

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E ECOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA AMBIENTAL

MARCOS DANIEL DE ALMEIDA LEITE

**FACIOLOGIA INTER-RECIFAL E GEOMORFOLOGIA DOS RECIFES
SUBMERSOS DA PLATAFORMA INTERNA DE ABROLHOS, BAHIA -
BRASIL**

ARACRUZ
2015

MARCOS DANIEL DE ALMEIDA LEITE

**FACIOLOGIA INTER-RECIFAL E GEOMORFOLOGIA DOS RECIFES
SUBMERSOS DA PLATAFORMA INTERNA DE ABROLHOS, BAHIA -
BRASIL**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Oceanografia Ambiental da Universidade
Federal do Espírito Santo, como requisito
para obtenção do título de Mestre em
Oceanografia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Alex Cardoso
Bastos

ARACRUZ
2015

AGRADECIMENTOS

A fundação Flora de apoio a Botânica e a Brasoil pela concessão da bolsa de estudo.

Esta dissertação é um produto do INCT MAR – AmbTropic, desenvolvido no GT 2.1 Geo e Biodiversidade de Substratos Plataformais

Ao meu orientador, Prof. Alex Cardoso Bastos pelos ensinamentos e puxões de orelha nos momentos críticos.

À professora Valéria por seus conselhos nos momentos de tensão.

A minha família por me apoiar nas minhas decisões

Ao Laboratório de Oceanografia Geológica, principalmente os companheiros de trabalho Alex, Dani, Geandré, Pedro, Tarcila, Laura e Lucas.

Aos amigos Carlos Eduardo e Luiz Gomes pela boa convivência e experiências vividas nos dois anos em Coqueiral de Aracruz.

“Um homem precisa viajar. Por sua conta, não por meio de histórias, imagens, livros ou TV. Precisa viajar por si, com seus olhos e pés, para entender o que é seu. Para um dia plantar as suas próprias árvores e dar-lhes valor. Conhecer o frio para desfrutar do calor. E o oposto. Sentir a distância e o desabrigo para estar bem sob o próprio teto. Um homem precisa viajar para lugares que não conhece para quebrar sua arrogância que nos faz ver o mundo como imaginamos, e não simplesmente como é ou pode ser, que nos faz professores e doutores do que não vimos, quando deveríamos ser alunos, e simplesmente ir ver.”

Amyr Klink

RESUMO

O presente trabalho corresponde a um estudo sobre faciologia inter-recifal e geomorfologia de recifes submersos, tendo como foco a plataforma interna da Plataforma dos Abrolhos. A análise conjunta do sonar de varredura lateral, amostras de sedimentos superficiais e perfilador de fundo caracterizou a heterogeneidade faciológica da área de estudo. Os resultados indicam uma sedimentação terrígena a mista no Arco Costeiro e Canal de Abrolhos, para puramente carbonática no Arco Externo. Foram identificadas áreas com a ocorrência de pináculos, bancos recifais, fundos de rodolitos, pináculos associados a rodolitos, estruturas recifais mesofóticas e por fim áreas de sedimento incosolidado (sem estruturas recifais). Os fundos compostos por pináculos apresentaram a maior heterogeneidade faciológica na área de estudo, apresentando todas as fácies carbonáticas da classificação modificada de Larsonneur e depósitos grainstones, packstone e wackstone segundo a classificação de Dunham. Bancos recifais em sua maior parte é caracterizado por uma faciologia inter-recifal lamosa (lamas calcárias – Larsonneur/ wackstone e packstone – Dunham). As estruturas recifais mesofóticas são representadas por uma sedimentologia inter-recifal lamosa e arenosa, enquanto os fundos de rodolitos estão associados a uma granulometria cascalhosa. Já as regiões de sedimento incosolidado apresentaram dois padrões faciológicos, sedimento lamoso no Arco Costeiro e sedimentos carbonáticos arenosos (grainstones) no Canal de Abrolhos. Por fim, um modelo de distribuição de fácies é apresentado para a plataforma interna de Abrolhos. Sedimentos mistos compõem o Arco Costeiro, o Canal de Abrolhos apresenta uma extensa faixa de wackstones e packstones nas regiões a barlavento do Arco Costeiro, estes associados a estruturas recifais (boundstone). Grainstones encontram-se próximo a região a sotavento do Arco Externo. Já as amostras do Arco Externo são representados pela transição de boundstones (fundos de rodolitos), grainstones (pináculos) e wackstones e packstones (pináculos, bancos recifais e estruturas mesofóticas).

Palavras chaves: Plataforma dos Abrolhos; Heterogeneidade Faciológica; Sedimento Inter-recifal.

ABSTRACT

The present study deals with geomorphic and sedimentology heterogeneity along the inner shelf of Abrolhos Shelf, Brazil. A combined analysis of side scan sonar, granulometric measurements and sub-bottom profiling characterized the facies heterogeneity of the study area. The results indicated a terrigenous to mixed supply at the Inner Arc and Abrolhos Channel. Outer Arc is represented by pure carbonate sediments. The seabed morphology were represented by different areas such as pinnacles, bank reefs, rhodoliths, pinnacles associated with rhodoliths, mesofhotic reefs and unconsolidated sediment (without reef structures). Pinnacles showed the highest heterogeneity facies in the study area, represented by all carbonate classes of sediment classification based on Larsonneur, while the Dunham classification were represented by wackstone, packstone and grainstone. Banks reefs for the most part is characterized by an muddy inter-reef facies (calcareous mud – Larsonneur/ wackstone and packstone – Dunham). Mesofhotic reefs are represented by a muddy and sandy inter-reef sedimentology while rhodoliths by gravelly deposits. The unconsolidated sediment were represented by two sedimentation patterns, muddy sediments in the Inner Arc and carbonate sandy (grainstone) at the Abrolhos Channel. Lastly, a facies distribution model is presented to the inner shelf of Abrolhos. Mixed sediments make up the Inner Arc, while Abrolhos Channel presents an extensive range of wackstones and packstones regions at the windward side of Inner Arc, those associated with reef structures (boundstone). Grainstones are near the leeward side of the Outer Arc. The Outer Arc samples are represented by a transition of boundstones (rhodoliths), grainstones (pinnacles) and wackstone/packstone (pinnacles, bank reefs and mesofotic reefs).

Key-words: Abrolhos Shelf; Sedimentology Heterogeneity; Inter-reef sediments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Batimetria 2D da área de estudo.	13
Figura 2: Área de estudo com a distribuição das amostras de sedimento superficial e sonar de varredura lateral.....	17
Figura 3: Polígonos referentes ao mapeamento de pináculos em três regiões distintas da área de estudo. A) Canal de Abrolhos. B) Leste do Parque Nacional Marinho de Abrolhos e C) sudeste do Parque Nacional Marinho de Abrolhos isóbatas	19
Figura 4: Estruturas observadas ao longo da área de estudo. (a) e (b) bancos recifais; (c) e (d) pináculos; (e) e (f) sedimento incolidado; (g) pináculos associados a fundo de rodolito e (h) amostra com rodolitos referente ao sonograma em (g).	22
Figura 5: Localização das linhas de sonar, sonograma e perfis batimétricos para o Arco Costeiro.....	23
Figura 6: Distribuição das estruturas observadas ao longo do Canal de Abrolhos. Os bancos recifais (vermelho) estão distribuídos ao norte, porção centro-oeste e sudoeste; Os pináculos (verde) estão localizados a leste e sul. A porção central é caracterizada por uma grande área de sedimento inconsolidado (azul).	24
Figura 7: Sonograma e perfil batimétrico em uma área central do Canal de Abrolhos.....	25
Figura 8: Sonogramas e perfis batimétricos. A) Pináculos associados a um fundo de rodolitos. B) Pináculos e C) Bancos recifais.	27
Figura 9: Distribuição das estruturas observadas no Arco Externo. Vermelho – Bancos Recifais; Verde – Pináculos; Amarelo – Rodolitos; Laranja – Pináculos associados a fundo de rodolitos.	28
Figura 10: Distribuição de lama e carbonato de cálcio do sedimento inter-recifal para as três regiões de investigação. Nota-se uma transição de sedimentos mistos para puramente carbonáticos.....	29

Figura 11: Distribuição granulométrica da área de estudo (siliciclástico + carbonático). A) Arco Costeiro; B) Canal de Abrolhos e C) Arco Externo.	30
Figura 12: Mapa de classificação textural dos sedimentos inter-recifal da área de estudo, segundo a classificação modificada de Larsonneur (Dias, 1996). A) Arco Costeiro. B) Canal de Abrolhos e C) Arco Externo	32
Figura 13: Classificação de fácies segundo Dunrham (1962) para o Canal de Abrolhos e Arco Externo. Nota-se o predomínio de packstone e grainstone distribuídos nas duas áreas.	33
Figura 14: Composição entre os fundos observados (pináculos, bancos recifais e sedimento incosolidado) e a classificação de fácies segundo Larsonneur modificado por Dias (1996).....	36
Figura 15: Sobreposição da classificação de Larsonneur modificado por Dias (1996) e Dunham (1962).....	38
Figura 16: Modelo de distribuição de fácies na plataforma interna de Abrolhos.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados obtidos a partir do mapeamento de pináculos no Canal de Abrolhos e Arco Externo.....	26
Tabela 2: Classificação de rochas carbonáticas segundo Dunham (1962)....	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2 PLATAFORMA DE ABROLHOS.....	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1 SONAR DE VARREDURA LATERAL E COLETA DE SEDIMENTOS.....	17
3.2 ANÁLISE LABORATORIAL	18
3.3 CLASSIFICAÇÃO DE FÁCIES	18
3.4 PERFILADOR DE FUNDO	18
3.5 MAPEAMENTO DE PINÁCULOS	19
4. RESULTADOS.....	20
4.1 TIPOS DE FUNDO E MORFOLOGIA ASSOCIADA	20
4.2 SEDIMENTOLOGIA INTER-RECIFAL.....	28
4.2.1 Teor de Carbonato de Cálcio (CaCO_3)	29
4.2.2 Distribuição Sedimentar.....	30
4.2.3 Classificação composicional e textural segundo a classificação modificada de Larssonneur (Dias, 1996)	31
4.2.4 Mapa de classificação de fácies segundo Dunham (1962)	32
5. DISCUSSÃO	34
MORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA	34
CLASSIFICAÇÃO MODIFICADA DE LARSSONNEUR (DIAS, 1996) X DUNHAM (1962)	37
MAPA DA CLASSIFICAÇÃO DE FÁCIES SEGUNDO DUNHAM (1962)	38
COMPARAÇÃO COM OUTRAS PLATAFORMAS.....	41

6. CONCLUSÃO	42
7. REFERÊNCIAS	44
ANEXO I.....	48
CLASSIFICAÇÃO DE ROCHAS CARBONÁTICAS SEGUNDO DUNHAM (1962)	48

1. Introdução

A simples frase “Carbonates are born not made”, de Noel James (1979), destaca o principal tema da sedimentação carbonática e a diferença entre sedimentos carbonáticos e siliciclásticos (Flügel, 2010). Os carbonáticos nascem, ou seja, são originados como grãos de esqueletos ou precipitado dentro do próprio ambiente de deposição. De maneira diferente, os sedimentos terrígenos são formados pela desintegração de uma rocha mãe e são transportados para o ambiente de deposição (Coe, 2002; Flügel, 2010).

De acordo com Westphal *et al.* (2010), os primeiros estudos em ambientes carbonáticos datam de meados do século XIX, quando Nelson (1853) descreveu a morfologia geral das Bahamas. No entanto, somente após a década de 1950 houve um crescente aumento nas pesquisas em ambientes carbonáticos devido ao interesse das grandes empresas de petróleo, tendo em vista que esses ambientes funcionam como reservatórios em pelo menos 40% das reservas de óleo e gás do mundo. Estudos clássicos em áreas como Bahamas e Flórida (Ginsburg, 1956, 1957; Imbrie & Purdy, 1962; Newell & Rigby, 1957; Purdy, 1961, 1963) levaram geólogos a investigar antigas rochas carbonáticas para compreender e interpretar as relações das fácies no registro geológico. Após o período quando os padrões de fácies para cada plataforma foram reconhecidos, pesquisadores passaram a refinar os modelos, investigando diferentes setores das plataformas, caracterizando sua heterogeneidade (Wright & Burchette, 1996). Com o desenvolvimento de modelos, ocorreu também um melhor desenvolvimento da classificação de rochas calcárias por Folk (1959), Leighton e Pendexter (1962) e Dunham (1962). De acordo com Flügel (2010) as classificações mais usadas são Dunham (1962) e Folk (1959, 1962). A classificação de Dunham pode ser igualmente bem aplicada no campo, em coletas de sedimento e em laboratório. Já o uso da classificação de Folk é mais restrito ao laboratório com a preparação de lâminas delgadas.

Os sistemas carbonáticos deposicionais têm sido agrupados principalmente em três grupos: plataforma em rampa, com borda e isoladas

(Wilson, 1975; Wright & Burchette, 1996; Coe, 2002; Nichols, 2009). As fácies sedimentares encontradas nestas plataformas são usualmente geradas por processos ativos em seu próprio ambiente de deposição. A profundidade da coluna d'água, o sistema de ventos e de correntes, a temperatura, a composição química da água e a atividade biológica afetam a forma como o sedimento é gerado e depositado (Tucker & Wright, 1990). Estes fatores variam ao longo da plataforma acarretando em uma interdigitação de sedimentos e fragmentos carbonáticos de diversos tamanhos, que acabam por controlar a distribuição da biodiversidade sobre a própria plataforma (Schlager, 2005). Diversos estudos buscaram investigar a distribuição sedimentar e a heterogeneidade faciológica ao longo de plataformas carbonáticas para compreender a distribuição sedimentar holocênica. (Grande Barreiras de Corais, Austrália - Belperio & Searle, 1988, Mathews et al., 2007; Belize - Gischler & Lomando, 2000, Purdy & Gischler, 2003; Bahamas - Reijmer *et al.*, 2009; Rankey *et al.*, 2009, Rankey & Reeder 2010; Indo-Pacífico – Gischler, 2006, Gischler, 2011, Rankey *et al.*, 2011). Segundo Harris (1987) ambientes carbonáticos holocênicos servem como um análogo para depósitos antigos, ajudando a compreender a estratificação, variações entre camadas e a performance de reservatórios de petróleo.

A plataforma de Abrolhos, localizada a leste do Brasil, abriga o maior complexo recifal do Oceano Atlântico Sul (Moura *et al.*, 2013). Trabalhos como Leão e Ginsburg (1997) e Leão *et al.* (2005) apresentaram uma distribuição sedimentar parcial de Abrolhos, enquanto Moura et al. (2013) mapearam grandes domínios de tipos de fundo. Baseado neste contexto básico, o objetivo deste trabalho é investigar a morfologia e a heterogeneidade faciológica de recifes submersos e áreas inter-recifais na plataforma interna de Abrolhos com o uso de sonar de varredura lateral, amostras de sedimentos superficiais e perfilador de fundo. A análise conjunta abordou questões como: (1) qual é a associação da morfologia com o tipo de fundo? (2) qual é a distribuição das fácies ao longo da plataforma interna? (3) como as fácies se relacionam com a morfologia? (4) como se comporta a distribuição de fácies em relação a outras plataformas?

2 Plataforma de Abrolhos

A plataforma de Abrolhos é caracterizada como um ambiente de sedimentação mista na plataforma interna (carbonática e siliciclástica), para puramente carbonática na plataforma média e externa. Abriga o maior complexo recifal do oceano Atlântico Sul, com uma área estimada de 8.844 km² (Leão, 2002; Moura *et al.*, 2013). Os recifes de Abrolhos estão distribuídos em dois arcos, o arco costeiro localizado entre 10 e 20 km da costa e o arco externo localizado a 70 km da costa (Figura 1). Estas estruturas estão separadas pelo Canal de Abrolhos (20km de largura e 50km de extensão) (Leão & Ginsburg, 1997; Lessa & Cirano, 2004) que tem profundidade variando entre 10 e 30 metros.

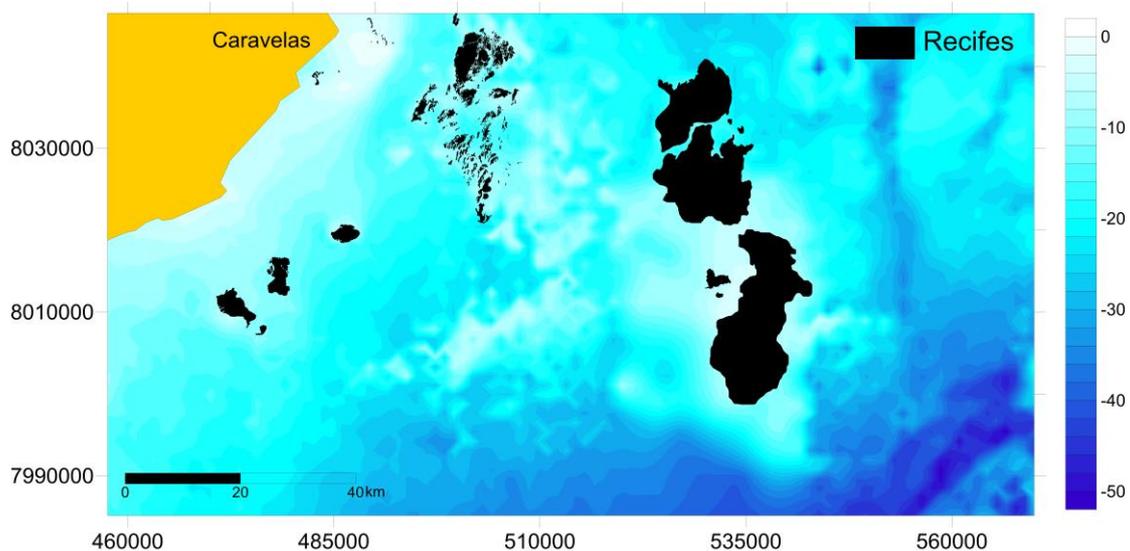


Figura 1: Batimetria 2D da área de estudo.

Os corais observados neste complexo recifal possuem alto grau de endemismo, sendo a estrutura básica o chapeirão, pináculo coralino com forma de cogumelo. Estas estruturas podem gerar bancos recifes a partir da coalescência, quando estão muito próximos uns aos outros. Além dos chapeirões e bancos recifes, também são encontrados pequenos bancos isolados, recifes em franjas e buracas (Leão, 2002; Leão, 2003; Moura *et al.*, 2013).

Os recifes costeiros formam uma complexa e larga estrutura de chapeirões coalescidos, com formas bastante variadas, apresentando formas alongadas, circulares, em semi-arco e/ou anel. Estas estruturas podem estar

circundadas por chapeirões isolados (Leão, 2005; Leão, 2003; Leão, 2008). Ao norte, pequenos bancos recifais são encontrados a uma distância de 5 a 10 km da costa, em profundidades médias de 10 a 15 metros. Na porção central é observado o recife Parcel das Paredes, um complexo de grandes bancos recifais, formados por uma rede de isolados e fundidos chapeirões com vários canais profundos. O maior recife deste complexo é o Pedra Grande, uma irregular estrutura com 17 km de extensão por 10 km de largura onde os espaços vazios dos seus topos são preenchidos por sedimento de origem biogênica, produzido no próprio recife. Nas partes inferiores desses recifes, canais estreitos persistem onde não houve coalescência lateral das estruturas (Leão, 2005; Leão, 2003). Em direção ao sul, três pequenos bancos recifais completam o arco costeiro, os recifes de Sebastião Gomes, Coroa Vermelha e Nova Viçosa (Leão, 2003; Leão, 2008).

O Parcel dos Abrolhos compreendendo o arco externo, encontra-se a cinco km a leste do arquipélago de Abrolhos. Consiste de chapeirões isolados, o qual é cercado por profundidades superiores a 20m. Possui cerca de 15 km na direção norte-sul e 5 km na direção leste-oeste. As estruturas observadas não se coalescem formando bancos recifais como os da região costeira, e nem sequer ficam expostos durante as marés baixas. A distribuição vertical dos corais nas paredes laterais desses chapeirões está caracterizada pela presença das espécies fotófilas nas partes mais altas das colunas recifais e das espécies ciáfilas nas suas porções inferiores, com uma maior intensidade sob o topo dos chapeirões (Leão, 2005; Leão, 2003). Entre o arco externo e costeiro encontra-se o Canal de Abrolhos, região com profundidade média de 10 metros que conecta essas duas regiões.

Apesar de não possuir nenhum estudo classificando a distribuição de fácies ao longo da plataforma, pesquisas relacionadas aos tipos de sedimento, assim como o teor de carbonato de cálcio foram desenvolvidas desde a década de 70. As pioneiras pesquisas sedimentológicas em Abrolhos foram realizadas por Francisconi *et al.*, (1974) e Melo *et al.* (1975). Melo *et al.* (1975) evidenciaram a predominância de uma sedimentação carbonática para as regiões mais profundas e a presença de sedimentos

siliciclásticos confinados a plataforma interna. Leão e Ginsburg (1997), ao longo de três transectos evidenciaram que os sedimentos siliciclásticos dominam a área costeira e circundam os recifes costeiros. Os sedimentos carbonáticos foram predominantes em todos os recifes e nas áreas que circundam os recifes presentes no arco externo. Segundo os autores os constituintes biogênicos dos sedimentos que circundam os recifes foram predominantemente de origem esquelética, parte do material possui origem detrítica e parte é composto de grãos formados *in situ* por vários organismos associados aos recifes. A porção detrítica é derivada da quebra da estrutura recifal, sendo comumente fragmentos de corais, milleporids e algas coralinas. Leão *et al.* (2005) coletaram dezenas de amostras sedimentares na região de Abrolhos e não evidenciaram a transição de sedimentos siliciclásticos e carbonáticos como em trabalhos anteriores, segundo os autores a mais provável causa para os resultados apresentados foi que as amostras foram coletadas próximas da base dos recifes, onde a principal fonte do material sedimentar provém do quebramento esquelético dos organismos recifais.

Apesar do complexo recifal de Abrolhos apresentar grande importância, somente nas últimas duas décadas houve um número crescente de pesquisas dedicadas a região, muitos com ênfase em mapear as áreas do recife e descrever as características geológicas dos mesmos, porém limitadas a regiões rasas (Leão *et al.*, 1988; Leão & Ginsburg, 1997). A partir desta lacuna, trabalhos como Klein *et al.* (2009) e Moura *et al.* (2013) buscaram caracterizar em regiões mais profundas, as áreas recifais e inter-recifais apresentando e mapeando os recifes mesofóticos, assim como o sedimento inter-recifal a partir de registros sonográficos. Os novos resultados ampliaram os conhecimentos sobre a Plataforma de Abrolhos, evidenciando sua complexidade.

De acordo com Leão & Ginsburg (1997) esta porção da costa apresenta clima tropical úmido com pluviosidade média de 1400mm por ano, com dois períodos de precipitação: abril/maio e outubro/janeiro. Os ventos dominantes durante o verão são provenientes do quadrante NE e durante o

inverno são de E, com velocidades variando entre 4 a 15 nós. Em períodos de tempestades os ventos predominantes são de SE (17 – 20 nós).

3. Materiais e Métodos

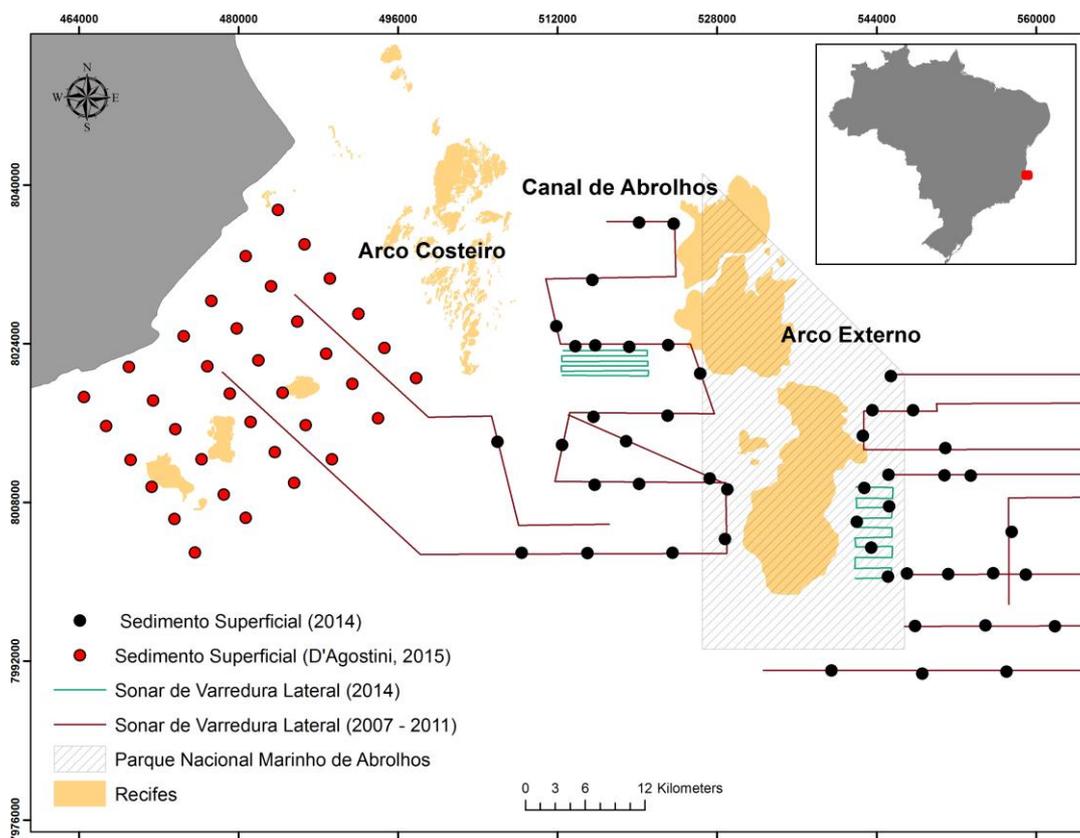


Figura 2: Área de estudo com a distribuição das amostras de sedimento superficial e sonar de varredura lateral.

3.1 Sonar de Varredura Lateral e coleta de sedimentos – Os dados sonográficos foram obtidos com o uso do sonar de varredura lateral entre os anos de 2007 - 2011 (Bourguignon, 2010; Sechin, 2011; Moura *et al.*, 2013) e 2014 (trabalho presente). O modelo utilizado foi o Edge Tech 4100 com sistema de aquisição digital modelo 560p acoplado a um GPS, software de aquisição Discover e peixe 272TD (transdutor – sistema deep town que opera em frequências variando de 100 a 500 KHz). Os sonogramas foram processados através do software SonarWiz 5 (Chesapeake Tech) e convertidos em imagens georreferenciadas (formato GeoTIFF com 1.0 m de

resolução). Os dados pretéritos representam 340 km de linhas sonográficos, e os dados coletados em 2014, 100 km.

Foram feitos dois padrões de amostragem do fundo, um seguindo as linhas pré-existentis (Bourguignon, 2010) e outro seguindo as novas linhas coletadas. A interpretação baseada na intensidade de retorno do sinal permitiu escolher 46 estações de coleta. As estações de coleta foram amostradas em áreas inter-recifais dos bancos recifais, pináculos e em áreas com ausência das estruturas (sedimento inconsolidado) no Canal de Abrolhos e Arco Externo. Todas as amostras foram adquiridas com o uso de um busca fundo do tipo Van-Veen. Trinta e seis amostras de estudos anteriores (D'agostini *et al.*, 2015), provenientes do Arco Costeiro foram também utilizadas.

3.2 Análise Laboratorial – As amostras foram submetidas a repetidas lavagens para a retirada completa do sal. Após a retirada do sal, as amostras foram secas a 40°C e então divididas em duas porções: uma para o peneiramento a úmido e outra para análise de teor de carbonato de cálcio. O peneiramento a úmido foi realizado com as peneiras de > 2000 µm (cascalho), 2000 - 63 µm (areia) e < 63 µm (lama) (Wentworth, 1922), o sedimento retido nas peneiras foram secos e então pesados para determinar o peso de cada fração. Para a classificação de fácies de Dunham (1962) os teores de lama foram determinados com o uso do granulômetro a laser Mastersize 2000.

3.3 Classificação de Fácies – As amostras foram classificadas seguindo duas classificações. Fácies de Dunham (1962) para sedimentos carbonáticos e classificação de Larsouneur modificada por Dias (1996) para sedimentos litoclásticos a bioclásticos. Para a classificação de fácies segundo Dunham foram adotadas as seguintes porcentagem para a classificação: < 10% areia – mudstone; 10% < wackstone < 60% areia; 60% < packstone < 90% areia e > 90% areia – grainstone. Os sedimentos do Arco Costeiro não foram classificados, pois são sedimentos terrígenos a mistos. Logo a classificação foi realizada para o Canal de Abrolhos e Arco Externo.

3.4 Perfilador de Fundo – Para o presente trabalho, foram utilizados

dados pretéritos obtidos a partir de um perfilador sísmico com fonte tipo boomer (D'agostini et al, 2015), operando a uma frequência de 1KHz e emissão de energia de 250 J. Nos levantamentos de 2014, 100km de dados de Stratabox 3.5 KHz foram coletados simultaneamente ao sonar de varredura lateral. Os dados de perfilador de fundo foram coletados para caracterizar a morfologia das áreas imageadas. O processamento e a interpretação foram feitos utilizando o software SonarWiz Map5.

3.5 Mapeamento de Pináculos – A partir dos sonogramas foram determinadas a área de cada pináculo dentro de um polígono determinado. Este mapeamento permitiu comparar áreas e densidade de pináculos em regiões diferentes da área de estudo. Para este mapeamento foram escolhidas três regiões:(a) Canal de Abrolhos; (b) leste do Parque Nacional Marinho de Abrolhos (PNMA); (c) a sudeste do PNMA. Para as regiões (a) e (b) foram definidos seis polígonos, enquanto para (c) dois polígonos. Os polígonos foram definidos pelo domínio de pináculos no sonograma..

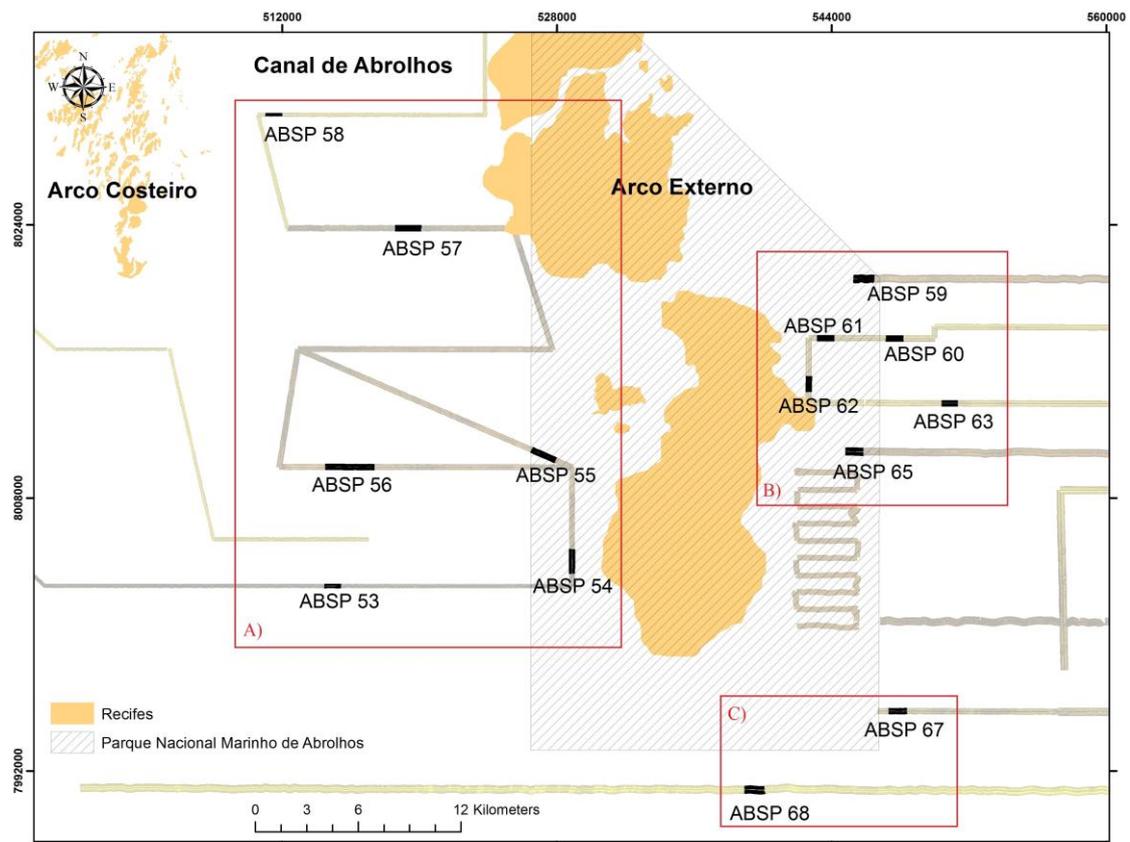


Figura 3: Polígonos referentes ao mapeamento de pináculos em três regiões distintas da área de estudo. A) Canal de Abrolhos. B) Leste do Parque Nacional Marinho de Abrolhos e C) sudeste do Parque Nacional Marinho de Abrolhos isóbatas

4. Resultados

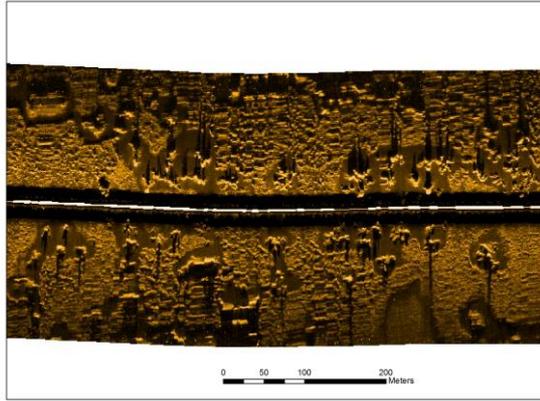
4.1 Tipos de fundo e morfologia associada

Os registros sonográficos, assim como a batimetria para a região de estudo, apresentaram uma complexidade e variabilidade ao longo de toda área. Pináculos, bancos recifais, assim como estruturas mesofóticas foram observadas, além de áreas de sedimento inconsolidado, fundos composto por rodolitos e uma área de pináculos associados a fundo de rodolitos (Figura 4).

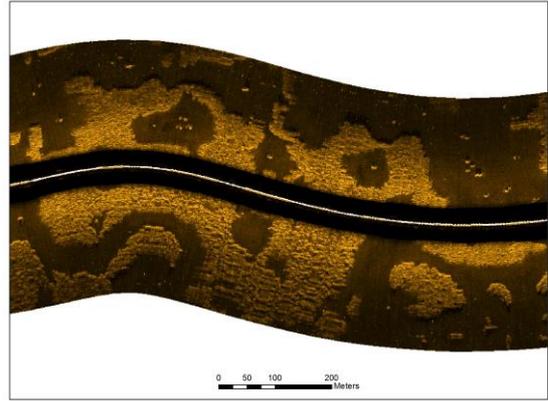
Os pináculos, assim como os bancos recifais, são representados por uma intensidade de retorno do sinal variável. Eles estão distribuídos ao longo do Canal de Abrolhos e Arco Externo e apresentam diferentes formas e tamanhos de acordo com a região que se encontram. Estas estruturas estão associadas a diferentes tipos de sedimento inter-recifal com perfis batimétricos complexos. Em profundidades superiores a 30 metros são observados os bancos recifais mesofóticos, estando distribuídos no Arco Externo.

Os dados sonográficos do sedimento inconsolidado apresentaram uma variabilidade na intensidade de retorno do sinal. São observados fundos tanto arenosos como lamosos ao longo da área de estudo, distribuídos tanto no Arco Costeiro como no Canal de Abrolhos.

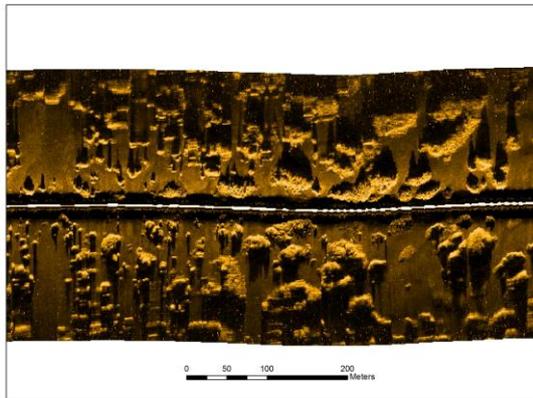
Fundos dominados por rodolitos –, distribuídos na área do Arco Externo apresentam uma alta intensidade de retorno do sinal, típico de substratos rígidos, e possuem um perfil batimétrico suave.



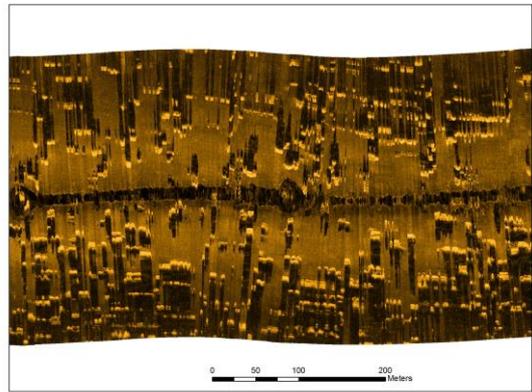
(a)



(b)



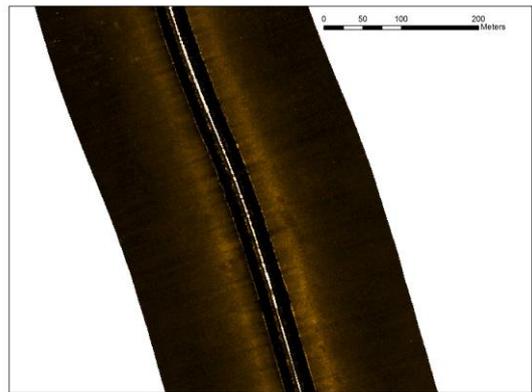
(c)



(d)



(e)



(f)



Figura 4: Estruturas observadas ao longo da área de estudo. (a) e (b) bancos recifais; (c) e (d) pináculos; (e) e (f) sedimento incolidado; (g) pináculos associados a fundo de rodolito e (h) amostra com rodolitos referente ao sonograma em (g).

Os dados sonográficos localizados no Arco Costeiro são representados por um padrão homogêneo com baixa intensidade de retorno do sinal. O perfil batimétrico apresenta uma declividade suave sem a presença de estruturas recifais (Figura 5 a – a'). Com o afastamento da costa, aproximadamente a 25km, uma complexa estrutura de bancos recifais que consistem em pináculos (chapeirões) coalescidos, com extensão de até 450 metros de extensão e 14 metros de altura são observados. Geralmente estes bancos estão rodeados por pináculos isolados com alturas variando entre 2 a 17 metros (Figura 5 b – b').

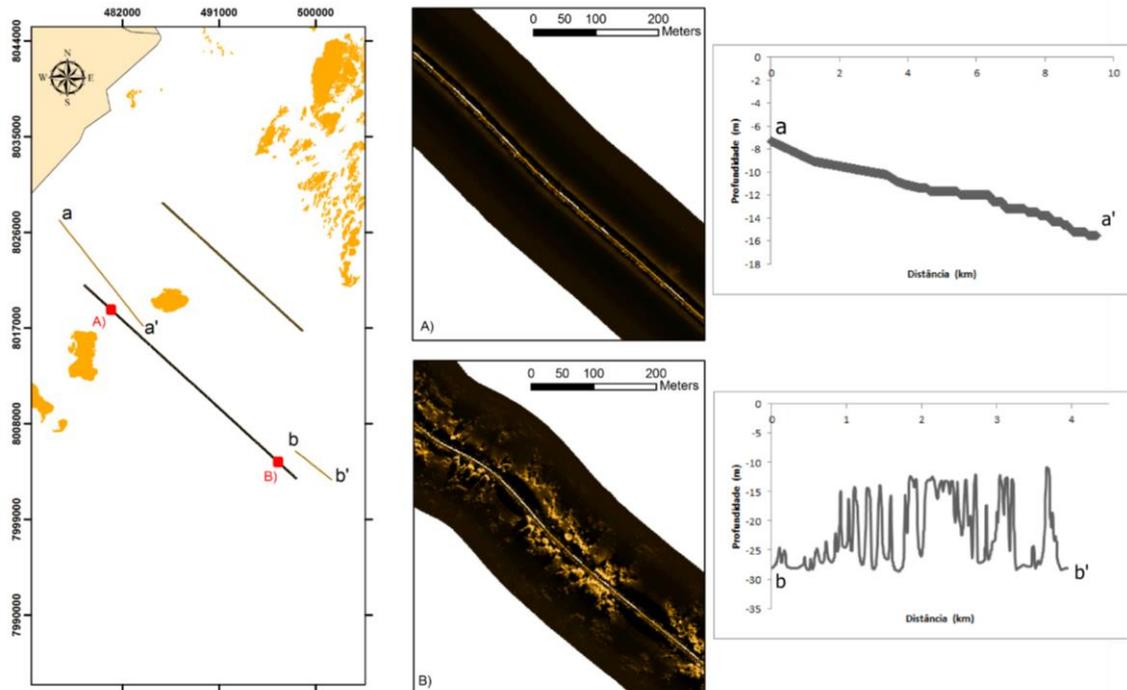


Figura 5: Localização das linhas de sonar, sonograma e perfis batimétricos para o Arco Costeiro.

As feições geomorfológicas observadas no Canal de Abrolhos são bancos recifais e pináculos bem desenvolvidos em praticamente toda sua extensão, apresentando uma grande variabilidade ao longo do canal, em profundidades entre 10 e 30 metros (Figura 6). Observa-se uma maior concentração de bancos recifais ao norte, porção centro-oeste e sudoeste da área de estudo. Já a porção leste e sul a estrutura predominante são os pináculos associados a uma grande área de sedimento inconsolidado (Figura 6).

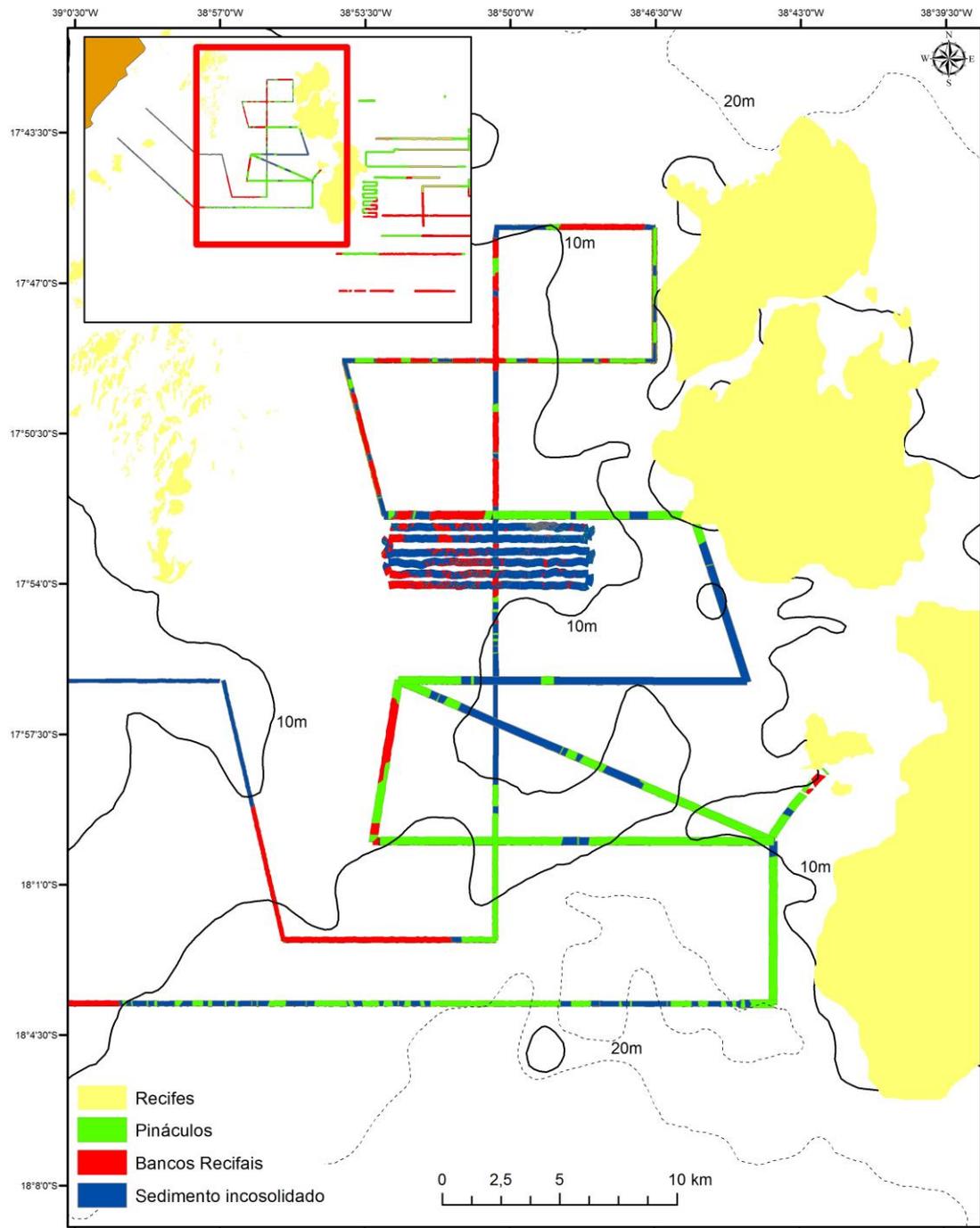


Figura 6: Distribuição das estruturas observadas ao longo do Canal de Abrolhos. Os bancos recifais (vermelho) estão distribuídos ao norte, porção centro-oeste e sudoeste; Os pináculos (verde) estão localizados a leste e sul. A porção central é caracterizada por uma grande área de sedimento inconsolidado (azul).

A partir de dados sísmicos coletadas em uma área central do Canal de Abrolhos, é possível observar duas áreas distintas, uma com o predomínio de pináculos isolados e outra com bancos recifais rodeados por pináculos. Os pináculos variam entre 3 e 5 metros de altura, a uma profundidade média de

10 metros (Figura 7 (a - a')), já os bancos recifais apresentam valores entre 50 e 250 metros de extensão, com altura entre 2 e 6 metros e profundidade média de 10 metros (Figura 7 (b - b')).

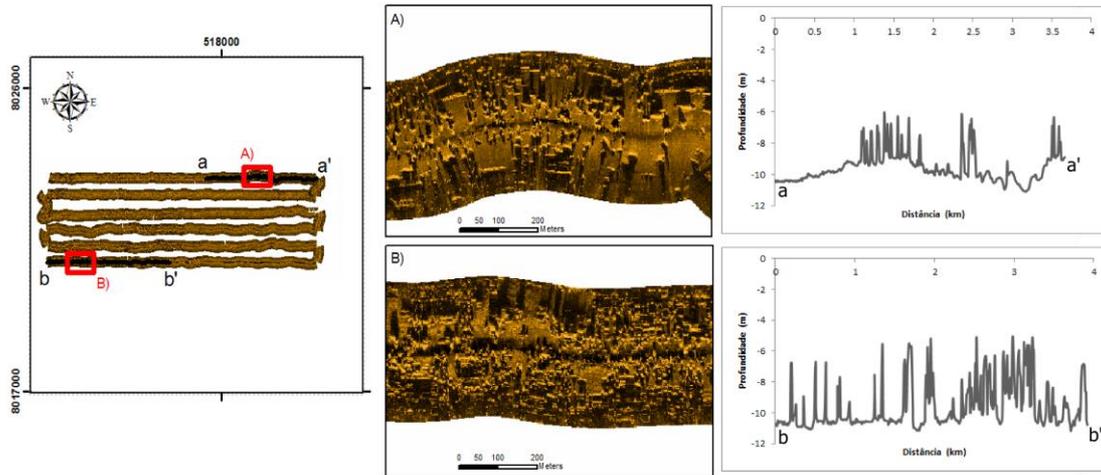


Figura 7: Sonograma e perfil batimétrico em uma área central do Canal de Abrolhos

Os pináculos mapeados no Canal de Abrolhos possuem uma variabilidade em tamanho e forma. Foram mapeados nas seis áreas do Canal de Abrolhos, 1376 pináculos. As regiões ABSP 54 (178 pináculos), 55 (155 pináculos), e 57 (347 pináculos), localizadas mais a leste do Canal de Abrolhos (Figura 3), apresentaram as maiores estruturas mapeadas, com 206,70, 105,27 e 303,36m² de área média para cada estrutura. As mesmas regiões equivalem a 9,09, 3,59 e 23,12% de cobertura da área do polígono demarcado (Tabela 1).

Tabela 1: Dados obtidos a partir do mapeamento de pináculos no Canal de Abrolhos e Arco Externo.

	Poligono	Área Poligono (m ²)	Nº Pináculos	Área Total dos Pináculos (m ²)	Cobertura (%)	Área média dos pináculos (m ²)	Prof (m)
Canal de Abrolhos	ABSP 53	471242	203	5151	1.09	25.37	26
	ABSP 54	404892	178	36792	9.09	206.7	27.5
	ABSP 55	455043	155	16317	3.59	105.27	20
	ABSP 56	426543	359	23564	5.52	65.64	27
	ABSP 57	455353	347	105266	23.12	303.36	11.5
	ABSP 58	303815	134	13933	4.59	103.98	20
Externo	ABSP 59	498855	162	7813	1.57	48.23	22.5
	ABSP 60	450550	438	14352	3.19	32.77	23.5
	ABSP 61	439976	410	12469	2.83	30.41	21
	ABSP 62	405585	418	18061	4.45	43.21	23
	ABSP 63	416155	184	5191	1.25	28.21	31
	ABSP 65	405754	279	25890	6.38	92.8	36
	ABSP 67	433280	323	45471	10.49	140.78	36
	ABSP 68	443239	85	27378	6.18	322.09	39

A leste do Arco Externo são observados uma variedade de estruturas, conforme apresentado pela Figura 9. A porção mais ao norte, próximo do Arco Externo e dentro dos limites do PNMA, são observados pináculos associados a um fundo de rodolitos. Os pináculos nesta área são espaçados e possuem pequenas dimensões, variando entre 0,5 a 2 metros de altura, a uma profundidade média de 12 metros (Figura 8 a - a'). Com o afastamento da costa, eles são substituídos pelo fundo sendo exclusivamente de rodolitos.

A porção central, parte dos pontos de coleta estão dentro do PNMA. Pináculos e bancos recifais são as principais estruturas observadas. Os pináculos possuem altura entre 1 a 6 metros (Figura 8 b - b'). Já os bancos recifais são caracterizados com altura entre 3 a 4 metros, apresentando extensões de até 400 metros (Figura 8 c - c').

A porção mais ao sul são observadas as estruturas recifais mesofóticas, que ocorrem a partir de 30 m de profundidade, com profundidades superiores a 50 m. Algumas estruturas recifais apresentam

características de estruturas desgastadas com menor rugosidade e menor intensidade de retorno do sinal.

Foram mapeados nas seis áreas a leste do PNMA, 1891 pináculos, eles estão distribuídos a uma profundidade média de 26 metros. A área média dos pináculos é de 45 m², com valor mínimo de 28m² e máximo de 92m². As coberturas nas áreas mapeadas apresentaram valores de 1,5% até 4,45%. Já as duas áreas mapeadas a sudeste do PNMA são as amostras mais profundas, média de 37 metros. Nesta área foram mapeados 408 pináculos, suas áreas são de 140,78 e 322,09 m², cobrindo respectivamente 10,49 e 6,18% dos polígonos demarcados (Tabela 1).

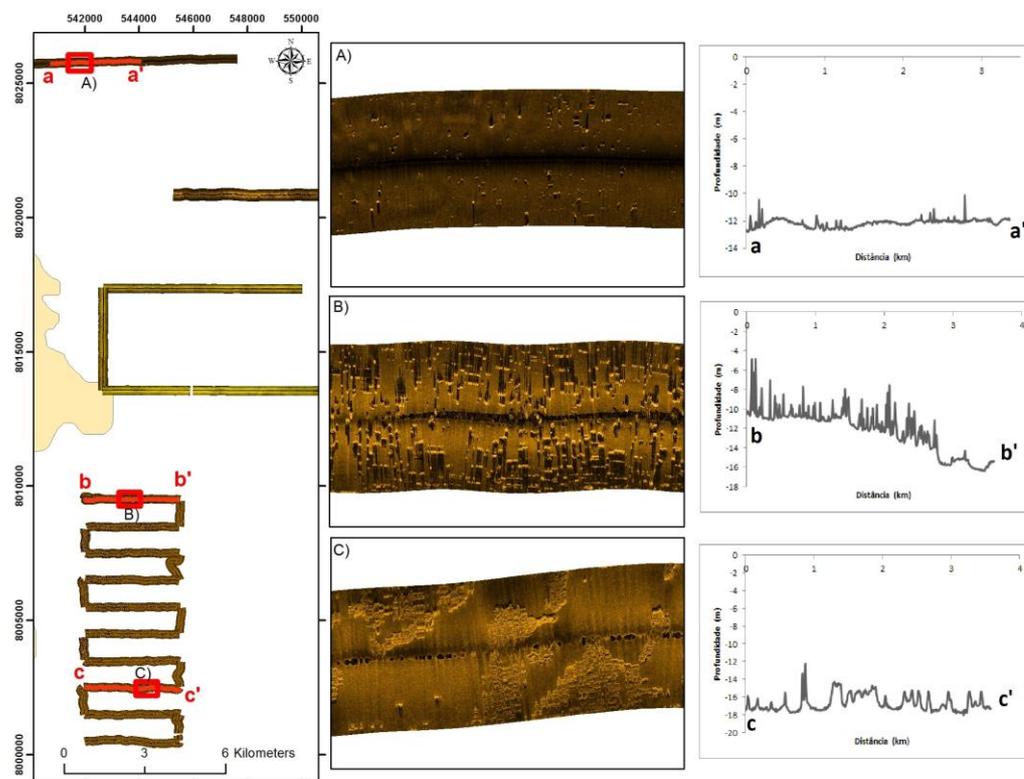


Figura 8: Sonogramas e perfis batimétricos. A) Pináculos associados a um fundo de rodolitos. B) Pináculos e C) Bancos recifais.

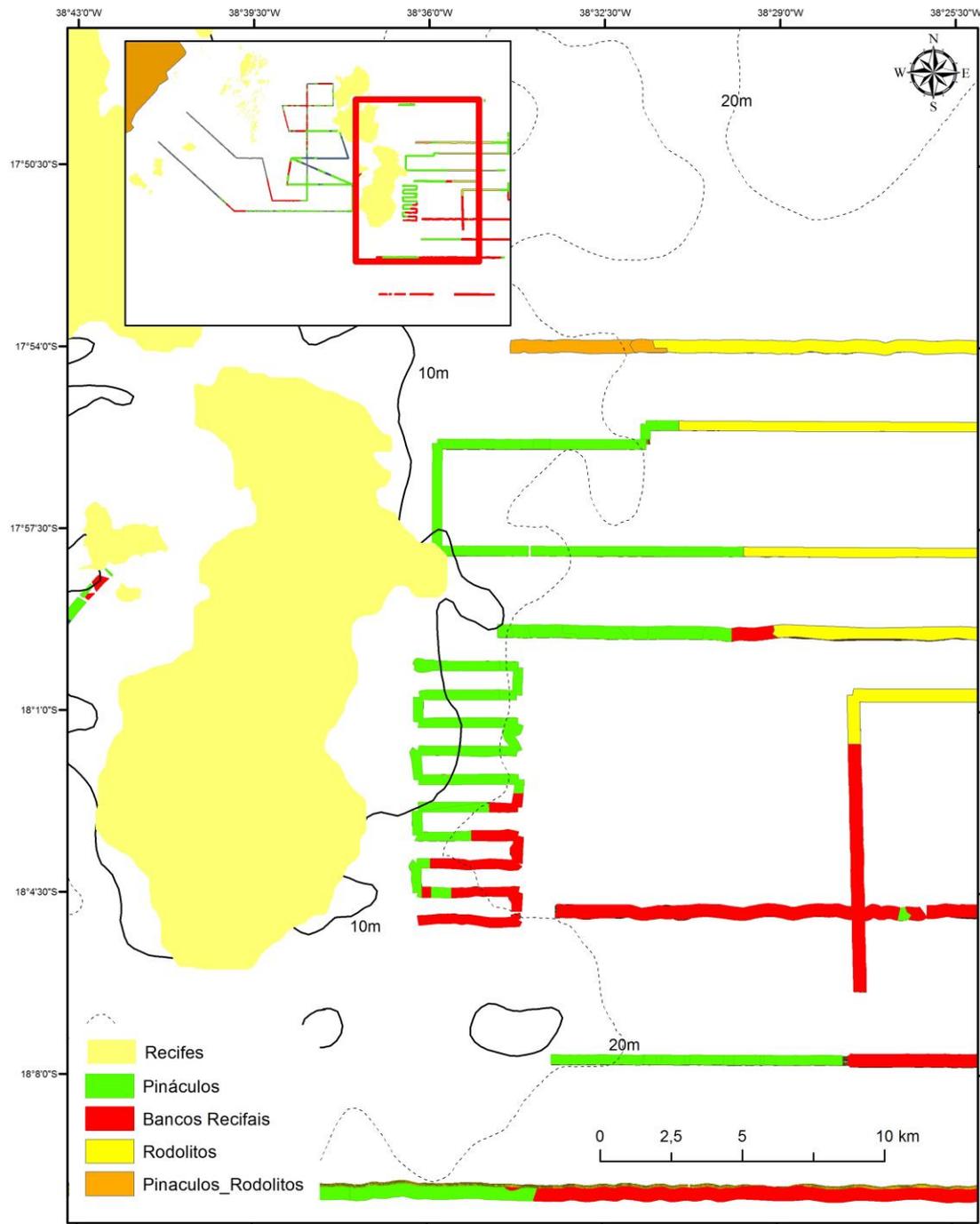


Figura 9: Distribuição das estruturas observadas no Arco Externo. Vermelho – Bancos Recifais; Verde – Pináculos; Amarelo – Rodolitos; Laranja – Pináculos associados a fundo de rodolitos.

4.2 Sedimentologia Inter-recifal

4.2.1 Teor de Carbonato de Cálcio (CaCO_3)

O teor de carbonato de cálcio no sedimento inter-recifal apresenta uma transição de um ambiente terrígeno a misto no Arco Costeiro para puramente carbonático no Arco Externo. O Arco Costeiro, conforme Figura 10, em sua maior parte apresenta composição mista (30 a 60% de CaCO_3) com uma grande concentração de sedimentos mais finos. As regiões com as maiores porcentagens de CaCO_3 e menores porcentagens de lama estão localizadas próximo aos recifes.

Diferente dos sedimentos do Arco interno, os sedimentos do Canal de Abrolhos apresentam maiores valores de CaCO_3 . 70% das amostras possuem valores acima de 90% de CaCO_3 , 28% das amostras estão entre 70 e 90% e 2% abaixo de 70% de CaCO_3 . As menores porcentagens de CaCO_3 estão associadas a faixa mais próxima da costa. Já o Arco Externo, todas as amostras a composição do sedimento inter-recifal é exclusivamente carbonática (> 95% CaCO_3), com uma distribuição regular de faixas granulométricas.

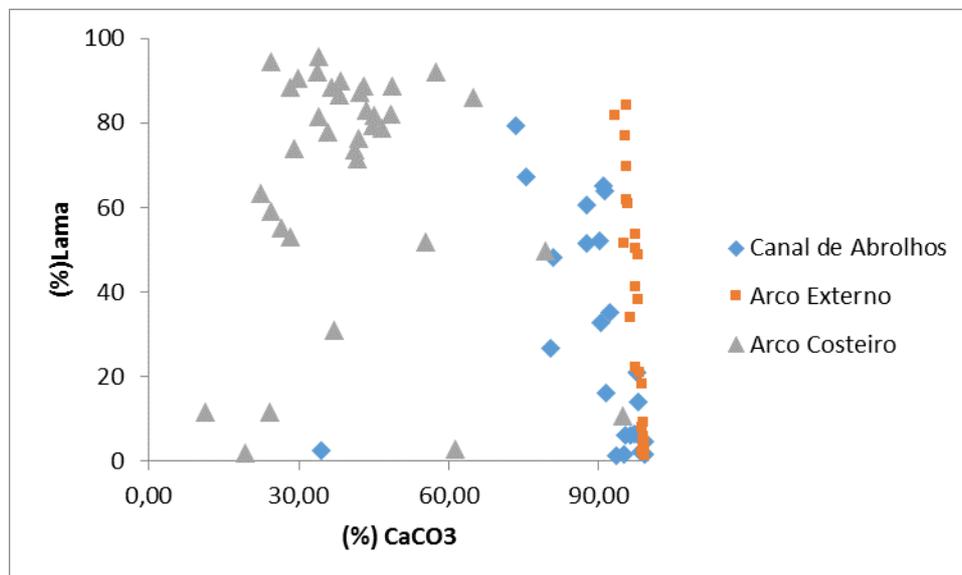


Figura 10: Distribuição de lama e carbonato de cálcio do sedimento inter-recifal para as três regiões de investigação. Nota-se uma transição de sedimentos mistos para puramente carbonáticos.

4.2.2 Distribuição Sedimentar

O Arco Costeiro é composto predominantemente por lama (valores superiores a 50%). Observa-se uma tendência para sedimentos mais arenosos ao sul (Figura 11 - A).

A distribuição granulométrica do Canal de Abrolhos apresenta uma faixa de concentração de lama em sentido N-S, próximo ao Arco Costeiro, com valores entre 50 a 75% de lama (Figura 11 - B). É observado uma transição entre sedimentos lamosos a arenosas para a porção central, sul e mais próxima ao Arco Externo.

As amostras do Arco Externo, conforme Figura 11 – C, apresentam uma concentração de lama (valores superiores a 50%) próximos à região a barlavento dos recifes do Arco Externo. Ao norte é observada uma tendência a sedimentos de granulometria mais grossa (cascalho e areia) enquanto que a porção central, leste e sudeste sedimentos arenosos.

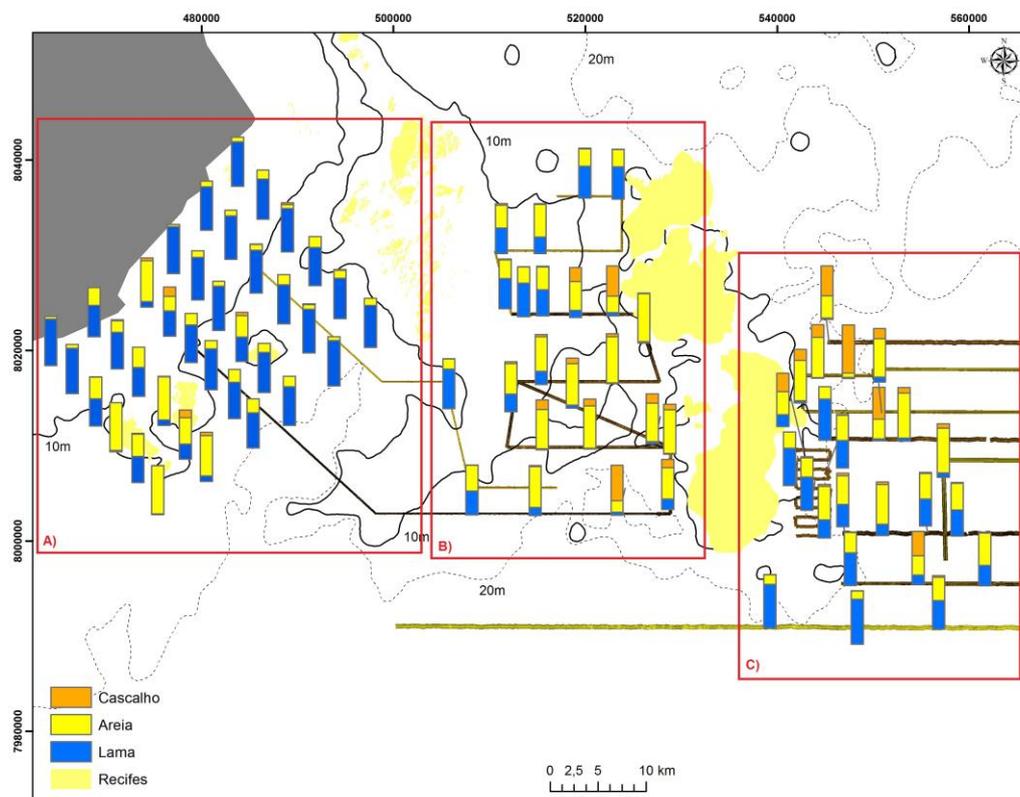


Figura 11: Distribuição granulométrica da área de estudo (siliciclástico + carbonático). A) Arco Costeiro; B) Canal de Abrolhos e C) Arco Externo.

4.2.3 Classificação composicional e textural segundo a classificação modificada de Larssonneur (Dias, 1996)

O mapa de classificação composicional e textural segundo a classificação modificada de Larssonneur (Dias, 1996) mostra uma distribuição heterogênea ao longo da área de estudo, com uma transição clara de sedimentos terrígenos e mistos no Arco Costeiro para sedimentos carbonáticos no Canal de Abrolhos e Arco Externo (Figura 12). O Arco Costeiro é composto principalmente por sedimentos inter-recifais lamosos (lama > 15%), caracterizados por lamas terrígenas, margas, margas calcárias e uma pequena área de lamas calcárias (Figura 12 – A). Observa-se a presença de uma grande área de margas. Também é possível observar a presença de sedimento inter-recifal arenoso litoclástico fino próximo à costa. A presença de diferentes fundos arenosos é observada também mais ao sul, próximo aos recifes (areia litoclástica, biolitoclástica e bioclástica média).

O Canal de Abrolhos é composto por sedimentos inter-recifais carbonáticos ($\text{CaCO}_3 > 70\%$). Lamas calcárias ocupam uma extensa área do canal, assim como a presença de pequenas áreas de lama calcária arenosa (lama < 25%). Observa-se a presença de sedimento inter-recifal arenoso na porção central, assim como a presença de duas áreas com cascalho bioclástico (Figura 12 – B).

Assim como o Canal de Abrolhos, o Arco Externo é composto por sedimentos inter-recifais carbonáticos, as classificações observadas são a mesma que o Canal de Abrolhos, com exceção da presença de um fundo composto por rodolitos. Lamas calcárias e lama calcária arenosa representam mais de 50% da área. Ao norte observa-se uma tendência a um sedimento inter-recifal de granulometria mais grossa, onde o sedimento é composto por areia bioclástica com grânulos, cascalho bioclástico e grânulo bioclástico com rodolitos.

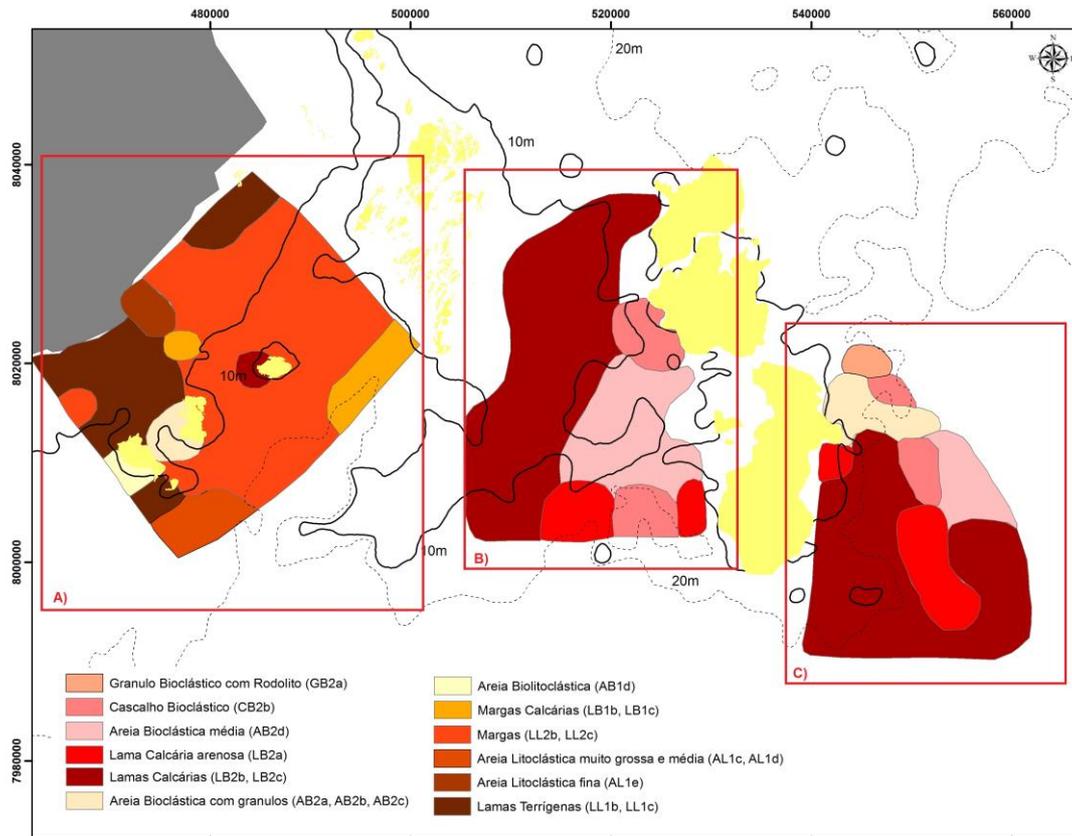


Figura 12: Mapa de classificação textural dos sedimentos inter-recifal da área de estudo, segundo a classificação modificada de Larsonneur (Dias, 1996). A) Arco Costeiro. B) Canal de Abrolhos e C) Arco Externo

4.2.4 Mapa de classificação de fácies segundo Dunham (1962)

O mapa de classificação de fácies segundo Dunham (1962) é representado por quatro classes (wackstone, packstone, grainstone e boundstone). A distribuição de fácies apresenta uma dominância para packstone e grainstone tanto no Canal de Abrolhos como no Arco Externo. O Canal de Abrolhos apresenta uma distribuição N-S de packstone com alguns wackstone próximo ao Arco Costeiro, já a porção central e sul ocorre uma transição para o predomínio de grainstone.

O Arco externo apresenta uma transição de fácies em sentido N-S de boundstone, grainstone e packstone, ao sul em maiores profundidades observa-se wackstone.

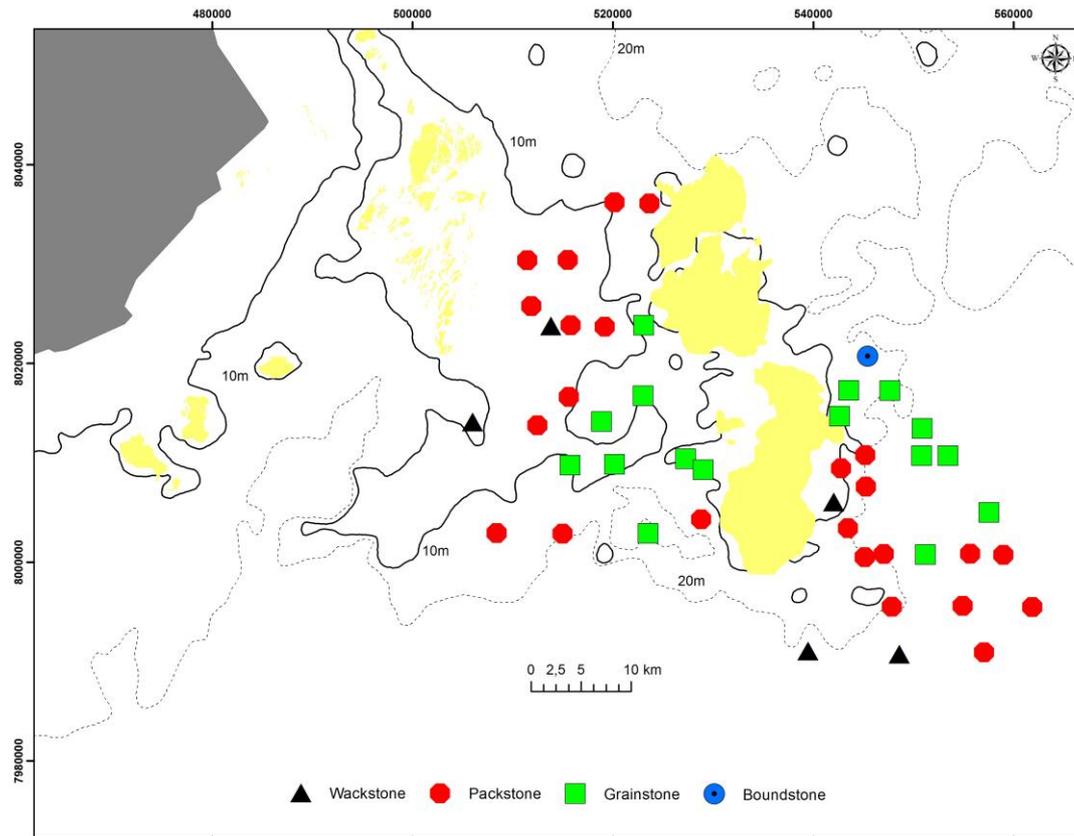


Figura 13: Classificação de fácies segundo Dunrham (1962) para o Canal de Arolhos e Arco Externo. Nota-se o predomínio de packstone e grainstone distribuídos nas duas áreas.

5. Discussão

Morfologia e sedimentologia

O uso do sonar de varredura lateral, assim como a coleta de sedimentos possibilitou evidenciar uma variabilidade das estruturas morfológicas e da distribuição do sedimento inter-recifal ao longo da plataforma interna de Abrolhos.

Leão & Ginsburg (1997) a partir de três transectos no arco costeiro apresentam uma distribuição parcial dos sedimentos superficiais. O presente trabalho preenche esta lacuna e apresenta uma variação de fácies sedimentares terrígenas a mista com uma maior complexidade. De acordo com o mapa faciológico baseado na classificação de Larssonneur modificado por Dias (1996), uma extensa faixa de margas são observadas, (composição entre 30 a 50% de carbonato de cálcio), assim como áreas de lamas terrígenas mais próximo a costa (<30% de carbonato de cálcio). Em direção ao sul, próximos aos recifes são observados sedimentos arenosos como areia biolitolástica e areia bioclástica com grânulos. Este padrão de sedimentos arenosos próximos aos recifes é observada na bibliografia, por exemplo, Mathews et al. (2007), observam sedimentos arenosos próximo aos recifes da Grande Barreira de Coral da Austrália, com o afastamento dos recifes, os sedimentos apresentam uma transição para sedimentos lamosos. A composição dos sedimentos mostra que eles são provenientes dos próprios recifes, pois são compostos por grãos de carbonato. Leão & Ginsburg (1997) observam a mesma tendência para os transectos de seu trabalho.

O sedimento siliciclástico que pode atingir até mais de 70% em sua composição é proveniente dos sistemas fluviais distribuídos ao longo da costa e, segundo Leão & Ginsburg (1997), possuem duas fontes: 1º) retrabalhamento do sedimento oriundo da erosão do Grupo Barreiras e 2º) o sedimento fluvial é levado até os recifes por correntes longitudinais. De acordo com Bittencourt et al. (2000) os ventos predominantes de NE no verão, e de SE durante as tempestades de inverno, originam ondas que

atingem a costa diagonalmente, formando as correntes responsáveis pelo transporte e deposição deste material. Diversos estudos ao longo de diferentes plataformas carbonáticas observam um domínio de sedimentos siliciclásticos na região costeira, estes estão associados aos sistemas de drenagem ao longo da costa (Flood *et al*, 1978; Belperio & Searle, 1988; Purdy & Gischler, 2003; Mathews *et al.*, 2007; Gomes *et al*, 2015). D'Agostini (2015) observa e descreve um prisma sedimentar costeiro, a partir de dados sísmicos, na faixa entre a linha de costa e a ocorrência dos parcéis (profundidade de 12 metros). Isso indica uma fonte terrígena com tendências progradantes, formando um prisma da linha de costa em direção offshore, demonstrando porque o leito marinho do arco costeiro é composto por um fundo inconsolidado.

O Canal de Abrolhos é caracterizado pela presença de bancos recifais distribuídos próximos ao Arco Costeiro e pináculos ao Arco Externo em profundidades entre 10 e 30 m. As estruturas nesta área são bem desenvolvidas como observado nos sonogramas, perfis batimétricos e mapeamento dos pináculos. O sedimento inter-recifal dos bancos recifais nesta área é caracterizado por sedimentos lamosos e o mapa de classificação composicional e textural segundo a classificação modificada de Larssonneur (Dias, 1996) apresenta uma extensa faixa de lamas calcárias para a mesma região (>70% de carbonato de cálcio) (Figura 14). De acordo com Leão & Ginsburg (1997), a presença de sedimentos finos próximos aos recifes pode estar associada a processos de bioerosão. Nos recifes costeiros na porção norte da Bahia, as esponjas são os principais organismos responsáveis pela bioerosão (Reis & Leão, 2000). De acordo com Francini-Filho *et al* (2008), outro importante organismo são os budiões (Perciformes: Scaridae). Em Abrolhos, entre as espécies de budião, a *Sp. amplum* é o mais especializado predador de corais. Nas Bahamas, a bioerosão é o fator mais importante na desintegração dos recifes e a principal fonte de sedimentos para as regiões rasas. Em geral, o organismo principal responsável pela atual bioerosão dos recifes são as esponjas, porém outros organismos são importantes, como por exemplo, equinodermas, bivalves, peixes, gastrópodes, poliquetas e microorganismos como bactéria, fungo e algas

(Bergman, 2010). Outro fator importante é a proximidade dos pontos com a região a barlavento do Arco Costeiro, exposta a energia de ondas tanto no verão como no inverno, gerando possivelmente estes sedimentos lamosos. Já na porção leste e sul do canal a estrutura predominante são os pináculos associados a uma grande área de sedimento inconsolidado, ou seja, uma região com uma menor concentração recifal. O sedimento inter-recifal observado para essa região são sedimentos arenosos, sendo que alguns pontos se observa a presença de cascalho, com a presença de areia bioclástica média e cascalho bioclástico (Figura 14). De acordo com Dutra *et al.* (2006), diferente dos bancos recifais, a morfologia dos pináculos favorece o deslocamento de ondas e correntes através das estruturas, retirando assim o sedimento fino depositado.

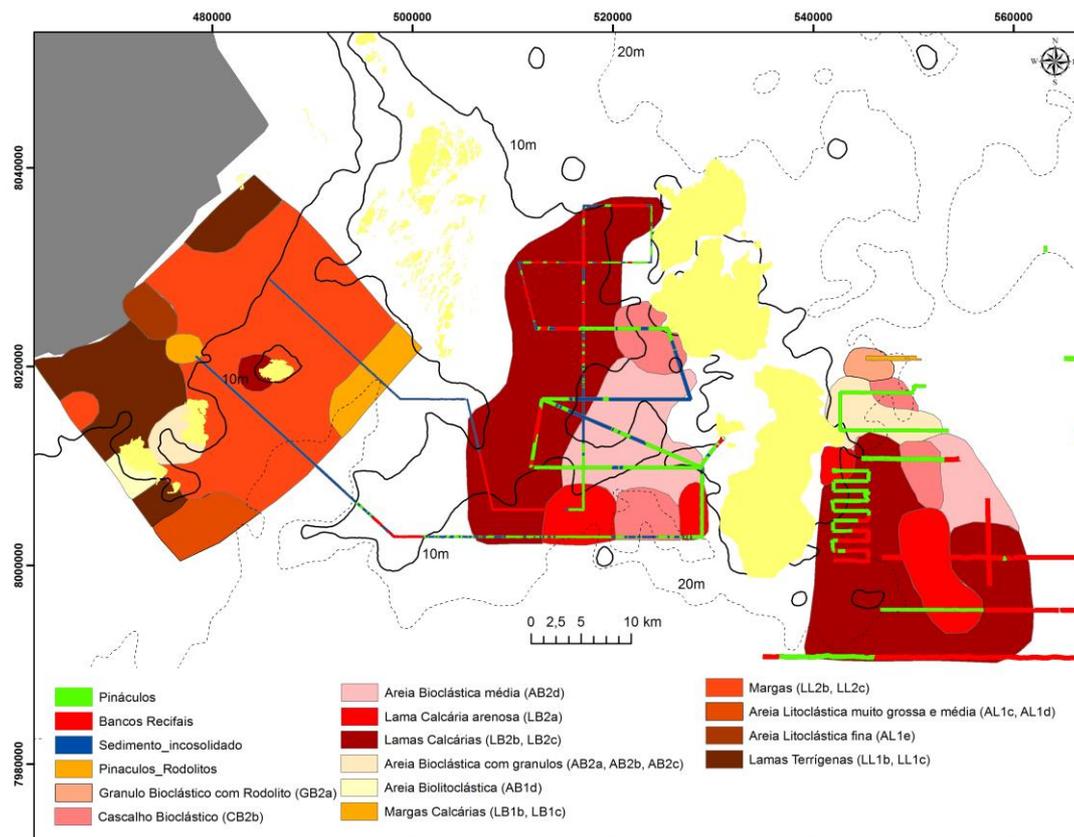


Figura 14: Composição entre os fundos observados (pináculos, bancos recifais e sedimento inconsolidado) e a classificação de fácies segundo Larssonneur modificado por Dias (1996).

Os tipos de fundo observados a leste do Arco Externo são compostos por rodolitos, pináculos associados a fundo de rodolitos, pináculos, bancos recifais e recifes mesofóticos (pináculos e bancos recifais). De acordo com

Leão *et al.* (2003), o desenvolvimento de rodolitos na região está associado com a última transgressão pós-glacial, onde os recifes não acompanharam a subida do nível do mar, caracterizando a fase give up dos recifes, dando lugar para o desenvolvimento de rodolitos. Além deste fator, a combinação de uma plataforma rasa e larga, com uma perturbação sazonal de ondas, parece favorecer o desenvolvimento de rodolitos ao longo da Plataforma de Abrolhos (Amado-Filho *et al.*, 2012). Provavelmente, devido a estes fatores os pináculos associados a fundo de rodolitos são pequenos, espaçados entre si e pouco desenvolvidos. A característica do sedimento inter-recifal para este tipo de fundo é composto por mais de 50% de cascalho, classificado como grânulo bioclástico com rodolito. Os pináculos que se distribuem por uma larga área do Arco Externo, apresentam uma variabilidade na distribuição granulométrica do sedimento inter-recifal. Os pináculos ao norte estão associados a um sedimento mais arenoso, classificados como areia bioclástica com grânulos e cascalho bioclástico. Em direção ao sul, eles estão associados a um sedimento mais lamoso, sendo classificados como lamas calcárias e lama calcária arenosa. A mesma classificação é observada para as estruturas mesofóticas. De acordo com Moura *et al.* (2013) pináculos e recifes mesofóticos se assemelham com as estruturas observadas nos dois arcos (Costeiro e Externo), contudo nos pináculos mesofóticos não são observados as partes superiores planas e expandidas típicas das estruturas que estão em crescimento ativo perto da superfície.

Classificação modificada de Larsonneur (Dias, 1996) X Dunham (1962)

A classificação modificada de Larsonneur (Dias, 1996) permite a separação de classes sedimentares considerando os teores de carbonato e o diâmetro das partículas, podendo ser usada para ambientes terrígenos, mistos e carbonáticos. A classificação de Dunham (1962) é baseada na textura deposicional das rochas carbonáticas, sendo assim, uma classificação para um ambiente carbonático, não sendo válido para ambientes mistos ou terrígenos. Com isso a comparação entre as duas

classificações foram feitas no Canal de Abrolhos e Arco Externo (Figura 15).

O mapa demonstrou uma distribuição semelhante entre as duas classificações. Os sedimentos lamosos de Larsonneur estão associados a wackstone e packstone da classificação de Dunham. Porém os depósitos de grainstones estão associados a diferentes classes na classificação de Larsonneur (grânulos, areias e lamas arenosas).

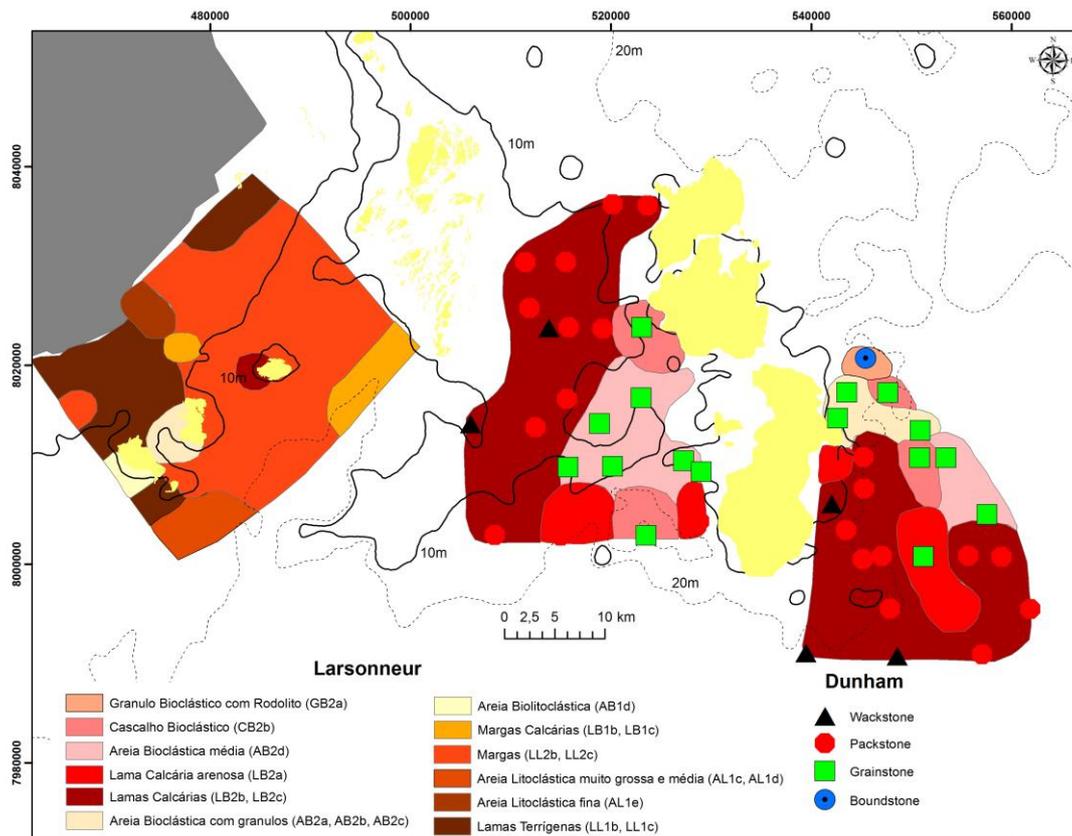


Figura 15: Sobreposição da classificação de Larsonneur modificado por Dias (1996) e Dunham (1962).

Mapa da classificação de fácies segundo Dunham (1962)

De acordo com Rankey *et al.* (2009), as plataformas carbonáticas são heterogêneas, e entender a natureza de sua variabilidade é um importante desafio para algumas aplicações estratigráficas como os modelos de reservatórios. A classificação de sedimentos holocênicos a partir da classificação de rochas de Dunham (1962) serve como um análogo para os depósitos antigos (Purdy & Gischler, 2003). De acordo com Flügel (2010) a classificação de Dunham pode ser igualmente bem aplicada no campo, em

coletas de sedimento e em laboratório, tornando-se uma classificação bem utilizada na literatura (Miller, 1984; Alsharhan, 1985; Vaziri-Moghaddam *et al.* 2006; Gischler & Lomando, 1999; Purdy & Gischler, 2003; Gischler, 2006; Reijmer *et al.*, 2009; Kaczmarek *et al.*, 2010; Gischler, 2011)

O modelo de fácies em uma plataforma em rampa é caracterizado pela presença de wackstone/ mudstone na laguna interna, bancos de grainstone, packstone e wackstone na rampa interna (Nichols, 2009). Resultados semelhantes foram observados em antigos depósitos carbonáticos (Miller, 1984; Alsharhan, 1985; Vaziri-Moghaddam *et al.* 2006).

Plataformas com bordas ou isoladas podem apresentar uma distribuição de fácies semelhantes, tendo em vista que nas duas podem ser observadas barreiras recifais na quebra de plataforma, onde as fácies são caracterizadas por boundstone e grainstone. No seu interior, por ser um ambiente mais restrito, são formadas as lagoas, onde são observadas fácies mudstone, wackstone e packstone, de acordo com a energia e morfologia da plataforma (Gischler & Lomando, 1999; Purdy & Gischler, 2003; Gischler, 2006; Reijmer *et al.*, 2009; Kaczmarek *et al.*, 2010; Gischler, 2011).

A plataforma de Abrolhos não se assemelha a uma plataforma com borda ou rampa. Seus recifes estão distribuídos em dois arcos, estes estão expostos a ação de ondas, ventos e correntes tanto no período de verão, como de inverno, e sua região costeira é influenciada pelas descargas dos rios ao longo da costa e com os sedimentos sendo distribuídos pelas correntes litorâneas. Estas características parecem influenciar na distribuição das fácies holocênicas ao longo da plataforma interna de Abrolhos.

Os resultados apresentados no mapa da classificação de fácies segundo Dunham (1962) evidenciam que, tanto o Canal de Abrolhos como o Arco Externo, as fácies predominantes são packstones e grainstones. A distribuição de packstone no Canal de Abrolhos está concentrada em sentido N-S próximo ao Arco Costeiro, onde é observada a presença de duas amostras de wackstone. A maior parte dos pontos estão distribuídas ao longo dos bancos recifais observados no Canal de Abrolhos, ou seja, boundstone associados a wackstone e packstone. Já na porção centro-leste e sul,

grainstone são predominantes e estão associados ao fundo composto por pináculos e sedimento inconsolidado, possuindo uma menor concentração de estruturas recifais (boundstone).

O Arco Externo apresenta uma distribuição de fácies wackstone e packstone próximos ao Parcel dos Abrolhos, assim como a sudeste, e estes estão interligados por boundstone, e o sedimento inter-recifal é caracterizado por sedimentos lamosos. Na área norte e leste são observados boundstone associados a fundo de rodolitos e grainstones associados aos fundos de pináculos.

Assim, o modelo de distribuição de fácies na plataforma interna de Abrolhos é caracterizado por sedimentos lamosos terrígenos e mistos no arco costeiro, para a presença de sedimentos carbonáticos classificados como wackstone, packstone, grainstone, estes intercalados por boundstone e uma pequena área de boundstone associado ao fundo de rodolitos (Canal de Abrolhos e Arco Externo) (Figura 16).

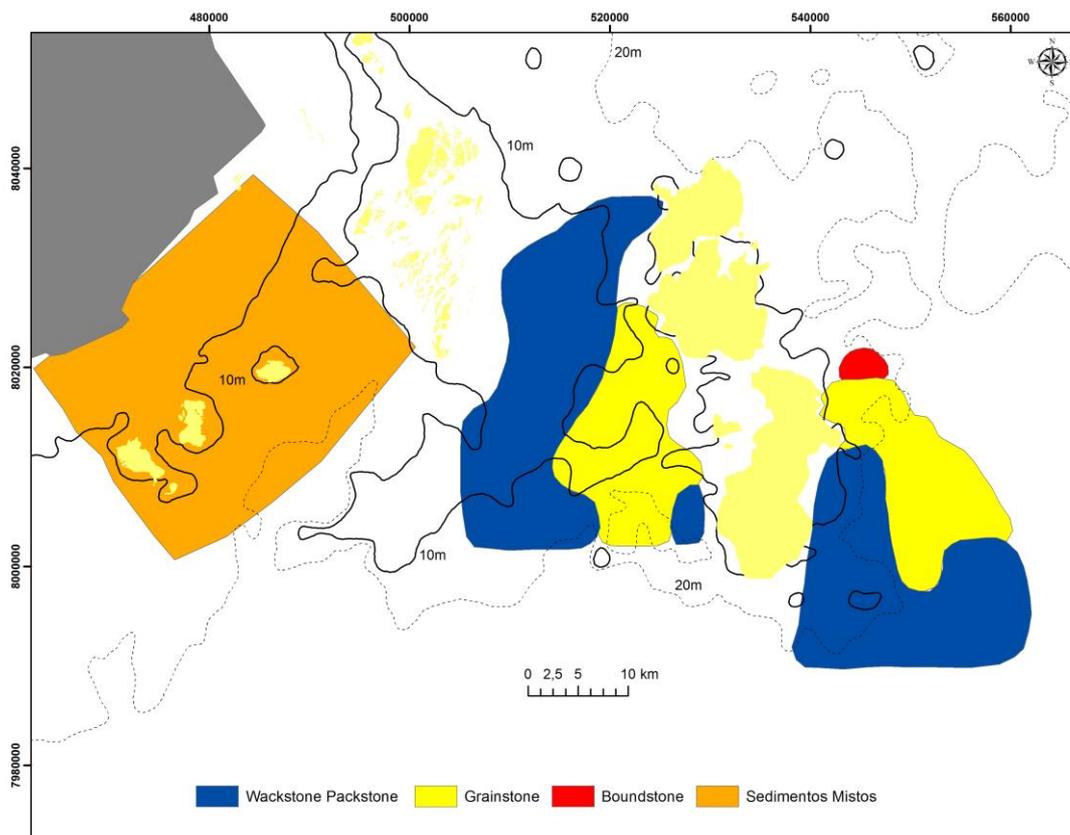


Figura 16: Modelo de distribuição de fácies na plataforma interna de Abrolhos.

Comparação com outras plataformas

A plataforma interna de Abrolhos é caracterizada por sedimentos terrígenos e mistos no Arco Costeiro e a presença de fácies wackstone/packstone, grainstone e boundstone no Canal de Abrolhos e Arco Externo.

A Plataforma de Belize, localizada na América Central, é classificada como uma plataforma mista com borda desenvolvida sob um clima tropical úmido (McNeill et al, 2010). De acordo com Purdy & Gischler (2003) sua plataforma pode ser dividida em três setores: norte, central e sul. A porção norte as fácies observadas na plataforma interna são pequenas áreas de sedimento siliciclásticos associados a rios que deságuam no mar, com o predomínio de Grãos Micritizados Wackestone/ Packstone; e Moluscos – Foraminíferos Wackstone. Já a porção central e sul, a plataforma interna apresenta extensas faixas de areia e sedimentos mistos associados ao sistema de drenagem das montanhas Maya. Apesar do presente trabalho de mestrado não contemplar a composição dos sedimentos, e comparando apenas a classificação de Dunham, as fácies observadas possuem certa semelhança, pois existem sedimentos terrígenos e mistos na região costeira, assim como depósitos wackstone e packstone na plataforma interna. Contudo, os depósitos de grainstone observados em Abrolhos, na plataforma de Belize estão presentes na quebra de plataforma e nos bancos recifais da plataforma externa.

Mathews et al. (2007) investigaram a Grande Barreiras de Corais da Austrália (GBCA), o sedimento superficial da plataforma interna é composto pela alta concentração de sedimentos terrígenos provenientes dos rios ao longo da costa e pequenas porcentagens de sedimentos carbonáticos. A concentração de lama pode atingir até 60% e geralmente ocorrem até uma distância de 50 km da costa. Assim como na GBCA, os sedimentos terrígenos e mistos em Abrolhos estão restritos a porção costeira e Canal de Abrolhos, a uma distância aproximada como observado por Mathews et al. (2007).

De acordo com Kaczmarek et al (2010) o arquipélago das Bahamas consiste em diversas plataformas carbonáticas isoladas, as maiores são o Grande Banco das Bahamas (GBB) e Pequeno Banco das Bahamas (PBB). Em geral, os depósitos de grainstone dominam o sul e leste da GBB, enquanto que o PBB, grainstone é limitado as margens da plataforma a norte e oeste. Ou seja, em ambas as plataformas não são observados grainstone na plataforma interna como observamos em Abrolhos. Os sedimentos lamosos estão confinados a parte a sotavento tanto na GBB e PBB, sendo esta uma outra diferença, pois Abrolhos apresentou sedimentos arenosos na porção a sotavento. A região de wackstone esta concentrada imediatamente a oeste da Ilha de Andros, na plataforma interna e representa a maior concentração de sedimentos lamosos na plataforma.

O atol Glovers Reef em Belize apresenta uma distribuição concêntrica de suas fácies. Boundstone circunda o atol e esta presente na porção interna da plataforma nos 850 patch reefs, esses estão intercalados com wackstone. Grainstones e packstones estão presentes imediatamente atrás da borda da plataforma (Kaczmarek et al, 2010). Em Abrolhos, boundstones estão associados a fundo de rodolitos e ocorrem intercalados com os wackstones, packstones e em menores concentrações com grainstones distribuídos no Canal de Abrolhos e Arco Externo.

6. Conclusão

O uso em conjunto de dados sonográficos, amostras de sedimento superficial e perfilador de fundo, permitiram demonstrar a heterogeneidade faciológica na plataforma interna de Abrolhos. Ela é caracterizada pela sedimentação terrígena, a mista no Arco Costeiro e Canal de Abrolhos para puramente carbonática no Arco Externo.

O sedimento inconsolidado sem a presença de estruturas recifais apresentou dois padrões de sedimentação. Primeiro, um sedimento lamoso

terrígeno a misto no Arco Costeiro e segundo por sedimentos carbonáticos arenosos (grainstones) no Canal de Abrolhos.

A faciologia do sedimento inter-recifal dos bancos recifais apresentaram fácies lamas calcárias segundo a classificação de Larsonneur modificada por Dias (1996) e uma pequena área mais a offshore observa-se areia bioclástica. Segundo Dunham (1962) depósitos de wackstone e packstone estão interligados por boundstone (bancos recifais).

As regiões de pináculos apresentaram uma heterogeneidade. Segundo a classificação modificada de Larsonneur apresentaram todas as fácies carbonáticas neste domínio, já em relação a classificação de Dunham, são observados depósitos grainstones, com algumas amostras sendo packstone e wackstone.

A comparação entre as duas classificações de fácies demonstrou que wackstone e packstone estão associados a lamas calcárias, porém os depósitos grainstones são observados em uma gama de fácies na classificação de Larsonneur, ou seja, o uso da classificação modificada de Larsonneur acarreta em um maior detalhamento da área.

O modelo de distribuição de fácies da plataforma interna de Abrolhos se assemelha com o depósito de algumas plataformas, principalmente em relação a sedimentação mista ao longo da costa. Contudo se diferencia por apresentar depósitos de grainstones a sotavento dos recifes, enquanto que a barlavento são observados depósitos wackstone e packstone. Os depósitos wackstone, packstone estão associados a bancos recifais (boundstones) e estruturas mesofóticas (pináculos e bancos recifais), enquanto que grainstones estão associados aos pináculos. Por fim, fundo composto por rodolitos são classificados como boundstone e estão limitados a uma pequena área.

7. Referências

Alsharhan, A. S. 1985. Depositional Environment, Reservoir Units Evolution, and Hydrocarbon Habitat of Shuaiba Formation, Lower Cretaceous, Abu Dhabi, United Arab Emirates. *American Association of Petroleum Geologists*. 69: 899 – 912.

Amado-Filho, G.M., Moura, R.L., Bastos, A.C., Salgado, L.T., Sumida, P.Y., Guth, A.Z., Francini-Filho, R.B., Pereira-Filho, G.H., Abrantes, D.P., Brasileiro, P.S., Bahia, R.G., Leal, R.N., Kaufman, L., Kleypas, J.A., Farina, M., Thompson, F.L., 2012. Rhodolith beds are major CaCO₃ bio-factories in the tropical South West Atlantic. *PLoS One* 7 (4), e35171.

Belperio, A.P; & Searle, D.E. 1988. Terrigenous and carbonate sedimentation in the Great Barrier Reef Province. In: Doyle, L.J. & Roberts, H.H. (Eds.), *Carbonate-clastic transitions*, Netherlands, Elsevier, pp.143-174.

Bergman, K. L; Westphal, H; Janson, X; Poiriez, A; Eberli, G. P. 2010. Controlling Parameters on Facies Geometries of the Bahamas, an Isolated Carbonate Platform Environment. In: Westphal, H; Riegl, B; Eberli, G. P. *Carbonate Depositional Systems: Assessing Dimensions and Controlling Parameters*. Springer, p 5 – 80.

Bittencourt, A. C. S. P.; Dominguez, J. M. L; Martin, L. & Nascimento, I. R. 2000. Patterns of sediment dispersion coastwise the state of Bahia Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 72 (2), 271 – 287.

Bourguignon S. N. 2010. Mapeamento acústico do Canal de Abrolhos e seu entorno, Bahia - Brasil. Monografia apresentada ao curso de Oceanografia pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Brasil.

Coe, A. 2002. *The Sedimentary Record of Sea Level Change*, Cambridge University Press, 288 pp.

D'agostini, D. P; Bastos, A. C; Reis, A. T. 2015. The Modern Mixed Carbonate–Siliciclastic Abrolhos Shelf: Implications for a Mixed Depositional Model. *Journal of Sedimentary Research*, v.85, p 124-139.

Dias, G. T. M. 1996. Classificação de sedimentos marinhos: Proposta de Representação em Cartas Sedimentológicas. Congresso Brasileiro de Geologia, 39: São Paulo, 1996. Anais... São Paulo: SBG.

Dunham, R. J., 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W. E. (ed.), *Classification of carbonate rocks: American Association of Petroleum Geologists Memoir*, p. 108-121.

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, Special Issue*, 39.

Flood, P. G; Orme, G. R; Scoffin, T. P. 1978. An Analysis of the Textural Variability Displayed by Inter-Reef Sediments of the Impure Carbonate Facies in the Vicinity of the Howick Group. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, V. 291, No. 1378, p 73-83.

Flügel, E. 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation*

and Application. Springer, 2ed, 984 pp.

Folk, R.L., 1959, Practical petrographic classification of limestones: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 43, p. 1-38.

Folk, R.L., 1962, Spectral subdivision of limestone types, in Ham, W.E., ed., Classification of carbonate Rocks-A Symposium: American Association of Petroleum Geologists Memoir 1, p. 62-84

Francini-Filho, R. B; Moura, R. L; Ferreira, C. M; Coni, E. O. C. 2008. Live coral predation by parrotfishes (Perciformes: Scaridae) in the Abrolhos Bank, eastern Brazil, with comments on the classification of species into functional groups. Neotropical Ichthyology. v 6, n2 – 191:200.

Francisconi, O.; Costa, M. P. A.; Coutinho, M. G. N. & Vicalvi, M. A. 1974. Geologia Costeira e Sedimentos da Plataforma Continental Brasileira. Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, v 3. p 305-321.

Ginsburg, R. N. 1956. Environmental relationships of grain size and constituent particles in some South Florida carbonate sediments. AAPG Bull 40:2384–2427

Ginsburg, R. N. 1957. Early diagenesis and lithification of shallow water carbonate sediments in South Florida. In: Le Blanc R. J; Breeding, J. G (eds) Regional aspects of carbonate sedimentation. SEPM Spec Publ 5:80–100

Gischler, E; Lomando, A. J. 2000. Isolated carbonate platforms of Belize, Central America: Sedimentary facies, late Quaternary history and controlling factors. In: Insalaco, E; Skelton, P. W; Palmer, T. J (eds). Carbonate Platforms Systems: components and interactions. Geological Society, London, Special Publications, 178, 135 – 146.

Gischler, E. 2006. Sedimentation on Rasdhoo and Ari Atolls, Maldives, Indian Ocean. Facies. 52: 341-360.

Gischler, E. 2011. Sedimentary Facies of Bora Bora, Darwin's Type Barrier Reef (Society Islands, South Pacific): The Unexpected Occurrence of Non-Skeletal Grains. Journal of Sedimentary Research. 81: 1-17.

Imbrie, J; Purdy, E. G. 1962. Classification of modern Bahamian sediments. In: Ham, W. E. (ed) Classification of carbonate rocks. AAPG Mem 1:253–272

Kaczmarek, S. E; Hicks, M. K; Fullmer, S. M; Steffen, K. L; Bachtel, S. L. 2010. Mapping facies distributions on modern carbonate platforms through integration of multispectral Landsat data, statistics-based unsupervised classifications, and surface sediment data. American Association of Petroleum Geologists, v. 94, no. 10, p 1581–1606.

Klein, D. A; Secchin, N. A; Bastos, A. C; Dutra, D; Moura, R. L. 2009. Sonographic patterns and reef mapping in Abrolhos shelf, Brazil. 11Th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Salvador, Brasil.

Leão, Z. M. A. N., 1995. Present status of the coral reefs of Bahia and the major environmental impacts. In: Scientific Meeting, Loicz (Land/ Ocean Interaction in the Coastal Zone), pp. 40–42.

Leão, Z. M. A. N. 2002. Abrolhos, BA - O complexo recifal mais extenso

do Atlântico Sul. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D. A.; Queiroz, E. T.; Winge, M.; Berbert-Born, M. L. C. (Edits.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. 1. ed. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), v.01: 345-359.

Leão, Z. M. A. N.; Dutra, L. X. C.; Spanó, S. 2005. The characteristics of bottom sediments. In: Dutra, G. F.; G.R. Allen, T. Werner, and S. A. McKenna (Eds.). 2005. *A Rapid Marine Biodiversity Assessment of the Abrolhos Bank, Bahia, Brazil*. RAP Bulletin of Biological Assessment 38. Conservation International, Washington, DC, USA.

Leão, Z.M.A.N.; & Ginsburg, R.N., 1997. Living reefs surrounded by siliciclastic sediments: The Abrolhos coastal reefs, Bahia, Brazil. *Proceedings of the 8th International*.

Leão, Z. M. A. N.; Kikuchi, R. K. P. & Testa, V. 2003. Corals and coral reefs of Brazil. *Coral Reefs*. Elsevier Science, Amsterdam, pp 9-52.

Lessa, G. C; Cirano, M. 2004. On the circulation of a coastal channel within the Abrolhos Coral Reef system – Southern Bahia, Brazil. *Journal Coast Research*. 39 – 450:453.

Mathews, E.J; Heap, A.D; Woods, M. 2007. Inter-reefal seabed sediments and geomorphology of the Great Barrier Reef, a spatial analysis. *Geoscience Australia, Record 2007/09*, 140pp.

McNeill, D. F; Janson, X; Bergman, K. L; Eberli. 2010. Belize: A Modern Example of a Mixed Carbonate-Siliciclastic Shelf. In: Westphal, H; Riegl, B; Eberli, G. P. *Carbonate Depositional Systems: Assessing Dimensions and Controlling Parameters*. Springer, p 81-143.

Melo U, Summerhayes C. P. & Ellis J. P. 1975. Salvador to Vitoria, South eastern Brazil. *Contr. Sedimentology*, 4. Parte IV. p. 78-116.

Miller, B, C. 1984. *Physical Stratigraphy and Facies Analysis, Lower Cretaceous, Maverick Basin and Devils River Trend, Uvalde and Real Counties, Texas: Abstract*. American Association of Petroleum Geologists, 68: 508.

Moura, R. L. M; Secchin, N. A; Amado-Filho, G. M; Francini-Filho, R. B; Freitas, M. M; Minte-Vera, C. V; Teixeira, J. B; Thompson, F. L; Dutra, G. F; Sumida, P. Y. G; Guth, A. Z; Lopes, R. M; Bastos, A. C. 2013. Spatial patterns of benthic megahabitats and conservation planning in the Abrolhos Bank. *Continental Shelf Research*, 70: 109 -117.

Newell, N.D; Rigby, J. K. 1957. Geological studies in the Great Bahama Bank. In: Le Blanc, R. J; Breeding, J. G. (eds) *Regional aspects of carbonate sedimentation*. SEPM Spec Publ 5:15–79

Nichols, G. 2009. *Sedimentology and stratigraphy: Wiley-Blackwell*, 2ed. 419 p.

Purdy, E. G. 1961. Bahamian oolite shoals. In: Peterson, J. A; Osmond, J. C. (eds) *Geochemistry of sandstone bodies*. AAPG Spec Vol: 53–63

Purdy, E. G. 1963. Recent calcium carbonate facies of the Great Bahama-Bank, I and II. *J Geol* 71:334–355

Purdy, G. E; Gischler, E. 2003. The Belize margin revisited: 1. Holocene marine facies. *International Journal of Earth Sciences*, 92: 532 – 551.

Rankey, E. C; Guidry, S. A; Reeder, S. L; Guarin, H. 2009. Geomorphic and Sedimentologic Heterogeneity along a Holocene Shelf Margin: Caicos Platform. *Journal of Sedimentary Research*, 79: 440 – 456.

Rankey, E.C., and Reeder, S.L., 2010, Controls on platform-scale patterns of surface sediments, shallow Holocene platforms, Bahamas: *Sedimentology*, v. 57, p. 1545-1565.

Reis, M. A. C. & Leão, Z. M. A. N. 2000. Bioerosion rate of the sponge *Cliona celata* (Grant 1826) from reefs in turbid waters, north Bahia, Brazil. In: *International Coral Reef Symposium*, 9. Bali, Indonesia. Proceedings. Indonesia, Indonesian Institute of Sciences, 2:273–278.

Reijmer, J. J. G; Swart, P. K; Bauch, T; Otto, R; Reuning, L; Roth, Sven; Zechel, S. 2009. A Reevaluation of Facies on Great Bahama Bank I: New Facies Maps of Western Great Bahama Bank. In: Swart, P. K; Eberli, G. P; McKenzie, J. A; Jarvis, I. *Perspectives in Carbonate Geology: A Tribute to the Career of Robert Nathan Ginsburg*. International Association of Sedimentologists.

Secchin, N. A. 2011. Mapeamento de habitats marinhos na plataforma de Abrolhos. Dissertação apresentada ao curso de Oceanografia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Brasil.

Schlager, W. 2005. *Carbonate Sedimentology and Sequence Stratigraphy*. Vrije Universiteit, Faculty of Earth and Life Sciences. Amsterdam, Netherlands.

Tucker, M.E. & V.P. Wright, 1990, *Carbonate Sedimentology*: Oxford: Blackwell Scientific Publications, 482 p.

Vaziri-Moghaddam, H; Kimiagari, M; Taheri, A. 2006. Depositional environment and sequence stratigraphy of the Oligo-Miocene Asmari Formation in SW Iran. *Facies*, 52: 41 – 51.

Wentworth, C. K. 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology*. 30 – 377:392.

Westphal, H; Eberli, G; Riegl, B. 2010. Parameters Controlling Modern Carbonate Depositional Environments: Approach. In: Westphal, H; Eberli, G; Riegl, B (eds). *Carbonate Depositional Systems: Assessing Dimensions and Controlling Parameters*. Springer.

Wilson, J. L. 1975. *Carbonate Facies in Geologic Time*: New York, Springer Verlag, 471p.

Wright, V. P. & Burchette, T. P. 1996, Shallow-water carbonate environments, in H. G. Reading, ed., *Sedimentary Environments: Processes, Facies, Stratigraphy*, Oxford, Blackwell Science, p. 325-394.

ANEXO I

Classificação de rochas carbonáticas segundo Dunham (1962)

Dunham (1962) propôs uma classificação de rochas carbonáticas que é baseada na textura deposicional (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Ele notou que existem diversas características texturais que são especialmente úteis na classificação de rochas carbonáticas:

1. Presença ou ausência de lama carbonática, a qual diferencia carbonatos lamosos de grainstones, que não apresentam lama.
2. Abundância dos grãos, a qual permite carbonatos lamosos sejam divididos em mudstone (<10% de grãos), wackstone (mais de 10% de grãos) e packstone.
3. Evidência de que os sedimentos estavam ligados durante a deposição, o qual caracteriza o boundstone.

Tabela 2: Classificação de rochas carbonáticas segundo Dunham (1962).

Textura deposicional reconhecível				Textura deposicional não reconhecível	
Componentes originais não ligados a deposição			Componentes originais ligados a deposição		Carbonato cristalino
Contém lama (matriz)		Sem lama (suportado por grãos)		Boundstone	
Suportado por matriz		Suportado por grãos			
<10% de grãos	>10% de grãos	Packstone	Grainstone		
Mudstone	Wackstone				

Mudstone: Rocha lama carbonática contém menos de 10% de grãos. Geralmente indica áreas de menor energia e inibição de organismos produtores de grãos (ambientes deposicionais de baixa energia).

Wackstone: rocha carbonática suportada por lama contendo mais de 10% de grãos. Geralmente indica águas calmas e restrição de organismos produtores de grãos (ambientes deposicionais de baixa energia). A distinção entre grão suportado e lama suportado diferencia packstone de wackstone. O packstone está repleto de uma mistura de grãos e wackstone não.

Packstone: arcabouço suportado por grãos. O autor sugere diversos cenários para origem do packstone: (1) eles podem ser um produto de wackstones compactados, (2) eles podem ser os resultados da infiltração de lama em depósitos anteriores de sedimentos lamosos livres, (3) eles podem ser o resultado da produção prolífica de grãos em águas calmas, ou (4) eles podem “gravar” a mistura por burrowers de diferentes camadas de sedimentos.

Grainstone: rochas carbonáticas sem lama, suportadas por grãos. Grainstones geralmente são depositados em ambientes de energia moderada a elevada, mas sua significância hidráulica pode variar. O autor sugere diversas formas para sua origem: (1) eles podem ser produzidos em alta energia, em ambientes de produção de grãos onde lama não pode ser acumulada, (2) eles podem ser depositados por correntes que retiram os grãos e transportam (bypass) lama para outras áreas, ou (3) eles podem ser produtos de ressuspensão de anteriores depósitos de lama.

Boundstone: rochas carbonáticas que foram limitadas/aprisionadas durante processo de deposição. Boundstones geralmente são depositados em ambientes de alta energia, onde as correntes podem prover nutrientes para os organismos que formam o boundstone.

Crystalline carbonates: Rochas que faltam evidência suficiente da textura deposicional para ser classificada