

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE ESTRATIGRAFIA**

**SEDIMENTAÇÃO CARBONÁTICA DE ALGAS
VERMELHAS CORALINÁCEAS DA PLATAFORMA
CONTINENTAL DA BACIA DE CAMPOS: UM MODELO
CARBONÁTICO ANÁLOGO PARA O TERCIÁRIO**

Ivan Daniel Della Giustina

ORIENTADOR:

Dr. Luiz Jose Tomazelli

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dr. Almério Barros França

Dr. Luiz Antonio Pierantoni Gamboa

Dra. Valesca Brasil Lemos

**Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção
do Título de Mestre em Geociências.**

2006

A Natureza é lenta, porém segura; ela não trabalha mais depressa do que é necessário; ela é a tartaruga que ganha a corrida pela perseverança.

Por isso não temei...

- Há muitos anos ainda por vir!

Thoreau

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
1 - INTRODUÇÃO.....	2
1.1 - JUSTIFICATIVA DO TEMA DE ESTUDO E SEUS OBJETIVOS.....	2
1.2 - ANTECEDENTES SOBRE A ÁREA E O TEMA DE ESTUDO.....	6
1.2.1 - A BACIA DE CAMPOS.....	6
1.2.1.1 – ESTRATIGRAFIA.....	7
1.2.1.2 - EVOLUÇÃO TECTONO-EDIMENTAR.....	10
1.2.1.2.1 - MEGASEQÜÊNCIA CONTINENTAL.....	11
1.2.1.2.2 - MEGASEQÜÊNCIA TRANSICIONAL.....	12
1.2.1.2.3 - MEGASEQÜÊNCIA MARINHA.....	13
1.2.1.2.3.1 - SEQÜÊNCIA CARBONÁTICA NERÍTICA RASA.....	14
1.2.1.2.3.2 - SEQÜÊNCIA OCEÂNICA HEMIPELÁGICA.....	14
1.2.1.2.3.3 - SEQÜÊNCIA OCEÂNICA PROGRADANTE.....	16
1.2.2 - A HIDRODINÂMICA DA ÁREA DE ESTUDO.....	17
1.2.3 - CLASSIFICAÇÃO DE ROCHAS CARBONÁTICAS.....	22
1.2.4 - ALGAS VERMELHAS CORALINÁCEAS.....	27
1.2.4.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS.....	27
1.2.4.2 - DEPÓSITOS MODERNOS DE ALGAS VERMELHAS CORALINÁCEAS.....	29
1.2.4.3 - SEDIMENTAÇÃO MODERNA DE ALGAS VERMELHAS NA BACIA DE CAMPOS.....	31
2 - DADOS E METODOS.....	34
2.1 - SÍSMICA 3D.....	35
2.2 - MAPA BATIMÉTRICO.....	37
2.3 - MAPA SOMBREADO.....	38
2.4 - MAPAS EM PERSPECTIVA.....	40
2.5 - MAPA DE AMPLITUDE.....	41

2.6 - MAPA DE AMPLITUDE RMS.....	43
2.7 - MAPA DE DECLIVIDADE.....	43
2.8 - DADOS DE COERÊNCIA.....	43
2.9 - DESCRIÇÕES DE TESTEMUNHOS (KULLENBERGS) E AMOSTRAS DE FUNDO.....	44
2.10 - AMOSTRAS DE FUNDO.....	47
2.11 - BANCO DE DADOS DA GEOLOGIA MARINHA DA PETROBRÁS.....	49
2.12 - IMAGENS DE DUTOS.....	51
3 - FISIOGRAFIA DA ÁREA DE ESTUDO.....	54
3.1 - BANCOS CARBONÁTICOS.....	56
3.2 - LINEAMENTOS CARBONÁTICOS.....	56
3.2.1 - LINEAMENTOS CARBONÁTICOS DE COTA BATIMÉTRICA ENTRE 170 A 230 METROS.....	57
3.2.2 - LINEAMENTOS CARBONÁTICOS DA COTA BATIMÉTRICA DE 110 METROS.....	58
3.2.3 - LINEAMENTOS CARBONÁTICOS DA COTA BATIMÉTRICA DE 100 METROS.....	59
3.2.4 - LINEAMENTOS CARBONÁTICOS DE COTA BATIMÉTRICA ENTRE 70 A 85 METROS.....	59
3.3 - PATAMARES CARBONÁTICOS.....	60
3.4 - LINEAMENTOS DE BARRAS CARBONÁTICAS.....	61
4 - AMBIENTE DEPOSICIONAL RECENTE DAS ALGAS VERMELHAS CORALINÁCEAS NA BACIA DE CAMPOS	63
5 - FÁCIES SEDIMENTARES.....	69
5.1 - FÁCIES AREIAS SILICICLÁSTICAS COM BIOCLASTOS (FSB).....	70
5.2 - FÁCIES GRAINSTONES COM RODOLITOS (FGR).....	71
5.3 - FÁCIES BOUNDSTONE RIDGES (FBR).....	76
5.4 - FÁCIES BOUNDSTONE MOUNDS (FBM).....	82
5.5 - FÁCIES BOUNDSTONE BANKS E GRAINSTONES (FBBG).....	83
5.6 - FÁCIES MISTA (FM).....	85
6 - EVOLUÇÃO GEOLÓGICA.....	88
6.1- DEPOSIÇÃO DOS LINEAMENTOS CARBONÁTICOS DE 170 A 230 METROS.....	89
6.2 - INSTALAÇÃO DA LINHA DE COSTA DE 110 METROS.....	91

6.3 -INSTALAÇÃO DA LINHA DE COSTA DE 100 METROS.....	92
6.4 - INSTALAÇÃO DA LINHA DE COSTA DE 85 a 70 METROS.....	93
6.5 -FINAL DA INSTALAÇÃO DA LINHA DE COSTA DE 70 METROS ATÉ O NÍVEL DE MAR ATUAL.....	94
7 - MODELO DEPOSICIONAL DAS ALGAS CORALINÁCEAS VERMELHAS DO RECENTE COMO UM ANÁLOGO PARA OS CARBONATOS DO TERCIÁRIO.....	99
8 - CONCLUSÕES.....	107
REFERÊNCIAS.....	113

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Gerente Eberaldo de Almeida Neto pela liberação de minhas atividades para a execução desta dissertação.

Aos Gerentes Ricardo Pinheiro Machado pelo estímulo na escolha do assunto desenvolvido, além do auxílio na minha liberação e Joaquim Teixeira Filho pelo apoio.

Ao Professor Dr. Luiz José Tomazelli pela orientação e a camaradagem na condução da dissertação.

A Gerson Terra pela ajuda na interpretação de lâminas, discussões sobre o tema e auxílio na revisão, além de seu apoio como representante da Universidade Petrobrás.

A Adali Ricardo Spadini e Renato Oscar Kowsmann pelo apoio, discussões e sugestões.

Ao colega Flavio Giotto Gonzaga pelas sugestões e comentários.

Ao grupo de professores desta instituição: Clayton Scherer, Michael Holz, Luiz Fernando De Ros, Valesca Lemos, Farid Chemale Jr., Marcus Remus e Ana Mizusaki pelos ensinamentos e agradável convivência.

Aos colegas e amigos durante este período de convivência aqui na Ufrgs, em especial, Alexandre Castro, Antonio Celso Guirro, João Freitas e Marco Antonio Carlotto.

Ao Engenheiro Aldo Franzoi pelo apoio prestado em relação ao acesso aos dados sobre dutos.

Ao Francisco e Maurício pelo auxílio na área de informática e Paulo, Carlos e Lisandro pelo apoio logístico.

RESUMO

O presente trabalho faz uma análise da plataforma continental média e externa da porção central da Bacia de Campos, entre as batimetrias de 65 e 300 metros. Nesta porção da plataforma são encontrados depósitos sedimentares formados por carbonatos e, secundariamente, por siliciclásticos com influência carbonática.

Os carbonatos do Membro Grussaí da Formação Emborê se configuram como os mais importantes sedimentos presentes na área de estudo, sendo compostos majoritariamente por algas vermelhas coralináceas (*lithothamnium*). Os depósitos algálicos ocorrem sob duas formas: a) formas livres formando concreções nodulares centimétricas (rodolitos) e *grainstones*. b) Incrustações, formando substratos crustosos e lineamentos.

Para a análise destes depósitos foram utilizados dados sísmicos tridimensionais relativos à seção terciária da Bacia de Campos e principalmente do fundo marinho. A associação destes dados com amostras de fundo e filmagens do fundo marinho ao longo do traçado de dutos de escoamento de hidrocarbonetos, permitiu a definição de um modelo de distribuição faciológica para os carbonatos formados por algas vermelhas coralináceas e feições fisiográficas associadas a eles.

A morfologia do fundo do mar foi dividida em províncias fisiográficas diretamente relacionadas com o padrão deposicional das algas vermelhas e, secundariamente, por sedimentos siliciclásticos. Os padrões morfológicos refletem a presença de bancos carbonáticos de morfologia rugosa, lineamentos carbonáticos em forma de cristas com direção paralela à linha de costa atual, lineamentos em forma de barras obliquas à linha de costa atual, e platôs ou patamares, caracterizados por relevo suave.

Os sedimentos de fundo foram agrupados em seis fácies sedimentares, as quais estão relacionadas com a morfologia do fundo marinho: **(a) Fácies Areias Siliciclásticas com Bioclastos** - depositada nos patamares e formada por sedimentos mistos. **(b) Fácies Grainstones com Rodolitos** – desenvolve-se nos patamares e é composta, basicamente, por *grainstones* dominados por algas vermelhas, rodolitos e, secundariamente, por areias siliciclásticas. **(c) Fácies Boundstone Ridges** – relaciona-se com a formação dos lineamentos carbonáticos paralelos à linha de costa; apresentam *grainstones* e rodolitos na base dos lineamentos e um predomínio de *boundstones* nas partes altas; marcam a passagem entre patamares. **(d) Fácies Boundstone Mounds** - relaciona-se fisiograficamente aos lineamentos de barras carbonáticas com orientação oblíqua à linha de costa, e se localizam no interior dos patamares. **(e) Fácies Boundstone Banks e Grainstones** - corresponde a bancos carbonáticos de relevo irregular e que resultam da bioconstrução algálica sob forma de *boundstones*, com deposição de *grainstones* nos interbancos. **(f) Fácies Mista** - posicionada no talude superior,

é resultado da mescla entre os sedimentos siliciclásticos de granulometria silte até areia muito fina com lamias e areias carbonáticas.

A distribuição faciológica das algas vermelhas coralináceas presentes na área de estudo se desenvolve em batimetrias muito superiores ao que normalmente é esperado para os carbonatos. Sua atividade se desenvolve desde a batimetria de 45 m até 150 m, sendo que o intervalo mais produtivo ocorre entre 55 e 90 m. Esses valores decorrem da análise de incrustações presentes em dutos situados na plataforma e talude continental. Outra indicação da existência de deposição em batimetrias mais elevadas é a presença de relictos de *boundstones* entre as atuais batimetrias de 170 a 230 m. Estes relictos indicam que, durante o rebaixamento do nível do mar de 120 m que ocorreu no final do Pleistoceno, a fábrica carbonática responsável por estes depósitos permaneceu ativa em batimetrias próximas a 50 e 110 m.

Por estarem se desenvolvendo em batimetrias elevadas, os depósitos sedimentares estão submetidos aos efeitos hidrodinâmicos de correntes marinhas, principalmente a Corrente do Brasil. Devido a isto, a distribuição faciológica dos carbonatos algálicos apresenta diferença quando comparada com o ambiente convencional de deposição carbonática.

Os substratos dos principais lineamentos carbonáticos, posicionados nas atuais cotas batimétricas de 110 m, 100 m, 85 m e 70 m, são interpretados como decorrentes das estabilizações episódicas de linha de praia que ocorreram durante o último processo transgressivo. A erosão desenvolvida pelas ondas nestas paleolinhas de praia esculpiu pequenas escarpas que serviram de substrato para a instalação posterior da *Fácies Boundstone Ridges* a partir de batimetrias entre 45 a 50 m.

O substrato gerado nos patamares não desenvolveu rigidez suficiente para a instalação de formas incrustantes, exceto onde a remobilização do fundo marinho, durante o último evento transgressivo, desenvolveu formas de leitos tipo dunas transversas que serviram de substrato para a deposição da *Fácies Boundstone Mounds*, as quais atualmente estão estabilizadas pelas incrustações de *boundstones*.

O modelo de deposição de algas coralináceas de “águas profundas” proposto neste trabalho pode ser o mais apropriado como análogo para a sedimentação dominada por algas vermelhas do Terciário das bacias meridionais Brasileiras, quando não houver uma clara associação com outros constituintes carbonáticos exclusivos de águas rasas. Uma evidência que sinaliza a viabilidade deste modelo decorre da interpretação e análise de atributos sísmicos da seção Terciária da Bacia de Campos, onde as feições carbonáticas, semelhantes às encontradas no recente, tendem a se repetir com freqüência.

ABSTRACT

The present work makes a sedimentary and morphologic analysis of the middle and outer continental shelf on the central portion of the Campos Basin, southeastern Brazil, between the depths of 65 m and 300 m. In this portion of the shelf, the sedimentary deposits are formed mainly by carbonates and secondarily by siliciclastics with carbonate influence.

The carbonates of the Grussaí Member (Emborê Formation) are the most important sediments in the study area. They are composed mainly by coralline red algae (*lithothamnium*) occurring as: (a) free forms, forming centimetric concretions nodules (rhodolith) and grainstones, and (b) incrustations, forming substrata crusts and lineaments.

Three-dimensional seismic data from the Tertiary section and, mainly, from the sea bottom of the Campos Basin were used in this study. The association of these data with bottom samples and filming along the hydrocarbonates pipelines allowed the definition of a faciologic distribution model for the coralline red algae carbonates and physiographic features associated to them.

The sea bottom morphology was divided in physiographic provinces directly related with the red algae depositional pattern and, secondarily, with siliciclastic sediments. The morphologic patterns reflect the presence of crust carbonatic banks morphology, carbonatic lineaments in crests form and parallel direction to the line coast, lineaments in form of oblique bars to the line coast, and plateaus or landings, characterized by soft relief.

The bottom sediments were classified in six sedimentary facies, which are related with the morphology of the sea bottom: (a) Siliciclastis Sands Facies with Bioclastics - deposited in the landings and formed by mixed sediments. (b) Grainstones Facies with Rhodoliths - it grows in the landings and are composed, basically, by red algae grainstones, rhodoliths and, secondarily, for siliciclastic sands. (c) Boundstone Ridges Facies - it links with the formation of the carbonates physiography parallel to the coast line; in the lineaments base presents grainstones and rhodoliths and in the high parts, boundstones; they mark the passage among landings. (d) Boundstone Mounds Facies - it links physiography to the carbonate lineament bars with oblique orientation to the coast line, and it is located inside the landings. (e) Boundstone Banks Facies and Grainstones - it corresponds to the carbonate banks with irregular relief and results of the algae bioconstruction under boundstone form, with grainstones deposition in the interbanks. (f) Mixed Facies - positioned in the superior slope, it is a result of the mixture among the silt size siliciclastic sediments to very fine sand with carbonatic muds and sands.

The faciologic distribution of the red algae, in the study area, occurs in higher bathymetries than that usually expected for this kind of carbonate. The red algae activity develops from 45 m up to 150 m, and the most productive interval occurs between 55 and 90 m. These values are revealed by the analysis of present incrustations along the pipelines located in the continental shelf and upper slope. Another indication of higher bathymetries deposition is the presence of boundstones relicts among the current depths from 170 to 230 m. These relicts indicate that, during the lower sea level (-120 m) that happened in the end of the

pleistocene, the carbonate factory responsible for these deposits was active in bathymetries close to 50 and 110 m.

For they be growing in high bathymetries, the sedimentary deposits are submitted to the hydrodynamic effects of sea currents, mainly the Brazilian Current. Due to this, the facilogic distribution of the algae carbonates is different from that showed in conventional carbonate deposition environments models.

The substrata of the main carbonate lineaments, positioned in the present bathymetries of 110 m, 100 m, 85 m and 70 m, are interpreted as stabilizations of beach line that happened during the last transgressive process. The erosion developed by the waves in these paleo-shorelines sculpted small scarps that served as substratum for the subsequent installation of Boundstone Ridges Facies starting from bathymetries around 45 to 50 m.

The substratum generated in the landings didn't develop enough rigidity for the encrusting forms installation except where the remobilization of the sea bottom, during the last transgression event, developed transverse dunes bed forms that served as deposition of Boundstone Mounds Facies substratum, the ones which now are stabilized by the encrusting boundstones.

The "deep waters" coralline algae deposition model, proposed in this work, could be the most appropriate as similar for the Brazilian southern basins dominated by Tertiary red algae, when there is not an association with other carbonates constituent exclusive of shallow waters. Evidence that supports this model comes from the interpretation and analysis of seismic attributes of the Tertiary section of the Campos Basin, where carbonate features similar to those found in the study area, appears occur frequently.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo, situada na plataforma continental e talude superior da parte central da Bacia de Campos, em batimetria de 70 a 300m.....5
- Figura 2.** Carta Estratigráfica da Bacia de Campos (Rangel et al.,1984).....9
- Figura 3.** Posicionamento da Corrente do Brasil e sua origem a partir da bifurcação da Corrente Sul Equatorial, formando o limite oeste do Giro Subtropical Sul do Atlântico Sul (Peterson & Stramma, 1991).....19
- Figura 4.** Imagem AVHRR de 20 de julho de 1993 mostrando a penetração das águas frias da Corrente das Malvinas contra a Corrente do Brasil na região sul e sudeste, causando vórtices e meandros quentes e frios (Kampel, 1993).....21
- Figura 5.** Classificação de rochas carbonáticas, conforme Dunhan (1962).....24
- Figura 6.** Classificação de rochas carbonáticas, de acordo com Embry & Klovan (1971).....25
- Figura 7.** Foto salientando o aspecto crustoso das algas vermelhas coralináceas (*Lithothamnium*), e a coloração avermelhada característica (fonte www.seafriends.org.nz/enviro/plankton/balance.htm).....28
- Figura 8.** Foto de detalhe de rodolito proveniente da área de estudo, onde é salientado seu aspecto nodular e grande diâmetro. A sua estrutura é formada predominantemente por concreções de algas vermelhas coralináceas.....29
- Figura 9.** Variação de latitude de tropical para temperado e a influencia sobre as fácies de carbonatos no norte do Atlântico. Os corais diminuem sua presença com o resfriamento das águas nas maiores latitudes e a ocorrência das algas vermelhas coralináceas permanece constante (modificado de Schlager,1992).....30
- Figura 10.** Navio Oceanográfico Almirante Câmara (H41), da Marinha Brasileira. Participou de diversas comissões de pesquisa oceanográfica ao longo Costa Brasileira, tendo sido desativado em 2003.....35
- Figura 11.** Mapa de localização e do traçado do levantamento sísmico 3D disponível na área de estudo.....36
- Figura 12.** Mapa de curvas batimétricas da área de estudo, onde é possível identificar as principais feições fisiográficas (alinhamentos).....38
- Figura 13.** Mapa sombreado derivado da batimetria da área de estudo. Neste mapa é possível ressaltar com grande nitidez as feições fisiográficas do fundo marinho.....39
- Figura 14.** Mapa batimétrico em perspectiva da área de estudo. As feições fisiográficas são destacadas usando-se ângulo de visadas diferentes e variações na iluminação.....40
- Figura 15.** Mapa de amplitude do fundo do mar da área de estudo. Apesar da qualidade ser afetada devido às reflexões rasas relativas a este horizonte, é um bom indicativo das variações faciológicas nos sedimentos carbonáticos do recente.....42
- Figura 16.** Mapa batimétrico sombreado mostrando os lineamentos carbonáticos recentes e o posicionamento das amostras de fundo e *Kullenbergs* obtidos na

- campanha geotécnica para definir o traçado do duto Garoupa-Barra do Furado.....46
- Figura 17.** Mapa batimétrico sombreado ressaltando as feições fisiográficas dos carbonatos recentes com o posicionamento das amostras de fundo oriundas das campanhas oceanográficas dos projetos REMAC e GEOMAR.....48
- Figura 18.** Mapa batimétrico sombreado ressaltando as feições fisiográficas dos carbonatos recentes e o posicionamento das amostras com descrições existentes no banco de dados da Geologia Marinha da Petrobrás.....50
- Figura 19.** Exemplo de um ROV (Remotely Operated Vehicle), utilizado para diversos fins operacionais, dentre eles a inspeção externa de dutos.....51
- Figura 20.** Mapa batimétrico sombreado ressaltando as feições fisiográficas dos carbonatos e o traçado dos principais dutos presentes na área de estudo. Em amarelo a localização dos 3 segmentos de dutos com imagens submarinas disponíveis para análise faciológica do fundo.....52
- Figura 21.** Perspectiva do fundo marinho com feições fisiográficas dos carbonatos da plataforma média e externa da área de estudo: 1) Bancos carbonáticos (**BC**). 2) Lineamentos carbonáticos com direção próxima ou paralela à linha de costa atual (**LC**). 3) Lineamentos em forma de barras, de direção oblíqua em relação à linha de costa atual (**LB**). 4) Platôs, caracterizados pelo relevo mais suave (**PC**).....55
- Figura 22.** Perspectiva em detalhe do fundo marinho da borda externa da plataforma, entre as batimetrias de 115 a 160m, mostrando a presença de bancos carbonáticos de algas vermelhas (**BC**). Os bancos carbonáticos se caracterizam por serem compostos por incrustações carbonáticas que formam relevos positivos e irregulares que variam de 1 a 6 m.....56
- Figura 23.** Perspectiva em detalhe do fundo marinho mostrando a faixa que representa o conjunto de lineamentos carbonáticos de algas vermelhas entre as batimetrias de 170 a 230m. Os bancos carbonáticos se caracterizam por incrustações carbonáticas que formam relevos positivos e irregulares que variam em média de 1 a 2 m. (**LC**= Lineamentos Carbonáticos).....57
- Figura 24.** Perspectiva em detalhe do fundo marinho, com destaque ao relevo pronunciado (5 a 10m) dos lineamentos carbonáticos localizados nas cotas batimétricas de 110m (**LC-110m**), e 100m (**LC-100m**), que delimitam os patamares carbonáticos (**PC**). Lineamentos carbonáticos em forma de barras (**LB**), desenvolvidos no interior dos patamares com relevo máximo de 4m, e bancos carbonáticos (**BC**) com relevos de 1 a 6 m.....58
- Figura 25.** Perspectiva em detalhe do fundo marinho, onde estão destacados os lineamentos carbonáticos localizados na cota batimétrica de 85m (**LC-85m**), com relevo máximo de 5m, e 70m (**LC-70m**), com relevo máximo até 8m. Estes lineamentos são menos desenvolvidos que aqueles situados em laminais de água maiores. A zona em destaque mostra também uma seqüência de vários lineamentos paralelos e pouco expressivos, com relevo máximo de 1m, localizados preferencialmente entre os lineamentos de 85 e 70m. Também é observado o lineamento carbonático da cota batimétrica de 100m (**LC-100m**), que marca a passagem entre os patamares carbonáticos (**PC**).....60
- Figura 26.** (A) Imagens submarinas de dutos mostrando a variação das incrustações de algas vermelhas vivas *versus* profundidade de laminais de água. Na

- profundidade de 57m ocorre a presença de *grainstones* e rodolitos, na de 73m há predomínio de *grainstones* e na de 122m, rodolitos e *grainstones*. (B) curva de produtividade x profundidade da fábrica carbonática nos sedimentos superficiais da Bacia de Campos. Grande produtividade da fábrica carbonática ocorre entre as cotas batimétricas de 50 a 110m, sendo mais prolífera entre 60 a 90 m. Nas isóbatas menores que 45m a ocorrência de algas coralináceas diminui drasticamente, e o limite mais profundo de atividade da fábrica carbonática ocorre entre 145 a 150m, marcando a passagem para a zona afótica.....67
- Figura 27.** Mapa com a distribuição de fácies da área de estudo e as principais cotas batimétricas associadas a elas.....73
- Figura 28.** Seção sísmica em tempo mostrando a distribuição atual de fácies carbonáticas do fundo marinho da plataforma média e externa e parte do talude superior e algumas feições fisiográficas associadas a elas.....74
- Figura 29.** Lamina delgada de rodolito mostrando sucessivas laminações de algas vermelhas (Av) e briozoários (Br).....75
- Figura 30.** Detalhes de testemunhos superficiais (**A1/A2** e **B**) do lineamento carbonático desenvolvido na cota batimétrica de 110 m, mostrando o perfil deposicional da *Fácies Boundstone Ridges*. (**A1**) Rodolitos com grande diâmetro (7 a 10 cm) imersos em *grainstones*. (**A2**) O arcabouço da base é dominado por rodolitos com gradativo predomínio para o topo de *grainstones*. (**B**) Incrustações laminares intercaladas com *grainstones* (reinterpretado de Correa, 2001).....79
- Figura 31.** Detalhe sísmico do lineamento de 100 m (*Fácies Boundstone Ridges*), mostrando seu crescimento sobre escarpa que limita patamares (*Fácies Grainstones com Rodolitos*), e a seção esquemática com a interpretação do desenvolvimento de bioconstrução sobre a escarpa.....80
- Figura 32.** Detalhe mostrando imagens submarinas da variação da *Fácies Boundstone Ridges* em relação ao seu posicionamento fisiográfico: A) 98 m e 99 m, *grainstones* e rodolitos. B) 98 m, adensamento de rodolitos e início de formação de crosta carbonática. C) 94 m, crosta carbonática posicionada nas partes elevadas dos lineamentos carbonáticos. D) 103 m, *grainstones* e rodolitos. E) 107 m, posicionado no patamar inferior com domínio de *grainstones*.....81
- Figura 33.** Foto submarina (profundidade de 198 m), referente aos lineamentos carbonáticos entre 170 a 230 m. Nesta profundidade não ocorre mais atividade bioconstrutiva das algas vermelhas. As bioconstruções anteriormente formadas estão sofrendo forte processo erosivo, onde a fração fina resultante é exportada para o talude superior pela Corrente do Brasil (diâmetro duto = 30 cm).....86
- Figura 34.** Seção esquemática da área de estudo há 18.000 anos. Nível do mar 120m abaixo do atual. Formação de limite de seqüência e presença dos lineamentos de 170 a 230 m, dentro da zona de produtividade das algas vermelhas.....90
- Figura 35.** Seção esquemática da área de estudo entre 18.000 e 16.800 anos AP. Deslocamento e estabilização da linha da praia na cota de 110 m e sua escarpa. Início da deposição carbonática mais profunda do banco carbonático (*Fácies Boundstone Banks*).....92
- Figura 36.** Seção esquemática da área de estudo entre 16.800 e 16.200 anos AP. Deslocamento e estabilização da linha da praia na cota de 100 m e sua

- escarpa. Continuidade deposicional do banco carbonático (*boundstone banks*).....93
- Figura 37.** Seção esquemática da área de estudo entre 16.200 e 12.500 anos AP. Deslocamento e estabilização das linhas de costa nas batimetrias de 85 m e 70 m e suas escarpas. Continuidade deposicional do banco carbonático e processo final de afogamento dos lineamentos carbonáticos de 170 a 230 m.....94
- Figura 38.** Seção esquemática da área de estudo entre 12.500 anos e o presente. Início das bioconstruções sobre os lineamentos carbonáticos de 110, 100, 85 e 70 m. Início da deposição carbonática nos patamares e formação de *boundstones* nas dunas transversas dos patamares. Afogamento dos lineamentos de 170 a 230 m.....95
- Figura 39.** Sísmica de alta resolução mostrando os lineamentos de 170/230 m e a porção inferior do banco carbonático que, a partir de seu afogamento, vem sofrendo os efeitos erosivos da Corrente do Brasil, a qual também atua erodindo os estratos superficiais do talude superior.....97
- Figura 40.** Seção sísmica em tempo mostrando a grande presença de fortes reflexões sísmicas na seção Terciária, indicativas de variações faciológicas em carbonatos dominados por algas vermelhas coralináceas.....102
- Figura 41.** Mapa em perspectiva da batimetria atual com sobreposição da amplitude sísmica do fundo do mar. Mesmo com a qualidade do sinal sísmico comprometida, por serem reflexões muito rasas, existe uma separação entre feições fisiográficas derivadas de *boundstones*, que apresentam maiores amplitudes (vermelho) de áreas mais planas e com menores amplitudes (verde) onde predominam *grainstones*.....103
- Figura 42.** Mapa de Coerência, gerado de uma janela sísmica com reflexões correspondentes à seqüência carbonática anterior, onde se observam bioconstruções em linhas de praia (*boundstones*), semelhantes às formadas no recente.....104
- Figura 43.** Mapa de Amplitude RMS, gerado a partir da mesma janela da figura 42, onde as maiores amplitudes estão relacionadas com as bioconstruções em linhas de praia (*boundstones*), semelhante ao sinal sísmico observado em feições formadas no recente.....105

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – JUSTIFICATIVA DO TEMA DE ESTUDO E SEUS OBJETIVOS

Em consequência do avanço na exploração e produção de hidrocarbonetos ocorrido nas últimas décadas, foram realizados levantamentos sísmicos tridimensionais (3D) em diversas áreas da plataforma continental da Bacia de Campos visando substituir os antigos levantamentos 2D e, principalmente, para acompanhar o desenvolvimento dos novos campos que estavam sendo descobertos.

O contínuo sucesso exploratório e explotatório na bacia, que fomentou a etapa de execução de levantamentos sísmicos 3Ds distintos, também apontou para a necessidade de uma nova etapa no avanço da exploração. Para isso foi realizado um novo levantamento 3D de grandes dimensões com a finalidade de unificar os dados sísmicos dos campos localizados na plataforma continental, em substituição aos primeiros levantamentos tridimensionais mais antigos.

A qualidade destes novos dados sísmicos 3D permitiu uma melhor interpretação morfológica e sedimentológica do fundo marinho na área escolhida para este estudo, a qual situa-se entre as linhas batimétricas de 65 e 300 m e abrange uma porção da plataforma continental e talude superior da parte central da Bacia de Campos (Fig. 1).

Nos levantamentos sísmicos anteriores, as reflexões do fundo marinho não eram visualizadas de maneira satisfatória, principalmente em batimetrias inferiores a 120 m. Nesses antigos levantamentos, durante a fase de processamento, as reflexões rasas da região de plataforma, principalmente a interface água e sedimento, normalmente eram ‘mutadas’ devido ao maior estiramento sofrido pelos traços sísmicos.

No processamento do novo 3D levantado, foi possível preservar a reflexão do fundo do mar da região de plataforma, permitindo um melhor imageamento sísmico desta porção, o que auxiliou de maneira significativa na interpretação de feições deposicionais carbonáticas modernas que, na área de estudo, são constituídas majoritariamente por sedimentos carbonáticos de algas vermelhas coralináceas.

A proposta deste trabalho consiste no uso correlacionado do horizonte interpretado e seus atributos sísmicos com os dados de amostras de fundo, com os testemunhos superficiais obtidos por penetração por gravidade via queda de tubo (*kullenbergs*) e imagens submarinas do fundo oceânico, como ferramenta para alcançar os seguintes objetivos: (a) definir a fisiografia do fundo marinho da área estudada; (b) reconhecer as fácies sedimentares associadas com a fisiografia; (c) estabelecer um modelo deposicional carbonático para a área e sua relação dinâmica com as variações do nível do mar nos últimos 18.000 anos.

Também é proposto neste trabalho que o modelo deposicional dos carbonatos algálicos do recente podem servir de análogo para os carbonatos dominados por algas vermelhas coralináceas do Terciário da Bacia de Campos, os quais provavelmente se depositaram em condições parecidas ao que se verifica atualmente. O mesmo pode também valer para outras bacias meridionais de

margem passiva com padrão deposicional semelhante ao identificado na Bacia de Campos.

O modelo proposto neste trabalho também avalia que a deposição dos carbonatos, dominados por algas vermelhas, se processou em profundidades maiores do que normalmente é considerado e em condições hidrodinâmicas distintas.



Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, situada na plataforma continental e talude superior da parte central da Bacia de Campos, em batimetria de 70 a 300m.

1.2 – ANTECEDENTES SOBRE A ÁREA E O TEMA DE ESTUDO

1.2.1 – A BACIA DE CAMPOS

A Bacia de Campos está localizada na margem continental central e norte do Estado do Rio de Janeiro e parte sul do Estado do Espírito Santo, entre as coordenadas geográficas de 21° e 23°30'. É limitada, ao norte, pelo Alto de Vitória, que a separa da Bacia do Espírito Santo, e, ao sul, pelo Arco de Cabo Frio, que a separa da Bacia de Santos.

O limite leste da bacia ainda não está bem definido e sua avaliação depende de novos dados resultantes do avanço da exploração petrolífera. Usando-se como critério o limite do Platô de São Paulo definido pela cota batimétrica de 3400m, a área abrangida pela bacia equivale a aproximadamente 100.000 km².

A bacia perde espessura sedimentar na borda oeste, onde os sedimentos terciários estão depositados sobre o embasamento, o qual é composto por rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas. No limite oeste os sedimentos da bacia estão emersos e formam uma faixa que varia de 10 a 15 km de largura a partir da cidade de Macaé, estreitando até o estado do Espírito Santo.

A Bacia de Campos apresenta uma posição de destaque dentre as bacias sedimentares brasileiras, sendo responsável pela maior parte do petróleo produzido no Brasil. A intensa atividade da indústria de petróleo propiciou um expressivo volume de dados geológicos e geofísicos que resultaram em um grande incremento no conhecimento geológico da bacia.

1.2.1.1 – ESTRATIGRAFIA

A primeira carta litoestratigráfica da Bacia de Campos foi proposta por Schaller (1973), tendo como base poucos poços, já que a fase exploratória da bacia ainda se encontrava em fase inicial. Com o avanço na exploração foram gerados dados adicionais que permitiram uma nova atualização da estratigrafia, realizada por Beltrami *et al.* (1982). A mais recente atualização da carta estratigráfica foi realizada por Rangel *et al.* (1984), sendo esta, a versão mais detalhada disponível para a Bacia, a qual foi adotada neste trabalho (Fig. 2).

Schaller (1973) foi o primeiro autor a formalizar a divisão da seção sedimentar da Bacia de Campos em quatro unidades litoestratigráficas:

a) Formação Lagoa Feia: unidade basal composta por sedimentos siliciclásticos continentais variando de conglomerados a siltitos, evaporitos e carbonatos.

b) Formação Macaé: depositada sobre os evaporitos da formação anterior, é composta por calcirruditos, calcarenitos e calcilutitos.

c) Formação Campos: é representada por sedimentos clástico-carbonáticos transicionais depositados sobre a Formação Macaé.

d) Formação Emborê: arenitos e carbonatos impuros depositados e interdigitados com pelitos do Membro Ubatuba.

No detalhamento apresentado pelas duas últimas versões da carta estratigráfica propostas por Beltrami *et al.* (1982) e Rangel *et al.* (1984), foram feitas diversas alterações em relação à carta original:

A Formação Cabiúnas foi proposta formalmente para abranger os derrames basálticos que formam o embasamento econômico da bacia.

A Formação Campos foi elevada à categoria de Grupo subdividido em três Formações: Formação Ubatuba, Formação Carapebus e Formação Emborê.

A Formação Ubatuba, inicialmente definida como Membro, é composta por milhares de metros de pelitos depositados sob ambiente francamente marinho batial e abissal e em discordância com os carbonatos da Formação Macaé. Está interdigitada lateralmente com a Formação Emborê e engloba os arenitos turbidíticos da Formação Carapebus. A parte inferior da Formação Ubatuba, posicionada no Cretáceo, foi individualizada como Membro Tamoios, pelo fato dos pelitos apresentarem um grau de litificação muito pronunciado.

A Formação Carapebus é composta por turbiditos que variam de arenitos finos a conglomeráticos, presentes desde o Turoniano até o Recente, e depositados dentro do pacote sedimentar pelítico da Formação Ubatuba. Muitos destes arenitos receberam nomes informais em razão de sua idade deposicional (Carapebus Eoceno, Carapebus Mioceno), ou por serem reservatórios de hidrocarbonetos em diversos campos (Arenitos Marlim, Albacora e Carapeba).

A Formação Emborê é composta por sedimentos depositados em forma de leques costeiros e plataforma carbonática desde o final do Cretáceo até o Recente, sendo dividida em três membros: (a) Membro São Tomé (clásticos grossos e avermelhados depositados na borda oeste da Bacia); (b) Membro Siri (composto por calcarenitos bioclásticos de coloração creme-claro); (c) Membro Grussaí alvo desta dissertação (composto por calcarenitos bioclásticos e detritais de coloração creme-esbranquiçado).

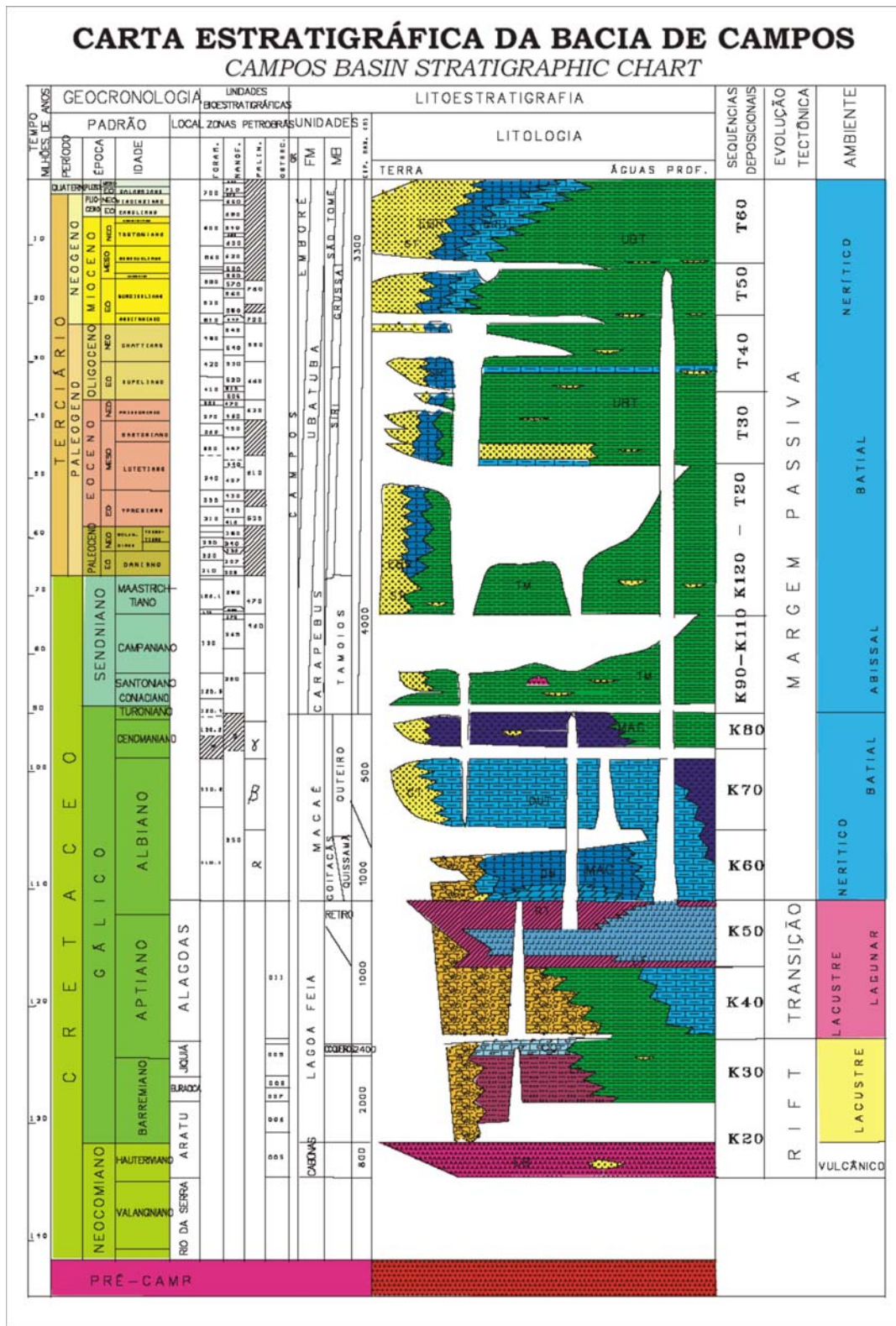


Figura 2. Carta Estratigráfica da Bacia de Campos (Rangel et al., 1984).

1.2.1.2 - EVOLUÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR

A Bacia de Campos teve seu início no Eo-Cretáceo como resultado da ruptura do Gondwana que levou à separação das placas Sul-americana e Africana e a conseqüente criação do Oceano Atlântico Sul.

Durante a fase inicial da bacia ocorreram derrames basálticos que apresentaram idades entre 122 e 134 M.a., sendo estes os primeiros registros da bacia (Mizusaki *et al.*, 1988).

Estruturalmente a bacia pode ser dividida em dois estilos principais, que são: (1) Falhamentos em blocos, resultantes da fase rifte, iniciada com a separação continental na porção pré-Alagoas e (2) tectônica salífera (Guardado *et al.*, 1989).

Os falhamentos gerados na fase rifte são caracterizados por um sistema de blocos gerados por falhamentos normais sintéticos e antitéticos.

A tectônica salífera inicia seu desenvolvimento com a deposição dos sedimentos carbonáticos do Albiano, sendo causada pela carga gradativa que os sedimentos vão adicionando sobre o sal. Essa movimentação salífera sob a forma de domos salinos, desenvolve falhamentos lístricos que afetam o relevo e definem as fácies deposicionais dos carbonatos.

O pacote sedimentar que forma a Bacia de Campos foi subdividido por Ponte & Asmus (1976), em três megaseqüências estratigráficas que se correlacionam a cada fase tectônica da bacia: (1) Megaseqüência Não-Marinha, depositada na fase rifte; (2) Megaseqüência Transicional, desenvolvida na fase inicial drifte; e (3) Megaseqüência Marinha, desenvolvida durante a fase de margem passiva. Semelhante subdivisão foi adotada por Dias *et al.* (1990), a qual será utilizada a seguir.

1.2.1.2.1 – MEGASEQUÊNCIA CONTINENTAL

O início do rifte se deu com a ruptura do supercontinente do Gondwana, com a formação de *rift valleys* alongados de direção SW-NE e geração de *horsts*, *grabens* e *meio-grabens*. Os falhamentos presentes nesta fase são falhas sintéticas e, secundariamente, antitéticas, com direção semelhante às observadas nos alinhamentos presentes no embasamento.

Dias *et al.* (1987) associam a esta fase a formação das seguintes feições estruturais: (a) Falha de Campos, que atua como a charneira da bacia, limitando o embasamento raso, a oeste, dos sedimentos cretáceos a leste; (b) O *horst* do Alto Regional de Badejo; (c) Os baixos adjacentes de Corvina-Parati e São João da Barra; (d) Os baixos das áreas norte de Albacora e Marlim

No início da fase rifte ocorreu intensa atividade vulcânica, com extravasamento de grande volume basáltico da Formação Cabiúnas, sendo esta o embasamento econômico da bacia.

A sedimentação desenvolvida na fase rifte foi dominada pela presença de siliciclásticos e carbonatos que foram depositados em lagos controlados pela tectônica distensiva. O ambiente dominante foi o de lagos salinos ricos em elementos alcalinos (Dias *et al.*, 1990).

Segundo Dias *et al.* (1987), sobre o embasamento foram depositadas quatro seqüências sedimentares: (1) Seqüência Clástica Basal; (2) Seqüência Talco-Estevensítica; (3) Seqüência das Coquinas, e (4) Seqüência Clástico-Evaporítica (Fase Transicional).

A Seqüência Clástica Basal foi formada pela deposição de conglomerados, arenitos e siltitos avermelhados associados a sistemas de leques aluviais, passando, em direção ao topo, para depósitos lacustres.

A Seqüência Talco-Estevensítica ocorre como depósitos de arenitos e siltitos compostos por pelóides de talco-estevensita. A deposição se processou em ambiente lacustre alcalino com presença de Mg.

A Seqüência das Coquinas abrange grandes depósitos de coquinas porosas depositadas em ambientes lacustres durante o Eoaptiano, preferencialmente em altos sindeposicionais. Nas partes mais profundas dos lagos se desenvolveram folhelhos ricos em matéria orgânica, sendo estes os principais geradores de hidrocarbonetos da bacia.

Dias *et al.* (1990) consideram que a discordância pré-Alagoas é o limite superior da fase rifte, pelo fato que os falhamentos desenvolvidos nesta fase não ultrapassam esta discordância.

1.2.1.2.2 - MEGASEQÜÊNCIA TRANSICIONAL

Com o desenvolvimento de evento erosivo que gerou a discordância pré-Alagoas, foi nivelado o relevo desenvolvido na fase rifte, sendo com isso marcada a passagem da Megaseqüência Continental para a Megaseqüência Transicional.

Neste estágio ocorreu a passagem entre sedimentos de origem continental para sedimentos marinhos. A sedimentação iniciou pela deposição aluvial de conglomerados com maior presença de rochas metamórficas, ígneas e lamitos avermelhados, indicando oxidação por exposição. Estes sedimentos variam lateralmente para carbonatos nodulares e estromatolitos depositados em condições de águas rasas.

No topo desta megaseqüência, antes da franca abertura do Atlântico Sul, foi depositada uma espessa suíte de evaporitos. O acesso à entrada de água oceânica foi restrito neste período, ocorrendo eventuais incursões marinhas que

formaram um mar hipersalino. A deposição se processou em condições de clima quente e árido, em ambiente tectonicamente calmo. Foram depositados, em áreas proximais de margem rasa, anidritas e dolomitas, e, na parte mais central e profunda, halita e sais ricos em potássio (Szatmari *et al.*, 1979; Guardado *et al.*, 1989).

1.2.1.2.3 - MEGASEQÜÊNCIA MARINHA

Com o avanço na separação das placas Sul-Americana e Africana, terminou a restrição oceânica a que a bacia estava submetida e a transgressão do Atlântico Sul se processou de forma gradativa. No Eoalbiano é dado o início da deposição marinha franca que se desenvolveu até o Recente.

Por apresentar um grande pacote de sedimentos com características diferentes, a Megaseqüência Marinha foi subdividida por Dias *et al.* (1990) em três seqüências menores:

a) Seqüência Carbonática Nerítica Rasa: depositada entre o Albiano Inferior e o Albiano Médio. Corresponde à parte inferior da Formação Macaé.

b) Seqüência Oceânica Hemipelágica: depositada entre o Albiano Superior e o Paleoceno Superior. Correspondente à parte superior da Formação Macaé e à base do Grupo Campos.

c) Seqüência Oceânica Progradante: depositada a partir do Eoceno até o Recente.

1.2.1.2.3.1 - SEQÜÊNCIA CARBONÁTICA NERÍTICA RASA

Nessa fase inicial, se estabeleceu uma plataforma em forma de rampa, com deposição de siliciclásticos e carbonatos que variam desde calcarenitos a calcilutitos. Estes sedimentos correspondem à porção inferior da Formação Macaé.

Esteves *et al.* (1987) descreve esta fase inicial de deposição (Eoalbiano a Mesoalbiano), como desenvolvida sob influência de clima seco e quente, em ambiente nerítico raso e de águas hipersalinas com fundo oxigenado. Essa indicação é dada pelo baixo conteúdo fossilífero e baixa diversidade específica.

No norte da bacia, o perfil deposicional é representado por carbonatos nas porções mais distais da plataforma, gradando para sedimentos mistos e arenitos de plataforma. Nas porções proximais a influência continental se manifestou sob a forma de arenitos e conglomerados de *fandeltas* (Guardado *et al.*, 1983).

Durante esta fase teve início a atividade halocinética na bacia, como resposta ao começo do basculamento da bacia para leste, com a contínua deposição de sedimentos que exerceram uma progressiva carga sobre os evaporitos.

1.2.1.2.3.2 - SEQÜÊNCIA OCEÂNICA HEMIPELÁGICA

A partir do Albiano Superior se processou a conexão entre o Atlântico Sul com o Atlântico Norte, o que mudou as condições de salinidade da bacia e permitiu uma maior diversidade e abundância da biota (Spadini *et al.*, 1988).

A partir do Albiano Superior também ocorre uma nova fase de movimentação halocinética, em resposta ao progressivo basculamento da bacia e ao aumento na carga de sedimentos. Nesta fase se desenvolveu um aumento no rejeito e no número de falhas de crescimento, falhas estas que foram originadas no início da movimentação halocinética. Este aumento na movimentação proporcionou a deposição dos turbiditos arenosos nas porções mais deprimidas do relevo que estava se formando (Dias *et al.* 1990).

Devido à subsidência, a bacia tornou-se mais profunda. Entre o Albiano Superior e o Turoniano Inferior ocorreu a deposição de sedimentos correspondentes ao Membro Outeiro da Formação Macaé. A sedimentação desta fase é composta por calcilutitos cimentados, margas e folhelhos, intercalados com arenitos turbidíticos denominados de Arenito Namorado (Dias *et al.* 1990).

Os carbonatos depositados nesta fase, característicos de mar mais profundo, representam uma resposta ao contínuo aumento do nível do mar, o qual afogou os carbonatos da base da Formação Macaé, depositados em ambiente de águas mais rasas.

A deposição de folhelhos e margas se deu nas partes mais profundas da bacia enquanto nas porções mais rasas ocorreu a interdigitação de calcilutitos com sedimentos siliciclásticos de plataforma rasa.

O ambiente de deposição desses sedimentos deu-se preferencialmente em condições de mar nerítico médio a batial superior. A presença de foraminíferos bentônicos nesses sedimentos é um indicativo deste tipo de ambiente (Azevedo *et al.*, 1987).

Durante o Turoniano Superior e Paleoceno Inferior foram depositados os sedimentos basais da Formação Campos. Esse pacote sedimentar representa, na Bacia de Campos, a passagem para condições francamente oceânicas.

Os sedimentos depositados nesta fase refletem um ambiente marinho profundo a batial. Eles são representados predominantemente por

folhelhos e margas do Membro Tamoios da Formação Ubatuba, e, secundariamente, por depósitos de arenitos turbidíticos da Formação Carapebus.

A halocinese tornou-se menos atuante, mas foi suficiente para criar calhas que orientaram a deposição das areias turbidíticas, porém, de forma menos intensa que as calhas que condicionaram a deposição dos Arenitos Namorado.

No final do Paleoceno ocorrem grandes modificações estruturais distensivas na Bacia em decorrência do rejuvenescimento da Serra do Mar, formando também um sistema de bacias no sudeste do Brasil, representadas pelas Bacias de Curitiba, São Paulo, Taubaté, Volta Redonda e Resende. Esta reativação distensiva ocorrida há 83 milhões de anos, promoveu a deposição de enormes volumes de sedimentos vulcanoclásticos na porção sul da bacia (Dias *et al.* 1990).

O encerramento da Seqüência Oceânica Hemipelágica se processa por um grande evento erosivo regional que atuou em várias bacias do leste do Brasil. Este evento gerou uma superfície erosiva que se desenvolveu entre o Paleoceno Inferior e o Eoceno Médio. Como resultado desta erosão, o registro sedimentar correspondente ao Paleoceno é pouco comum nas porções proximais da Bacia, estando mais preservado em águas mais profundas.

1.2.1.2.3.3 - SEQÜÊNCIA OCEÂNICA PROGRADANTE

A Seqüência Oceânica Progradante teve seu começo no Eoceno desenvolvendo-se até o presente. A deposição sedimentar desse espesso pacote teve seu início sobre a discordância gerada entre o Paleoceno Inferior e Eoceno Médio, discordância esta que a separa da Seqüência anterior.

O rejuvenescimento da Serra do Mar, que aumentou o aporte sedimentar para dentro da bacia, em associação com as variações globais do

nível do mar, foi responsável pelo predomínio do padrão progradante sob a forma de *offlap*.

A deposição até o Oligoceno Superior foi dominada por sedimentos pelágicos e hemipelágicos. A sedimentação da fração mais grossa ficou restrita à plataforma interna. Neste período foi depositada uma seção condensada rica em nanofósseis calcários e que resultou em um excelente refletor sísmico. Esse refletor, correlacionável em grande parte da bacia, foi denominado informalmente de Marco Azul (Gambôa *et al.*, 1986).

O domínio de sedimentação arenosa na parte mais proximal da bacia (Formação Emborê, Membro São Tomé) tem sua relação com o aporte sedimentar oriundo do soerguimento da Serra do Mar. Durante os rebaixamentos do nível do mar, estes depósitos arenosos de plataforma serviram como área fonte para a formação de turbiditos da Formação Carapebus. Em condição de águas mais profundas na bacia, a deposição dominante foi de folhelhos e carbonatos pelágicos (Formação Ubatuba). Nas partes externas da plataforma se desenvolveram bancos carbonáticos dos Membros Siri e Grussaí (Guardado *et al.*, 1989).

Durante a deposição da Seqüência Marinha Progradante, o progressivo aporte de sedimentos para a bacia continuou a exercer carga sobre os depósitos de sal, o que mantém a tectônica halocinética ativa até o recente. Os efeitos tectônicos da halocinese atuam até o fundo marinho atual, principalmente nas áreas profundas e ultraprofundas da bacia, como resultado do diapirismo e reativação de falhamentos lístricos.

1.2.2 – A HIDRODINÂMICA DA ÁREA DE ESTUDO

Por estar localizada na plataforma média e externa da Bacia de Campos, em batimetrias entre 70 e 300 m, a área de estudo está submetida a um

regime hidrodinâmico dominado por correntes oceânicas rasas. A Corrente do Brasil possui um papel preponderante, atuando como o principal agente de transporte e retrabalhamento dos sedimentos superficiais presentes no leito marinho desta porção da bacia.

A plataforma continental da região sudeste brasileira está posicionada em uma área influenciada por variações sazonais de correntes. Durante o inverno, a entrada de águas frias, provenientes da Corrente das Malvinas (Falkland), provoca a formação de vórtices e meandros os quais interferem na direção e velocidade do fluxo da Corrente do Brasil que atua nesta região.

A Corrente do Brasil (**CB**) é uma corrente de águas mais quentes e superficiais e com salinidade elevada, sendo considerada o limite oeste do Giro Subtropical Sul do Atlântico Sul. Sua origem se dá, aproximadamente, a partir dos 10°S da bifurcação da Corrente Sul Equatorial (**CSE**). A partir desse ponto a Corrente do Brasil segue em direção sudoeste acompanhando em seu trajeto a linha de quebra da plataforma continental (Fig. 3).

Os Giros Subtropicais, por sua vez, estão relacionados com os ventos alísios que sopram de leste para oeste (*trade wind belts*), e são os responsáveis pela geração das correntes equatoriais que, ao atingir os continentes à oeste, derivam parte para sul e parte para o norte. As correntes seguem até latitudes intermediárias (**CB** no hemisfério sul), defletem para leste pela ação dos ventos vindos de oeste (*west wind belts*) e, com isso, fecham um ciclo que vai realimentar as correntes equatoriais, formando um grande giro.

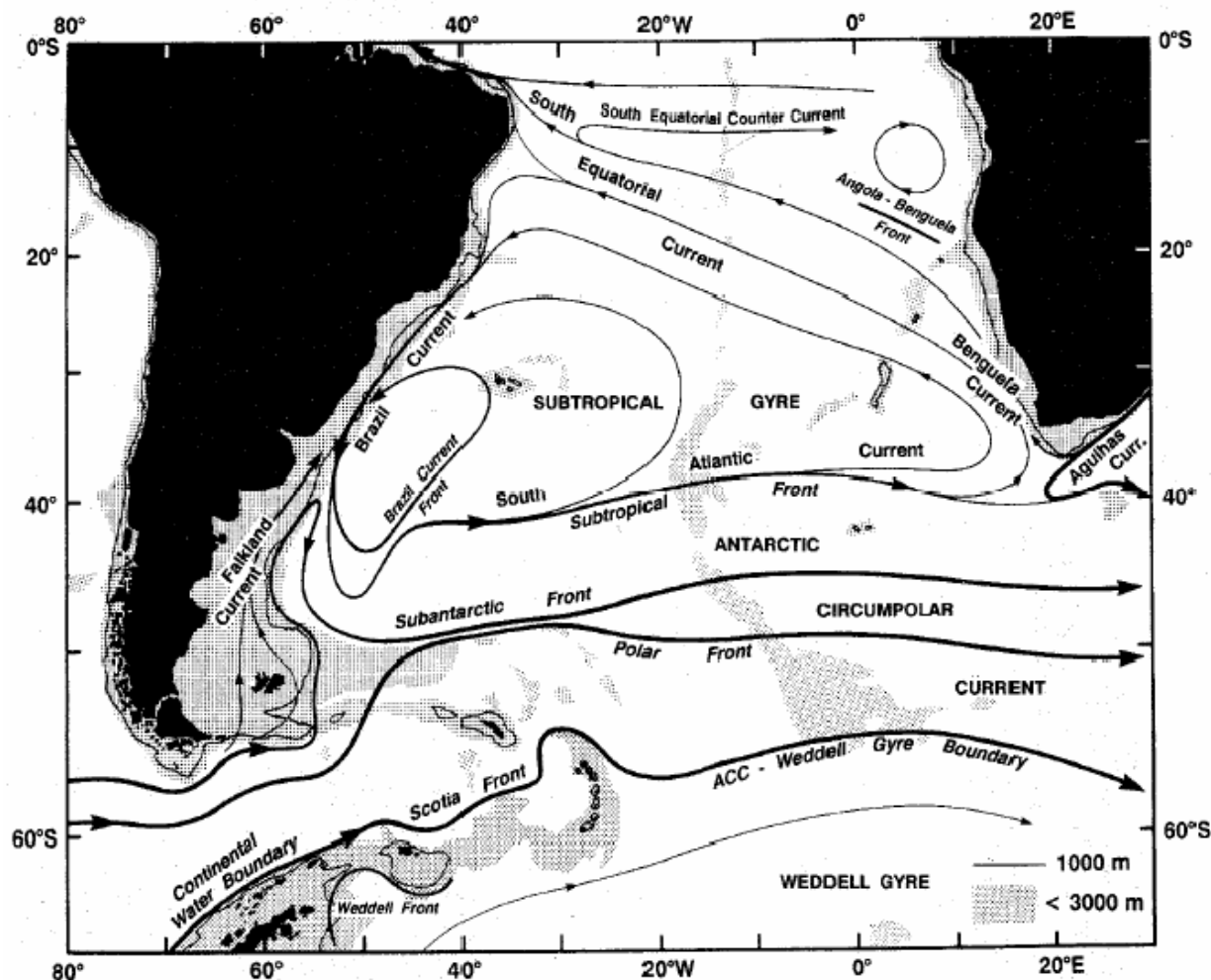


Figura 3. Posicionamento da Corrente do Brasil e sua origem a partir da bifurcação da Corrente Sul Equatorial, formando o limite oeste do Giro Subtropical Sul do Atlântico Sul (Peterson & Stramma, 1991).

Ao seguir seu fluxo, a partir da costa da região sudeste próximo de 19° S, a Corrente do Brasil sofre um estreitamento devido à redução da largura da plataforma para 75 km. As velocidades máximas atingidas chegam a 0,72 m/s, sendo que metade das águas da **CB** circula nos primeiros 200 m da plataforma (Silveira *et al.*, 2000 *apud* Castanos, 2002).

Um dos principais processos que influenciam a dinâmica de circulação nas plataformas das regiões sul e sudeste brasileiras, durante o período

de inverno, é a penetração de águas de origem sub-antártica transportadas para norte pela ramificação costeira das águas frias e de baixa salinidade da Corrente das Malvinas. Esse fenômeno interfere com a circulação das águas quentes e salinas da Corrente do Brasil (Silva *et al.*,1996).

Ao se deslocar para maiores latitudes a Corrente do Brasil tende a sofrer um processo de resfriamento e diminuição de salinidade até a divergência da Corrente das Malvinas, quando se separa da costa defletindo para leste e formando a Corrente do Atlântico Sul. Este deslocamento para sul e a influência da corrente das Malvinas sobre a Corrente do Brasil, a partir da região sudeste, tende a formar estruturas ciclônicas (vórtices), meandros e o fenômeno de ressurgência na região de Cabo Frio.

A explicação para a formação dos vórtices e meandros, segundo Campos *et al.*(1995) está relacionada com a mudança na orientação da linha de costa na altura de Cabo Frio, que faria com que o fluxo da Corrente do Brasil sofresse deslocamento para regiões mais profundas.

O direcionamento para regiões mais profundas teria como resultado um estiramento da coluna de água. O fluxo da corrente, ao entrar na Bacia de Santos, tenderia a retornar para região mais rasa, o que causaria uma compressão na coluna de água, resultando em meandros ciclônicos que podem ser monitorados em imagens de radar.

Kampel (1993), através de imagem AVHRR do satélite NOAA-11, que capta as diferenças de temperatura das águas oceânicas, demonstra a penetração para o norte das águas frias da Corrente das Malvinas (16°C) sobre a plataforma da região sul-sudeste sob influência da Corrente do Brasil, o que gera a formação de meandros e vórtices (Fig. 4).

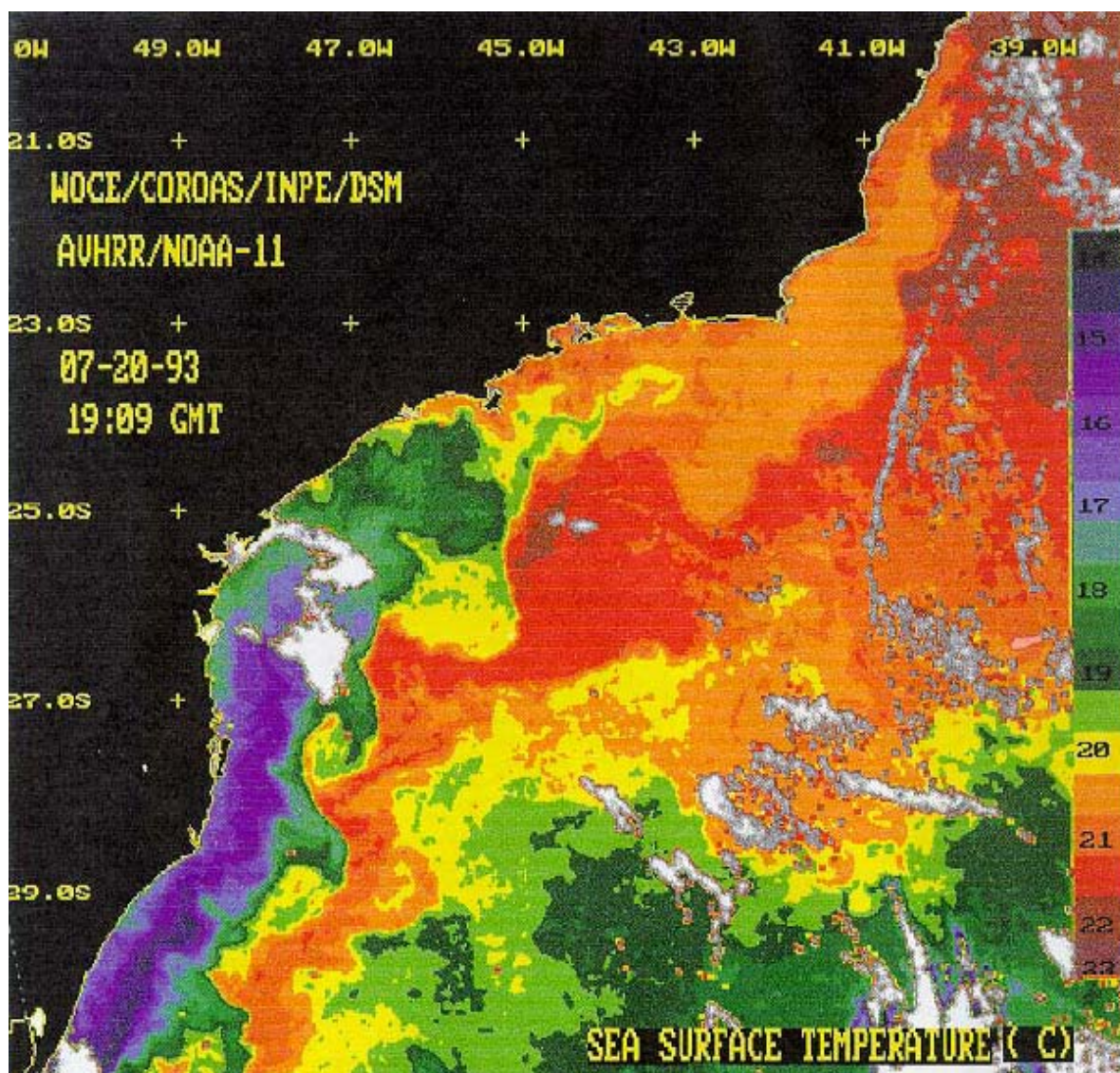


Figura 4. Imagem AVHRR de 20 de julho de 1993 mostrando a penetração das águas frias da Corrente das Malvinas contra a Corrente do Brasil na região sul e sudeste, causando vórtices e meandros quentes e frios (Kampel, 1993).

Medidas diretas de velocidade e direção de corrente para a área de estudo são descritas por Bello (2003). Tendo por base um banco de dados com medidas coletadas nos últimos anos na Bacia de Campos, o autor adotou o critério de selecionar medidas que contemplassem a camada limite de fundo (*bottom boundary layer - BBL*). Quando as medidas disponíveis para determinada faixa

batimétrica não amostraram diretamente a BBL, foram estimadas através de algoritmos, tendo por base as medidas mais próximas do fundo disponíveis.

A camada limite de fundo (BBL) representa a zona onde ocorre o acoplamento entre o fundo marinho e o fluxo da corrente, formando um perfil vertical de decaimento de velocidades em função do atrito relacionado com os variados graus de morfologia e rugosidade presentes no fundo marinho.

Os dados mostraram alguma dispersão nas direções de corrente, o que é compatível com a presença de vórtices e meandros que atual sazonalmente na área.

Os dados indicam que o fluxo de fundo na plataforma, até a batimetria de 100m, é influenciado pela Corrente do Brasil, com fluxo predominante S-SW e com valores médios de velocidade de 0,14 m/s.

Para batimetrias entre 100 e 200 m, ou seja, até o talude superior da área de estudo, a Corrente do Brasil atua com maior velocidade, apresentando valores médios de 0,23 m/s. Nesta mesma faixa batimétrica foram constatados valores de velocidades acima de 0.85 m/s associados com fluxos para E-SE e S-SW.

1.2.3 – CLASSIFICAÇÃO DE ROCHAS CARBONÁTICAS

Na primeira metade do século passado, impulsionado em grande parte pela indústria do petróleo, ocorreu um significativo avanço no conhecimento das rochas carbonáticas. A necessidade de se estabelecer critérios para classificação dos carbonatos fez com que a A.A.P.G. (American Association of Petroleum Geologists), conjuntamente com a S.E.P.M. (Society for Sedimentary Geology) organizassem um simpósio sobre classificação de rochas carbonáticas.

Em 1962 foi publicado pela A.A.P.G um *Memoir* com os trabalhos apresentados nesse simpósio, onde se consagraram os trabalhos de Folk (1962) e Dunhan (1962).

A classificação de Folk (1962) baseia-se em critérios semelhantes aos utilizados para rochas siliciclásticas, onde os grãos de areia se relacionam com os grãos aloquímicos, a matriz argilosa equivale à matriz microcristalina, e o cimento é associado com calcita espática. Os grãos aloquímicos são representados por intraclastos, oolitos, fósseis e pelóides e a matriz microcristalina é composta por material precipitado por atividade inorgânica (micrita).

Nesta classificação os grãos aloquímicos fornecem o prefixo do nome da rocha: oo (para oóide), bio (para fósseis), pel (para pelóides) e intra (para intraclastos). O carbonato intersticial fornece o sufixo do nome da rocha: micrito, para matriz lamítica e espatito para cristais de carbonato.

Na presente dissertação a classificação de carbonatos adotada foi a proposta por Dunhan (1962). Esta classificação separa as rochas carbonáticas em rochas que possuem seu arcabouço suportado por grãos (os grãos estão em contato entre si), rochas onde a matriz suporta os grãos (os grãos estão dispersos dentro da matriz), rochas com textura deposicional não reconhecível e rochas com os grãos unidos durante a deposição.

Para se classificar uma rocha carbonática segundo Dunhan (1962) deve ser levado em conta: a) se a textura é reconhecível ou não; b) os componentes originais estavam ligados ou não durante a deposição; c) presença ou não de matriz; d) se arcabouço é suportado por grãos ou por matriz. Com base nestas características as rochas serão classificadas como *mudstone*, *wackestone*, *packstone*, *grainstone*, *boundstone* ou Carbonatos Cristalinos (Fig. 5).

TEXTURA DEPOSICIONAL RECONHECÍVEL					TEXTURA DEPOSICIONAL NÃO RECONHECÍVEL	
COMPONENTES ORIGINAIS NÃO "LIGADOS" DURANTE A DEPOSIÇÃO				COMPONENTES ORIGINAIS "LIGADOS" DURANTE A DEPOSIÇÃO		
CONTÉM LAMA (PARTICULAS TAMANHO ARGILA/SILTE)			SEM LAMA SUPPORTADO PELOS GRÃOS			
SUPPORTADO PELA MATRIZ		SUPPORTADO PELOS GRÃOS				
MENOS DE 10% DE GRÃOS	MAIS DE 10% DE GRÃOS					
MUDSTONE	WACKESTONE	PACKSTONE	GRAINSTONE		BOUNDSTONE	CARBONATO CRISTALINO

Figura 5. Classificação de rochas carbonáticas, conforme Dunhan (1962).

No início da década de 70, devido à necessidade de se classificar as bioconstruções carbonáticas do Paleozóico do Canadá com um grau maior de detalhamento, Embry e Klovan (1971) propuseram uma nova classificação baseada na já consagrada classificação de Dunhan (1962).

Em razão da grande diversidade de feições observadas nas bioconstruções de recifes presentes na área de estudo, os autores utilizaram e ampliaram a classificação de Dunhan. Para tanto, eliminaram a categoria de Boundstone e criaram cinco novas categorias: *floatstone*, *rudstone*, *bafflestone*, *bindstone* e *framestone* (Fig. 6). Esta classificação tem sido mais utilizada, no meio científico, em áreas onde ocorre presença de bioconstruções carbonáticas.

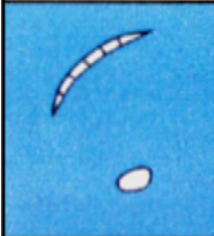

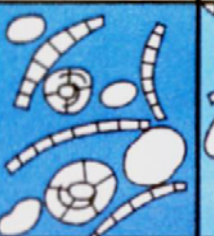
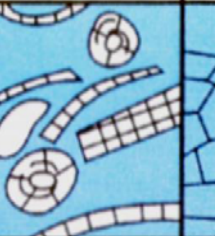






CALCÁRIOS AUTÓCTONES - componentes originais não-ligados organicamente durante a deposição					CALCÁRIOS AUTÓCTONES - componentes originais organicamente ligados durante a deposição				
Componentes originais "não-ligados" durante a deposição (<10% grão >2 mm)				Textura deposicional não- reconhecível	Componentes originais "não-ligados" organicamente durante a deposição		Componentes originais ligados organicamente durante a deposição		
Contém Lama (Partículas tamanho argila/silte fino)		O arcabouço é grão- suportado com matriz	Sem lama, grão- suportado		>10% grãos >2 mm		Organismos que atuam como obstáculos	Organismos que encrustam e ligam	Organismos que constroem um arcabouço rígido
Menos de 10% de grãos	Mais de 10% de grãos				Suportado pela matriz	Suportado por componentes maiores que 2 mm			
<i>Mudstone</i>	<i>Wackestone</i>	<i>Packstone</i>	<i>Grainstone</i>	<i>Crystalline</i>	<i>Floatstone</i>	<i>Rudstone</i>	<i>Bafflestone</i>	<i>Bindstone</i>	<i>Framestone</i>
									

Figura 6. Classificação de rochas carbonáticas, de acordo com Embry & Klovan (1971).

No Brasil, uma outra classificação de rochas carbonáticas foi proposta por Terra (1990). A estrutura desta classificação baseou-se na classificação de Folk adaptada para o uso corrente entre o corpo técnico da Petrobrás. Esta classificação leva em consideração os seguintes fatores:

a) Textura deposicional - procura-se sempre denominar a rocha pela suas características originais reconhecíveis, mesmo que a rocha carbonática apresente muita recristalização ou dolomitização.

b) Arcabouço - baseia-se no critério de Dunham, onde é levado em consideração se o arcabouço é suportado por grãos ou por matriz.

c) Granulometria - é dividida em quatro grupos em função do diâmetro do grão carbonático: calcirrudito (diâmetro maior que 2 mm); calcarenito (diâmetro entre 2 mm e 0,0625 mm); calcissiltito (diâmetro entre 0,0625 mm e 0,0039 mm); calcilito (diâmetro menor que 0,0039 mm).

d) Matriz/Cimento - considera-se matriz grãos iguais ou menores que calcissiltito e depositados por suspensão. Cimento é o componente cristalino precipitado quimicamente.

e) Grãos Aloquímicos – são os mesmos definidos por Folk. Quando suportados pela matriz são citados como complementares.

f) Bioconstruções (Biolitos) - equivalentes aos *boundstones* de Dunham e biolitos de Folk.

g) Bioacumulações - refere-se a rochas bioacumuladas e sem retrabalhamento, compostas por um tipo predominante de organismo.

h) Variações - levam-se em consideração a intensidade da alteração na composição ou diagênese sofrida pela rocha.

i) Tamanho dos Cristais - denomina-se microespátito ou microdoloespátito para recristalizações ou dolomitizações formando cristais

menores que 0,0625mm e doloespatito e espatito quando os cristais são maiores que 0,0625mm.

1.2.4 - ALGAS VERMELHAS CORALINÁCEAS

1.2.4.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS

A característica geral das algas vermelhas coralináceas, quando vivas, é apresentar em sua superfície, coloração avermelhada. Precipitam entre e dentro de suas paredes celulares carbonato de cálcio sob a forma de cristais de calcita. A forma de desenvolvimento das algas vermelhas se dá por incrustações resultantes de laminações superpostas por sucessivos episódios de crescimento carbonático (Fig. 7).

Bioconstruções de algas vermelhas podem ocorrer sob a forma de substratos crustosos e, mais comumente, como nódulos carbonáticos. Os rodolitos ou nódulos de algas coralináceas, são formas de crescimento concrecional compostas predominantemente por crescimento de algas coralináceas (Bosence, 1983b).



Figura 7. Foto salientando o aspecto crustoso das algas vermelhas coralináceas (*Lithothamnium*), e a coloração avermelhada característica (fonte www.seafriends.org.nz/enviro/plankton/balance.htm).

Sob a forma de sedimentos carbonáticos inconsolidados, ou livres, as algas vermelhas coralináceas ocorrem como rodolitos, pavimentos formados pela acumulação de rodolitos, *grainstones* derivados de algas vermelhas mesclados com rodolitos e algas vermelhas em forma ramificada e biodetritos derivados da desagregação das algas vermelhas (Bosellini e Ginsburg, 1971; Adey, 1986; Scoffin, 1988; Freiwald et al., 1991).

Os rodolitos podem apresentar largo espectro de diâmetros, variando desde tamanho seixo até calhau (Fig. 8). Apresentam três morfologias básicas de crescimento: laminar, ramificado e colunar. As duas últimas podem ser indicativas do aumento no regime de energia do ambiente onde foram formadas (Bosence, 1983a).



Figura 8. Foto de detalhe de rodolito proveniente da área de estudo, onde é salientado seu aspecto nodular e grande diâmetro (aproximadamente 8 cm). A sua estrutura é formada predominantemente por concreções de algas vermelhas coralináceas.

1.2.4.2 - DEPÓSITOS MODERNOS DE ALGAS VERMELHAS CORALINÁCEAS

Os depósitos carbonáticos orgânicos modernos observados em ambiente de plataforma são majoritariamente constituídos por algas vermelhas coralináceas e corais, sendo que a mais clara manifestação de um possante crescimento de corais é a formação de recifes. Porém, os corais são muito sensíveis às condições ambientais, notavelmente luz e temperatura, proliferando-se principalmente entre os trópicos (Schlager ,1992).

Tanto as bioconstruções de corais como de algas vermelhas podem coexistir em condições de águas mais quentes (Schlager, 1981). Vários são os exemplos de coexistência e produção de sedimentação conjunta de corais e algas vermelhas. No Platô de Queensland e plataforma externa, na região nordeste da Austrália, a produção carbonática é composta de corais e algas conjuntamente com foraminíferos e moluscos (Scoffin e Tudhope, 1985; Belperio e Searle, 1988; Flood e Orme, 1988; Dumbar e Dickens, 2003). No Brasil são descritos vários exemplos da coexistência de algas vermelhas e corais, no Atol das Rocas (Gherardi e Bosence, 2001; Gherardi e Bosence 2005), no litoral nordeste (Testa e Bosence, 1999) e em Abrolhos (Leão, 1999; Castaños, 2002).

Com o resfriamento das águas, à medida que aumenta a latitude, as algas vermelhas coralináceas tendem a dominar o ambiente como o principal organismo da fábrica carbonática, enquanto os depósitos de coral, sensíveis à luz e temperatura, vão perdendo espaço (Fig. 9).

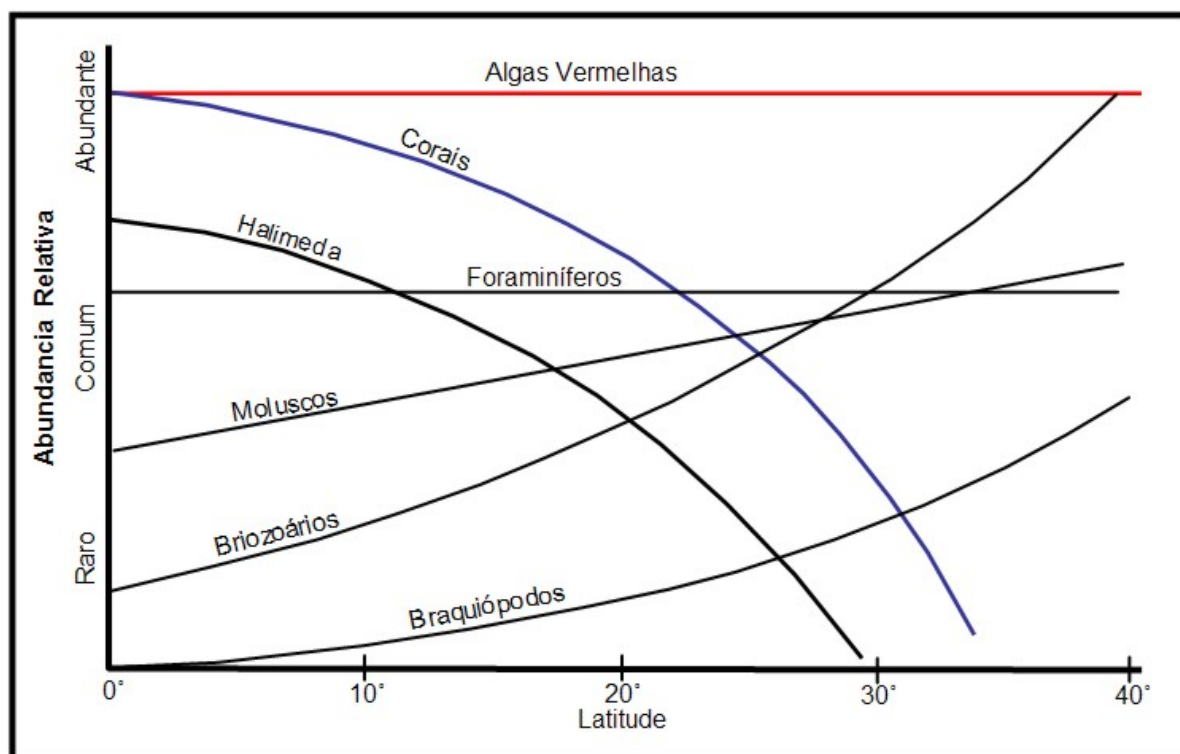


Figura 9. Variação de latitude de tropical para temperado e a influência sobre as fácies de carbonatos no norte do Atlântico. Os corais diminuem sua presença com o resfriamento das águas nas maiores latitudes e a ocorrência das algas vermelhas coralináceas permanece constante (modificado de Schlager, 1992).

No Brasil, é grande a importância da sedimentação carbonática por algas vermelhas. A Plataforma Continental Brasileira representa, globalmente, a maior extensão coberta por sedimentos carbonáticos de algas vermelhas. As ocorrências, de modo geral, são mais contínuas e estão situadas na plataforma média e externa (Dias, 2000).

Nas bacias meridionais da Margem Continental Brasileira, como é o caso da Bacia de Campos, é marcante a influência sazonal de massas de águas frias provenientes das Águas Centrais do Atlântico Sul (ACAS) e que atuam baixando a temperatura média do mar. Nestas bacias o ambiente torna-se mais propício ao predomínio de algas vermelhas como principal fábrica de carbonatos em relação à maioria dos corais de plataforma.

1.2.4.3 - SEDIMENTAÇÃO MODERNA DE ALGAS VERMELHAS NA BACIA DE CAMPOS

A ocorrência de algas vermelhas na plataforma média e externa da Bacia de Campos, em áreas vizinhas à deste estudo, é descrita em vários trabalhos. Kempf (1972) descreve a presença dominante de algas coralináceas, sob a forma de areias e clastos (*maerl*) e incrustações formando bancos ao longo da plataforma externa. Correa *et al* (2001) através de levantamento sonográfico na borda da Plataforma de Campos identificaram incrustações de algas vermelhas formando feições lineares localizadas a 110 m de profundidade, interpretadas como resultado de uma colonização algálica desenvolvida sobre substrato formado por *beachrocks*.

Com base em descrições de furos de 100 m a 150 m de profundidade, obtidos em campanhas geotécnicas para instalação de equipamentos submarinos de produção de petróleo, foram descritos diversos

intervalos com algas vermelhas e suas variações faciológicas (Della Piazza et al., 1983; Caddah, 1990; Spadini et al., 1992).

Na análise de sedimentos superficiais coletados ao redor da Plataforma de Pampo foi relatada a presença de algas vermelhas coralináceas recentes do gênero *Lithothamnium* (Kowsmann et al, 1998; Carvalho, 1998).

Na área de estudo foram identificados sedimentos carbonáticos de algas vermelhas coralináceas. Os sedimentos ocorrem principalmente sob a forma de incrustações calcárias formando bancos carbonáticos, lineamentos e depósitos de rodolitos, os quais se apresentam como nódulos carbonáticos de diâmetro médio variando entre 1 a 3 cm, podendo atingir até 10 cm. Ocorrem também grãos de tamanho areia e clastos de vários tamanhos gerados pela desagregação mecânica das algas, além de sedimentos oriundos de outros organismos calcários (foraminíferos bentônicos e briozoários). As bioconstruções carbonáticas observadas na área, são de algas vermelhas coralináceas do gênero *Lithothamnium*.

CAPÍTULO 2

DADOS E MÉTODOS

2 - DADOS E MÉTODOS

Durante o final da década de 60 e, principalmente, nas décadas de 70 e 80, vários projetos de geologia e geofísica marinha coletaram dados referentes ao fundo oceânico da Margem Continental Brasileira. Para tanto foram utilizados diversos navios oceanográficos que participaram de várias comissões de pesquisa ao longo da costa brasileira vinculadas, entre outros, aos Programas de Geologia e Geofísica Marinha (GEOMAR) e Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira (REMAC) (Fig. 10). Um expressivo incremento no conhecimento básico geológico da morfologia, sedimentologia e estrutura da margem continental decorreu destes levantamentos.

Concomitante e após os levantamentos de dados decorrentes dos programas acima citados, houve um grande incremento na aquisição de novos e variados dados referentes à geologia marinha, dados estes obtidos com as atividades da indústria do petróleo, tanto no âmbito da exploração, como da produção. Neste período foi produzida uma grande variedade de informações incluindo levantamentos sísmicos 3D, amostras de fundo, testemunhos e imagens submarinas. Estas novas informações, conjuntamente com os dados REMAC e GEOMAR, possibilitaram montar uma boa base de dados para a área escolhida neste estudo.



Figura 10. Navio Oceanográfico Almirante Câmara (H41), da Marinha Brasileira. Participou de diversas comissões de pesquisa oceanográfica ao longo Costa Brasileira, tendo sido desativado em 2003.

2.1 - SÍSMICA 3D

Visando homogeneizar e modernizar os dados sísmicos, a Petrobrás realizou um levantamento sísmico 3D de grande dimensão em área, que abrangeu os campos produtores situados na região da plataforma continental da Bacia de Campos. O processamento final do cubo sísmico para interpretação tridimensional foi disponibilizado em partes ao longo dos anos 2003 e 2004. Com este levantamento foi obtido um ganho substancial de qualidade e continuidade espacial da porção rasa e principalmente do fundo marinho, quando comparado com os antigos levantamentos 3D, permitindo um substancial incremento no conhecimento dos carbonatos existentes nesta área de cobertura.

A sísmica disponível na área de estudo consiste em um cubo sísmico 3D com dimensões aproximadas de 52 km x 40 km, abrangendo parte da plataforma central e externa da Bacia de Campos. A direção de aquisição do

levantamento sísmico foi NW/SE (Fig. 11). O intervalo de aquisição entre linhas e pontos de tiro utilizado foi de 25 m, interpolados para 12,5 m no processamento.

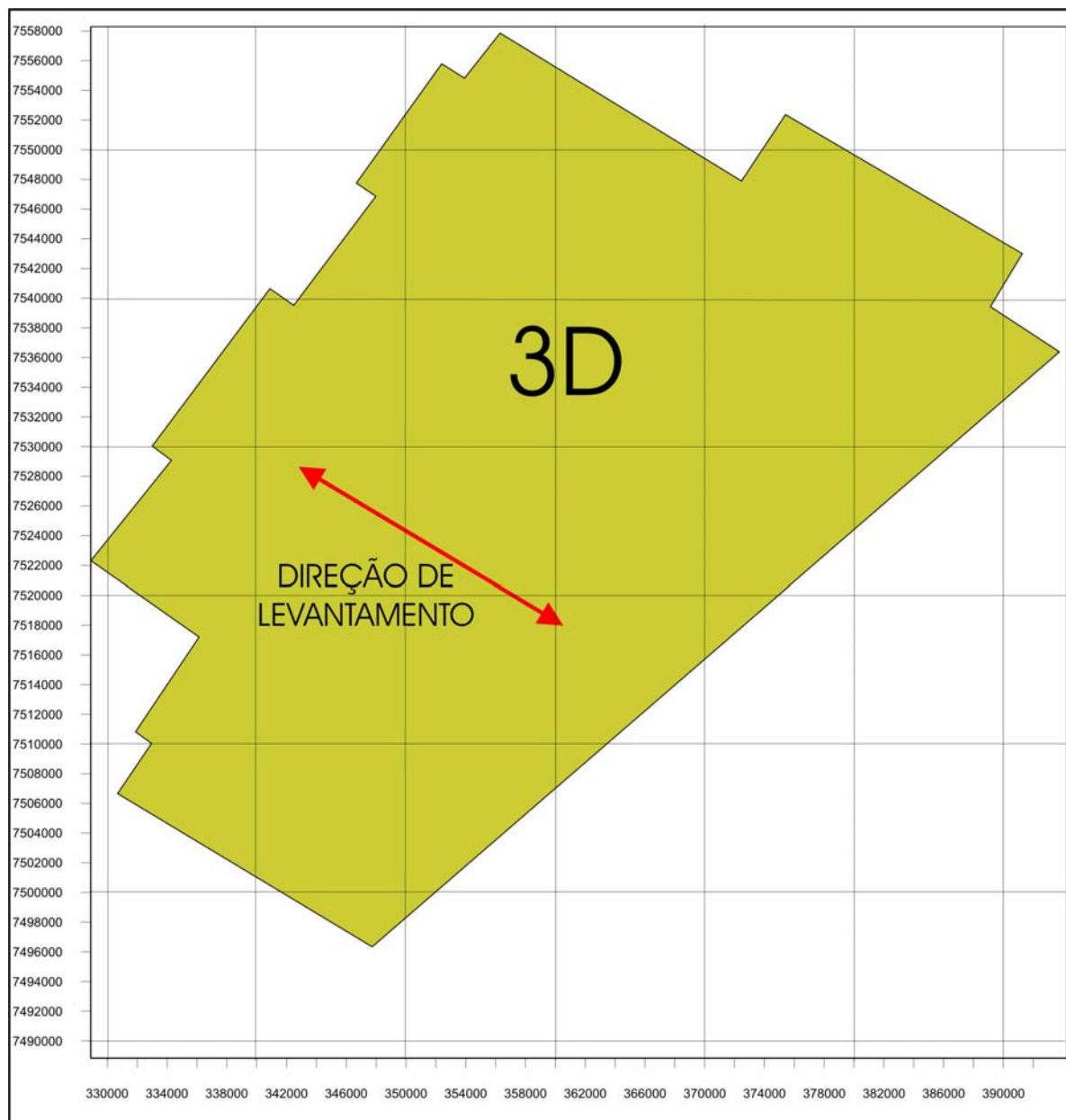


Figura 11. Mapa de localização e do traçado do levantamento sísmico 3D disponível na área de estudo.

Os registros sísmicos disponibilizados para este estudo estão limitados aos primeiros 500 milissegundos, o que permite cobrir a parte superior do

pacote sedimentar Terciário. O foco prioritário da interpretação sísmica neste trabalho foram os registros da porção superficial do pacote sedimentar, mais especificamente ao intervalo que corresponde ao Pleistoceno até o recente.

Como efeito indesejável, foi verificado que a direção do levantamento sísmico imprimiu nos registros referentes à reflexão da interface água e sedimento marcas de mesma direção, porém sem comprometer o resultado final.

Na interpretação foi rastreado o horizonte correspondente ao fundo do mar, o que permitiu a geração de diversos atributos sísmicos, como amplitude, amplitude RMS de janelas sísmicas abaixo do fundo do mar, geração de cubo tridimensional de coerência, além da confecção de mapas batimétricos com grande resolução horizontal.

Os dados obtidos da sísmica e sua associação com as amostras de fundo disponíveis na área de estudo formaram o embasamento para definição da distribuição faciológica recente dos carbonatos dominados por algas vermelhas coralináceas.

2.2 - MAPA BATIMÉTRICO

Com o rastreamento do horizonte sísmico referente ao fundo do mar, foi gerado um mapa batimétrico em tempo preliminar e convertido para profundidade usando o valor de 1.540 m/s como velocidade média padrão para a velocidade da água.

O uso desse mapa batimétrico convencional permite identificar as feições fisiográficas mais marcantes da área de estudo (Fig. 12), porém sem um grau de detalhamento necessário para uma análise mais acurada.

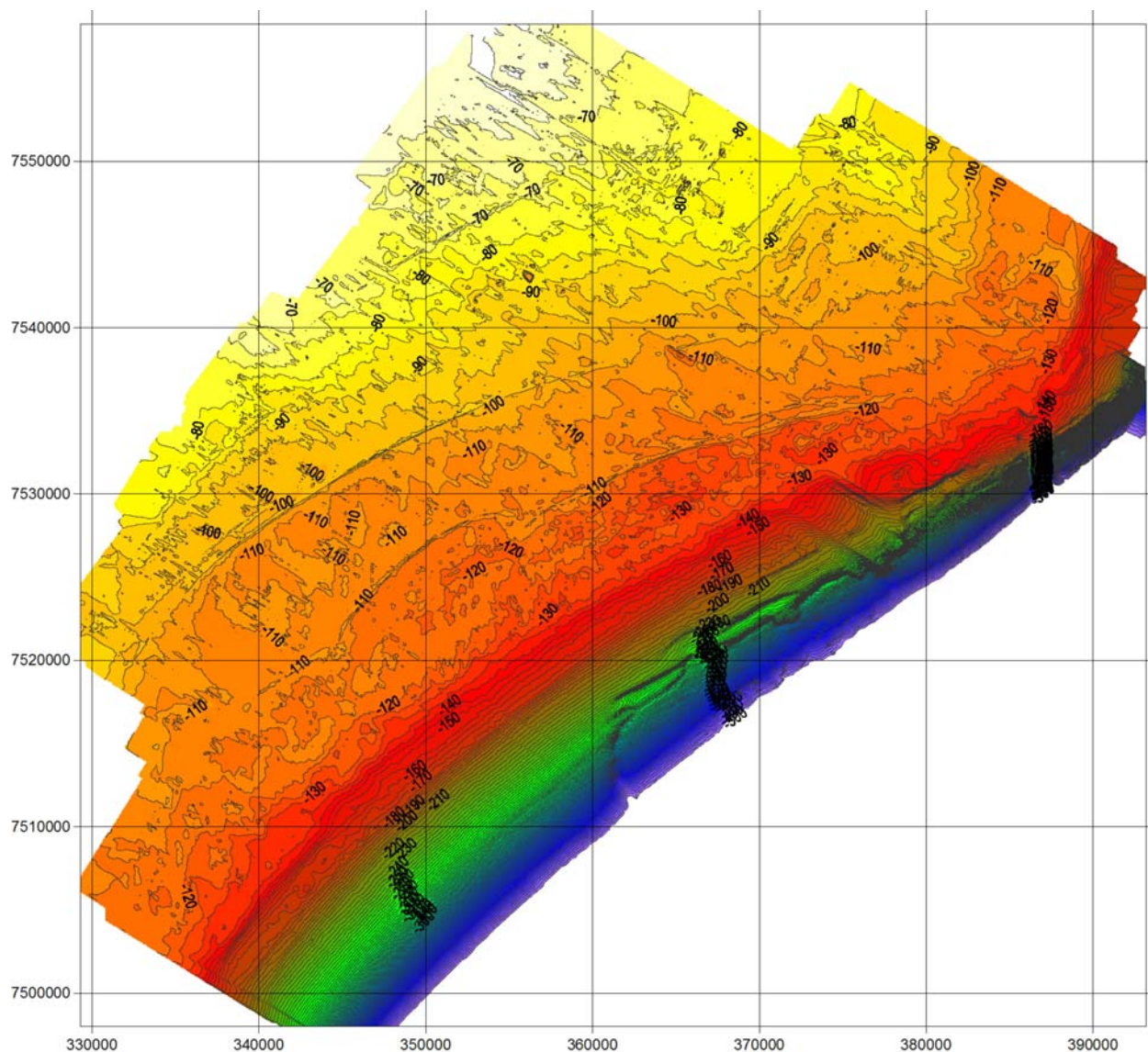


Figura 12. Mapa de curvas batimétricas da área de estudo, onde é possível identificar as principais feições fisiográficas (alinhamentos).

2.3 - MAPA SOMBREADO

A partir dos dados batimétricos foi usado o artifício de gerar um mapa sombreado com o objetivo de tentar ressaltar as feições fisiográficas de difícil observação em mapas batimétricos convencionais. Por não utilizar curvas de

nível, o mapa sombreado tem por característica ressaltar as variações fisiográficas através de variações de tons da mesma cor, gerando o efeito de sombra. Porém, este tipo de representação gráfica não fornece valores batimétricos (Fig. 13).

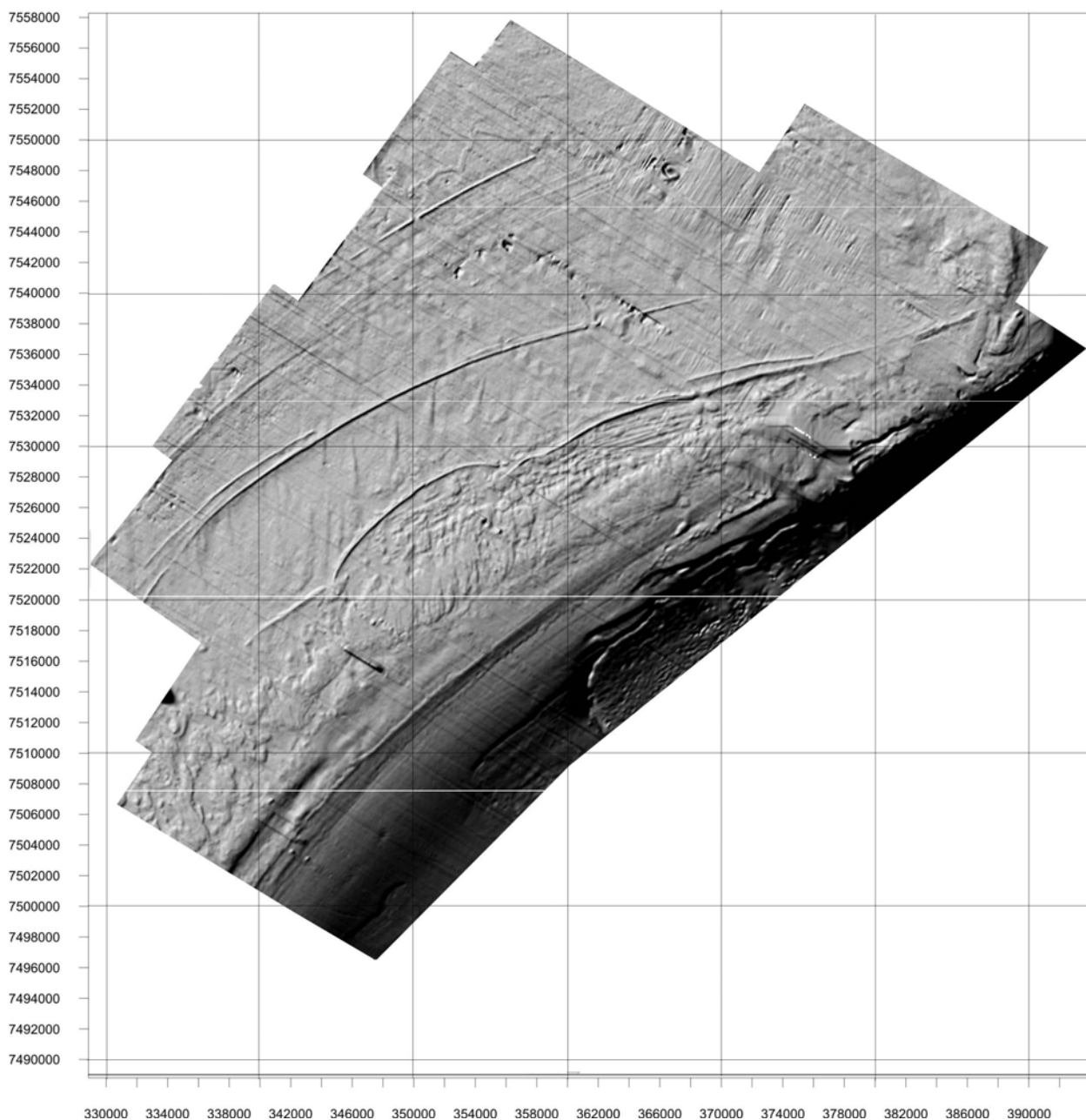


Figura 13. Mapa sombreado derivado da batimetria da área de estudo. Neste mapa é possível ressaltar com grande nitidez as feições fisiográficas do fundo marinho.

2.4 - MAPAS EM PERSPECTIVA

Os mapas em perspectiva correspondem a outro tipo de representação batimétrica gerada com a finalidade de auxiliar na visualização de feições fisiográficas do fundo marinho. O princípio de construção é semelhante ao do mapa sombreado, onde o objetivo é ressaltar variações de relevo por efeito de sombra. Para se destacar o relevo e evidenciar os elementos desejados, usam-se diferentes ângulos de visadas e variações na direção de iluminação. Neste tipo de mapa também é possível representar as variações batimétricas através de diferentes cores (Fig. 14).

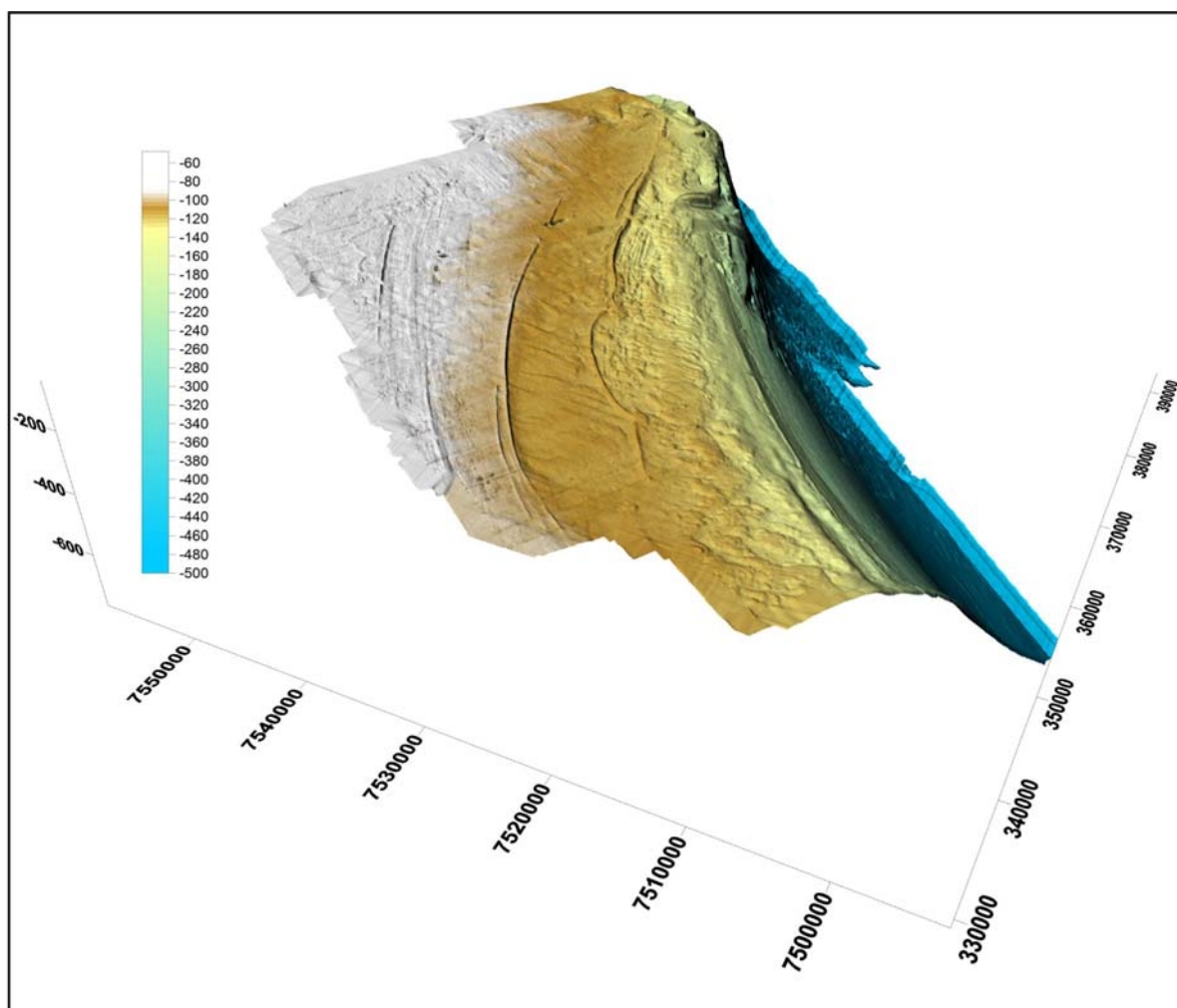


Figura 14. Mapa batimétrico em perspectiva da área de estudo. As feições fisiográficas são destacadas usando-se ângulo de visadas diferentes e variações na iluminação.

2.5 - MAPA DE AMPLITUDE

A amplitude sísmica é um atributo relativo ao coeficiente de reflexão da superfície que separa dois meios, sendo função direta de suas impedâncias acústicas.

A impedância de um meio é definida pela sua velocidade e densidade. Quanto maior for a diferença entre as impedâncias, maior será o coeficiente de reflexão e, com isso, maior a amplitude de reflexão da superfície que separa os dois meios, como é o caso da interface água/sedimento, correspondente ao fundo do mar.

O volume 3D disponível foi projetado para pesquisar reflexões mais profundas. Por serem muito rasas, as reflexões relativas ao fundo marinho da plataforma continental da Bacia de Campos, são muito afetadas. A perda de qualidade é devida à eliminação, no processamento sísmico, da quase totalidade dos registros relativos a esta superfície, em face ao grande estiramento sofrido pelos traços sísmicos relativos à reflexão do fundo do mar.

A perda da qualidade nas reflexões rasas do horizonte relativo ao fundo do mar implica na obtenção de mapas de amplitude com pouca qualidade em face ao exposto. Porém, mesmo com este fator limitante, o mapa de amplitude do horizonte rastreado correspondente ao fundo do mar, forneceu subsídio complementar para a definição das variações faciológicas dos carbonatos existentes na área de estudo, onde a variação de amplitude foi utilizada como um auxiliar na predição das variações texturais entre os sedimentos carbonáticos.

Neste tipo de mapa de atributos se percebe a influência da direção de levantamento de aquisição dos dados sísmicos, onde a direção NW-SE, fica evidenciada pela alternância lateral na variação das amplitudes (Fig. 15).

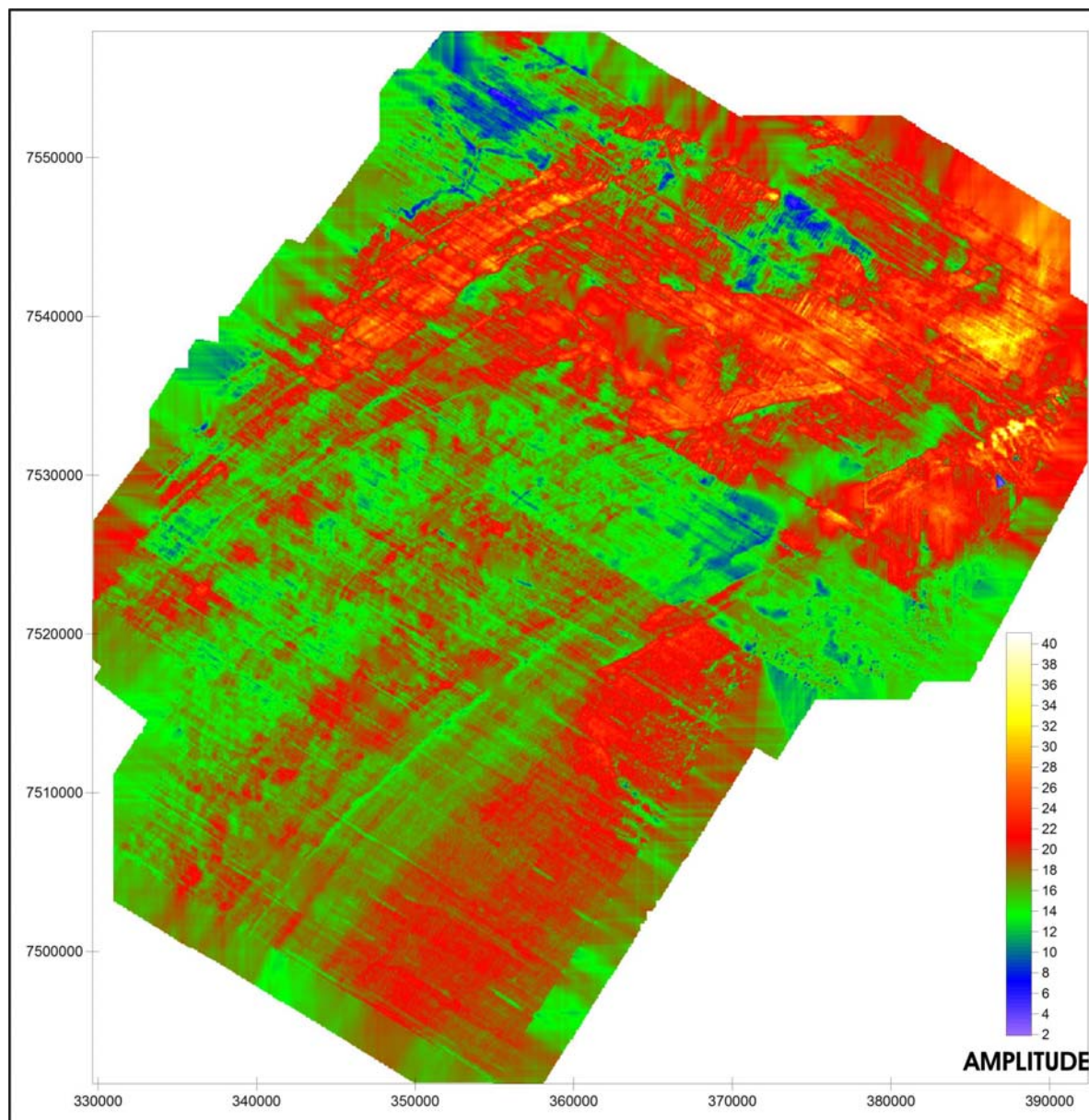


Figura 15. Mapa de amplitude do fundo do mar da área de estudo. Apesar da qualidade ser afetada devido às reflexões rasas relativas a este horizonte, é um bom indicativo das variações faciológicas nos sedimentos carbonáticos do Recente.

2.6 - MAPA DE AMPLITUDE RMS

Foram gerados mapas de amplitude RMS referentes a pacotes sedimentares dentro da seção terciária rasa. Este atributo sísmico é útil por salientar as maiores amplitudes presentes dentro de pacotes sedimentares, tanto das reflexões positivas como negativas, sendo de grande utilidade para captar variações do sinal sísmico decorrentes de mudanças faciológicas da rocha.

2.7 - MAPA DE DECLIVIDADE

Os dados numéricos de batimetria podem ser utilizados como base para varias derivações, uma destas derivações são os mapas temáticos de declividade do fundo oceânico, estes mapas podem ser divididos em faixas de declividade ou expresso em curvas de níveis em graus, o mapa de declividade foi gerado e utilizado para se quantificar o comportamento das inclinações presentes na área de plataforma média e externa e talude superior da área de estudo.

2.8 - DADOS DE COERÊNCIA

De posse do cubo sísmico tridimensional, foi processado um novo cubo sísmico em que os dados de amplitude foram convertidos para dados de coerência.

O cubo de coerência é o resultado do diagnóstico de cada ponto dentro do cubo sísmico 3D convencional, onde estes pontos são analisados e comparados com outros pontos posicionados nos três eixos de coordenadas. Como resultado obtém-se um realce dos aspectos não coerentes, ou seja, interrupções na continuidade sísmica.

Este cubo serviu como base para identificar feições fisiográficas mais acentuadas do pacote sedimentar correspondente ao Terciário Superior. Foram

geradas janelas sísmicas onde foi analisado o grau de coerência dos pacotes sedimentares selecionados como alvo de pesquisa. Esta análise permitiu identificar diversos lineamentos carbonáticos.

2.9 - DESCRIÇÕES DE TESTEMUNHOS (KULLENBERGS) E AMOSTRAS DE FUNDO

Durante o final da década de 70 foi realizada uma campanha de aquisição de dados referente ao fundo oceânico da plataforma continental da Bacia de Campos, com o emprego dos navios Astragale e Alagoinha. O objetivo da campanha era buscar subsídios geotécnicos para o traçado do sistema de dutos Badejo-Enchova, Enchova-Barra do Furado e Garoupa-Barra do Furado.

Foram realizadas amostragens do fundo marinho com dragas, busca-fundos e *Kullenbergs* (testemunhos superficiais obtidos por gravidade via queda de tubo, no caso, pesando 400 kg), ao longo de trechos mais favoráveis para a instalação destes dutos. O trecho utilizado neste trabalho foi o de Garoupa-Barra do Furado, que está contido na área de estudo.

As amostras não foram preservadas fisicamente, sendo aqui utilizadas as descrições geológicas de 03 amostras e de 06 *Kullenbergs* realizadas por Doris (1979). Estes últimos não penetraram profundidades maiores do que 1 m, devido ao fundo marinho apresentar alto conteúdo de sedimentos de textura grossa, na fração areia até seixo, o que dificulta a penetração deste tipo de testemunhagem.

Basicamente as amostragens foram realizadas sobre e próximas a elevações mais proeminentes, ao longo do traçado dos dutos, com a finalidade de estudar o impacto que estas elevações poderiam causar sobre os dutos a serem

implantados. Com isto foram amostrados vários lineamentos carbonáticos presentes na área (Fig. 16).

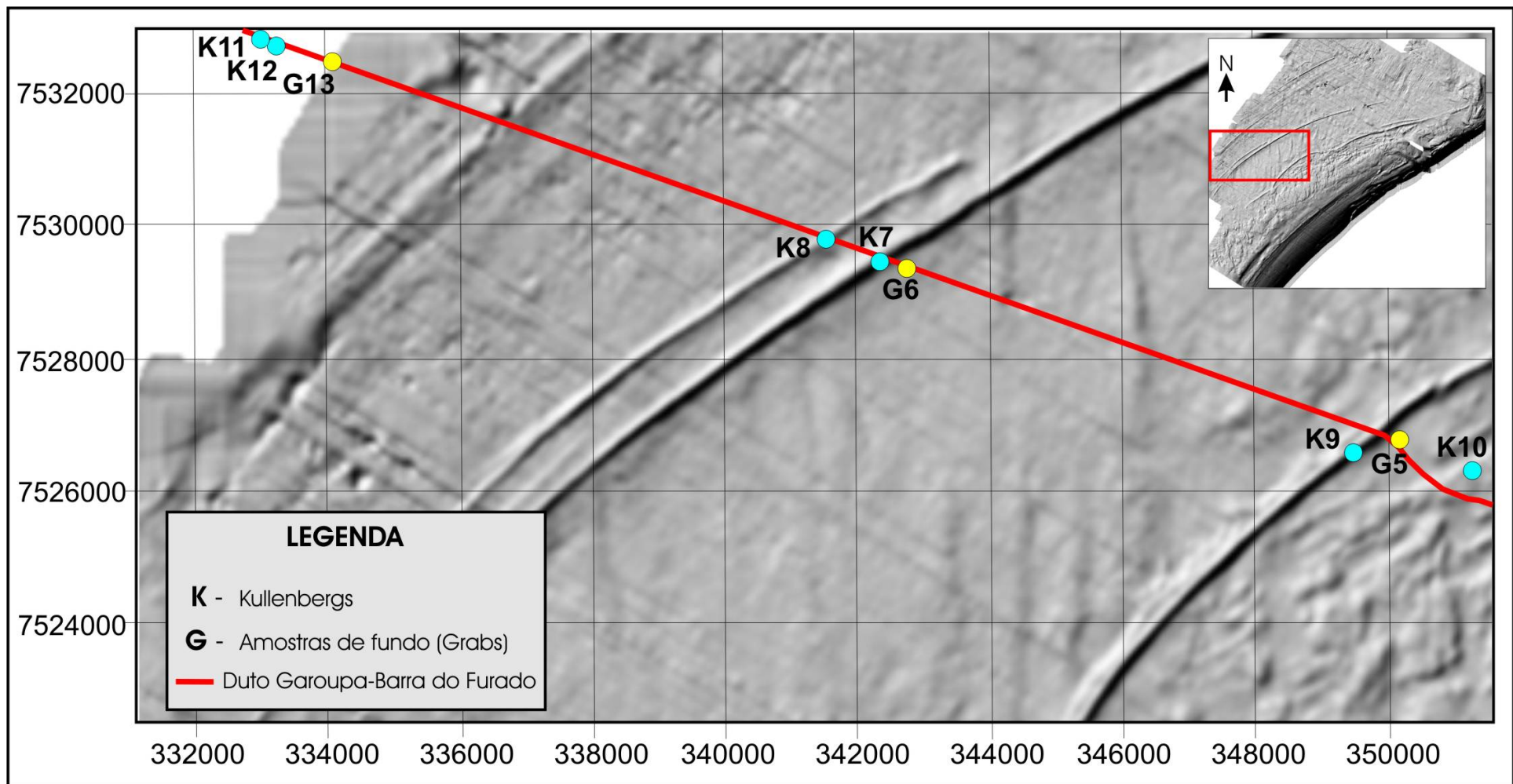


Figura 16. Mapa batimétrico sombreado mostrando os lineamentos carbonáticos recentes e o posicionamento das amostras de fundo e Kullenbergs obtidos na campanha geotécnica para definir o traçado do duto Garoupa-Barra do Furado.

2.10 - AMOSTRAS DE FUNDO

Foram localizadas e recuperadas fisicamente 16 amostras de fundo coletadas na área de estudo em diversas campanhas oceanográficas dos projetos REMAC e GEOMAR (Fig. 17). As amostras encontravam-se guardadas nos laboratórios de sedimentologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e da Universidade Federal Fluminense. A participação dessas instituições de ensino e pesquisa nos projetos acima citados, consistiu na realização das análises sedimentológicas e armazenamento das amostras.

A recuperação física destas amostras permitiu a confecção de lâminas petrográficas de carbonatos além de servir como base para a padronização das descrições litológicas disponíveis no banco de dados da Geologia Marinha da Petrobrás.

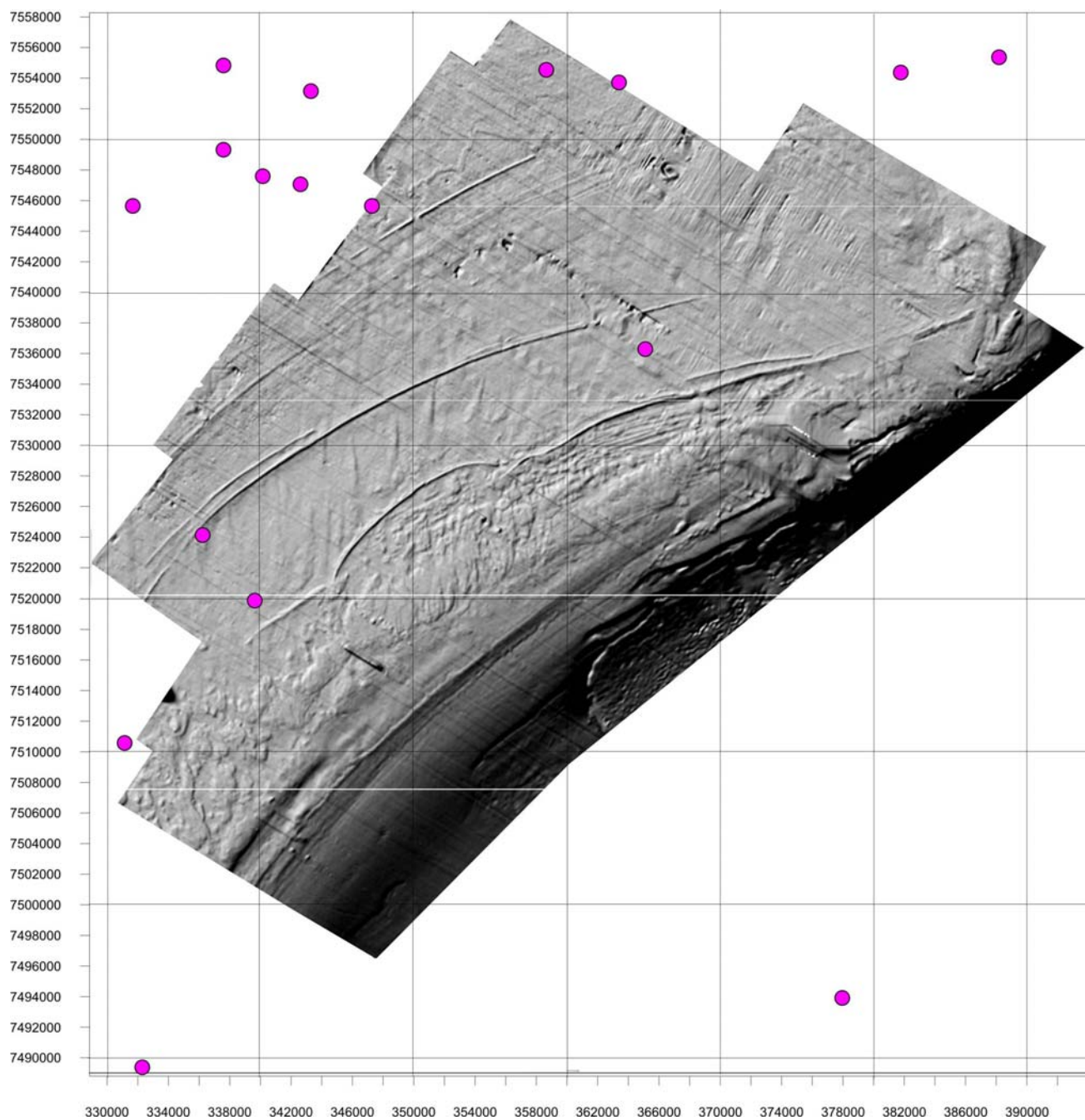


Figura 17. Mapa batimétrico sombreado ressaltando as feições fisiográficas dos carbonatos recentes com o posicionamento das amostras de fundo oriundas das campanhas oceanográficas dos projetos REMAC e GEOMAR.

2.11 - BANCO DE DADOS DA GEOLOGIA MARINHA DA PETROBRÁS

O banco de dados da Geologia Marinha da Petrobrás é composto por descrições de sedimentos de fundo que foram coletados nas últimas décadas para dar subsídio às atividades da indústria do petróleo. Em geral a coleta de material para análise é feita para auxiliar na instalação de equipamentos submarinos envolvidos na produção e escoamento de hidrocarbonetos.

Normalmente as principais atividades que necessitam de investigação do fundo marinho são campanhas geotécnicas regionais de reconhecimento de fundo marinho, reconhecimento geotécnico ao longo do traçado de dutos, coleta de amostras para dar subsídio para instalação de plataformas fixas e para ancoragem de plataformas semi-submersíveis, dentre outras.

São vários os procedimentos utilizados para a coleta de dados. As amostras podem ser obtidas por meio de amostragens a pistão, testemunhagens rotativas e amostragens convencionas de fundo. Outro método de obtenção de amostras de fundo é através do uso de ROV (Remotely Operated Vehicles), que são equipamentos submarinos remotamente monitorados da superfície por meio de câmeras, e equipados com ferramentas para diversos fins, dentre eles a coleta de sedimentos.

As descrições de amostras desse banco não possuem uma padronização, e em grande parte foram realizadas para atender diversas necessidades da engenharia submarina, e que necessitaram ser reclassificadas.

Neste trabalho foram utilizadas descrições de 152 amostras (Fig. 18) que foram reinterpretadas com base na classificação de rochas carbonáticas de Dunhan (1962), tendo como balizamento as amostras referentes aos projetos REMAC e GEOMAR.

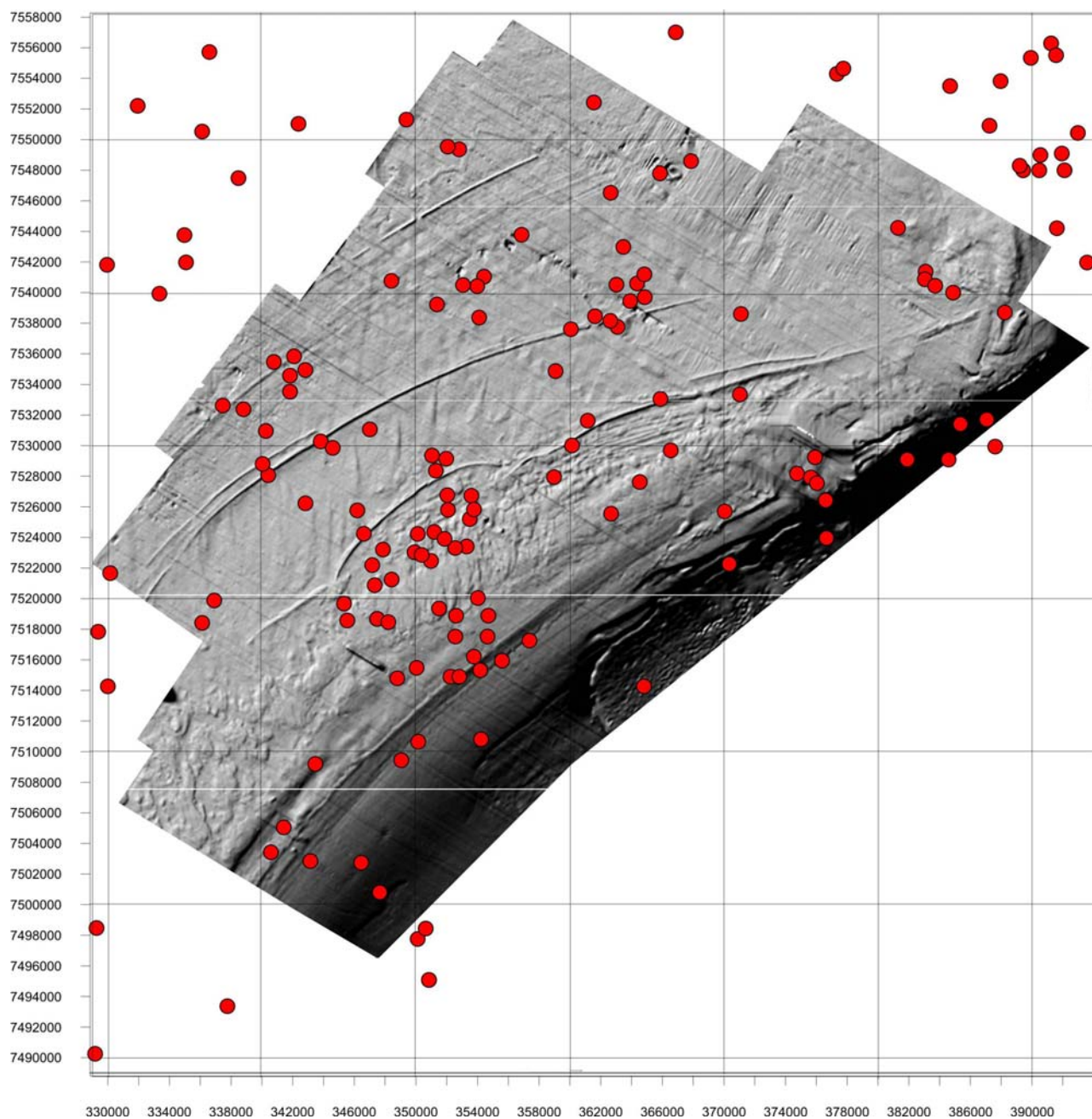


Figura 18. Mapa batimétrico sombreado ressaltando as feições fisiográficas dos carbonatos recentes e o posicionamento das amostras com descrições existentes no banco de dados da Geologia Marinha da Petrobrás.

2.12 - IMAGENS DE DUTOS

Campanhas de inspeção de integridade de dutos são freqüentemente realizadas com a finalidade de se constatar a segurança e integridade da malha de dutos existentes na Bacia de Campos. Um tipo de inspeção realizada com freqüência é a análise visual externa dos dutos. O procedimento de inspeção utilizado consiste no uso de ROVs (Remotely Operated Vehicles) equipados com câmeras de filmagem (Fig. 19), que percorrem o traçado dos dutos obtendo imagens do aspecto geral dos mesmos e o substrato onde estão assentados.

De posse do banco de imagens de inspeção foi realizada uma triagem das imagens contidas na área de estudo, onde foram selecionados 03 segmentos que percorreram a extensão da plataforma continental e parte do talude superior (Fig. 20). As imagens selecionadas forneceram informações importantes sobre o aspecto faciológico do fundo marinho, bem como permitiram avaliar as características incrustantes das algas vermelhas no próprio duto.



Figura 19. Exemplo de um ROV (Remotely Operated Vehicle), utilizado para diversos fins operacionais, dentre eles a inspeção externa de dutos.

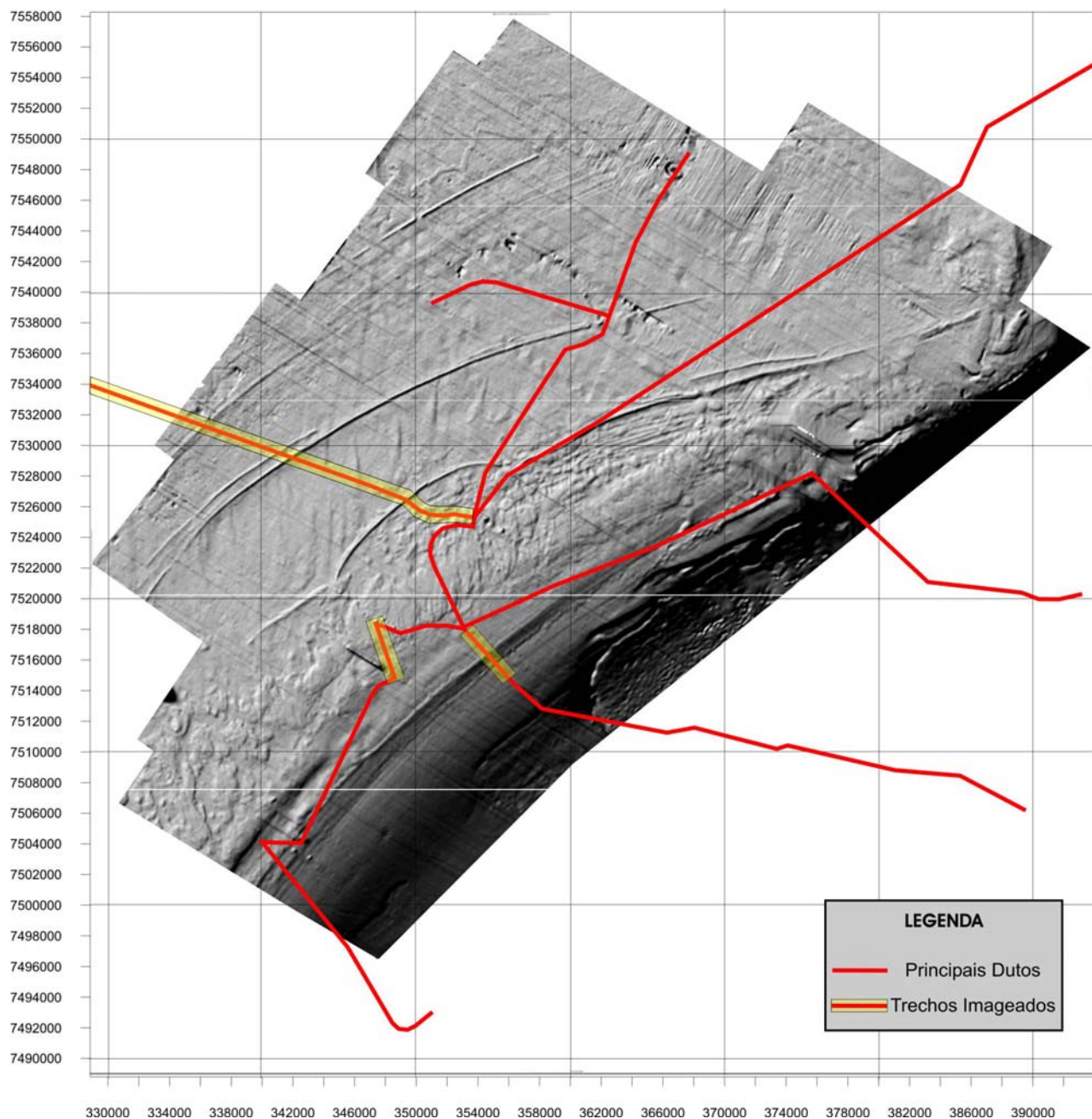


Figura 20. Mapa batimétrico sombreado ressaltando as feições fisiográficas dos carbonatos e o traçado dos principais dutos presentes na área de estudo. Em amarelo a localização dos 3 segmentos de dutos com imagens submarinas disponíveis para análise faciológica do fundo.

CAPÍTULO 3

FISIOGRAFIA DA ÁREA DE ESTUDO

3 - FISIOGRAFIA DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada aproximadamente na parte central da Bacia de Campos, mais precisamente na porção da plataforma média e externa até o talude superior, abrangendo profundidades que variam, aproximadamente, entre 65 e 300 m (Fig. 1).

Até a batimetria de 130 m o fundo marinho caracteriza-se por apresentar uma topografia suave, com declividades médias entre 0° a 1°, típicas de zonas de plataforma. A transição entre a quebra da plataforma e o talude ocorre na faixa de 130 a 180 m onde as declividades começam a apresentar valores de 2° a 3°. O talude superior, por sua vez, apresenta uma declividade média com valor próximo a 5°.

Diferentes províncias fisiográficas, diretamente relacionadas ao padrão deposicional das algas vermelhas coralináceas, podem ser reconhecidas na área de estudo. Estas províncias fisiográficas, geradas pela deposição carbonática, ocorrem sob a forma de bancos carbonáticos, lineamentos carbonáticos com direção próxima ou paralela à linha de costa atual, lineamentos em forma de barras, com direção oblíqua em relação à linha de costa atual, e patamares caracterizados por relevo mais suave (Fig. 21).

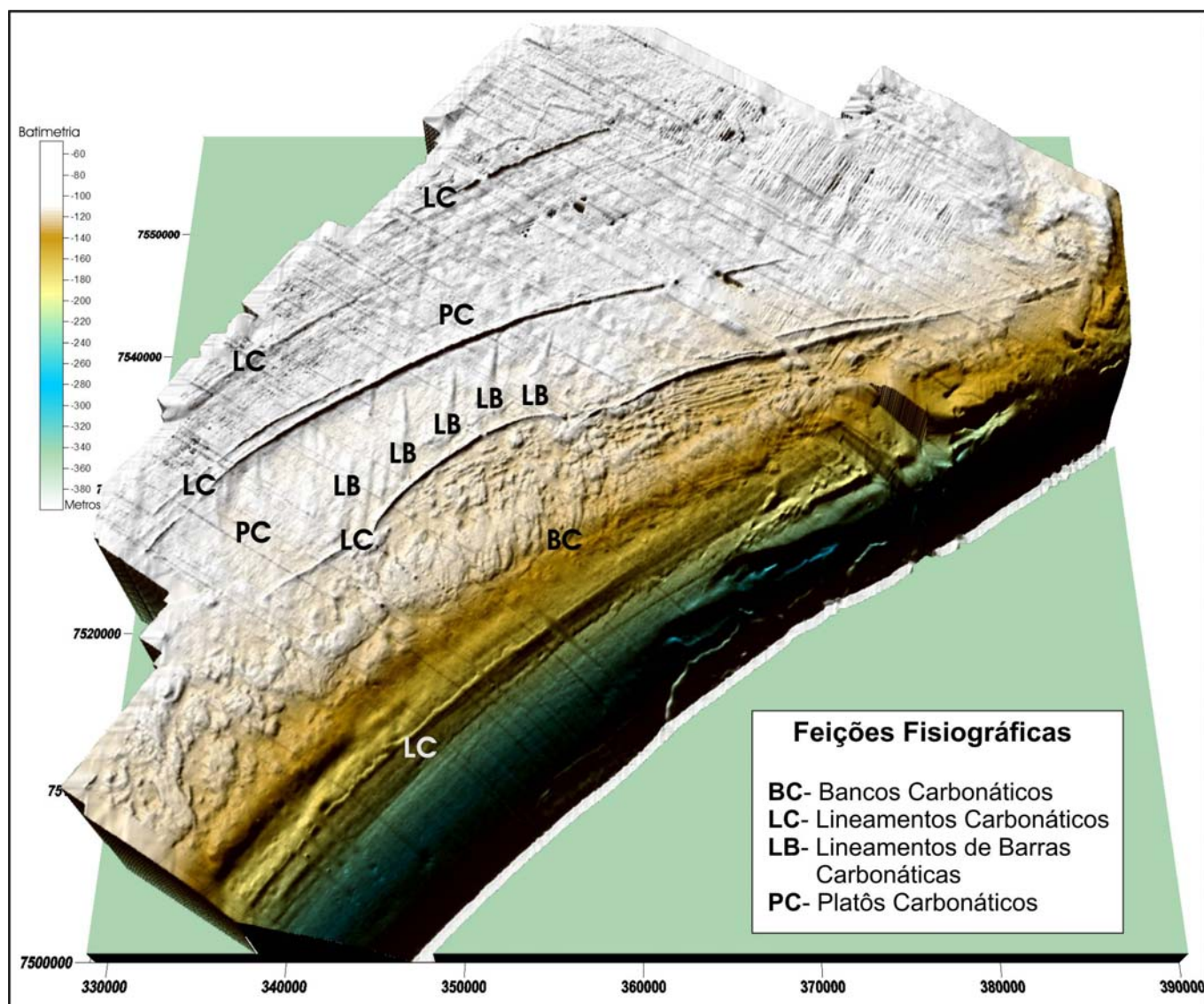


Figura 21. Perspectiva do fundo marinho com feições fisiográficas dos carbonatos da plataforma média e externa da área de estudo: 1) Bancos carbonáticos (**BC**). 2) Lineamentos carbonáticos com direção próxima ou paralela à linha de costa atual (**LC**). 3) Lineamentos em forma de barras, de direção oblíqua em relação à linha de costa atual (**LB**). 4) Platôs, caracterizados pelo relevo mais suave (**PC**).

3.1 - BANCOS CARBONÁTICOS

Os bancos carbonáticos ocorrem na borda mais externa da plataforma continental, em um patamar entre as batimetrias de 115 e 160 m. Ocupam uma faixa de 68 km de comprimento, com uma largura que varia de 4,5 km no quadrante NE a 10 km no quadrante oposto, abrangendo, na área de estudo, toda a extensão longitudinal da quebra da plataforma (Figs. 21 e 22). Esta província fisiográfica distingue-se por apresentar um fundo rugoso, o qual é constituído de bancos de algas vermelhas coralináceas incrustantes que formam alternâncias sucessivas de baixos e altos, com variações de relevo que atingem de 1 a 6 m.

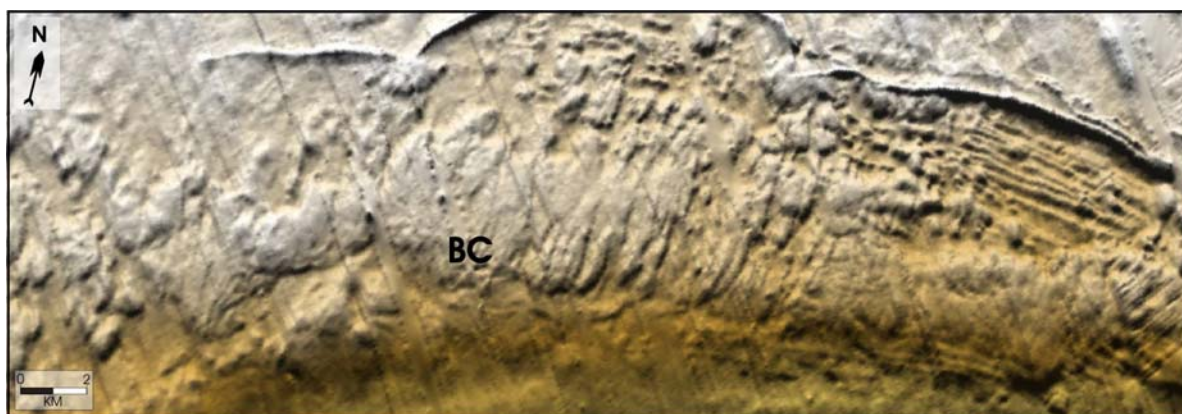


Figura 22. Perspectiva em detalhe do fundo marinho da borda externa da plataforma, entre as batimetrias de 115 a 160m, mostrando a presença de bancos carbonáticos de algas vermelhas (**BC**). Os bancos carbonáticos se caracterizam por serem compostos por incrustações carbonáticas que formam relevos positivos e irregulares que variam de 1 a 6 m.

3.2 - LINEAMENTOS CARBONÁTICOS

Foram identificados diversos conjuntos de lineamentos formados por bioconstruções carbonáticas de algas vermelhas coralináceas formando elevações alongadas no relevo submarino. Também podem ocorrer sob forma de grupos paralelos e próximos entre si. Os lineamentos apresentam como característica

comum o paralelismo com o talude e a linha de costa atual, e estão restritos a cotas batimétricas bem definidas. Os lineamentos normalmente marcam a passagem entre patamares, exceto os que se encontram circunscritos às cotas batimétricas de 170 a 230 metros (figura 21).

3.2.1 – LINEAMENTOS CARBONÁTICOS DE COTA BATIMÉTRICA ENTRE 170 A 230 METROS

No talude superior, em lâmina de água de 170 a 230 m, ocorre o conjunto de lineamentos carbonáticos mais profundo, com relevo pouco saliente, em média de 1 a 2 m. O sistema é composto por várias faixas paralelas à quebra da plataforma, com comprimento de 40 km (até o limite da área de estudo) e largura máxima aproximada de 3 km no quadrante SW (Figs. 21 e 23).

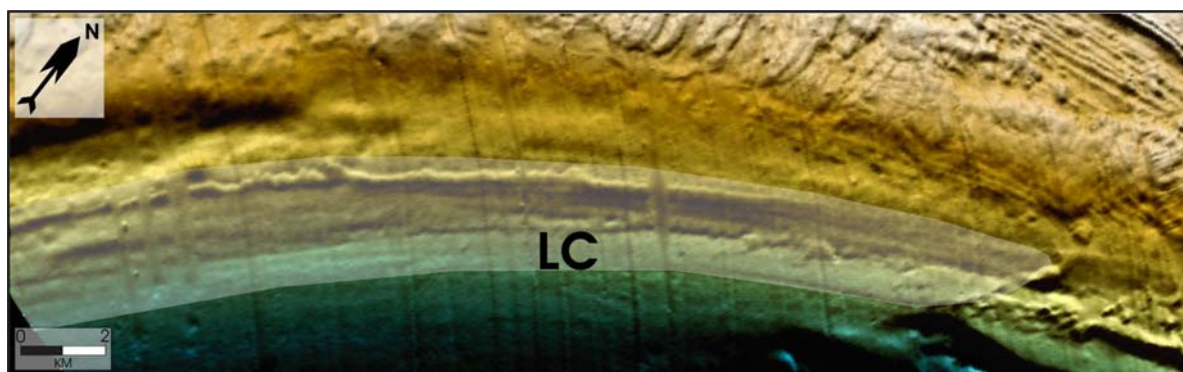


Figura 23. Perspectiva em detalhe do fundo marinho mostrando a faixa que representa o conjunto de lineamentos carbonáticos de algas vermelhas entre as batimetrias de 170 a 230m. Os bancos carbonáticos se caracterizam por incrustações carbonáticas que formam relevos positivos e irregulares que variam em média de 1 a 2 m. (LC= Lineamentos Carbonáticos)

3.2.2 - LINEAMENTOS CARBONÁTICOS DA COTA BATIMÉTRICA DE 110 METROS

Adjacente e delimitando os bancos carbonáticos em direção ao continente encontra-se o segundo conjunto de lineamentos carbonáticos (Figs 21 e 24), seguindo aproximadamente a batimetria de 110 m. Apresenta 50 km de extensão (até o limite da área de estudo) e largura de aproximadamente 400 m. É topograficamente saliente e apresenta uma crista segmentada e uma segunda crista subparalela de menor expressão no quadrante NE. Possui um relevo positivo médio de 10 m no flanco voltado para *offshore*, e de 4 a 6 m de elevação em relação ao patamar na direção *onshore*.

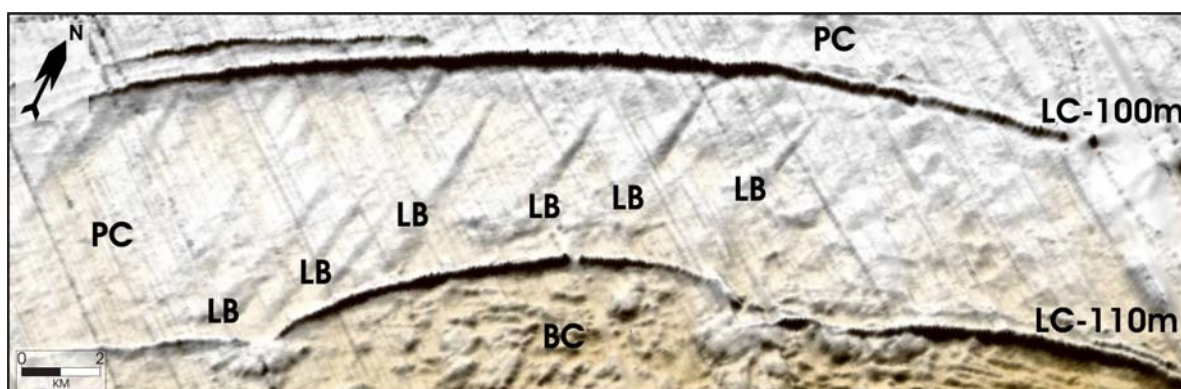


Figura 24. Perspectiva em detalhe do fundo marinho, com destaque ao relevo pronunciado (5 a 10m) dos lineamentos carbonáticos localizados nas cotas batimétricas de 110m (**LC-110m**), e 100m (**LC-100m**), que delimitam os patamares carbonáticos (**PC**). Lineamentos carbonáticos em forma de barras (**LB**), desenvolvidos no interior dos patamares com relevo máximo de 4m, e bancos carbonáticos (**BC**) com relevos de 1 a 6 m.

3.2.3 - LINEAMENTOS CARBONÁTICOS DA COTA BATIMÉTRICA DE 100 METROS

Um terceiro conjunto de lineamentos carbonáticos posiciona-se, aproximadamente, na cota batimétrica de 100 m. Este sistema apresenta paralelismo com a linha de costa e a quebra da plataforma continental. Possui 44 km de comprimento e largura entre 350 e 400 m. Um segmento paralelo, de menor tamanho, ocorre no quadrante SW (Figs. 21 e 24). Delimita, topograficamente, dois patamares, apresentando um relevo semelhante ao conjunto de lineamentos anterior, com pontos isolados de até 12 m de desnível na face *offshore* e 5 a 6m no flanco oposto.

3.2.4 - LINEAMENTOS CARBONÁTICOS DE COTA BATIMÉTRICA ENTRE 70 a 85 METROS

Na faixa batimétrica entre 70 e 85 m observa-se outro conjunto de lineamentos carbonáticos caracterizado por uma sucessão de lineamentos pouco perceptíveis limitados por lineamentos maiores (Figs. 21 e 25).

O primeiro lineamento carbonático deste conjunto está posicionado na cota de 85 m. Seu relevo é de até 5m, perdendo expressão em direção a NE. Seqüencialmente a este ocorrem vários segmentos paralelos e pouco expressivos com relevo máximo de 1m, até atingirem a cota de 70 m, onde se estabelece o lineamento carbonático de 70 m, que apresenta relevo máximo de 8m, o mais expressivo desse conjunto de lineamentos.

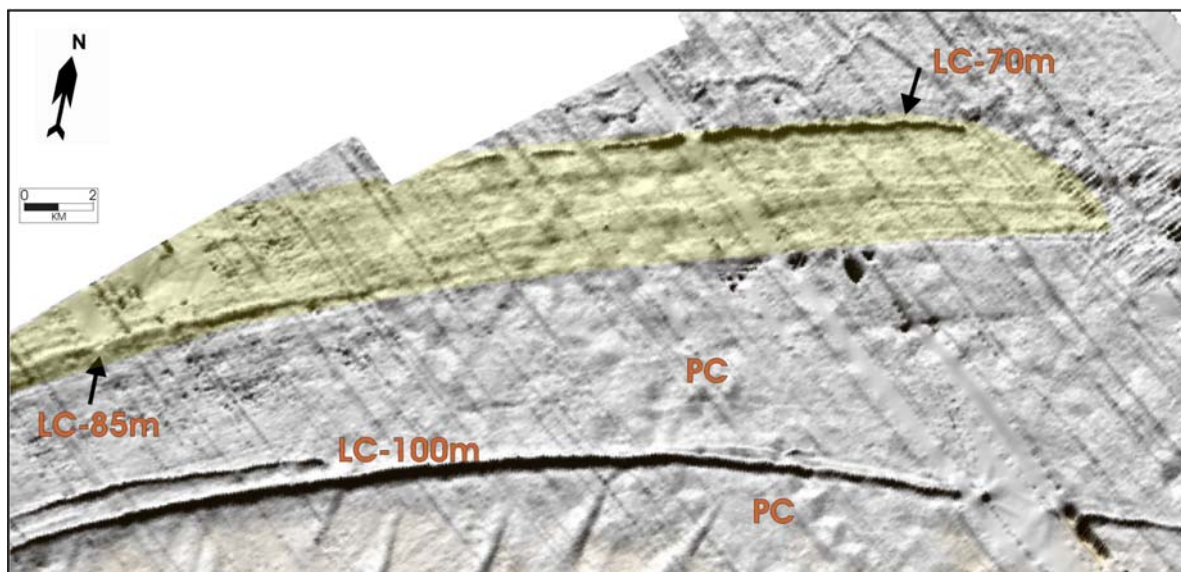


Figura 25. Perspectiva em detalhe do fundo marinho, onde estão destacados os lineamentos carbonáticos localizados na cota batimétrica de 85m (**LC-85m**), com relevo máximo de 5m, e 70m (**LC-70m**), com relevo máximo até 8m. Estes lineamentos são menos desenvolvidos que aqueles situados em lamina de água maiores. A zona em destaque mostra também uma seqüência de vários lineamentos paralelos e pouco expressivos, com relevo máximo de 1m, localizados preferencialmente entre os lineamentos de 85 e 70m. Também é observado o lineamento carbonático da cota batimétrica de 100m (**LC-100m**), que marca a passagem entre os patamares carbonáticos (**PC**).

3.3. PATAMARES CARBONÁTICOS

São individualizados, na área de estudo, dois patamares carbonáticos mais significativos. O primeiro está limitado pelos lineamentos carbonáticos de 100 m e 110 m (Fig. 24) e o segundo, entre os lineamentos de 85 m e 100 m (Fig. 25). Possuem relevo suave e baixo mergulho, largura média de 5 km e abrangem, longitudinalmente, toda a extensão da área estudada.

3.4. LINEAMENTOS DE BARRAS CARBONÁTICAS

No interior dos patamares observam-se suaves elevações alongadas formadas por barras carbonáticas orientadas preferencialmente na direção N-S. Possuem extensão média de 4 a 5 km e largura variando entre 300 m e 1 km. Estas barras apresentam relevo muito suave, com altura até 4 m em sua porção mais proeminente (Figs. 21 e 24).

CAPÍTULO 4

AMBIENTE DEPOSICIONAL RECENTE DAS ALGAS VERMELHAS CORALINÁCEAS NA BACIA DE CAMPOS

4 - AMBIENTE DEPOSICIONAL RECENTE DAS ALGAS VERMELHAS CORALINÁCEAS NA BACIA DE CAMPOS

Como regra geral, os carbonatos desenvolvem-se em condições de águas rasas e sob condições hidrodinâmicas controladas pela ação das ondas e marés (Tucker & Wright, 1990). A maior produtividade de carbonatos ocorre, geralmente, nos primeiros dez metros de profundidade, diminuindo rapidamente à medida que a lâmina de água aumenta (Schlager, 1981). Na Bacia de Campos, os carbonatos albianos da Formação Macaé seguem essa regra, desenvolvendo-se nestes ambientes habituais e consagrados para a sedimentação carbonática.

No trabalho aqui apresentado, propõe-se que a deposição moderna das algas coralináceas vermelhas da Bacia de Campos ocorra em cotas batimétricas muito superiores às interpretadas para os depósitos carbonáticos da Formação Macaé. Nestas profundidades maiores, o regime hidrodinâmico de marés e ondas seria substituído por um regime controlado pelas correntes marinhas presentes na plataforma continental média e externa, alterando com isto a distribuição faciológica.

Os depósitos sedimentares superficiais encontrados na área de estudo refletem as variações ocorridas no oceano desde o final do Pleistoceno. O máximo do rebaixamento do nível do mar, ocorrido durante o último período glacial

do Pleistoceno na Plataforma Continental Sul e Sudeste Brasileira foi em torno de 120 a 130 m abaixo do nível atual (Corrêa & Toldo, 2001). Valores similares foram encontrados na região de Barbados no Atlântico Norte, onde a curva eustática foi gerada por datações de Carbono 14 em corais fósseis e a profundidade de ocorrência destes (Fairbanks, 1989; Bard *et al.*, 1990).

Um dado importante, mostrando que o ambiente de deposição das algas vermelhas na Bacia de Campos foi mais profundo do que é normalmente considerado, é o fato de que, no talude superior da área de estudo, a queda de 120 m no nível do mar não foi suficiente para criar um ambiente nerítico raso no conjunto de lineamentos de algas vermelhas coralináceas, hoje posicionado entre as batimetrias de 170 a 230 m. Nesta época de máximo rebaixamento, estes lineamentos estavam se formando em batimetrias de 50 a 110 m, ou seja, em profundidades muito maiores do que se esperaria, a princípio, em um modelo convencional para carbonatos. Portanto, nesta situação, os carbonatos estariam sujeitos a novos fatores hidrodinâmicos e, com isto, a uma diferente distribuição de fácies.

O desenvolvimento comum de algas coralináceas crustosas em águas quentes, rasas e agitadas, pode dar a falsa impressão de que estas são as suas condições ambientais características. Todavia, algas coralináceas crustosas vivem em ambientes polares tão bem como em condições tropicais. Elas comumente formam o componente dominante de comunidades bentônicas, desde a zona de intermarés até o limite inferior da zona fótica, sendo a luz o fator primário controlador da distribuição das algas crustosas coralináceas em profundidade (Adey & Macintyre, 1973).

São vários os exemplos em que se constata a deposição de algas vermelhas em condições de profundidade maiores do que se esperaria dentro dos modelos consagrados para carbonatos. Na plataforma externa das ilhas Mikayo, no Japão, atualmente estão se formando rodolitos associados com foraminíferos em profundidades que vão de 60 até 150 m (Tsuji, 1993). Na plataforma externa leste da Austrália, região das Ilhas Fraser, em profundidades de água entre 40 e 140 m, foram identificados depósitos de rodolitos formados por algas vermelhas

recentes (Harrys *et al.*, 1996). Na mesma região também foram encontradas ocorrências entre 28 e 117 m, sendo que os rodolitos de algas vermelhas são os principais componentes da fábrica carbonática a partir dos 50 m de profundidade de água (Lund *et al.*, 2000).

Kowsmann (2001), ao datar amostras de algas calcárias da borda da plataforma continental, e do adjacente Terraço de Albacora, e confrontar estas datações com a curva eustática de Fairbanks (1989), encontrou defasagens entre 70 a 100 m, o que fez o autor supor que estas defasagens são devido às algas viverem em lâmina de água de dezenas de metros.

As análises de imagens derivadas de filmagens do fundo marinho ao longo dos percursos de dutos de escoamento de hidrocarbonetos foram fundamentais para a definição dos limites batimétricos da ocorrência de vida das algas vermelhas coralináceas na Bacia de Campos. Como os dutos cortam transversalmente as isóbatas ao longo de toda a plataforma, foi possível construir um gráfico qualitativo da distribuição da ocorrência das algas vermelhas no fundo marinho e no próprio duto, em relação à batimetria (Fig. 26).

A análise do gráfico permite fazer as seguintes constatações:

- a) Em isóbatas menores que 45 m, a ocorrência de algas coralináceas diminui drasticamente, possivelmente pela presença de maior competição pelo substrato rígido por outras biotas e, também, pela forte influência siliciclástica verificada na plataforma interna. O domínio da sedimentação siliciclástica na plataforma interna da Bacia de Campos é citado por Vicalvi & Milliman (1977), sendo secundária a presença de carbonatos, restritos a moluscos e foraminíferos bentônicos.
- b) Um franco desenvolvimento da fábrica carbonática de algas vermelhas ocorre preferencialmente entre as cotas batimétricas de 50 a 110 m, atingindo sua maior produtividade entre 60 e 90 m.
- c) O limite mais profundo da presença de algas vermelhas coralináceas vivas é atingido na cota batimétrica aproximada de 150 m. É considerado aqui que a parada da fábrica de algas vermelhas - que são organismos foto dependentes -

marca o limite da zona oligofótica para a zona afótica. Essa passagem é geograficamente atingida no limite da plataforma externa e talude superior.

Por depender diretamente da luminosidade, o limite mais profundo da ocorrência de algas vermelhas coralináceas é influenciado pela turbidez da água. Assim, a presença de maior ou menor conteúdo de partículas em suspensão irá interferir no posicionamento do limite inferior da zona oligofótica.

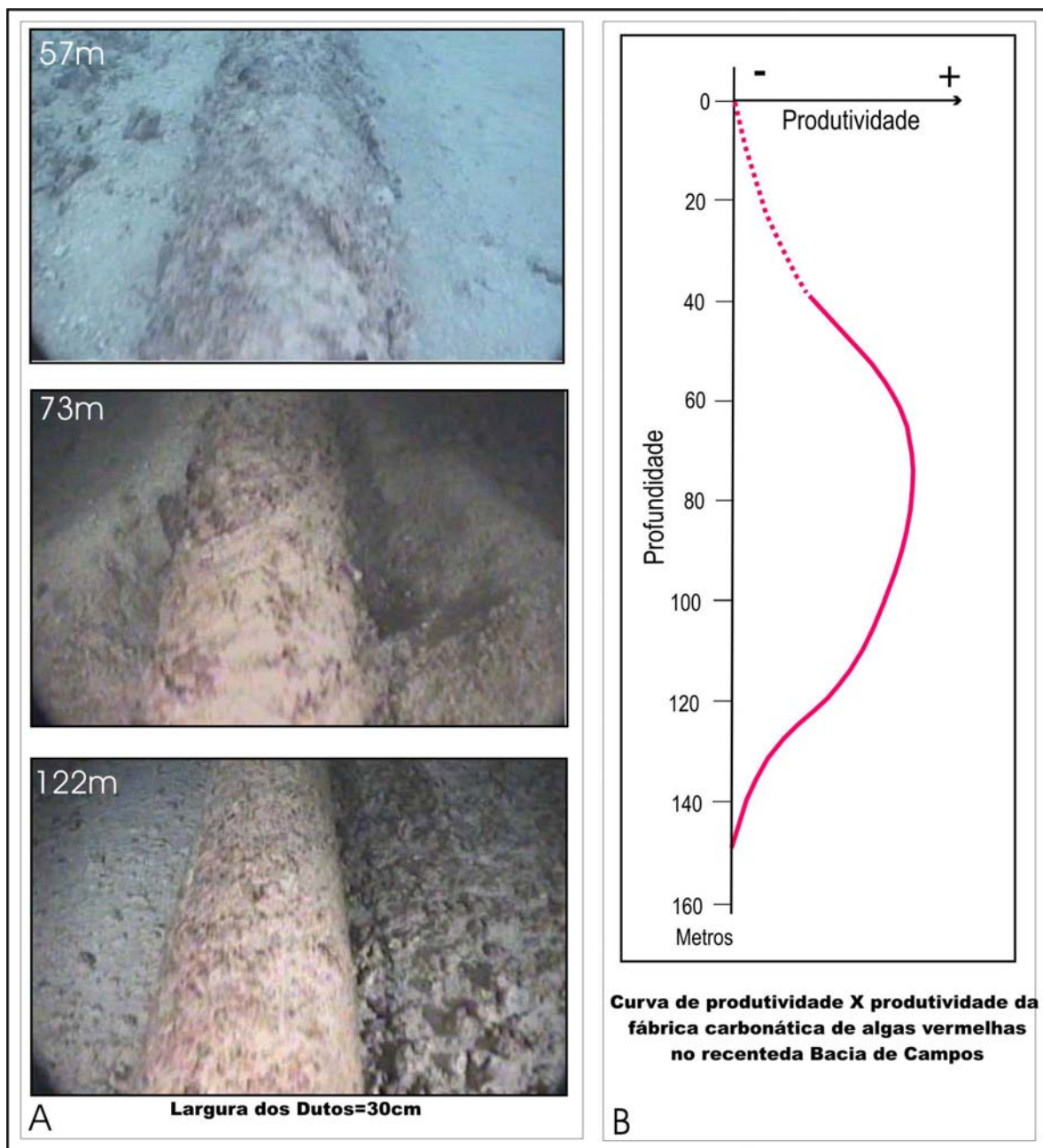


Figura 26. (A) Imagens submarinas de dutos mostrando a variação das incrustações de algas vermelhas vivas *versus* profundidade de lamina de água. Na profundidade de 57m ocorre a presença de *grainstones* e rodolitos, na de 73m há predomínio de *grainstones* e na de 122m, rodolitos e *grainstones*. (B) Curva de produtividade x profundidade da fábrica carbonática nos sedimentos superficiais da Bacia de Campos. Grande produtividade da fábrica carbonática ocorre entre as cotas batimétricas de 50 a 110m, sendo mais prolífera entre 60 a 90 m. Nas isóbatas menores que 45m a ocorrência de algas coralináceas diminui drasticamente, e o limite mais profundo de atividade da fábrica carbonática ocorre entre 145 a 150m, marcando a passagem para a zona afótica.

CAPÍTULO 5

FÁCIAS SEDIMENTARES

5 - FÁCIES SEDIMENTARES

A plataforma continental da Bacia de Campos, como as demais plataformas continentais do mundo, sofreu grande exposição subaérea durante o máximo rebaixamento do nível do mar ocorrido no final do Pleistoceno, sendo posteriormente afogada no evento transgressivo que se sucedeu. Estes eventos atuaram como fatores determinantes na gênese e distribuição das diversas fácies sedimentares que cobrem o fundo marinho da área de estudo (Figs. 27 e 28).

Neste trabalho, a definição das fácies sedimentares foi baseada na observação e associação de várias informações: dados sísmicos derivados da interpretação do volume 3D existente na área; amostras de fundo provenientes dos projetos GEOMAR e REMAC; descrições de amostras do banco de dados disponível na Geologia Marinha da Petrobrás; descrições de *Kullenbergs* e amostras de fundo derivadas do levantamento geotécnico para instalação do duto Garoupa-Barra do Furado; e, imagens do fundo marinho provenientes de inspeções submarinas de dutos.

Os sedimentos que cobrem o fundo marinho na área de estudo foram agrupados em 6 fácies sedimentares, descritas e interpretadas a seguir.

5.1 - FÁCIES AREIAS SILICICLÁSTICAS COM BIOCLASTOS (FSB)

Descrição

A *Fácies Areias Siliciclásticas com Bioclastos* está relacionada, fisiograficamente, aos Patamares (Fig. 21). Na porção norte-noroeste da área de estudo, em contato com os carbonatos, ocorre à presença significativa de sedimentos siliciclásticos (Fig. 27). Basicamente são areias de coloração amarelada a acinzentada, de granulometria variada, desde areia fina até atingir, localmente, a fração muito grossa. Composicionalmente são areias quartzosas em que os feldspatos estão presentes em caráter secundário e a presença de lama é pouco significativa. As areias siliciclásticas ocorrem associadas com bioclastos que podem corresponder até 20% do total. Os bioclastos são formados principalmente por fragmentos de conchas de moluscos, gastrópodes e foraminíferos, secundariamente por briozoários e equinodermos.

Interpretação

O influxo das areias siliciclásticas para dentro do sistema carbonático provavelmente teve sua maior expressão durante o grande rebaixamento do nível do mar no final do Pleistoceno, devido ao avanço dos rios em direção a plataforma externa, entre eles o rio Paraíba do Sul, o mais expressivo na região. O avanço do sistema fluvial levou os sedimentos siliciclásticos para próximo da quebra da plataforma continental. Além de serem exportados para a bacia, parte dos sedimentos fluviais se depositou na própria plataforma continental, junto aos depósitos carbonáticos que estavam em grande parte expostos na plataforma externa.

A presença local de siliciclásticos de granulometria areia muito grossa, com pouca presença de finos, os quais estão lateralmente justapostos aos carbonatos de borda de plataforma, é um bom indicador do avanço das drenagens para dentro da plataforma. O regime hidrodinâmico que atuou sobre estes

sedimentos na transgressão subsequente, remobilizou as frações finas, sendo a fração mais grossa resultante do retrabalhamento hidráulico deste aporte siliciclástico. Viana *et al.* (1998) descreve a importância dos processos hidrológicos sobre o talude superior e a plataforma externa da Bacia de Campos e como atuaram, desde a última glaciação até o recente, na formação de dunas de areia, no transporte siliciclástico e erosão do talude superior.

5.2 – FÁCIES GRAINSTONES COM RODOLITOS (FGR)

Descrição

A *Fácies Grainstones com Rodolitos* (Fig. 27), está relacionada, fisiograficamente, aos platôs ou patamares (Fig. 21), sendo composta por *grainstones* com clastos de carbonatos, rodolitos e, secundariamente, por areias siliciclásticas de granulometria fina a muito fina.

Os *grainstones* correspondem aos sedimentos carbonáticos que abrangem toda a gama da fração areia, principalmente fração grossa a muito grossa, e ruditos compostos principalmente por fragmentos de algas vermelhas, macroforaminíferos e, em menor proporção, por briozoários, equinóides e moluscos. A presença de lama carbonática é pouco expressiva. Portanto, a ocorrência de *packstones* é secundária quando comparada com os *grainstones*.

Os rodolitos são compostos por algas vermelhas incrustantes. Atingem tamanhos variáveis, desde menos de 1 cm até diâmetros acima de 10 cm. Ocorrem tanto como incrustações laminares sucessivas ou nucleadas por fragmentos ou carapaças de organismos carbonáticos. O processo de incrustação dos rodolitos se dá por uma seqüência de laminações carbonáticas algálicas que sucessivamente agregam novos organismos ou fragmentos carbonáticos durante

o processo de rolamento. Ocasionalmente rodolitos pode apresentar incrustações carbonáticas de briozoários, competindo com as algas vermelhas (Fig. 29).

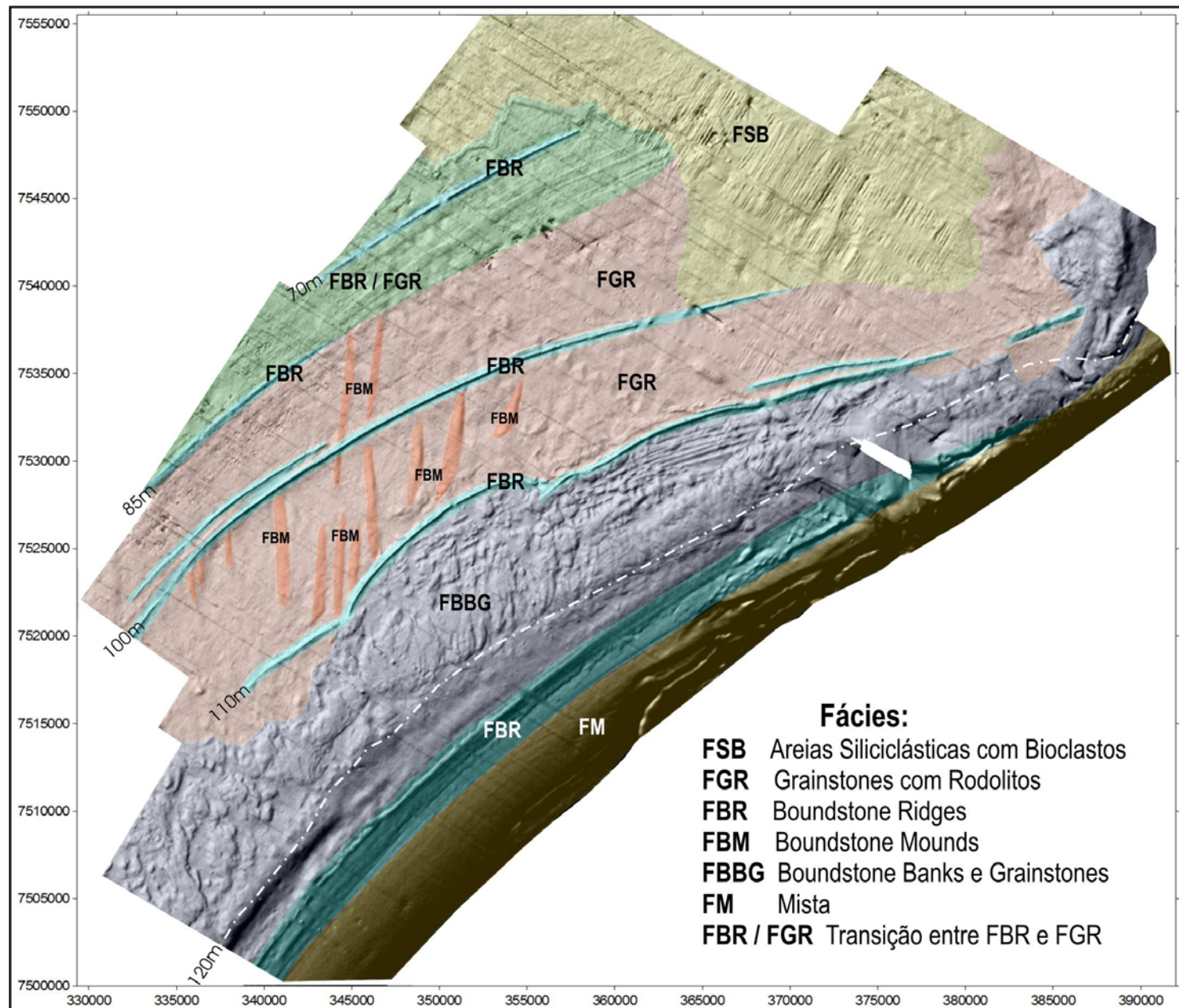


Figura 27. Mapa com a distribuição de fácies da área de estudo e as principais cotas batimétricas associadas a elas.

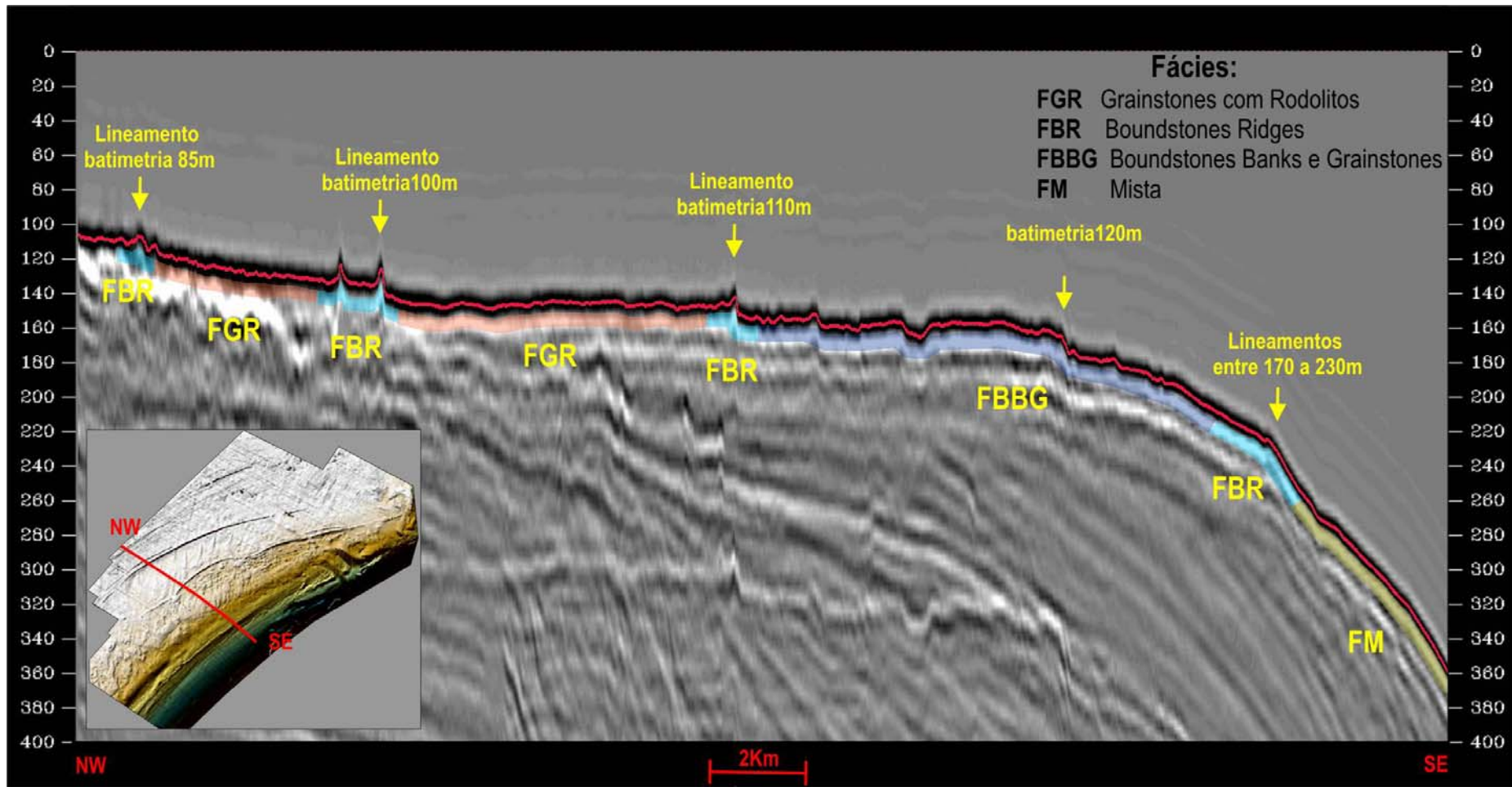


Figura 28. Seção sísmica em tempo mostrando a distribuição atual de fácies carbonáticas do fundo marinho da plataforma média e externa e parte do talude superior e algumas feições fisiográficas associadas a elas.

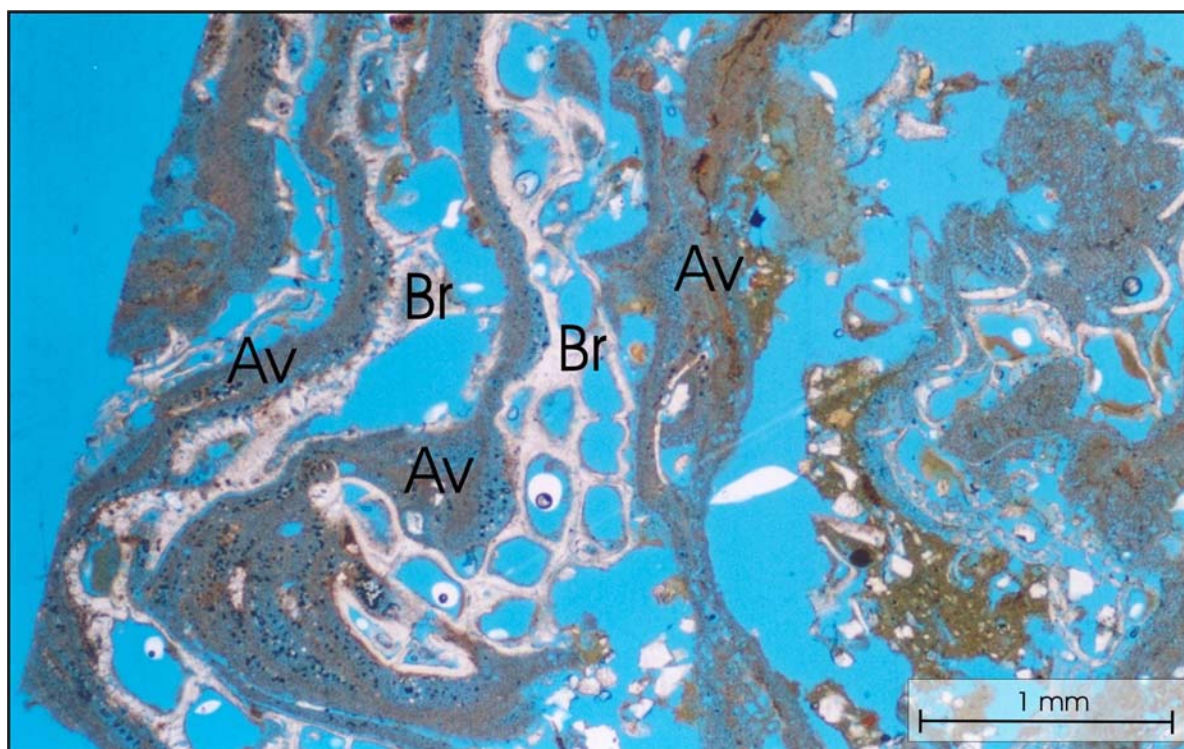


Figura 29. Lamina delgada de rodolito mostrando sucessivas laminações de algas vermelhas (Av) e briozoários (Br).

Interpretação

A presença de depósitos de algas vermelhas sob formas móveis, como é o caso da *Fácies Grainstones com Rodolitos*, é interpretada como decorrente da ausência de um substrato com rigidez suficiente para a instalação de bioconstruções incrustantes.

Grainstones e rodolitos ocupam uma ampla extensão na área de estudo e estão submetidos a uma grande mobilidade decorrente do fluxo da Corrente do Brasil sobre a plataforma. O fluxo da corrente sobre estas formas livres de algas vermelhas colabora na produção e presença de carbonatos de fração areia muito fina, devido à desagregação mecânica a que estão submetidas neste processo.

A ocorrência de sedimentos siliciclásticos - sob a forma de areia média, fina, muito fina e silte - é secundária e variável, embora sistemática. A

existência de siliciclásticos nestas frações granulométricas é interpretada como resultado do retrabalhamento e mobilização das areias da fácies siliciclástica que estão situadas a NE para dentro da *Fácies Grainstones com Rodolitos*. Este aporte de siliciclásticos para dentro da fácies carbonática é promovido principalmente pela ação da Corrente do Brasil com seu fluxo dominante vindo do quadrante N e NE.

5.3 – FÁCIES BOUNDSTONE RIDGES (FBR)

Descrição

Esta fácies está relacionada, fisiograficamente, com os lineamentos carbonáticos (Fig. 21). A principal característica observada é a deposição de sedimentos carbonáticos formando feições de cristas alongadas com dezenas de quilômetros, refletindo e amplificando o relevo ancestral do substrato utilizado para o desenvolvimento do edifício carbonático (Fig. 28). São formadas por *grainstones* e rodolitos e, principalmente, por bioconstrução de algas vermelhas, que formam os *boundstones* que capeiam as partes mais elevadas. Estes depósitos se apresentam como uma seqüência construtiva de incrustações sobrepostas, com intercalações centimétricas a decimétricas de *grainstones* e rodolitos (Fig. 30).

A forma peculiar em que se apresentam os lineamentos carbonáticos, seguindo preferencialmente cotas batimétricas definidas e mostrando um paralelismo com a linha de costa atual, sugere que os substratos, nos quais a *Fácies Boundstone Ridges* se desenvolveu, correspondem a antigas linhas de praia que refletem as estabilizações do nível do mar durante a última transgressão marinha, iniciada no final do Pleistoceno.

Neste trabalho foram identificadas cinco estabilizações mais significativas registradas nas seguintes batimetrias atuais:

a) Batimetria de 120 m – Corresponde à posição da linha de praia durante o LGM (*Last Glacial Maximum*), o máximo da regressão Pleistocênica. É menos evidente que as demais por não formar um lineamento. É marcada pela passagem entre uma zona de maior presença de *boundstones* para outra com maior conteúdo de *grainstones* e rodolitos em direção *offshore*. O desenvolvimento dos lineamentos de 170 a 230 m está relacionado com esta posição do nível do mar.

b) Batimetria de 110 m – É marcada por um edifício carbonático bem desenvolvido em forma de lineamento.

c) Batimetria de 100 m - Configuração de edifício carbonático bem desenvolvido em forma de lineamento.

d) Batimetria de 85 m - Apresenta um lineamento com menor desenvolvimento de relevo.

e) Batimetria de 70 m - Edifício carbonático bem desenvolvido em forma de lineamento.

Entre os lineamentos de 85 e 70 m ocorre uma zona de *boundstones* com vários lineamentos pouco desenvolvidos e grande presença de *grainstones* e rodolitos que caracterizam uma fácies de transição entre a *Fácies Boundstone Ridges* (FBR) e a *Fácies Grainstones com Rodolitos* (FGR).

Interpretação

É aqui interpretado que o desenvolvimento do substrato que serviu de base para a instalação da *Fácies Boundstone Ridges* se deu nos momentos de estabilização no processo de subida do nível do mar durante a última transgressão pós-glacial. A estabilização das linhas de praia por intervalos maiores permitiu uma atuação mais efetiva do processo erosivo, resultando na formação de pendentes ou pequenas escarpas, onde a exposição da superfície mais rígida,

resultante da erosão, serviu como base inicial para a instalação das algas vermelhas incrustantes (Fig. 31).

Também existe a possibilidade da ocorrência de substratos formados por *beachrocks* que, na área de estudo, poderiam igualmente colaborar como substrato para a instalação dos *boundstones*. Com os dados disponíveis até o momento não é possível verificar, com maior profundidade, esta possibilidade.

As pendentes e o subsequente desenvolvimento do edifício carbonático marcam os limites entre os patamares (Figs. 21, 27 e 28). Quanto maior é o desenvolvimento das bioconstruções, maior é a individualização entre os patamares. À medida que os lineamentos se tornam menos expressivos, a individualização dos patamares vai desaparecendo, como pode ser observado nas terminações dos lineamentos a NE, onde é maior a influência dos siliciclásticos.

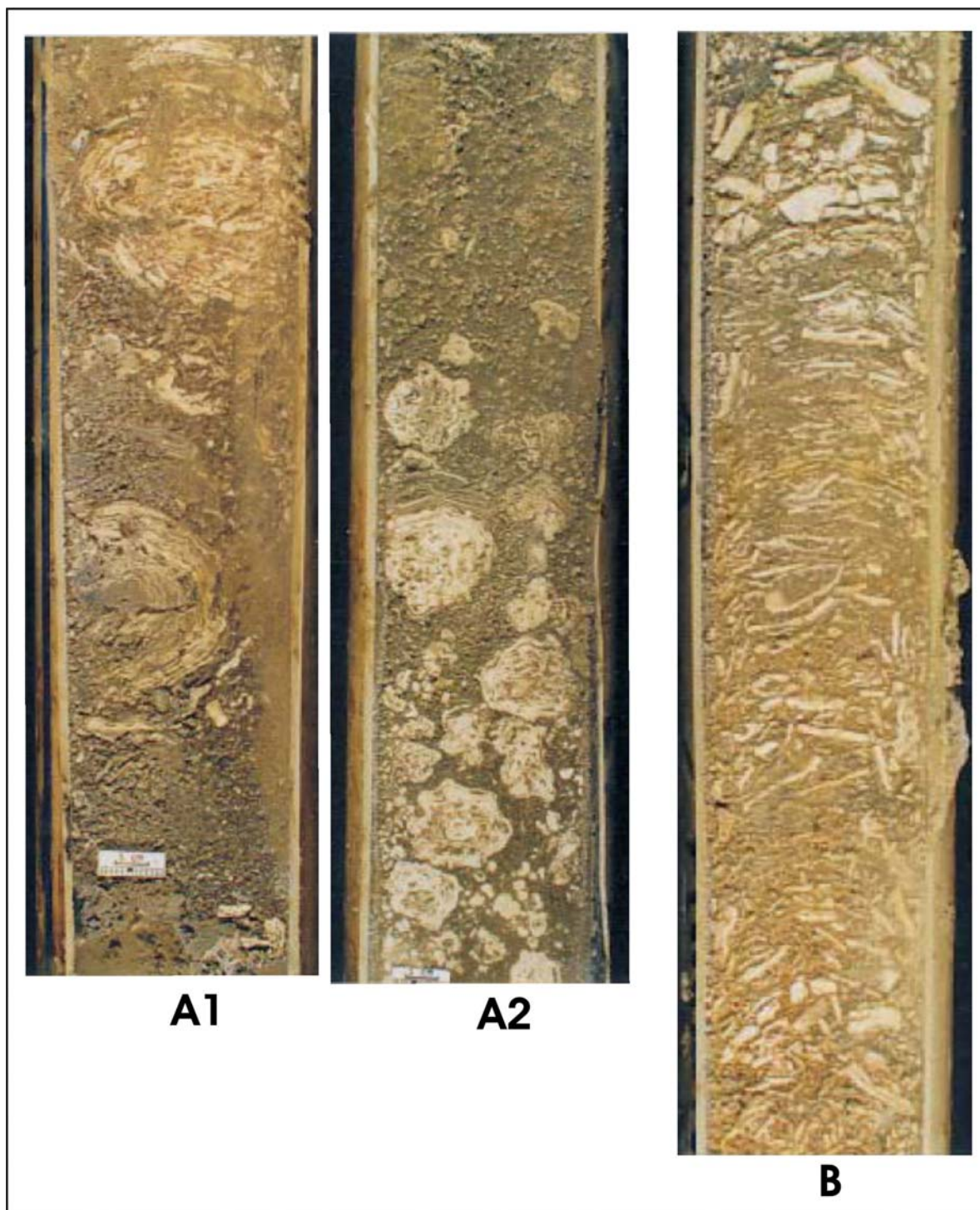


Figura 30. Detalhes de testemunhos superficiais (**A1/A2** e **B**) do lineamento carbonático desenvolvido na cota batimétrica de 110 m, mostrando o perfil deposicional da *Fácies Boundstone Ridges*. (**A1**) Rodolitos com grande diâmetro (7 a 10 cm) imersos em *grainstones*. (**A2**) O arcabouço da base é dominado por rodolitos com gradativo predomínio para o topo de *grainstones*. (**B**) Incrustações laminares intercaladas com *grainstones* (reinterpretado de Correa, 2001).

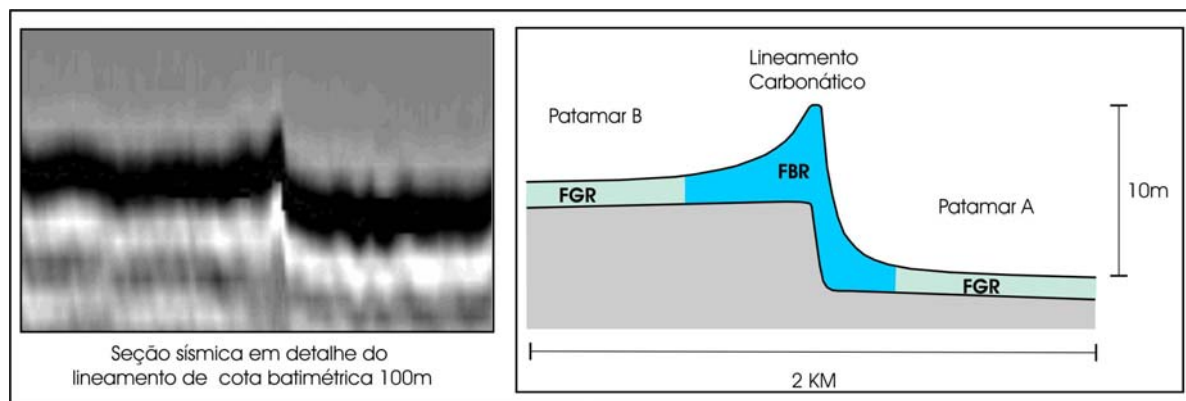


Figura 31. Detalhe sísmico do lineamento de 100 m (*Fácies Boundstone Ridges*), mostrando seu crescimento sobre escarpa que limita patamares (*Fácies Grainstones com Rodolitos*), e a seção esquemática com a interpretação do desenvolvimento de bioconstrução sobre a escarpa.

O processo de formação das superfícies crustosas, além do desenvolvimento sobre superfícies mais rígidas, também tem a colaboração de outro processo, que é interpretado, neste trabalho, como resultado final de desenvolvimento de rodolitos. Os rodolitos estão mais presentes nas áreas mais elevadas, sendo menos expressivos em áreas mais baixas, posição onde predominam os *grainstones*.

O conjunto de litologias que formam a *Fácies Boundstone Ridges* se completa nas porções mais elevadas das cristas, onde os rodolitos que formam campos ficam justapostos e ancorados entre si. A partir dessa coalescência são geradas as superfícies crustosas (Fig. 32).

É interpretado, neste trabalho, que a coalescência de um campo de rodolitos representa o fim do contínuo processo de rolagem e crescimento que os caracterizam. Ao atingir o ponto de ancoragem, o processo incrustativo das algas coralináceas geradoras dos rodolitos continua a se desenvolver capeando o conjunto de rodolitos que, a partir do momento da ancoragem, passa a atuar como substrato rígido para a formação da superfície crustosa de *boundstones*. Os espaços das depressões existentes na superfície irregular formada são ocupados por *grainstones*.

Os ciclos de intercalações entre *boundstones*, *grainstones* e rodolitos são interpretados como resultado das variações hidrodinâmicas que atuam na mobilização e introdução de *grainstones* nas porções mais elevadas e evoluindo ciclicamente para rodolitos e *boundstones*.

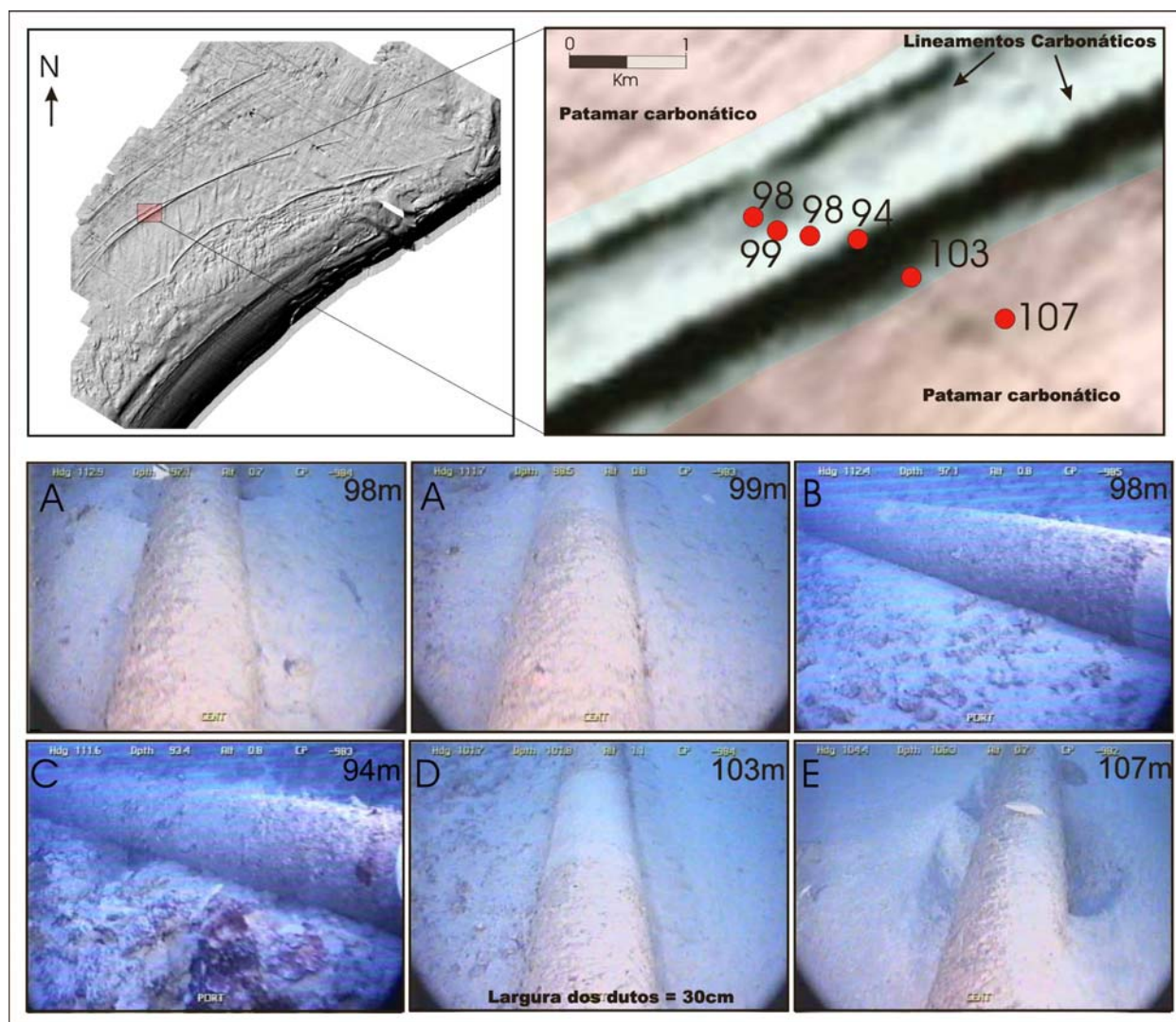


Figura 32. Detalhe mostrando imagens submarinas da variação da *Fácies Boundstone Ridges* em relação ao seu posicionamento fisiográfico: A) 98 m e 99 m, *grainstones* e rodolitos. B) 98 m, adensamento de rodolitos e início de formação de crosta carbonática. C) 94 m, crosta carbonática posicionada nas partes elevadas dos lineamentos carbonáticos. D) 103 m, *grainstones* e rodolitos. E) 107 m, posicionado no patamar inferior com domínio de *grainstones*.

5.4 – FÁCIES BOUNDSTONE MOUNDS (FBM)

Descrição

A *Fácies Boundstone Mounds* (Fig. 27) corresponde à feição fisiográfica de Lineamentos de Barras Carbonáticas. Está inserida dentro da região fisiográfica dos Patamares (Fig. 21). Faciologicamente, é muito semelhante à *Fácies Boundstone Ridges*, e pode ser considerada como uma variação da mesma.

São depósitos formados por *grainstones* e rodolitos e por bioconstruções de algas vermelhas (*boundstones*) que capeiam as partes mais elevadas. O modo como se processa a construção do edifício carbonático também é semelhante, porém, morfologicamente, formam um relevo mais suave, em que a relação largura/comprimento é maior do que a dos lineamentos.

Os depósitos carbonáticos da *Fácies Boundstone Mounds* apresentam direção preferencial norte-sul, indicativo de que o substrato utilizado pelos carbonatos foi posicionado obliquamente em relação à linha de costa, diferentemente do que ocorre com os depósitos da *Fácies Boundstone Ridges* que possuem orientação paralela.

Interpretação

A origem do substrato para esta fácies é interpretada como formas de leito de grande porte formadas por dunas subaquáticas transversas. Estas dunas transversas seriam geradas pela atuação das correntes que retrabalharam os sedimentos depositados na plataforma durante a última transgressão pós-glacial.

O regime hidrodinâmico dominante na plataforma durante a transgressão atuou na formação das dunas subaquáticas, até o ponto em que o avanço da subida do mar forneceu as condições ambientais necessárias para o

franco desenvolvimento das algas vermelhas coralináceas sobre estas formas de leito. A partir deste momento, as formas de leito serviram como base para a instalação do edifício carbonático, o que culminou na formação de crostas carbonáticas (*boundstones*), que estabilizaram e fossilizaram as dunas subaquáticas transversas.

Formas de leito do Recente, semelhantes às aqui interpretadas como base para a instalação de edifício carbonático, são descritas na plataforma continental do Rio Grande do Norte por Vianna *et al.* (1991) e Testa & Bosence (1999). Com base em imagens *Landsat* e mergulhos, os autores descrevem a ocorrência de dunas transversas de grandes dimensões. As cristas destas dunas transversas apresentam de 1,3 a 5,6 km de comprimento, 3 a 7 m de altura e um espaçamento entre dunas de 650 a 840 m. Os autores atribuem a formação destas formas de leito à atuação da Corrente do Brasil.

5.5 - FÁCIES BOUNDSTONE BANKS E GRAINSTONES (FBBG)

Descrição

Esta fácies está relacionada, fisiograficamente, aos bancos carbonáticos (Fig. 21). Os *boundstones* de algas vermelhas se apresentam como bancos de relevo irregular, resultado das incrustações carbonáticas. Eles formam um arcabouço rígido e topograficamente saliente e descontínuo (Fig. 28). Associadas a este relevo ocorrem depressões onde a sedimentação predominante é constituída por *grainstones* e ruditos compostos principalmente por fragmentos de algas vermelhas, macroforaminíferos e, secundariamente, por briozoários, equinóides e moluscos. Os rodolitos são menos comuns do que na *Fácies Grainstones com Rodolitos*.

Interpretação

A disposição espacialmente mais ampla das algas vermelhas incrustantes, formando edifícios bioconstruídos com padrões variados, diferentemente dos *boundstones* anteriormente descritos, sugere um aproveitamento de substrato de natureza distinta dos anteriores. Este substrato pode ter sido herdado de carbonatos preexistentes, que sofreram um processo intempérico de dissolução durante a exposição subaérea durante a última regressão pleistocênica, e subsequente geração de superfícies endurecidas. Outra possibilidade seria por exposição de material mais compactado decorrente da ação erosiva do início do evento transgressivo (superfície de ravinamento).

O único padrão de bioconstrução carbonática encontrado nesta fácies, e que é semelhante à deposição dos lineamentos carbonáticos, ocorre junto ao Lineamento Carbonático de cota batimétrica 110 m, onde existe uma sucessão de pequenos lineamentos muito próximos e paralelos entre si e com os demais lineamentos.

Os lineamentos próximos da cota batimétrica de 110 m são menos expressivos e, em muitos casos, difíceis de serem diferenciados. Estas feições são sugestivas de uma sucessão de pequenas estabilizações de linha de praia antes da estabilização final na cota batimétrica de 110 m, sendo resultado de um processo semelhante ao que ocorre na faixa entre os lineamentos de 85 a 70 m.

O avanço da bioconstrução nesses lineamentos próximos ao lineamento carbonático de cota batimétrica de 110 m gerou diferentes estágios de coalescência entre eles, a ponto de serem mascarados e se tornarem bancos (Figs. 22 e 28).

5.6 - FÁCIES MISTA (FM)

Descrição

A *Fácies Mista* ocorre na região do talude superior, logo abaixo da *Fácies Boundstone Ridge* correspondente aos lineamentos carbonáticos de 170 a 230 m (Figs. 27 e 28). Esta fácies é composta, basicamente, por sedimentos siliciclásticos nas frações lama, silte e areia muito fina a areia fina, mesclados com lamelas e areias carbonáticas, com foraminíferos e, secundariamente, bioclastos.

Interpretação

Nesta porção da área de estudo, ocorre a mescla entre os siliciclásticos finos de talude e a fração carbonática remobilizada da plataforma carbonática externa e do talude superior pela Corrente do Brasil.

A Corrente do Brasil atua fortemente na erosão e transporte dos carbonatos de borda de plataforma, principalmente os carbonatos posicionados em batimetrias maiores que 150 m. O processo erosivo sobre estes carbonatos torna-se mais efetivo devido ao fato de que abaixo do limite de 150 m cessam todas as atividades bioconstrutivas das algas vermelhas, associado com a maior velocidade de fluxo da Corrente do Brasil no talude superior (Fig. 33).



Figura 33. Foto submarina (profundidade de 198 m), referente aos lineamentos carbonáticos entre 170 a 230 m. Nesta profundidade não ocorre mais atividade bioconstrutiva das algas vermelhas. As bioconstruções anteriormente formadas estão sofrendo forte processo erosivo, onde a fração fina resultante é exportada para o talude superior pela Corrente do Brasil (diâmetro duto = 30 cm).

CAPÍTULO 6

EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

6- EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

A configuração das feições carbonáticas identificadas na atual plataforma média e externa da Bacia de Campos é interpretada como resposta a subida relativa do nível do mar iniciada há cerca de 18.000 anos.

A zona batimétrica preferencial de deposição da fábrica carbonática das algas vermelhas coralináceas é assumida como semelhante à curva de distribuição atual para as algas vermelhas, sendo adotado operacionalmente como limite superior e inferior os valores de 50 m e 140 m.

As idades utilizadas na evolução geológica foram estimadas de forma indireta através de curvas eustáticas. Foi utilizado este recurso pelo fato de não existirem, na área, datações de Carbono 14 suficientes para balizar a evolução geológica. A curva eustática utilizada como base para correlação temporal dos eventos entre 18.000 e 7.000 anos foi a de Correa & Toldo (2001), proposta para a Plataforma Sul e Sudeste Brasileira e a de Suguio et al (1985) para os últimos 7.000 anos.

A evolução geológica da área de estudo está relacionada com a taxa de subida do nível do mar e as variações apresentadas nesta taxa. Durante o processo de subida do nível do mar ocorreram períodos de diminuição de

velocidade e estabilizações episódicas. As feições fisiográficas identificadas na área são interpretadas como manifestações destes episódios.

O evento transgressivo iniciado próximo ao final do Pleistoceno fez com que todo o sistema carbonático fosse gradativamente se deslocando em direção ao continente (*backstep*), formando depósitos agradacionais e retrogradacionais. No início, a subida do nível do mar manteve uma taxa muito acelerada o que fez cessar as condições fóticas de sobrevivência da fábrica carbonática localizada nas porções mais distais e profundas da plataforma. Esse fenômeno impediu que a fábrica carbonática nestas áreas conseguisse manter uma produção carbonática agradacional no mesmo passo da rápida subida.

Com o avanço da transgressão sobre a plataforma média e externa o regime hidrodinâmico passou a ser cada vez menos influenciado pelas marés e ondas enquanto ocorria um aumento gradativo da influência da Corrente do Brasil. A ação desta corrente promoveu a remobilização dos sedimentos siliciclásticos depositados anteriormente na plataforma média e externa, durante a fase de nível de mar baixo, transferindo-os para dentro do ambiente carbonático em desenvolvimento.

6.1 - DEPOSIÇÃO DOS LINEAMENTOS CARBONÁTICOS DE 170 A 230 METROS

Há 18.000 anos, próximo ao final do Pleistoceno, ocorreu um rebaixamento do nível global do mar de aproximadamente 120 m em relação ao nível atual. Na Bacia de Campos, a linha de costa sofreu um deslocamento em torno de 120 km no sentido da bacia, e se instalou próxima à quebra da plataforma. Esse rebaixamento acarretou na exposição subaérea da plataforma continental, favorecendo a diagênese meteórica dos depósitos carbonáticos do topo da seqüência anterior. O avanço do sistema fluvial decorrente do

rebaixamento promoveu uma maior deposição de siliciclásticos na plataforma média e externa.

Com o recuo do mar no final do Pleistoceno a fábrica carbonática se deslocou para o talude superior, onde as maiores declividades presentes atuaram no sentido de restringir espacialmente a deposição carbonática numa faixa estreita, correspondente aos lineamentos de cota batimétrica atual de 170/230 m (Fig. 34).

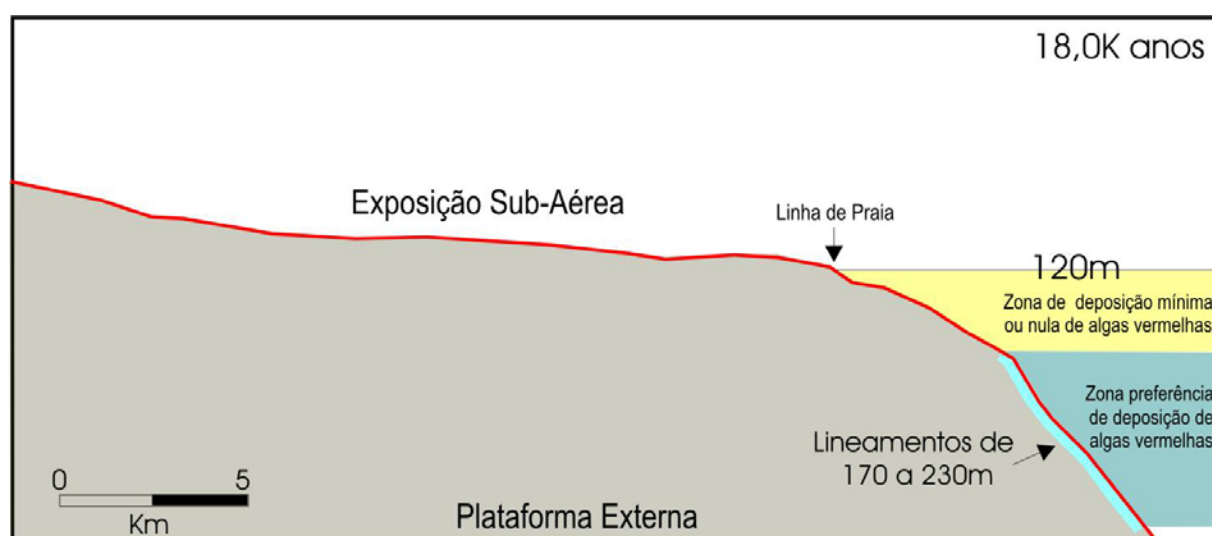


Figura 34. Seção esquemática da área de estudo há 18.000 anos. Nível do mar 120m abaixo do atual. Formação de limite de seqüência e presença dos lineamentos de 170 a 230 m, dentro da zona de produtividade das algas vermelhas.

Baseado na curva atual de ocorrência das algas vermelhas coralináceas, a deposição nesta porção da bacia poderia ter atingido cotas mais profundas, entre as isóbatas atuais de 260 e 280 m. No entanto, na área de estudo ainda não foram identificadas construções carbonáticas nestas profundidades, possivelmente pelo fato dos depósitos carbonáticos estarem se desenvolvendo no talude superior, próximo da antiga linha de costa, onde a influência de entrada de material em suspensão vindo do sistema fluvial pode ter

diminuído a entrada de luminosidade e, com isso, reduzido o limite inferior da zona oligofótica, que é o controlador do limite inferior de sobrevivência das algas vermelhas.

6.2 – INSTALAÇÃO DA LINHA DE COSTA DE 110 METROS

Entre 18.000 e 16.800 anos iniciou a transgressão marinha que culminou com o deslocamento e estabilização da linha de praia na batimetria de 110 m. Neste ponto o processo erosivo atuante na linha de praia (*shoreface*) formou uma escarpa que serviu de base para a futura instalação do lineamento carbonático de 110 m.

Em relação aos lineamentos carbonáticos entre 170 e 230 m, à medida que o nível do mar subia começava a parada na produção de carbonatos naquela porção da fábrica carbonática localizada nas batimetrias maiores, por estar saindo da zona inferior de produção das algas vermelhas. O restante da fábrica, localizada ainda dentro da zona oligofótica, permanecia ativa e iniciava uma fase de maior construção agradacional (*catch-up*), na qual a fábrica tentava manter passo com a rápida subida que se iniciava. Começava, também, a deposição da porção mais profunda do banco carbonático (*Fácies Boundstone Banks*) (Fig. 35).

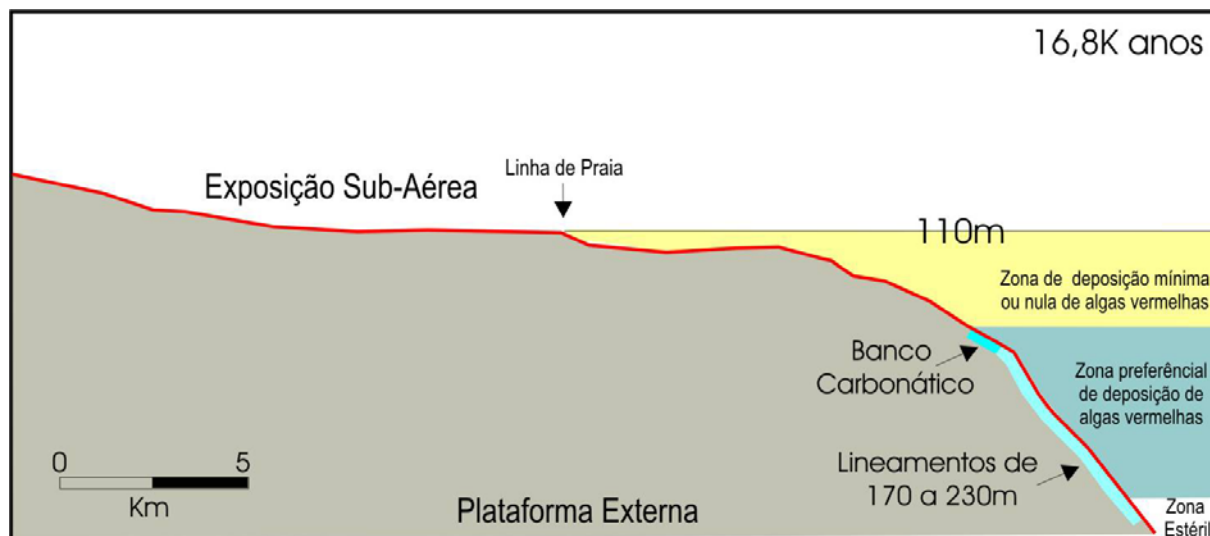


Figura 35. Seção esquemática da área de estudo entre 18.000 e 16.800 anos AP. Deslocamento e estabilização da linha da praia na cota de 110 m e sua escarpa. Início da deposição carbonática mais profunda do banco carbonático (*Fácies Boundstone Banks*).

6.3 – INSTALAÇÃO DA LINHA DE COSTA DE 100 METROS

Entre 16.800 e 16.200 anos AP ocorreu um novo deslocamento da linha de costa e uma estabilização na batimetria de 100 m, onde foi gerada uma nova escarpa erosiva. Teve início a influência do regime hidrodinâmico que atuou na formação das formas de leito tipo dunas transversas, e que também atuou na remobilização dos sedimentos siliciclásticos depositados na plataforma externa. Continuou a construção agradacional e o afogamento na faixa inferior dos carbonatos que formam os lineamentos entre 170 e 230 m. Continuou, também, a deposição da zona mais profunda do banco carbonático (*Fácies Boundstone Banks*) (Fig. 36).

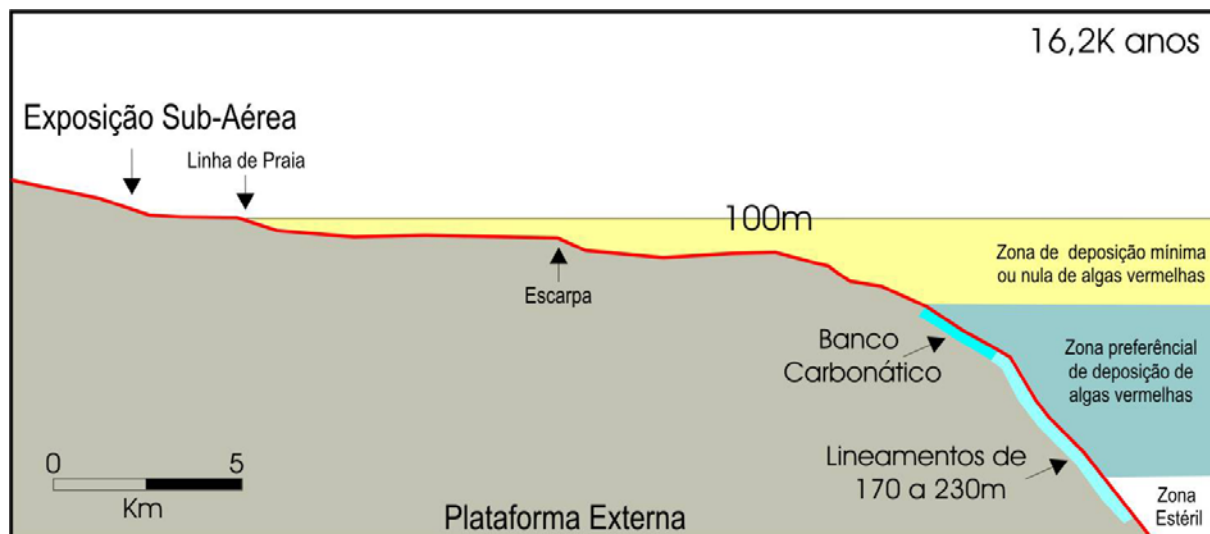


Figura 36. Seção esquemática da área de estudo entre 16.800 e 16.200 anos AP. Deslocamento e estabilização da linha da praia na cota de 100 m e sua escarpa. Continuidade deposicional do banco carbonático (*boundstone banks*).

6.4 – INSTALAÇÃO DA LINHA DE COSTA DE 85 E 70 METROS

Entre 16.200 e 12.500 anos AP ocorreu o deslocamento e estabilização da linha de costa nas batimetria de 85 m e 70 m. A subida do nível do mar ocorrida entre estes dois níveis se deu de forma mais lenta, sendo marcada por vários intervalos menores de estabilização, onde foram criados diversos lineamentos paralelos de escarpas pouco desenvolvidas. Houve uma continuidade no processo de formação das formas de leito tipo dunas transversas, refletindo a ação das correntes que atuam nos patamares. Continuou, também, a construção carbonática agradacional e o afogamento na faixa mais profunda dos carbonatos que formam os lineamentos entre 170 e 230 m (Fig. 37).

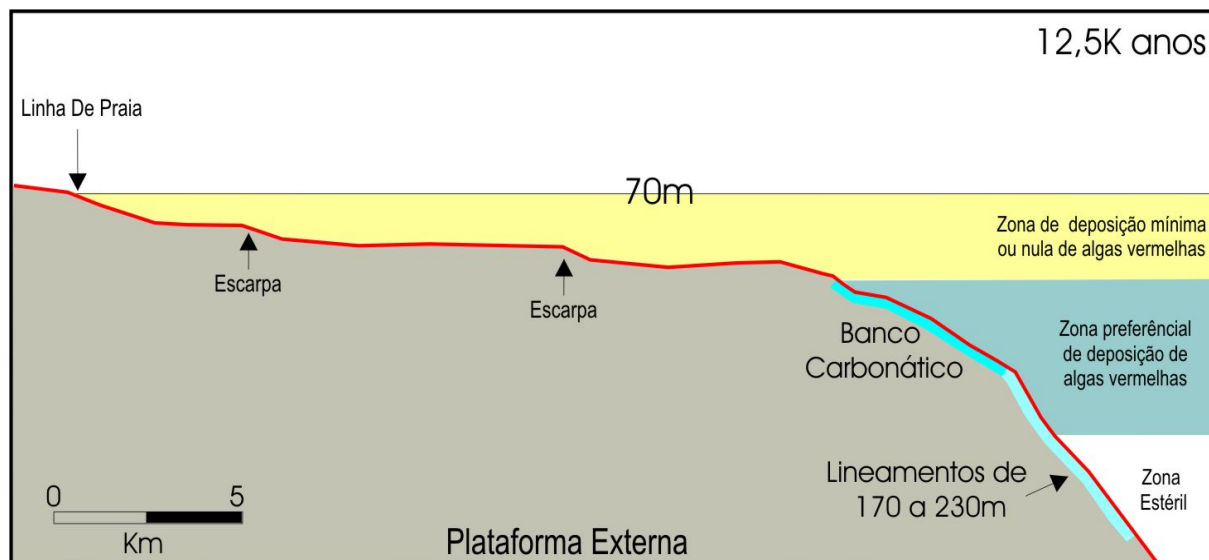


Figura 37. Seção esquemática da área de estudo entre 16.200 e 12.500 anos AP. Deslocamento e estabilização das linhas de costa nas batimetrias de 85 m e 70 m e suas escarpas. Continuidade deposicional do banco carbonático e processo final de afogamento dos lineamentos carbonáticos de 170 a 230 m.

6.5 – FINAL DA INSTALAÇÃO DA LINHA DE COSTA DE 70 METROS ATÉ O NÍVEL DE MAR ATUAL

A transgressão marinha continuou entre 12.500 até 7.000 anos AP, sendo que o nível do mar nos últimos 7.000 anos oscilou perto do valor atual.

Teve início, há 10.300 anos, a bioconstrução sobre os lineamentos de escarpa da cota batimétrica de 110 m e houve uma continuidade na formação dos *boundstones banks*.

Há 9.800 anos foi iniciada a bioconstrução sobre os lineamentos de escarpa da cota batimétrica de 100 m e começou a deposição de *Maerl* do patamar carbonático entre 100 e 110 m. Iniciaram, também, as incrustações sobre as dunas transversas no interior do patamar, responsáveis pelo processo de fossilização destas formas de leito. A fábrica carbonática produtora destes depósitos continua ativa até os dias de hoje.

Há 8.600 anos foi iniciada a bioconstrução sobre os lineamentos de escarpa da cota batimétrica de 85 m e começou a deposição de *maerl* no patamar carbonático entre 85 e 100 m. Há 8.200 anos iniciou a bioconstrução sobre os lineamentos da escarpa da cota batimétrica de 70 m, estando ativa a fábrica carbonática destes depósitos até o presente momento.

Há 8.400 anos a deposição dos carbonatos que ainda estava ativa na porção superior dos lineamentos de 170/230 m atingiu o limite inferior da zona fótica. A partir deste momento a bioconstrução perdeu o acompanhamento com a subida do mar e cessou o crescimento desta faixa de lineamentos, junto com a porção inferior do banco carbonático (Fig. 38). Estes depósitos passaram a ficar expostos aos processos erosivos da Corrente do Brasil até o presente (Fig. 39).

Schlager (1981) descreve que os carbonatos bioconstruídos possuem a capacidade de acompanhar qualquer taxa de subida relativa do nível do mar, porém, quando muito rápida e por um curto espaço de tempo, o sistema carbonático será afogado, principalmente se isto ocorrer na fase inicial de deposição. Este fato se aplica à deposição dos lineamentos de 170/230 m.

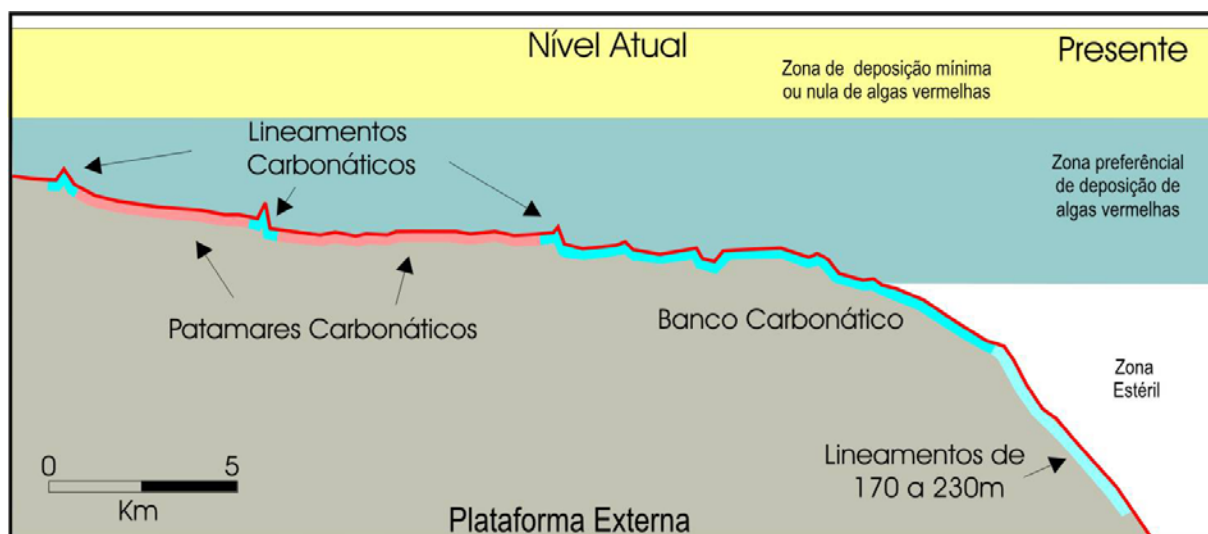


Figura 38. Seção esquemática da área de estudo entre 12.500 anos e o presente. Início das bioconstruções sobre os lineamentos carbonáticos de 110, 100, 85 e 70 m. Início da deposição carbonática nos patamares e formação de *boundstones* nas dunas transversas dos patamares. Afogamento dos lineamentos de 170 a 230 m.

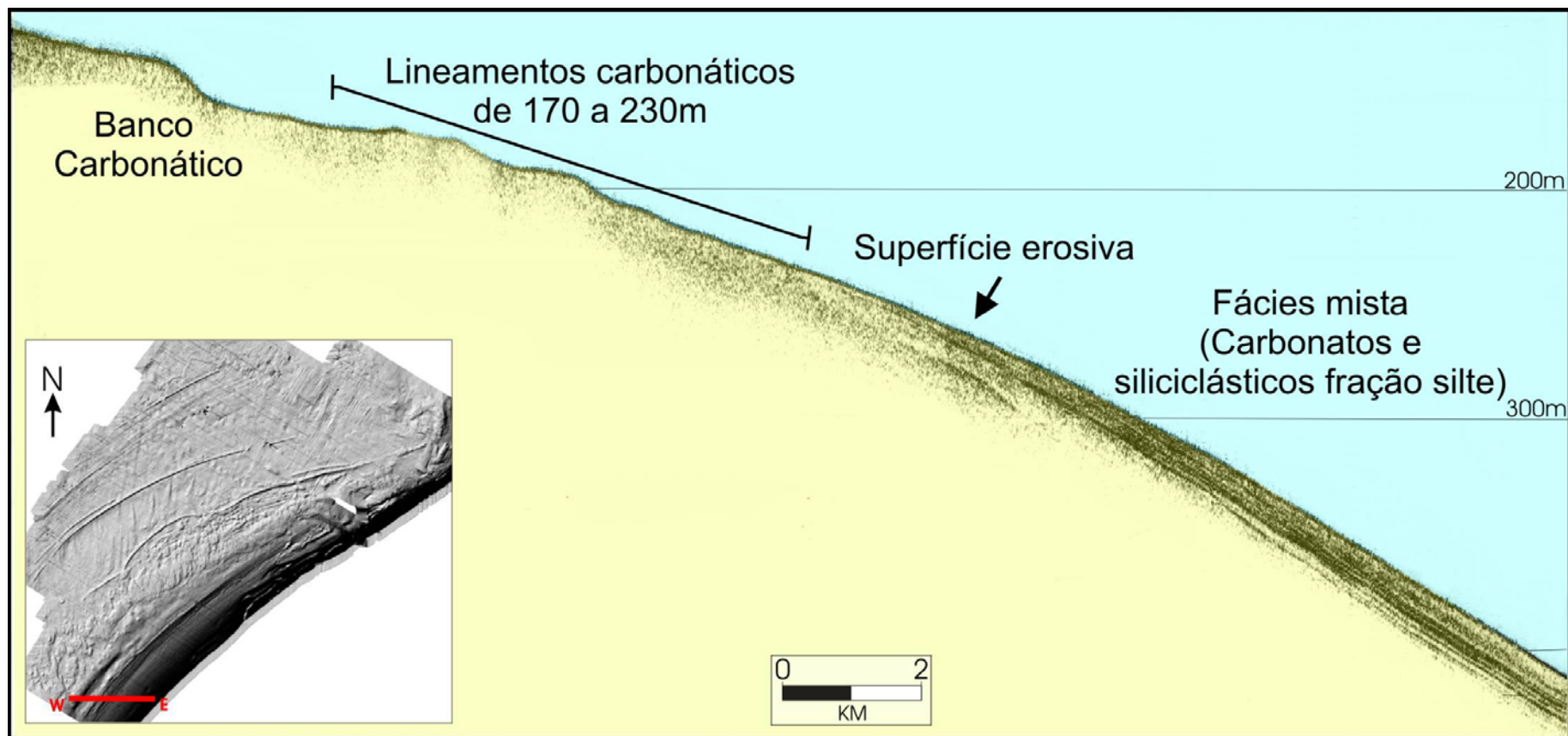


Figura 39. Sísmica de alta resolução mostrando os lineamentos de 170/230 m e a porção inferior do banco carbonático que, a partir de seu afogamento, vem sofrendo os efeitos erosivos da Corrente do Brasil, a qual também atua erodindo os estratos superficiais do talude superior.

CAPÍTULO 7

MODELO DEPOSICIONAL DAS ALGAS CORALINÁCEAS VERMELHAS DO RECENTE COMO UM ANÁLOGO PARA OS CARBONATOS DO TERCIÁRIO

7 - MODELO DEPOSICIONAL DAS ALGAS CORALINÁCEAS VERMELHAS DO RECENTE COMO UM ANÁLOGO PARA OS CARBONATOS DO TERCIÁRIO

Um fator positivo dos depósitos carbonáticos de algas vermelhas do Terciário é o fato que eles se desenvolveram de forma contínua até o presente. O seu crescimento, por estar associado com o desenvolvimento da plataforma continental, implica em um posicionamento privilegiado destes reservatórios, podendo ser logisticamente acessados por equipamentos localizados em cotas batimétricas rasas da plataforma continental, o que favorece economicamente a exploração e produção.

O uso do modelo atual de deposição dos carbonatos de algas vermelhas como modelo análogo para os depósitos carbonáticos do Terciário, tem sido salientado por vários autores. Segundo Rasser e Piller (2004), os depósitos atuais do Mar Mediterrâneo revelam muitas similaridades com as rochas carbonáticas algálicas Eocênicas dos Alpes Austríacos, e figuram entre os principais produtores de carbonatos do Cenozóico, mostrando um alto potencial para reconstruções paleo-ambientais.

As bioconstruções algálicas recentes do Mediterrâneo servem como exemplos análogos de deposição carbonática para muitos dos depósitos carbonáticos do Terciário da mesma região (Bosence, 1985). As algas vermelhas têm se mostrado como as mais importantes constituintes dos depósitos

carbonáticos do Mioceno Superior de Menorca no Mediterrâneo, sendo que os modelos deposicionais tradicionais para carbonatos não podem ser aplicados nestes depósitos, por terem sido gerados em condições abaixo do nível base das ondas (Pomar *et al.*, 2002).

O modelo deposicional das algas vermelhas coralináceas modernas, proposto neste trabalho, pode ser o mais adequado no estudo das variações faciológicas encontradas nas rochas carbonáticas dominadas por algas vermelhas do Terciário.

O regime hidrodinâmico a que está submetida a fábrica carbonática é determinante na distribuição faciológica dos depósitos. Dentro do modelo convencional para carbonatos, a atuação do nível base das ondas e ação das marés são os principais condicionantes da deposição em águas rasas, e a distribuição da fácies está diretamente relacionado com o posicionamento e o nível de energia a que esta submetida a fábrica carbonática.

Como constatado na área de estudo, a produção da fábrica carbonática atual somente inicia quando são atingidas batimetrias elevadas (acima de 45 m), portanto, sujeita a condições hidrodinâmicas diferentes das que atuam no modelo de deposição convencional de águas rasas. Com isso, a distribuição faciológica vai responder à atuação das correntes, tendo como resultante uma distribuição faciológica particularmente diferente ao esperado para os carbonatos de águas rasas.

A produção constatada de fração carbonática fina foi pouco expressiva durante o evento transgressivo, com o predomínio de *grainstones* e eventualmente *packstones* em posições um pouco mais protegidas da ação das correntes. Na área de estudo os sedimentos formados pelas algas vermelhas coralináceas - tanto sob a forma de *grainstones* como *boundstones* - apresentaram índices elevados de porosidade inicial, sendo em média de 65%, o que demonstra um ótimo potencial como reservatório.

Durante o último evento transgressivo não foi verificada a presença significativa de lama carbonática. A sua presença no registro geológico do

Terciário pode estar associada a grandes máximos transgressivos, onde a fábrica sofreu um afogamento completo por um período de tempo maior. A introdução de lama carbonática decorrente da parada da fábrica carbonática, ou do deslocamento da fábrica em direção ao continente, é diferente do modelo carbonático usual, onde a sedimentação de lama carbonática é desenvolvida em áreas protegidas e em ambientes com baixa energia hidráulica.

No pacote Terciário, a identificação de variações de amplitude sísmica e suas associações com feições análogas as do modelo deposicional recente de algas vermelhas coralináceas, pode contribuir para a identificação correta de fácies para reservatórios (Fig. 40).

A análise das amplitudes de reflexão do fundo marinho da área de estudo, mesmo prejudicada pelos efeitos que sofrem as reflexões em batimetrias muito rasas, mostra que os *boundstones* tendem a apresentar amplitudes maiores que os *grainstones* por apresentarem arcabouço mais rígido, embora ambos possuam alta porosidade deposicional, sendo útil como ferramenta para a diferenciação dos mesmos (Fig. 41).

Os atributos sísmicos, tais como Coerência e Amplitude RMS, de uma janela sísmica correspondente à seqüência carbonática anterior mostram feições semelhantes ao que é visto atualmente no fundo do mar, sendo indicativas que o processo de formação de feições carbonáticas tende a ser cíclico (Figs. 42 e 43). Nas figuras é possível identificar com clareza as várias linhas de praia que respondem às estabilizações do nível do mar durante o evento transgressivo anterior. As maiores amplitudes relacionadas a estes lineamentos são um forte indicativo da presença de *boundstones*.

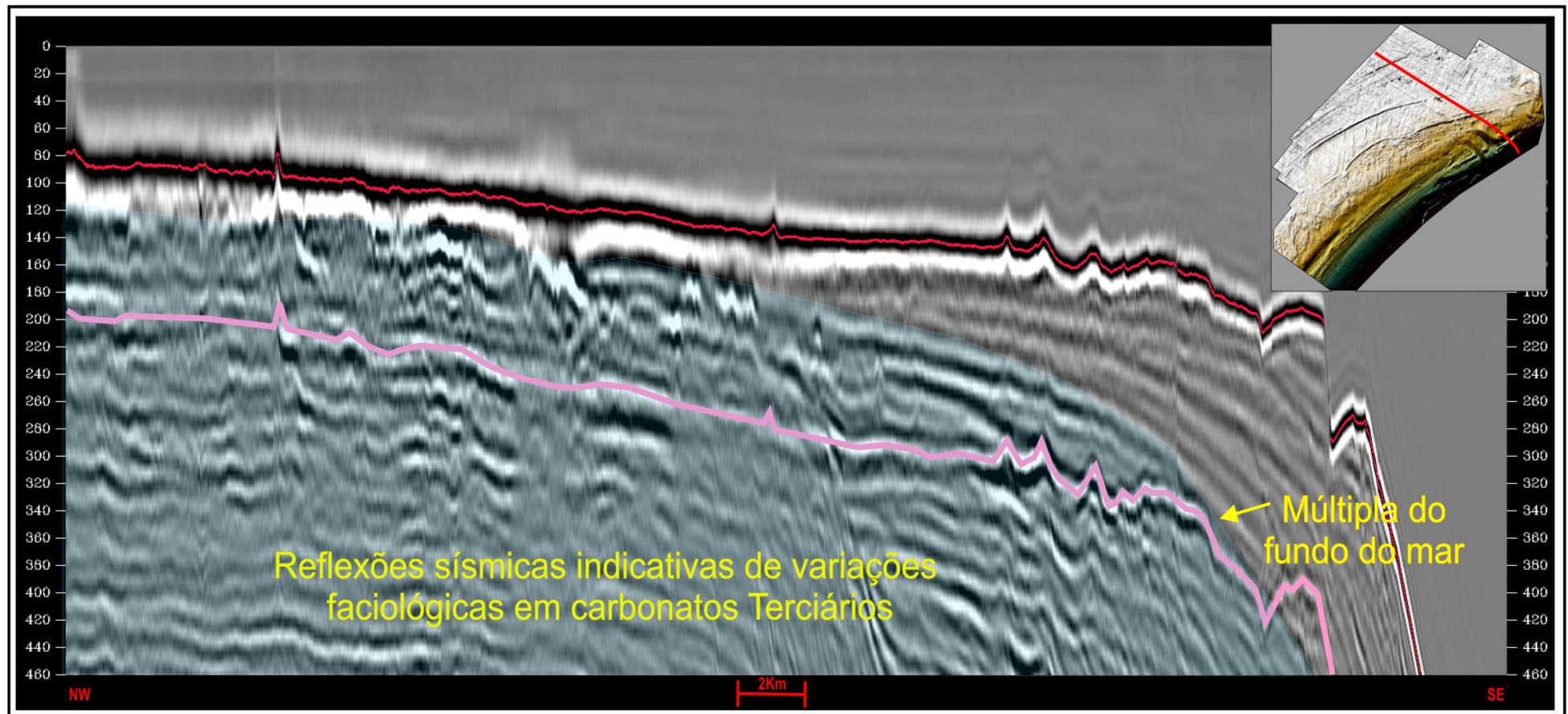


Figura 40. Seção sísmica em tempo mostrando a grande presença de fortes reflexões sísmicas na seção Terciária, indicativas de variações faciológicas em carbonatos dominados por algas vermelhas coralináceas.

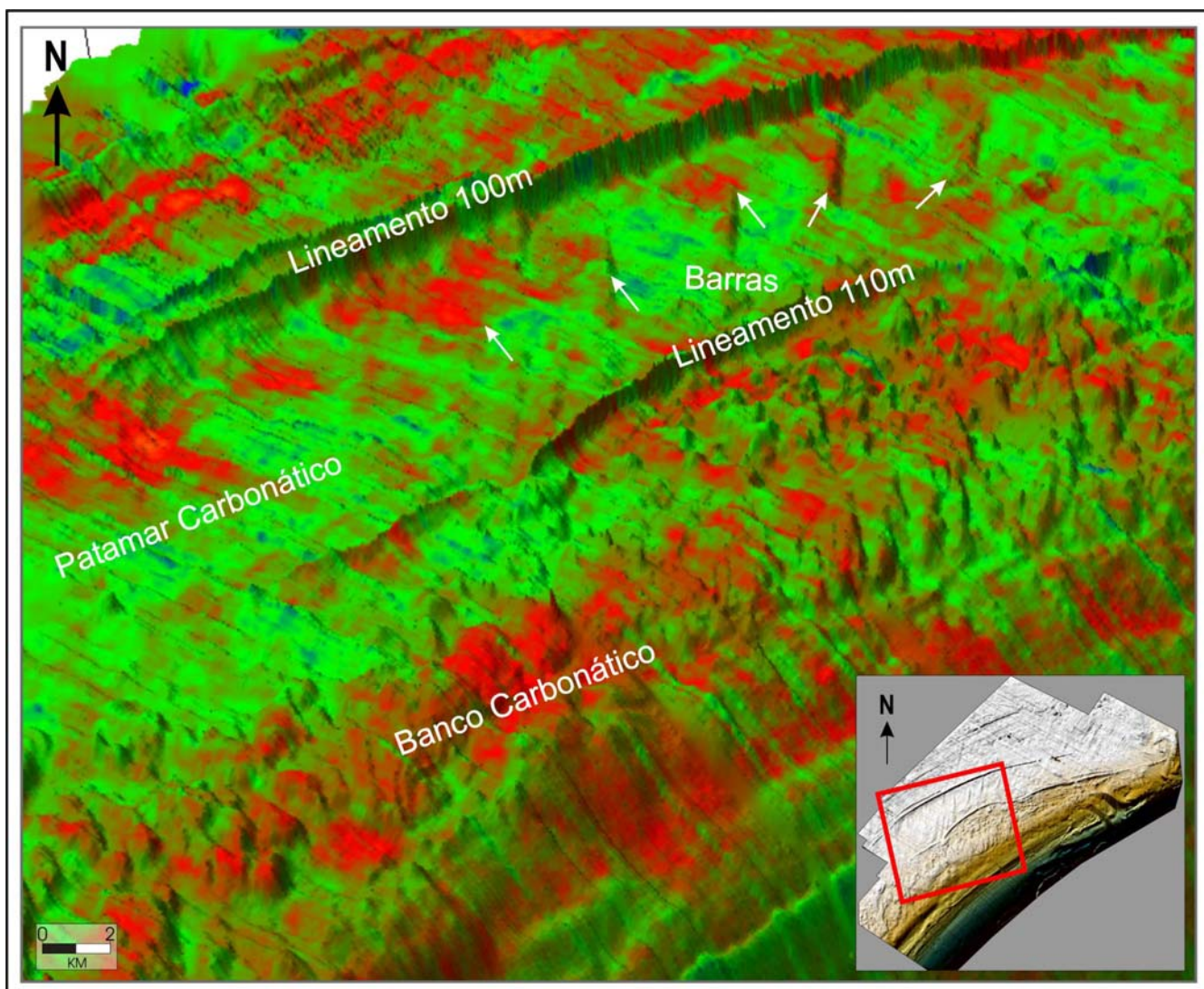


Figura 41. Mapa em perspectiva da batimetria atual com sobreposição da amplitude sísmica do fundo do mar. Mesmo com a qualidade do sinal sísmico comprometida, por serem reflexões muito rasas, existe uma separação entre feições fisiográficas derivadas de *boundstones*, que apresentam maiores amplitudes (vermelho) de áreas mais planas e com menores amplitudes (verde) onde predominam *grainstones*.

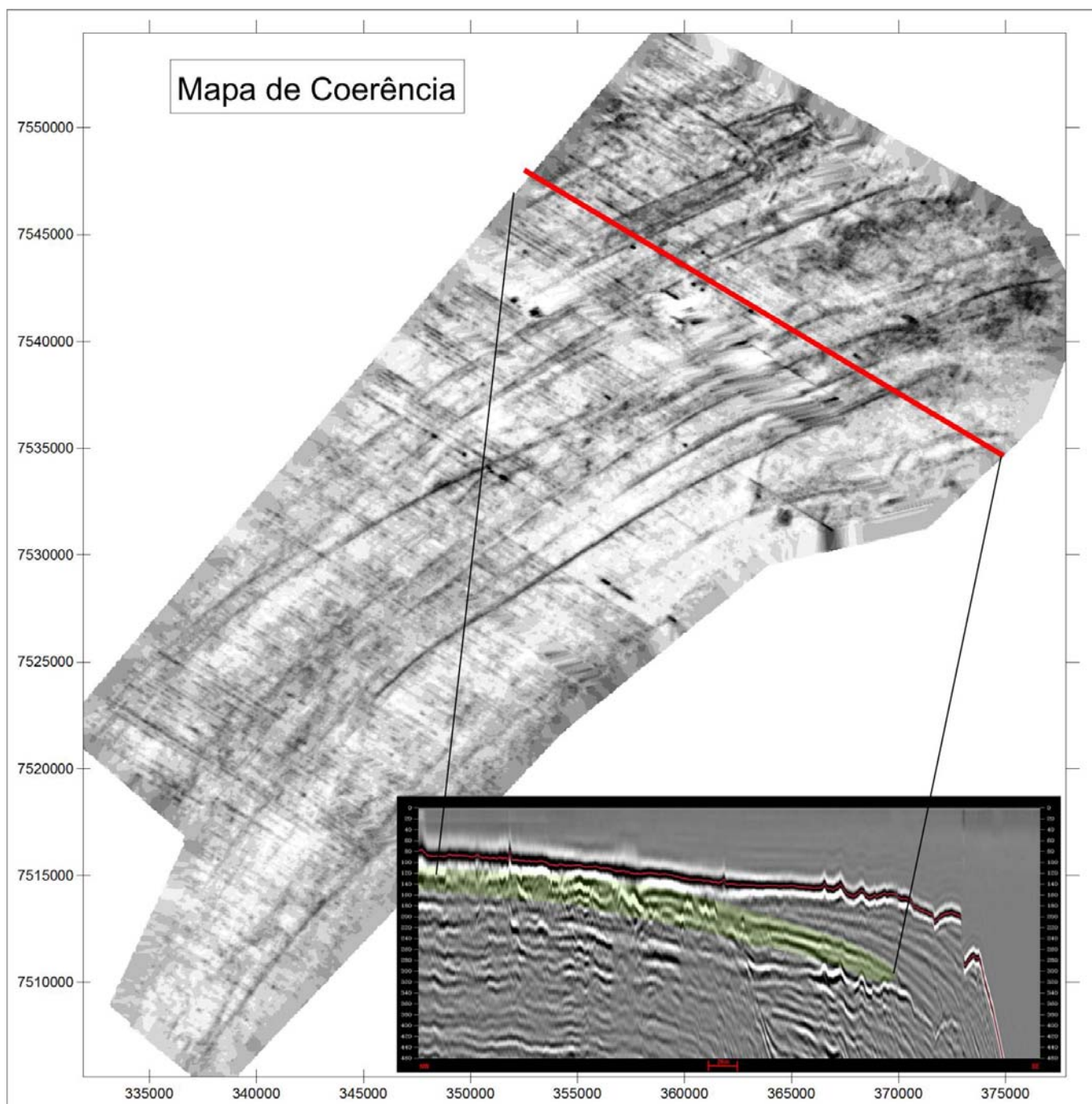


Figura 42. Mapa de Coerência, gerado de uma janela sísmica com reflexões correspondentes à seqüência carbonática anterior, onde se observam bioconstruções em linhas de praia (*boundstones*), semelhantes às formadas no recente.

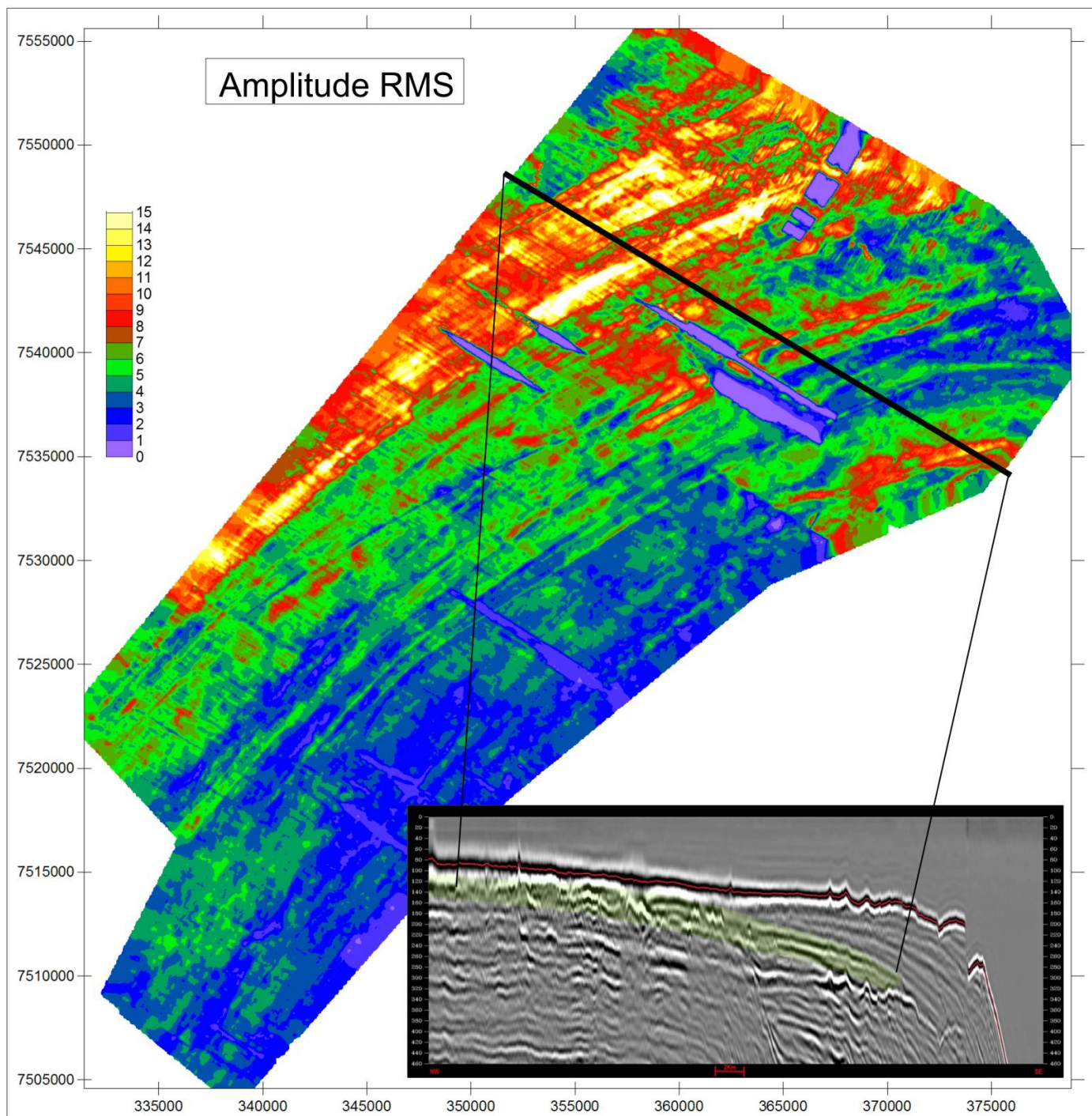


Figura 43. Mapa de Amplitude RMS, gerado a partir da mesma janela da figura 42, onde as maiores amplitudes estão relacionadas com as bioconstruções em linhas de praia (*boundstones*), semelhante ao sinal sísmico observado em feições formadas no recente.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES

8 - CONCLUSÕES

A análise do fundo marinho da plataforma média e externa e talude superior da área central da Bacia de Campos, com base, principalmente, em novos dados de sísmica 3D e sua associação com amostras de fundo, *kullenbergs* e imagens coletadas ao longo do traçado de dutos, possibilitou um grande avanço na definição do modelo de distribuição faciológica dos carbonatos formados por algas vermelhas coralináceas e suas feições fisiográficas.

A morfologia do fundo do mar, na área de estudo, é controlada por províncias fisiográficas diretamente relacionadas com o padrão deposicional das algas vermelhas e, secundariamente, por sedimentos siliciclásticos. Estas províncias se apresentam sob a forma de bancos carbonáticos de morfologia rugosa, lineamentos carbonáticos em forma de cristas com direção paralela à linha de costa atual, lineamentos em forma de barras oblíquas à linha de costa atual e, platôs caracterizados por relevo suave.

Na plataforma média/externa e talude superior da área estudada foram definidas seis fácies sedimentares, as quais estão diretamente relacionadas com as províncias fisiográficas:

a) Fácies Areias Siliciclásticas com Bioclastos – Depositou-se nos patamares topográficos. Possui granulometria variável de areia fina a, localmente,

areia muito grossa. Os bioclastos, que não ultrapassam a 20%, são compostos majoritariamente por conchas de moluscos, gastrópodes e foraminíferos.

b) *Fácies Grainstones com Rodolitos* – Desenvolve-se nos patamares, sendo composta, basicamente, por *grainstones* dominados por algas vermelhas, rodolitos e, secundariamente, por areias siliciclásticas de granulometria fina a muito fina.

c) *Fácies Boundstone Ridges* – Relaciona-se com a formação dos lineamentos carbonáticos paralelos à linha de costa. Apresenta *grainstones* e rodolitos na base dos lineamentos e predomínio de *boundstones* nas partes altas.

d) *Fácies Boundstone Mounds* - Corresponde à feição fisiográfica de lineamentos de barras carbonáticas e se localiza nos patamares. Depositionalmente, comporta-se de forma semelhante à fácies *boundstone ridges*, da qual pode ser considerada uma variação. Difere por formar lineamentos mais largos e pouco expressivos, com orientação oblíqua à linha de costa.

e) *Fácies Boundstone Banks e Grainstones* - Esta fácies forma os bancos carbonáticos de relevo irregular e que são resultados da bioconstrução algálica, sob forma de *boundstones*. Nas porções deprimidas (interbancos) ocorrem os *grainstones*.

f) *Fácies Mista* - Posicionada no talude superior, esta fácies resulta da mescla entre os sedimentos siliciclásticos, de granulometria silte até areia muito fina, com lamas e areias carbonáticas.

A fábrica carbonática de algas vermelhas coralináceas que gerou as fácies carbonáticas aqui descritas desenvolveu-se em batimetrias muito superiores aos carbonatos em geral, estando ativa desde a batimetria de 45 m e cessando em 150 m. O intervalo entre 55 e 90 m mostrou-se como o mais produtivo. Isto é constatado pelas incrustações presentes em dutos que atravessam toda a plataforma e talude continental da área de estudo.

Outra evidência de que as algas vermelhas se desenvolveram em batimetrias maiores do que normalmente se poderia esperar é a presença de

relictos de bioconstruções, formadas por *boundstones*, entre as batimetrias de 170 a 230 m. Estes depósitos se desenvolveram como incrustações em forma de lineamentos carbonáticos de algas vermelhas, o que indica que durante o rebaixamento de 120 m do nível do mar do final do Pleistoceno, a fábrica carbonática que formou estes *boundstones* permaneceu ativa entre 50 e 110 m.

Pelo fato dos depósitos algálicos estarem se formando entre 45 e 150 m – ou seja, na plataforma média e externa da Bacia de Campos - eles estão submetidos aos efeitos hidrodinâmicos da Corrente do Brasil. Devido a isto, a distribuição faciológica dos carbonatos de algas coralináceas vermelhas apresenta características diferentes do que seria esperado caso fossem formadas em um ambiente convencional de deposição carbonática, ou seja, um ambiente de águas rasas e mais calmas nas áreas protegidas e com maior presença de lama carbonática, o que não é observado na área de estudo.

Considerando este modelo carbonático de algas coralináceas de “águas profundas”, a presença de níveis de lama carbonática (*mudstones*) no registro geológico poderia estar relacionada com períodos de máximos transgressivos. Nestes períodos a fábrica carbonática estaria deslocada em direção ao continente, interrompendo a produção carbonática local, favorecendo a deposição de lama proveniente da desagregação mecânica dos depósitos carbonáticos locais, ou provenientes da nova posição ocupada pela fábrica carbonática.

Em termos gerais, a fábrica carbonática dominada por algas vermelhas é influenciada pelo substrato sobre as quais se depositaram os sedimentos algálicos, bem como pela maior ou menor presença de siliciclásticos, os quais inibem o desenvolvimento da sedimentação carbonática algálica. O predomínio na deposição de algas sob a forma incrustante (*boundstones*) é um indicativo da preexistência de substratos mais rígidos, enquanto que o desenvolvimento de formas livres (*grainstones*) é um sinal da falta desta condição.

A modelagem dos substratos sobre os quais se instalou a fábrica carbonática está relacionada com os eventos que atuaram sobre eles a partir do

máximo rebaixamento do nível do mar, que ocorreu próximo ao final do Pleistoceno, e a transgressão marinha subsequente.

Os principais lineamentos carbonáticos identificados na área estudada estão posicionados nas atuais cotas batimétricas de 110, 100, 85 e 70 metros, e estão relacionados com estabilizações da linha de praia ocorridas durante o processo transgressivo. Interpreta-se que durante estas estabilizações a erosão do *shoreface* causada pelas ondas desenvolveu escarpas lineares. As escarpas serviram de substrato para a instalação da *Fácies Boundstone Ridges*, sendo que esta fácies começou a se instalar quando a continuidade da transgressão propiciou, nesses lineamentos, batimetrias entre 40 a 50 m. Além de servir de substrato para o desenvolvimento da *Fácies Boundstone Ridges*, as escarpas marcam a passagem entre patamares dominados pela *Fácies Grainstones com Rodólitos*.

Nos patamares, durante o evento transgressivo, foram formadas várias barras de direção norte-sul. Estas feições correspondem a formas de leitos, tipo dunas transversas, que se formaram pela atuação da Corrente do Brasil durante este evento. A deposição da *Fácies Boundstone Mounds* sobre as dunas transversas também teve seu início quando a batimetria atingiu a zona que marca o início da atividade da fábrica carbonática das algas vermelhas na Bacia de Campos, estando atualmente estabilizadas pelas incrustações de *boundstones*.

As algas vermelhas formadas a partir do Terciário são os grandes constituintes da maioria dos depósitos carbonáticos mundiais, permanecendo assim até o presente. Sua ocorrência é comum em águas mais profundas. O modelo de deposição identificado no recente da área de estudo, onde a principal fábrica carbonática é representada por algas vermelhas coralináceas de águas relativamente mais profundas, pode ser o mais apropriado como análogo para a sedimentação dominada por algas vermelhas do Terciário das bacias meridionais Brasileiras, quando não houver uma clara associação com constituintes carbonáticos exclusivos de águas rasas.

Na área estudada, os depósitos carbonáticos recentes dominados por *grainstones* e por *boundstones*, apresentam elevada porosidade inicial, atingindo valores médios de 65%.

Através da interpretação sísmica e análise de atributos, foi verificado que o desenvolvimento de feições carbonáticas na seção Terciária da Bacia de Campos tende a se repetir em várias seqüências. Com base nisso, o uso da distribuição de fácies do recente como modelo análogo para os depósitos carbonáticos do Terciário, pode ser uma importante ferramenta na predição de reservatórios carbonáticos formados por algas vermelhas.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

ADEY, W.H.; MACINTYRE, I.G. 1973. Crustose coralline algae: A re-evaluation in the Geological Sciences. **Geological Society of America Bulletin**, v.84, p. 883-904.

ADEY, W.H. 1986. Coralline algae as indicators of sea-level. In: Van de Plasche, O. (ed.). **Sea-Level Research: A Manual for the Collection and Evaluation of Data**, Geo Books, Norwich, p. 229 - 280.

AZEVEDO, R.L.M.; GOMIDE, J.; VIVIERS, M.C. 1987. Geo-história da Bacia de Campos: do Albiano ao Maastrichtiano. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, p. 139-146.

BARD, E.; HAMELIN, B.; FAIRBANKS, R.G. 1990. U-Th ages obtained by mass spectrometry in corals from Barbados: sea level during the past 130,000 years. **Nature**, n.346, p. 456–458.

BELO, W.C. 2003. **Análise das correntes de fundo para estudos de integridade de dutos na Bacia de Campos**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/CENPES/PDP/MC, 31 p. (Comunicação técnica).

BELTRAMI, C.V.; MEISTER, E.M.; GUARDADO, L.R. 1982. **Carta estratigráfica da Bacia de Campos**. Rio de Janeiro: Petrobrás. (Relatório interno).

BELPERIO, A.P.; SEARLE, D.E. 1988. Terrigenous and carbonate sedimentation in the Great Barrier Reef Province. In: Doyle, L.J.; Roberts, H.H. (Ed.). **Developments in Sedimentology**. Amsterdam: Elsevier. v.42, p. 143 - 206.

BOSELLINI, A.; GINSBURG, R.N. 1971. Form and internal structure of recent algal nodules (rhodolites) from Bermuda. **Journal of Geology**, v.79, p. 669 - 682.

BOSENCE, D.W.J. 1983a. Description and classification of rhodoliths (rhodoids, rhodolites). In: T.M. Peryt (Ed.). **Coated Grains**. Berlin: Springer. p. 217-224.

BOSENCE, D.W.J. 1983b. The occurrence and ecology of recent rhodoliths-a review. In: Peryt, T.M. (Ed.), **Coated Grains**. Berlin: Springer. p. 225 - 242.

BOSENCE, D.W.J. 1985. The 'Coralligene' of the Mediterranean – a recent analog for Tertiary coralline algal limestones. In: Toomey, D.F.; Nitecki, M.H. (eds.). **Paleoalgology: Contemporary Research and Applications**. New York: Springer. p. 215 - 225.

CADDAH, L. F. G. 1990. **Análise sedimentar do Mb. Grussaí / Fm. Emborê a partir de poços Geotécnicos**. Macaé: PETROBRÁS/DESUD/DINTER/SELAB. 10p. (Comunicação técnica).

CAMPOS, E.J.D.; GONÇALVES, J.E.; IKEDA, Y. 1985. Water mass structure and geostrophic circulation in the South Brazil bight - summer of 1991. **Journal of Geophysical Research**, v.100, n. C9, p. 18537-18550.

CARVALHO, M. D. 1998. **Algas Coralináceas do recente ao redor da Plataforma de Pampo, Bacia de Campos**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/DIGER, 62/98. (Comunicação técnica).

CASTAÑOS, G.X.O. 2002. **Integração das imagens sonográficas e perfis batimétricos na Plataforma de Regência (Bacia de Espírito Santo)**. 2002. 75 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CORREA, A. C. T.; GAMBOA, L. A. P.; CASTAÑOS, G. X. O. 2001. Caracterização de paleoambiente submarino com *side scan sonar*, ecobatímetro e amostras de fundo - Bacia de Campos – RJ. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 7, Salvador. **Anais...** Salvador: SBGF. 4 p.

CORREA, A. C. T. 2001. **Estudo de morfologias na Bacia de Campos através de imagens de Sonar de Varredura Lateral, Perfis Batimétricos e Amostras Litológicas**. 2001. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal Fluminense, Niterói.

CORRÊA, I. C. S.; TOLDO, E. E. 2001. Estabilizações do nível do mar desde a última glaciação inferida pela morfologia na Plataforma Continental Sul e Sudeste Brasileira. In: CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DE PAÍSES DE LINGUAS IBÉRICAS, 1, Lisboa. **Actas...** Lisboa, Portugal. p. 190-193.

DELLA PIAZZA, H.; CASTRO, J.R.J.; SILVA, H.P. 1983. Discordância Pré-Holocênica e sua importância no estudo de fundações na Bacia de Campos. **Boletim Técnico da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 2, p. 91-114.

DIAS, G. T. M. 2000. Granulados Bioclásticos-Algas Calcárias. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 18, n. 3, p.307-318.

DIAS, J.L.; VIEIRA, J.C.; CATTO, A. J.; OLIVEIRA, J. Q.; GUAZELLI, W.; TRINDADE, L.A.F.; MIZUSAKI, A. M. P.; KIANG, C.H.; KOWSMANN.; MELLO, U.T.; MOURAS, J.A. 1987. **Estudo regional da Formação Lagoa Feia**. Rio de Janeiro: Petrobrás. Depex, 143p. (Relatório interno).

DIAS, J.L.; SCARTON, J.L.; ESTEVES, F.R. CARMINATTI, M.; GUARDADO, L.R. 1990. Aspectos da Evolução Tectono-Sedimentar e a Ocorrência de Hidrocarbonetos na Bacia de Campos, In: RAJA GABAGLIA, G.P.; MILANI, E.J. (Ed.), **Origem e Evolução de Bacias Sedimentares**, Petrobrás, p.333-360.

DORIS, C. G. 1979. **Summary of data collection on seafloor samples taken on pipelines routes**. Rio de Janeiro: Petrobrás. Gecam/Denge/Seget. (Relatório técnico).

DUNBAR, G. B.; DICKENS, G. R. 2003. Late Quaternary shedding of shallow-marine carbonate along a tropical mixed siliciclastic-carbonate shelf: Great Barrier Reef, Australia. **Sedimentology**, v. 50, p.1061–1077.

DUNHAN, R. J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: HAM, W. E. (Ed.). **Classification of carbonate rocks**. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, p. 108-121.(AAPG Memoir, n.1).

EMBRY, A.F.; KLOVAN, J.E. 1971. A Late Devonian reeftract on northeastern Banks Islands, Northwest Territories. **Bulletin of Canadian Petroleum Geology**, v.19, p. 730-781.

ESTEVES, F.R.; SPADINI; A.R.; MAKOTO, S. 1987. A sedimentação alboturoniana (Formação Macaé) da Bacia de Campos. In: Simpósio de Geologia Regional, RJ-ES, Rio de Janeiro: SBG. **Anais...** p. 27-42.

FAIRBANKS, R. G. 1989. A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. **Nature**, n. 342, p. 637 – 642.

FOLK, R.L. 1962. Spectral subdivision of limestones types. In: HAM, W.E. (ed.) **Classification of carbonate rocks**. Tulsa. American Association of Petroleum Geologists, p. 62-85. (AAPG Memoir, n.1).

FLOOD, P.G.; ORME, G.R. 1988. Mixed siliciclastic/carbonate sediments of the northern Great Barrier Reef province, Australia. In: DOYLE, L.J.; ROBERTS, H.H. (Ed.). **Developments in Sedimentology: Carbonate–Clastic Transitions**, Amsterdam: Elsevier. p. 175–205.

FREIWALD, A.; HENRICH, R.; SCHÄFER, P.; WILLKOMM, H. 1991. The significance of high-boreal to subarctic maerl deposits in Northern Norway to reconstruct Holocene climatic changes and sea level oscillations. **Fácies**, n. 25, p. 315–340.

GAMBOA, L.A.P.; ESTEVES, F.R.; SHIMABUKURO, S.; CARMINATTI, M.; PERES, W.E.; SOUZA CRUZ, C.E. 1986. Evidências de variações do nível do mar durante o Oligoceno e suas implicações faciológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia, 1986. **Anais...** São Paulo: SBG, p. 8-22.

GHERARDI, D.F.M.; BOSENCE, D.W.J., 2001. Composition and community structure of the coralline-algal reefs from Atol das Rocas, South Atlantic, Brazil. **Coral Reefs**, n.19, p. 205–219.

GHERARDI, D.F.M.; BOSENCE, D.W.J. 2005. Late Holocene reef growth and relative sea-level changes in Atol das Rocas, equatorial South Atlantic. **Coral Reefs**, n. 24/2, p. 264–272.

GUARDADO, L.R.; COLETTI, P.C.; BISOL, D.L. 1983. **Estudo da seção de água rasa da Formação Macaé na área N-NO da Bacia de Campos**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/DEPEX/DIRSUL/SECASU, 56p. (Relatório interno).

GUARDADO, L.R.; GAMBOA, L.A.P.; LUCCHESI, C.F. 1989. Petroleum geology of the Campos basin, Brazil, a model for a producing Atlantic type basin. In: EDWARDS, J.D.; SANTOGROSSI, P.A. (Ed.). **Divergente/Passive Margin**

Basins. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, p. 3-79. (AAPG Memoir, n. 48)

HARRIS P. T.; TSUJI Y., MARSHALL J. F.; DAVIES P. J.; HONDA N.; MATSUDA H. 1996. Sand and rhodolith-gravel entrainment on the mid- to outer-shelf under a western boundary current: Fraser Island continental shelf, eastern Australia. **Marine Geology**, v.129, p. 313-330.

KAMPEL, M. 1993. **Caracterização dos modos principais de variabilidade dos campos de TSM no Atlântico utilizando dados AVHRR.** 1993. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

KEMPF, M. 1972. A plataforma continental da costa leste brasileira, entre o Rio São Francisco e Ilha de São Sebastião (10°30'-25° lat. S) : Notas sobre os principais tipos de fundo. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA, 26, São Paulo, 1972. **Anais...** São Paulo: SBG. p. 211-234.

KOWSMANN, R. O.; COSTA, M. G. F.; CASTAÑOS. 1998. **Sedimentos ao redor da Plataforma de Pampo.** PETROBRÁS/SUSEP/DIVEX/SETEX. (Comunicação técnica).

KOWSMANN, R. O. 2001. **Idades dos carbonatos algálicos do Quaternário Pós-Glacial da Bacia de Campos.** PETROBRÁS/CENPES/TEGG, 8 p. (Comunicação técnica)

LEÃO, Z.M.A.N. 1999. - Abrolhos - o complexo recifal mais extenso do oceano Atlântico Sul. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M.; BERBRET-BORN, M. (Ed.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil.** www.unb.br/ig/sigep/sitio090/sitio090.htm.

LUND, M.; DAVIES P.J.; BRAGA, J.C. 2000, Coralline algal nodules off Fraser Island, eastern Australia. **Facies**, n. 42, p. 25-34.

MIZUSAKI, A.M.P.; THOMAZ. A.; VALENÇA, J.G. 1988. Volcano-Sedimentary Sequence of Neocomian age in Campos Basin (Brasil). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 18, p. 247-251.

PETERSON, R.G.; STRAMMA, L. 1991. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v.26, n.1. p. 1-73.

POMAR, L.; OBRADOR, A.; WESTPHAL H. 2002. Sub-wavebase cross-bedded grainstones on a distally steepened carbonate ramp, Upper Miocene, Menorca, Spain. **Sedimentology**, v.49, p.139-169.

RANGEL, H.D.; MARTINS, F.A.L.; ESTEVES, F.R.; FEIJÓ, F.J. 1984. Bacia de Campos. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v.8, n.1, p. 203-217.

RASSER, M. W.; PILLER, W. E. 2004. Crustose algal frameworks from the Eocene Alpine foreland. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 206, p. 21-39.

SCHALLER, H. 1973. Estratigrafia da Bacia de Campos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27. 1973, Aracaju, SBG. **Anais...** Aracaju: SBG. v.3, p.247-258.

SCHLAGER, W. 1981. The Paradox of Drowned Reefs and Carbonate Platforms, **Bulletin of the Geological Society of America**, v.92, p.197-211.

SCHLAGER, W. 1992. **Sedimentology and sequence stratigraphy of reefs and carbonate platforms**. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 71p. (Continuing Educational Course Note Series, n. 34)

SCOFFIN, T.P.; TUDHOPE, A.W. 1985. Sedimentary environments of the Central Region of the Great Barrier Reef of Australia. **Coral Reefs**, n. 4, p.81-93.

SCOFFIN, T.P. 1988. The environments of production and deposition of calcareous sediments on the shelf west of Scotland. **Sedimentary Geology**, v.60, p. 107-134.

SILVA Jr, C.L.; KAMPEL, M.; ARAUJO, C.E.S.; STECH, J.L. 1996. Observação da penetração do ramo costeiro da corrente das Malvinas na costa sul-sudeste do Brasil a partir de imagens AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: INPE. P. 787-793.

SPADINI, A.R.; ESTEVES, F.R.; DIAS-BRITO, D.; AZEVEDO, R.L.M.; RODRIGUES, R. 1988. The Macaé Formation, Campos Basin, Brazil: It's evolution in the context of the initial history of the South Atlantic. **Revista Brasileira de Geociências**, v.18, n.3, p. 261-272.

SPADINI, A. R.; MONTEIRO, M. C.; KOWSMANN, R. O.; VIANA, A. R. 1992. **Análise geológica dos furos GT-23, GT-24 e GT-25 da área da plataforma de Albacora-1**. PETROBRÁS. CENPES/SUSEP/DIGER, 19 p. (Comunicação técnica).

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINCUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M.; AZEVEDO, A.E.G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, v.15, p. 273–286.

SZATMARI, P.; CARVALHO, R.S.; SIMÕES, I.A. 1979. A comparison of evaporite facies in the late Paleozoic Amazon and the Middle Cretaceous South Atlantic salt basins. **Economic Geology**, v.74, p. 432-447.

TERRA, G.J.S. 1990. **Fácies, modelo deposicional e diagênese da seqüência carbonática albo-cenomaniana (Formação Ponta do Mel) da Bacia Potiguar**. 1990 153 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

TESTA, V.; BOSENCE, D.W.J. 1999. Physical and biological controls on the formation of carbonate and siliciclastic bedforms on the north-east Brazilian shelf. **Sedimentology**, v. 46, p. 279-301.

TSUJI, Y.1993. Tide influenced high energy environments and rhodolith-associated carbonate deposition on the outer shelf and slope off the Mikayo Islands, southern Ryukyu Island Arc, Japan. **Marine Geology**, v. 113, p. 255–271.

TUCKER, M. E.; WRIGHT, V. P. 1990. **Carbonate Sedimentology**. Cambridge, Blackwell. 482 p.

VIANA, A.R.; FAUGÈRES, J.C.; KOWSMANN, R.O.; LIMA, J.A.M.; CADDAH, L.F.G.; RIZZO, J.G. 1998. Hydrology, morphology and sedimentology of the Campos Continental Margin, Offshore Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 115, p. 133–157.

VIANNA, M. L.; SOLEWICZ, R.; CABRAL, A.; TESTA, V., 1991. Sandstream on the northeast Brazilian Shelf. **Continental Shelf Research**, v. 2, p. 509-524.

VICALVI, M.A.; MILLIMAN, J.D. 1977. Calcium Carbonate Sedimentation on Continental Shelf off Southern Brazil with Special Reference to Benthic Foraminifera. In: FROST, S.H. WEISS M.P.; SAUNDERS, J.B. **Studies in Geology** 4. Tulsa: AAPG. p. 313-328.