



UFBA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOLOGIA COSTEIRA E SEDIMENTAR**

AMANDA SANTOS SILVA

**EVOLUÇÃO DA SEDIMENTAÇÃO NOS RECIFES COSTEIROS DE
ABROLHOS NAS ÚLTIMAS DÉCADAS.**

Salvador – Bahia
2011

AMANDA SANTOS SILVA

**EVOLUÇÃO DA SEDIMENTAÇÃO NOS RECIFES COSTEIROS DE
ABROLHOS NAS ÚLTIMAS DÉCADAS.**

Dissertação apresentado ao Curso de Pós-Graduação
em Geologia, Universidade Federal da Bahia,
Instituto de Geociências, como requisito parcial para
a obtenção grau de Mestre em Ciências em
Geologia.

Orientadora: Profa. Dra. Zelinda M. A. N. Leão.
Co-Orientador: Prof. Dr. Ruy K. P. Kikuchi –

Salvador – Bahia
2011

AGRADECIMENTOS

A Dr^a Zelinda Leão, pela grande e dedicada orientação, pelas sugestões e correções que foram fundamentais durante este trabalho;

Ao Dr. Ruy Kikuchi, co-orientador, pelas orientações nas atividades de laboratório, pelas discussões e sugestões;

Ao Dr. Augusto Minervino Netto pelo apoio incondicional e fundamental desde o início deste trabalho;

Ao Dr. José Landim Dominguez pelo apoio na confecção dos gráficos triangulares;

À Dr^a Marília Oliveira e Dr. Abílio Bittencourt pelo incentivo e conversas construtivas;

Ao Dr. Alexandre Costa, do Instituto de Física Nuclear Aplicada, pelo apoio nas análises das taxas de sedimentação e geocronológicas;

Às Dr^{as}. Altair Machado, Dr^a Tânia Araújo, Dr^a Simone Moraes e a Msc. Morgana Drefahl, do Grupo de Estudos de Foraminíferos (GEF), pelo grande auxílio na identificação do conteúdo biogênico das amostras;

Ao Dr. Odair Lemos, da Universidade do Sudoeste da Bahia (UESB), pela ajuda com as figuras de ilustração dos padrões de cores e pelas dúvidas esclarecidas;

Ao funcionário do Laboratório de Estudos Costeiros (LEC), Carlos, pelo suporte com as análises realizadas no laboratório, principalmente as análises granulométricas;

À Edgard Teles e Prof. Ernande de Oliveira pela realização das análises de difratometria de raios-X das amostras;

Ao técnico em química Jorge Gomes, do Núcleo de Estudos Ambientais (NEA), por auxiliar na quantificação de CaCO₃ das amostras;

Aos integrantes do Grupo RECOR pelas construtivas reuniões e discussões;

Aos funcionários e professores, do Curso de Pós Graduação em Geologia Costeira da UFBA, pelas colaborações e ensinamentos;

Aos membros da banca examinadora, antecipadamente, pelas correções;

Aos amigos e colegas, Msc. Priscila Gonçalves, Msc. Carolina Silva, Msc. Sônia Figueiredo, Msc. Carolina Poggio, Msc. Danúzia, Msc. Regina Bruno, Dr. Marcelo Lima, Msc Acácia Bastos, Cláudio Sérgio Rosato, Valdinéia Vinhas e Acácio pela amizade e apoio fundamental no decorrer deste trabalho;

Aos grandes amigos da Universidade Estadual de Santa Cruz, Msc. Gabriel Barros, Msc. Martha Elloy, Letícia Rios, Dayanne Monteiro e Msc. Thyago Cardoso pela grande força e amizade de sempre;

À família Oppermann, Priscila, Érica, Idalina e Albano, por me acolher como membro da família, pelo grande carinho e cuidado dedicados a mim na fase inicial deste trabalho;

Agradeço profundamente aos meus pais, João Carlos Oliveira e Railda Silva, aos meus irmãos Luciana Silva e Oscar Vinícius Silva, minha sobrinha Sophia Lemos, aos primos Lucas Salles, Solange Franca e Melina Lima, e ao meu companheiro Enéas Villas Bôas pelo carinho, cuidados e apoio indispensável para a realização deste trabalho

RESUMO

Os recifes de coral costeiros de Abrolhos estão inseridos em um ambiente com alto teor de sedimento terrígeno, o qual é carregado para o ambiente marinho quer como o resultado de processos naturais (descarga fluvial, erosão costeira, enxurrada) ou de ações antropogênicas (dragagem, desmatamento e ocupação humana na região costeira). O excesso desse sedimento no ambiente marinho costeiro tem sido apontado como uma das principais ameaças que poderão ser responsáveis pelo declínio do ecossistema recifal brasileiro. Este trabalho avaliou a evolução da sedimentação nos recifes costeiros de Abrolhos, nas últimas décadas, através de análises sedimentológicas de amostras de testemunhos coletados nos recifes Coroa Vermelha (localizado a 15 km da costa), Pedra de Leste (localizado a 12 km da costa) e Popa Verde (localizado a 35 km da costa), com o objetivo de verificar se houve aumento da taxa de sedimentação no entorno dos recifes. Foram feitas análises para determinar a cor, a textura, o teor de CaCO_3 e o conteúdo dos grãos biogênicos, a identificação dos argilo-minerais e determinar a taxa de sedimentação e a geocronologia dos testemunhos. Os resultados das análises indicam que a proximidade da costa, a morfologia das estruturas recifais e as condições hidrodinâmicas, as quais os recifes estão inseridos, têm contribuído para a quantidade de sedimento fino que está sendo acumulado no entorno dos recifes. Os valores altos das taxas de sedimentação encontrados nos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha (de 6,94mm/ano) e Popa Verde (de 10,04mm/ano), avaliados até 2008, comparados com os valores encontrados por Netto (2008) para o testemunho do recife Pedra de Leste (de 3,98mm/ano), avaliado até 2002, indicam que houve um aumento no aporte de sedimento terrígeno para a região dos recifes costeiros de Abrolhos, nos últimos seis anos. Esses resultados coincidem com o início das obras de dragagem do Canal do Tomba, iniciadas em 2002 nas proximidades dos recifes, e corroboram informações anteriores de que processos locais resultantes de ações antropogênicas podem estar aumentando o aporte de sedimento do continente para a zona costeira de Abrolhos.

Palavras-chave: Taxa de Sedimentação, Recifes de Coral, Abrolhos.

ABSTRACT

Coral reefs from the coastal area of Abrolhos are in an environment with high percentage of terrigenous sediments, which are carried out to de sea, either as a result of natural processes (river output, coastal erosion, torrent) or due to anthropogenic influence (sea-floor dredging, deforestation and coastal human occupation). The excess of this terrigenous sediment to the marine coastal area has been pointed out as one of the major threats responsible by the decline of Brazilian coral reefs. This work studied the evolution of sedimentation in the Abrolhos coastal reefs, during the last decades, through the analyses of samples from sediment cores collected around the reefs of Coroa Vermelha (located 15 km from the coast), Pedra de Leste (located 12 km from the coast) and Popa Verde (located 35 km from the coast), with the purpose of verifying if there was an elevation of the sedimentation rate in the reefs surroundings. The analyses consist of determination of sediment color, texture, CaCO₃ percent, biogenic compounds, clay minerals, and the sedimentation rate and geochronology of the sediment cores. The results indicate that distance from the coast, morphology of reef structures and the environment hydrodynamics have been contributing to the amount of fine sediment that accumulate into the reef environment. The highest values of sedimentation rates found for the reef cores of Coroa Vermelha (of 6.94mm/year) and Popa Verde (of 10.04mm/year), measured until 2008, compared with the value found by Netto (2008) for the Pedra de Leste reef core (of 3.98mm/year), measured until 2002, indicate that there was an elevation of the terrigenous sediment input into the area of the Abrolhos coastal reefs, in the last six years. These results coincide with the beginning of the Canal do Tomba dredging, initiated in 2002 in the nearest reefs area, and corroborate previous information that local processes resulting from anthropogenic actions could be causing an elevation of the continent sediment loads to the coastal zone of Abrolhos.

Keywords: Sedimentation rate; Coral reefs; Abrolhos.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	
RESUMO	
ABSTRACT	
SUMÁRIO	v
INDÍCE DE FIGURAS	vii
INDÍCE DE TABELAS	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	3
2.1 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICO	3
2.2 JUSTIFICATIVA	3
3. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	5
3.1 LOCALIZAÇÃO	5
3.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SEDIMENTO DE FUNDO OCEÂNICO NA REGIÃO DOS RECIFES DE ABROLHOS	7
3.3 DESCRIÇÃO DOS RECIFES ESTUDADOS	8
3.3.1 Recife da Coroa Vermelha (CV)	8
3.3.2 Recife Pedra de Leste (PL)	9
3.3.3 Recife Popa Verde (POV)	10
3.4 PARÂMETROS CLIMÁTICOS E OCEANOGRÁFICOS	10
3.4.1 Climáticos	10
3.4.2 Oceanográficos	11
3.5 AS BACIAS HIDROGRÁFICAS DA ÁREA ADJACENTE AOS RECIFES	12
4. REVISÃO TEÓRICA	14
4.1 FONTE DO SEDIMENTO DO FUNDO OCEÂNICO NA REGIÃO DOS RECIFES DE ABROLHOS	14
4.2 O TRANSPORTE DO SEDIMENTO NO AMBIENTE RECIFAL: PROCESSOS NATURAIS E DE ORIGEM ANTROPOGÊNICA	15
4.3 A UTILIZAÇÃO DE TESTEMUNHOS PARA ANÁLISES SEDIMENTARES EM ÁREAS RECIFAIS	17
4.4 A SEDIMENTAÇÃO NOS RECIFES DE CORAL E SEUS PRINCIPAIS	19

EFEITOS	
4.4.1 Redução da cobertura viva e da diversidade dos corais e de outros organismos recifais	20
4.4.2 Mudanças no crescimento e na morfologia das colônias dos corais com o aumento da sedimentação	22
5. METODOLOGIA	24
5.1 COLETA DOS TESTEMUNHOS	24
5.2 ABERTURA E FRACIONAMENTO DOS TESTEMUNHOS	25
5.3 ANÁLISE ISOTÓPICA PELO MÉTODO DO Pb²¹⁰	28
5.4 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	29
5.5 ANÁLISE DO TEOR DE CARBONATO DE CÁLCIO NO SEDIMENTO- MÉTODO ADAPTADO DA EMBRAPA (1997)	30
5.6 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DO SEDIMENTO	33
5.6.1 FRAÇÃO AREIA	34
5.6.2 FRAÇÃO LAMA	34
6. RESULTADOS	36
6.1 CARACTERÍSTICAS DO SEDIMENTO DOS TESTEMUNHOS	36
6.1.1 Cor do sedimento	36
6.1.2 Textura do sedimento	38
6.1.3 Teor de carbonato de cálcio da amostra total	44
6.1.4 Composição de biogênico da fração areia	47
6.1.5 Composição da fração lama	49
6.2 TAXA DE SEDIMENTAÇÃO E GEOCROLOGIA DOS SEDIMENTOS	54
7. DISCUSSÃO	58
7.1 COR DO SEDIMENTO E SUA RELAÇÃO COM A COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA	58
7.2 TEXTURA, COMPOSIÇÃO E FONTE DO SEDIMENTO	62
7.2.1 Característica textural do sedimento	62
7.2.2 A composição e a fonte das partículas constituintes do sedimento	67
7.3 TAXA DE SEDIMENTAÇÃO E GEOCROLOGIA DOS TESTEMUNHOS	70
8. CONCLUSÃO	76
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
10. APÊNDICES	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagem das cinco ilhas do Arquipélago de Abrolhos. Fonte: Instituto Baleia Jubarte.	5
Figura 2. Localização dos recifes de Abrolhos. Fonte: A.P.L. Prates (2003).	6
Figura 3. Distribuição do sedimento de fundo da área dos recifes de Abrolhos, ilustrando a transição de sedimento siliciclástico mais próximo da costa para sedimento carbonático costa afora. Fonte: Leão (1982).	8
Figura 4. Recife da Coroa Vermelha ilustrando na parte central superior da fotografia a pequena ilha carbonática. Fonte: Z.M.A.N. Leão.	9
Figura 5. Imagem do Recife Pedra de Leste. Fonte: Google Earth.	10
Figura 6. Mapa de situação da área de estudo ilustrando a localização dos principais rios que desembocam próximos aos recifes costeiros de Abrolhos. Quadrados vermelhos indicam a localização dos recifes Pedra de Leste, Coroa Vermelha e Popa Verde onde foram coletados os testemunhos de sedimento estudados neste trabalho. Fonte do mapa: Martin <i>et al.</i> , (1980), modificado pela CBPM (2000).	13
Figura 7. Imagem ilustrando a pluma de sedimento em suspensão na zona próxima do continente onde estão localizados os recifes costeiros da região de Abrolhos.	16
Figura 8. Testemunho coletado em tubo de PVC.	24
Figura 9. Testemunho sendo preparado para abertura da cápsula de PVC e posterior coleta das frações de sedimento.	25
Figura 10. Amostras do sedimento coletadas nos testemunhos obtidos nas áreas interrecifais da região de Abrolhos.	26
Figura 11. Balança analítica utilizada para pesagem das amostras.	27
Figura 12. Estufa utilizada para secar as amostras.	27
Figura 13. Espectrômetro de radiação gama (indicado na seta), do Laboratório de Física Nuclear da Universidade Federal da Bahia, o qual foi utilizado para medir a atividade radioativa do Chumbo 210.	28
Figura 14. Tubo plástico contendo amostra de sedimento para análise no Espectrômetro.	29
Figura 15. Granulômetro utilizado para as análises granulométricas do sedimento dos testemunhos estudados.	29
Figura 16. Adição de HCl nas amostras para titulação.	30
Figura 17. Amostras na placa aquecedora para acelerar a reação (amostra + HCl).	31
Figura 18. Adição de três gotas de fenolftaleína nas amostras para titulação.	31

Figura 19. Amostra sendo titulada com NaOH.	32
Figura 20. Amostras tituladas. As setas indicam a cor rósea ideal da titulação.	32
Figura 21. Análise da composição do sedimento arenoso sob lupa binocular.	34
Figura 22. Difrátômetro de Raios-X utilizado para análise dos argilominerais presentes nas amostras da fração lama.	35
Figura 23. Diagrama triangular ilustrando a classificação textural do sedimento do testemunho do recife Coroa Vermelha. A = Areia; AS = Areia siltosa; AAr – Areia argilosa; S = Silte; SA = Silte arenoso; SAr = Silte argiloso; Ar = Argila; ArA = Argila arenosa; ArS = Argila siltosa.	38
Figura 24. Diagrama triangular ilustrando a classificação textural do sedimento do testemunho do recife Pedra de Leste. A = Areia; AS = Areia siltosa; AAr – Areia argilosa; S = Silte; SA = Silte arenoso; SAr = Silte argiloso; Ar = Argila; ArA = Argila arenosa; ArS = Argila siltosa.	39
Figura 25. Diagrama triangular ilustrando a classificação textural do sedimento do testemunho do recife Popa Verde. A = Areia; AS = Areia siltosa; AAr – Areia argilosa; S = Silte; SA = Silte arenoso; SAr = Silte argiloso; Ar = Argila; ArA = Argila arenosa; ArS = Argila siltosa.	39
Figura 26. Teores dos três tipos texturais (areia, silte e argila) do sedimento ao longo do testemunho do recife Coroa Vermelha. As barras de cor preta separam os intervalos onde há predominância do sedimento tamanho lama (silte a argila), na base e topo do testemunho, e onde predominam as amostras com teores da fração areia acima de 50% na parte central do testemunho (exceto duas amostras).	41
Figura 27. Teores dos três tipos texturais (areia, silte e argila) do sedimento ao longo do testemunho do recife Pedra de Leste.	42
Figura 28. Teores dos três tipos texturais (areia, silte e argila) do sedimento ao longo do testemunho do recife Popa Verde.	43
Figura 29. Média (DP) dos teores de CaCO ₃ nas amostras dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha, Pedra de Leste e Popa Verde.	44
Figura 30. Teor de CaCO ₃ nas amostras do testemunho do recife Coroa Vermelha.	45
Figura 31. Teor de CaCO ₃ nas amostras do testemunho do recife Pedra de Leste.	46
Figura 32. Teor de CaCO ₃ nas amostras do testemunho do recife Popa Verde.	46
Figura 33. Média (DP) dos percentuais dos grãos biogênicos identificados na fração areia do sedimento dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha (CV), Pedra de Leste (PL) e Popa Verde (PV).	49
Figura 34. Difrátogramas de raios-X ilustrando os principais argilo-minerais identificados no sedimento lamoso de três amostras do testemunho do recife Coroa	50

Vermelha. A = amostra 07, B= amostra 26, C = amostra 45. Il = ilita, Ka = caolinita, Ar = aragonita, CaMg = calcita magnesiana.

Figura 35. Difractogramas de raios-X ilustrando os principais argilo-minerais identificados no sedimento lamoso de três amostras do testemunho do recife Pedra de Leste. A = amostra 02, B = amostra 38, C = amostra 73. Il = ilita, Ka = caolinita, Ar = aragonita, CaMg = calcita magnesiana. 52

Figura 36. Difractogramas de raios-X ilustrando os principais argilo-minerais identificados no sedimento lamoso de três amostras do testemunho do recife Popa Verde. A = amostra 01, B= amostra 32, C = amostra 62. Il = ilita, Ka = caolinita, Ar = aragonita, CaMg = calcita magnesiana. 53

Figura 37. Atividade do Pb^{210} ($Bq\ Kg^{-1}$) presente no testemunho do recife Coroa Vermelha em função da profundidade em metros. 56

Figura 38. Atividade do Pb^{210} ($Bq\ Kg^{-1}$) presente no testemunho do recife Popa Verde em função da profundidade em metros. 57

Figura 39. Difractogramas de raios-X ilustrando os principais argilo-minerais identificados no sedimento superficial do entorno dos recifes Coroa Vermelha e Popa Verde em amostras coletadas no ano de 1977, de acordo com Leão (1982). I=ilita; K=caulinita; Q=quartzo; F=feldspato; A=aragonita; C=calcita. Fonte dos gráficos Leão (1982). 59

Figura 40. Gráficos ilustrando as médias (+DP) dos teores de $CaCO_3$ n amostras do sedimento dos recifes Coroa Vermelha, Pedra de Leste e Popa Verde, as em três períodos distintos: testemunhos dos recifes (2008) e sedimento superficial (2000, 1977). 611

Figura 41. Sedimento do recife Coroa Vermelha. A - Teores de areia, silte e argila de três amostras do testemunho correspondentes aos intervalos equivalentes aos anos de 2000 e 1977. B - Teores de areia, lama (silte+argila) e cascalho de três amostras do sedimento superficial coletadas no ano de 2000 no entorno do recife. C – Teores de areia, silte e argila de três amostras coletadas do sedimento superficial no entorno do recife no ano de 1977. 63

Figura 42. Sedimento do recife Pedra de Leste. A - Teores de areia, silte e argila de três amostras do testemunho correspondentes aos intervalos equivalentes aos anos de 2000 e 1977. B - Teores de areia, lama (silte+argila) e cascalho de três amostras do sedimento superficial coletadas no ano de 2000 no entorno do recife. C - Teores de areia, silte e argila de três amostras coletadas do sedimento superficial no entorno do recife no ano de 1977. 64

Figura 43. Sedimento do recife Popa Verde. A - Teores de areia, silte e argila de três amostras do testemunho correspondentes aos intervalos equivalentes aos anos de 2000 e 65

1977. B - Teores de areia, lama (silte+argila) e cascalho de três amostras do sedimento superficial coletadas no ano de 2000 no entorno do recife. C - Teores de areia, silte e argila de três amostras coletadas do sedimento superficial no entorno do recife no ano de 1977.

Figura 44. Componentes biogênicos da fração areia do sedimento do recife Coroa Vermelha. Coleta 1977 de acordo com Leão (1982). 68

Figura 45. Componentes biogênicos da fração areia do sedimento do recife Pedra de Leste. Coleta 1977 de acordo com Leão (1982). 69

Figura 46. Componentes biogênicos da fração areia do sedimento do recife Popa Verde. Coleta 1977 de acordo com Leão (1982). 70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Latitude (S), longitude (W) e distância da costa (km) das estações de estudo.	6
Tabela 2. Dados das vazões dos principais rios que desembocam próximo aos recifes costeiros da região de Abrolhos. Fonte dos dados: Andrade (1994).	13
Tabela 3. Síntese dos trabalhos relacionando o efeito do aporte de sedimento sobre a cobertura viva e a diversidade dos corais em recifes de várias regiões do globo. Fonte: Dutra (2003).	21
Tabela 4. Síntese dos trabalhos relacionando o efeito do aporte de sedimento sobre o crescimento dos corais. Fonte: Dutra (2003).	23
Tabela 5. Medidas aproximadas da distância da costa e profundidade de penetração dos testemunhos coletados no entorno dos recifes Coroa Vermelha, Pedra de Leste e Popa Verde.	24
Tabela 6. Quantidade de alíquotas (amostras), distanciamento de corte e análises efetuadas para cada testemunho.	26
Tabela 7. Padrões de cores do sedimento do testemunho do recife Coroa Vermelha com código e padrão de cor de acordo com a <i>Rock Color Chart</i> (Goddard <i>et al.</i> 1963).	36
Tabela 8. Padrões de cores do sedimento do testemunho do recife Pedra de Leste com código e padrão de cor de acordo com a <i>Rock Color Chart</i> (Goddard <i>et al.</i> 1963).	37
Tabela 9. Padrões de cores do sedimento do testemunho do recife Popa Verde com código e padrão de cor de acordo com a <i>Rock Color Chart</i> (Goddard <i>et al.</i> 1963).	37
Tabela 10. Média (DP) do teor de CaCO ₃ das amostras dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha (CV), Pedra de Leste (PL) e Popa Verde (PV).	44
Tabela 11. Média (DP) dos teores dos principais componentes biogênicos identificados no sedimento dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha, Pedra de Leste e Popa Verde.	48
Tabela 12. Percentuais dos principais componentes biogênicos do sedimento dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha (CV), Pedra de Leste (PL) e Popa Verde (PV).	48
Tabela 12. Percentuais dos principais componentes biogênicos identificados no sedimento dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha, Pedra de Leste e Popa Verde.	48
Tabela 13. Localização das amostras usadas para determinação da taxa de sedimentação, da média da atividade do Pb ²¹⁰ e da estimativa das datas de deposição do sedimento dentro do limite de detecção da atividade do chumbo, no testemunho do recife Coroa Vermelha.	54

Tabela 14. Localização das amostras usadas para determinação da taxa de sedimentação, da média da atividade do Pb^{210} e da estimativa das datas de deposição do sedimento dentro do limite de detecção da atividade do chumbo, no testemunho do recife Popa Verde.	55
Tabela 15. Dados utilizados para determinação da taxa de sedimentação e da cronologia dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha e Popa Verde.	58
Tabela 16. Taxa de sedimentação e cronologia dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha, Pedra de Leste e Popa Verde. Dados da taxa de sedimentação do testemunho do recife Pedra de Leste estão de acordo com Netto (2008).	72
Tabela 17. Média (+DP) dos teores de sedimento lamoso (silte+argila) durante três períodos: i) o período total de anos dos testemunhos; ii) o período entre 2002 e 2008; iii) o período antes de 2002.	73

1. INTRODUÇÃO

A fauna que erigiu os recifes brasileiros é caracterizada por uma baixa diversidade e um forte endemismo, dominada, da parte dos corais zooxantelados, por formas predominantemente maciças (Leão, 1996). Na costa do Estado da Bahia os recifes de coral ocorrem em um ambiente onde os níveis de turbidez são altos, decorrentes do aporte de sedimento de origem continental ou de material ressuspenso do fundo, quer produzido *in situ* ou trazido até o ambiente deposicional pela ação de ondas e correntes. Diante disso, grande parte dos recifes está inserida em um ambiente de mistura de sedimento siliciclástico e carbonático (plataforma continental mista) (Leão e Kikuchi, 1995).

Essas características, em especial a baixa diversidade e o forte endemismo, sugerem que, muito provavelmente, somente os corais mais resistentes às condições de turbidez tenham sobrevivido nesse ambiente de elevada sedimentação (Leão, 1996). Esta autora afirma ainda que essas peculiaridades tornam os recifes do Brasil um sistema particular, formado a partir de uma comunidade coralina especial, parcialmente constituída de uma fauna relíquia que, muito provavelmente, sofreu adaptações ecológicas às condições normalmente consideradas adversas ao seu crescimento.

Porém é conhecido que altas taxas de sedimentação com elevada turbidez, resultante não somente de fontes naturais (descarga fluvial, erosão costeira, enxurrada), mas, também, de origem antropogênica (desmatamento, ocupação humana na região costeira, dragagem), representam um grande potencial na degradação dos recifes de coral, pois a turbidez elevada pode afetar negativamente a estrutura e o funcionamento do ecossistema recifal por alterar seus processos físicos e biológicos (Rogers, 1990).

Dessa forma, tanto a taxa de acumulação de sedimento como a turbidez das águas costeiras são apontados, com grande frequência, como as principais causas do declínio dos ecossistemas recifais (Cortés e Risk, 1985). Os maiores efeitos verificados ao nível de organismos e ecossistemas são o sufocamento dos organismos filtradores, o aumento parcial ou total das colônias de corais branqueadas, a redução no recrutamento, na diversidade e no crescimento dos corais e, conseqüentemente, a queda na parcela da superfície dos recifes recoberta por corais construtores vivos (Brown e Howard, 1985).

Assim, tendo em vista estarem os recifes baianos inseridos em um ambiente de elevada sedimentação e que os diversos efeitos causados pelo excesso de sedimento nos recifes vem sendo demonstrados, por diversos pesquisadores, como sendo um dos principais fatores responsáveis pela sua degradação (Cortés e Risk, 1985; Edinger *et al.*, 1998, Anthony e

Larcombe, 2000; Dutra *et al.*, 2006), Minervino Netto (2008) mostrou a necessidade de estudos do comportamento do aporte e da deposição dos sedimentos nas áreas de entorno dos recifes de Abrolhos, em escalas decenais e seculares. Com este objetivo o autor avaliou a evolução da sedimentação nos recifes costeiros do banco de Abrolhos e sua relação com a modificação da zona costeira do extremo sul da Bahia, nos últimos 150 anos, através da análise de testemunhos de sedimento coletados no ano de 2002.

Para complementar o trabalho de Minervino Netto (2008), no presente estudo pretendeu-se verificar se houve aumento da taxa de sedimentação no entorno dos recifes costeiros de Abrolhos, durante as últimas décadas, particularmente após a construção do terminal portuário do Canal do Tomba (projeto iniciado em 2002), o qual está localizado próximo a estes recifes. E com esta finalidade foram realizadas análises do sedimento de testemunhos coletados no ano de 2008 no entorno de três recifes costeiros localizados em diferentes distâncias da linha de costa.

2. OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

2.1 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICO

Objetivo Geral - Avaliar a evolução da sedimentação nos recifes costeiros de Abrolhos, durante as últimas décadas, através de análises sedimentares das amostras dos testemunhos do fundo oceânico no entorno dos recifes Coroa Vermelha (CV), Pedra de Leste (PL) e Polpa Verde (PV).

Objetivos Específicos:

- (i) Estabelecer comparação dos resultados das análises sedimentares, para os três testemunhos, considerando a distância dos mesmos em relação à linha de costa;
- (ii) Estimar as taxas de sedimentação e a geocronologia dos recifes estudados;
- (iii) Estimar os teores de sedimento lamoso (silte e argila) dos recifes estudados, durante os seguintes períodos: o total de anos dos testemunhos, o período entre 2002 e 2008 e o período antes de 2002.
- (iv) Avaliar se houve aumento da taxa de sedimentação após o início da construção do terminal portuário do canal do Tomba (iniciado em 2002).

Em vista dos objetivos do projeto as seguintes hipóteses foram consideradas:

H0: Houve aumento da taxa de sedimentação no entorno dos recifes costeiros de Abrolhos durante as últimas décadas.

H1: Não houve aumento da taxa de sedimentação no entorno dos recifes costeiros de Abrolhos durante as últimas décadas.

2.2 JUSTIFICATIVA

Considerando a importância do ecossistema recifal da região de Abrolhos, e tendo em vista que as ações antropogênicas (dragagem, desmatamento e ocupação humana da zona costeira), de uma maneira geral, têm efeito negativo sobre os corais, por proporcionar um aumento no aporte de sedimento terrígeno para o ambiente recifal, e que esses efeitos podem ser de longo prazo, faz-se necessário a realização de trabalhos complementares, ao longo do tempo, os quais avaliem o comportamento da sedimentação na área dos recifes. Devido as evidências encontradas, por diversos pesquisadores, do declínio no ecossistema recifal relacionado às ações antropogênicas, responsáveis sobretudo por aumentar a turbidez no ambiente recifal, a

construção do terminal portuário do canal do Tomba (iniciado em 2002) próximo aos recifes costeiros de Abrolhos, pode se tornar uma grave ameaça a esses recifes considerando-se que o processo de dragagem e descarte do material lamoso do fundo pode estar contribuindo para o aumento da turbidez da água nas áreas circunvizinhas aos recifes.

3. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO

Os recifes estudados neste trabalho estão localizados na parte costeira do Banco de Abrolhos, que é um alargamento da plataforma continental da Bahia, localizado entre a latitude de 17°40'S e longitude de 17°40' W (Figura 2), cobrindo uma área de aproximadamente 50.000 km², estendendo-se desde a cidade de Alcobaça, na Bahia, até a cidade de Regência, no Espírito Santo. Sua porção interna, até 20 m de profundidade, tem uma topografia suave, porém, nas suas porções média e externa, são observados numerosos bancos rasos, canais estreitos de paredes escarpadas, inúmeras construções biogênicas (recifes) e feições vulcânicas aflorantes que constituem as cinco ilhas do Arquipélago dos Abrolhos (Figura 1), o qual está localizado a cerca de 70 km distante do continente.



Figura 1. Imagem das cinco ilhas do Arquipélago de Abrolhos.
Fonte: Instituto Baleia Jubarte.

A parte da plataforma continental onde estão localizados os recifes é bastante rasa, as profundidades são inferiores a 30 m, e na sua borda a profundidade varia entre 60 e 80 m. As profundidades entre os recifes do arco costeiro e a costa são iguais e/ou inferiores a 10 m. Um canal com profundidades entre 20 e 30 m (canal de Abrolhos) separa os recifes do arco costeiro dos recifes do arquipélago e do arco externo (Leão, 2002).

Foram seleccionadas para estudo as áreas no entorno dos recifes Coroa Vermelha (CV), Pedra de Leste (PL) e Popa Verde (PV) (Figura 2), os quais estão localizados em diferentes distâncias da linha de costa (Tabela 1).

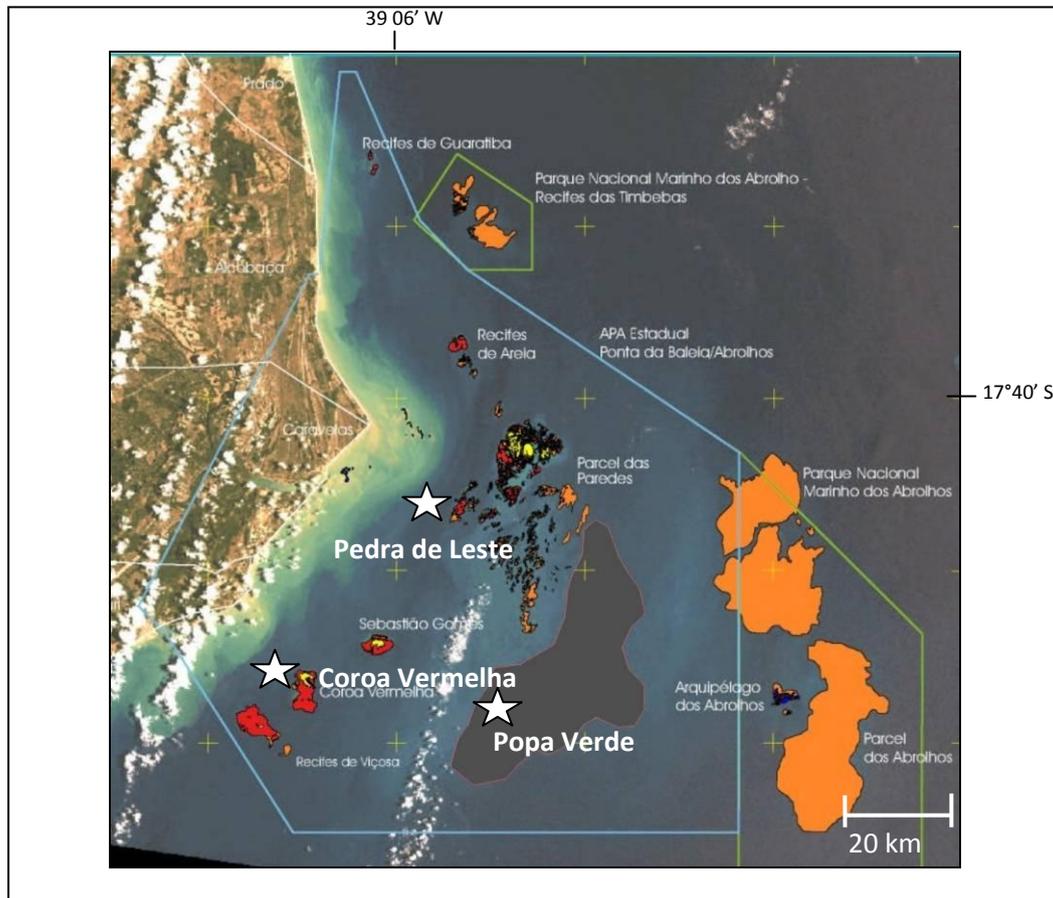


Figura 2. Localização dos recifes de corais da região de Abrolhos. O recife Popa Verde não aflora, na imagem está indicada sua localização aproximada. Fonte: A.P.L. Prates (2003).

Tabela 1. Latitude (S), longitude (W) e distância da costa (km) dos recifes estudados.

Recifes	Código	Latitude	Longitude	Distância da costa
		S	W	km
Coroa Vermelha	CV	17°56'	39°11'	15
Pedra de Leste	PL	17° 46'	39° 02'	12
Popa Verde	PV	18°00'	39°03'	35

3.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SEDIMENTO DO FUNDO OCEÂNICO NA REGIÃO DOS RECIFES DE ABROLHOS

Ao longo da costa do estado da Bahia, os recifes de corais que estão localizados muito próximos da linha de costa ocorrem em um ambiente onde os níveis de turbidez são altos, provocados pelo aporte de material de origem continental (sedimento terrígeno) ou do material produzido *in situ* (sedimento biogênico) o qual é ressuspensionado do fundo oceânico através da ação de ondas e correntes. O sedimento de origem continental é depositado próximo da costa avançando costa adentro nas regiões mais próximas das desembocaduras dos rios. O material de origem biogênica é originado da desagregação do esqueleto carbonático dos organismos que compõem a fauna e flora recifais. Dentro deste contexto os recifes de coral da Bahia estão inseridos em um ambiente de transição de sedimento siliciclástico para sedimento carbonático (plataforma continental mista). A figura 3 ilustra esta transição de fácies predominantemente siliciclásticas para fácies predominantemente carbonáticas na região dos recifes de Abrolhos. Na área onde estão localizados os recifes mais próximos da costa predominam sedimentos cujos grãos de natureza siliciclástica apresentam teores acima de 40%, porém nas áreas circunvizinhas da base dos recifes predominam as areias e lamas carbonáticas, representando, na sua maioria, mais de 50% do total dos grãos. Nas áreas mais afastadas da costa os grãos de natureza carbonática predominam (Leão 1982, Leão e Kikuchi, 1995).

Leão (1982) e Leão e Ginsburg (1997) sugerem que a coexistência do crescimento recifal e uma ativa sedimentação siliciclástica em Abrolhos está relacionada, muito provavelmente, a fatores como i) a ausência de grandes descargas fluviais nas áreas adjacentes aos recifes, ii) a ressuspensão do sedimento fino do fundo marinho ser um evento de curto prazo, ocorrendo durante as tempestades de inverno, e iii) a adaptação funcional da fauna coralina brasileira à presença de sedimento lamoso.

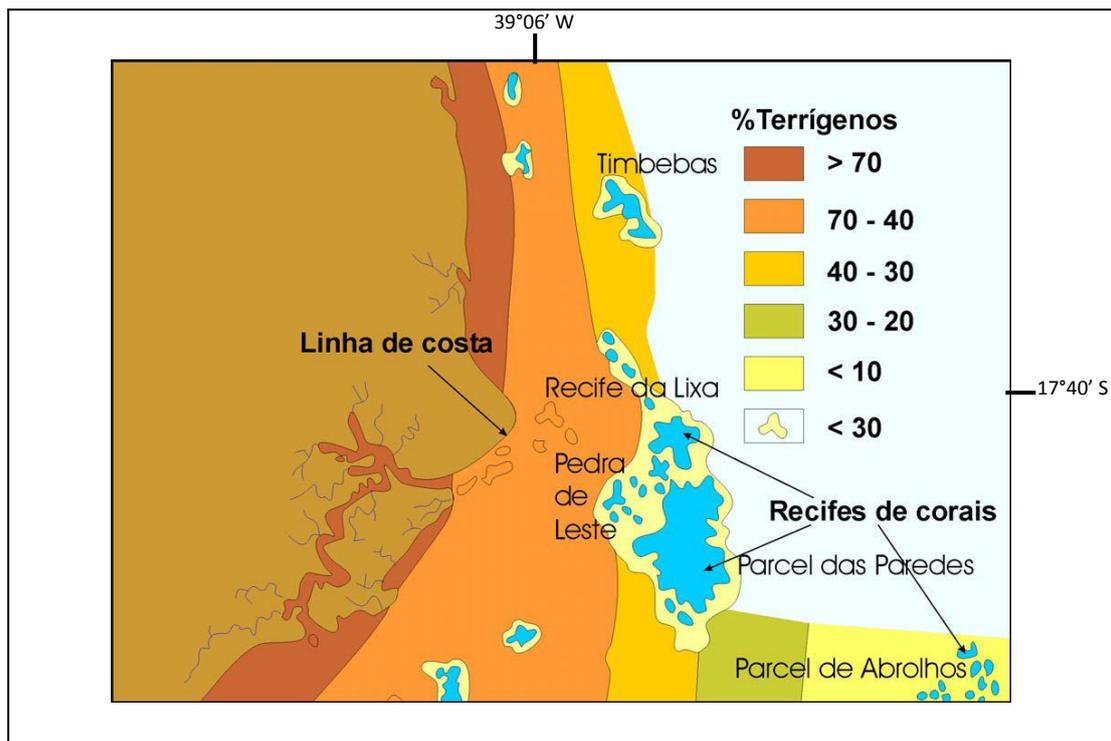


Figura 3. Distribuição do sedimento de fundo da área dos recifes de Abrolhos, ilustrando a transição de sedimento siliciclástico mais próximo da costa para sedimento carbonático costa afora. Fonte: Leão (1982).

3.3 DESCRIÇÃO DOS RECIFES ESTUDADOS

3.3.1 Recife Coroa Vermelha (CV)

Este recife está localizado a 15 km distante da linha da praia, mais ou menos paralelo à costa, nas coordenadas de 17°56'S e 39°11'W. De acordo com descrição de Leão *et al.* (2008) ele apresenta um contorno bastante irregular com pequenos chapeirões isolados (colunas coralinas com forma de cogumelos) no seu entorno. O topo do recife, que aflora durante as marés baixas de sigízia, apresenta-se parcialmente coberto por tapetes de zoantídeos e algas ramosas. Uma crosta construída por camadas sucessivas de algas coralinas e incrustações de gastrópodes vermetídeos protege a borda a barlavento do recife. Na sua porção sul há uma pequena ilha construída por areia carbonática formada de fragmentos esqueletais dos organismos recifais, onde predominam conchas de microgastrópodos de cor avermelhada, o que provavelmente contribuiu para dar o nome ao recife. Esta pequena ilha está a cerca de 1 m acima do nível do mar, tem uma vegetação escassa, com uma única árvore de mangue – a *Avicenia* sp (Figura 4).



Figura 4. Recife da Coroa Vermelha ilustrando na parte central superior da fotografia a pequena ilha carbonática. Fonte: Z.M.A.N. Leão. (Eixo maior da ilha ~3 km).

3.3.2 Recife Pedra de Leste (PL)

O Recife Pedra de Leste faz parte do grupo dos recifes que compõem o Parcel das Paredes, o qual abrange bancos recifais e chapeirões isolados com cerca de 30 km de extensão. O recife Pedra de Leste está localizado nas coordenadas de 39°02'00"W e 17°46'00"S, a 12 km afastado da linha da costa, sendo o recife mais próximo da costa do grupo de recifes do Parcel das Paredes. É um banco recifal isolado, com cerca de 1 km de largura por 3 km de comprimento (Figura 5). Segundo Dutra (2003), devido ao seu formato alongado e a proximidade da costa, este recife pode funcionar como uma espécie de barreira para o fluxo de sedimento na área quer bloqueando o fluxo de água oriunda do mar aberto, ou aprisionando o sedimento proveniente da pluma do rio Caravelas, entre o recife e a costa.



Figura 5. Imagem do Recife Pedra de Leste. Fonte: Google Earth. (Eixo maior do recife ~5 km).

3.3.3 Recife Popa Verde (PV)

Este recife é formado por pináculos corálinos isolados em profundidades iguais e/ou acima de 20 m. Estes pináculos estão afastados cerca de 35 km da costa, e os seus topos estão submersos a mais de 5 m da superfície, daí não serem visualizados nas cartas náuticas (ver sua localização aproximada na figura 2). Colônias grandes, com mais de 1 m de diâmetro dos corais *Mussismilia braziliensis* e *Siderastrea stellata* e do hidrocoral *Millepora alcicornis* são comuns nestes pináculos corálinos. Estes recifes são menos visitados que os demais recifes da área, muito provavelmente pelo fato de não aflorarem e estarem localizados em profundidades acima de 20 m (Leão *et al.*, 2008).

3.4 PARÂMETROS CLIMÁTICOS E OCEANOGRÁFICOS

3.4.1 Climáticos

O clima na costa leste do Brasil é úmido com uma média de temperatura que varia entre 24°C no inverno e 27°C no verão. A média anual de precipitação na região costeira do extremo sul da Bahia é de 1750 mm, sendo que março, abril e maio são os meses mais chuvosos, concentrando 35% de toda a precipitação anual (612 mm) (Nimer, 1989).

O Banco de Abrolhos está localizado na parte sul da área dos ventos alísios. Este sistema de ventos tem duas direções principais: nordeste e leste durante a primavera e o verão (outubro a março) e sudeste durante o outono e o inverno (abril a setembro). Isso ocorre devido a migração, para norte, da célula anticiclone do Atlântico Sul no verão, e para sul no inverno. Durante o inverno o avanço para norte de frentes frias polares dá força aos ventos de sudeste, adicionando uma componente sul-sudoeste na circulação atmosférica (Nimer, 1989).

3.4.2 Oceanográficos

O regime de ventos coincide com as entradas de ondas na região. Durante a primavera/verão (outubro a fevereiro) as ondas são dirigidas pelos ventos de nordeste/leste, chegando a alcançar alturas de 1 m e períodos de 5 s (DHN, 1993). Esta seqüência de ondas provoca o transporte de sedimento em direção sul por deriva litorânea na parte norte da Ponta da Baleia. Já no outono/inverno (março a setembro) dominam as ondas provenientes dos quadrantes sudeste e sudoeste, com alturas significativas de 1,5 m e períodos de 6,5 s (DHN, 1993). E essas frentes-de-onda de nordeste e leste começam a interferir com o fundo marinho a uma profundidade aproximada de 20 m, enquanto as que vêm de sudeste e sul-sudoeste começam a partir dos 35 m (Bittencourt *et al.*, 2000).

Dutra (2003) ao analisar dados oceanográficos de Bittencourt *et al.* (2000), relata que a região de estudo é normalmente caracterizada por baixos níveis de energia de onda, com regiões de sombra de onda e grandes trechos de divergência de raios-de-onda, que são locais de enorme dispersão de sedimento. E afirma que tal fato está associado à grande concentração de recifes que amortecem a energia destas ondas.

As marés, desta região, possuem características semi-diurnais com altura máxima de 2,3 m durante sigízia e mínima de 0,5 m durante quadratura (DHN, 1993). As correntes de maré são regulares, a menos que sejam influenciadas pela força e direção dos ventos, com velocidades médias de 1,0 a 1,5 nós (DHN, 1993). As contínuas misturas das massas de água provocada pela ação dos ventos e das correntes de marés provocam uma homogeneidade na temperatura da água, cuja média é de 27°C (Leipe *et al.*, 1999). De uma maneira geral a temperatura das águas superficiais do mar varia de cerca de 28°C no verão a 24°C no inverno. Na coluna d água a temperatura varia de no

máximo 2°C entre a superfície e o fundo, não apresentando uma estratificação acentuada (DHN, 1993).

A maior corrente oceânica ao longo da região de estudo é a Corrente do Brasil (CB), braço sul da Corrente Equatorial, que flui com velocidade média anual de cerca de 0,7 nós (DHN, 1993). A CB tem origem ao sul (10° S) sendo formada pelo empilhamento das massas de água características do Atlântico Sul. É uma corrente rasa, quente e salina constituída, principalmente, por águas tropicais fluindo próximo à quebra da plataforma (Silveira *et al.*, 2000).

A Corrente do Brasil (CB) no banco de Abrolhos tem uma direção geral norte-sul (Silveira *et al.*, 2000), porém esses autores destacam que na Cadeia Vitória Trindade (~20°S), a CB apresenta-se trifurcada ao escoar através dos montes submarinos transportando Água Tropical e Água Central do Atlântico Sul (ACAS), com um transporte muito mais intenso em torno de 7,0 Sv (1 Sv = 10⁶ m³/s).

A salinidade das águas superficiais no Banco de Abrolhos se mostra estável ao longo de todo o ano com valores em torno de 36,5 (Castro e Miranda, 1998). A principal corrente responsável por esses valores de salinidade é a Corrente do Brasil.

3.5 AS BACIAS HIDROGRÁFICAS DA ÁREA ADJACENTE AOS RECIFES

Os rios que deságuam no litoral próximo ao Banco de Abrolhos apresentam cursos d'água de caráter perene e intermitente. Possuem bacias de pequena expressão, das quais se destacam os rios Jucuruçu, Itanhém, Peruípe e Mucuri (Figura 6, Tabela 2). Suas nascentes, à exceção do rio Mucuri, estão localizadas nas serras da Faixa de Dobramentos Araçuaí, no estado de Minas Gerais e na divisa deste estado com a Bahia. A superfície da bacia de captação destes rios no estado da Bahia totaliza 23.750 km², e a baixa altitude da planície costeira permite a invasão constante dos recursos hídricos superficiais pela água salgada do mar (Andrade, 1994). Segundo ainda esta autora a possibilidade da influência de um rio de maior porte na região dos recifes seria do rio Jequitinhonha que está localizado a cerca de 200 km ao norte e provavelmente seu aporte sedimentar poderá alcançar os recifes do arco costeiro. Leão (1982) reporta a presença de grãos de feldspato e de mica no sedimento do fundo da área próxima aos recifes do arco costeiro de Abrolhos, os quais são, muito provavelmente, provenientes

das descargas do rio Jequitinhonha, o qual banha afloramentos rochosos ricos nestes minerais.

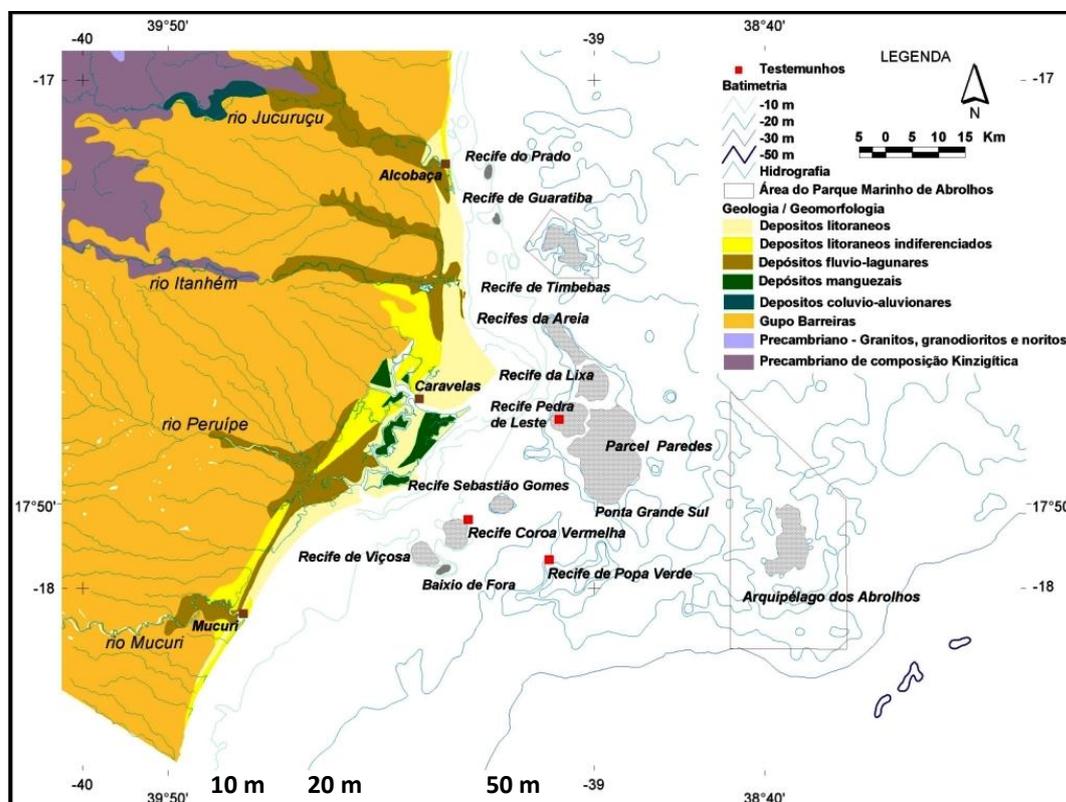


Figura 6. Mapa de situação da área de estudo ilustrando a localização dos principais rios que desembocam próximos aos recifes costeiros de Abrolhos. Quadrados vermelhos indicam a localização dos recifes Pedra de Leste, Coroa Vermelha e Popa Verde onde foram coletados os testemunhos de sedimento estudados neste trabalho. Fonte do mapa: Martin *et al.*, (1980), modificado pela CBPM (2000).

Tabela 2. Dados das vazões dos principais rios que desembocam próximo aos recifes costeiros da região de Abrolhos. Fonte dos dados: Andrade (1994).

Dados de vazões dos rios	Máxima	Média	Mínima
Rio Jucuruçu	217 m ³ /s	27,4 m ³ /s	4,1 m ³ /s
Rio Itanhém	432 m ³ /s	33,4 m ³ /s	5,1 m ³ /s
Rio Peruípe	95,7 m ³ /s	21,4 m ³ /s	6,9 m ³ /s
Rio Mucuri	-----	105,7 m ³ /s	21,0 m ³ /s

4. REVISÃO TEÓRICA

4.1 FONTE DO SEDIMENTO DO FUNDO OCEÂNICO NA REGIÃO DOS RECIFES DE ABROLHOS

Segundo dados de Leão (1982) e Leão e Ginsburg (1997) o sedimento superficial do fundo marinho na região dos recifes de Abrolhos tem dois componentes principais: sedimento siliciclástico (terrígeno) e sedimento biogênico (carbonático).

Os componentes siliciclásticos ocorrem principalmente no arco costeiro. Leão (1982) registrou em seu trabalho uma alta percentagem de sedimento siliciclástico nos recifes próximos da costa, contendo entre 30% e 70% de material terrígeno (Figura 3). Esses valores normalmente não são encontrados nos recifes mais distantes da costa, onde predomina material bioclástico.

O material retrabalhado originado da erosão das falésias costeiras (sedimentos terciários do Grupo Barreiras), e o aporte fluvial transportado para a área por correntes ao longo da costa são as duas principais fontes de sedimento de origem terrígena. Os grãos de quartzo, mais encontrados ao longo das praias, mica e os argilo-minerais: caulinita e ílita, os quais acumulam-se preferencialmente nas áreas mais profundas ao redor dos recifes, e raros feldspatos são os principais componentes do sedimento siliciclásticos (Leão, 1982).

Netto (2008) ao analisar a presença de argilo-minerais em amostras de sedimento recifal de Abrolhos, através da difratometria de raios-X, encontrou a presença predominante de caulinita, e secundariamente quartzo, mica, esmectita e ílita. E observou, também, a presença de aragonita e calcita, estes minerais são provenientes da atividade fisiológica dos organismos marinhos.

O sedimento de origem biogênica é composto por grãos de origem carbonática oriundos de diversos organismos, animais e vegetais, os quais precipitam carbonato de cálcio. Dentre esses animais e vegetais, os mais encontrados na forma de esqueletos e conchas acumulados no fundo oceânico são: os corais, os foraminíferos, os moluscos, os equinodermos e as algas calcárias. A forma detrítica dos grãos biogênicos é formada pela quebra da estrutura recifal, de maneira que os fragmentos de alga coralina, mais comum no topo e nas áreas recifais que bordejam os recifes, são os fragmentos mais abundantes (Leão, 1982; Leão e Ginsburg, 1997).

Os fragmentos de molusco, equinonema, foraminífero, ostrácode, briozoário e alga calcária (principalmente *Halimeda*) são os grãos bioclásticos mais encontrados na fração areia. A bioerosão causada por vários organismos resulta em parte da fração fina do sedimento

carbonático, que é depositada no fundo dos canais inter-recifais. E em períodos de fortes ondas e correntes, este sedimento fino é ressuspensão deixando a água turva. Os rodolitos, grãos formados pelo crescimento de algas calcárias vermelhas, são um dos principais componentes da fração grossa (cascalho) (Leão *et al.*, 2006).

4.2 O TRANSPORTE DE SEDIMENTO NO AMBIENTE RECIFAL: PROCESSOS NATURAIS E DE ORIGEM ANTROPOGÊNICA

É através dos rios que a maior parte do sedimento é importada para dentro dos sistemas costeiros marinhos, sendo que os grãos mais finos (silte e argila) podem ser transportados por longas distâncias, enquanto que uma percentagem maior que 95% do total do sedimento das frações arenosas é depositada dentro de poucos quilômetros das desembocaduras dos rios (Hodgson, 1993).

As mudanças climáticas e também as ações antropogênicas que diminuem a carga sedimentar dos rios, como, por exemplo, a construção de represas, ou as ações que promovem o aumento dessa carga sedimentar, como desmatamento e uso intensivo do solo, são citadas como as principais causas de variações da descarga de sedimento lançada no mar proveniente dos grandes rios do mundo (Milliman *et al.*, 1987).

Portanto, pode-se dizer que a sedimentação é um processo resultante não apenas de fontes naturais (descarga fluvial, erosão costeira e enxurradas), mas também sofre influência dos processos de natureza antropogênica (desmatamento, ocupação humana na região costeira, dragagem). Esses processos tem como resultado o aumento significativo de sedimento terrígeno no ambiente recifal, provocando a degradação dos recifes de coral. Este sedimento terrígeno ao ser ressuspensão, por ação de ondas ou tráfegos de navios, pode desenvolver uma pluma de sedimento fino que é transportada, através de correntes, ao longo dos recifes (Acevedo *et al.*, 1989). E este sedimento fino pode afetar negativamente a estrutura e o funcionamento do ecossistema recifal por alterar os seus processos físicos e biológicos (Rogers, 1990).

Devido à sua localização, os recifes costeiros da região de Abrolhos estão próximos a pequenos e grandes rios da região. Essa proximidade confere a esses recifes uma maior exposição à pluma de sedimento proveniente de vários processos de transporte do sedimento oriundo das descargas fluviais de origem continental (Figura 7). Estas descargas podem estar associadas a pequenos rios que desembocam na costa adjacente aos recifes (ver figura 6), e dos rios de maior porte localizados ao norte ou ao sul da área dos recifes a exemplo, respectivamente, dos rios Jequitinhonha e Mucuri.

O sedimento produzido no continente e transportado para a zona costeira, pelas bacias hidrográficas da região de Abrolhos, nos meses de novembro a abril, apresenta uma tendência de deposição das partículas clásticas de origem continental no canal de Sueste, situado entre a linha de costa e os recifes costeiros de Abrolhos, ou o deslocamento desta carga sedimentar para sul/sudoeste. Esse comportamento das partículas clásticas está relacionado com os ventos de nordeste e leste, atuantes no período onde ocorrem as maiores vazões hidrológicas, novembro a abril (Minervino Netto, 2008).

Entretanto Segal *et al.* (2008) após a comparação, durante um ano, do regime de chuvas com a dinâmica das plumas de sedimento e a trajetória das frentes polares observaram que houve um aumento de 100% do fluxo de sedimento durante o inverno em comparação com o verão, e concluíram que a atividade das frentes polares é o maior contribuidor para a intensificação dos processos de sedimentação na área dos recifes desta região, apesar da descarga fluvial proveniente do continente.

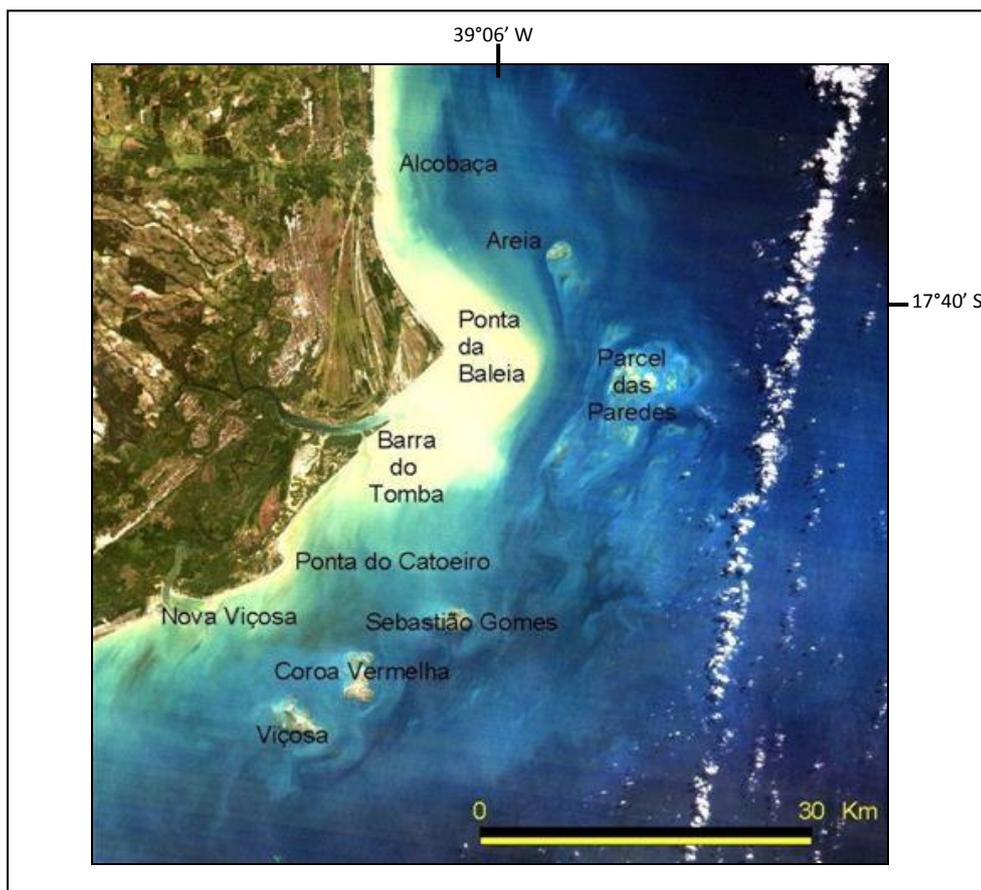


Figura 7. Imagem ilustrando a pluma de sedimento em suspensão na zona próxima do continente onde estão localizados os recifes costeiros da região de Abrolhos.

Mais recentemente, em janeiro de 2002 foi iniciado, próximo à região dos recifes costeiros de Abrolhos, um projeto de dragagem do delta de maré vazante, no local denominado Canal do Tomba, uma passagem natural através do mangue entre o rio Caravelas e o oceano, para a construção de uma via de acesso a um terminal de barcas. Com o objetivo de monitorar a extensão espacial de possíveis impactos associados à dispersão da pluma de sedimento gerada pela operação da dragagem sobre os recifes, Lessa *et al.* (2005) realizaram análises para determinar os padrões da sedimentação nas áreas dos recifes próximos a esse canal, usando armadilhas de sedimento para determinação (semanal) das concentrações de sedimento em suspensão e coleta das informações sobre os padrões das correntes, ondas e turbidez da água.

Ao longo dos três anos de monitoramento os autores citados observaram uma mudança no padrão de circulação eólica anual, com ventos de S-SE tornando-se continuamente mais frequentes. Esta mudança resultou em alterações no padrão de distribuição das correntes costeiras (as quais passaram a ter uma componente paralela à costa N-S mais importante), no aumento da altura das ondas e, por conseguinte, no aumento dos níveis de turbidez, que foram mais acentuados próximo a linha de costa e mais especificamente no entorno dos locais de dragagem e descarte. Durante este trabalho os autores concluíram que o aumento da turbidez na região de estudo, em três anos de monitoramento, foi causado por fenômenos físicos naturais não se associando assim às atividades de dragagem. E que a inexistência de uma tendência de aumento da sedimentação, sobre os recifes, reforça a conclusão de que os impactos da dragagem no Canal do Tomba tem abrangência restrita à área de operação.

Não apenas em escala regional (Abrolhos), mas também em escala global, os recifes vêm sofrendo com a elevada sedimentação. E, de uma maneira geral, diversos estudos têm mostrado que ações induzidas pela atividade humana têm contribuído de alguma forma para os processos de sedimentação nas áreas recifais. Larcombe e Woolfe (1999), por exemplo, com base em estudos realizados na Grande Barreira de Recifes da Austrália, apontam que a taxa de fornecimento de sedimento terrígeno para a linha de costa ao longo da área onde estão os recifes, aumentou nos últimos 200 anos muito provavelmente devido aos impactos humanos sobre a parte central da bacia de Queensland.

4.3 A UTILIZAÇÃO DE TESTEMUNHOS PARA ANÁLISES SEDIMENTARES EM ÁREAS RECIFAIS

Após a consolidação dos métodos de datação absoluta utilizando os elementos isotópicos, no início do século XX, foram observados muitos avanços em pesquisas que utilizam testemunhos de sedimento no estudo de seqüências sedimentares. Segundo Lauer-Leredde *et al.*

(1998) os resultados gerados pela datação absoluta através de elementos isotópicos têm permitido a recuperação de informações dos ambientes testemunhados, onde as tradicionais técnicas de investigação em sedimentologia, mineralogia e geoquímica têm sido utilizadas para descrever e elucidar questões paleoambientais, sobretudo de implicações paleoclimáticas.

Para ressaltar a importância da utilização dos testemunhos na sedimentologia dos ambientes recifais, Rogers (1990) destaca que os esqueletos de muitos dos organismos recifais contêm um registro histórico de eventos da sedimentação, devido ao fato desses organismos comportarem-se como verdadeiras “armadilhas de sedimento”, sobretudo do material proveniente do continente. Por exemplo, através das análises de pólen e datações de radiocarbono de componentes do sedimento contido nos testemunhos é possível estabelecer uma leitura adicional sobre os processos de sedimentação que influenciam no desenvolvimento dos recifes de coral.

De uma maneira geral, nas investigações utilizando testemunhos de sedimento, um método fundamental empregado é a datação através de elementos isotópicos do sedimento, assim como a determinação da taxa de acumulação do sedimento contido nos testemunhos. O traçador geocronológico Pb^{210} , por exemplo, tem sido bastante utilizado em uma grande variedade de ambientes, tais como lagos, estuários, planícies de maré, plataformas e taludes continentais, e até mesmo em sedimentos de mares profundos, devido ao fato do Pb^{210} ser quimicamente imóvel (Robbins e Edgington, 1975; Chung e Chang, 1995; Tylmann, 2004; Tylmann *et al.*, 2009). Nestes estudos foi possível detectar que o método geocronológico utilizando o Pb^{210} foi importante para avaliar as variações observadas nas taxas de sedimentação relacionadas com mudanças ambientais, sobretudo aquelas decorrentes das pressões antropogênicas.

No ambiente recifal, os estudos de Storlazzi *et al.* (2009) nos sedimentos dos recifes da Hanalei Bay, na ilha de Kauai (Hawaii), mostram que os gradientes hidrodinâmicos causaram diferenças significativas nas taxas de sedimentação e no modo e tempo de deposição e de ressuspensão dos sedimentos nos recifes costeiros, em uma escala de tempo diferente dos recifes distantes da costa. Os autores concluíram que alterações ambientais causadas por efeitos de ações antropogênicas acompanhadas das condições hidrodinâmicas “calmas” típicas do verão, foram responsáveis pelo aumento da taxa de sedimentação nos recifes costeiros.

Na região de Abrolhos Minervino Netto (2008) utilizou para determinar a taxa de acumulação de sedimento, a atividade do Pb^{210} e ressalta que uma série de propriedades nucleares e químicas combina-se para tornar esse elemento um traçador útil no estudo de ambientes marinhos. Ele chama a atenção, ainda, que a utilização de testemunhos de sondagem em sedimentos inconsolidados com o objetivo de reconstruir o histórico da atividade humana

sobre os ambientes naturais, utilizando para tal fim elementos isotópicos de meia-vida curta como, por exemplo, o Th^{228} (1,91 anos), o Pb^{210} (22,3 anos), o Cs^{137} (30 anos) e o Si^{21} (276 anos), têm sido uma promissora ferramenta para diagnosticar habitats naturais que passaram por alterações estruturais e composicionais. E, assim, se poderá determinar as mudanças ambientais decorrentes das atividades humanas, na superfície da terra, através da história deposicional de um determinado ambiente.

4.4 A SEDIMENTAÇÃO NOS RECIFES DE CORAL E SEUS PRINCIPAIS EFEITOS

Inúmeros trabalhos têm demonstrado que a sedimentação é um fator importante que tem grande influência no grau de degradação dos recifes de coral. Segundo Cortés e Risk (1985) os recifes que convivem com taxas de sedimentação moderada já apresentam algum grau de degradação, e quando esta taxa atinge valores elevados de sedimentação levam os recifes a situações catastróficas.

Rogers (1990) avaliando, também, o efeito da sedimentação em recifes de coral afirma que áreas recifais com taxa de sedimentação aceitável num recife de coral saudável está, no máximo, em torno de $10 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, a sedimentação é considerada moderada quando apresenta valores entre $10 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e $50 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, porém quando as taxas de sedimentação atingem valores maiores que $50 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, apesar de haver a possibilidade de ocorrer uma cobertura de coral vivo em média de 40%, há uma diminuição significativa na biodiversidade do recife e no número de espécies de corais.

A taxa de acumulação de sedimento nas áreas recifais pode variar dependendo de vários fatores, sobretudo da distância dos recifes da linha da costa e da morfologia da estrutura recifal. A proximidade dos recifes da costa deixa-os expostos aos aportes sedimentares das desembocaduras dos rios localizados na área continental adjacente. E a morfologia da estrutura recifal é um fator importante no processo de acumulação do sedimento, pois pode funcionar tanto como uma barreira física que bloqueia o fluxo de sedimento continente costa afora, como pode impedir a circulação da água mar adentro.

Dutra *et al.* (2006) avaliaram as variações encontradas nas taxas de acumulação do sedimento na região dos recifes de Abrolhos e observaram que a morfologia dos recifes desta região tem um papel importante nos processos responsáveis pela acumulação do sedimento, ou seja, nas áreas mais rasas a presença dos bancos recifais com dimensões laterais na faixa de quilômetros, e das colunas coralinas estreitas isoladas (chapeirões), explicam as diferenças encontradas na taxa do sedimento aprisionado no entorno das estruturas recifais. Os recifes em forma de bancos alongados, paralelos à costa estão funcionando como uma barreira física

bloqueando a água que flui para o mar aberto, atuando, então, como armadilhas de sedimento, enquanto que os pináculos coralinos isolados em profundidades em torno de 10 m, permitem que haja circulação da água impedindo que os sedimentos se acumulem nos seus arredores. Isto pode explicar as diferentes taxas de acumulação de sedimento encontradas pelo autor nos recifes em forma de bancos alongados (mais altas), a exemplo dos recifes Coroa Vermelha e Pedra de Leste, em relação às estações dos recifes em forma de pináculos coralinos isolados (mais baixas), por exemplo o recife Timbebas, apesar de todos eles estarem localizados em distâncias mais ou menos similares da costa.

Desta forma, conhecer a morfologia da região estudada é de grande importância no estudo da sedimentação, e mais ainda quando aliada a parâmetros ambientais importantes. Por exemplo, aspectos morfológicos confrontados com o conjunto das informações climáticas e oceanográficas estabelecem uma importante ferramenta para o entendimento da dispersão de sedimento no ambiente.

O tipo de sedimento que chega ao ambiente recifal é, também, um fator importante para o grau de degradação dos recifes de coral. Segundo Anthony e Larcombe (2000), a depender da posição em que os corais estão localizados no recife, eles estão expostos a receber diferentes tipos de sedimentos, os quais poderão variar em tempo e escala de alguns segundos (turbulência) para dias e até variações sazonais. Segundo estes autores, as partículas de sedimento de dimensões maiores (tamanho areia) que estão em suspensão, são capazes de causar a abrasão mais do que as partículas pequenas (tamanho silte), o que pode potencialmente provocar a perda de tecido dos corais, reforçando sua taxa de excreção e de energia necessária para reparar, em vez de crescer. Ainda, essas partículas maiores são, também, mais facilmente capturadas pelos tentáculos alimentadores dos organismos filtradores, enquanto que as partículas tamanho silte permanecem suspensas na água causando, assim, um estresse significativamente menor comparado com as partículas tamanho areia.

De uma maneira geral, o aumento de sedimento de origem terrígena pode provocar o declínio dos ambientes recifais afetados e reduzir, significativamente, a biodiversidade de animais e vegetais que sobrevivem neste ambiente.

4.4.1 Redução da cobertura viva e da diversidade dos corais e de outros organismos recifais

Os dois principais efeitos da sedimentação sobre os recifes de corais, descritos na literatura, são a redução da cobertura de coral vivo e da diversidade dos corais e de outros organismos do

ambiente recifal. Dutra (2003) fez uma síntese de diversos trabalhos os quais descrevem os efeitos da sedimentação sobre a cobertura de coral vivo e a diversidade nos recifes, a qual está descrita na Tabela 3. De um modo geral observa-se que para um grande número de espécies a taxa de acumulação de sedimento acima de $15 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ é um fator negativo quer para o percentual de cobertura de coral vivo, como para a diversidade dos corais.

Tabela 3. Síntese dos trabalhos relacionando o efeito do aporte de sedimento sobre a cobertura viva e a diversidade dos corais em recifes de várias regiões do globo. Fonte: Dutra (2003).

Resultados encontrados	Espécies estudadas	Local	Referência
Cobertura viva e a diversidade de corais foram reduzidas em recifes localizados próximos a fontes de sedimento terrígeno. Estes parâmetros aumentaram com a distância da costa.	<i>Montastrea annularis</i> , <i>M. cavernosa</i> , <i>Agaricia agaricites</i> , <i>A. lamarcki</i> , <i>Porites astreoides</i> , <i>Siderastrea siderea</i> , <i>Meandrina meandrites</i> , <i>Colpophylla natans</i> , <i>Diploria strigosa</i> , <i>D. labyrinthiformis</i> , <i>Stephanocoenia michelini</i> , <i>Madracis decactis</i> , <i>Mycetophyllia ferox</i> , <i>M. lamarcki</i> , <i>Acropora cervicornis</i>	Porto Rico	Acevedo & Morelock (1988)
Cobertura viva e diversidade diminuíram com taxas de acumulação $> 15 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.	<i>Montastrea cavernosa</i> , <i>Siderastrea radians</i> , <i>S. siderea</i> , <i>Diploria strigosa</i> e <i>Meandrina meandrites</i> .	Porto Rico	Loya (1976)
Cobertura de corais moles é maior que a de corais vivos em recifes expostos ao aporte de sedimentos terrígenos	<i>Goniastrea retiformis</i> , <i>Porites cf. australiensis</i> e <i>Acropora spp.</i>	Quênia (Oceano Índico)	van Katwijk <i>et al.</i> (1993)
Redução de 30 a 50% da diversidade de espécies de corais nos recifes expostos à sedimentação e/ou poluição continental.	Diversas espécies	Indonésia	Edinger <i>et al.</i> (1998)
Redução na cobertura viva e na diversidade dos corais nos recifes com altas taxas de ressuspensão	Diversas espécies	Costa Rica	Cortés (1993); Cortés & Risk (1985)
Redução na cobertura e diversidade com o aumento das taxas de acumulação de sedimento.	Diversas espécies	Filipinas	Hodgson (1993)
Redução da cobertura viva onde a taxa de acumulação média de sedimento é maior que $15 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$	<i>Siderastrea stellata</i> , <i>Porites astreoides</i> , <i>Favia leptophylla</i> , <i>Montastrea cavernosa</i> , <i>Mussismilia hartii</i> , <i>M. braziliensis</i> , <i>M. hispida</i> , <i>Millepora alcicornis</i> , <i>M. nitida</i> .	Abrolhos, Bahia, Brasil	Dutra (2003)

4.4.2 Mudanças no crescimento e na morfologia das colônias dos corais com o aumento da sedimentação

Sabe-se que o crescimento do esqueleto dos corais representa o resultado final de diversos processos fisiológicos, os quais podem ser alterados por variadas condições ambientais (Rogers, 1990). Entretanto esta autora salienta que não está claro, ainda, o que faz com que o coral deixe de crescer na presença de excesso de sedimento, pois o crescimento dos corais não é um simples indicador de excessiva sedimentação, uma vez que o esqueleto desses organismos cresce em uma função linear de extensão, densidade e calcificação, e estes três parâmetros podem variar independentemente. E de forma complementar, Woolf e Larcombe (1999) relatam que estudos têm mostrado que a ocorrência de águas turvas e/ou sedimentação terrígena não necessariamente excluem a possibilidade do crescimento recifal.

Apesar destas informações da literatura, Rogers (1990) afirma que, de uma maneira geral, uma mudança registrada nas dimensões dos corais pode sim ser um bom indicativo dos efeitos do incremento de aporte de sedimento. E que o crescimento do coral e sua sobrevivência são fisicamente afetados por sedimentos de três modos principais:

1. A acumulação de sedimento pode reduzir o desempenho do coral através do excessivo uso de energia nos mecanismos de mobilização do sedimento. Elevados níveis de acumulação podem fisicamente asfixiar os pólipos do coral;
2. Elevados níveis de sedimento em suspensão na coluna d'água decrescerão os níveis de luminosidade de modo que a fotossíntese das algas que vivem nos tecidos do coral será limitada ou interrompida, e
3. Os tecidos moles do coral podem ser destruídos através da abrasão ou por impacto das partículas de sedimento, especialmente os grãos tamanho areia.

O que reforça a afirmação acima feita por Rogers (1990), são os registros feitos por diversos pesquisadores em diferentes lugares do mundo acerca da redução do crescimento de coral na presença de uma elevada sedimentação. Estes estudos foram sintetizados por Dutra (2003) e estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4. Síntese dos trabalhos relacionando o efeito do aporte de sedimento sobre o crescimento dos corais. Fonte: Dutra (2003).

Resultados encontrados	Espécies estudadas	Local	Referência
Índices de ressuspensão de sedimento de até 19 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹ inibem a fixação e o crescimento de espécies filtradoras, reduzem a diversidade infaunal e o crescimento de corais.	<i>Montastrea annularis</i>	Jamaica	Aller & Dodge (1974)
Diminuição das taxas de crescimento em decorrência da sedimentação	<i>Montastrea annularis</i>	Porto Rico	Torres, 2001
O crescimento de corais foi afetado pelo aporte do sedimento em decorrência de dragagem que ocorreu 36 anos antes do estudo.	<i>Diploria strigosa</i> e <i>D. labyrinthiformis</i>	Bermudas	Dodge & Vaisnys (1977)
Tendência inversa significativa entre os valores de ressuspensão de sedimento e o crescimento de corais	<i>Montastrea annularis</i> e <i>Stephanocoenia sp.</i>	Jamaica	Dodge <i>et al.</i> (1974)
Baixa cobertura viva e diversidade de corais, diâmetros médios elevados das colônias e baixo crescimento de corais em um recife com altas taxas de ressuspensão de sedimento.		Costa Rica	Cortés & Risk (1985)
<i>Millepora alcicornis</i> diminui o Tamanho das colônias onde a média da taxa de acumulação de sedimento é maior que 15 mg.cm ⁻² .dia ⁻¹ .	<i>Siderastrea stellata</i> , <i>Porites astreoides</i> , <i>Favia leptophylla</i> , <i>Montastrea cavernosa</i> , <i>Mussismilia harttii</i> , <i>M. braziliensis</i> , <i>M. hispida</i> , <i>Millepora alcicornis</i> , <i>M. nitida</i> .	Abrolhos, Bahia, Brasil	Dutra (2003)

5. METODOLOGIA

5.1 COLETA DOS TESTEMUNHOS

Três testemunhos de sedimento foram coletados para análise neste trabalho nos recifes Coroa Vermelha (CV), Pedra de Leste (PL) e Popa Verde (PV). A tabela cinco apresenta a distância da costa (km) e a profundidade de penetração (cm) dos três testemunhos coletados.

Tabela 5. Medidas aproximadas da distância da costa e profundidade de penetração dos testemunhos coletados no entorno dos recifes Coroa Vermelha, Pedra de Leste e Popa Verde.

Recifes	Distância da costa km	Profundidade de penetração do testemunho cm
Coroa Vermelha	15	73
Pedra de Leste	12	81
Popa Verde	35	80

Os testemunhos foram coletados pelo Prof. Dr. Ruy Kenji Papa de Kikuchi e sua equipe em setembro de 2008, utilizando tubos de PVC com tamanhos variados. Os testemunhos foram transportados resfriados até Salvador, e mantidos resfriados no Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade Federal da Bahia (Figura 8).



Figura 8. Testemunho coletado em tubo de PVC.

5.2 ABERTURA E FRACIONAMENTO DOS TESTEMUNHOS

Para selecionar as amostras de sedimento a ser analisadas, o tubo de PVC do primeiro testemunho, do recife Coroa Vermelha, foi aberto com o auxílio de uma estrutura de fixação e serra, tendo sido aberto longitudinalmente ao longo de duas linhas opostas, do topo até a base. Nos outros dois testemunhos (Popa Verde e Pedra de Leste) não foi utilizada a serra, o testemunho foi retirado do freezer aproximadamente meia hora antes da abertura. Com o sedimento menos congelado o testemunho foi aberto pelo topo, retirando a tampa do tubo de PVC, e com o auxílio de um suporte ele foi empurrado para fora do tubo à medida que as amostras foram sendo fracionadas (Figura 9). A segunda técnica de abertura foi mais eficiente uma vez que reduziu bastante o tempo gasto com a abertura e o fracionamento dos testemunhos.

Cada testemunho foi fracionado em alíquotas, de aproximadamente 1 cm, constituindo as amostras a serem analisadas. As amostras foram acondicionadas em placas de Petri (Figura 10), devidamente identificadas e reservadas para pesagem. Tendo em vista que os testemunhos apresentaram comprimentos diferentes (entre 45 e 75 cm), sedimento granulometricamente diferente, porosidade, empacotamento das camadas sedimentares e o teor de água presente em cada um deles, também variados, foram então obtidas diferentes quantidades de alíquotas. A Tabela 06 ilustra o número total de alíquotas, o espaçamento entre os locais de coleta das amostras e os tipos de análises efetuadas. Nos apêndices 1, 2, 3, estão listados os parâmetros avaliados nos testemunhos dos três recifes estudados.

Com exceção das análises isotópicas que foram realizadas no Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade Federal da Bahia (UFBA), as demais análises e procedimentos foram realizados no Instituto de Geociências (IGEO) da UFBA.



Figura 9. Testemunho sendo preparado para abertura da cápsula de PVC e posterior coleta das frações de sedimento.



Figura 10. Amostras do sedimento dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha, Pedra de Leste e Popa Verde acondicionadas em placas de Petri.

Tabela 6. Quantidade de alíquotas (amostras), distanciamento de corte e análises efetuadas para cada testemunho.

Recifes	Código	Quantidade de alíquotas	Distanciamento de corte	Análises efetuadas
Coroa Vermelha	CV	45	Amostra 1 = 0,5 cm Amostra 2 = 1,5 cm Amostras 3-45 = 1 cm	Granulometria, difratometria raios-X, componentes biogênicos, teor carbonato de cálcio, taxa sedimentação
Pedra de Leste	PL	73	Amostras 1 = 2 cm Amostras 2-73 = 1 cm	Granulometria, difratometria raios-X, componentes biogênicos, teor carbonato de cálcio
Popa Verde	PV	62	Amostras 1-62 = 1 cm	Granulometria, difratometria raios-X, componentes biogênicos, teor carbonato de cálcio, taxa sedimentação

A cor do sedimento foi determinada utilizando-se a escala de cores da *Rock-color Chart* de Goddard *et al.* (1963). As amostras foram pesadas em balança analítica (Figura 11), avaliando-se o peso úmido e o peso seco. Para secagem das amostras foram utilizadas estufas (Figura 12) com temperatura em torno de 45°C. Após estes procedimentos as amostras foram armazenadas em sacos plásticos de 10 X 20 cm, com peso médio aproximado de 1g, e devidamente codificadas com siglas que identificam o local de coleta e enumeradas a partir do topo (amostra nº1) dos testemunhos.



Figura 11. Balança analítica utilizada para pesagem das amostras.

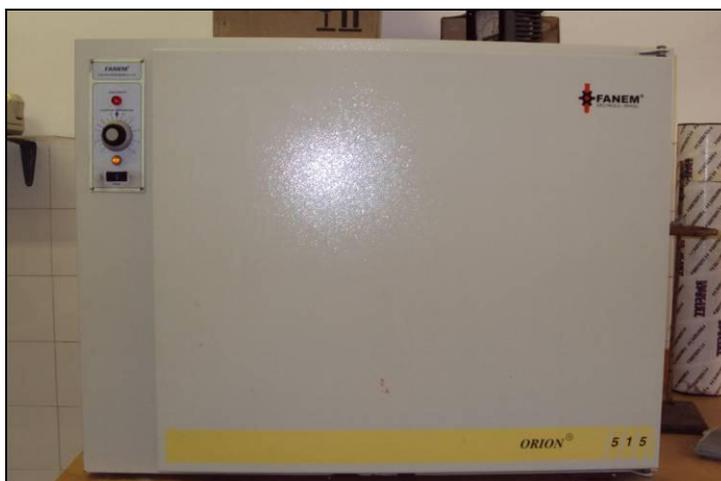


Figura 12. Estufa utilizada para secar as amostras.

5.3 ANÁLISE ISOTÓPICA PELO MÉTODO DO Pb^{210}

A taxa de acumulação do sedimento presente nos testemunhos foi determinada a partir do Pb^{210} . A leitura do Pb^{210} nas amostras foi realizada em um espectrômetro que mede a atividade das radiações gama (radiação eletromagnética) (Figura 13), emitida pelo [Pb^{210} total]. Porém, a taxa de sedimentação dos testemunhos é medida a partir da atividade do Pb^{210} em excesso. E o Pb^{210} em excesso é medido pela diferença entre a atividade do Pb^{210} total, e a atividade do Pb^{210} suportado, ou seja: $[Pb^{210} \text{ excesso}] = [Pb^{210} \text{ total}] - [Pb^{210} \text{ suportado}]$. Sendo que o Pb^{210} suportado é o produzido *in situ* através do decaimento do Ra^{226} presente nos minerais do sedimento. Para esta análise foram retirados 10 mg de cada amostra.

Estas sub-amostras foram maceradas com o auxílio de um grau e pistilo de porcelana e colocadas em tubos plásticos devidamente identificados para pesagem (Figura 14).



Figura 13. Espectrômetro de radiação gama (indicado na seta), do Laboratório de Física Nuclear da Universidade Federal da Bahia, o qual foi utilizado para medir a atividade radioativa do Pb^{210} .

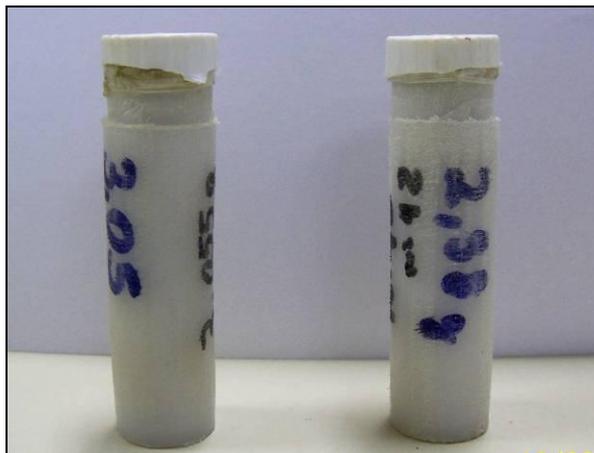


Figura 14. Tubos plásticos contendo as amostras de sedimento para análise no espectrômetro de massa.

5.4 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Para a análise granulométrica foram utilizadas aproximadamente 3 g de sedimento para cada amostra dos três testemunhos (CV, PL e PV). Esta análise foi realizada em um granulômetro (Figura 15), onde a textura do sedimento é apresentada em forma gráfica e tabelas com os dados das frações areia, silte e argila em escala ϕ . Esses dados são gerados em frequência acumulativa das frações, onde as frações areia, silte e argila totalizam 100%.



Figura 15. Granulômetro utilizado para as análises texturais do sedimento dos testemunhos estudados.

5.5 ANÁLISE DO TEOR DE CARBONATO DE CÁLCIO NO SEDIMENTO – MÉTODO ADAPTADO DA EMBRAPA (1997)

Para a análise do teor de carbonato de cálcio das amostras foi utilizado o método do equivalente de carbonato de cálcio da EMBRAPA (1997), proposto para análise de solos com adaptações para as amostras de sedimento marinho.

O princípio do método de determinação do equivalente de carbonato de cálcio constitui no ataque da amostra com excesso de solução padrão de HCl e titulação do excesso de ácido com solução de NaOH padrão. A diferença entre os cmol/L adicionados e os titulados representa a massa de CaCO_3 da amostra.

Devido a homogeneidade observada entre as amostras ao longo do testemunho, para esta análise foram utilizadas cinco amostras de cada testemunho: uma amostra do topo, três amostras da parte intermediária dos testemunhos e uma da sua base.

O procedimento desta análise consistiu no seguinte:

a) cerca de 0,5 g de cada amostra foi colocado em Erlenmeyer de 100 ml, onde foi adicionado 25 ml de HCl 0,5M (solução padrão) por meio de pipeta volumétrica (Figura 16). Em seguida as amostras foram homogeneizadas manualmente e deixadas agir por cinco minutos. No momento em que se adicionou HCl nas amostras foi possível se ter uma idéia geral da quantidade de carbonato de cálcio através da efervescência da amostra.



Figura 16. Adição de HCl nas amostras para titulação.

b) a mistura (amostra + HCl) foi aquecida durante 5 minutos em placa aquecedora (Figura 17) (temperatura inferior a 100°C) para acelerar a reação. Em seguida as amostras foram homogeneizadas periodicamente, e deixadas esfriar em temperatura ambiente;



Figura 17. Amostras na placa aquecedora para acelerar a reação (amostra + HCl).

c) após o resfriamento das amostras, as paredes do Erlenmeyer foram lavadas com água deionizada, e então foram adicionadas, à cada amostra, três gotas do indicador fenolftaleína 1% (Figura 18) e, novamente, homogeneizadas. A seguir cada amostra foi titulada com solução de NaOH 0,25M (solução padrão) (Figura 19).



Figura 18. Adição de três gotas de fenolftaleína nas amostras para titulação.

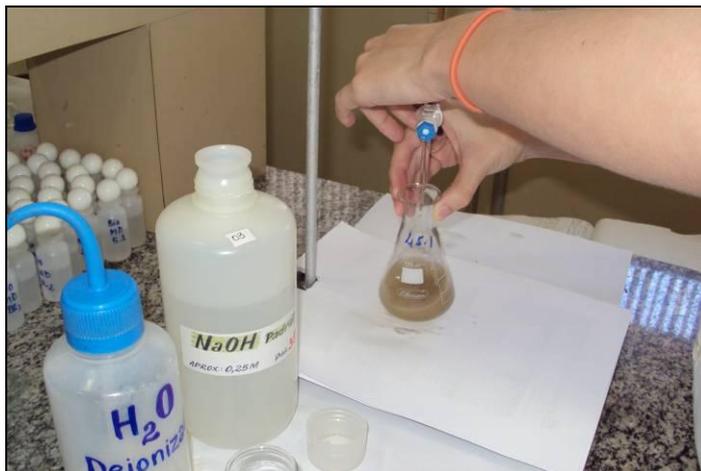


Figura 19. Amostra sendo titulada com NaOH.

O indicador fenolftaleína muda a coloração da amostra de transparente para rosa assim que o NaOH se encontra em excesso durante a titulação (ponto de virada) (Figura 20). O ponto de virada (a mudança do transparente para o rosa) ocorre quando a amostra adquire uma coloração de rosa bem fraco e mantém esta coloração por cerca de 30 segundos. É bom chamar a atenção que a amostra pode reagir com o CO_2 atmosférico e dar origem ao ácido carbônico (H_2CO_3) após este período de tempo e a solução pode voltar a ter o aspecto transparente inicial. A mudança da coloração é bastante tênue, o que exige atenção no momento da titulação.

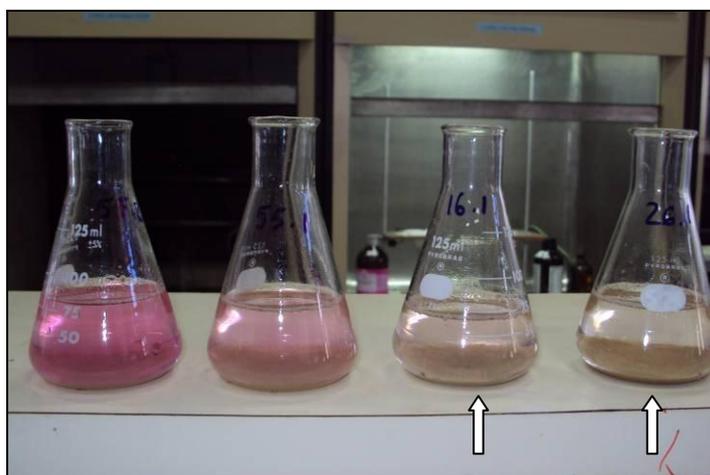


Figura 20. Amostras tituladas. As setas indicam a cor rósea ideal da titulação.

É difícil a observação da mudança de cor (“ponto de virada”) quando se utiliza amostras de sedimento, já que a coloração da solução a ser analisada pode variar de marrom a cinza devido à presença do sedimento que está em suspensão. Durante a titulação é necessária a agitação

manual ou magnética da solução para que o NaOH reaja igualmente em toda a amostra. De vez em quando é necessário parar a titulação por um pequeno período de tempo para que a amostra possa decantar e seja possível visualizar a cor da solução.

A massa do total de carbonato de cálcio contida na amostra foi calculada a partir do seguinte procedimento matemático:

$$m\text{CaCO}_3 = \frac{(\text{VHCl} - (\text{Nb} \times \text{Volb})) \times 50 \times \text{Na}}{\text{Na}}$$

Onde:

$m\text{CaCO}_3$ = massa do carbonato de cálcio

VHCl = volume do HCl

Nb = normalidade do NaOH

VolB = volume do NaOH

Na = normalidade HCl

5.6 ANÁLISES DA COMPOSIÇÃO DO SEDIMENTO

Parte de cada amostra de sedimento foi peneirada a úmido para separar as frações areia e lama (silte + argila). Foi utilizada para este procedimento uma peneira de 0,063 mm, placas de Petri e *beckers* devidamente pesados e identificados. A amostra foi lavada deixando a fração areia retida na peneira e posteriormente acondicionada nas placas de Petri e a fração lama foi recuperada nos *beckers*.

A fração areia foi levada a estufa para secagem à temperatura de 45°C e pesada em balança de precisão. A fração lama acondicionada nos *beckers*, passou pelo processo de decantação por aproximadamente dois dias, o excesso de água foi retirado por sifonagem e o sedimento retido nos *beckers* foi colocado na estufa para secar a temperatura de 45°C. O peso seco da lama foi obtido utilizando uma balança de precisão.

As amostras, separadamente, de areia e lama, foram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados.

5.6.1 Fração areia

A determinação da composição do sedimento foi realizada em cinco amostras de cada testemunho, selecionadas da seguinte maneira: uma amostra do topo, três amostras da parte intermediária dos testemunhos e uma da base, visto que as amostras apresentavam semelhanças na sua composição ao longo dos testemunhos. Cada fração areia foi peneirada utilizando peneiras com malha de 0,250 mm, 0,500 mm e 1,00 mm, e de cada fração (areia grossa e areia média) foram identificados, sob uma lupa binocular, os componentes biogênicos do sedimento. A identificação dos componentes foi realizada por comparação com a coleção de exemplares da professora Altair Machado e relacionados numa tabela previamente definida onde estavam enumerados vários organismos da fauna e flora marinhas que apresentam estruturas esqueléticas, por exemplo: alga coralina, coral, molusco, foraminífero, equinoderma, briozoário, etc. Foram identificados cerca de 100 grãos de cada fração granulométrica (Figura 21).



Figura 21. Análise da composição do sedimento arenoso sob lupa binocular.

5.6.2 Fração lama

Nas frações lama foram feitas análises no difratômetro de raios-X (Figura 22) para identificação dos argilo-minerais.

Os argilo-minerais formam estruturas em cadeia de folhas tetraédricas de silício e octaédricas de alumínio, e com menor frequência de magnésio e/ou ferro (Santos, 1989). Este arranjo é identificável sob análise da difratometria de raios-X e possibilita a classificação em quatro grupos principais: caulinita, esmectita, illita e clorita. Adicionalmente é possível identificar na lama carbonática a aragonita e a calcita que são o resultado do processo de

fragmentação dos organismos marinhos que acumulam carbonato de cálcio em sua estrutura corpórea (Minervino Netto, 2008).

Para a determinação da composição da fração lamosa do sedimento testemunhado, foram selecionadas apenas três amostras de cada testemunho (uma no topo, uma na parte central e uma na base), considerando que ao longo dos testemunho o sedimento apresentava-se bastante homogêneo na sua composição.



Figura 22. Difratorômetro de raios-X utilizado para análise dos argilo-minerais presentes nas amostras da fração lama.

6. RESULTADOS

6.1. CARACTERÍSTICAS DO SEDIMENTO DOS TESTEMUNHOS

Para definir as características do sedimento dos testemunhos coletados nos recifes Coroa Vermelha, Pedra de Leste e Popa Verde foram determinados: a cor, a textura, o teor de carbonato de cálcio, a composição dos componentes biogênicos da fração areia e identificados os argilo-minerais da fração lama.

6.1.1. Cor do sedimento

A determinação dos padrões de cor do sedimento, comparada com a escala de cores da *Rock Color Chart* (Goddard *et al.*, 1963), mostrou que há variação na coloração do sedimento quer entre os três testemunhos analisados como, também, entre a base e o topo dos testemunhos, como ilustrado nas tabelas 7, 8 e 9, e nas figuras 23, 24 e 25.

A) Sedimento do testemunho do recife Coroa Vermelha

No testemunho do recife Coroa Vermelha a cor do sedimento varia de cinza esverdeado na base, a preto acinzentado no topo (Tabela 7). Há, portanto um escurecimento do sedimento à medida que se aproxima do topo do testemunho. Na base o sedimento tem coloração cinza esverdeado escuro (centímetros 40 a 45), tornando-se mais claro a partir da amostra (centímetro) 39 até a 24 (39 a 34 - oliva acinzentado e 33 a 23 - cinza oliva). A partir da amostra 23 até o do topo do testemunho (centímetro 01) predomina o padrão de cor preto esverdeado.

Tabela 7. Padrões de cores do sedimento do testemunho do recife Coroa Vermelha com código e padrão de cor de acordo com a *Rock Color Chart* (Goddard *et al.*, 1963).

Centímetro/Amostra	Código	Cor
01 à 23	5G2/1	Preto esverdeado
24 à 33	5Y3/2	Cinza oliva
34 à 39	10Y4/2	Oliva acinzentado
40 à 45	5GY4/2	Cinza esverdeado escuro

B) Sedimento do testemunho do recife Pedra de Leste

Diferente do que foi observado no testemunho do recife Coroa Vermelha, a cor do sedimento do testemunho do recife Pedra de Leste torna-se mais clara a partir da base para o topo (Tabela 8). Na base do testemunho o sedimento tem cor cinza esverdeado escuro (amostras/centímetros 74 e 73), a partir da amostra 72 até a de número 16 predomina o padrão de cor cinza azulado médio. Daí em diante até a mostra 08 há um leve escurecimento do sedimento onde ocorre o padrão de cor esverdeado escuro, e em seguida o sedimento apresenta-se novamente mais claro predominando, até o topo do testemunho, cores dentro do padrão oliva.

Tabela 8. Padrões de cores do sedimento do testemunho do recife Pedra de Leste com código e padrão de cor de acordo com a *Rock Color Chart* (Goddard *et al.*, 1963).

Centímetro/Amostra	Código	Cor
01 à 03	5Y5/2	Cinza oliva claro
04 à 07	10Y4/2	Oliva acinzentado
08 à 16	5GY4/1	Esverdeado escuro
17 à 72	5B5/1	Cinza azulado médio
73 à 74	5GY4/1	Cinza esverdeado escuro

C) Sedimento do testemunho do recife Popa Verde

O sedimento do testemunho do recife Popa Verde apresenta uma maior variação de cores comparado com o sedimento dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha e Pedra de Leste. A partir da base do testemunho (centímetro 63) até quase o seu topo (centímetro 04) ocorrem vários padrões da cor cinza. No topo do testemunho, nas amostras de números 03 e 02 observa-se a presença de sedimento com coloração marrom oliva claro e o sedimento da amostra correspondente ao centímetro 01 tem coloração amarelo escuro (ver Tabela 9).

Tabela 9. Padrões de cores do sedimento do testemunho do recife Popa Verde com código e padrão de cor de acordo com a *Rock Color Chart* (Goddard *et al.* 1963).

Centímetro/Amostra	Código	Cor
01	5Y6/4	Amarelo escuro
02 à 03	5Y5/6	Marrom oliva claro
04 à 18	5Y6/4	Cinza esverdeado escuro
19 à 32	5G6/1	Cinza esverdeado

33 à 41	5GY6/1	Cinza esverdeado claro
42 à 45	5G6/1	Cinza esverdeado
46 à 63	5GY6/1	Cinza esverdeado claro

6.1.2. Textura do sedimento

A análise realizada para definir os tipos texturais do sedimento dos três testemunhos revelou a presença das frações granulométricas areia, silte e argila, sendo que a fração mais grossa presente corresponde ao tipo textural areia média (tamanho de grão 0,250mm). Considerando-se os teores das três frações granulométricas, em cada um dos testemunhos, plotados nos gráficos triangulares (Shepard, 1954), ilustrados nas figuras 23, 24 e 25, o sedimento, de um modo geral, pode ser classificado como dos tipos areia siltosa e silte arenoso, com algumas amostras apresentando teores da fração argila acima de 10%.

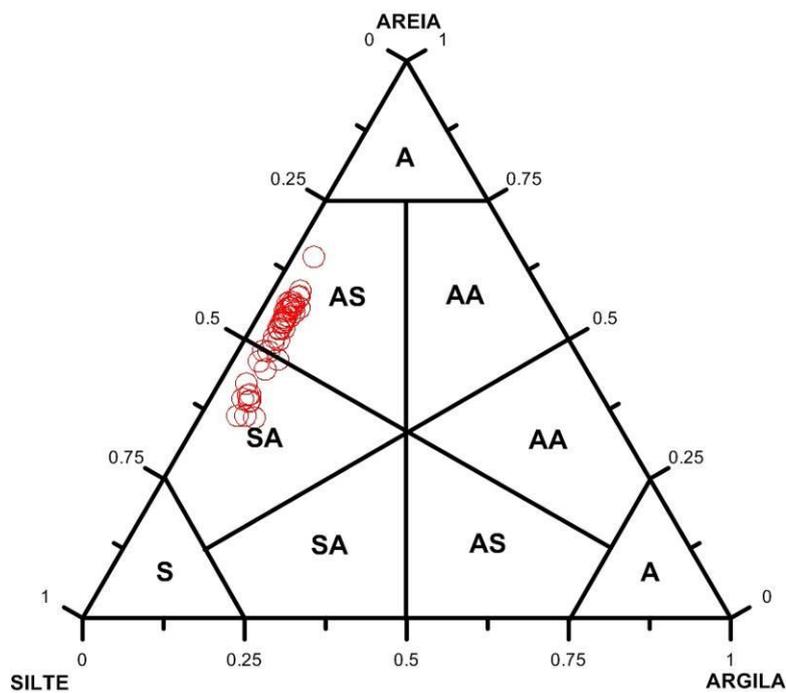


Figura 23. Diagrama triangular ilustrando a classificação textural do sedimento do testemunho do recife Coroa Vermelha. A = Areia; AS = Areia siltosa; AA = Areia argilosa; S = Silte; SA = Silte arenoso; SA = Silte argiloso; A = Argila; AA = Argila arenosa; AS = Argila siltosa.

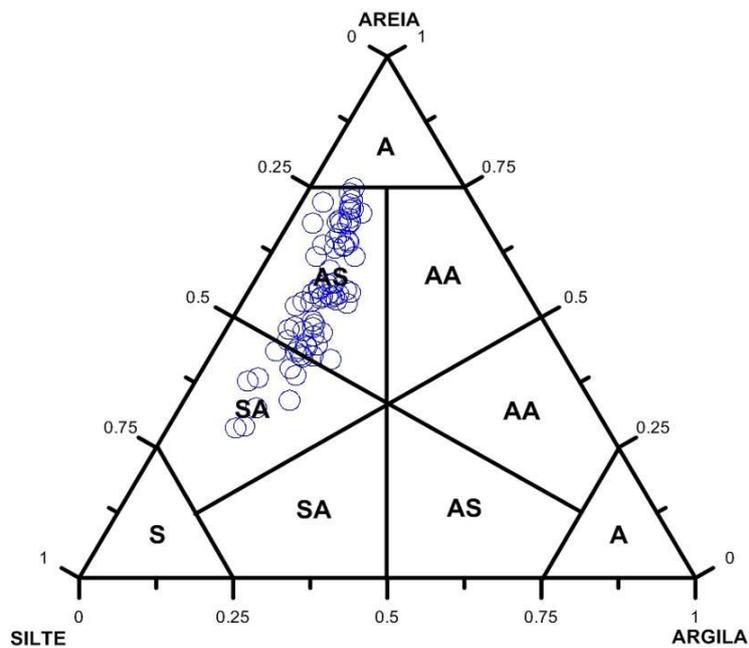


Figura 24. Diagrama triangular ilustrando a classificação textural do sedimento do testemunho do recife Pedra de Leste. A = Areia; AS = Areia siltosa; AA = Areia argilosa; S = Silte; SA = Silte arenoso; SA = Silte argiloso; A = Argila; AA = Argila arenosa; AS = Argila siltosa.

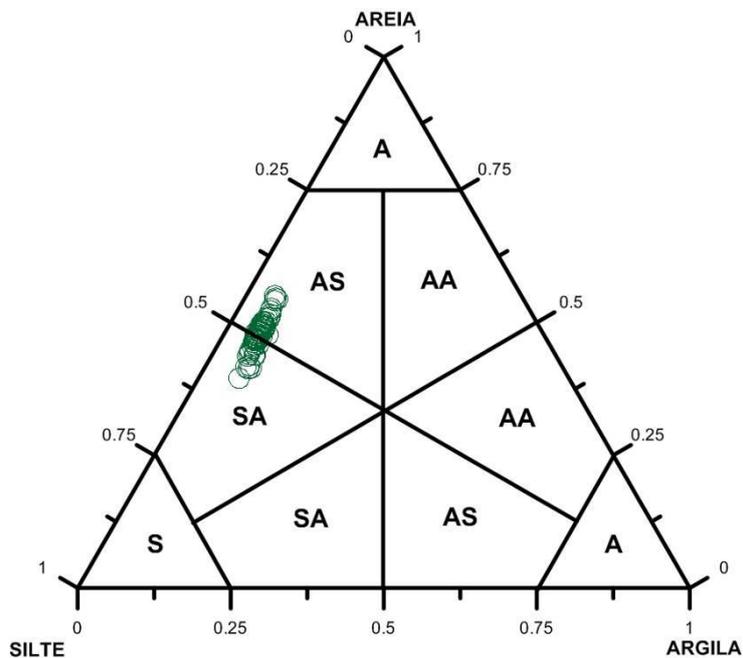


Figura 25. Diagrama triangular ilustrando a classificação textural do sedimento do testemunho do recife Popa Verde. A = Areia; AS = Areia siltosa; AA = Areia argilosa; S = Silte; SA = Silte arenoso; SA = Silte argiloso; A = Argila; AA = Argila arenosa; AS = Argila siltosa.

A) Testemunho do recife Coroa Vermelha

Este testemunho é o que apresenta o sedimento granulometricamente mais grosso, com a maioria das amostras classificadas como areia siltosa, e as restantes como silte arenoso, com teores muito baixos da fração argila (Figura 23). Como observado no gráfico da figura 26, a fração areia domina (teores acima de 50%) na maioria das amostras, com exceção apenas de dezesseis amostras, as de números 1, 2, 3, 4, 5, 6, 32, 34, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44 e 45. As amostras onde os teores de lama (silte e argila) são superiores a 50% estão localizadas nas proximidades da base e do topo do testemunho. Nesta fração lama predomina o tamanho silte com teores acima de 40%, ultrapassando os 50% nas amostras da base e do topo do testemunho. A fração tamanho argila ocorre com teores inferiores a 10% (entre 3,2% e 8,5%) ao longo de todo o testemunho (Figura 29, Apêndice 4).

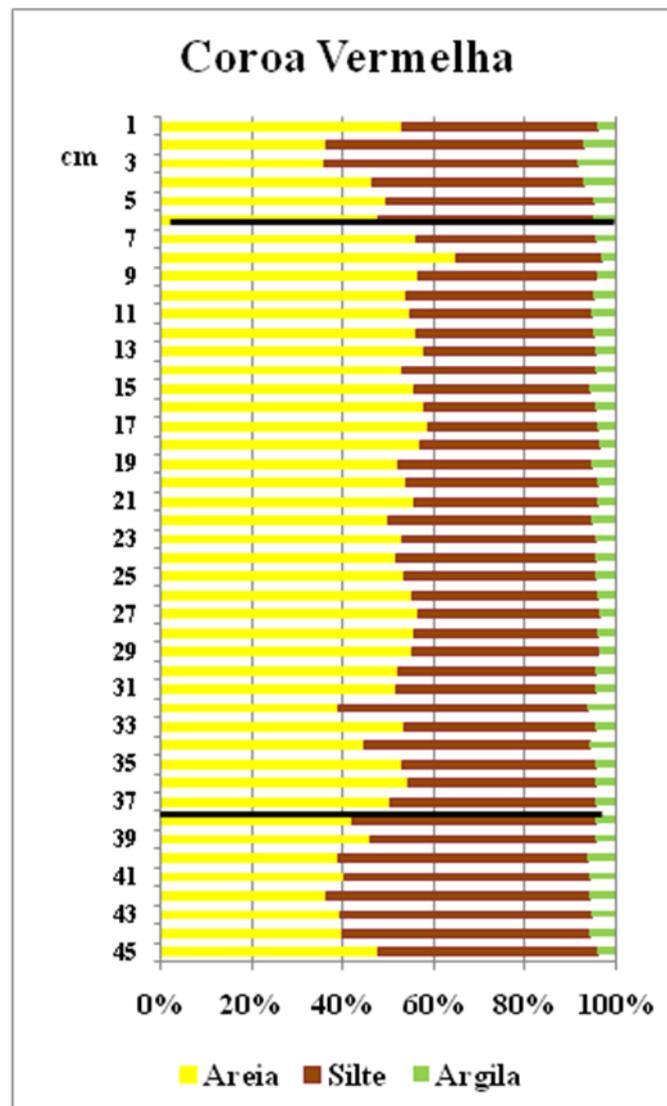


Figura 26. Teores dos três tipos texturais (areia, silte e argila) do sedimento ao longo do testemunho do recife

Coroa Vermelha. As barras de cor preta separam os intervalos onde há predominância do sedimento tamanho lama (silte a argila), na base e topo do testemunho, e onde predominam as amostras com teores da fração areia acima de 50% na parte central do testemunho (exceto duas amostras).

B) Testemunho do recife Pedra de Leste

Apesar do sedimento do recife Pedra de Leste apresentar uma maior variação granulométrica ao longo de todo o testemunho, suas amostras estão classificadas dentro dos mesmos tipos texturais observados para o sedimento do recife Coroa Vermelha, a grande maioria como areia siltosa e uma pequena parte como silte arenoso, porém com maior conteúdo da fração tamanho argila que no testemunho anterior (ver figura 24). Os teores da fração tamanho areia, por exemplo, variam entre 28,7% e 74,7%, mostrando, entretanto, uma ligeira diminuição em direção ao topo do testemunho. Os teores da fração silte variam entre 18% e 60% e o tamanho argila ocorre com teores acima de 10% na maioria das amostras (Figura 27, Apêndice 5). Este é o testemunho que apresenta os maiores teores das frações granulométricas mais finas do sedimento, sobretudo do tamanho argila (maioria das amostras com mais de 10%). Não há um padrão de distribuição dos tipos texturais do sedimento ao longo deste testemunho, podendo dizer apenas que o sedimento torna-se um pouco mais fino nas camadas mais superiores do testemunho.

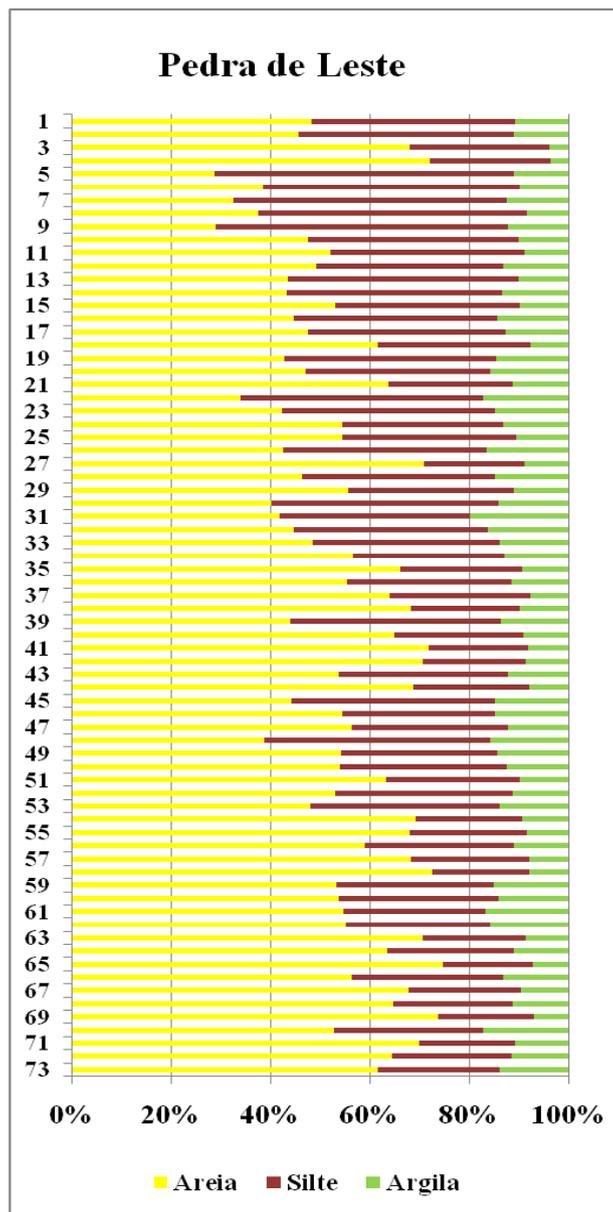


Figura 27. Teores dos três tipos texturais (areia, silte e argila) do sedimento ao longo do testemunho do recife Pedra de Leste.

C) Testemunho do recife Popa Verde

A distribuição dos três tipos texturais (areia, silte e argila) do sedimento ao longo deste testemunho mostra-se bastante homogênea, estando a maioria das amostras localizadas nos limites entre areia siltosa e silte arenoso (Figura 25). Os teores das frações areia e silte variam em torno de 40% e 55%, mostrando, entretanto, que há um ligeiro aumento nos teores de silte na parte central do testemunho. A fração argila também não apresenta variação ao longo do testemunho, com teores inferiores a 10% (variando entre 4,5 e 7,3%) (Figura 28, Apêndice 6). Este é o testemunho que apresenta maior homogeneidade na distribuição dos tipos texturais do sedimento durante a sua deposição.

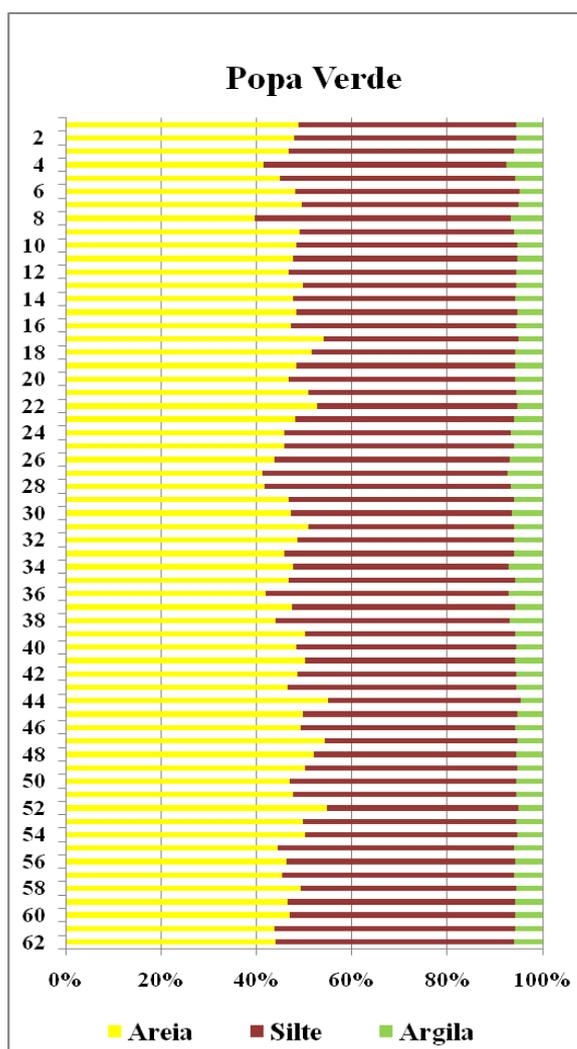


Figura 28. Teores dos três tipos texturais (areia, silte e argila) do sedimento ao longo do testemunho do recife Popa Verde.

6.1.3. Teor de carbonato de cálcio

O teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) das amostras do sedimento dos três testemunhos foi determinado na amostra total, isto é, nas três frações granulométricas areia, silte e argila, em uma amostra do topo, três da parte central do testemunho e uma da sua base. O carbonato de cálcio é proveniente da desintegração do material biodetrítico que compõe o esqueleto e/ou as carapaças dos organismos que vivem no ambiente recifal, sobretudo aqueles que constroem a estrutura rochosa dos recifes. Ele indica, portanto, a fonte de material originado *in situ*.

De um modo geral os teores de carbonato de cálcio se distribuem de forma homogênea ao longo dos três testemunhos, com média dos percentuais variando entre 43% e 70%. Os valores mais elevados foram observados nas amostras do testemunho do recife Popa Verde e os menores valores estão nas amostras do testemunho do recife Coroa Vermelha (Tabela 10, Figura 29).

Tabela 10. Média (\pm DP) do teor de CaCO_3 das amostras dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha (CV), Pedra de Leste (PL) e Popa Verde (PV).

Recifes	Coroa Vermelha	Pedra de Leste	Popa Verde
CaCO_3 (%)	43,02 \pm 0,87	62,94 \pm 4,52	70,8 \pm 1,54

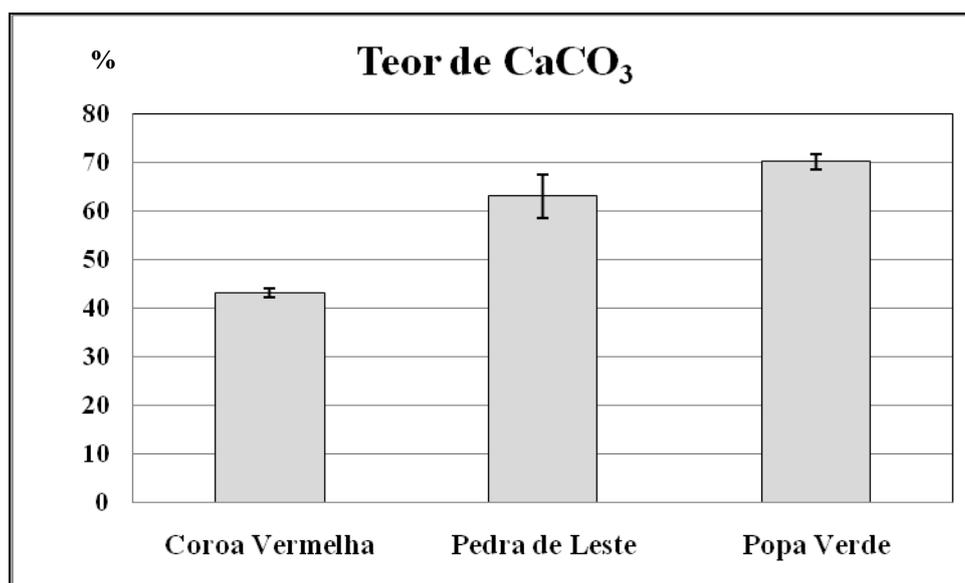


Figura 29. Média (\pm DP) dos teores de CaCO_3 nas amostras dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha, Pedra de Leste e Popa Verde.

A) Teor de CaCO_3 no sedimento do testemunho do recife Coroa Vermelha

O teor de CaCO_3 do sedimento neste recife apresenta pouca variação ao longo do testemunho. O menor valor é encontrado nos primeiros centímetros do topo do testemunho (amostra CV7), em torno de 42%, enquanto que na base do testemunho a quantidade de carbonato de cálcio mais elevada tem valores próximos de 44% (Figura 30).

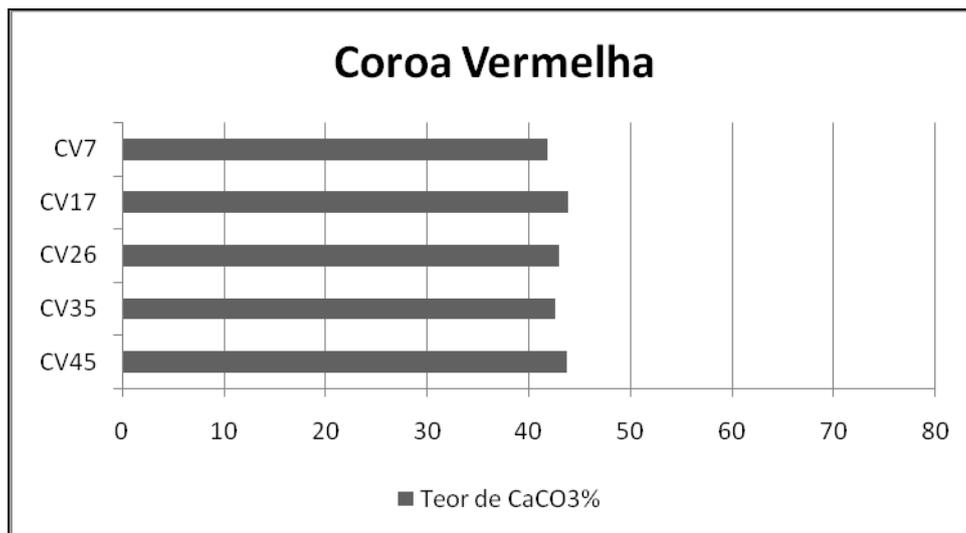


Figura 30. Teor de CaCO_3 nas amostras ao longo do testemunho do recife Coroa Vermelha.

B) Teor de CaCO_3 no sedimento do testemunho do recife Pedra de Leste

Nas amostras do testemunho do recife Pedra de Leste foi observada uma variação um pouco maior nos teores de CaCO_3 comparado com os testemunhos dos outros dois recifes, Coroa Vermelha e Popa Verde. Neste testemunho os percentuais de carbonato de cálcio variam entre 58% e 68,5% (Figura 31).

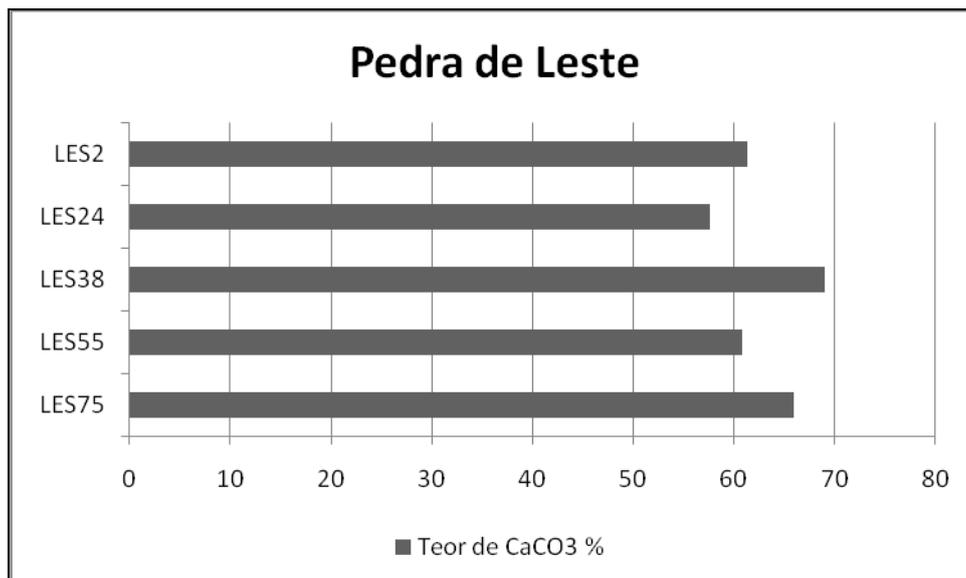


Figura 31. Teor de CaCO_3 nas amostras do testemunho do recife Pedra de Leste.

C) Teor de CaCO_3 no sedimento do testemunho do recife Popa Verde

Neste recife foram observados valores de CaCO_3 maiores que nos outros dois recifes, com uma distribuição bastante homogênea ao longo do testemunho. Os teores de carbonato de cálcio variam entre 69% e 73%, estando os menores teores nas amostras da base e do topo do recife (Figura 32).

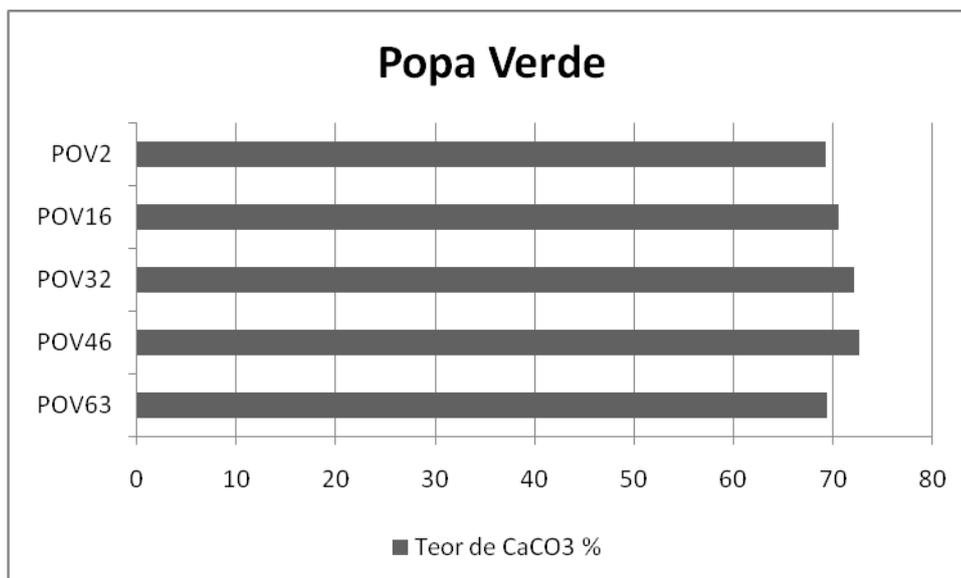


Figura 32. Teor de CaCO_3 nas amostras do testemunho do recife Popa Verde.

6.1.4. Composição do conteúdo biogênico da fração areia

Em cinco amostras aleatoriamente selecionadas no topo, na parte intermediária e na base dos testemunhos dos três recifes, foram analisadas as frações granulométricas tamanho areia, para identificar os principais constituintes biogênicos. Os resultados encontrados revelam a presença de sete componentes principais: molusco, alga calcária, foraminífero, crustáceo, equinoderma, ostrácode e briozoário.

Além dos constituintes principais citados foram identificados alguns fragmentos de coral nas amostras dos testemunhos dos recifes Pedra de Leste e Popa Verde, em quantidades inferiores a 1%.

Fragmento de molusco é o grão biogênico mais representativo nas amostras dos três testemunhos. No recife Coroa Vermelha os teores deste componente carbonático variam entre 40% e 56%, (média de $50 \pm 6,59\%$) (Tabela 11). Nas amostras do recife Pedra de Leste a média dos fragmentos de conchas de molusco é de $36,8 \pm 4,32\%$, com teores que variam entre 33% e 44%, e no recife Popa Verde os teores deste constituinte alcançam a média de $40,4 \pm 7,95\%$ (teores entre 33% e 50%) (Tabela 11, Figura 33).

Os fragmentos de alga calcária são raros no sedimento do testemunho do recife Coroa Vermelha com teores variando, em apenas três amostras, entre 2 e 5% com média de $2,2 \pm 2,28\%$, porém no sedimento dos recifes Pedra de Leste e Popa Verde este constituinte ocupa o segundo lugar após os fragmentos de moluscos, com teores variando entre 33% e 40% no recife Pedra de Leste, média de $36,2 \pm 3,27\%$ e entre 16% e 38% no recife Popa Verde, com média de $25,6 \pm 9,60\%$ (Tabelas 11 e 12, Figura 33). Observou-se que os fragmentos da alga calcária verde *Halimeda* constituem-se um componente importante no sedimento do recife Pedra de Leste.

As carapaças de foraminífero são os constituintes mais importantes no sedimento do testemunho do recife Coroa Vermelha, depois dos fragmentos de conchas de moluscos, com teores variando entre 17% e 33%, com média de $25,2 \pm 6,68\%$. No recife Pedra de Leste os teores deste constituinte variam entre 4% e 7%, com média de $5,6 \pm 1,14\%$ e no sedimento do recife Popa Verde as carapaças de foraminíferos alcançam valores um pouco mais elevados, com média $10,4 \pm 4,66\%$ (Tabelas 11 e 12, Figura 33).

Os demais constituintes têm papel secundário na composição da fração biogênica do sedimento dos três recifes. Os fragmentos de carapaças de crustáceos ocorrem com teores entre 3% e 19% nos três testemunhos, sem apresentar grandes variações entre eles. Os teores dos fragmentos de equinodermas variam entre 2% e 8%, sem apresentar, também, variações

significativas entre os três recifes. Carapaças de ostrácodes e fragmentos do esqueleto de briozoários apresentam os menores teores observados, com valores inferiores a 6% nos três recifes estudados (Tabela 12, Figura33).

Tabela 11. Média (\pm DP) dos teores dos principais componentes biogênicos identificados no sedimento dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha, Pedra de Leste e Popa Verde.

Organismos	Coroa Vermelha	Pedra de Leste	Popa Verde
Molusco	50 \pm 6,59	36,8 \pm 4,32	40,4 \pm 7,95
Alga calcária	2,2 \pm 2,28	36,2 \pm 3,27	25,6 \pm 9,60
Foraminífero	25,2 \pm 6,68	5,6 \pm 1,14	10,4 \pm 4,66
Crustáceo	10,8 \pm 7,25	9,0 \pm 2,0	7 \pm 3,31
Equinoderma	2,8 \pm 1,30	4 \pm 2,82	3,6 \pm 1,14
Ostrácode	3,4 \pm 2,07	0,4 \pm 0,54	4,4 \pm 1,81
Briozoário	1 \pm 0,70	3 \pm 1,73	2,6 \pm 0,54

Tabela 12. Percentuais dos principais componentes biogênicos do sedimento dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha (CV), Pedra de Lesta (PL) e Popa Verde (PV).

Amostra/cm	Molusco	Alga calcária	Foraminífero	Crustáceo	Equinoderma	Ostrácode	Briozoário
CV 07	40	0	30	19	5	6	0
CV 17	47	0	20	18	2	3	1
CV 26	52	2	33	3	3	5	2
CV 35	56	5	26	8	2	1	1
CV 45	55	4	17	6	2	2	1
PL 02	34	33	7	11	2	0	2
PL 24	36	40	6	10	3	0	2
PL 38	37	36	6	8	8	1	3
PL 55	33	39	4	10	8	1	2
PL 73	44	33	5	6	4	0	6
PV 01	50	16	17	4	2	5	3
PV 16	48	16	9	12	4	6	2
PV 32	36	31	8	8	3	2	3
PV 46	33	27	13	7	4	6	2
PV 62	35	38	5	4	5	3	3

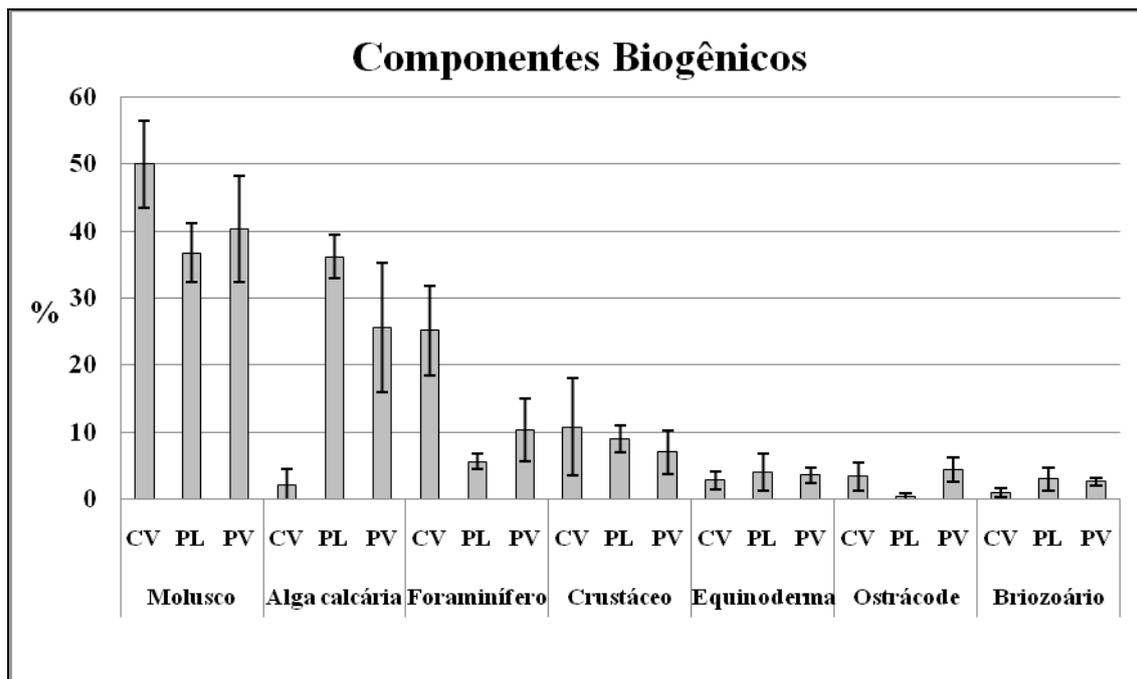


Figura 33. Média (\pm DP) dos percentuais dos grãos biogênicos identificados na fração areia do sedimento dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha (CV), Pedra de Leste (PL) e Popa Verde (PV).

6.1.5. Composição da fração lama

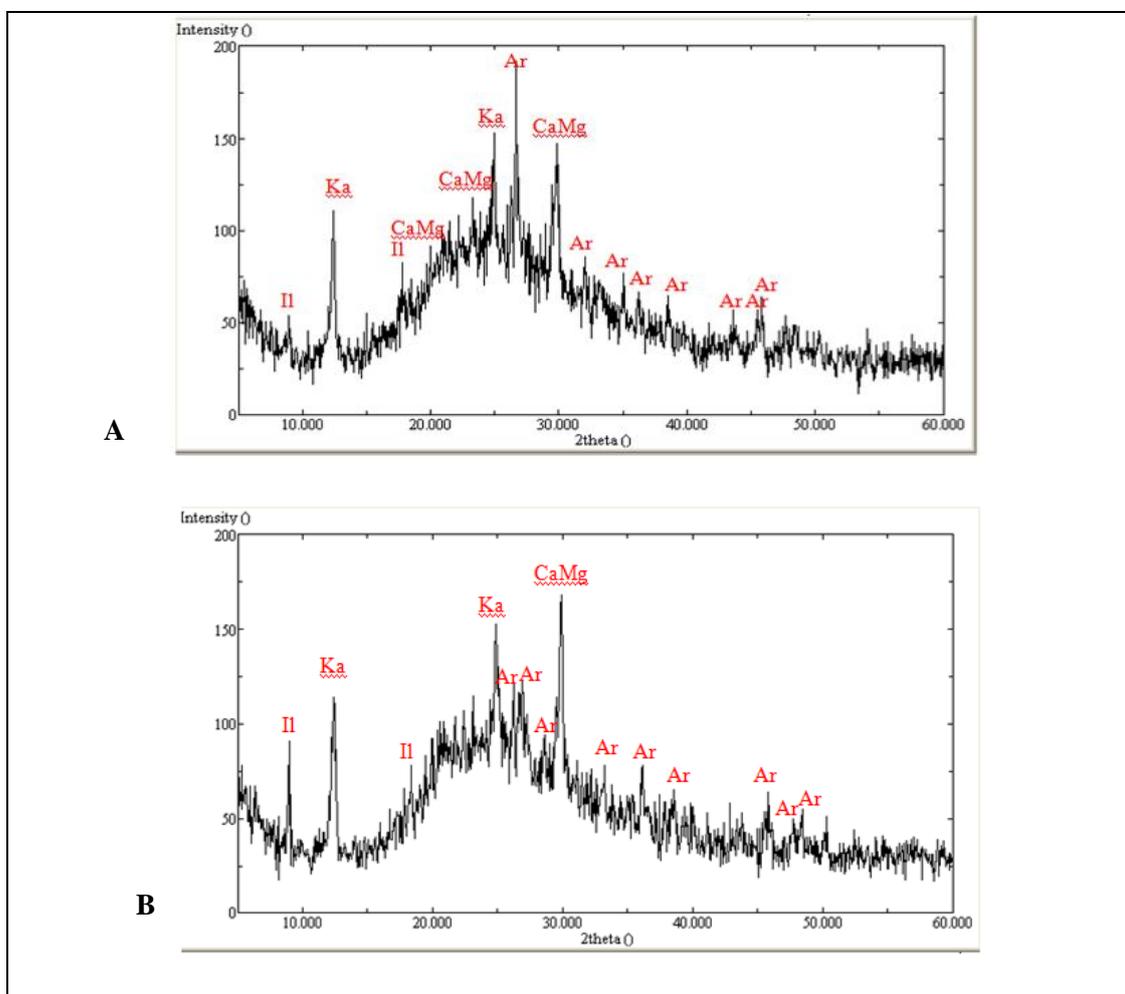
A identificação dos argilo-minerais realizada através da difratometria de raios-X, foi feita na fração tamanho lama (silte + argila) de três amostras selecionadas, uma no topo, uma na porção mediana e uma na base dos testemunhos. Em todas as amostras foram identificados dois minerais de natureza terrígena: caulinita e ilita, e dois minerais de composição carbonática: calcita magnesiana e aragonita.

A) Testemunho do recife Coroa Vermelha

Os difratogramas das amostras do testemunho do recife Coroa Vermelha são bastante semelhantes entre si. Nos gráficos ilustrados na figura 34 A, B e C, foram identificados os picos correspondentes aos argilo-minerais de origem terrígena: ilita e caulinita, e aos minerais carbonáticos de origem marinha: aragonita e calcita magnesiana.

O pico de maior intensidade da ilita ocorreu na amostra da parte mediana do testemunho (amostra #26), porém ele é também identificado, com menor intensidade, nas amostras da base (#45) e do topo (#07) do testemunho. Os picos da caulinita apresentam intensidades similares nas três amostras analisadas, da base, da porção mediana e do topo do testemunho.

O mineral aragonita é identificado em vários dos seus picos característicos nas três amostras analisadas apresentando o de maior intensidade no topo do testemunho (amostra #07). A amostra de número sete foi utilizada para representar o topo do testemunho, pois as amostras de números 1 à 6 não apresentavam quantidade de sedimento suficiente para está análise. A aragonita é proveniente da desagregação do esqueleto/carapaça da maioria dos organismos marinhos que vivem nos recifes. Picos de calcita magnesiana foram identificados nas três amostras, com maior intensidade na base (amostra #45) e na parte mediana do testemunho (amostra #26). Este mineral carbonático é o principal componente do esqueleto das algas calcárias incrustantes, um dos organismos responsáveis pela construção da estrutura rochosa dos recifes.



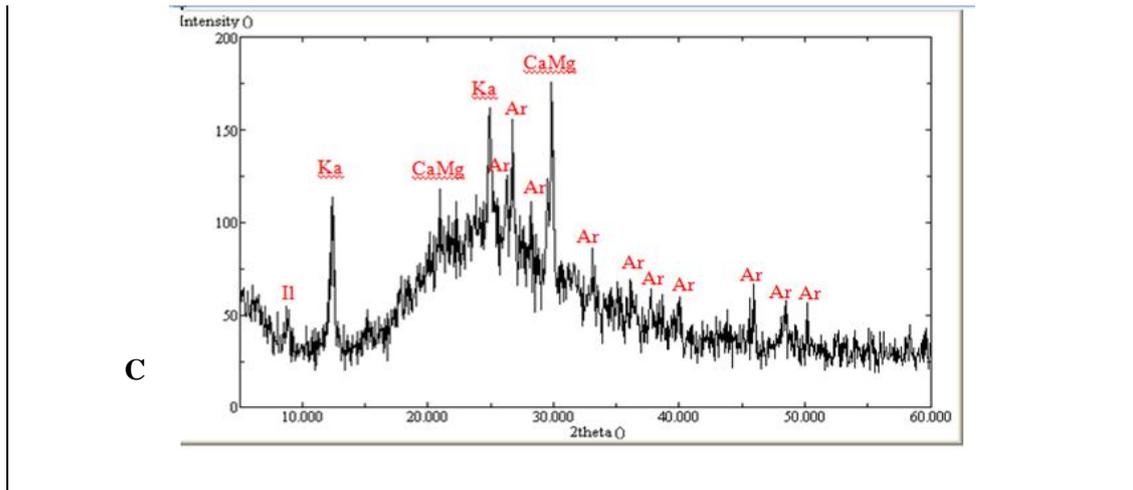


Figura 34. Difratomogramas de raios-X ilustrando os principais argilo-minerais identificados no sedimento lamoso de três amostras do testemunho do recife Coroa Vermelha. A = amostra 07, B= amostra 26, C = amostra 45. Il = ilita, Ka = caulinita, Ar = aragonita, CaMg = calcita magnesiana.

B) Testemunho do recife Pedra de Leste

A semelhança do observado nas amostras do testemunho do recife Coroa Vermelha, os difratogramas de raios-X do testemunho do recife Pedra de Leste são, também, bastante semelhantes entre si, tendo sido identificados picos correspondentes aos argilo-minerais de origem terrígena: ilita e caulinita, e aos minerais carbonáticos de origem marinha: aragonita e calcita magnesiana (Figura 35 A, B, C).

Os argilo-minerais ilita e caulinita apresentam, entretanto, picos com intensidades muito inferiores ao que foi observado nas amostras do testemunho do recife Coroa Vermelha. Mais uma vez calcita magnesiana apresentou picos com intensidades maiores nas amostras da base (amostra #73) e da parte mediana (amostra #38) do testemunho, enquanto que os picos secundários do mineral aragonita apresentam intensidades maiores nas amostras da parte mediana (amostra #38) do testemunho.

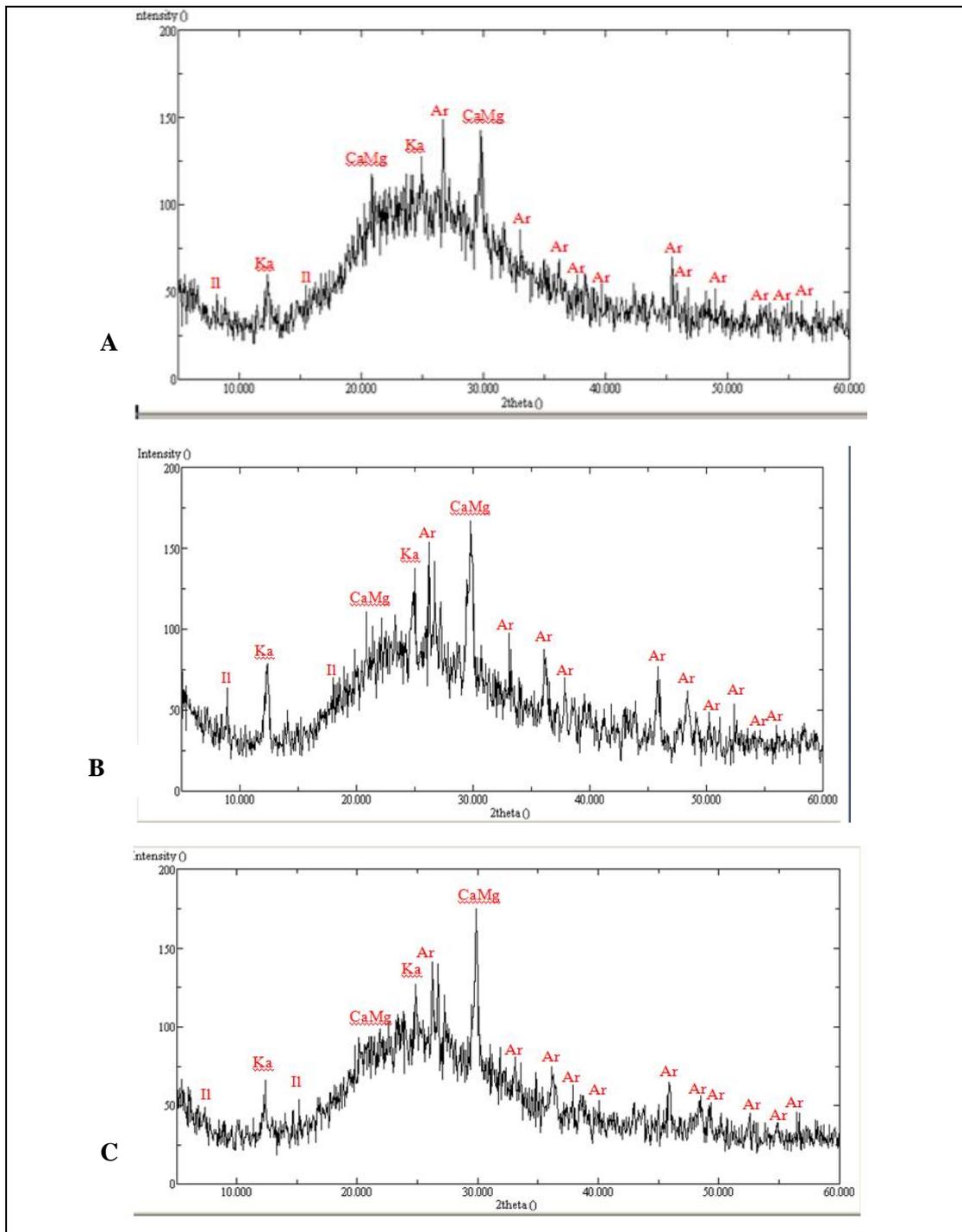


Figura 35. Difratoogramas de raios-X ilustrando os principais argilo-minerais identificados no sedimento lamoso de três amostras do testemunho do recife Pedra de Leste. A = amostra 02, B = amostra 38, C = amostra 73. Il = ilita, Ka = caulinita, Ar = aragonita, CaMg = calcita magnésiana.

C) Testemunho do recife Popa Verde

Nos difratogramas das amostras do testemunho do recife Popa Verde estão registradas, também, picos dos argilo-minerais ilita, caulinita, aragonita e calcita magnésiana (Figura 36 A, B, C). Neste testemunho os minerais ilita e caulinita apresentam seus picos com intensidades inferiores ao observado nas amostras dos testemunhos anteriores, sobretudo do testemunho do

recife Coroa Vermelha. Os picos do mineral calcita magnesiana, ao contrário, têm intensidade mais elevada que nos demais testemunhos, sobretudo na amostra da parte mediana (amostra #32) do testemunho (intensidade = 300).

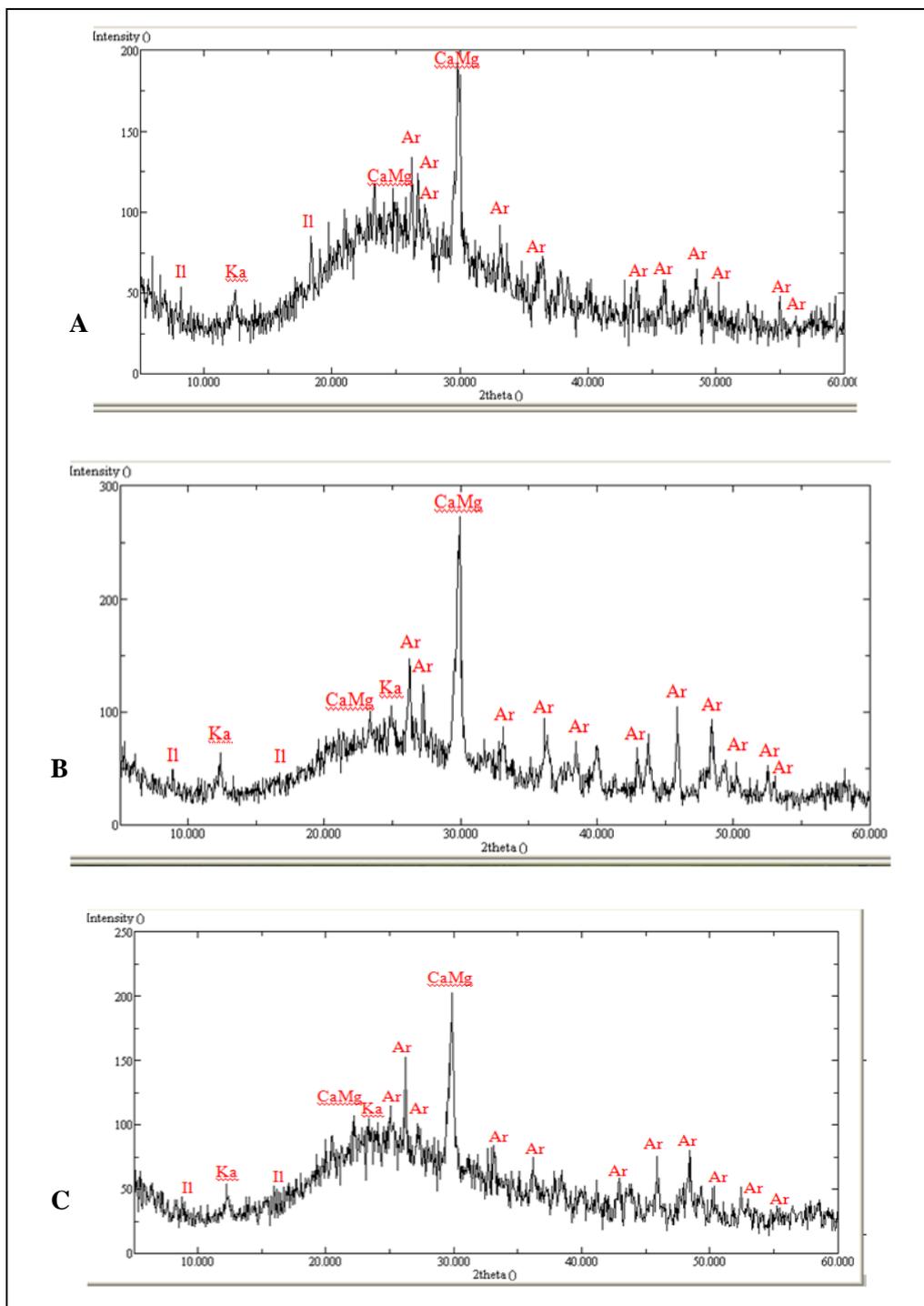


Figura 36. Difratomogramas de raios-X ilustrando os principais argilo-minerais identificados no sedimento lamoso de três amostras do testemunho do recife Popa Verde. A = amostra 01, B= amostra 32, C = amostra 62. Il = illita, Ka = caulinita, Ar = aragonita, CaMg = calcita magnesiana.

6.2. TAXA DE SEDIMENTAÇÃO E GEOCROLOGIA DOS TESTEMUNHOS

A taxa de sedimentação foi determinada nos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha e Popa Verde que estão localizados em diferentes distâncias do continente. O recife Coroa Vermelha dista cerca de 15 km da linha de costa e o recife Popa Verde está a cerca de 35 km distante da praia.

A taxa de sedimentação (acumulação do sedimento) que é medida a partir da atividade do Pb^{210} (excesso) foi detectada no testemunho do recife Coroa Vermelha até a profundidade máxima de 23,5 cm, correspondendo a aproximadamente o ano de 1977, e no testemunho do recife Popa Verde até a profundidade de 24,5 cm, que corresponde a aproximadamente o ano de 1985 (Tabelas 13, 14, Apêndices 7, 8, 9).

Tabela 13. Localização das amostras usadas para determinação da taxa de sedimentação, da média da atividade do Pb^{210} e da estimativa das datas de deposição do sedimento dentro do limite de detecção da atividade do chumbo, no testemunho do recife Coroa Vermelha. Tempo de deposição - 1cm=1,4 ano.

Amostra	Profundidade (cm)	Média atividade Pb^{210}	
		(Atividade Bp)	Data
1	1		2008
2	2,5	62,8	
3	3,5	77,2	
4	4,5	64,9	2004
5	5,5	44,4	
6	6,5	40,8	
7	7,5	58,3	2000
8	8,5	54,7	
9	9,5	46,6	
10	10,5	60,2	1996
11	11,5	83,6	
12	12,5	48,3	
13	13,5	33,2	1992
14	14,5	46,6	
15	15,5	41,4	
16	16,5	36,3	1988
17	17,5	24,7	
18	18,5	29,2	
19	19,5	35,9	1984
20	20,5	28,9	
21	21,5	26,7	
22	22,5	25,7	1980
23	23,5	22,8	

24	24,5	
25	25,5	1976

Tabela 14. Localização das amostras usadas para determinação da taxa de sedimentação, da média da atividade do Pb^{210} e da estimativa das datas de deposição do sedimento dentro do limite de detecção da atividade do chumbo, no testemunho do recife Popa Verde. Tempo de deposição - 1cm=1,0 ano.

Amostra	Profundidade (cm)	Média atividade PB^{210} (Atividade Bp)	Data
1	1		2008
2	2,5	49,5	
3	3,5	51,6	
4	4,5	45,4	2005
5	5,5	51,8	
6	6,5	45,9	
7	7,5	44,8	2002
8	8,5	46,1	
9	9,5	26,0	
10	10,5	40,7	1999
11	11,5	24,5	
12	12,5	37,1	
13	13,5	38,4	1996
14	14,5	37,8	
15	15,5	39,3	
16	16,5	40,7	1993
17	17,5		
18	18,5	28,3	
19	19,5		1990
20	20,5	28,9	
21	21,5		
22	22,5	27,0	1987
23	23,5		
24	24,5		
25	25,5		1984

Em ambos os testemunhos a atividade Becquerel do Pb^{210} apresentou um padrão claramente exponencial, cujos valores decrescem em função da profundidade até anular-se. Esse comportamento exponencial, segundo Argollo (2001) é esperado para medidas da atividade do excesso do Pb^{210} em amostras de sedimento marinho.

No testemunho do recife Coroa Vermelha a atividade Becquerel atingiu valores máximos próximos de 80 Bq/kg⁻¹, e no testemunho do recife Popa Verde estes valores não ultrapassaram de 60 Bq/kg⁻¹ (Figuras 37 e 38).

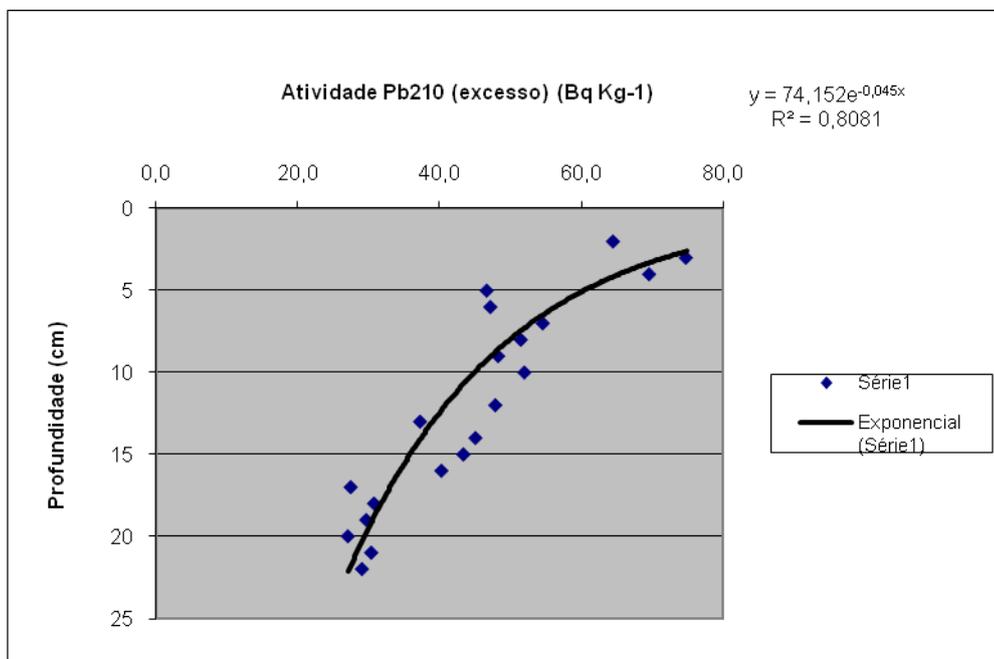


Figura 37. Atividade do Pb²¹⁰ (Bq Kg⁻¹) presente no testemunho do recife Coroa Vermelha em função da profundidade em centímetros..

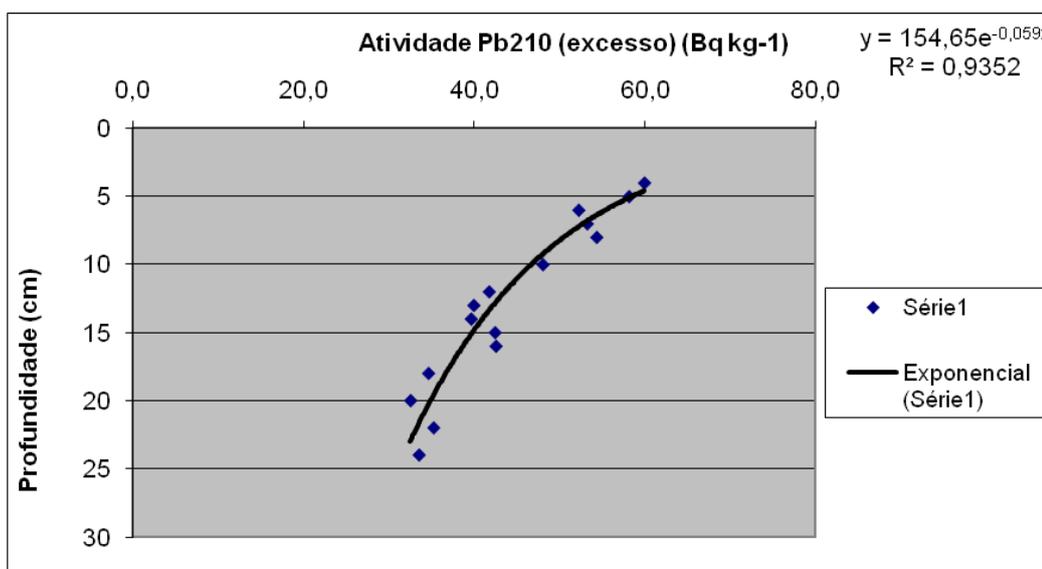


Figura 38. Atividade do Pb²¹⁰ (Bq Kg⁻¹) presente no testemunho do recife Popa Verde em função da profundidade em centímetros.

A taxa média de acumulação do sedimento calculada com base nestes dados foi maior para o testemunho do recife Popa Verde com o valor de 10,04 mm/ano, enquanto que para o testemunho do recife Coroa Vermelha o valor de acumulação do sedimento foi de 6,94 mm/ano.

A cronologia de deposição do sedimento nos testemunhos analisados foi estabelecida, para cada centímetro, de acordo com a taxa de acumulação de sedimento dada em milímetros/ano. Para o testemunho do recife Coroa Vermelha o tempo de deposição do sedimento para cada centímetro é de aproximadamente 1,4 anos e para o testemunho do recife Popa Verde, cada centímetro de deposição corresponde a um ano (Tabela 15).

Considerando que o centímetro 01 (topo) dos testemunhos corresponde ao ano de 2008, que foi o ano de sua coleta, o testemunho do recife Coroa Vermelha, com 45 cm de comprimento, apresenta uma idade cronológica de 63 anos (45 cm x 1,4 anos) (ver Tabela 15, Apêndice 7). O testemunho do recife Popa Verde possui idade cronológica de 62 anos (62 cm x 1,0 ano) (Tabela 15, Apêndice 8).

Tabela 15. Dados utilizados para determinação da taxa de sedimentação e da cronologia dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha e Popa Verde.

Recifes	Distância da costa (km)	Taxa média acumulação sedimento (mm/ano)	Cronologia em anos (cm/testemunho)	Limite detecção Pb²¹⁰ (cm)	Comprimento testemunho (cm)	Idade testemunho (anos)
Coroa Vermelha	15	6,94	1,4	23,5	45	63
Popa Verde	35	10,04	1,0	24,5	62	62

7. DISCUSSÃO

7.1 COR DO SEDIMENTO E SUA RELAÇÃO COM A COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DAS AMOSTRAS

No sedimento dos testemunhos estudados predominam cores com tonalidades mais escuras nos recifes mais próximos da costa e sedimentos mais claros nos recifes localizados mais afastados do continente. Nos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha e Pedra de Leste, os quais estão localizados respectivamente a 15 km e 12 km afastados do continente, o sedimento apresenta tons acinzentados mais escuros, enquanto que no sedimento do testemunho do recife Popa Verde localizado aproximadamente 35 km da linha de costa, há uma maior ocorrência de sedimento com cores em tons de cinza mais claro.

Tons acinzentados do sedimento são comumente atribuídos à presença de altos teores de conteúdo orgânico no sedimento fino (silte e argila) e/ou a presença de sulfato de ferro redutor (Duleba, 1994). Estas são condições que estão comumente presentes em ambientes com circulação restrita, a qual permite a deposição do sedimento fino. Tanto a matéria orgânica como o ferro são provenientes de descargas de sedimento fino de origem continental no ambiente marinho.

Nos três testemunhos analisados os teores de sedimento fino lamoso (silte + argila) são relativamente altos, uma média que varia em torno de 45% e 55% (ver figuras 26, 27, 28). A composição mineralógica desta fração lamosa dos três testemunhos inclui os argilo-minerais caulinita e ilita, os quais têm origem continental. Observam-se nas figuras 34, 35 e 36, picos da caulinita e da ilita apresentando maior intensidade no sedimento dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha e Pedra de Leste, porém também presentes (com intensidade menor) nos difratogramas do testemunho do recife Popa Verde.

O material sedimentar fino de origem continental é a principal fonte tanto de matéria orgânica quanto de ferro, o que contribui para a ocorrência de sedimentos com tons mais escuros onde sua presença é mais alta. A matéria orgânica é carregada associada com os argilo-minerais e o ferro nas suas formas redutoras pode também preencher micro poros de grãos biodetríticos, um micro ambiente redutor, escurecendo as carapaças carbonáticas (Leão e Machado, 1989).

Esta relação entre a cor e a composição mineralógica do sedimento foi também observada por Leão (1982) nos sedimentos superficiais do fundo da região de Abrolhos. Nos recifes localizados em distâncias inferiores a 20 km do continente a autora observou a predominância de sedimentos nos tons acinzentados mais escuros e nas áreas recifais mais distantes da costa

osedimento tem tons de cinza mais claro. A composição deste sedimento fino nestas áreas recifais é semelhante ao observado nos testemunhos estudados. A figura 39 ilustra difratogramas de raios-X do sedimento superficial do fundo no entorno dos recifes Coroa Vermelha e Popa Verde, estudados por Leão (1982), onde se vê que os picos dos argilo-minerais caulinita (K) e ilita (I) são mais altos (maior intensidade) no sedimento do recife Coroa Vermelha, enquanto que os picos dos dois minerais carbonáticos calcita (C) e aragonita (A) são maiores no gráfico do sedimento do recife Popa Verde.

A presença destes argilo-minerais no sedimento de vários recifes costeiros da região de Abrolhos foi também registrada por Minervino Netto (2008). No recife Pedra de Leste, por exemplo, os difratogramas registram a presença dos picos de caulinita associados aos minerais carbonáticos calcita e aragonita.

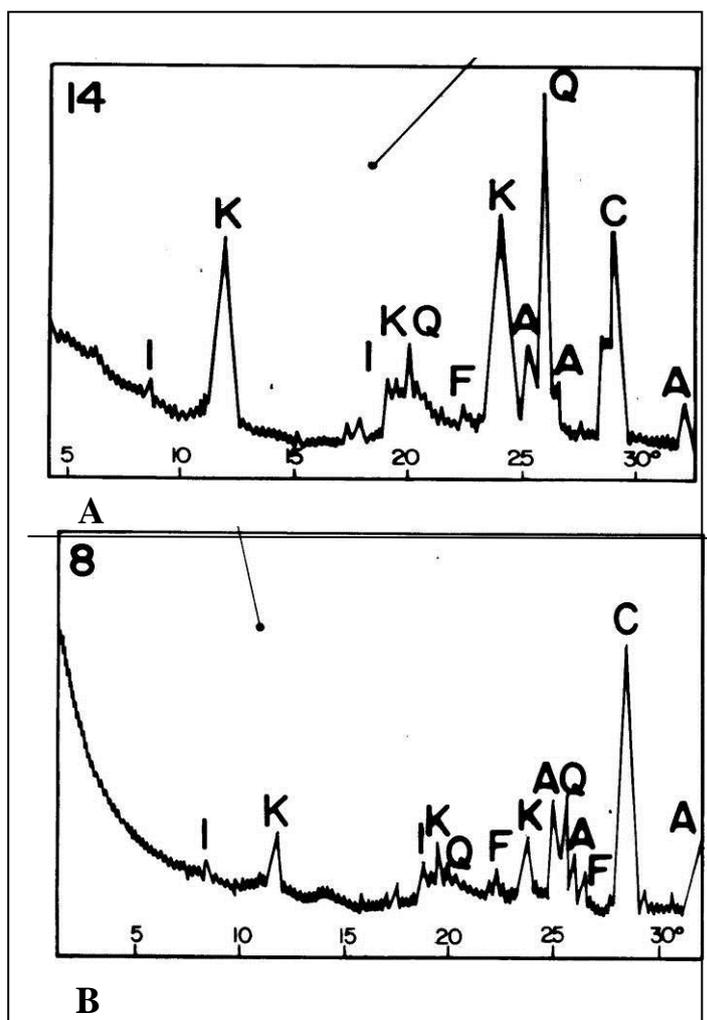


Figura 39. Difratogramas de raios-X ilustrando os principais argilo-minerais identificados no sedimento superficial do entorno dos recifes Coroa Vermelha (A) e Popa Verde (B) em

amostras coletadas no ano de 1977 (Leão, 1982). I=ilita; K=caulinita; Q=quartzo; F=feldspato; A=aragonita; C=calcita.

Todos estes exemplos são mais um indicativo de que a presença dos argilo-minerais de origem continental é a causa do escurecimento do sedimento lamoso nos recifes localizados mais próximos da costa, enquanto que o aumento dos teores dos minerais carbonáticos responde pela presença de sedimentos mais claros nos recifes mais afastados do continente.

O aumento do teor dos minerais carbonáticos no sedimento do testemunho do recife Popa Verde, mais distante da costa, em relação aos teores encontrados no sedimento dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha e Pedra de Leste (Figura 40 A), foi observado, também, no sedimento superficial do fundo no entorno dos recifes de Abrolhos durante os trabalhos de Leão (1982) (coleta de 1977) e Leão *et al.* (2006) (coleta de 2000) (Figura 40 B, C). Embora as médias dos teores de CaCO_3 nos testemunhos estudados neste trabalho sejam um pouco inferiores às médias encontradas para o sedimento superficial estudado em 2000 e 1977, todos os resultados apresentam a mesma tendência de distribuição, o teor de CaCO_3 aumenta na medida que se afasta do continente.

Dutra *et al.* (2006) analisando o conteúdo do sedimento acumulado em armadilhas no topo dos recifes de Abrolhos, observou padrão semelhante em coletas realizadas nos anos de 2001 e 2002. Nas amostras do sedimento acumulado nas armadilhas os teores de CaCO_3 nos recifes costeiros (Pedra de Leste) em torno de 50% , aumentaram para cerca de 70% nos recifes mais afastados da costa.

Estes resultados, além de mostrarem a relação da cor do sedimento com a sua composição mineralógica, pois os sedimentos que apresentam cores com tons mais claros são os que possuem os teores dos minerais carbonáticos mais elevados, eles são, também, uma evidência de que não houve modificações temporais durante a produção, a acumulação e a distribuição do sedimento carbonático nas áreas do entorno dos recifes de corais costeiros da região de Abrolhos, nas últimas décadas.

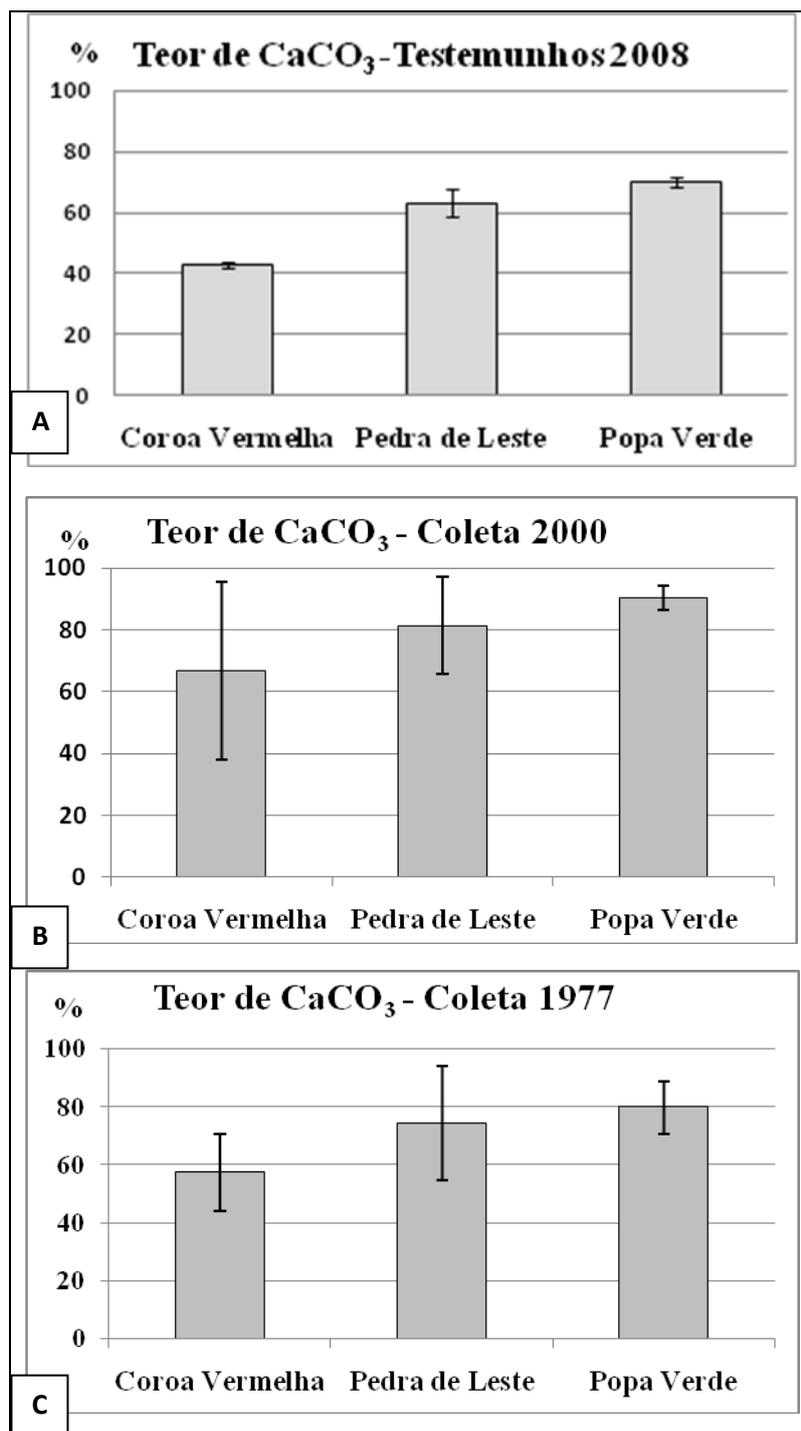


Figura 40. Gráficos ilustrando as médias (\pm DP) dos teores de CaCO₃ nas amostras do sedimento dos recifes Coroa Vermelha, Pedra de Leste e Popa Verde, em três períodos distintos: testemunhos dos recifes (2008) e sedimento superficial (2000, 1977).

7.2 TEXTURA, COMPOSIÇÃO E FONTE DO SEDIMENTO

7.2.1. Característica textural do sedimento

Os resultados da análise granulométrica apresentados neste trabalho mostram que nos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha, Pedra de Leste e Popa Verde predominam sedimentos areno-lamosos a lamo-arenosos (ver figuras 23, 24, 25) com teores da fração areia iguais ou pouco maiores que 50% e os teores da fração lama (silte + argila) pouco variados (ver figuras 26, 27, 28).

Ao longo dos três testemunhos os teores dos três tipos texturais do sedimento: areia, silte e argila mostram pouca variação com, apenas, uma ligeira tendência de sedimentos mais finos na direção do topo do testemunho do recife Coroa Vermelha e no sedimento do recife Popa Verde estas três frações granulométricas apresentam uma distribuição mais ou menos homogênea ao longo de todo o testemunho (ver figuras 26, 27 e 28).

Estes resultados indicam que não há variação significativa na composição textural do sedimento dos testemunhos dos três recifes estudados, tanto na sua distribuição espacial (entre recifes mais próximos e mais afastados da costa), quanto durante o tempo de sua deposição (ao longo de um período de mais de seis décadas).

Considerando-se que há dados do sedimento superficial da região dos recifes de Abrolhos coletados em diferentes períodos durante as três últimas décadas, foram selecionados os dados de dois períodos distintos (2000 e 1977) para serem comparados com os resultados encontrados no sedimento dos testemunhos analisados neste trabalho. Estes dados plotados nos gráficos das figuras 44, 45 e 46 referem-se aos teores dos tipos texturais de seis amostras dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha, Pedra de Leste e Popa Verde selecionadas nas alturas (centímetros) correspondentes, aproximadamente, aos anos de 2000 e de 1977 (Figura 41A), e três amostras do sedimento superficial do fundo coletadas no entorno destes recifes durante estes mesmos anos (2000 e 1977) (Figuras 41 B, C) (Leão *et al.*, 2006; Leão, 1982).

Comparando-se os gráficos das três figuras citadas, nota-se que, de um modo geral, ocorrem dois padrões distintos na distribuição do sedimento tamanho areia: i) durante os anos de 2000 e 1977, houve um maior incremento na deposição da fração tamanho areia na maioria das amostras do sedimento superficial do recife Coroa Vermelha (Figura 41 B, C), e ii) o mesmo padrão é observado com a maioria das amostras do sedimento superficial coletado no ano de 1977 nos três recifes estudados (Figuras 41 , 42, 43 C).

No sedimento do recife Pedra de Leste observa-se, de um modo geral, um maior percentual da fração lamosa (silte+argila), a exceção das amostras do sedimento superficial coletado no ano de 1977, que como já citado, o sedimento tamanho areia predomina, discordando com o observado no sedimento da parte do testemunho correspondente a este mesmo período (Figura 42 A, B, C). No sedimento do recife Popa Verde há um equilíbrio entre os teores de areia e lama (silte+argila) no sedimento do testemunho, porém este padrão não ocorre nas amostras do sedimento superficial. Na coleta de 2000 predominam sedimentos finos e na coleta de 1977 há um predomínio de sedimentos arenosos (Figura 43 A, B, C).

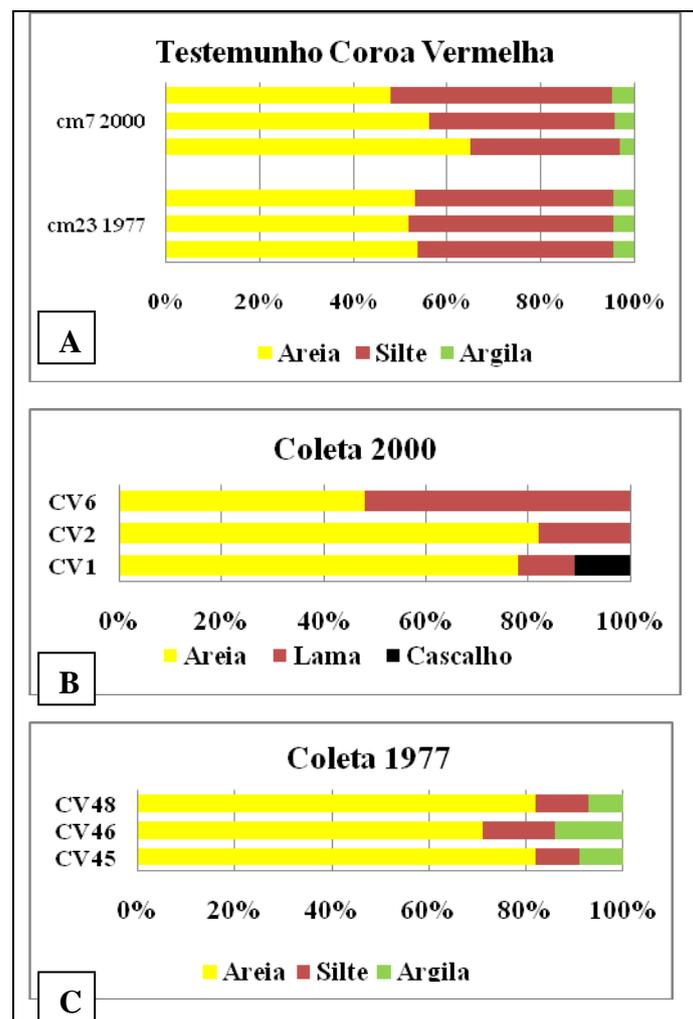


Figura 41. Sedimento do recife Coroa Vermelha. A - Teores de areia, silte e argila de três amostras do testemunho correspondentes aos intervalos equivalentes aos anos de 2000 e 1977. B - Teores de areia, lama (silte+argila) e cascalho de três amostras do sedimento superficial coletadas no ano de 2000 no entorno do recife. C - Teores de areia, silte e argila de três amostras coletadas do sedimento superficial no entorno do recife no ano de 1977.

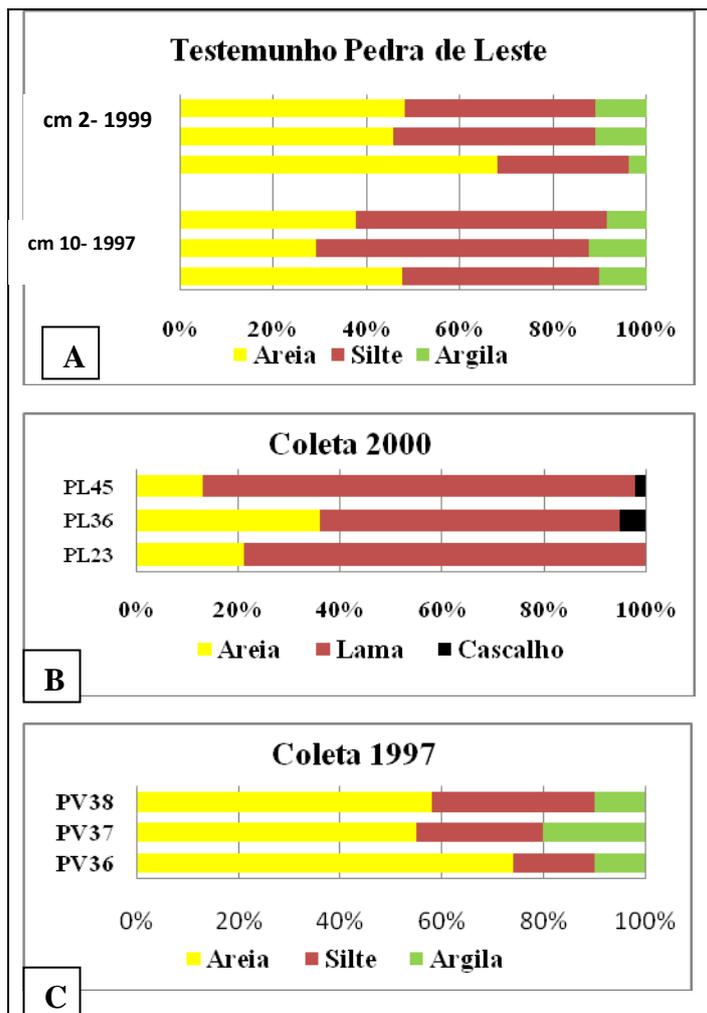


Figura 42. Sedimento do recife Pedra de Leste. A - Teores de areia, silte e argila de três amostras do testemunho correspondentes aos intervalos equivalentes aos anos de 2000 e 1977. B - Teores de areia, lama (silte+argila) e cascalho de três amostras do sedimento superficial coletadas no ano de 2000 no entorno do recife. C - Teores de areia, silte e argila de três amostras coletadas do sedimento superficial no entorno do recife no ano de 1977.

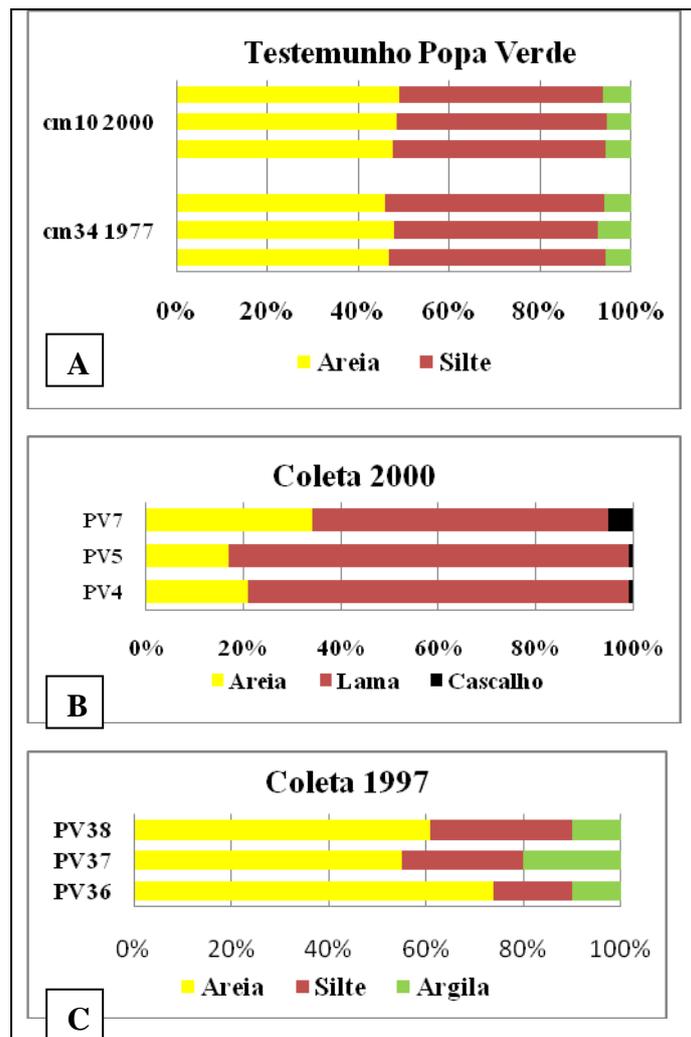


Figura 43. Sedimento do recife Popa Verde. A - Teores de areia, silte e argila de três amostras do testemunho correspondentes aos intervalos equivalentes aos anos de 2000 e 1977. B - Teores de areia, lama (silte+argila) e cascalho de três amostras do sedimento superficial coletadas no ano de 2000 no entorno do recife. C - Teores de areia, silte e argila de três amostras coletadas do sedimento superficial no entorno do recife no ano de 1977.

Estas diferenças podem estar relacionadas a vários fatores: i) a morfologia das estruturas recifais, ii) a localização dos pontos de coleta das amostras em relação à energia das ondas e correntes que chegam até os recifes, iii) a profundidade da água no entorno dos recifes e iv) o método de coleta do sedimento.

No que se refere à morfologia das estruturas recifais, Dutra (2003) chama a atenção que os recifes rasos com forma de bancos alongados paralelos à costa podem constituir uma espécie de barreira que aprisiona o sedimento fino na sua face protegida da ação dos ventos e correntes que chegam de alto mar. Este é o exemplo do recife Pedra de Leste, que além de estar localizado na

parte a sotavento dos bancos recifais mais extensos do arco costeiro dos recifes de Abrolhos (Parcel das Paredes), estando protegido dos ventos de leste e nordeste, mais comuns durante o ano, ele forma, ainda, uma pequena barreira entre os recifes maiores e a costa, devido a sua morfologia de um pequeno banco alongado, favorecendo a acumulação do sedimento fino que é transportado pelas correntes ao longo da costa.

O recife Popa Verde é formado por colunas coralinas isoladas em profundidades iguais ou superiores a 20 m, com seus topos localizados cerca de 5 m abaixo do nível do mar. A associação da morfologia dessas estruturas recifais com a profundidade da água deve favorecer a deposição do sedimento fino nas depressões (canais) entre as colunas coralinas, que funcionam como uma espécie de armadilha para o aprisionamento do sedimento fino.

Em contraste, o recife Coroa Vermelha está localizado em águas muito mais rasas (em torno de 8 m), a sua morfologia de um banco raso situado numa posição ligeiramente inclinada em relação à linha da costa faz com que ele esteja mais exposto à ação das ondas e correntes de sul e sudeste que ocorrem durante os temporais de inverno. Estes fatores são desfavoráveis à deposição do sedimento fino, o qual é comumente lavado durante os períodos de maior energia hidrodinâmica.

Com relação à maior presença de sedimentos arenosos nas amostras do sedimento superficial coletado no ano de 1977, o método empregado na coleta desse sedimento pode ser a principal causa. Em 1977 as amostras foram coletadas usando um amostrador de fundo tipo “*mud snaper*” lançado da embarcação. Mesmo se tratando de uma embarcação de pequeno porte o lançamento do amostrador foi realizado, sempre, a uma distância afastada das estruturas recifais, em áreas mais expostas à ação das ondas e correntes, onde há menor acumulação do sedimento fino.

Já a coleta das amostras do ano 2000 foi realizada durante mergulhos autônomos, o que permitiu que os mergulhadores coletassem o sedimento bem próximo da base das estruturas recifais, em locais mais protegidos, onde há uma maior acumulação do sedimento fino. Isto deve ter ocorrido, sobretudo, nos recifes Pedra de Leste e Popa Verde onde se vê predominância de sedimento lamoso (Figuras 42 B, 43 B). Ao contrário, nas amostras do sedimento do recife Coroa Vermelha predomina a fração areia com um baixo teor de grãos tamanho cascalho (diâmetro >2 mm) (Figura 41 B). Este recife, como já foi descrito, está exposto a uma maior ação da energia hidrodinâmica, evitando a deposição do sedimento fino.

7.2.2. A composição e a fonte das partículas constituintes do sedimento

Dois tipos principais de grãos compõem o sedimento do entorno dos recifes de corais costeiros de Abrolhos: grãos siliciclásticos e grãos carbonáticos.

O sedimento siliciclástico é menos abundante que o sedimento carbonático e os grãos de quartzo constituem seu principal componente. Plaquetas de mica, grãos de feldspato, minerais pesados e argilo-minerais tem sido reportados, também, no sedimento superficial do fundo da região de Abrolhos, porém em quantidades muito pequenas (Leão, 1982, Tintelnot *et al.*, 1994, Netto, 2008). Estes minerais de origem continental têm como sua principal fonte as descargas dos rios que adentram a região marinha, e provem das rochas e depósitos sedimentares comuns nas zonas costeiras adjacentes, entre eles os afloramentos do embasamento cristalino e as rochas do Grupo Barreiras.

Os grãos carbonáticos dominam no sedimento de granulometria mais grossa. Na fração areia do sedimento dos testemunhos dos recifes estudados foram identificados como constituintes principais sete organismos portadores de esqueletos e/ou carapaças calcárias: fragmentos de conchas de molusco, restos do esqueleto de algas calcárias incluindo as algas vermelhas incrustantes e as verdes calcárias, entre estas a alga *Halimeda*, testas de foraminíferos, conchas de ostrácodes e restos do esqueleto de crustáceos, de briozoários e de equinodermas. Estes grãos de origem biogênica são formados *in situ* e tem como sua principal fonte a biomineralização das partes esqueléticas dos organismos que compõem a fauna e flora marinhas bentônicas (Leão e Ginsburg, 1997).

Os fragmentos das conchas de moluscos e do esqueleto das algas calcárias dominam com mais de 50% do conteúdo biodetrítico do sedimento de dois testemunhos, a exceção apenas para o sedimento do testemunho do recife Coroa Vermelha, onde as algas calcárias não alcançam mais que 2% do total dos fragmentos esqueléticos (Figuras 44A, 45A, 46A). De um modo geral não se observa uma variação significativa na composição dos componentes biodetríticos entre o sedimento dos testemunhos dos recifes localizados próximos e afastados da costa.

Quanto a variações ao longo dos testemunhos, observa-se na tabela 12 que não há mudança significativa entre a composição das amostras da base e do topo dos testemunhos. Ainda, comparando-se a composição do sedimento dos testemunhos com os teores dos mesmos elementos biogênicos do sedimento superficial coletado no ano de 1977 (Figuras 44A, B, 45A, B, 46 A, B), observa-se, também, que há uma grande semelhança entre os teores dos grãos carbonáticos dos testemunhos e do sedimento superficial. Estas são informações indicativas que não houve variação temporal durante a deposição do sedimento carbonático na área dos recifes

costeiros de Abrolhos, sugerindo, portanto, que não houve mudanças na composição da fauna e flora locais durante as últimas décadas.

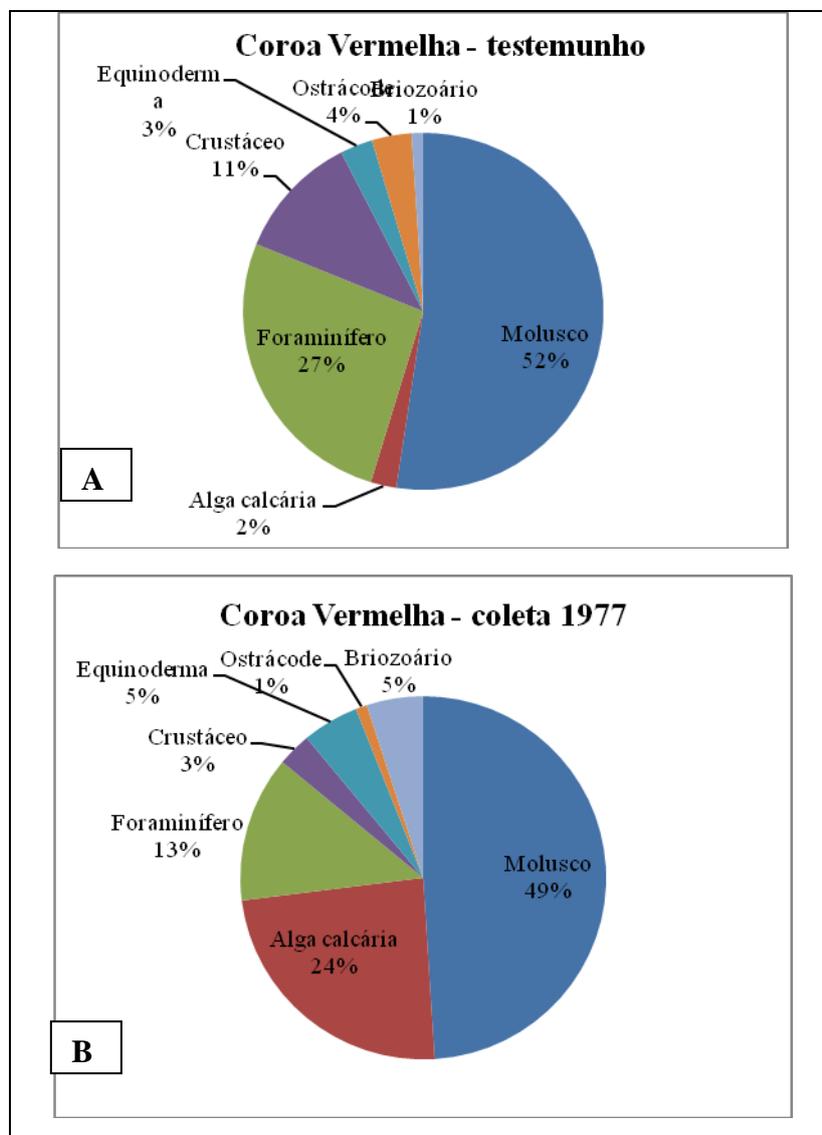


Figura 44. Componentes biogênicos da fração areia do sedimento do recife Coroa Vermelha. Coleta 1977 de acordo com Leão (1982).

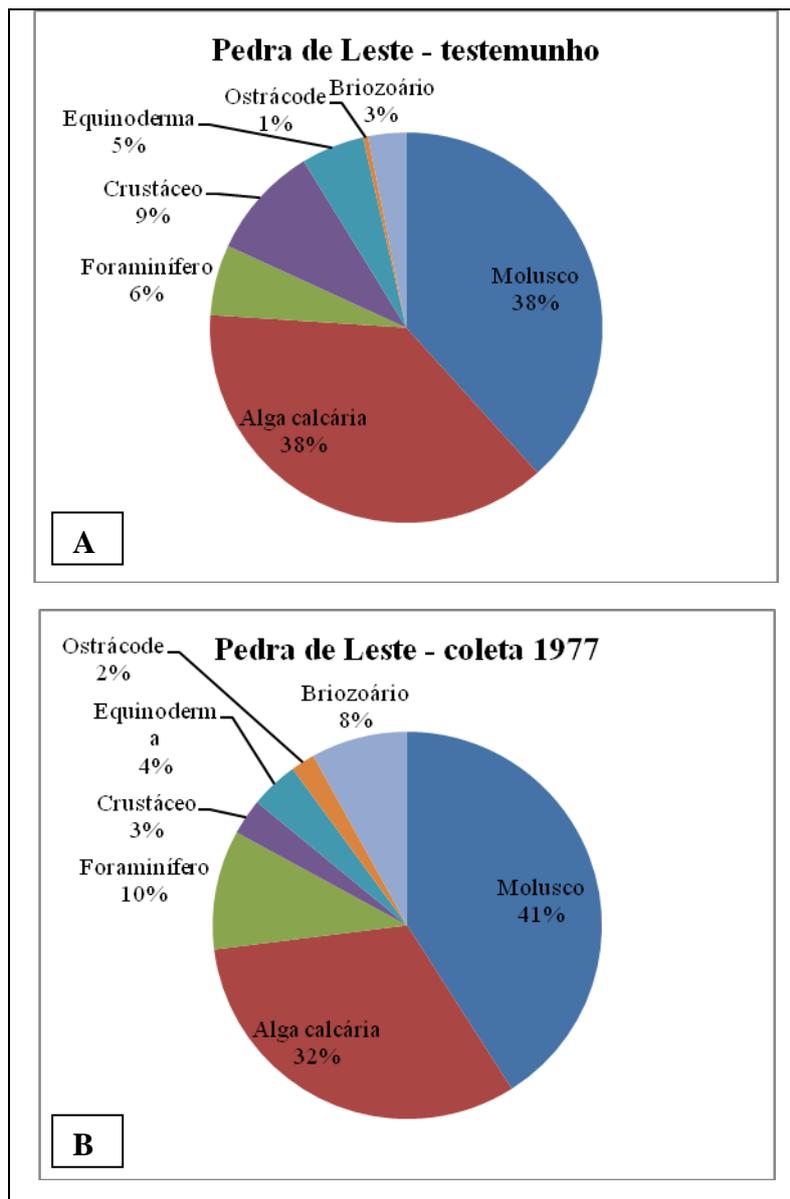


Figura 45. Componentes biogênicos da fração areia do sedimento do recife Pedra de Leste. Coleta 1977 de acordo com Leão (1982).

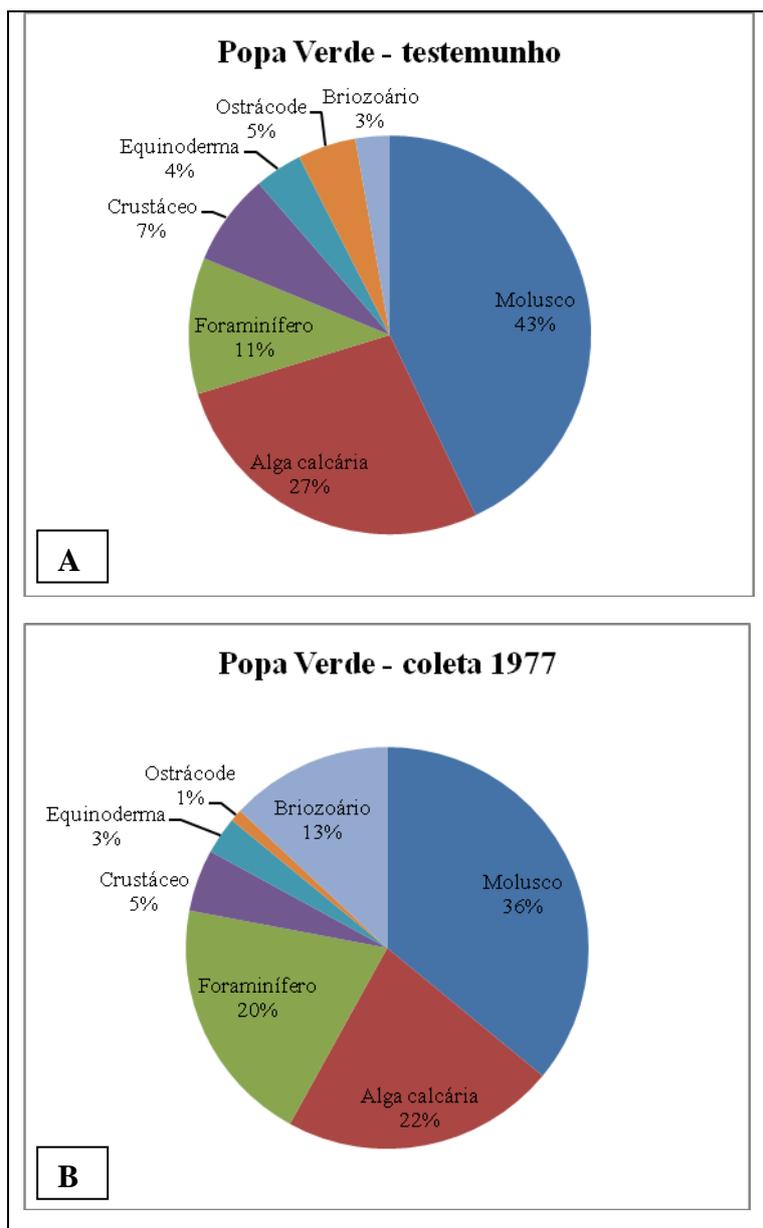


Figura 46. Componentes biogênicos da fração areia do sedimento do recife Popa Verde. Coleta 1977 de acordo com Leão (1982).

7.3 TAXA DE SEDIMENTAÇÃO E GEOCROLOGIA DOS TESTEMUNHOS

Neste trabalho a taxa de sedimentação foi avaliada, no ambiente costeiro de Abrolhos, para os testemunhos dos recifes Coroa Vermelha e Popa Verde. Para o testemunho do recife Pedra de Leste foram usados os dados de Minervino Netto (2008).

Nos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha e Popa Verde a taxa foi medida até o ano de 2008, quando os testemunhos foram coletados, e no testemunho do recife Pedra de Leste a taxa

foi calculada até 2002, o ano da sua coleta. Observa-se na tabela 16 que não há diferenças nos limites de detecção do Pb^{210} nos três testemunhos analisados, 23,5cm nos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha e Pedra de Leste, e 24,5 cm no testemunho do recife Popa Verde. Porém diferenças são observadas nos valores encontrados para a taxa de sedimentação, para a cronologia (número de anos/cm) dos testemunhos e, conseqüentemente, para o número de anos avaliados em cada testemunho. Nos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha e Popa Verde o período de avaliação da taxa de sedimentação atingiu de duas e meia a um pouco mais de três décadas, enquanto que para o testemunho do recife Pedra de Leste o período de medida da taxa atingiu cerca de seis décadas.

Há uma diferença significativa nos valores das taxas de sedimentação entre os testemunhos dos recifes Coroa Vermelha e Popa Verde, cuja medida da taxa estende-se até o ano de 2008, em relação com o valor da taxa de sedimentação do testemunho do recife Pedra de Leste, cuja medida estende-se somente até o ano de 2002. Nos primeiros, os valores encontrados variam de 6,94 mm/ano para o testemunho do recife Coroa Vermelha a 10,04 mm/ano para o testemunho do recife Popa Verde, enquanto que para o testemunho do recife Pedra Leste a taxa de sedimentação encontrada por Minervino Netto (2008) é de apenas 3,98 mm/ano.

Esta diferença observada nos valores das taxas de sedimentação entre os testemunhos avaliados até o ano de 2008 (Coroa Vermelha e Popa Verde) e o testemunho avaliado até o ano de 2002 (Pedra de Leste), é uma indicação de que houve um incremento na produção e na deposição de sedimento na área costeira de Abrolhos, nos últimos seis anos (entre 2002 e 2008).

A diferença encontrada entre as taxas de sedimentação do testemunho do recife Coroa Vermelha (6,94 mm/ano) e do testemunho do recife Popa Verde (10,04 mm/ano) localizados em diferentes distâncias da linha de costa, indica influência das condições hidrodinâmicas e da morfologia das estruturas recifais na acumulação do sedimento fino no entorno dos recifes. Como já foi descrito anteriormente, a morfologia das estruturas recifais e a profundidade da água no entorno do recife Popa Verde constitui um ambiente mais protegido da ação das ondas e correntes, o qual favorece o aprisionamento do sedimento fino nos canais entre os pináculos coralinos isolados em profundidades comumente acima de 20 m. Já o recife Coroa Vermelha que está localizado mais próximo do continente é formado por bancos rasos, os quais estão expostos a uma maior energia hidrodinâmica.

Esses resultados contrastam com os dados encontrados por Dutra (2003) para a taxa de acumulação de sedimento medida em armadilhas na superfície dos recifes. Os dados de Dutra (2003) indicam taxas de acumulação maiores para os recifes mais próximos da costa (Pedra de Leste e Lixa) em comparação com os recifes mais afastados do continente. No trabalho de

Dutra (2003), não foi medida a taxa de acumulação de sedimento no recife Popa Verde que, como já foi salientado, está exposto a condições hidrodinâmicas diferentes dos demais recifes avaliados. Os recifes mais afastados da costa, avaliados no trabalho de Dutra (2003) (Timbebas e Pedra Grande Sul), são formados por colunas coralinas isoladas, rasas onde, segundo descrições do próprio autor, a circulação no entorno desses recifes sob a ação das ondas e correntes favorece a retirada do sedimento fino que é depositado no fundo recifal.

Tabela 16. Taxa de sedimentação e cronologia dos testemunhos dos recifes Coroa Vermelha, Pedra de Leste e Popa Verde. Dados da taxa de sedimentação do testemunho do recife Pedra de Leste estão de acordo com Minervino Netto (2008).

Recifes	Taxa média acumulação sedimento (mm/ano)	Cronologia em anos (cm/testemunho)	Limite detecção Pb ²¹⁰ (cm)	Número de anos avaliados	Referência
Coroa Vermelha	6,94	1,4	23,5	32,9 (~1975 a 2008)	Este trabalho
Pedra de Leste	3,98	2,6	23,5	61,1 (~1941 a 2002)	Minervino Netto (2008)
Popa Verde	10,04	1,0	24,5	24,5 (~1983 a 2008)	Este trabalho

Para avaliar se o incremento da taxa de sedimentação durante os últimos seis anos, no entorno dos recifes costeiros de Abrolhos, é efeito do aumento na deposição do sedimento lamoso, foram calculadas as médias dos teores de lama (silte+argila) dos testemunhos dos três recifes, considerando: i) o comprimento total do testemunho, isto é o período total de anos do testemunho; ii) o período entre 2008 e 2002, e iii) o período antes de 2002 (Tabela 17).

Os resultados encontrados mostram que: i) o testemunho do recife Popa Verde é o que apresenta a maior média para os teores de sedimento lamoso, com percentual acima de 52%; ii) não há discrepâncias entre os valores das médias de lama entre o período total de anos avaliados dos testemunhos dos três recifes e o período avaliado até o ano de 2002; iii) não há grandes diferenças entre os valores das médias dos teores de sedimento fino entre os testemunhos dos recifes Coroa Vermelha e Pedra de Leste (recifes mais próximos da costa) apesar da grande variação entre os períodos avaliados (63 anos para o testemunho Coroa Vermelha e mais de cem anos para o testemunho do recife Pedra de Leste) e, iv) o testemunho do recife Coroa Vermelha

é o único que apresenta um aumento real na média do percentual de sedimento lamoso após o ano de 2002, com um incremento de cerca de 8%.

Tabela 17. Média (\pm DP) dos teores de sedimento lamoso (silte+argila) durante três períodos: i) o período total de anos dos testemunhos; ii) o período entre 2002 e 2008; iii) o período antes de 2002.

Recifes	No período total de anos	No período entre 2002 e 2008	No período anterior a 2002
	%	%	%
Coroa Vermelha	49,9 \pm 6,9	57,5 \pm 7,9	49,2 \pm 6,4
Pedra de Leste	46,1 \pm 11,9	41,5 \pm 12,5	46,5 \pm 11,8
Popa Verde	52,5 \pm 3,3	51,0 \pm 2,7	52,3 \pm 3,2

Os teores de carbonato de cálcio do testemunho do recife Popa Verde, acima de 70% ao longo de todo o testemunho (ver figura 32), indicam que o sedimento lamoso, no entorno deste recife, é predominantemente material produzido *in situ*, resultante da desintegração das partes esqueletais dos organismos que habitam o próprio ambiente recifal. Este sedimento lamoso é depositado no fundo dos canais que separam as estruturas coralinas, e sua produção não tem sofrido variações ao longo das últimas seis décadas.

No testemunho do recife Coroa Vermelha houve um aumento no teor de sedimento lamoso em torno de 8%, nos últimos seis anos. Considerando que os teores de CaCO_3 ao longo deste testemunho variam um pouco acima de 40%, o material sedimentar que vem sendo depositado nas circunvizinhanças deste recife é predominantemente de natureza siliciclástica que tem como sua principal fonte sedimento proveniente das descargas continentais que chegam à zona marinha costeira. A ocorrência dos picos dos argilo-minerais caulinita e illita nos difratogramas de raios-X ilustrados na figura 34, confirmam a proveniência continental deste sedimento lamoso que está sendo depositado na zona costeira de Abrolhos, com maior intensidade nos últimos seis anos.

Estas observações concordam com os achados de Minervino Netto (2008) e sua afirmação de que a conjunção dos fatores oceanográficos, meteorológicos e antropogênicos têm favorecido a deposição de sedimento de origem continental na zona costeira desta região, podendo ser um indicativo de que ações antropogênicas podem estar, em longo prazo, aumentando a carga de sedimento terrígeno no ambiente recifal de Abrolhos.

Lessa *et al.* (2005) realizaram análises para determinar os padrões da sedimentação nas áreas dos recifes costeiros de Abrolhos que estão localizados próximos a um canal onde estavam sendo realizadas as dragagens. Após três anos de monitoramento, esses autores concluíram que o aumento da turbidez na região de estudo foi causado por fenômenos físicos naturais não se associando assim às atividades de dragagem.

Considerando os resultados encontrados neste trabalho de que houve um incremento no aumento do sedimento de origem continental nas proximidades do recife Coroa Vermelha, nos últimos seis anos, justamente a partir do início das obras das dragagens mencionadas por Lessa *et al.* (2005), surge a seguinte questão: estaria este aumento da taxa de sedimento na área costeira de Abrolhos associado apenas a fenômenos físicos naturais?

Pelo fato do incremento de sedimento de origem continental nas proximidades do recife Coroa Vermelha, a partir do ano de 2002, coincidir com o início da construção do terminal portuário do Canal do Tomba, é possível que além de variações nos fenômenos físicos naturais que possam estar ocorrendo na região de Abrolhos, os processos de dragagem e descarte do material sedimentar devem estar contribuindo, também, para o aumento da sedimentação no entorno desses recifes nos últimos anos.

Este aumento das descargas de sedimento de origem continental para as áreas dos recifes pode aumentar o efeito deletério sobre sua fauna construtora, afetando negativamente a estrutura e o funcionamento do ecossistema recifal por alterar os seus processos físicos e biológicos (Rogers, 1990, Cortés e Risk, 1985). O aumento da turbidez das águas em consequência do aumento da quantidade de sedimento em suspensão diminui a luminosidade prejudicando os processos fotossintéticos das algas simbiotes dos corais, e a siltação sobre as colônias vivas dos corais destrói o seu tecido vivo através da abrasão ou por impacto das partículas de sedimento, provocando sua morte e, conseqüentemente, uma diminuição da cobertura vida de corais, comprometendo a diversidade do ecossistema (Cortés e Risk, 1985, Acevedo *et al.*, 1989).

Os recifes de coral costeiros do Brasil têm sobrevivido em um ambiente com elevada turbidez e altos teores de sedimento de origem continental. A coexistência desses recifes com altas taxas de sedimento, como sugerem Leão *et al.* (2006), é o resultado da adaptação de uma fauna coralina de baixa diversidade e alto teor de espécies endêmicas, da qual somente espécies mais resistentes conseguiram sobreviver a este ambiente considerado inóspito para a maioria das espécies construtoras dos recifes. Por outro lado, considerando que os períodos de mais elevada

turbidez coincidem com épocas das tempestades de verão, os efeitos nocivos dos sedimentos lamosos nos recifes têm sido apenas ocasionais (Leão e Ginsburg, 1997).

O incremento no aumento da deposição de sedimento fino de origem continental na zona costeira da região de Abrolhos, nos últimos anos, deve ser considerado como uma alerta de que, como afirma Minervino Netto (2008), os processos locais resultantes de ações antropogênicas, podem estar respondendo pelo aumento da carga de sedimento terrígeno no ambiente recifal. E estes processos poderão ser intensificados quando agirem em sinergia com os efeitos dos processos físicos decorrentes das mudanças globais.

8. CONCLUSÕES

Com base na análise de testemunhos de sedimento coletados no ano de 2002, nas áreas interrecifais de Abrolhos, Minervino Netto (2008) avaliou a evolução da sedimentação nos recifes do banco de Abrolhos e sua relação com a modificação da zona costeira do extremo sul da Bahia, nos últimos 150 anos, e mostrou a necessidade de estudos do comportamento do aporte e da deposição dos sedimentos nas áreas do entorno dos recifes, em escalas decenais e seculares. Assim, para complementar o trabalho de Minervino Netto (2008), no presente estudo avaliou-se a evolução da sedimentação no entorno dos recifes costeiros de Abrolhos para verificar se houve aumento da taxa de sedimentação durante as últimas décadas, particularmente após as obras de construção do terminal portuário do Canal do Tomba (projeto iniciado em 2002), o qual está localizado próximo a estes recifes.

As análises do sedimento de testemunhos coletados no ano de 2008 no entorno de três recifes costeiros localizados em diferentes distâncias da linha de costa, comparados com resultados de trabalhos anteriores e particularmente com os achados de Minervino Netto (2008), nos permitiram concluir o seguinte:

- A cor do sedimento analisado tem relação com sua composição mineralógica. A presença dos argilo-minerais de origem continental (caulinita e ilita), que são os veículos de matéria orgânica e minerais de ferro para o ambiente marinho, são os responsáveis pelo escurecimento do sedimento lamoso dos testemunhos dos recifes localizados mais próximos da costa. Os teores elevados dos minerais carbonáticos (calcita e aragonita) respondem pela presença de sedimentos com cores mais claras no testemunho do recife localizado mais distante do continente;
- Os três testemunhos são constituídos de sedimentos areno-lamosos a lamo-arenosos. As diferenças observadas na distribuição espacial desses tipos texturais (areia e lama) estão relacionadas à morfologia das estruturas recifais, a localização dos pontos de coleta dos testemunhos em relação à energia hidrodinâmica da região e à profundidade das águas no entorno dos recifes. Os recifes com forma de bancos alongados paralelos à costa formam uma barreira que favoreceu a acumulação do sedimento fino (lamoso) na sua face à sotavento, a exemplo do recife Pedra de Leste. A localização do recife Coroa Vermelha, um banco raso mais ou menos inclinado em relação à linha da costa, faz com que ele esteja exposto às condições hidrodinâmicas que favorecem a lavagem do sedimento fino. A morfologia do recife Popa Verde, de colunas coralinas isoladas em

profundidades superiores a 20 m, favorece a deposição do sedimento fino nas depressões entre estes pináculos coralinos que funcionam como uma espécie de armadilha de sedimento;

- Grãos siliciclásticos e componentes carbonáticos compõem o sedimento dos testemunhos. O sedimento de natureza siliciclástica predomina no testemunho do recife Coroa Vermelha e é predominantemente constituído de grãos de quartzo e argilo-minerais provenientes das rochas e depósitos sedimentares comuns nas zonas costeiras adjacentes. O sedimento carbonático é mais abundante nos testemunhos dos recifes Pedra de Leste e Popa Verde, ele é composto por grãos de origem biogênica formados *in situ*, resultantes da biomineralização das partes esqueletais dos organismos que compõem a fauna e flora marinhas. Ao longo destes testemunhos não foram observadas variações significativas entre a composição das amostras da base e do topo dos testemunhos, sugerindo que não houve mudanças nas condições ambientais e na composição da fauna e flora locais durante as últimas décadas;
- Diferenças nas taxas de sedimentação foram observadas entre os testemunhos dos recifes Coroa Vermelha e Popa Verde, cuja medida estendeu-se até o ano de 2008, e entre os testemunhos destes recifes e do recife Pedra de Leste, cuja medida realizada por Minervino Netto (2008) estendeu-se até o ano de 2002. A diferença encontrada para as taxas de sedimentação dos testemunhos do recife Coroa Vermelha, de 6,94 mm/ano, e para o testemunho do recife Popa Verde, de 10,04 mm/ano, indica influência das condições hidrodinâmicas e da morfologia das estruturas recifais na acumulação do sedimento fino no entorno desses recifes. Como já foi explicado o recife Popa Verde, localizado em águas mais profundas, constitui um ambiente que favorece o aprisionamento de sedimento no fundo dos canais entre as colunas coralinas isoladas. O recife Coroa Vermelha em forma de um banco raso localizado próximo da costa está mais exposto às condições hidrodinâmicas que favorecem a remobilização do sedimento que chega até o recife. A diferença entre a taxa de sedimentação dos testemunhos avaliados até 2008 e o testemunho avaliado até 2002 (Minervino Netto, 2008), indica que houve um incremento na produção e deposição de sedimento na área do entorno dos recifes mais próximos da costa nos últimos seis anos (de 2002 a 2008);
- As médias dos teores do sedimento lamoso (silte + argila) nos testemunhos dos três recifes revelam que houve um aumento de 8% da média do teor de sedimento fino no testemunho do recife Coroa Vermelha entre os anos de 2002 e 2008. Considerando que os teores do sedimento carbonático ao longo do testemunho deste recife variaram pouco

acima de 40%, o sedimento que está sendo depositado no entorno do recife Coroa Vermelha é predominantemente de natureza siliciclástica. Este incremento significativo no aumento do sedimento de origem continental, nas proximidades do recife Coroa Vermelha nos últimos seis anos, coincide com o início das obras de dragagem para a construção do terminal portuário do Canal do Tomba (projeto iniciado em 2002), e corrobora as observações de Minervino Netto (2008) de que os processos locais resultantes de ações antropogênicas podem estar aumentando a carga de sedimento terrígeno no ambiente recifal costeiro de Abrolhos;

- Considerando o aumento da pressão antropogênica na zona costeira de Abrolhos, particularmente devido a urbanização acelerada motivada, sobretudo, pela atividade turística e o desenvolvimento industrial, os resultados deste estudo devem servir de alerta para que o aumento crescente da sedimentação não venha a se tornar, num futuro próximo, um estresse com conseqüências catastróficas para os recifes, particularmente porque este processo poderá ser intensificado quando agir em sinergia com os efeitos dos fenômenos físicos decorrentes das mudanças globais.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo R., Morelock J.; Olivieri R. A. 1989. Modification of coral reef zonation by terrigenous sediment stress. *Palaios*, **4**: 92-100.
- Andrade, A. C. da S. 1994. Geologia da região costeira de Caravelas – BA: contribuição ao planejamento ambiental. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, 152 p.
- Anthony K. R. N. e Larcombe P. 2000. Coral reefs in turbid waters: sediment-induced stresses in corals and likely mechanisms of adaptation. In: Proc. 9th Int. *Coral Reef Symp*, **1**:239-244.
- Argollo, R. M. 2001. Cronologia de sedimentação recente e de metais pesados na Baía de Todos os Santos usando Pb²¹⁰ e Cs¹³⁷. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em geofísica da Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, 104 p.
- Brown B. E. e Howard L. S. 1985. Assessing the effects of “stress” on reef corals. *Adv. Mar. Biol.*, **22**:1-63.
- Bittencourt, A. C. S. P.; Dominguez, J. M. L.; Martin, L. e Nascimento, I. R. 2000. Patterns of sediment dispersion coastwise the state of Bahia – Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **72**(2): 271-287.
- Castro, B. M. e Miranda, L. B. 1998. Physical oceanography of the western Atlantic Continental shelf located between 4°N and 34°S coastal segment (4W). *The Sea*, **11**:209- 251.
- Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM). 2000. Mapa Geológico do Estado da Bahia. CD-Rom.
- Cortés, J. e Risk, M. J. 1985. A reef under siltation stress: Cahuita, Costa Rica. *Bulletin of Marine Science*, **36**(2): 339-356.
- Chung, Y. e Chang, W. C. 1995. Pb²¹⁰ fluxes and sedimentation rates on the lower continental slope between Taiwan and the south Okinawa trough. *Continental Shelf Research*, **15**: 149-164.
- D. H. N. 1993. Atlas de cartas piloto. Diretoria de Hidrografia e Navegação. 2ª edição. Rio de

Janeiro, 24 p.

Duleba, W. 1994. Interpretações paleoambientais obtidas a partir das variações na coloração das carapaças de foraminíferos da Enseada do Flamengo, SP. *Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo*, **42** (½): 63-72.

Dutra L. X. C. 2003. Os efeitos do aporte de sedimento na vitalidade dos recifes de corais de Abrolhos, Bahia. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 91 p.

Dutra L. X. C., Kikuchi R. K. P., Leão Z. M. A. N. 2006. Effects of sediment accumulation on reef corals from Abrolhos, Bahia, Brazil. *Journal of Coastal Research*, Royal Palm Beach, **39**:639-644.

Edinger E. N., Jompa J., Limmon G. V., Widjatmoko W. e Risk M. 1998. Reef degradation and coral biodiversity in Indonesia: Effects of land-based pollution, destructive fishing practices and changes over time. *Marine Pollution Bulletin*, **36**(8):617-630.

EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análise do solo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Ministério da Agricultura, 2ª edição, Rio de Janeiro, 212p.

Goddard, E. N.; Trask P. D.; Ford, R. K.; Rove, O. N.; Singewald, J. T. e Overbeck, R. M. 1963. *Rock-Color Chart*. Printed in the Netherlands by Huyskes-Enschede. Reprinted by Henry R. Aldrich Publication Fund.

Hodgson, G. 1993. Sediment damage to reef corals. Colloquium on global aspects of coral reefs: Health, Hazard and History, *Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science*, University of Miami, p. 298-303.

Larcombe P. W. e Woolfe K. J. 1999. Increased sediment supply to the Great Barrier Reef will not increase sediment accumulation at most coral reefs. *Coral Reefs*, **18**:163-169.

Lauer-Leredde, C.; Pezard, P. A.; Robert, C. e Dekeyser, I. 1998. Mineralogical association and physical properties of sediments with paleoclimatic implications (ODP Site 789B Japan Sea): a comparative study from core and downhole measurements. *Marine Geology*, **150**: 73-98.

Leão Z. M. A. N. 1982. Morphology, geology and developmental history of the southernmost coral reefs of Western Atlantic, Abrolhos Bank, Brazil. Ph.D Dissertation, Rosentiel School

- of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, Florida, USA, 218 p.
- Leão, Z. M. A. N. e Machado, A. J. 1989. Variação de cor dos grãos carbonáticos de sedimentos marinhos atuais. *Revista Brasileira de Geociências*, **19**(1): 87-91.
- Leão Z. M. A. N. e Kikuchi R .K. P. 1995. Recifes de coral associados à sedimentação com alto teor de siliciclástico. *In: 1^o Simpósio sobre Processos sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira Nordeste do Brasil*. Recife, p. 113-115.
- Leão, Z. M. A. N. 1996. The coral reefs of Bahia: morphology, distribution and the major environmental impacts. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **68**(3) 439-452.
- Leão, Z. M. A. N. e Ginsburg, R .N. 1997. Living reefs surrounded by siliciclastic sediments: The Abrolhos coastal reefs, Bahia, Brazil. *In. Proceedings of 8th Int. Coral Reef Sym.*, p.1767-1772.
- Leão, Z. M. A. N. 2002. Abrolhos-Ba- O complexo recifal mais extenso do atlântico sul. Em: Schobbenhaus C.; Almeida Campos D.; Queiroz E. T.; Winge M. e Berrert-Born M. L. C., (Eds.) *Sítio Geológico e Paleontológico do Brasil*, p. 345-359.
- Leão, Z. M. A. N.; Dutra, L. X. C.; Spanó, S. 2006. The characteristics of bottom sediments. *In: Dutra, G. F.; Allen, G. R.; Werner, T.; Mckenna, S. (Org.). The rapid marine biodiversity assessment of the Abrolhos Bank, Bahia, Brazil. RAP Bulletin of Biological Assessment*. Washington, p. 75-80.
- Leão, Z. M. A. N.; Oliveira, D. M.; Kikuchi, R. K. P. 2008. Os recifes de coral da APA Ponta da Baleia, Bahia. *OLAM-Ciência e Tecnologia*, Rio Claro, São Paulo, Brasil. p.287-315.
- Leipe T., Knoppers B., Marrone E. e Camargo R. 1999. Suspended matter transport in coral reef waters of the Abrolhos Bank, Brazil. *Geology-Marine Letters*, **19**:186-195.
- Lessa, G. C.; Teixeira, C. E. P.; Castro, C. B. 2005. Variabilidade da turbidez e taxas de sedimentação na zona costeira de Caravelas (Ba): existem evidências e impacto das atividades de dragagem do canal do Tomba nos recifes de coral? Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA), Vila Velha, Espírito Santo. CD-Rom.
- Martin, L.; Bittencourt, A. C. S. P.; Vilas Boas, G. S.; Flexor, J. M. 1980. Mapa Geológico do Quaternário Costeiro do Estado da Bahia, 1:2 50. 000. Texto Explicativo, Coordenação da Produção Mineral, Texto Explicativo. Salvador, Bahia, 57 p.

- Milimman, J. D., Yun-Shan Q., Mei-E R. e Saito Y. 1987. Man's Influence on the erosion and Transport of sedimentary by Asian Rivers: the Yellow River (Huanghe) example. *Journal of Geology*, **5**:751-762.
- Minervino Netto, A. 2008. Modificação da zona costeira do extremo sul da Bahia nos últimos 150 anos, e sua relação com a sedimentação do Banco de Abrolhos. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Geologia Marinha Costeira e Sedimentar da Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, 201 p.
- Nimer, E. 1989. *Climatologia do Brasil*. 2ª edição, IBGE, Rio de Janeiro. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 422 p.
- Prates, A. P. T. 2003. Recifes de coral e unidades de conservação costeira e marinhas no Brasil: Uma análise da representatividade e eficiência na conservação da biodiversidade. Tese de Doutorado. Instituto de Biologia, Universidade de Brasília, 176 p.
- Robbins, J. A. e Edgington, D. N. 1975. Determination of recent sedimentation rates in lake Michigan using Pb^{210} and Cs^{137} . *Geochimica et Cosmochimica*, **39**: 285-304.
- Rogers, C. S. 1990. Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Marine Ecology*, **62**:185-202.
- Ruttenberg, K. C. e Goni, M. A. 1997. Phosphorus distribution, C:N:P ratios, and $\delta^{13}C$ in Arctic, temperate and tropical coastal sediments: tools for characterizing bulk sedimentary organic matter. *Marine Geology*, **139**:123-145.
- Segal B., Evangelista H., Kampel M., Gonçalves A. C., Polipo P. S. e Santos E. A. 2008. Potential impacts of polar fronts on sedimentation processes at Abrolhos coral reef (South-West Atlantic Ocean (Brazil)). *Continental Shelf Research*, **28**:533-544.
- Shepard, F. S. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, **24** (3): 151-158.

- Silveira, I. C. A.; Schimidt, A. C. C.; Campos, E. J. D.; Godoi, S. S. e Ikeda, Y. 2000. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *Revista Brasileira de Oceanografia*, **48** (2) 171-183.
- Storlazzi, C.D., Field, M.E., Bothner, M.H., Presto, M.K., e Draut, A.E. 2009. Sedimentation processes in a coral reef embayment: Hanalei Bay, Kauai. *Marine Geology*, **264**: 140-151.
- Tintelnot, M.; Brichta, A.; Morais, J.O e Iron, G. 1994. Clay mineralogy of river sediments on the Brazilian coast. *Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia*, **1**: 317-319.
- Tylmann, W. 2004. Estimating recent sedimentation rates using Pb^{210} on the example of morphologically complex lake (Upper Lake Raduńskie, N Poland). *Geochronometria*. **23**: 21-26.
- Tylmann, W., Turczynski, M. e Kinder, M. 2009. Sedimentation rates and erosion changes recorded in recent sediments of lake Piaseczno, south-eastern Poland. *Geologija*. **51**: 125-130.

APÊNDICES

Apêndice 2. Parâmetros avaliados no sedimento do testemunho do recife Pedra de Leste.

Amostra/cm	Cor	%Areia	%Silte	%Argila	%CaCO ₃	Componentes Biogênicos	Composição Lama
1	x	x	x	x			
2	x	x	x	x	x	x	x
3	x	x	x	x			
4	x	x	x	x			
5	x	x	x	x			
6	x	x	x	x			
7	x	x	x	x			
8	x	x	x	x			
9	x	x	x	x			
10	x	x	x	x			
11	x	x	x	x			
12	x	x	x	x			
13	x	x	x	x			
14	x	x	x	x			
15	x	x	x	x			
16	x	x	x	x			
17	x	x	x	x			
18	x	x	x	x			
19	x	x	x	x			
20	x	x	x	x			
21	x	x	x	x			
22	x	x	x	x			
23	x	x	x	x			
24	x	x	x	x	x	x	
25	x	x	x	x			
26	x	x	x	x			
27	x	x	x	x			
28	x	x	x	x			
29	x	x	x	x			
30	x	x	x	x			
31	x	x	x	x			
32	x	x	x	x			
33	x	x	x	x			
34	x	x	x	x			
35	x	x	x	x			
36	x	x	x	x			
37	x	x	x	x			
38	x	x	x	x	x	x	x
39	x	x	x	x			
40	x	x	x	x			
41	x	x	x	x			
42	x	x	x	x			
43	x	x	x	x			
44	x	x	x	x			
45	x	x	x	x			
46	x	x	x	x			
47	x	x	x	x			
48	x	x	x	x			

49	x	x	x	x			
50	x	x	x	x			
51	x	x	x	x			
52	x	x	x	x			
53	x	x	x	x			
54	x	x	x	x			
55	x	x	x	x	x	x	
56	x	x	x	x			
57	x	x	x	x			
58	x	x	x	x			
59	x	x	x	x			
60	x	x	x	x			
61	x	x	x	x			
62	x	x	x	x			
63	x	x	x	x			
64	x	x	x	x			
65	x	x	x	x			
66	x	x	x	x			
67	x	x	x	x			
68	x	x	x	x			
69	x	x	x	x			
70	x	x	x	x			
71	x	x	x	x			
72	x	x	x	x			
73	x	x	x	x	x	x	x

Apêndice 3. Parâmetros avaliados no sedimento do testemunho do recife Popa Verde.

Amostra/cm	Cor	%Areia	%Silte	%Argila	%CaCO ₃	Componentes Biogênicos	Composição Lama	Atividade Pb ²¹⁰
1	x	x	x	x		x	x	x
2	x	x	x	x	x			x
3	x	x	x	x				x
4	x	x	x	x				x
5	x	x	x	x				x
6	x	x	x	x				x
7	x	x	x	x				x
8	x	x	x	x				x
9	x	x	x	x				x
10	x	x	x	x				x
11	x	x	x	x				x
12	x	x	x	x				x
13	x	x	x	x	x			x
14	x	x	x	x				x
15	x	x	x	x				x
16	x	x	x	x		x		x
17	x	x	x	x				
18	x	x	x	x				x
19	x	x	x	x				
20	x	x	x	x				x
21	x	x	x	x				
22	x	x	x	x				x
23	x	x	x	x				
24	x	x	x	x				x
25	x	x	x	x				
26	x	x	x	x				
27	x	x	x	x				
28	x	x	x	x				
29	x	x	x	x				
30	x	x	x	x				
31	x	x	x	x				
32	x	x	x	x	x	x	x	
33	x	x	x	x				
34	x	x	x	x				
35	x	x	x	x				
36	x	x	x	x				
37	x	x	x	x				
38	x	x	x	x				
39	x	x	x	x				
40	x	x	x	x				
41	x	x	x	x				
42	x	x	x	x				
43	x	x	x	x				
44	x	x	x	x				
45	x	x	x	x				
46	x	x	x	x	x	x		
47	x	x	x	x				
48	x	x	x	x				

49	x	x	x	x			
50	x	x	x	x			
51	x	x	x	x			
52	x	x	x	x			
53	x	x	x	x			
54	x	x	x	x			
55	x	x	x	x			
56	x	x	x	x			
57	x	x	x	x			
58	x	x	x	x			
59	x	x	x	x			
60	x	x	x	x			
61	x	x	x	x			
62	x	x	x	x	x	x	x

Apêndice 4. Percentuais dos principais tipos texturais do sedimento no testemunho do recife Coroa Vermelha.

# Amostra	Areia	Silte	Argila
1	53,01	42,87	4,12
2	36,28	56,79	6,93
3	35,99	55,54	8,47
4	46,42	46,65	6,92
5	49,52	45,78	4,70
6	47,86	47,35	4,79
7	56,10	39,63	4,27
8	64,92	31,91	3,17
9	56,75	39,07	4,18
10	54,14	40,95	4,92
11	54,90	39,94	5,17
12	56,14	39,23	4,63
13	57,81	37,64	4,55
14	53,12	42,52	4,36
15	55,76	38,71	5,53
16	57,74	37,83	4,43
17	58,77	37,07	4,16
18	56,85	39,44	3,72
19	52,10	42,82	5,09
20	53,98	41,87	4,16
21	55,76	40,07	4,17
22	49,99	44,67	5,35
23	53,06	42,54	4,40
24	51,89	43,79	4,32
25	53,62	41,98	4,40
26	55,39	40,83	3,78
27	56,55	40,00	3,45
28	55,71	40,35	3,94
29	55,11	41,15	3,74
30	52,01	43,79	4,20
31	51,93	43,58	4,49
32	38,85	54,89	6,27
33	53,62	42,14	4,25
34	44,63	49,45	5,92
35	53,12	42,52	4,36
36	54,34	41,38	4,29
37	50,47	45,13	4,40
38	42,05	53,76	4,19
39	46,10	49,68	4,22
40	39,05	54,60	6,35
41	40,22	54,01	5,77
42	36,36	57,98	5,67
43	39,36	55,55	5,09
44	40,00	54,43	5,56
45	48,00	48,03	3,98

Apêndice 5. Percentuais dos principais tipos texturais do sedimento no testemunho do recife Pedra de Leste.

# Amostra	Areia	Silte	Argila
1	49,35	41,89	11,05
2	45,63	43,32	11,05
3	68,09	28,07	3,84
4	72,09	24,32	3,60
5	28,74	60,17	11,09
6	38,48	51,73	9,79
7	32,67	54,90	12,43
8	37,70	53,82	8,48
9	29,03	58,75	12,22
10	47,65	42,21	10,14
11	52,19	38,80	9,01
12	49,25	37,47	13,28
13	43,52	46,36	10,13
14	43,34	43,18	13,48
15	53,01	37,10	9,90
16	48,35	44,18	15,63
17	47,46	39,90	12,65
18	61,65	30,77	7,58
19	42,72	42,70	14,58
20	47,00	37,10	15,90
21	63,69	25,15	11,16
22	34,11	48,74	17,15
23	42,45	42,60	14,95
24	54,50	32,38	13,12
25	54,59	34,83	10,58
26	42,63	40,76	16,61
27	70,82	20,18	9,00
28	46,49	38,68	14,83
29	55,60	33,32	11,08
30	40,22	45,56	14,22
31	41,93	38,24	19,83
32	44,61	39,06	16,33
33	48,64	37,53	13,83
34	56,62	30,55	12,83
35	66,12	24,61	9,26
36	55,37	33,24	11,40
37	63,89	28,45	7,67
38	68,35	21,77	9,88
39	44,04	42,37	13,59
40	65,04	25,84	9,12
41	71,73	20,07	8,20
42	70,65	20,80	8,55
43	53,69	34,06	12,25
44	68,75	23,29	7,96
45	44,29	40,97	14,74
46	54,38	30,79	14,83
47	56,38	31,52	12,10
48	38,85	45,45	15,70

49	54,15	31,54	14,31
50	53,94	33,57	12,49
51	63,28	26,89	9,83
52	53,00	35,80	11,20
53	48,06	38,01	13,93
54	69,12	21,60	9,28
55	68,02	23,55	8,43
56	59,09	29,77	11,14
57	68,22	23,95	7,83
58	72,65	19,40	7,95
59	53,39	31,48	15,13
60	53,87	32,07	14,07
61	54,81	28,52	16,67
62	55,30	28,97	15,74
63	70,57	20,69	8,74
64	63,61	25,30	11,09
65	74,74	18,09	7,17
66	56,48	30,42	13,10
67	67,88	22,48	9,64
68	64,75	24,00	11,25
69	73,79	19,18	7,03
70	52,72	30,15	17,13
71	69,94	19,20	10,86
72	64,37	24,02	11,62
73	61,61	24,48	13,90

Apêndice 6. Percentuais dos principais tipos texturais do sedimento no testemunho do recife Popa Verde.

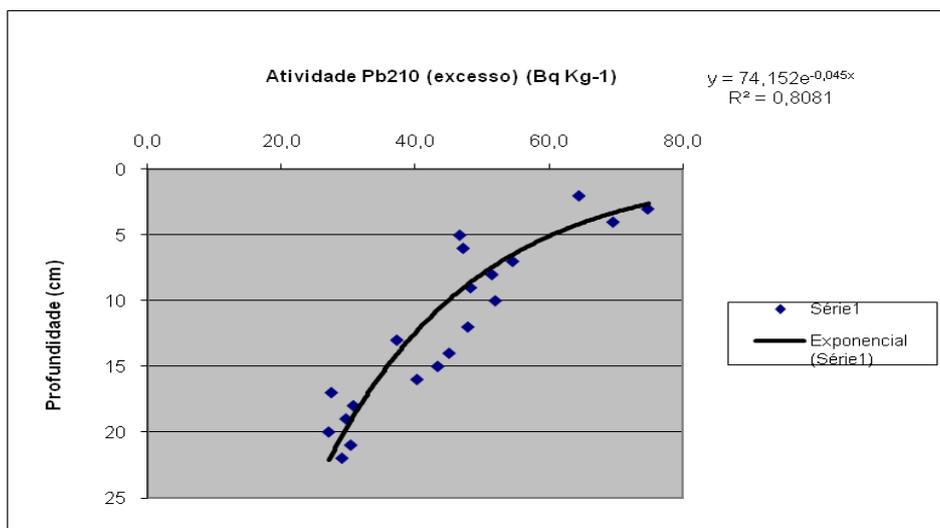
# Amostra	Areia	Silte	Argila
1	48,94	45,54	5,52
2	47,91	46,55	5,54
3	46,74	47,24	6,03
4	41,41	50,91	7,69
5	44,89	49,31	5,80
6	48,11	46,93	4,96
7	49,45	45,42	5,13
8	39,59	53,81	6,60
9	49,12	44,76	6,12
10	48,37	46,34	5,29
11	47,59	46,98	5,43
12	46,81	47,69	5,50
13	49,70	44,82	5,48
14	47,61	46,64	5,75
15	48,34	46,34	5,32
16	47,23	47,33	5,44
17	54,14	40,70	5,12
18	51,64	42,65	5,71
19	48,41	45,85	5,75
20	46,94	47,58	5,75
21	50,90	43,55	5,55
22	52,75	41,97	5,28
23	48,08	45,91	6,01
24	45,91	47,45	6,64
25	45,81	48,07	6,12
26	43,86	49,14	7,01
27	41,26	51,40	7,34
28	41,61	51,72	6,67
29	46,72	47,18	6,10
30	47,31	46,23	6,43
31	50,96	43,08	5,95
32	48,71	45,34	6,02
33	45,79	48,19	5,95
34	48,31	45,57	7,28
35	46,61	47,45	5,68
36	41,79	50,94	7,03
37	47,41	46,90	5,68
38	43,92	49,05	7,03
39	50,18	44,04	5,78
40	48,37	46,00	5,63
41	50,14	44,17	5,69
42	48,70	45,84	5,46
43	46,62	47,74	5,65
44	55,06	40,24	4,69
45	49,83	44,89	5,28
46	49,31	44,81	5,88
47	54,39	40,21	5,39
48	52,14	42,44	5,44
49	50,09	44,64	5,27

50	47,07	47,33	5,60
51	47,61	46,89	5,50
52	54,68	40,31	5,01
53	49,67	44,74	5,60
54	50,14	44,46	5,40
55	44,43	49,63	5,94
56	46,20	48,11	5,69
57	45,48	48,62	5,91
58	49,31	45,18	5,52
59	46,53	47,78	5,69
60	46,91	47,32	5,77
61	43,72	50,41	5,87
62	43,971	49,998	6,031

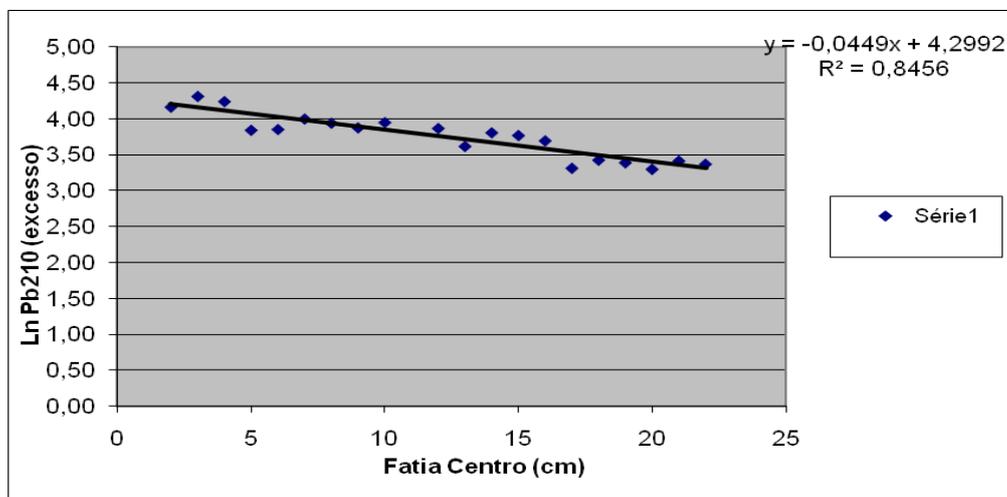
Apêndice 7. Atividade do Pb²¹⁰ para o testemunho do recife Coroa Vermelha.

Pb210excesso		
Atividade(Bq)	Média	Fatia Centro(cm)
61,0		
62,8	62,8	2
64,5		
75,2		
74,8	77,2	3
81,7		
69,6		
60,9	64,9	4
64,1		
42,6		
43,8	44,4	5
46,7		
36,7		
47,2	40,8	6
38,5		
61,4		
58,9	58,3	7
54,6		
58,5		
54,1	54,7	8
51,5		
44,1		
47,5	46,6	9
48,3		
52,0		
67,1	60,2	10
61,4		
86,2		
84,2	83,6	11
80,4		
44,2		
47,9	48,3	12
52,9		
26,2		
36,2	33,2	13
37,3		
45,1		
43,5	46,6	14
51,0		
37,8		
43,2	41,4	15
43,4		
34,0		
34,7	36,3	16
40,3		
23,0		
23,7	24,7	17
27,5		

25,8		
30,8	29,2	18
31,1		
29,7		
33,1	35,9	19
44,8		
20,5		
27,1	28,9	20
38,9		
25,3		
24,5	26,7	21
30,4		
24,1		
29,1	25,7	22
23,9		
24,5		
23,5	22,8	23
20,3		
23,1		
25,2		
26,5		



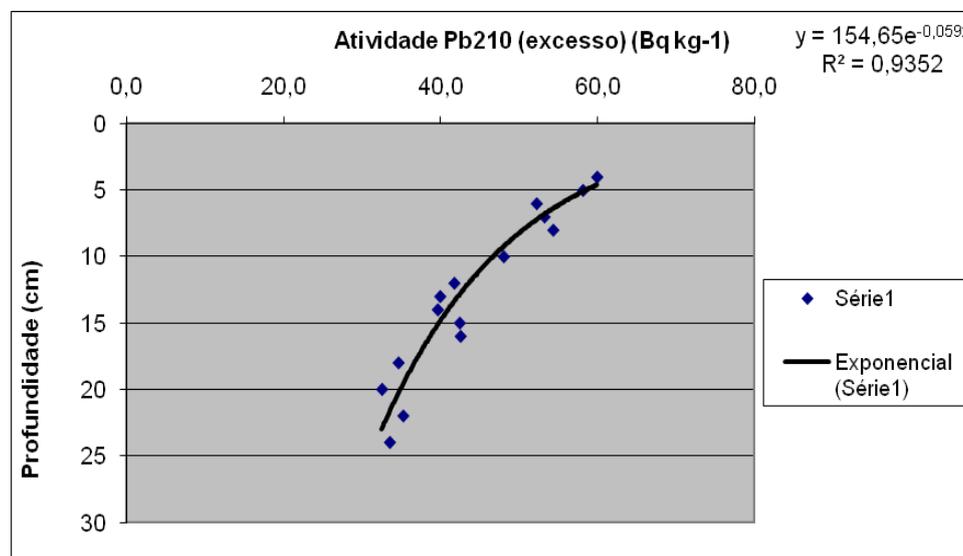
Pb210(excesso)Bq/kg	Fatia Centro (cm)	Log Pb210(excesso)Bq/kg	Ln Pb210(excesso)Bq/kg	Taxa de sedimentação LN (mm/a)
64,5	2	1,81	4,17	6,941612947
74,8	3	1,87	4,31	
69,60	4	1,84	4,24	
46,7	5	1,67	3,84	
47,2	6	1,67	3,85	
54,6	7	1,74	4,00	
51,5	8	1,71	3,94	
48,3	9	1,68	3,88	
52	10	1,72	3,95	
47,9	12	1,68	3,87	
37,3	13	1,57	3,62	
45,1	14	1,65	3,81	
43,4	15	1,64	3,77	
40,3	16	1,61	3,70	
27,5	17	1,44	3,31	
30,8	18	1,49	3,43	
29,7	19	1,47	3,39	
27,1	20	1,43	3,30	
30,4	21	1,48	3,41	
29,1	22	1,46	3,37	



Apêndice 8. Atividade do Pb^{210} para o testemunho do recife Popa Verde.

Amostra	Pb ²¹⁰ (excesso)		Fatia Centro(cm)
	Atividade (Bq)	Media	
2	39,2		
	55,6		
3	42,0		
	56,0	51,6	3
	56,7		
4	26,8		
	49,5	45,4	4
	59,9		
5	46,6		
	50,7	51,8	5
	58,1		
6	38,4		
	46,8	45,9	6
	52,6		
7	31,2		
	50,1	40,7	7
8	32,1		
	51,9	46,1	8
	54,3		
9	18,0		
	28,6	26,0	9
	31,3		
10	29,7		
	44,3	40,7	10
	48,0		
11	16,2		
	27,1	24,5	11
	30,1		
12	31,5		
	38,1	37,1	12
	41,7		
13	28,4		
	39,9	38,4	13
	46,8		
14	28,0		
	39,6	37,8	14
	45,9		
15	25,7		
	42,4	39,3	15
	49,8		
16	34,6		
	42,5	40,7	16
	45,0		

17			17
18	23,2		
	27,0	28,3	18
	34,6		
19			19
20	22,1		
	32,5	28,9	20
	32,0		
21			21
22	16,0		
	29,8	27,0	22
	35,2		
23			23
24	14,0		
	28,3		24
	33,5		



Pb210(excesso)Bq/kg	Fatia Centro (cm)	Log Pb210(excesso)Bq/kg	Ln Pb210(excesso)Bq/kg	Taxa de sedimentação LN (mm/a)
				10,0369673
59,9	4	1,78	4,09	
58,1	5	1,76	4,06	

52,2	6	1,72	3,96
53,2	7	1,73	3,97
54,3	8	1,73	3,99
48,0	10	1,68	3,87
41,7	12	1,62	3,73
39,9	13	1,60	3,69
39,6	14	1,60	3,68
42,4	15	1,63	3,75
42,5	16	1,63	3,75
34,6	18	1,54	3,54
32,5	20	1,51	3,48
35,2	22	1,55	3,56
33,5	24	1,53	3,51
30,4	21	1,48	3,41
29,1	22	1,46	3,37

