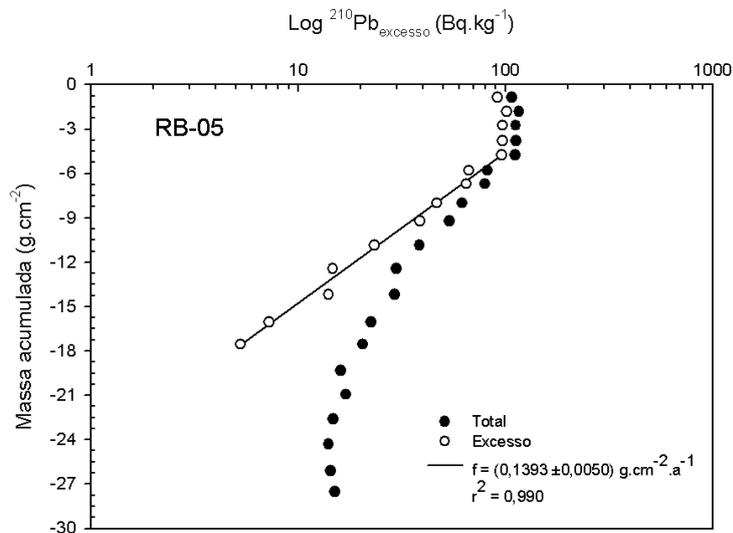


Figura 49 – Gráfico da Atividade de ^{210}Pb como função da Massa acumulada (RB-05)

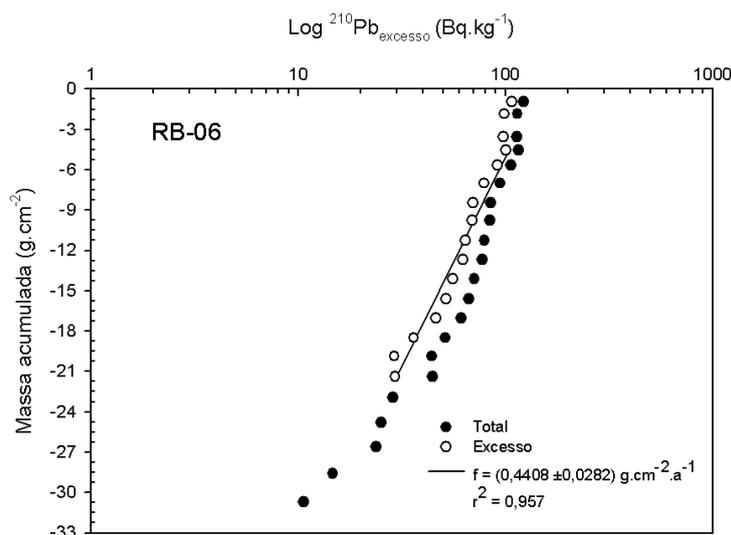


Figura 50 – Gráfico da Atividade de ^{210}Pb como função da Massa acumulada (RB-06)

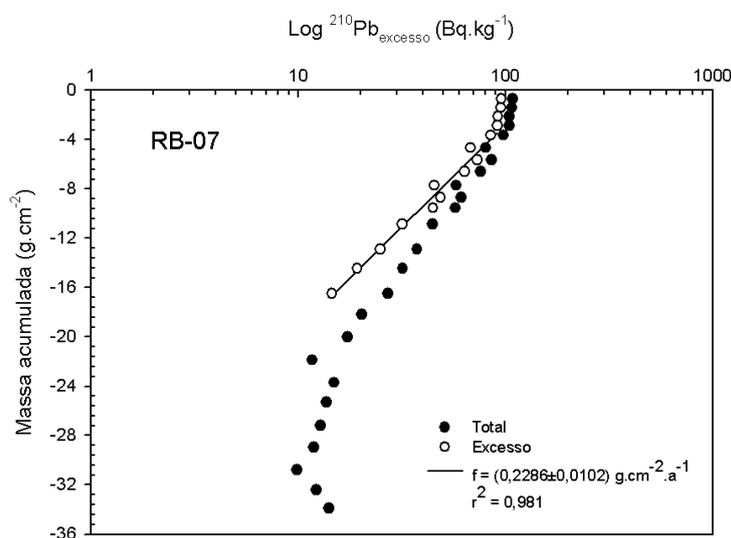


Figura 51 – Gráfico da Atividade de ^{210}Pb como função da Massa acumulada (RB-07)

Excetuando-se o perfil 4, os demais apresentaram uma camada de mistura de até 12 cm, o que, embora mantenha a viabilidade de aplicação destes testemunhos em estudos sobre velocidades de sedimentação, restringe outras relacionadas a práticas de datação. As velocidades mássicas de sedimentação variaram entre $0,0529 \pm 0,0089 \text{ g.cm}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$ e $0,4408 \pm 0,0282 \text{ g.cm}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$, respectivamente nos pontos 1 e 6, correspondendo a um valor médio de $0,1743 \pm 0,0131 \text{ g.cm}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$ ou cerca de $0,3 \pm 0,0169 \text{ cm.ano}^{-1}$. Em relação à Saco de Bracuí, a velocidade de sedimentação apresentou um nível ($0,300 \pm 0,0283 \text{ cm.ano}^{-1}$ – RB-04) consistente com o estimado por BARBOSA (2001)(RB03).

Em decorrência, pode se afirmar que as dragas de profundidade rotineiramente utilizadas nos programas de monitoramento ambiental cobrem um intervalo de tempo de aproximadamente 67 anos ao retirarem uma camada de sedimento equivalente a 20 cm, ou seja, o período referente à operação da CNAAA-I está sendo diluído por uma massa de sedimento duas vezes superior, anterior ao seu funcionamento.

Similarmente ao ocorrido com o ponto RB-04 em relação ao ponto RB03, o ponto RB-06 também coincidiu com um determinado ponto dentre os coletados por BARBOSA (2001) - especificamente o RB19 - próximo ao local de liberação da CNAAA, o qual, por sua vez, apresentou uma taxa de sedimentação de $0,62 \text{ cm.a}^{-1}$ e uma camada de mistura com 5,0 cm, esta última inexistente no trabalho anterior (2001).

De forma análoga, o ponto RB-07 apresentou uma taxa de sedimentação relevante ($0,39 \text{ cm.a}^{-1}$), justificada por sua proximidade ao canal de separação entre a Ilha da Gipóia e o continente e à entrada da Baía da Ribeira. De acordo com CORRÊA *et al.* (1994), o modelo geral de sedimentação da Baía da Ribeira indica que o aporte de sedimentos tem origens tanto fluviais como a partir de correntes marinhas, constituindo-se em evidência da influência destas últimas a presença de diatomáceas da ordem *Centrales* na parte central da Baía.

Para uma região estuarina, as duas principais fontes de aporte de ^{210}Pb em excesso compreendem as descargas atmosféricas e fluviais (APPLEBY *et al.*, 1982). O cálculo do fluxo de ^{210}Pb em excesso em RB-04 se baseou tanto em seu inventário total, como também na proposição de KRISHNASWANY *et al.* (1971) sobre o modelo CF:CS, tendo sido obtidos, respectivamente, níveis de fluxo de $13,15 \text{ mBq.cm}^{-2}.\text{a}^{-1}$ e $13,26 \text{ mBq.cm}^{-2}.\text{a}^{-1}$, consistente com o valor médio sugerido por APPLEBY *et al.* (1982) para o *fallout* atmosférico global ($12 \text{ mBq. cm}^{-2}.\text{a}^{-1}$). A equivalência de resultados torna-se assim um indicativo da ausência de níveis relevantes de aporte de ^{210}Pb provenientes de regatos da região.

No perfil 4 foi realizada a determinação de metais por ICP-MS, sendo os resultados posteriormente comparados com aqueles obtidos em testemunhos de sedimentos coletados na Baía de Sepetiba (GOMES *et al.*, 2009).

Conclusivamente, a região referente ao ponto 4 na Baía da Ribeira não apresenta níveis significativos de poluição por metais, não sendo viável ao mesmo tempo, a utilização dos valores médios como linha de base para os sedimentos da Baía de Sepetiba, dada as diferenças observadas (Fig.52).

A tabela 16 apresenta a estatística descritiva referente à concentração elementar das amostras do testemunho RB-04. Elementos como Al, Fe, Ti, Zr e Sc são utilizados como parâmetros de referência na identificação da origem da matéria em suspensão, bem como de particulados finos constituintes de sedimentos da região de fundo em ambientes estuarinos (TAM *et al.*, 1998; RAMESH *et al.*, 1999; Ip *et al.*, 2004; BURTON *et al.*, 2005; CACCIA *et al.*, 2007; PRASAD *et al.*, 2008). Além disto, têm aplicação no processo de identificação de alterações associadas a atividades antropogênicas.

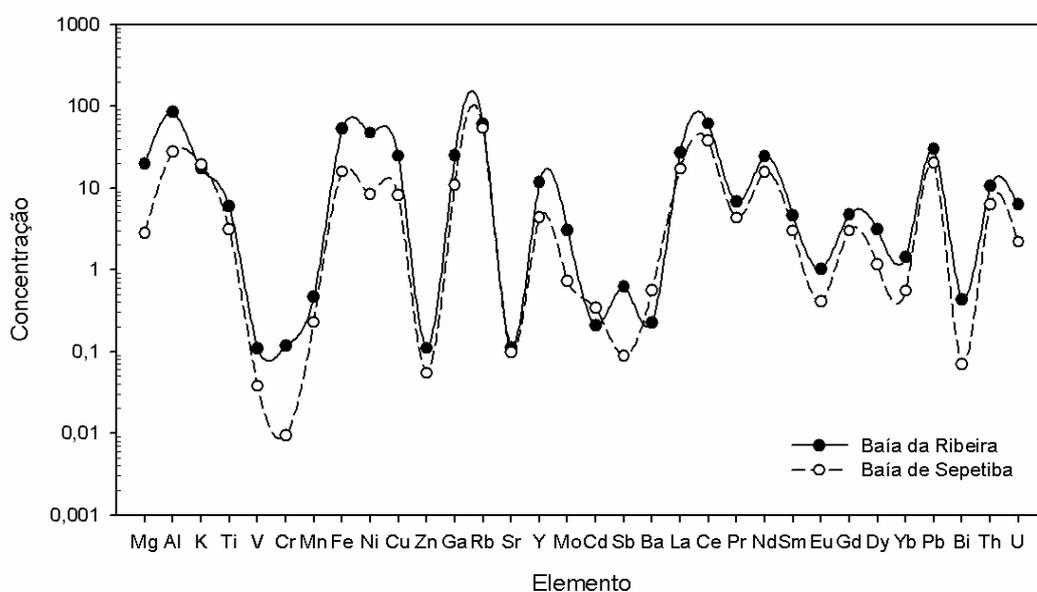


Figura 52 – Gráfico da concentração elementar média do perfil de sedimento RB-04. Os valores são dados em g.kg^{-1} para Mg, Al, K, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Zn, Sr e Ba e em mg.kg^{-1} para os demais elementos.

Tabela 16 – Estatística descritiva da concentração elementar (mg/kg) para amostras do perfil de sedimento RB-04 (N=11)

| Elemento | Máximo | Mínimo | Média | Desvio | % Desvio |
|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
| Na | 5,48E+04 | 2,22E+04 | 3,41E+04 | 8,8E+03 | 26 |
| Mg | 2,21E+04 | 1,74E+04 | 1,97E+04 | 1,6E+03 | 8,3 |
| Al | 1,02E+05 | 5,96E+04 | 8,48E+04 | 1,3E+04 | 15 |
| K | 2,06E+04 | 1,50E+04 | 1,71E+04 | 1,8E+03 | 11 |
| Sc | 1,45E+01 | 5,91E+00 | 1,07E+01 | 2,8E+00 | 26 |
| Ti | 7,07E+03 | 5,06E+03 | 5,96E+03 | 5,2E+02 | 8,7 |
| V | 1,21E+02 | 8,94E+01 | 1,09E+02 | 8,7E+00 | 8,0 |
| Cr | 1,56E+02 | 8,89E+01 | 1,18E+02 | 2,2E+01 | 19 |
| Mn | 5,91E+02 | 3,87E+02 | 4,66E+02 | 6,7E+01 | 14 |
| Fe | 5,91E+04 | 4,42E+04 | 5,27E+04 | 4,8E+03 | 9,1 |
| Co | 1,25E+01 | 1,09E+01 | 1,18E+01 | 5,9E-01 | 5,0 |
| Ni | 6,56E+01 | 3,30E+01 | 4,73E+01 | 1,0E+01 | 22 |
| Cu | 2,85E+01 | 1,98E+01 | 2,46E+01 | 2,2E+00 | 8,8 |
| Zn | 1,18E+02 | 9,90E+01 | 1,09E+02 | 5,3E+00 | 4,9 |
| Ga | 2,72E+01 | 2,29E+01 | 2,50E+01 | 1,6E+00 | 6,4 |
| Rb | 9,58E+01 | 1,94E+01 | 6,03E+01 | 2,4E+01 | 40 |
| Sr | 1,81E+02 | 6,93E+01 | 1,12E+02 | 4,5E+01 | 40 |
| Y | 1,96E+01 | 5,67E+00 | 1,17E+01 | 5,0E+00 | 43 |
| Nb | 2,09E+01 | 1,75E+01 | 1,93E+01 | 9,9E-01 | 5,1 |
| Mo | 4,99E+00 | 1,40E+00 | 3,04E+00 | 1,4E+00 | 46 |
| Cd | 3,22E-01 | 1,35E-01 | 2,07E-01 | 5,0E-02 | 24 |
| Sb | 8,53E-01 | 3,32E-01 | 6,15E-01 | 1,5E-01 | 25 |
| Cs | 7,41E+00 | 4,86E+00 | 5,98E+00 | 7,3E-01 | 12 |
| Ba | 2,83E+02 | 1,87E+02 | 2,24E+02 | 3,2E+01 | 14 |
| La | 4,48E+01 | 1,12E+01 | 2,70E+01 | 1,3E+01 | 47 |
| Ce | 9,82E+01 | 2,61E+01 | 6,14E+01 | 2,7E+01 | 45 |
| Pr | 1,06E+01 | 2,90E+00 | 6,74E+00 | 2,8E+00 | 42 |
| Nd | 3,81E+01 | 1,07E+01 | 2,43E+01 | 9,7E+00 | 40 |
| Sm | 7,18E+00 | 2,20E+00 | 4,64E+00 | 1,8E+00 | 38 |
| Eu | 1,50E+00 | 4,68E-01 | 1,02E+00 | 3,9E-01 | 38 |
| Gd | 7,00E+00 | 2,25E+00 | 4,71E+00 | 1,8E+00 | 38 |
| Tb | 8,83E-01 | 2,95E-01 | 6,10E-01 | 2,1E-01 | 35 |
| Dy | 4,75E+00 | 1,68E+00 | 3,10E+00 | 1,1E+00 | 34 |
| Ho | 9,86E-01 | 3,24E-01 | 5,71E-01 | 2,0E-01 | 35 |
| Er | 2,28E+00 | 8,72E-01 | 1,61E+00 | 4,9E-01 | 30 |
| Tm | 3,17E-01 | 1,25E-01 | 2,22E-01 | 6,4E-02 | 29 |
| Yb | 1,96E+00 | 8,73E-01 | 1,44E+00 | 3,7E-01 | 26 |
| Lu | 2,76E-01 | 1,24E-01 | 2,01E-01 | 5,2E-02 | 26 |
| W | 1,84E+00 | 1,59E+00 | 1,70E+00 | 9,4E-02 | 5,5 |
| Pb | 3,26E+01 | 2,61E+01 | 2,99E+01 | 2,1E+00 | 7,1 |
| Bi | 4,77E-01 | 4,07E-01 | 4,31E-01 | 2,6E-02 | 6,0 |
| Th | 1,46E+01 | 3,55E+00 | 1,05E+01 | 4,2E+00 | 40 |
| U | 1,02E+01 | 2,46E+00 | 6,22E+00 | 2,9E+00 | 46 |

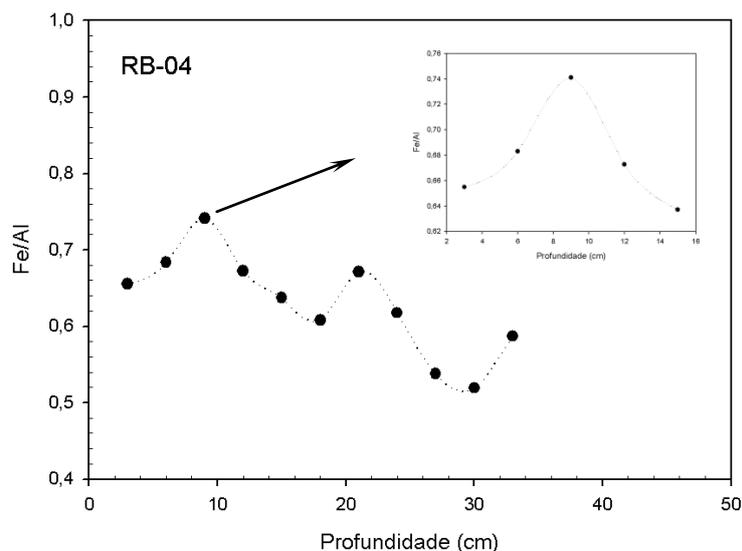


Figura 53 – Gráfico da razão das concentrações de Fe/Al como função da Profundidade do perfil de sedimento RB-04

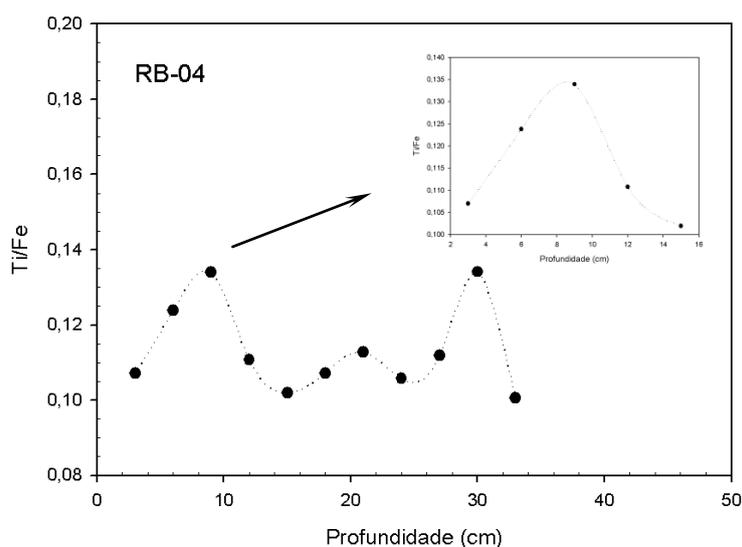


Figura 54 – Gráfico da razão das concentrações de Ti/Fe como função da Profundidade do perfil de sedimento RB-04

A flutuação da razão Fe/Al ao longo do perfil da baía da Ribeira é reduzida (Fig.53), sendo seu valor médio ($0,630 \pm 0,065$) próximo ao calculado para a crosta continental por WEDEPOHL, (1995), correspondente a 0,54. Tanto para a razão Fe/Al como para a Ti/Fe (Fig. 54), o ano de 1986 correspondeu aos valores máximos obtidos em uma profundidade de 9 cm na camada sedimentar, baseados em uma taxa média de acúmulo de sedimento de $0,30 \text{ cm. a}^{-1}$.

Neste caso, os resultados obtidos apresentam coerência com os efeitos previsíveis do deslizamento ocorrido em 27 de fevereiro de 1985 de uma grande massa de solo a partir das colinas frontais à enseada de Piraquara de Fora, destruindo um segmento de rodovia e o laboratório ambiental da CNAAA.

As amostras do perfil 4 foram enviadas para o *Marine Environmental Laboratory* (IAEA-Mônaco), sendo então submetidas à espectrometria gama para detecção dos radionuclídeos artificiais ^{137}Cs e ^{207}Bi (Figura 55). Em seguida, a partir dos valores obtidos, procedeu-se à validação dos resultados da datação realizada no presente trabalho.

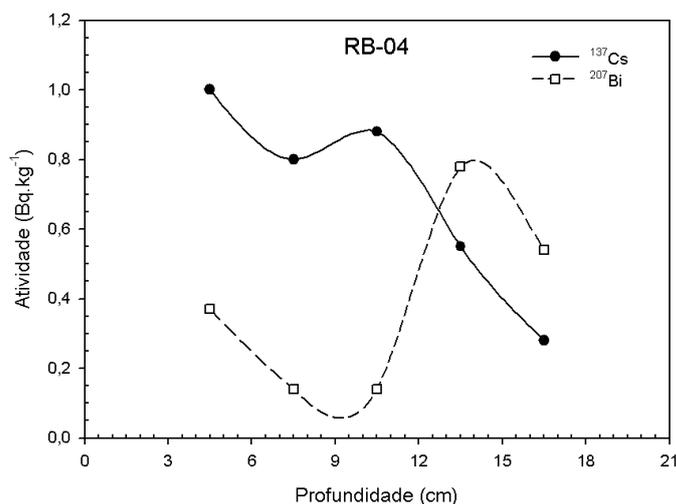


Figura 55 – Gráfico da Atividade de ^{137}Cs e ^{207}Bi como função da Profundidade do perfil de sedimento RB-04

Em relação ao ^{207}Bi , constatou-se que o pico inicial coincide com as explosões nucleares no Atlântico Sul, em 1958, decorrentes da chamada Operação Argus (CHUN, 2000), enquanto que o máximo relativo ao ^{137}Cs coincide com o ano de 1965, ápice das explosões nucleares na atmosfera (KIM *et al.*, 1997). Por outro lado, o incremento subsequente pode estar eventualmente relacionado às operações das Centrais Nucleares Almirante Álvaro Alberto (CNAAA).

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 – CONCLUSÕES

Dentro do objetivo deste trabalho, qual seja, determinar experimentalmente a variabilidade do trício no meio hídrico, considerando-se seu comportamento conservativo na massa d'água local e tomando sua atividade liberada na descarga de efluentes líquidos da CNAAA como parâmetro de referência para o mapeamento de seus índices de diluição, considera-se o grau relevante de concordância entre o resultado obtido (1:16) e o obtido e reportado por Franklin (1:20) como subsídio para a validação da técnica de modelagem, mais ainda quando não foi estabelecida neste trabalho uma relação entre as incertezas de ordem experimental – sujeitas a um estudo específico – e o desvio entre ambos os resultados. O que fica estabelecida aqui é a confiabilidade de um processo, sujeito ainda a otimizações, mas desde já provado consistente e confiável para inclusão em programas de avaliação sistemática desta grandeza a curto/médio prazo.

Algumas conclusões podem ser obtidas a partir da análise dos valores de taxa de sedimentação dos perfis coletados. Inicialmente, excluiu-se o perfil 6 o qual está comprovadamente mais sujeito às influências da descarga de efluentes, o que acarreta um incremento adicional não discriminável na taxa de sedimentação.

Portanto, levando-se em consideração os demais perfis e em função da faixa de variação das taxas de sedimentação na baía da Ribeira - $0,13 \text{ cm.a}^{-1}$ a $0,39 \text{ cm.a}^{-1}$ respectivamente na região mais interna e no ponto de entrada – conclui-se que a baía da Ilha Grande contribui majoritariamente para o aporte de sedimentos no decorrer dos períodos de maré alta.

Os processos de datação e determinação da variabilidade da atividade do ^{137}Cs foram limitados somente ao perfil 4, único a não apresentar camada de mistura. Neste ponto, foi constatada também a presença de ^{207}Bi em níveis de concentração suficientes para serem utilizados como subsídio adicional no processo de validação da datação, a partir da associação entre seu pico inicial e o ciclo de explosões nucleares no Atlântico Sul, em 1958, decorrentes da chamada Operação Argus. Por sua vez, o pico máximo do ^{137}Cs ocorre em 1965 e coincide com o ápice das explosões nucleares atmosféricas.

A ocorrência de um incremento na concentração do ^{137}Cs no período posterior a 1965 pode ser justificada por exclusão, a partir do fato de não se dispor de registros de eventos que pudessem ter contribuído para esta variação, a não ser o início das operações da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA). Conseqüentemente, torna-se, portanto, justificáveis tanto a associação entre este incremento e a atividade inicial na CNAAA, quanto a posterior conclusão de que o endereçamento preferencial dos radionuclídeos não conservativos é a Baía da Ribeira, a partir do deslocamento da pluma no decorrer de maré enchente e retenção destes radionuclídeos, em função das condições favoráveis de deposição local.

A avaliação da predominância de mecanismo na dispersão de radionuclídeos conservativos pela análise de isótopos de rádio de meia-vida longa demonstrou que o processo difusivo prevaleceu somente nas duas primeiras campanhas. Por outro lado, ficou evidenciada, por exclusão, a predominância da advecção na fase final da amostragem, a partir da constatação de que a difusão exercia uma influência menor no decorrer das fases subseqüentes da dispersão. De modo extensivo, o mecanismo de dispersão em ambos os casos é função dos parâmetros meteorológicos predominantes no decorrer do processo de coleta.

Ocorrendo predominância difusiva, as distribuições de ^{223}Ra e ^{224}Ra acarretam coeficientes de difusão na faixa de $20,12 \pm 3,81 - 21,07 \pm 3,91 \text{ km}^2.\text{d}^{-1}$, para um valor de fluxo *offshore* de ^{228}Ra de $3,18 \pm 1,01 \times 10^8 \text{ Bq}.\text{d}^{-1}$ e tempo de residência aproximado de $25,35 \pm 0,45$ dias. Alternativamente, foram constatados um intervalo de tempo de residência e níveis de fluxo *offshore* de ^{228}Ra de, respectivamente, $13,08 \pm 0,21$ dias e $2,26 \pm 0,424 \times 10^8 \text{ Bq}.\text{d}^{-1}$, em períodos de predominância do processo advectivo. Em concordância com a teoria, a razão entre os intervalos de tempo de residência corrobora o princípio de maior rapidez do mecanismo de dispersão do volume de efluente no processo advectivo.

Em função dos resultados obtidos, conclui-se que os níveis de aporte costeiro de rádio através dos eventos de descarga submarina de água subterrânea na Baía da Ilha Grande viabilizam a aplicação do rádio e de seus isótopos – bem como a sílica e o bário - como traçadores na determinação do mecanismo de dispersão de radionuclídeos conservativos, sendo também factível, conseqüentemente, sua aplicação como uma ferramenta de validação do modelo local de dispersão marinha.

5.2 – RECOMENDAÇÕES

Desenvolver uma malha de pontos de coleta visando o mapeamento do Saco de Piraquara de Fora, e, por extensão, um levantamento estatisticamente mais consistente do comportamento da pluma e da influência de suas heterogeneidades sobre a metodologia analítica.

Expandir o conjunto de perfis de testemunhos, de forma a minimizar a incerteza da medida de taxa de sedimentação do céσιο, tomando como principal condição de contorno o isolamento e dificuldade de acesso de indivíduos, uma vez que a intensificação antropogênica da ressurgência favorece à ocorrência de camadas de mistura.

Implementar um cronograma de amostragens periódicas, abrangendo as quatro estações de forma trimestral, visando o levantamento do nível de influência das alterações sazonais do perfil hidrodinâmico local sobre o processo analítico de determinação do rádio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AARKROG, A., DAHLGAARD, H., HOHN, E., HALLSTADIUS, L., 1984, "Evidence for Bismuth-207 in global fallout", *Journal of Environmental Radioactivity*, v. 1, n.2, pp. 107-117.
- ACPR, Advisory Committee on Radiological Protection and the Advisory Committee on Nuclear Safety, 1991, *Application of the ALARA Process in the Regulation of Nuclear Activities*, ACRP and ACNS, Canada.
- APPLEBY, P.G., OLDFIELD, F., 1992, "Application of lead-210 to sedimentation studies", In: Ivanovich, M., Harmon, R.S. (Eds.), *Uranium-series Disequilibrium – Application to Earth, Marine and Environmental Sciences*, 2th ed. Oxford Sciences Publications, pp. 731–778.
- ATSM, American Society for Testing and Materials, 1995, "Standard Test Method for Tritium in Drinking Water," In: Annual Book of ASTM Standards, *Water and Environmental Technology*, Section 11, Volume 11.02, 19th Ed., pp. 7-39 – 7-41.
- BARBOSA, A. A., 2001, *O Impacto Antropogênico sobre a Sedimentação em Regiões Costeiras: Um Exemplo no Saco do Bracuí - Baía da Ribeira, Angra dos Reis, Brasil*. Tese de D.Sc., Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- BOWEN, V.T., OLSEN, J.S., OSTERBERG, C.L., RAVERA, J., 1971, "Ecological interactions of marine radioactivity". In: National Academy of Sciences (ed.), *Radioactivity in the Marine Environment*, chapter 8, Washington, D.C, pp. 200-222.

- BRUGNARA, M., 1977, *Influência dos Sedimentos Marinhos na Distribuição dos Principais Radionuclídeos do Efluente da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (Unidade 1)*. Dissertação de M.Sc., Instituto de Biofísica, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- BURNETT, W.C., TANIGUCHI, M., OBERDORFER, J., 2001, "Measurement and significance of the direct discharge of groundwater into the coastal zone", ***Journal of Sea Research***, v. 46, n.2, pp. 109–116.
- BURTON, E.D., PHILLIPS, I.R., HAWKER, D.W., 2005, "Trace metal distribution and enrichment in benthic, estuarine sediments: Southport Broadwater, Australia", ***Environmental Geochemistry and Health***, v. 27, n. 5-6, pp. 369–383.
- CACCIA, V. G., MILLERO, F. J., 2007, "Distribution of yttrium and rare earths in Florida Bay sediments", ***Marine Chemistry***, v.104, n. 3-4, pp. 171–185.
- CARDOSO, A. G. A., 2000, *Distribuição de Metais em Sedimentos na Baía da Ribeira, Angra dos Reis - Rio de Janeiro – RJ*. Dissertação de M. Sc., Departamento de Geologia, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil.
- CASEY, W.H., 1985, Solute transport and models for sulfate reduction and radionuclide migration in marsh sediments, Ph.D. Thesis, Pennsylvania State University, Pennsylvania, USA.
- CHUN, C. K. S., 2000, "Shooting down a "star": Program 437, the US nuclear ASAT system and present-day copycat killers", In: Clayton K. S. Chun Air University Press, Maxwell Air Force Base, Ala.
- CNEN, Comissão de Energia Nuclear, 2005, ***Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica***, CNEN – Norma CNEN-NN-3.01, Brasil.
- CORREA, I. C. S., ELIAS, A. R. D., KETZER, J. M., MARTINS, R., 1994, "Sedimentação na Baía da Ribeira, litoral oeste do estado Rio de Janeiro", ***Academia Brasileira de Ciências***, v. 66, n. 1, pp. 45-57.

- CUNHA, T. S., 2005, *Cronologia da Deposição de Elementos-Traço nas Baías de Sepetiba e Ilha Grande*. Dissertação de M.Sc., Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- DIAS, G. T. M., PEREIRA, M. A. e DIAS, I. M., 1990. **Mapa geológico-geomorfológico da Baía da Ilha Grande e zona costeira adjacente, escala 1:80000**, LAGEMAR/ UFF, Brasil.
- DORNELLES, L. M. A., 1993, *Metais Pesados nos Sedimentos da Plataforma Continental entre Ilha Grande e Cabo Frio (RJ) e suas Associações com a Granulometria, Conteúdo de Carbonato de Cálcio e Matéria Orgânica*. Dissertação de M.Sc., Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- DUURSMA, E. K., HOEDE, C., 1967, "Theoretical, experimental and field studies concerning molecular diffusion of radioisotopes in sediments and suspended solid particles of the sea. Part A: Theories and Mathematical Calculations", **Journal of Sea Research**, V. 3, n. 3, pp. 423-457.
- FADLELMAWLA, A., AL-YAMANI, F., MUKHOPADHYAY, A., AL-SENAFY, M., AL-KHALID, A., BHANDARY, H., MARZOUK, F., "Submarine Groundwater Discharge in Kuwait", **Newsletter of the Isotope Hydrology Section**, n. 26, pp 16-18.
- FEMAR, Fundação de Estudos do Mar, "Estudo das enseadas de Itaorna, Mamede e Piraquara". In: *Hidrologia*, v. 2:, Rio de Janeiro.
- FERNANDES, H. M., 2003, "Liberações para o meio aquático". In: ROCHEDO, E. R. R. (Ed.), *Avaliação de Impacto radiológico ambiental*, 1st Ed., Rio de Janeiro, v.1, p. 51-62.

- FIGUEIREDO, L. H. M., 1999, *Investigação das Contribuições Orgânicas Antrópicas e Naturais em Sedimentos Costeiros utilizando-se Hidrocarbonetos Marcadores*. Tese de D.Sc., Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- FRANKLIN, M. R., 2001, *Estudo da Circulação Hidrodinâmica e do Transporte de Radionuclídeos na Baía da Ilha Grande – RJ*. Dissertação de M.Sc., Departamento de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- GIFFIN, C., KAUFMAN, A., BROECKER, W. S., 1963, “Delayed coincidence counter for the assay of actinon and thoron”, ***Journal of Geophysical Research***, v. 68, n. 6, pp. 1749-1757.
- GODOY, J. M., CARVALHO, Z. L., FERNANDES, F. C., DANELON, O. M., GODOY, M. L., FERREIRA, A. C., ROLDÃO, L. A., 2006, “²²⁸Ra and ²²⁶Ra in coastal seawater samples from the Ubatuba region - Brazilian southeastern coastal region”, ***Journal of the Brazilian Chemical Society***, v. 17, n. 4, pp. 730-736.
- GODOY, J. M., GODOY, M. L., CARVALHO, Z. L., 1994, “Development of a sequential method for the determination of U-238, U-234, Th-232, Th-230, Th-228, Ra-226, Ra-228, Pb-210 and Po-210 in environmental samples”, ***Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry***, v. 182, n. 1, pp. 165-169.
- GODOY, J. M., MOREIRA, I., WANDERLEY, C., SIMÕES FILHO, F. F., MOZETO, A. A., 1998, “An alternative method for the determination of excess ²¹⁰Pb in sediments”, ***Radiation Protection Dosimetry***, v. 75, n. 1–4, pp. 111–115.
- GODOY, M. L. D. P., GODOY, J. M., ROLDÃO, L. A., CONTI, L. F. C., 2004, “Application of multivariate statistical analysis to superficial soils around a coal burning power plant”, ***Journal of the Brazilian Chemical Society***, v. 15, pp. 122–130.

- GOMES, F. M. C., GODOY, J. M., GODOY, M. L. D. P., CARVALHO, Z. L., LOPES R. T., SANCHEZ-CABEZA, J. A., LACERDA, L. D., WASSERMAN, J. C., 2009, "Metal concentrations, fluxes, inventories and chronologies in sediments from Sepetiba and Ribeira Bays: A comparative study", *Marine Pollution Bulletin*, v. 59, n. 4-7, pp. 123-133.
- GUIMARÃES, J. R. D., 1982, *Acumulação por Algas Bentônicas de Radionuclídeos Críticos a Serem Lançados no Efluente Líquido da Central Nuclear de Angra dos Reis, Rio de Janeiro*. Tese de M.Sc., Instituto de Biofísica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- HEFT, R. E., PHILLIPS, W. A., RALSTON, H. R., STEELE, W. A., 1973, "Radionuclides transport studies in the Humboldt Bay marine environment". *In: Proceedings of the Conference on Radioactive Contamination of the Marine Environment*, pp. 595-614, Seattle, IAEA, Vienna, Jul.
- HERMANSON, M. H., 1990, "210Pb and 137Cs chronology of sediments from small, shallow Arctic lakes", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 54, n. 5, pp. 1443-1451.
- IAEA, International Atomic Energy Agency, 1975, *Objectives and Design of Environmental Monitoring Programmes for Radioactive Contaminants*, Safety Series – 41, IAEA, Vienna.
- IAEA, International Atomic Energy Agency, 1985, *Behaviour of radionuclides released into coastal waters*, IAEA – Technical Document Series – TECDOC – 329, Vienna, 183p.
- IAEA, International Atomic Energy Agency, 1997, *Nuclear Power Reactors in the World*, IAEA – Technical Report, Vienna, 86p.

- IAEA, International Atomic Energy Agency, 1999, ***Inventory of radioactive waste disposals at sea***, IAEA – Technical Document Series – TECDOC – 1105, Vienna, 121p.
- IKEDA, Y., STEVENSON, M. R., 1980, “Determination of Circulation and Short Period Fluctuation in Ilha Grande Bay (RJ), Brazil”, ***Boletim do Instituto Oceanográfico da USP***, São Paulo, v. 29, n. 1, pp. 89-98.
- IP, C. C. M., LI, X. D., ZHANG, G., FARMER, J. G., WAI, O. W. H., LI, Y. S., 2004, “Over one hundred years of trace metal fluxes in the sediments of the Pearl River estuary, South China”, ***Environmental Pollution***, v. 132, n. 1, pp. 157–172.
- JOHANNES, R. E., 1980, “The ecological significance of the submarine discharge of groundwater”, ***Marine Ecology Progress Series***, v. 3, pp. 365–373.
- JOSEPH, A. B., GUSTAFSON, P. F., RUSSELL, I. R., *et al.*, 1971, “Sources of radioactivity and their characteristics”. In: National Research Council (ed.), ***Radioactivity in the Marine Environment***, chapter 2, Washington, D.C., National Academy of Sciences.
- JOSHI, S. R., MCNEELY, R., 1988, “Detection of fallout ^{155}Eu and ^{207}Bi in a ^{210}Pb dated lake sediment core”, ***Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry***, v. 122, n. 1, pp. 183-191.
- KEY, R. M., STALLARD, R. F., MOORE, M. S., SARMIENTO, J. X., 1985, “Distribution and flux of a and Ra in the Amazon River Estuary”, ***Journal of Geophysical Research***, vol. 90, pp. 6995-7004.
- KIM, G., HUSSAIN, N., CHURCH, T. M., CAREY, W. L., 1997, “The fallout isotope ^{207}Bi in a Delaware salt marsh: a comparison with ^{210}Pb and ^{137}Cs as a geochronological tool”, ***The Science of the Total Environment***, v. 196, n. 1-9, pp. 31-41.

- KOIDE, M., BRULAND, K. W., GOLDBERG, E. D., 1973, "Th-228/Th-232 and Pb-210 geochronologies in marine and lakes sediments", ***Geochimica et Cosmochimica Acta***, v. 37, n. 5, pp. 1171-1187.
- KRISHNASWAMY, S., LAL, D., MARTIN, J. M., MEYBECK, M., 1971, "Geochronology of lake sediments", ***Earth and Planetary Science Letters***, v. 11, n. 1-5, pp. 407–414.
- LI, L., BARRY, D. A., STAGNITTI, F., PARLANGE, J. U., 1999, "Submarine groundwater discharge and associated chemical input into a coastal sea", ***Water Resources Research***, v. 35, pp. 3253–3259.
- LI, Y. H., MATHIEU, G., BISCAYE, P., SIMPSON, H. J., 1977, "The flux of ²²⁶Ra from estuarine and continental shelf sediments", ***Earth and Planetary Science Letters***, v. 37, n. 2, pp. 237-241.
- LIMA, M. F., 1992, *Determinação dos Coeficientes de Distribuição para os Radionuclídeos Cs-137, Co-60 e Th-234 no Sedimento do Rio Pinheiros*. Dissertação de M.Sc., Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear, São Paulo, SP, Brasil.
- LOWMAN, F. G., RICE, T. R. and RICHARDS, F. A., 1971, "Accumulation and redistribution of radionuclides by marine organisms". In: National Academy of Sciences (ed.), *Radioactivity in the Marine Environment*, pp. 161-199 chapter 7, Washington, D.C.
- MAHIQUES, M. M., 1987, *Considerações sobre os Sedimentos de Superfície de Fundo da Baía da Ilha Grande (Estado do Rio de Janeiro)*. Dissertação de M.Sc., Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

- MIRANDA, L. B., IKEDA, Y., CASTRO, B. M., FO, N. P., 1977, "Note on the Occurrence of Saline Fronts in the Ilha Grande Region (RJ)", **Boletim do Instituto Oceanográfico**, São Paulo, v. 26, n. 1, pp. 249-256.
- MOORE, W. S., 1976, "Sampling ^{228}Ra in the deep ocean", **Deep-Sea Research and Oceanographic Abstracts**, v. 23, n. 7, pp. 647-651.
- MOORE, W. S., 1996, "Large groundwater inputs to coastal waters revealed by ^{226}Ra enrichments", **Nature**, v. 380, pp. 612 – 614.
- MOORE, W. S., 1999, "The subterranean estuary: a reaction zone of groundwater and sea water", **Marine Chemistry**, v. 65, n. 1-2, pp. 111-126.
- MOORE, W. S., 2000, "Determining coastal mixing rates using radium isotopes", **Continental Shelf Research**, v. 20, n. 15, pp. 1993-2007.
- MOORE, W. S., ARNOLD, R., 1996, "Measurement of ^{223}Ra and ^{224}Ra in coastal waters using a delayed coincidence counter", **Journal of Geophysical Research**, v. 101 (C1), pp. 1321-1329.
- MOORE, W. S., OLIVEIRA, J., 2007, "Determination of residence time and mixing processes of the Ubatuba, Brazil, inner shelf waters using natural Ra isotopes", **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 76, n. 3, pp. 512-521.
- MUEHE, D., VALENTINI, E., 1998, **O litoral do Rio de Janeiro**, FEMAR, Brasil, 106p.
- NAGAYA, Y., NAKAMURA, K., 1975, "Transport and accumulation of radiocobalt in the marine sediment of Urazoko Bay". In: *Proceedings of the Conference on Impacts of Nuclear Releases into the Aquatic Environment*, pp 313-329, Ontaniemi, IAEA, Vienna, Jul.
- NOSHKIN, V. E., ROBISON, W. L., BRUNK, J. A., JOKELA, T. A., 2001, "An evaluation of activated bismuth isotopes in environmental samples from the former Western Pacific proving ground", **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 248, n. 3, pp. 741-750.

- PATEL, B., 1975, "Field and Laboratory Comparability of Radioecological Studies". *In: Design of Radiotracer experiments in Marine Biological Systems*, Technical Reports Series , n. 167, IAEA, IAEA, Vienna, , pp. 211-239.
- PAULA, F. C. F., 1999, *Biogeoquímica de Elementos-Traço em Sedimentos de uma Bacia de Drenagem (Rio Capivari) numa Área Não-Impactada (Ilha Grande, RJ) da Costa Sudeste Brasileira*. Tese de D.Sc., Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil.
- PERES, S. S., MARTINS, N. S. F., 2005, "Aspectos da Radioproteção Ambiental Aplicados ao Controle da Liberação de Efluentes Radioativos da Usina Nuclear de Angra 2". *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, v.7, n. 1, pp. 107-112.
- PORCELLI, D., SWARZENSKI, P. W., 2003, "The behaviour of U and Th series nuclides in groundwater and the tracing of groundwater", *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, v. 52, pp. 317–361.
- PRASAD, M. B. K., RAMANATHAN, A. L., 2008, "Distribution of rare earth elements in the Pichavaram mangrove sediments of the southeast coast of India", *Journal of Coastal Research*, v. 24, pp. 126–134.
- RAMA, MOORE, W. S., 1996, "Using the radium quartet for evaluating groundwater input and water exchange in salt marshes". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 60, n. 23, pp. 4645–4652.
- RAMESH, R., RAMANATHAN, A.L., ARTHUR JAMES, R., SUBRAMANIAN, V., JACOBSEN, S.B., HOLLAND, H.D., 1999, "Rare earth elements and heavy metal distribution in estuarine sediments of east coast of India", *Hydrobiologia*, v. 397, pp. 89–99.

- RANGARAJAN, C., MADHAVAN, R., GOPALAKRISHNAN, S., 1986, "Spatial and temporal distribution of lead-210 in the surface layers of the atmosphere", ***Journal of Environmental Radioactivity***, v. 3, pp. 23-33.
- ROBBINS, J. A., EUGINGTON, D. N., 1975, "Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using lead-210 and cesium-137". ***Geochimica et Cosmochimica Acta*** **39**, v. 39, n. 3, pp. 285–304.
- SANTSCHI, P. H., HONEYMAN, B. D., 1989, "Radionuclides in aquatic environments", ***International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part C. Radiation Physics and Chemistry***, v. 34, n. 2, pp. 213-240.
- SCHAEFFER, R., 1975, "Consequences du déplacement des sédiments sur la dispersion des radionucléides". In: *Proceedings of the Conference on Impacts of Nuclear Releases into the Aquatic Environment*, Ontaniemi, IAEA, Vienna, pp 263-276.
- SHELL, W. R., LOWMAN, F. G., MARSHALL, R. P., 1980, "Geochemistry of transuranic elements at Bikini Atoll". In: *Transuranic Elements in the Environment*, W.E. Hanson (Ed.), U.S. Dept. of Energy, Oak Ridge, TN, pp. 541-577.
- SIGNORINI, S. R., 1980, "A study of circulation in Bay of Ilha Grande and Bay of Sepetiba - Part I. A survey of the circulation based on experimental field data", ***Boletim do Instituto Oceanográfico***, São Paulo, 29 (1), pp. 41-55.
- SILVA FILHO, E. V., 1997, *Geoquímica da Deposição Atmosférica no Litoral do Estado do Rio de Janeiro*. Tese de D.Sc., Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SILVA, A. L. F., 2002, *Aportes Atmosféricos de Chumbo e Zinco através do Estudo de Testemunhos em Brejos Remotos da Ilha Grande, Rio de Janeiro*. Dissertação de M.Sc., Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

- SOUSA, K. C. P. M., 2007, *Estudo dos Fluxos Fluviais de Isótopos Naturais de Rádio e Bário Dissolvido para as Enseadas de Ubatuba, Litoral Norte do Estado de São Paulo*. Dissertação de M.Sc., Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares / Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- TAM, N. F. Y., YAO, M. W. Y., 1998, "Normalisation and heavy metal contamination in mangrove sediments", ***Science of the Total Environment***, v. 216, n. 1-2, pp. 33–39.
- TUREKIAN, K. K., NOZAKI, Y., BENNINGER, L. K., 1977, "Geochemistry of atmospheric radon and radon products", ***Annual Reviews Earth Planetary Science***, v. 5 , pp. 227-255.
- UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1982, ***Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects***, UNSCEAR, 773p.
- VILLENA, H. H., 1999, *Caracterização do Processo de Assoreamento na Enseada da Japuíba - Angra dos Reis - RJ*. Dissertação de M.Sc., Departamento de Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- WEDEPOHL, K. H., 1995, "The composition of the continental crust", ***Geochimica et Cosmochimica Acta***, v. 59, n. 7, pp. 1217–1232.
- WHICKER, F.W., SCHULTZ, V., 1982, ***Radioecology: Nuclear Energy and the environment***, V.2, Boca Raton.

ANEXOS

Tabela 17 – Dados relativos à coleta de Água da Descarga para análise de ^3H realizada em Dez/2006

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR LOCAL: PRAIA - BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA DA DESCARGA ANÁLISE: ^3H |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|--|
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 21/12/06 | 12:15 | H-05 | 2,50 | 23° 00. 129 ' | 44° 25.492 ' | Vol.= 500 ml |
| 21/12/06 | 12:20 | H-04 | 2,01 | 23° 00. 259 ' | 44° 25.747 ' | Vol.= 500 ml |
| 21/12/06 | 12:25 | H-03 | 1,51 | 23° 00. 398 ' | 44° 25.998 ' | Vol.= 500 ml |
| 21/12/06 | 12:30 | H-02 | 1,01 | 23° 00. 515 ' | 44° 26.262 ' | Vol.= 500 ml |
| 21/12/06 | 12:35 | H-01 | 0,51 | 23° 00. 633 ' | 44° 26.523 ' | Vol.= 500 ml |
| 21/12/06 | 12:40 | H-00 | 0,15 | 23° 00. 738 ' | 44° 26.714 ' | Vol.= 500 ml |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Tabela 18 – Dados relativos à coleta de Água da Descarga para análise de ^3H realizada em Jan/2008

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR LOCAL: PRAIA - BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA DA DESCARGA ANÁLISE: ^3H |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|--|
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 24/01/08 | 10:20 | H-00 | 0,00 | 23° 00. 705 ' | 44° 26.791 ' | Vol.= 500 ml |
| 24/01/08 | 10:23 | H-01 | 0,250 | 23° 00. 712 ' | 44° 26.655 ' | Vol.= 500 ml |
| 24/01/08 | 10:27 | H-02 | 0,500 | 23° 00. 699 ' | 44° 26.508 ' | Vol.= 500 ml |
| 24/01/08 | 10:29 | H-03 | 0,750 | 23° 00. 680 ' | 44° 26.365 ' | Vol.= 500 ml |
| 24/01/08 | 10:31 | H-04 | 1,000 | 23° 00. 669 ' | 44° 26.219 ' | Vol.= 500 ml |
| 24/01/08 | 10:34 | H-05 | 1,250 | 23° 00. 656 ' | 44° 26.073 ' | Vol.= 500 ml |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Tabela 19 – Dados relativos à coleta de Água da Descarga para análise de ^3H realizada em Out/2008

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR LOCAL: PRAIA - BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA DA DESCARGA ANÁLISE: ^3H |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|--|
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 24/01/08 | 10:20 | H-00 | 0,00 | 23° 00. 705 ' | 44° 26.791 ' | Vol.= 500 ml |
| 24/01/08 | 10:23 | H-01 | 0,250 | 23° 00. 705 | 44° 26.645 ' | Vol.= 500 ml |
| 24/01/08 | 10:27 | H-02 | 0,500 | 23° 00. 705 | 44° 26.500 ' | Vol.= 500 ml |
| 24/01/08 | 10:29 | H-03 | 0,750 | 23° 00. 705 | 44° 26.381 ' | Vol.= 500 ml |
| 24/01/08 | 10:31 | H-04 | 1,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.205 ' | Vol.= 500 ml |
| 24/01/08 | 10:34 | H-05 | 1,250 | 23° 00. 705 | 44° 26.060 ' | Vol.= 500 ml |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Tabela 20 – Dados relativos à coleta de Água da Descarga (boca) para análise de ^3H realizada em Out/2009

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR |
|--|-------|---------|----------------|-------------|--------------|---|
| | | | | | | LOCAL: PRAIA - BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA DA DESCARGA ANÁLISE: ^3H |
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 09/10/09 | 10:00 | H-3.A | 0,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.381 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:10 | H-3.B | 0,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.500 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:20 | H-3.C | 0,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.645 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:30 | H-3.D | 0,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.500 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:40 | H-3.E | 0,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.381 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:50 | H-3.F | 0,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.205 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 11:00 | H-3.G | 0,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.060 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 11:10 | H-3.H | 0,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.060 ' | Vol.= 500 ml |
| | | | | | | |

Tabela 21 – Dados relativos à coleta de Água da Descarga para análise de ^3H realizada em Out/2009

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR LOCAL: PRAIA - BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA DA DESCARGA ANÁLISE: ^3H |
|--|-------|---------|----------------|-------------|--------------|--|
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 09/10/09 | 10:00 | H-3.1 | 0,250 | 23° 00. 705 | 44° 26.645 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:02 | H-3.2 | 0,500 | 23° 00. 705 | 44° 26.500 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:05 | H-3.3 | 0,700 | 23° 00. 705 | 44° 26.381 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:07 | H-3.4 | 1,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.205 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:10 | H-3.5 | 1,250 | 23° 00. 705 | 44° 26.060 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:12 | H-3.6 | 1,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.205 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:14 | H-3.7 | 0,700 | 23° 00. 705 | 44° 26.381 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:16 | H-3.8 | 0,500 | 23° 00. 705 | 44° 26.500 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:18 | H-3.9 | 0,250 | 23° 00. 705 | 44° 26.645 ' | Vol.= 500 ml |

| | | | | | | |
|----------|-------|--------|-------|-------------|--------------|--------------|
| 09/10/09 | 10:19 | H-3.10 | 0,500 | 23° 00. 705 | 44° 26.500 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:21 | H-3.11 | 0,700 | 23° 00. 705 | 44° 26.381 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:22 | H-3.12 | 1,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.205 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:24 | H-3.13 | 1,250 | 23° 00. 705 | 44° 26.060 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:26 | H-3.14 | 1,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.205 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:29 | H-3.15 | 0,700 | 23° 00. 705 | 44° 26.381 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:30 | H-3.16 | 0,500 | 23° 00. 705 | 44° 26.500 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:32 | H-3.17 | 0,250 | 23° 00. 705 | 44° 26.645 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:34 | H-3.18 | 0,500 | 23° 00. 705 | 44° 26.500 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:36 | H-3.19 | 0,700 | 23° 00. 705 | 44° 26.381 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:37 | H-3.20 | 1,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.205 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:39 | H-3.21 | 1,250 | 23° 00. 705 | 44° 26.060 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:41 | H-3.22 | 1,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.205 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:42 | H-3.23 | 0,700 | 23° 00. 705 | 44° 26.381 ' | Vol.= 500 ml |

| | | | | | | |
|----------|-------|--------|-------|-------------|--------------|--------------|
| 09/10/09 | 10:44 | H-3.24 | 0,500 | 23° 00. 705 | 44° 26.500 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:47 | H-3.25 | 0,250 | 23° 00. 705 | 44° 26.645 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:48 | H-3.26 | 0,500 | 23° 00. 705 | 44° 26.500 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:50 | H-3.27 | 0,700 | 23° 00. 705 | 44° 26.381 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:52 | H-3.28 | 1,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.205 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:54 | H-3.29 | 1,250 | 23° 00. 705 | 44° 26.060 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:56 | H-3.30 | 1,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.205 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:58 | H-3.31 | 0,700 | 23° 00. 705 | 44° 26.381 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 10:59 | H-3.32 | 0,500 | 23° 00. 705 | 44° 26.500 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 11:00 | H-3.33 | 0,250 | 23° 00. 705 | 44° 26.645 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 11:05 | H-3.34 | 0,500 | 23° 00. 705 | 44° 26.500 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 11:07 | H-3.35 | 0,700 | 23° 00. 705 | 44° 26.381 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 11:08 | H-3.36 | 1,000 | 23° 00. 705 | 44° 26.205 ' | Vol.= 500 ml |
| 09/10/09 | 11:10 | H-3.37 | 1,250 | 23° 00. 705 | 44° 26.060 ' | Vol.= 500 ml |

Tabela 22 – Dados relativos à coleta (1) de Água Superficial para análise de ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra realizada em Dez/2006

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE radioproteção e DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR LOCAL: BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUPERFICIAL ANÁLISE: ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|---|
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 19/12/06 | 9:30 | IG 1-1 | 0,50 | 23° 00. 890 ' | 44° 27.837 ' | Vol.= 110L |
| 19/12/06 | 9:45 | IG 1-2 | 1,00 | 23° 01. 144 ' | 44° 27.944 ' | Vol.= 110L |
| 19/12/06 | 10:00 | IG 1-3 | 3,07 | 23° 02. 277 ' | 44° 27.800 ' | Vol.= 110L |
| 19/12/06 | 10:30 | IG 1-4 | 5,84 | 23° 03. 747 ' | 44° 27.463 ' | Vol.= 243L |
| 19/12/06 | 11:00 | IG 1-5 | 11,20 | 23° 06. 537 ' | 44° 26.610 ' | Vol.= 220L |
| 19/12/06 | 11:30 | IG 1-6 | 16,20 | 23° 09. 289 ' | 44° 26.848 ' | Vol.= 245L |
| 19/12/06 | 12:00 | IG 1-7 | 21,00 | 23° 11. 923 ' | 44° 26.598 ' | Vol.= 225L |
| 19/12/06 | 12:30 | IG 1-8 | 26,10 | 23° 14. 674 ' | 44° 26.139 ' | Vol.= 220L |
| | | | | | | |

Tabela 23 – Dados relativos à coleta (2) de Água Superficial para análise de ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra realizada em Dez/2006

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE radioproteção e DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR LOCAL: BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUPERFICIAL ANÁLISE: ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|---|
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 20/12/06 | 8:00 | IG2-1 | 0,50 | 23° 00. 890 ' | 44° 27.837 ' | Vol.= 110L |
| 20/12/06 | 8:15 | IG2-2 | 1,00 | 23° 01. 144 ' | 44° 27.944 ' | Vol.= 110L |
| 20/12/06 | 8:30 | IG2-3 | 3,07 | 23° 02. 277 ' | 44° 27.800 ' | Vol.= 110L |
| 20/12/06 | 9:00 | IG2-4 | 5,84 | 23° 03. 747 ' | 44° 27.463 ' | Vol.= 220L |
| 20/12/06 | 9:30 | IG2-5 | 11,20 | 23° 06. 537 ' | 44° 26.610 ' | Vol.= 225L |
| 20/12/06 | 10:00 | IG2-6 | 16,20 | 23° 09. 289 ' | 44° 26.848 ' | Vol.= 245L |
| 20/12/06 | 10:30 | IG2-7 | 21,00 | 23° 11. 923 ' | 44° 26.598 ' | Vol.= 245L |
| 20/12/06 | 11:00 | IG2-8 | 26,10 | 23° 14. 674 ' | 44° 26.139 ' | Vol.= 220L |
| | | | | | | |

Tabela 25 – Dados relativos à coleta (2) de Água Superficial para análise de ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra realizada em Dez/2007

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR LOCAL: BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUPERFICIAL ANÁLISE: ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|---|
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 19/12/07 | 8:34 | IG2-1 | 0,50 | 23° 00. 874 ' | 44° 27.712 ' | Vol.= 100L |
| 19/12/07 | 8:50 | IG2-2 | 1,00 | 23° 01. 114 ' | 44° 27.842 ' | Vol.= 100L |
| 19/12/07 | 9:09 | IG2-3 | 3,01 | 23° 02. 202 ' | 44° 27.444 ' | Vol.= 100L |
| 19/12/07 | 9:48 | IG2-4 | 9,02 | 23° 05. 843 ' | 44° 26.843 ' | Vol.= 200L |
| 19/12/07 | 10:22 | IG2-5 | 13,90 | 23° 07. 993 ' | 44° 26.399 ' | Vol.= 200L |
| 19/12/07 | 11:05 | IG2-6 | 19,30 | 23° 10. 843 ' | 44° 25.986 ' | Vol.= 200L |
| 19/12/07 | 11:39 | IG2-7 | 24,50 | 23° 13. 671 ' | 44° 25.205 ' | Vol.= 200L |
| 19/12/07 | 12:30 | IG2-8 | 29,80 | 23° 16. 387 ' | 44° 24.116 ' | Vol.= 200L |
| | | | | | | |

Tabela 26 – Dados relativos à coleta (1) de Água Superficial para análise de ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra realizada em Jan/2008

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR LOCAL: BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUPERFICIAL ANÁLISE: ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|---|
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 22/01/08 | 09:27 | IG 1-1 | 0,50 | 23° 00. 897 ' | 44° 27.679 ' | Vol.= 100L |
| 22/01/08 | 09:41 | IG 1-2 | 1,51 | 23° 01. 433 ' | 44° 27.562 ' | Vol.= 100L |
| 22/01/08 | 09:58 | IG 1-3 | 3,51 | 23° 02. 458 ' | 44° 27.187 ' | Vol.= 100L |
| 22/01/08 | 10:22 | IG 1-4 | 6,53 | 23° 04. 020 ' | 44° 26.704 ' | Vol.= 100L |
| 22/01/08 | 10:45 | IG 1-5 | 9,55 | 23° 05. 577 ' | 44° 26.188 ' | Vol.= 200L |
| 22/01/08 | 11:53 | IG 1-6 | 14,60 | 23° 08. 241 ' | 44° 25.519 ' | Vol.= 200L |
| 22/01/08 | 12:54 | IG 1-7 | 19,50 | 23° 10. 722 ' | 44° 24.416 ' | Vol.= 200L |
| 22/01/08 | 13:48 | IG 1-8 | 24,50 | 23° 13. 035 ' | 44° 22.705 ' | Vol.= 200L |
| 22/01/08 | 14:26 | IG 1-9 | 29,50 | 23° 15. 580 ' | 44° 21.657 ' | Vol.= 200L |

Tabela 27 – Dados relativos à coleta (2) de Água Superficial para análise de ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra realizada em Jan/2008

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR LOCAL: BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUPERFICIAL ANÁLISE: ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|---|
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 23/01/08 | 08:32 | IG2-1 | 0,50 | 23° 00. 897 ' | 44° 27.679 ' | Vol.= 100L |
| 23/01/08 | 08:43 | IG2-2 | 1,51 | 23° 01. 433 ' | 44° 27.562 ' | Vol.= 100L |
| 23/01/08 | 08:56 | IG2-3 | 3,51 | 23° 02. 458 ' | 44° 27.187 ' | Vol.= 100L |
| 23/01/08 | 09:12 | IG2-4 | 6,53 | 23° 04. 020 ' | 44° 26.704 ' | Vol.= 100L |
| 23/01/08 | 09:31 | IG2-5 | 9,55 | 23° 05. 577 ' | 44° 26.188 ' | Vol.= 200L |
| 23/01/08 | 10:06 | IG2-6 | 14,60 | 23° 08. 241 ' | 44° 25.519 ' | Vol.= 200L |
| 23/01/08 | 10:44 | IG2-7 | 19,50 | 23° 10. 722 ' | 44° 24.416 ' | Vol.= 200L |
| 23/01/08 | 11:27 | IG2-8 | 24,50 | 23° 13. 035 ' | 44° 22.705 ' | Vol.= 200L |
| | | | | | | |

Tabela 28 – Dados relativos à coleta (1) de Água Superficial para análise de ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra realizada em Out/2008

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR LOCAL: BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUPERFICIAL ANÁLISE: ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra |
|--|-------|---------|----------------|---------------|---------------|---|
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 08/10/08 | 10:05 | MAM 1-1 | 1,00 | 23° 02. 281 ' | 44° 32. 069 ' | Vol.= 100L |
| 08/10/08 | 10:21 | MAM 1-2 | 3,00 | 23° 03. 266 ' | 44° 31. 593 ' | Vol.= 100L |
| 08/10/08 | 10:50 | MAM 1-3 | 6,00 | 23° 04. 744 ' | 44° 30. 880 ' | Vol.= 100L |
| 08/10/08 | 11:20 | MAM 1-4 | 10,00 | 23° 06. 715 ' | 44° 29. 929 ' | Vol.= 100L |
| 08/10/08 | 11:45 | MAM 1-5 | 15,00 | 23° 09. 177 ' | 44° 28. 738 ' | Vol.= 200L |
| 08/10/08 | 12:31 | MAM 1-6 | 20,00 | 23° 11. 681 ' | 44° 27. 527 ' | Vol.= 200L |
| 08/10/08 | 13:40 | MAM 1-7 | 25,00 | 23° 14. 154 ' | 44° 26. 331 ' | Vol.= 200L |
| 08/10/08 | - | MAM 1-8 | 30,00 | 23° 16. 668 ' | 44° 25. 178 ' | Vol.= 200L |
| | | | | | | |

Tabela 29 – Dados relativos à coleta (1) de Água Superficial para análise de Ba / Si / Salinidade realizada em Dez/2006

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR |
|--|-------------|----------------|-----------------------|-----------------|------------------|--|
| | | | | | | LOCAL: BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUPERFICIAL ANÁLISE: Ba / Si / Salinidade |
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 19/12/06 | 9:30 | IG 1-1 | 0,50 | 23° 00. 890 ' | 44° 27.837 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/06 | 9:45 | IG 1-2 | 1,00 | 23° 01. 144 ' | 44° 27.944 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/06 | 10:00 | IG 1-3 | 3,07 | 23° 02. 277 ' | 44° 27.800 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/06 | 10:30 | IG 1-4 | 5,84 | 23° 03. 747 ' | 44° 27.463 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/06 | 11:00 | IG 1-5 | 11,20 | 23° 06. 537 ' | 44° 26.610 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/06 | 11:30 | IG 1-6 | 16,20 | 23° 09. 289 ' | 44° 26.848 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/06 | 12:00 | IG 1-7 | 21,00 | 23° 11. 923 ' | 44° 26.598 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/06 | 12:30 | IG 1-8 | 26,10 | 23° 14. 674 ' | 44° 26.139 ' | Vol.= 50 ml |
| | | | | | | |

Tabela 30 – Dados relativos à coleta (2) de Água Superficial para análise de Ba / Si / Salinidade realizada em Dez/2006

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|---|
| | | | | | | LOCAL: BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUPERFICIAL ANÁLISE: Ba / Si / Salinidade |
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 20/12/06 | 8:00 | IG2-1 | 0,50 | 23° 00. 890 ' | 44° 27.837 ' | Vol.= 50 ml |
| 20/12/06 | 8:15 | IG2-2 | 1,00 | 23° 01. 144 ' | 44° 27.944 ' | Vol.= 50 ml |
| 20/12/06 | 8:30 | IG2-3 | 3,07 | 23° 02. 277 ' | 44° 27.800 ' | Vol.= 50 ml |
| 20/12/06 | 9:00 | IG2-4 | 5,84 | 23° 03. 747 ' | 44° 27.463 ' | Vol.= 50 ml |
| 20/12/06 | 9:30 | IG2-5 | 11,20 | 23° 06. 537 ' | 44° 26.610 ' | Vol.= 50 ml |
| 20/12/06 | 10:00 | IG2-6 | 16,20 | 23° 09. 289 ' | 44° 26.848 ' | Vol.= 50 ml |
| 20/12/06 | 10:30 | IG2-7 | 21,00 | 23° 11. 923 ' | 44° 26.598 ' | Vol.= 50 ml |
| 20/12/06 | 11:00 | IG2-8 | 26,10 | 23° 14. 674 ' | 44° 26.139 ' | Vol.= 50 ml |
| | | | | | | |

Tabela 31 – Dados relativos à coleta (1) de Água Superficial para análise de Ba / Si / Salinidade realizada em Dez/2007

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|---|
| | | | | | | LOCAL: PRAIA BRAVA TIPO: ÁGUA SUPERFICIAL ANÁLISE: Ba / Si / Salinidade |
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 18/12/07 | 11:50 | IG 1-1 | 0,50 | 23° 00. 874 ' | 44° 27.712 ' | Vol.= 50 ml |
| 18/12/07 | 12:02 | IG 1-2 | 1,00 | 23° 01. 114 ' | 44° 27.842 ' | Vol.= 50 ml |
| 18/12/07 | 12:20 | IG 1-3 | 3,01 | 23° 02. 202 ' | 44° 27.444 ' | Vol.= 50 ml |
| 18/12/07 | 12:58 | IG 1-4 | 9,02 | 23° 05. 843 ' | 44° 26.843 ' | Vol.= 50 ml |
| 18/12/07 | 13:40 | IG 1-5 | 13,90 | 23° 07. 993 ' | 44° 26.399 ' | Vol.= 50 ml |
| 18/12/07 | 14:28 | IG 1-6 | 19,30 | 23° 10. 843 ' | 44° 25.986 ' | Vol.= 50 ml |
| 18/12/07 | 15:15 | IG 1-7 | 24,50 | 23° 13. 671 ' | 44° 25.205 ' | Vol.= 50 ml |
| 18/12/07 | 15:51 | IG 1-8 | 29,80 | 23° 16. 387 ' | 44° 24.116 ' | Vol.= 50 ml |
| | | | | | | |

Tabela 32 - Dados relativos à coleta (2) de Água Superficial para análise de Ba / Si / Salinidade realizada em Dez/2007

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|--|
| | | | | | | LOCAL: PRAIA BRAVA TIPO: ÁGUA SUPERFICIAL ANÁLISE: Ba / Si / Salinidade |
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 19/12/07 | 8:34 | IG2-1 | 0,50 | 23° 00. 874 ' | 44° 27.712 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/07 | 8:50 | IG2-2 | 1,00 | 23° 01. 114 ' | 44° 27.842 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/07 | 9:09 | IG2-3 | 3,01 | 23° 02. 202 ' | 44° 27.444 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/07 | 9:48 | IG2-4 | 9,02 | 23° 05. 843 ' | 44° 26.843 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/07 | 10:22 | IG2-5 | 13,90 | 23° 07. 993 ' | 44° 26.399 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/07 | 11:05 | IG2-6 | 19,30 | 23° 10. 843 ' | 44° 25.986 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/07 | 11:39 | IG2-7 | 24,50 | 23° 13. 671 ' | 44° 25.205 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/07 | 12:30 | IG2-8 | 29,80 | 23° 16. 387 ' | 44° 24.116 ' | Vol.= 50 ml |
| | | | | | | |

Tabela 33 – Dados relativos à coleta (1) de Água Superficial para análise de Ba / Si / Salinidade realizada em Jan/2008

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|--|
| | | | | | | LOCAL: BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUPERFICIAL ANÁLISE: Ba / Si / Salinidade |
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 22/01/08 | 09:27 | IG 1-1 | 0,50 | 23° 00. 897 ' | 44° 27.679 ' | Vol.= 50 ml |
| 22/01/08 | 09:41 | IG 1-2 | 1,51 | 23° 01. 433 ' | 44° 27.562 ' | Vol.= 50 ml |
| 22/01/08 | 09:58 | IG 1-3 | 3,51 | 23° 02. 458 ' | 44° 27.187 ' | Vol.= 50 ml |
| 22/01/08 | 10:22 | IG 1-4 | 6,53 | 23° 04. 020 ' | 44° 26.704 ' | Vol.= 50 ml |
| 22/01/08 | 10:45 | IG 1-5 | 9,55 | 23° 05. 577 ' | 44° 26.188 ' | Vol.= 50 ml |
| 22/01/08 | 11:53 | IG 1-6 | 14,60 | 23° 08. 241 ' | 44° 25.519 ' | Vol.= 50 ml |
| 22/01/08 | 12:54 | IG 1-7 | 19,50 | 23° 10. 722 ' | 44° 24.416 ' | Vol.= 50 ml |
| 22/01/08 | 13:48 | IG 1-8 | 24,50 | 23° 13. 035 ' | 44° 22.705 ' | Vol.= 50 ml |
| 22/01/08 | 14:26 | IG 1-9 | 29,50 | 23° 15. 580 ' | 44° 21.657 ' | Vol.= 50 ml |

Tabela 34 – Dados relativos à coleta (2) de Água Superficial para análise de Ba / Si / Salinidade realizada em Jan/2008

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|--|
| | | | | | | LOCAL: BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUPERFICIAL ANÁLISE: Ba / Si / Salinidade |
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 23/01/08 | 08:32 | IG2-1 | 0,50 | 23° 00. 897 ' | 44° 27.679 ' | Vol.= 50 ml |
| 23/01/08 | 08:43 | IG2-2 | 1,51 | 23° 01. 433 ' | 44° 27.562 ' | Vol.= 50 ml |
| 23/01/08 | 08:56 | IG2-3 | 3,51 | 23° 02. 458 ' | 44° 27.187 ' | Vol.= 50 ml |
| 23/01/08 | 09:12 | IG2-4 | 6,53 | 23° 04. 020 ' | 44° 26.704 ' | Vol.= 50 ml |
| 23/01/08 | 09:31 | IG2-5 | 9,55 | 23° 05. 577 ' | 44° 26.188 ' | Vol.= 50 ml |
| 23/01/08 | 10:06 | IG2-6 | 14,60 | 23° 08. 241 ' | 44° 25.519 ' | Vol.= 50 ml |
| 23/01/08 | 10:44 | IG2-7 | 19,50 | 23° 10. 722 ' | 44° 24.416 ' | Vol.= 50 ml |
| 23/01/08 | 11:27 | IG2-8 | 24,50 | 23° 13. 035 ' | 44° 22.705 ' | Vol.= 50 ml |
| | | | | | | |

Tabela 35 – Dados relativos à coleta (1) de Água Superficial para análise de Ba / Si / Salinidade realizada em Out/2008

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR |
|--|-------------|----------------|-----------------------|-----------------|------------------|--|
| | | | | | | LOCAL: BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUPERFICIAL ANÁLISE: Ba / Si / Salinidade |
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 08/10/08 | 10:05 | MAM 1-1 | 1,00 | 23° 02. 281 ' | 44° 32. 069 ' | Vol.= 50 ml |
| 08/10/08 | 10:21 | MAM 1-2 | 3,00 | 23° 03. 266 ' | 44° 31. 593 ' | Vol.= 50 ml |
| 08/10/08 | 10:50 | MAM 1-3 | 6,00 | 23° 04. 744 ' | 44° 30. 880 ' | Vol.= 50 ml |
| 08/10/08 | 11:20 | MAM 1-4 | 10,00 | 23° 06. 715 ' | 44° 29. 929 ' | Vol.= 50 ml |
| 08/10/08 | 11:45 | MAM 1-5 | 15,00 | 23° 09. 177 ' | 44° 28. 738 ' | Vol.= 50 ml |
| 08/10/08 | 12:31 | MAM 1-6 | 20,00 | 23° 11. 681 ' | 44° 27. 527 ' | Vol.= 50 ml |
| 08/10/08 | 13:40 | MAM 1-7 | 25,00 | 23° 14. 154 ' | 44° 26. 331 ' | Vol.= 50 ml |
| 08/10/08 | - | MAM 1-8 | 30,00 | 23° 16. 668 ' | 44° 25. 178 ' | Vol.= 50 ml |
| | | | | | | |

Tabela 36 – Dados relativos à coleta de Água Subterrânea para análise de ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra realizada em Dez/2006

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR LOCAL: PRAIA - BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUBTERRÂNEA ANÁLISE: ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|---|
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 21/12/06 | 18:30 | PR-BRV | - | 23° 00. 409 ' | 44° 28.905 ' | Vol.= 20L |
| 21/12/06 | 19:00 | PR-MAM | - | 23° 02. 194 ' | 44° 33.071 ' | Vol.= 20L |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Tabela 37 – Dados relativos à coleta de Água Subterrânea para análise de ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra realizada em Dez/2007

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR LOCAL: PRAIA - BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUBTERRÂNEA ANÁLISE: ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|---|
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 18/12/07 | 11:00 | PR-VLH | - | 23° 01. 195 ' | 44° 26.429 ' | Vol.= 10L |
| 19/12/07 | 17:59 | PR-VER | - | 23° 01. 492 ' | 44° 29.983 ' | Vol.= 10L |
| 19/12/07 | 13:34 | PR-BRV | - | 23° 00. 409 ' | 44° 28.905 ' | Vol.= 10L |
| 19/12/07 | 16:43 | PR-MAM | - | 23° 02. 194 ' | 44° 33.071 ' | Vol.= 10L |
| 19/12/07 | 17:21 | PR-COQ | - | 23° 02. 189 ' | 44° 33.197 ' | Vol.= 10L |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Tabela 38 – Dados relativos à coleta de Água Subterrânea para análise de ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra em Jan/2008

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR LOCAL: PRAIA - BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUBTERRÂNEA ANÁLISE: ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|---|
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 24/01/08 | 11:00 | PR-VLH | - | 23° 01. 195 ' | 44° 26.429 ' | Vol.= 10L |
| 24/01/08 | 12:32 | PR-VER | - | 23° 01. 492 ' | 44° 29.983 ' | Vol.= 10L |
| 24/01/08 | 14:15 | PR-BRV | - | 23° 00. 410 ' | 44° 28.905 ' | Vol.= 10L |
| 24/01/08 | 13:08 | PR-MAM | - | 23° 02. 194 ' | 44° 33.071 ' | Vol.= 10L |
| 24/01/08 | 13:31 | PR-COQ | - | 23° 02. 189 ' | 44° 33.197 ' | Vol.= 10L |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Tabela 39 – Dados relativos à coleta de Água Subterrânea para análise de ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra realizada em Out/2008

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR LOCAL: PRAIA - BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUBTERRÂNEA ANÁLISE: ^{223}Ra / ^{224}Ra / ^{226}Ra / ^{228}Ra |
|--|-------|------------|----------------|---------------|---------------|---|
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 07/10/08 | 11:24 | PR-VLH | - | 23° 01. 195 ' | 44° 26. 429 ' | Vol.= 10L |
| 07/10/08 | 12:45 | PR-COQ | - | 23° 01. 492 ' | 44° 29. 983 ' | Vol.= 10L |
| 07/10/08 | 13:45 | PR-BRV | - | 23° 00. 410 ' | 44° 28. 905 ' | Vol.= 10L |
| 07/10/08 | 13:20 | PR-VER | - | 23° 02. 194 ' | 44° 33. 071 ' | Vol.= 10L |
| 09/10/08 | 13:25 | PR-MAM (1) | - | 23° 02. 189 ' | 44° 33. 197 ' | Vol.= 10L |
| 09/10/08 | 14:20 | PR-MAM (2) | - | 23° 01. 588 ' | 44° 31. 577 ' | Vol.= 10L |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Tabela 40 – Dados relativos à coleta de Água Subterrânea para análise de Ba / Si / Salinidade realizada em Dez/2006

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|---|
| | | | | | | LOCAL: PRAIA - BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUBTERRÂNEA ANÁLISE: Ba / Si / Salinidade |
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 21/12/06 | 18:30 | PR-BRV | - | 23° 00. 409 ' | 44° 28.905 ' | Vol.= 50 ml |
| 21/12/06 | 19:00 | PR-MAM | - | 23° 02. 194 ' | 44° 33.071 ' | Vol.= 50 ml |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Tabela 41 – Dados relativos à coleta de Água Subterrânea para análise de Ba / Si / Salinidade realizada em Dez/2007

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR LOCAL: PRAIA - BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUBTERRÂNEA ANÁLISE: Ba / Si / Salinidade |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|--|
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 18/12/07 | 11:00 | PR-VLH | - | 23° 01. 195 ' | 44° 26.429 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/07 | 17:59 | PR-VER | - | 23° 01. 492 ' | 44° 29.983 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/07 | 13:34 | PR-BRV | - | 23° 00. 409 ' | 44° 28.905 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/07 | 16:43 | PR-MAM | - | 23° 02. 194 ' | 44° 33.071 ' | Vol.= 50 ml |
| 19/12/07 | 17:21 | PR-COQ | - | 23° 02. 189 ' | 44° 33.197 ' | Vol.= 50 ml |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Tabela 42 – Dados relativos à coleta de Água Subterrânea para análise de Ba / Si / Salinidade realizada em Jan/2008

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|---|
| | | | | | | LOCAL: PRAIA - BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUBTERRÂNEA ANÁLISE: Ba / Si / Salinidade |
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 24/01/08 | 11:00 | PR-VLH | - | 23° 01. 195 ' | 44° 26.429 ' | Vol.= 50 ml |
| 24/01/08 | 12:32 | PR-VER | - | 23° 01. 492 ' | 44° 29.983 ' | Vol.= 50 ml |
| 24/01/08 | 14:15 | PR-BRV | - | 23° 00. 410 ' | 44° 28.905 ' | Vol.= 50 ml |
| 24/01/08 | 13:08 | PR-MAM | - | 23° 02. 194 ' | 44° 33.071 ' | Vol.= 50 ml |
| 24/01/08 | 13:31 | PR-COQ | - | 23° 02. 189 ' | 44° 33.197 ' | Vol.= 50 ml |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Tabela 43 – Dados relativos à coleta de Água Subterrânea para análise de Ba / Si / Salinidade realizada em Out/2008

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR |
|--|-------|------------|----------------|---------------|---------------|---|
| | | | | | | LOCAL: PRAIA - BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: ÁGUA SUBTERRÂNEA ANÁLISE: Ba / Si / Salinidade |
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação |
| 07/10/08 | 11:24 | PR-VLH | - | 23° 01. 195 ' | 44° 26. 429 ' | Vol.= 50 ml |
| 07/10/08 | 12:45 | PR-COQ | - | 23° 01. 492 ' | 44° 29. 983 ' | Vol.= 50 ml |
| 07/10/08 | 13:45 | PR-BRV | - | 23° 00. 410 ' | 44° 28. 905 ' | Vol.= 50 ml |
| 07/10/08 | 13:20 | PR-VER | - | 23° 02. 194 ' | 44° 33. 071 ' | Vol.= 50 ml |
| 09/10/08 | 13:25 | PR-MAM (1) | - | 23° 02. 189 ' | 44° 33. 197 ' | Vol.= 50 ml |
| 09/10/08 | 14:20 | PR-MAM (2) | - | 23° 01. 588 ' | 44° 31. 577 ' | Vol.= 50 ml |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Tabela 44 – Dados relativos à coleta de Areia para análise de Radionuclídeos realizada em Jan/2008

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR | |
|--|-------|---------|----------------|---------------|--------------|--|--|
| | | | | | | LOCAL: PRAIA - BAÍA DA ILHA GRANDE TIPO: AREIA ANÁLISE: RADIONUCLÍDEOS | |
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação | |
| 24/01/08 | 11:00 | PR-VLH | - | 23° 01. 195 ' | 44° 26.429 ' | Úmido= 1484,48 g | |
| 24/01/08 | 12:32 | PR-VER | - | 23° 01. 492 ' | 44° 29.983 ' | Úmido= 1288,45 g | |
| 24/01/08 | 14:15 | PR-BRV | - | 23° 00. 202 ' | 44° 28.409 ' | Úmido= 1419,23 g | |
| 24/01/08 | 13:08 | PR-MAM | - | 23° 02. 194 ' | 44° 33.071 ' | Úmido= 1396,35 g | |
| 24/01/08 | 13:31 | PR-COQ | - | 23° 02. 189 ' | 44° 33.197 ' | Úmido= 1419,40 g | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Tabela 45 – Dados relativos à coleta de Sedimentos para análise de ^{210}Pb / ^{137}Cs / ^{207}Bi / Metais pesados realizada em Dez/2006

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR | |
|--|------|---------|----------------|---------------|--------------|--|-------------|
| | | | | | | LOCAL: BAÍA DA ILHA GRANDE | |
| | | | | | | TIPO: SEDIMENTO | |
| | | | | | | ANÁLISE: ^{210}Pb / ^{137}Cs / ^{207}Bi / .METAIS | |
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação | |
| 19/12/06 | | SD-01 | - | 22° 58. 300 ' | 44° 19.000 ' | L= 36 cm / 3 cm | Fatias = 12 |
| 19/12/06 | | SD-02 | - | 22° 57. 600 ' | 44° 24.800 ' | L= 30 cm / 3 cm | Fatias = 10 |
| 19/12/06 | | SD-03 | - | 22° 58. 797 ' | 44° 19.516 ' | L= 33 cm / 3 cm | Fatias = 11 |
| 19/12/06 | | SD-04 | - | 22° 57. 457 ' | 44° 21.613 ' | L= 33 cm / 3 cm | Fatias = 11 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Tabela 46 – Dados relativos à coleta de Sedimentos para análise de ^{210}Pb / ^{137}Cs / ^{207}Bi / Metais pesados realizada em Jan/2008

|  COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA SERVIÇO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE COLETA DE AMOSTRAS | | | | | | PROJETO: ANGRA DOS REIS - PAR | |
|--|-------|---------|----------------|---------------|---------------|---|-------------|
| | | | | | | LOCAL: BAÍA DA ILHA GRANDE | |
| | | | | | | TIPO: SEDIMENTO | |
| | | | | | | ANÁLISE: ^{210}Pb / ^{137}Cs / ^{207}Bi / METAIS | |
| Data | Hora | Amostra | Distância (km) | Latitude | Longitude | Observação | |
| 24/01/08 | 10:39 | SD-05 | - | 23° 01. 600 ' | 44° 24. 420 ' | L= 42 cm / 2 cm | Fatias = 21 |
| 23/01/08 | 15:04 | SD-06 | - | 22° 59. 469 ' | 44° 25.438 ' | L= 42 cm / 2 cm | Fatias = 21 |
| 23/01/08 | 17:11 | SD-07 | - | 23° 00. 245 ' | 44° 23.674 ' | L= 50 cm / 2 cm | Fatias = 25 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Tabela 47 – Distribuição da concentração de ^3H no ponto de descarga

| Amostra | Distância (Km) | Atividade (Bq. m⁻³) |
|----------------|---------------------------|---|
| H-A | 0,00 | 1108,67 ± 54,40 |
| H-B | 0,00 | 954,76 ± 52,02 |
| H-C | 0,00 | 905,25 ± 51,89 |
| H-D | 0,00 | 844,54 ± 51,39 |
| H-E | 0,00 | 311,13 ± 42,93 |
| H-F | 0,00 | 150,15 ± 16,52 |
| H-G | 0,00 | 102,46 ± 11,27 |
| H-H | 0,00 | 46,35 ± 5,10 |

Tabela 48 – Distribuição da concentração de ^3H ao longo das transecções

| Amostra | Transecção | Distância (Km) | Atividade (Bq. m⁻³) | Índice de Diluição (C/C₀) | Diluição |
|----------------|-------------------|---------------------------|---|---|-----------------|
| H-01 | 1 | 0,25 | 950,00 ± 51,44 | 1,00 ± 0,11 | 1:1 |
| H-02 | 1 | 0,50 | 693,42 ± 47,69 | 0,73 ± 0,08 | 1:1, |
| H-03 | 1 | 0,75 | 500,52 ± 45,52 | 0,53 ± 0,07 | 1:2 |
| H-04 | 1 | 1,00 | 173,94 ± 42,14 | 0,18 ± 0,05 | 1:5 |
| H-05 | 1 | 1,25 | 19,50 ± 2,14 | 0,02 ± 0,00 | 1:49 |
| H-05 | 2 | 1,25 | 19,50 ± 2,14 | 0,02 ± 0,00 | 1:49 |
| H-06 | 2 | 1,00 | 332,68 ± 45,71 | 0,35 ± 0,06 | 1:3 |
| H-07 | 2 | 0,75 | 518,63 ± 46,19 | 0,54 ± 0,07 | 1:2 |
| H-08 | 2 | 0,50 | 592,31 ± 47,81 | 0,62 ± 0,08 | 1:2 |
| H-09 | 2 | 0,25 | 952,23 ± 52,88 | 1,00 ± 0,11 | 1:1 |
| H-09 | 3 | 0,25 | 952,23 ± 52,88 | 1,00 ± 0,11 | 1:1 |
| H-10 | 3 | 0,50 | 548,33 ± 46,51 | 0,58 ± 0,07 | 1:2 |
| H-11 | 3 | 0,75 | 424,09 ± 45,82 | 0,44 ± 0,06 | 1:2 |
| H-12 | 3 | 1,00 | 261,68 ± 42,06 | 0,27 ± 0,05 | 1:4 |
| H-13 | 3 | 1,25 | 60,15 ± 6,62 | 0,06 ± 0,01 | 1:16 |
| H-13 | 4 | 1,25 | 60,15 ± 6,62 | 0,06 ± 0,01 | 1:16 |
| H-14 | 4 | 1,00 | 432,40 ± 44,21 | 0,45 ± 0,06 | 1:2 |
| H-15 | 4 | 0,75 | 465,52 ± 44,35 | 0,49 ± 0,07 | 1:2 |
| H-16 | 4 | 0,50 | 604,84 ± 46,74 | 0,63 ± 0,08 | 1:2 |
| H-17 | 4 | 0,25 | 663,86 ± 48,29 | 0,70 ± 0,08 | 1:1 |

| | | | | | |
|------|---|------|----------------|-------------|-------|
| H-17 | 5 | 0,25 | 663,86 ± 48,29 | 0,70 ± 0,08 | 1:1 |
| H-18 | 5 | 0,50 | 403,59 ± 44,12 | 0,42 ± 0,06 | 1:2 |
| H-19 | 5 | 0,75 | 355,81 ± 43,44 | 0,37 ± 0,06 | 1:3 |
| H-20 | 5 | 1,00 | 310,10 ± 40,90 | 0,33 ± 0,05 | 1:3 |
| H-21 | 5 | 1,25 | 226,30 ± 39,43 | 0,24 ± 0,05 | 1:4 |
| H-21 | 6 | 1,25 | 226,30 ± 39,43 | 0,24 ± 0,05 | 1:4 |
| H-22 | 6 | 1,00 | 300,78 ± 41,37 | 0,32 ± 0,05 | 1:3 |
| H-23 | 6 | 0,75 | 280,34 ± 41,43 | 0,29 ± 0,05 | 1:3 |
| H-24 | 6 | 0,50 | 477,58 ± 48,98 | 0,50 ± 0,07 | 1:2 |
| H-25 | 6 | 0,25 | 97,98 ± 10,78 | 0,10 ± 0,01 | 1:10 |
| H-25 | 7 | 0,25 | 97,98 ± 10,78 | 0,10 ± 0,01 | 1:10 |
| H-26 | 7 | 0,50 | 353,03 ± 45,88 | 0,37 ± 0,06 | 1:3 |
| H-27 | 7 | 0,75 | 317,56 ± 45,02 | 0,33 ± 0,06 | 1:3 |
| H-28 | 7 | 1,00 | 251,49 ± 45,25 | 0,26 ± 0,05 | 1:4 |
| H-29 | 7 | 1,25 | 98,10 ± 10,79 | 0,10 ± 0,01 | 1:10 |
| H-29 | 8 | 1,25 | 98,10 ± 10,79 | 0,10 ± 0,01 | 1:10 |
| H-30 | 8 | 1,00 | 277,60 ± 42,24 | 0,29 ± 0,05 | 1:3 |
| H-31 | 8 | 0,75 | 251,84 ± 41,14 | 0,26 ± 0,05 | 1:4 |
| H-32 | 8 | 0,50 | 63,51 ± 6,99 | 0,07 ± 0,01 | 1:15 |
| H-33 | 8 | 0,25 | 9,03 ± 0,99 | 0,01 ± 0,00 | 1:106 |
| H-33 | 9 | 0,25 | 9,03 ± 0,99 | 0,01 ± 0,00 | 1:106 |
| H-34 | 9 | 0,50 | 72,51 ± 7,98 | 0,08 ± 0,01 | 1:13 |
| H-35 | 9 | 0,75 | 176,13 ± 19,37 | 0,18 ± 0,03 | 1:5 |
| H-36 | 9 | 1,00 | 358,23 ± 42,20 | 0,38 ± 0,06 | 1:3 |
| H-37 | 9 | 1,25 | 350,29 ± 42,43 | 0,37 ± 0,06 | 1:3 |

Tabela 49 – Resultados referentes ao primeiro perfil de amostragem – RB1

| Amostra | Massa Acumulada (g) | Atividade Total (Bq.kg⁻¹) | Atividade Excesso (Bq.kg⁻¹) |
|----------------|----------------------------|---|---|
| SD1-01 | 0,977 ±0,010 | 73,96 ±2,39 | 47,90 ±2,72 |
| SD1-02 | 2,015 ±0,014 | 71,68 ±2,32 | 45,61 ±2,66 |
| SD1-03 | 3,127 ±0,018 | 75,46 ±2,44 | 49,40 ±2,77 |
| SD1-04 | 4,372 ±0,022 | 66,95 ±2,20 | 40,88 ±2,56 |
| SD1-05 | 5,665 ±0,025 | 51,79 ±1,88 | 25,72 ±2,28 |
| SD1-06 | 7,033 ±0,029 | 40,12 ±1,57 | 14,05 ±2,04 |
| SD1-07 | 8,506 ±0,032 | 32,72 ±1,42 | 6,65 ±1,92 |
| SD1-08 | 10,095 ±0,036 | 28,81 ±1,32 | |
| SD1-09 | 11,755 ±0,040 | 28,99 ±1,40 | |
| SD1-10 | 13,634 ±0,044 | 26,54 ±1,30 | |
| SD1-11 | 15,203 ±0,047 | 24,33 ±1,27 | |
| SD1-12 | 16,646 ±0,049 | 21,66 ±1,19 | |

Tabela 50 – Resultados referentes ao segundo perfil de amostragem – RB2

| Camada | Massa Acumulada (g) | Atividade Total (Bq.kg⁻¹) | Atividade Excesso (Bq.kg⁻¹) |
|---------------|----------------------------|---|---|
| SD2-01 | 0,953 ±0,010 | 84,91 ±2,66 | 61,39 ±3,01 |
| SD2-02 | 1,967 ±0,014 | 80,49 ±2,52 | 56,97 ±2,88 |
| SD2-03 | 3,182 ±0,018 | 79,25 ±2,50 | 55,73 ±2,87 |
| SD2-04 | 4,565 ±0,023 | 58,22 ±2,02 | 34,69 ±2,46 |
| SD2-05 | 6,161 ±0,028 | 28,17 ±1,43 | |
| SD2-06 | 7,736 ±0,032 | 24,33 ±1,30 | |
| SD2-07 | 9,591 ±0,037 | 22,48 ±1,27 | |
| SD2-08 | 11,223 ±0,041 | 20,14 ±1,19 | |
| SD2-09 | 12,863 ±0,044 | 23,45 ±1,24 | |
| SD2-10 | 14,520 ±0,047 | 22,58 ±1,24 | |

Tabela 51 – Resultados referentes ao terceiro perfil de amostragem – RB3

| Camada | Massa Acumulada (g) | Atividade Total (Bq.kg⁻¹) | Atividade Excesso (Bq.kg⁻¹) |
|---------------|----------------------------|---|---|
| SD3-01 | 0,862 ±0,009 | 80,06 ±2,57 | 55,26 ±2,85 |
| SD3-02 | 1,973 ±0,014 | 79,21 ±2,52 | 54,41 ±2,81 |
| SD3-03 | 3,189 ±0,019 | 61,60 ±2,17 | 36,79 ±2,50 |
| SD3-04 | 4,570 ±0,023 | 43,29 ±1,76 | 18,49 ±2,15 |
| SD3-05 | 5,955 ±0,027 | 31,28 ±1,47 | 6,48 ±1,92 |
| SD3-06 | 7,388 ±0,031 | 28,47 ±1,42 | |
| SD3-07 | 8,786 ±0,034 | 31,08 ±1,49 | |
| SD3-08 | 10,189 ±0,036 | 21,55 ±1,30 | |
| SD3-09 | 11,537 ±0,039 | 23,73 ±1,26 | |
| SD3-10 | 12,986 ±0,041 | 23,90 ±1,30 | |
| SD3-11 | 14,421 ±0,044 | 20,08 ±1,18 | |

Tabela 52 – Resultados referentes ao quarto perfil de amostragem – RB4

| Camada | Massa Acumulada (g) | Atividade Total (Bq.kg⁻¹) | Atividade Excesso (Bq.kg⁻¹) | Datação (ano) |
|---------------|----------------------------|---|---|----------------------|
| SD4-01 | 0,806 ±0,008 | 109,94 ±3,32 | 85,89 ±3,56 | 2000 |
| SD4-02 | 1,893 ±0,014 | 86,53 ±2,69 | 62,49 ±2,98 | 1996 |
| SD4-03 | 3,069 ±0,018 | 72,36 ±2,36 | 48,31 ±2,69 | 1986 |
| SD4-04 | 4,251 ±0,021 | 64,61 ±2,18 | 40,56 ±2,53 | 1975 |
| SD4-05 | 5,505 ±0,025 | 55,29 ±1,97 | 31,25 ±2,35 | 1964 |
| SD4-06 | 6,844 ±0,028 | 43,28 ±1,71 | 19,24 ±2,14 | 1952 |
| SD4-07 | 8,201 ±0,031 | 31,36 ±1,39 | | |
| SD4-08 | 9,605 ±0,034 | 29,85 ±1,41 | | |
| SD4-09 | 11,082 ±0,037 | 21,33 ±1,17 | | |
| SD4-10 | 12,828 ±0,041 | 17,18 ±1,17 | | |
| SD4-11 | 14,357 ±0,044 | 20,52 ±1,23 | | |

Tabela 53 – Resultados referentes ao quinto perfil de amostragem – RB5

| Camada | Massa Acumulada (g) | Atividade Total (Bq.kg⁻¹) | Atividade Excesso (Bq.kg⁻¹) |
|---------------|----------------------------|---|---|
| SD5-01 | 0,663 ±0,007 | 107,24 ±3,08 | 92,65 ±3,20 |
| SD5-02 | 1,410 ±0,010 | 116,58 ±3,27 | 101,99 ±3,39 |
| SD5-03 | 2,168 ±0,013 | 112,17 ±3,20 | 97,58 ±3,33 |
| SD5-04 | 2,925 ±0,015 | 112,60 ±3,19 | 98,01 ±3,31 |
| SD5-05 | 3,665 ±0,016 | 111,58 ±3,19 | 96,99 ±3,31 |
| SD5-06 | 4,487 ±0,018 | 81,96 ±2,53 | 67,37 ±2,68 |
| SD5-07 | 5,274 ±0,020 | 80,01 ±2,74 | 65,42 ±2,88 |
| SD5-08 | 6,200 ±0,022 | 61,85 ±2,08 | 47,26 ±2,27 |
| SD5-09 | 7,117 ±0,024 | 53,95 ±2,11 | 39,36 ±2,29 |
| SD5-10 | 8,183 ±0,026 | 38,61 ±1,98 | 24,02 ±2,17 |
| SD5-11 | 9,341 ±0,029 | 29,90 ±1,37 | 15,31 ±1,64 |
| SD5-12 | 10,493 ±0,031 | 29,25 ±1,35 | 14,66 ±1,62 |
| SD5-13 | 11,693 ±0,033 | 22,46 ±1,23 | 7,87 ±1,52 |
| SD5-14 | 12,860 ±0,035 | 20,47 ±1,30 | 5,88 ±1,58 |
| SD5-15 | 14,064 ±0,037 | 16,04 ±1,17 | |
| SD5-16 | 15,305 ±0,039 | 17,00 ±1,26 | |
| SD5-17 | 16,399 ±0,041 | 14,81 ±1,26 | |
| SD5-18 | 17,729 ±0,043 | 14,02 ±0,99 | |
| SD5-19 | 19,043 ±0,045 | 14,34 ±1,04 | |
| SD5-20 | 20,368 ±0,047 | 15,00 ±1,18 | |
| SD5-21 | 21,733 ±0,049 | 10,92 ±0,94 | |

Tabela 54 – Resultados referentes ao sétimo perfil de amostragem – RB6

| Camada | Massa Acumulada (g) | Atividade Total (Bq.kg⁻¹) | Atividade Excesso (Bq.kg⁻¹) |
|---------------|----------------------------|---|---|
| SD6-01 | 0,598 ±0,006 | 123,10 ±3,47 | 95,66 ±3,71 |
| SD6-02 | 1,274 ±0,009 | 114,26 ±3,24 | 86,82 ±3,50 |
| SD6-03 | 2,892 ±0,019 | 113,53 ±3,23 | 86,09 ±3,48 |
| SD6-04 | 3,615 ±0,020 | 116,13 ±3,28 | 88,69 ±3,53 |
| SD6-05 | 4,368 ±0,021 | 106,71 ±3,14 | 79,27 ±3,41 |
| SD6-06 | 5,206 ±0,023 | 94,22 ±2,91 | 66,78 ±3,19 |
| SD6-07 | 6,122 ±0,025 | 85,05 ±2,64 | 57,62 ±2,94 |
| SD6-08 | 7,047 ±0,026 | 84,65 ±2,59 | 57,21 ±2,91 |
| SD6-09 | 8,033 ±0,028 | 79,35 ±2,50 | 51,91 ±2,82 |
| SD6-10 | 8,991 ±0,030 | 77,49 ±2,43 | 50,05 ±2,76 |
| SD6-11 | 10,005 ±0,031 | 70,98 ±2,28 | 43,54 ±2,63 |
| SD6-12 | 11,036 ±0,033 | 66,95 ±2,20 | 39,51 ±2,56 |
| SD6-13 | 12,057 ±0,035 | 61,42 ±2,06 | 33,98 ±2,44 |
| SD6-14 | 13,186 ±0,036 | 51,40 ±1,89 | 23,96 ±2,30 |
| SD6-15 | 14,342 ±0,038 | 44,30 ±1,67 | |
| SD6-16 | 15,506 ±0,040 | 44,59 ±1,67 | |
| SD6-17 | 16,725 ±0,042 | 28,78 ±1,29 | |
| SD6-18 | 17,924 ±0,043 | 25,21 ±1,18 | |
| SD6-19 | 19,204 ±0,045 | 23,82 ±1,21 | |
| SD6-20 | 20,455 ±0,047 | 14,71 ±1,01 | |
| SD6-21 | 21,779 ±0,049 | 10,65 ±0,94 | |

Tabela 55 – Resultados referentes ao sétimo perfil de amostragem – RB7

| Camada | Massa Acumulada (g) | Atividade Total (Bq.kg⁻¹) | Atividade Excesso (Bq.kg⁻¹) |
|---------------|----------------------------|---|---|
| SD7-01 | 0,635 ±0,006 | 108,44 ±3,13 | 95,78 ±3,32 |
| SD7-02 | 1,302 ±0,009 | 107,71 ±3,10 | 95,05 ±3,28 |
| SD7-03 | 1,939 ±0,011 | 104,93 ±3,04 | 92,27 ±3,23 |
| SD7-04 | 2,616 ±0,013 | 104,37 ±3,02 | 91,71 ±3,21 |
| SD7-05 | 3,317 ±0,015 | 97,91 ±2,90 | 85,25 ±3,10 |
| SD7-06 | 4,086 ±0,017 | 80,64 ±2,55 | 67,98 ±2,77 |
| SD7-07 | 4,762 ±0,018 | 85,96 ±2,61 | 73,30 ±2,83 |
| SD7-08 | 5,468 ±0,019 | 76,16 ±2,39 | 63,50 ±2,62 |
| SD7-09 | 6,287 ±0,021 | 58,18 ±1,98 | 45,52 ±2,26 |
| SD7-10 | 7,071 ±0,022 | 61,43 ±2,04 | 48,77 ±2,31 |
| SD7-11 | 7,890 ±0,024 | 57,47 ±1,96 | 44,81 ±2,24 |
| SD7-12 | 9,017 ±0,026 | 44,49 ±1,65 | 31,83 ±1,98 |
| SD7-13 | 10,282 ±0,029 | 37,56 ±1,57 | 24,89 ±1,91 |
| SD7-14 | 11,606 ±0,032 | 31,98 ±1,50 | 19,32 ±1,86 |
| SD7-15 | 12,945 ±0,035 | 27,23 ±1,30 | 14,57 ±1,70 |
| SD7-16 | 14,239 ±0,037 | 20,38 ±1,15 | 7,72 ±1,59 |
| SD7-17 | 15,580 ±0,039 | 17,37 ±1,01 | 4,71 ±1,49 |
| SD7-18 | 16,926 ±0,042 | 11,68 ±1,05 | |
| SD7-19 | 18,204 ±0,044 | 14,89 ±1,07 | |
| SD7-20 | 19,533 ±0,046 | 13,72 ±1,11 | |
| SD7-21 | 20,818 ±0,047 | 12,82 ±1,04 | |
| SD7-22 | 22,119 ±0,049 | 11,91 ±1,15 | |
| SD7-23 | 23,385 ±0,051 | 9,86 ±1,17 | |
| SD7-24 | 24,633 ±0,052 | 12,30 ±1,04 | |
| SD7-25 | 25,832 ±0,054 | 14,12 ±1,09 | |