



Mariana Rodrigues Meirelles

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DAS
COQUINAS DA FORMAÇÃO ITAPEMA (ANDAR
JIQUIÁ) EM UM POÇO DO CAMPO DE MERO,
BACIA DE SANTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso

Geologia

UFRJ

Rio de Janeiro

Agosto de 2021



UFRJ

Mariana Rodrigues Meirelles

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DAS
COQUINAS DA FORMAÇÃO ITAPEMA (ANDAR
JIQUIÁ) EM UM POÇO DO CAMPO DE MERO,
BACIA DE SANTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadores:

Dr. Leonardo Borghi

Ms. Julia Favoreto

Ms. Michele Correia Arena Salvador da Silva

UFRJ

Rio de Janeiro

Agosto de 2021

RODRIGUES MEIRELLES, Mariana

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DAS
COQUINAS DA FORMAÇÃO ITAPEMA EM UM POÇO
NO CAMPO DE MERO (ANDAR JIQUIÁ), BACIA DE
SANTOS** / Mariana Rodrigues Meirelles – Rio de Janeiro: UFRJ
/ IGEO, 2021.

41p. il.; 30 cm

Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Geologia) –
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de
Geociências, Departamento de Geologia, 2021.

Orientadores: Leonardo Borghi, Julia Favoreto, Michele
Arena

1. Geologia. 2. Geologia Sedimentar - Trabalho de
Conclusão de Curso. I. Leonardo Borghi, Julia Favoreto,
Michele Arena. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III.
Título.

Mariana Rodrigues Meirelles

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DAS COQUINAS DA FORMAÇÃO
ITAPEMA EM UM POÇO DO CAMPO DE MERO (ANDAR JIQUIÁ), BACIA DE
SANTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Geologia do Instituto de
Geociências, Universidade Federal do
Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado
como requisito necessário para
obtenção do grau de Bacharel em
Geologia.

Orientadores: Dr. Leonardo Borghi
Ms. Julia Favoreto
Ms. Michele Arena

Aprovado em:

Por:

Orientador: Dr. Leonardo Borghi de Almeida (UFRJ)

Dr. Patrick Francisco Furh Dal’Bó (UFRJ)

Msc. Lucas da Rocha Pinto (UFRJ)

**“Se procurar bem você acaba encontrando.
Não a explicação (duvidosa) da vida, mas a
poesia (inexplicável) da vida.” – Carlos
Drummond de Andrade**

AGRADECIMENTOS

Tenho muita sorte de ter tido várias pessoas muito boas em minha vida que, conseqüentemente, me ajudaram e até pegaram na minha mão e me guiaram. Se você passou por algum segundo na minha vida e me ajudou de alguma forma, seja com um sorriso ou até com uma frase bonita e de apoio, meu muito obrigada!

Grande parte do meu agradecimento vai para minha família. Mãe e pai, muito obrigada por sempre me apoiarem, me mostrarem os caminhos certos e por me amarem incondicionalmente! Eu amo muito vocês! Meu irmão Guilherme, eu quero agradecer por sempre ter sido a minha inspiração e se eu puder ao menos ser 1% do que você é, ficarei satisfeita e feliz. Tio Joel e tia Sônia, vocês foram meus segundos pais e tiveram um grande papel em minha vida, me apoiando e me ajudando de todas as formas possíveis. Vô Joel e Vó Almerinda, vocês foram os que construíram a família e fizeram um trabalho lindo mostrando que de pouquinho em pouquinho dá para construir algo muito bonito, sem passar por cima de ninguém. Minha madrinha Creusa, agradeço por ter sido um modelo de mulher, você sempre ajudou todos que estavam ao seu alcance, inclusive eu mesma. Sou muito grata por tudo! Muito obrigada também aos que já se foram: Cristal, que foi a minha companheira por 17 anos e, sem falar, sempre conseguiu entender meus sentimentos e os meus avós Achilles e Hilda que me amaram de uma maneira tão pura que até hoje eu os sinto comigo! Sinto saudades!

Quero agradecer aos meus amigos! Não tenho como citar todos, porque eu fui uma pessoa realmente abençoada nesse quesito. Vocês sempre estiveram comigo em momentos bons e momentos ruins, mas nunca soltaram a minha mão. Mas quero agradecer especialmente aos amigos que fiz na faculdade, porque vocês fizeram a minha graduação mais leve em vários momentos que eu a sentia pesada. Pedro Delforge, Victor Ferreira, Luiza Tinoco, Leonardo Ribeiro, Matheus Teixeira, Amanda Mustafa, Julyanna Wermeling, Jéssica Castro, Anna Peres, Fernanda Senra e Giovanna Hamad, cada um de vocês são especiais! Acreditem no potencial de vocês e tenham calma, que todos nós vamos ser bem-sucedidos!

Um grande agradecimento ao Laboratório de Geologia Sedimentar por toda a infraestrutura e apoio durante esses quatro anos. Obrigada ao Professor Patrick Dal'Bó por ter me aberto as portas e ao Professor Leonardo Borghi por ter me acolhido. Quero agradecer também a amizade e orientação da Julia Favoreto e Michele Arena, vocês foram um grande pilar para mim e me deram empurrões e conselhos importantes! Muito obrigada também as minhas amizades que conquistei entre os estagiários, mestrandos, doutorandos e CLTs! Em

especial Lorena Martins, Lucas Rocha, Suzana Faria, Igor Nascimento e Maria Clara Goulart! Vocês foram inspirações para eu sempre ir em busca do conhecimento e me mostraram, que através da ciência, evoluímos cada vez mais! Um agradecimento mais que especial ao Geólogo Reynaldo Pires, que chegou em um momento crucial e, sem grandes pretensões, me ajudou muito nesse caminho para a conclusão de curso. Tenho muita gratidão por tudo que passei no Laboratório!

Por fim, agradeço aos professores do Departamento de Geologia da UFRJ por terem passado o conhecimento e amor pela Geologia. Por muitas vezes, era possível ver a paixão passando pelas veias de vocês e isso foi muito engrandecedor. Obrigada por compartilharem ensinamentos que vou levar para a minha vida profissional!

RESUMO

MEIRELLES, M. R. **CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DAS COQUINAS DA FORMAÇÃO ITAPEMA EM UM POÇO DO CAMPO DE MERO, BACIA DE SANTOS (NEOBARREMIANO AO EOAPTIANO)**. 2021. 41p. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

Coquinas são definidas como rochas carbonáticas alóctones formadas predominantemente de detritos de fósseis bem selecionados (Pettijohn, 1957) e apresentam-se como ferramenta importante na interpretação das condições deposicionais de paleoambientes. Devido as descobertas e produção de hidrocarbonetos no intervalo Pré-Sal das bacias da margem continental brasileira, o estudo dessas rochas tem se tornado cada vez mais importante. Esse tipo de reservatório é um desafio para a compreensão da evolução do sistema poroso, bem como no entendimento geral da sua variabilidade faciológica e estruturas sedimentares. Pois além de aspectos sedimentológicos e diagenéticos, a tafonomia têm papel relevante no desenvolvimento do poro. Estudos diagénéticos associados à tafonomia são importantes tanto para o reconhecimento de padrões e da evolução desse sistema poroso no tempo quanto para a criação de uma classificação para esse tipo litológico. Isto posto, o objetivo principal desse trabalho é a descrição macroscópica, em escala de reservatório (1:40) e microscópica (em escala de lâminas delgadas), com a utilização da microscopia óptica (luz polarizada e transmitida), atendendo os parâmetros granulométricos, sedimentológicos, diagenéticos e tafonômicos para as coquinas de um intervalo do testemunho de sondagem de um poço exploratório, correspondente à Formação Itapema. A partir da análise dos parâmetros granulométricos, foram individualizadas 3 litofácies sedimentares: 1) CRE Grosso, caracterizado por arcabouço de conchas com granulometria que varia de areia média a areia grossa; 2) CRU Fino, caracterizado por arcabouço de conchas na fração grânulo; 3) CRU Médio, caracterizado por arcabouço de conchas na fração seixo; e a partir da análise petrográfica seguindo os parâmetros sedimentológicos, diagenéticos associados à tafonomia, foram identificadas 7 microfácies: 1) CREbg; 2) CREcg; 3) CREbog; 4) CRUbf; 5) CRUbof; 6) CRUbm; 7) CRUbom. Após a individualização de litofácies e microfácies, foi possível reconhecer quais seriam as melhores e piores fácies em um reservatório de hidrocarbonetos.

Palavras-chave: Coquinas, Pré-sal, Formação Itapema.

ABSTRACT

MEIRELLES, M. R. **PETROGRAPHIC CHARACTERIZATION OF COQUINAS OF ITAPEMA FORMATION IN A WELL AT MERO FIELD, SANTOS BASIN (NEOBARREMIAN TO EOAPTIAN)**. 2021, 41p, Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Coquinas are defined as allochthonous carbonate rocks formed predominantly from well selected fossil debris (Pettijohn, 1957) and are an important tool in the interpretation of depositional conditions. Due to the discoveries and production of hydrocarbons in the Pre-Salt interval of the basins of the Brazilian continental margin, the study of these rocks has become increasingly important. This type of reservoir is a challenge for understanding the evolution of the porous system, as well as for the general understanding of lithology and sedimentary structures, as in addition to sedimentological and diagenetic aspects, taphonomy has a relevant role in pore development. Diagenetic studies associated with taphonomy are important both for the recognition of patterns and the evolution of this porous system over time and for the creation of a classification for this lithological type. That said, the main objective is the macroscopic description, in reservoir scale (1:40) and microscopic (thin blades), with the use of optical microscopy (polarized and transmitted light), taking into account the granulometric, sedimentological, diagenetic and taphonomic parameters for the coquinas of an interval of the drilling core of an exploratory well, corresponding to the Itapema Formation. From the analysis of granulometric parameters, 3 sedimentary lithofacies were identified: 1) CRE Gross, characterized by shell framework with granulometry ranging from medium to coarse sand; 2) CRU Thin, characterized by shell framework with granule granulometry; 3) CRU Medium, characterized by a shell framework with pebble granulometry; and from the petrographic analysis following the sedimentological and diagenetic parameters associated with taphonomy, 7 microfacies were identified: 1) CREbg; 2) CREcg; 3) CREbog; 4) CRUbf; 5) CRUbof; 6) CRUbm; 7) CRUbof. After the individualization of lithofacies and microfacies, it was possible to recognize which would be the best and worst facies in a hydrocarbon reservoir.

Keywords: *Coquinas; Pre-Salt; Itapema Formation.*

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
LISTA DE QUADROS	xiii
LISTA DE TABELA	xiv
LISTA DE ESTAMPA	xv
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVO	4
3 MATERIAIS E MÉTODOS	4
3.1 Materiais	4
3.2 Métodos	5
3.2.1 Pesquisa bibliográfica	6
3.2.2 Análise macroscópica	6
3.2.3 Análise petrográfica	7
4 CONTEXTO GEOLÓGICO	8
4.1 Aspectos Gerais	8
4.2 Arcabouço estrutural	8
4.3 Estratigrafia	11
4.4 Formação Itapema	16
5 REVISÃO CONCEITUAL	17
5.1 Principais constituintes carbonáticos	17
5.1.1 Ooides	17
5.1.2 Oncóides	18
5.1.3 Litoclasto	19
5.1.4 Peloides	19
5.1.5 Bioclasto	20
5.1.6 Lama Carbonática	21
5.1.7 Cimento	22
5.2 Tafonomia	22
5.3 Principais processos e produtos diagenéticos	24
5.3.1 Micritização	24

5.3.2 Dissolução	25
5.3.3 Cimentação	25
5.3.4 Neomorfismo	25
5.3.5 Silicificação	26
5.3.6 Dolomitização	26
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
6.1 Composição.....	26
6.2 Feições diagenéticas.....	27
6.3 Litofácies sedimentares	28
6.3.1 Litofácies calcarenito grosso (CRE grosso)	29
6.3.2 Litofácies calcirrudito fino (CRU fino)	32
6.3.3 Litofácies calcirrudito médio (CRU médio)	35
6.4 Microfácies sedimentares.....	38
6.4.1 Microfácies Calcarenito Bioclástico Grosso – CREbg	40
6.4.2 Microfácies Calcarenito Cortóidico Grosso – CREcg	45
6.4.3 Microfácies Calcarenito Bioclástico Oolítico Grosso – CREbog	49
6.4.4 Microfácies Calcirrudito Bioclástico Fino – CRUbf	54
6.4.5 Microfácies Calcirrudito Bioclástico Oolítico Fino – CRUbof	58
6.4.6 Microfácies Calcirrudito Bioclástico Médio – CRUbm	63
6.4.7 Microfácies Calcirrudito Bioclástico Oolítico Médio – CRUbo m	67
7. CONCLUSÃO	72
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Bacia de Santos (ANP, 2017).	2
Figura 2 - Localização do Poço 2-ANP-2A-RJS dentro do Polígono do Pré-Sal. Fonte: Web Maps ANP 2018.	3
Figura 3 - Linha sísmica CC', cruzando o poço 2-ANP-2A. Observação da geometria anteriormente interpretada como microbial. A Formação Itapema está inserida entre as linhas azul e amarela (Carlotto et al., 2017).	3
Figura 4 - Imagem das caixas dos testemunhos de sondagem do poço 2-ANP-2A-RJS.	4
Figura 5 - Fluxograma ilustrativo dos materiais e métodos utilizados neste estudo.	6
Figura 6 - Classificação tofonômica (Muniz & Bosence, 2017)	7
Figura 7 - Localização da Bacia de Santos e sua delimitação (Fauth et al., 2012).	8
Figura 8 - Ilustração da reconstrução tectônica das bacias sedimentares em uma configuração.	10
Figura 9 - Principais feições estruturais da Bacia de Santos e áreas adjacentes (Pereira & Macedo, 1990).	11
Figura 10 - Carta Cronoestratigráfica da Bacia de Santos (Moreira et al., 2007).	14
Figure 11 - Carta Cronoestratigráfica da Bacia de Santos (Moreira et al., 2007).	15
Figura 12 - Carta cronoestratigráfica do intervalo Pré-sal da Bacia de Santos (Carlotto et al., 2017)...	16
Figura 13 - Ilustração de um Ooide (Terra et al., 2010).	18
Figura 14 - Ilustração de um Oncoide (Terra et al., 2010).....	19
Figura 15 - Ilustração de um Peloide (Terra et al., 2010).....	20
Figura 16 - Imagem modificada da morfologia de um bivalve de Scholle & Scholle (2003).	21
Figura 17 - Imagem modificada do diagrama com os tipos de acumulações esqueletais em relação ao mecanismo formador.....	23
Figura 18 - Perfil litológico de cerca de 13 metros de testemunho do Poço 2-ANP-2A-RJS.	28

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Litofácies identificadas com suas respectivas diagnoses.....	29
Quadro 2 - Quadro resumo das microfácies caracterizados neste trabalho.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela com as profundidades utilizadas para a descrição microscópica..... 5

LISTA DE ESTAMPAS

Estampa 1: Calcarenito Grosso - CRE Grosso	30
Estampa 2: Calcirrudito Fino - CRU Fino.....	33
Estampa 3: Calcirrudito Médio - CRU Médio.....	36
Estampa 4: Calcarenito Bioclástico Grosso – CREbg	41
Estampa 5: Calcarenito Cortóidico Grosso – CREcg.....	46
Estampa 6: Calcarenito Bioclástico Oolítico Grosso – CREbog	50
Estampa 7: Calcirrudito Bioclástico Fino – CRUbf.....	55
Estampa 8: Calcirrudito Bioclástico Oolítico Fino – CRUbof	59
Estampa 9: Calcirrudito Bioclástico Médio – CRUbm.....	64
Estampa 10: Calcirrudito Bioclástico Oolítico Médio – CRUbo.....	68

1 INTRODUÇÃO

A Bacia de Santos é a maior bacia sedimentar offshore do Brasil constituindo atualmente, em conjunto com a Bacia de Campos, uma das principais bacias produtoras de Petróleo do Brasil, com 26 campos descobertos até maio de 2017 (ANP, 2017) (Figura 1).

A área de estudo localiza-se na Bacia de Santos, situada na região sudeste da margem continental brasileira, abrangendo os litorais dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina (ANP, 2017). Segundo Moreira *et al.* (2007), esta Bacia é delimitada geologicamente pelo Alto de Cabo Frio a Norte e pelo Alto de Florianópolis a Sul. O limite oeste é demarcado pelo Maciço da Carioca, Serras do Mar e da Mantiqueira e a leste pelo Platô de São Paulo (Macedo, 1989).

Durante a década de 70 começaram os primeiros investimentos exploratórios na bacia, porém na época sem sucesso (Chang *et al.*, 2008). A primeira descoberta da Província Pré-Sal na Bacia de Santos ocorreu em 2005 com o poço 1-RJS-617D (Parati) (Carlotto *et al.*, 2017). Em 2006, a Petrobras e parceiros fizeram a primeira descoberta comercial de óleo no Pré-Sal com o poço 1-RJS-628 (Tupi) na área que posteriormente ficou conhecida como o Campo gigante de Lula (Carlotto *et al.*, 2017). Nos anos seguintes, descobertas como os Campos de Lapa, Sapinhoá, Berbigão, Sururu, Atapu, Búzios e Libra confirmaram o potencial dos reservatórios Pré-Sal na Bacia de Santos (Carlotto *et al.*, 2017).

Esse trabalho foi desenvolvido pelo Projeto PRESAL no Laboratório de Geologia Sedimentar. Esse projeto visa caracterizar, em termos geológicos de reservatórios, as sucessões de coquinas das bacias de Santos (Fm. Itapema) e Sergipe-Alagoas (Fm. Morro do Chaves), os 'microbialitos' da Bacia de Santos (Fm. Barra Velha), com base em dados públicos de poços de sondagem, incluindo o estudo de análogos em apoio à modelagem geológica do intervalo Pré-Sal. Com isso, o foco do trabalho foi caracterizar petrograficamente as coquinas do poço 2-ANP-2A-RJS, localizado no Campo de Mero (Figura 2), utilizando da descrição macroscópica, em escala de reservatório (1:40), e microscópica (lâminas delgadas), com a utilização da microscopia óptica (luz polarizada e transmitida), atendendo os parâmetros sedimentológicos, diagenéticos e tafonômicos para as coquinas.

O poço 2-ANP-2A-RJS, utilizado nesse trabalho, foi perfurado em 2010 com a proposta de investigar uma característica sísmica interpretada como microbial. Após a perfuração foi visto que a característica que inicialmente tinha sido interpretada como microbial, na verdade, era de bivalves (Figura 3). As coquinas revelaram um rendimento líquido de 144 m (472 pés)

com uma porosidade média de 15% e permeabilidades atingindo até 2990 mD (Carlotto et al., 2017), o que é considerado excelente segundo Archie (1941), tornando esse poço ótimo para a exploração.

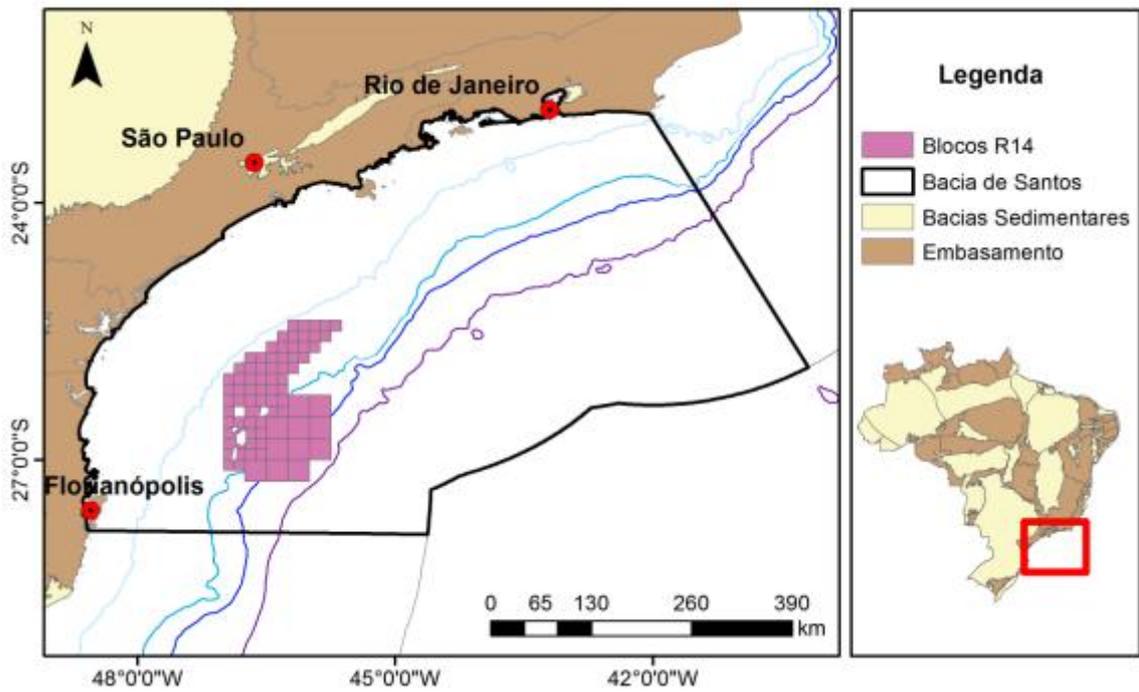


Figura 1 - Localização da Bacia de Santos (ANP, 2017).

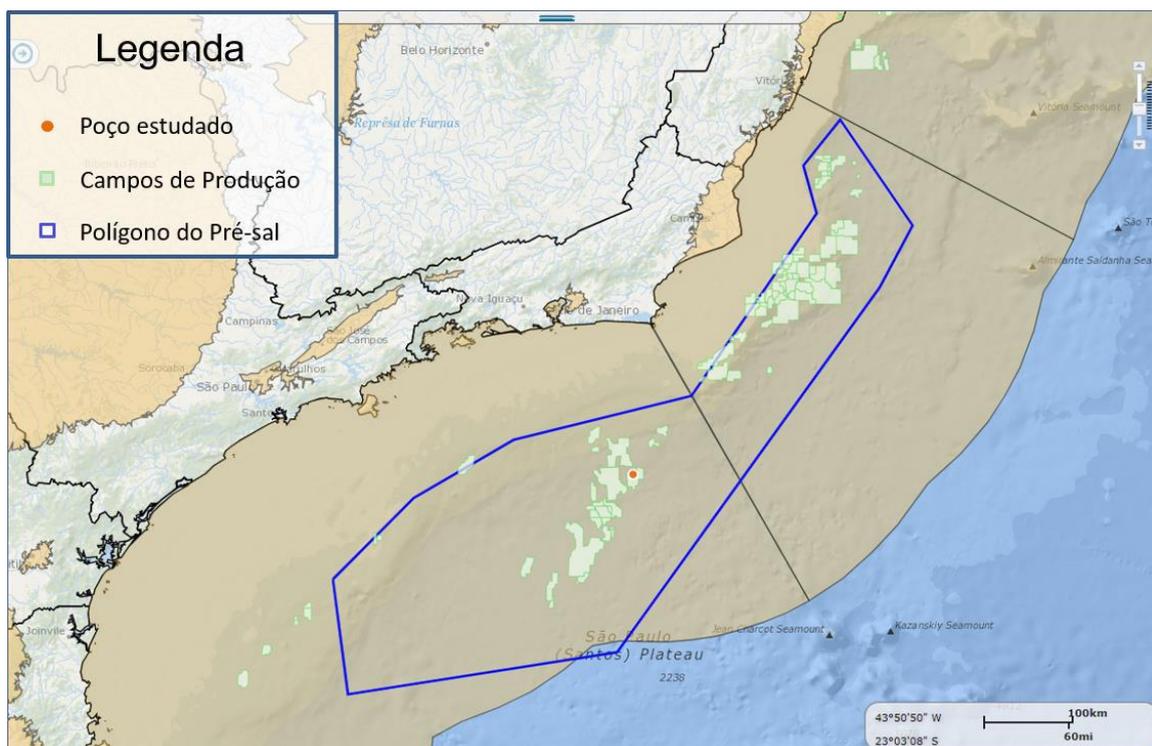


Figura 2 - Localização do Poço 2-ANP-2A-RJS dentro do Polígono do Pré-sal. Fonte: Web Maps ANP 2018.

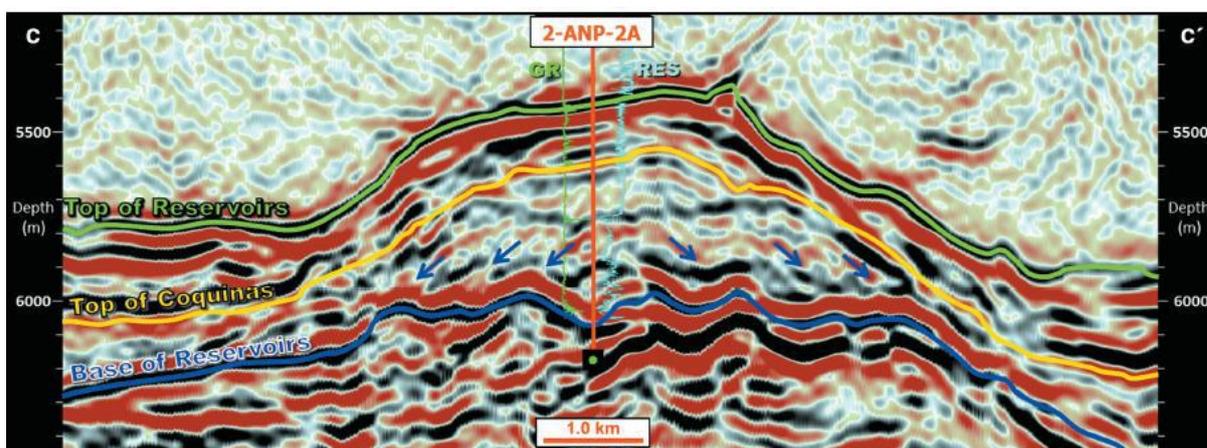


Figura 3 - Linha sísmica CC', cruzando o poço 2-ANP-2A. Observação da geometria anteriormente interpretada como microbial. A Formação Itapema está inserida entre as linhas azul e amarela (Carlotto et al., 2017).

2 OBJETIVO

Esse trabalho tem como objetivo geral a caracterização petrográfica de um intervalo das coquinas da Formação Itapema, utilizando técnicas de petrografia para, assim identificar e fotodocumentar, a partir do material estudado, os principais grãos que compõem essa unidade carbonática, e assim, identificar as litofácies e microfácies.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Como material, para o estudo desse trabalho, foi utilizado cerca de 13 metros de testemunho do Poço 2-ANP-2A-RJS do Campo de Mero (Figura 4) e 14 lâminas delgadas (tabela 1).

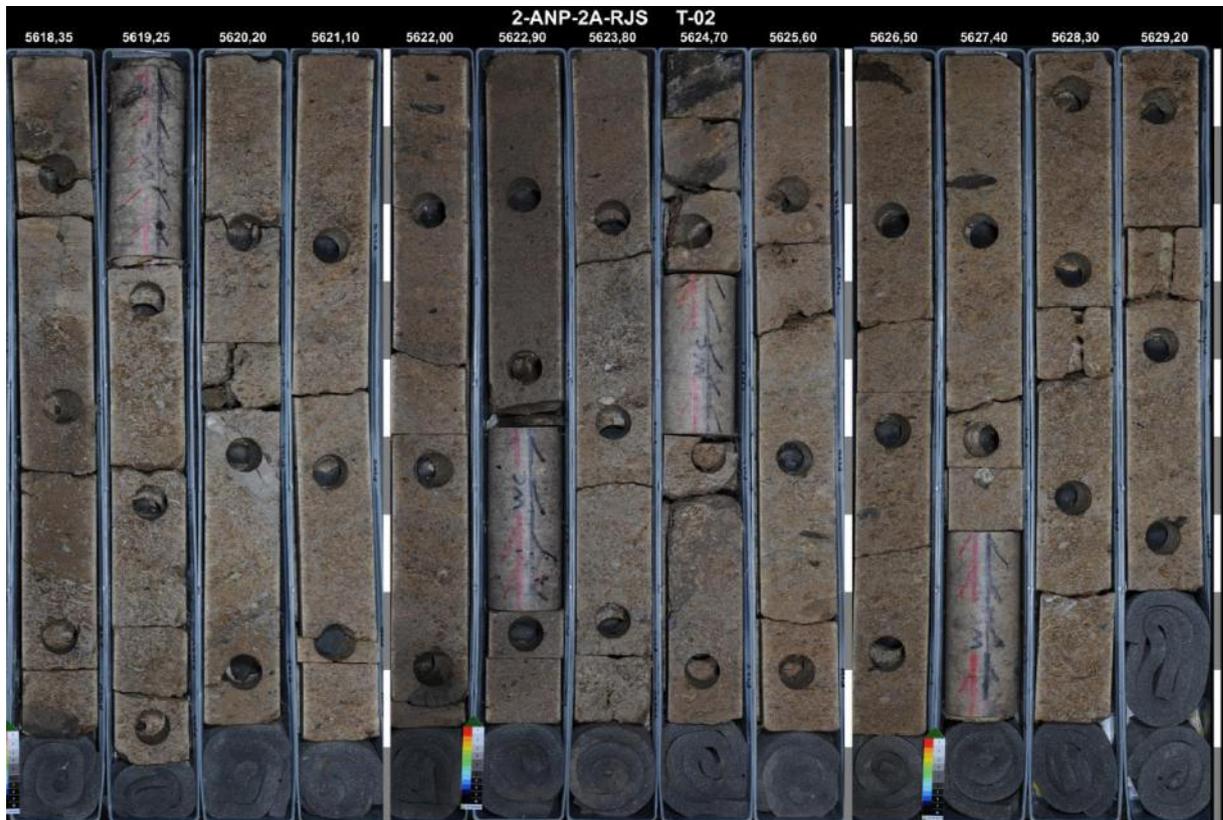


Figura 4 - Imagem das caixas dos testemunhos de sondagem do poço 2-ANP-2A-RJS.

Tabela 1 - Tabela com as profundidades utilizadas para a descrição microscópica.

Lâmina	Profundidade (m)
1	5618,50
2	5619,10
3	5620,45
4	5621,05
5	5621,85
6	5622,20
7	5623,10
8	5624,95
9	5625,00
10	5626,40
11	5626,70
12	5627,00
13	5628,35
14	5629,60

3.2 Métodos

A metodologia desse trabalho seguiu a estrutura mostrada no fluxograma abaixo (Figura 5), e sua explicação mais detalhadamente encontra-se nos tópicos seguintes.

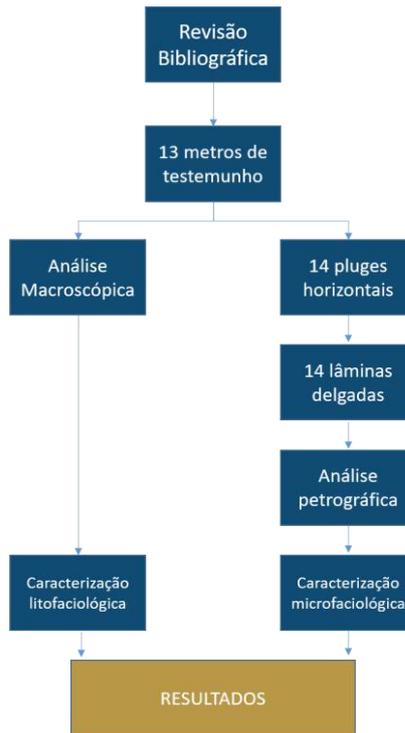


Figura 5 - Fluxograma ilustrativo dos materiais e métodos utilizados neste estudo.

3.2.1 Pesquisa bibliográfica

Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre a Bacia de Santos e seu contexto geológico. Como a literatura sobre o intervalo Pré-Sal da bacia não é difundido, buscou-se estudar seus análogos, como a Bacia de Sergipe-Alagoas, Bacia de Campos, bacias com vasta literatura. Posteriormente foi realizada uma pesquisa sobre coquinas, visando compreender melhor os processos sedimentares envolvidos na deposição dessas rochas, seus constituintes, sistema poroso, tafonomia e diagênese

3.2.2 Análise macroscópica

A análise macroscópica foi realizada com o intuito de identificar as principais feições presentes, que caracterizam as coquinas aqui estudadas, e classifica-las segundo a classificação de Folk (1962), adaptada segundo a escala granulométrica de Udden-Wentworth, utilizando de base a Dissertação de Pinto (2020) Para isso, necessária a descrição de texturas e estruturas observáveis. Isto posto, foi confeccionado um perfil litológico, para uma melhor observação empilhamento vertical e a variação litofaciológica das coquinas, bem como a identificação de seus principais constituintes que são bioclastos, cimento, concreções, fraturas e porosidade.

3.2.3 Análise petrográfica

Para a análise petrográfica foram selecionadas 14 lâminas delgadas representativas de um intervalo de 13 metros. Essas lâminas delgadas foram confeccionadas pela Petrobras, com acesso autorizado via ANP, com o objetivo de caracterizar os atributos sedimentológicos, diagenéticos, tafonômicos e a porosidade das coquinas.

Com o auxílio do microscópio de luz transmitida da marca Zeiss modelo Imager.A2m, as lâminas foram descritas de Folk (1962), adaptada segundo a escala granulométrica de Udden-Wentworth, observando a composição geral, o tipo de material carbonático encontrado, o detalhamento do bioclasto visualizado (fragmentação, granulometria, orientação, bioerosão, micritização e neomorfismo), o tipo de cimento encontrado (blocoso espático, isópaco, do tipo em lança, poiquilotópico) e o tipo de porosidade encontrada. Foram obtidos também mosaicos em nicóis cruzados e paralelos das lâminas por meio do microscópio Zeiss modelo Imager.M2m (Figura 5) dotado de uma câmera digital AxioCam HRc. Os mosaicos fotográficos foram utilizados como apoio para a realização das descrições microscópicas.

Para a interpretação paleoambiental das fácies de coquinas aqui estudadas, foi utilizado o modelo de classificação de tafofácies definido por Muniz e Bosence (2017). Neste modelo, os autores utilizaram o conceito de tafofácies para a interpretação do ambiente deposicional das coquinas da Formação Coqueiros, Bacia de Campos (Figura 6).

Carbonate Taphofacies								Mixed Clastic-Carbonate Taphofacies	
Autochthonous	Parautochthonous		Allochthonous					Allochthonous	
TF-1	TF-2a	TF-2b	TF-3a	TF-3b	TF-4	TF-5	TF-6	TF-7	TF-8
Articulated shells in position of life	Articulated and broken transported shells	Articulated shells with some transport of whole shell	Disarticulated shells with minor transport whole shells	Disarticulated shells imbricated whole shells	Disarticulated shells whole and broken shells	Broken abraded and rounded shells	Very broken and reworked shells	Polymitic conglomerate fragments of basalt and crystalline basement	Coarse bioclastic sandstones with clasts of basalt
									
Massive			Massive and tractive structures (cross stratification)					Massive	Tractive structures
Energy 								Energy 	
Poroperm								Poroperm	

Figura 6 - Classificação tafonômica (Muniz & Bosence, 2017)

4 CONTEXTO GEOLÓGICO

4.1 Aspectos Gerais

A Bacia de Santos abrange uma área alongada de aproximadamente 350.000km², cujo maior eixo dispõe-se paralelamente às costas dos estados de São Paulo, Paraná e Santa Catarina, entre os paralelos 23° e 28°S e cujo eixo menor estende-se mar adentro até cotas de aproximadamente 3.000m de profundidade (Fauth et al., 2012; Moreira et al., 2007). É delimitada a norte pelo Alto de Cabo Frio e a sul pelo Alto de Florianópolis (Fauth et al., 2012; Assine et al., 2008; Mohriak e Fainstein, 2012) (Figura 7).

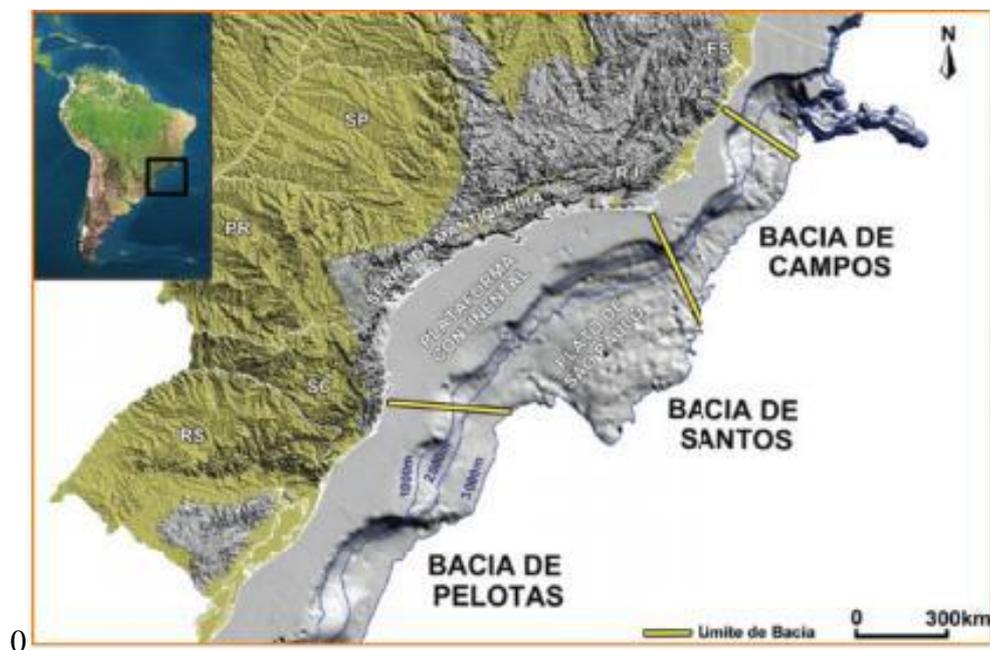


Figura 7 - Localização da Bacia de Santos e sua delimitação (Fauth et al., 2012).

4.2 Arcabouço estrutural

A Bacia de Santos tem sua origem ligada aos processos tectônicos que causaram a ruptura e separação do supercontinente Gondwana, datados do Jurássico Superior ao Cretáceo (Pereira & Macedo, 1990) (Figura 8). O rifteamento ocorreu de modo diácrono ao

longo da margem leste brasileira com arcabouço estrutural definido por falhas normais orientadas preferencialmente numa direção paralela à costa, segmentadas localmente por 3 zonas de transferência (Milani et al., 2007): Zona de Transferência do Rio de Janeiro, de Curitiba e de Florianópolis. A Zona de Transferência de Curitiba divide praticamente a bacia em duas sub-bacias, denominadas embaiamentos Norte e Sul. Essas zonas de transferência constituem importantes faixas preferenciais de recorrência de processos tectônicos (tanto na área marinha, quanto na continental), tais como eventos vulcânicos de várias naturezas, implantação de semi-grabens encaixados nas falhas NE (Bacia de Taubaté, etc.), ocorrência de sismos, além de favorecer a migração de hidrocarbonetos nas áreas sedimentares (Pereira & Macedo, 1990; Macedo, 1987). Defronte à Bacia de Santos encontra-se uma vasta área com batimetrias entre 2000 e 2800 m, conhecida como Platô de São Paulo, que tem sua origem diretamente ligada à formação da Bacia de Santos. Estudos realizados através de métodos potenciais (Guimarães et al, 1982), assim como modelos geológicos evolutivos (Asmus & Porto, 1980; Macedo, 1987) sugerem que o embasamento na área do Platô seja de origem continental. Sendo assim, espera-se que esse embasamento apresente expressivas calhas formadas durante a fase de estiramento crustal do rifte (Figura 9), preenchidas em parte por rochas geradoras de hidrocarbonetos, à semelhança da seqüência pré-sal da Bacia de Campos (Pereira & Macedo, 1990). Milani et al. (2007) definiram a evolução da margem leste brasileira segundo quatro grandes estágios: pré-rifte, rifte, pós-rifte e drifte.

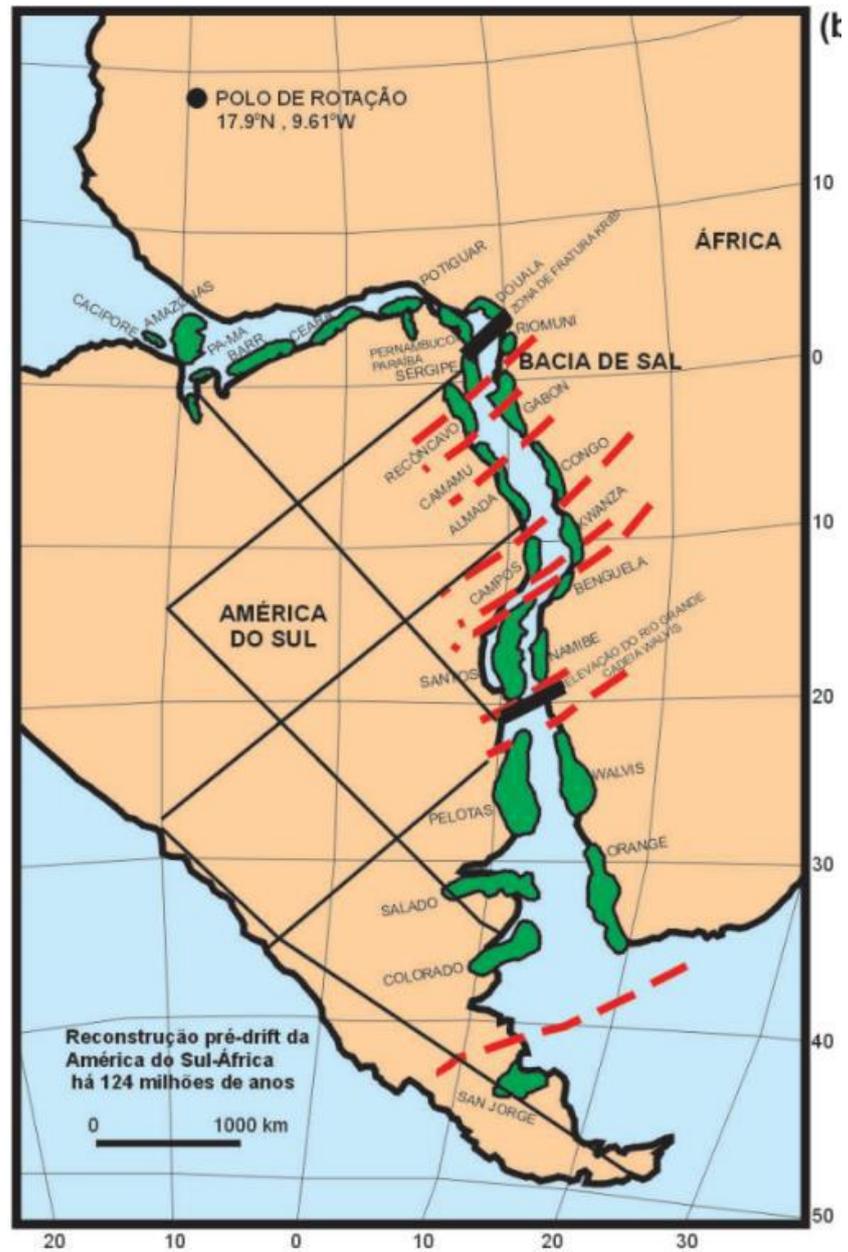


Figura 8 - Ilustração da reconstrução tectônica das bacias sedimentares em uma configuração.

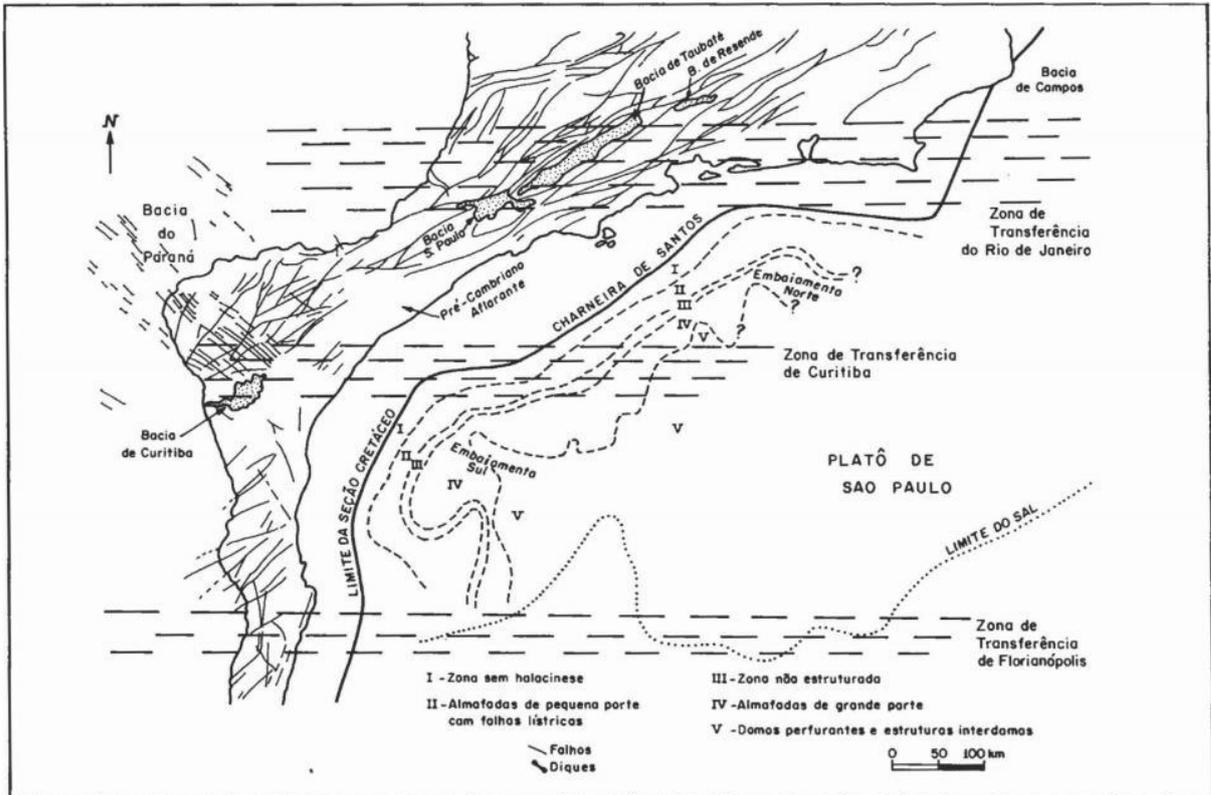


Figura 9 - Principais feições estruturais da Bacia de Santos e áreas adjacentes (Pereira & Macedo, 1990).

4.3 Estratigrafia

A litoestratigrafia da Bacia de Santos foi inicialmente definida na década de 70 por Ojeda e Cesero (1973). Em seguida, Pereira e Feijó (1994) estabeleceram um excelente arcabouço cronoestratigráfico em termos de seqüências deposicionais. Moreira et al. (2007) (Figura 10 e 11) atualizaram o arcabouço cronolitoestratigráfico da Bacia de Santos com ênfase na individualização em seqüências deposicionais. Moreira et al. (2007) (Figura 10 e 11) atualizaram o arcabouço cronolitoestratigráfico da Bacia de Santos com ênfase na individualização em seqüências deposicionais, definindo assim, três superseqüências: Superseqüência Rifte, Superseqüência Pós-Rifte e Superseqüência Drifte. definiu 3 superseqüências: Superseqüência Rifte, Superseqüência Pós-Rifte e Superseqüência Drifte.

Embasamento

O embasamento cristalino da Bacia de Santos é caracterizado por granitos e gnaisses pré-cambrianos pertencentes ao Complexo Costeiro e metassedimentos da Faixa Ribeira, que afloram na região de São Paulo. Sobreposto, encontra-se o embasamento econômico da Bacia de Santos definido pelos basaltos da Formação Camboriú, que cobrem discordantemente o embasamento pré-Cambriano, constituindo a Seqüência K20-K34 (Moreira et al., 2007).

Supersequência Rifte

O registro sedimentar da fase rifte na Bacia de Santos, a exemplo da Bacia de Campos, iniciasse no Hauteriviano (Rio da Serra e Aratu) e prolonga-se ao início do Aptiano (Jiquiá), sendo subdividido em três seqüências deposicionais denominadas K20-K20-K34, K36 e K38 (Moreira et al., 2007).

Litoestratigraficamente, a Supersequência Rifte é representada pela seção basal do Grupo Guaratiba, que compreende as formações Camboriú, Piçarras e Itapema. A Formação Camboriú composta por derrames basálticos eocretáceos sotopostos ao preenchimento sedimentar de praticamente toda a Bacia de Santos. Trata-se de basalto cinza-escuro, holocristalino, granulação média, textura ofítica (diabásio), tendo por constituintes principais o plagioclásio e o piroxênio (augita), comumente pouco alterados (Moreira et al., 2007). A Formação Piçarras compreende leques aluviais de conglomerados e arenitos polimíticos constituído de fragmentos de basalto, quartzo, feldspato, nas porções proximais, e por arenitos, siltitos e folhelhos de composição talcoestevensítica nas porções lacustres (Moreira et al., 2007). A Formação Itapema é a última Formação da Fase Rifte da bacia e é caracterizada por apresentar intercalações de calcirruditos e folhelhos escuros. Os calcirruditos são constituídos por fragmentos de conchas de pelecípodes que frequentemente encontram-se dolomitizados e/ou silicificados. Nas porções mais distais ocorrem folhelhos escuros, ricos em matéria orgânica. No poço 1-RJS-625, constatou-se 110 m de folhelhos radioativos e carbonatos intercalados (Moreira et al., 2007).

Supersequência Pós-Rifte

O registro sedimentar da fase Pós-Rifte, também conhecida como sag, na Bacia de Santos inicia-se durante o Aptiano, e corresponde as Formações Barra Velha e Ariri, pertencentes ao Grupo Guaratiba. O limite basal da Supersequência Pós-Rifte é dado pela discordância que marca o final da fase rifte, conhecida como pré-Alagoas na Bacia de Campos (Dias, 1988), e o limite superior é dado pela base dos evaporitos de 113 Ma (Moreira et al., 2007).

O ambiente deposicional desta sequência é marcado por um ambiente transicional, entre continental e marinho raso, bastante estressante, com a deposição de calcários microbiais, estromatólitos e laminitos nas porções proximais e folhelhos nas porções distais. Ocorrem também grainstone e packstones compostos por fragmentos dos estrômatolitos e bioclóstos (ostracodes) associados. Tais carbonatos encontram-se por vezes parcial ou totalmente dolomitizados (Moreira et al, 2007).

Supersequência Drifte

Seguiu-se à deposição dos evaporitos a instalação de condições francamente marinhas, com a deposição do Albiano ao Recente dos sedimentos dos Grupos Camburi, Frade e Itamambuca, formando a Supersequência Drifte da Bacia de Santos (Milani et al., 2007; Moreira et al., 2007).

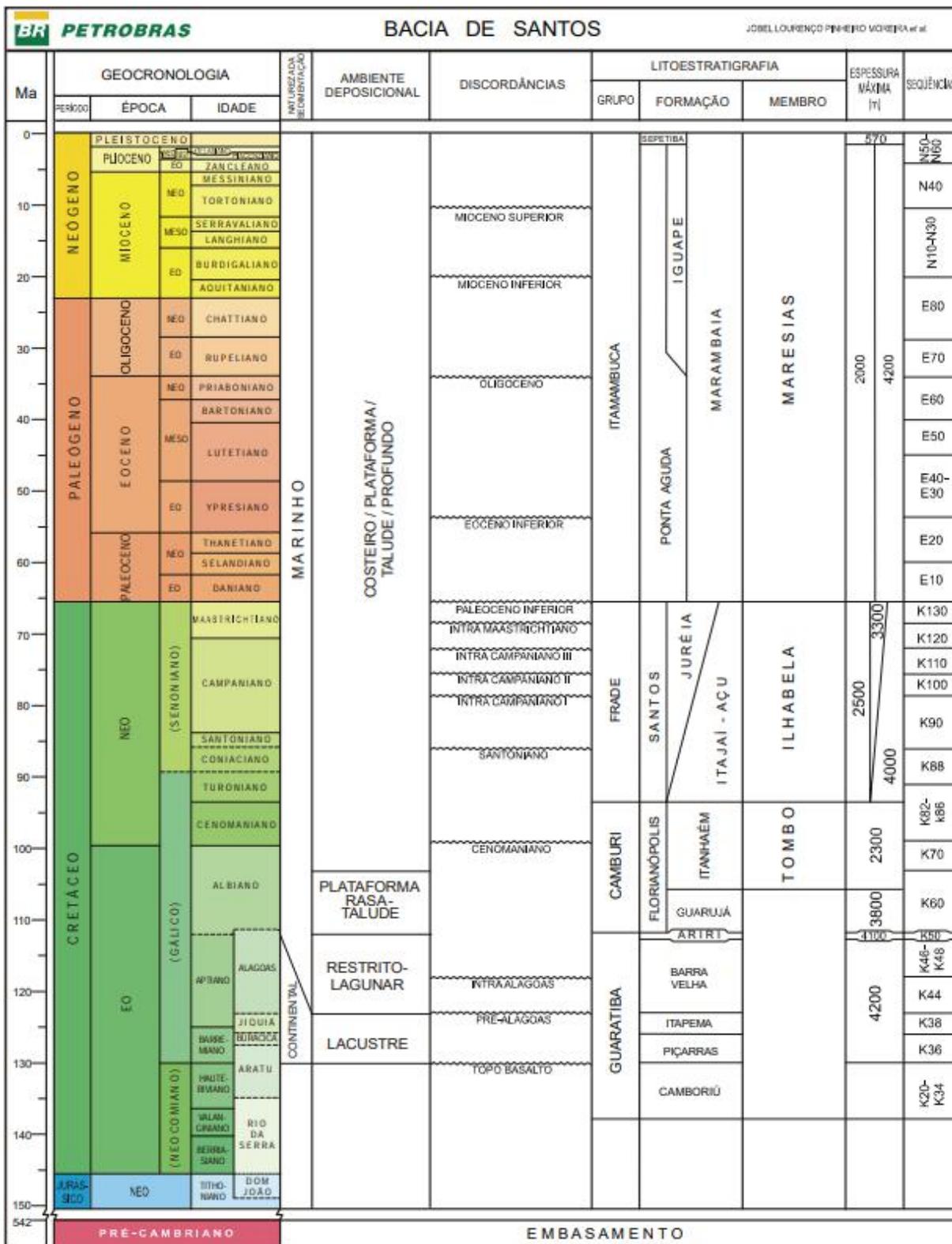


Figura 10 - Carta Cronostratigráfica da Bacia de Santos (Moreira et al., 2007).

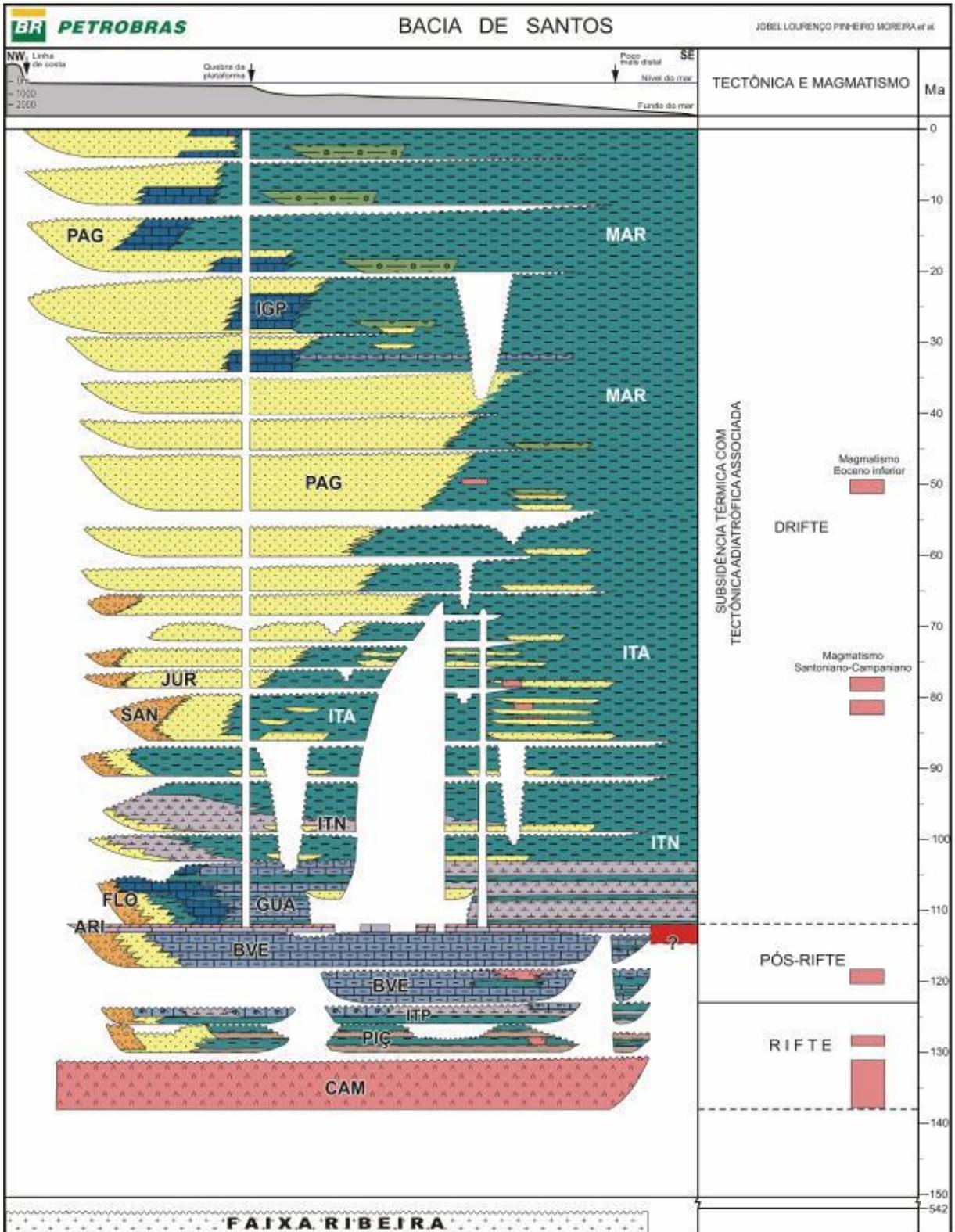


Figure 11 - Carta estratigráfica da Bacia de Santos (Moreira et al., 2007).

4.4 Formação Itapema

Conhecida informalmente como sequência das coquinas na Bacia de Santos, a Formação Itapema faz parte do Grupo Guaratiba e é composta por rudstones (coquinas), *grainstones* bioclásticos, packstones, wackstones e folhelhos escuros ricos em matéria orgânica e folhelhos radioativos, depositados durante o estágio final da fase Rife (Figura 12) em um paleoambiente lacustre (Moreira et al., 2007).

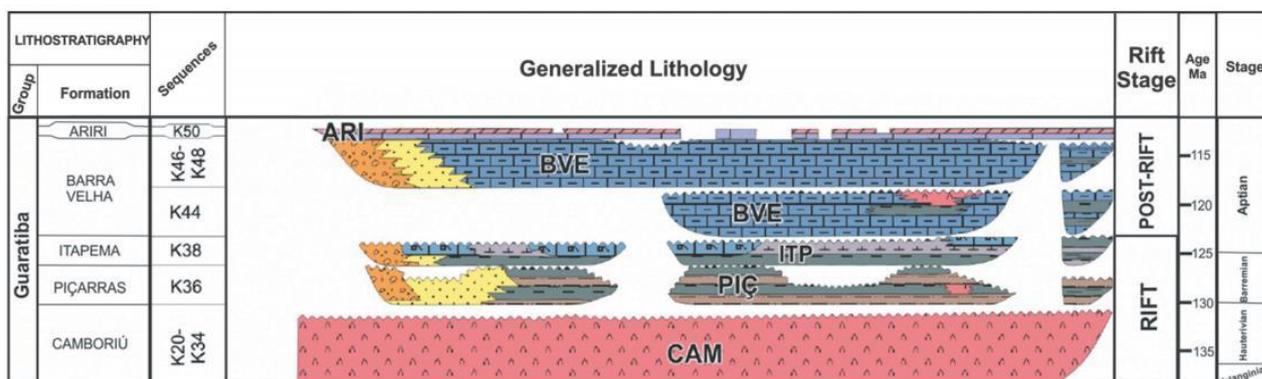


Figura 12 - Carta cronoestratigráfica do intervalo Pré-sal da Bacia de Santos (Carlotto et al., 2017).

Carlotto et al. (2017) cita que segundo Silva et al. (2014), o reservatório da Formação Itapema pode ser subdividido em três intervalos principais após ser feita uma correlação entre dados sísmicos, de poço e descrição petrográfica:

- O intervalo superior, que está inteiramente na zona de óleo, exibindo rudstones bivalves com intensa dissolução e ocasionalmente carstificação e superfícies brechadas, oncoides e pisoides.
- O intervalo médio que apresenta rudstones de bivalves com moderada a alta dissolução e moderada cimentação calcítica, que também é cimentado localmente por quartzo.
- O intervalo inferior que está inteiramente na zona de água e exhibe rudstones de bivalves com dissolução muito baixa a moderada e intensa cimentação de quartzo.

5 REVISÃO CONCEITUAL

5.1 Principais constituintes carbonáticos

A petrografia de carbonatos aprimora muito os estudos de campo e se apresenta como uma poderosa ferramenta para identificação dos grãos constituintes e, por consequência, para a classificação desse tipo de rocha e sua interpretação paleoambiental.

A identificação dos constituintes carbonáticos é de extrema importância para a classificação desse tipo de rocha. Esses constituintes podem ser divididos em três principais categorias: grãos aloquímicos, lama carbonática e cimento.

Segundo Folk (1959), grão aloquímico é o termo geral para denominar grãos de carbonato quimicamente precipitados e, que sofreram, em sua maioria, transporte e retrabalhamento. Podem ser divididos em ooides, intraclastos, extraclastos, peloides e bioclastos.

5.1.1. Ooides

Ooide é aplicado em termos gerais a grãos envelopados esféricos ou subesféricos que contenham um núcleo, podendo ser de diversas origens, como um fragmento esquelético, um pelóide, grãos de quartzo e até mesmo um ooide fragmentado, envolvido por um envelope concêntrico de lâminas regulares (Figura 13). Esses grãos envelopados podem ser chamados de Oólitos também, porém o termo Oóide é preferido (Boggs, 1987). Seu tamanho varia entre 0,5 a 2 mm, com sua maioria alcançando 1 mm de diâmetro e sendo raro ultrapassar de 2mm (Flügel, 2010).

Ooides se formam em locais onde haja disponibilidade de núcleos detritais, mínimo input de siliciclásticos, altas temperaturas, águas supersaturadas e agitação pela presença de correntes (Flügel, 2010).

Variações na mineralogia ooide parecem estar relacionadas ao nível do mar. Aparentemente, as altas elevações do mar favorecem a formação de ooides de calcita, porque o CO₂ os níveis tendem a ser mais altos e as relações Mg/Ca mais baixas durante esses períodos; elevações baixas favorecem ooids de aragonita por causa dos níveis mais baixos de CO₂ e altas taxas de Mg/Ca (Wilkinson, Owen e Carroll, 1985).

Sua estrutura interna pode ser: tangencial, radial ou aleatória. A orientação dos cristais e, conseqüente estrutura interna, está intrinsecamente relacionada ao nível de energia do ambiente. Em ambientes mais calmos, como em lagunas protegidas, arranjos radiais costumam predominar, enquanto de maior energia, os cristais se arranjam em uma estrutura tangencial.

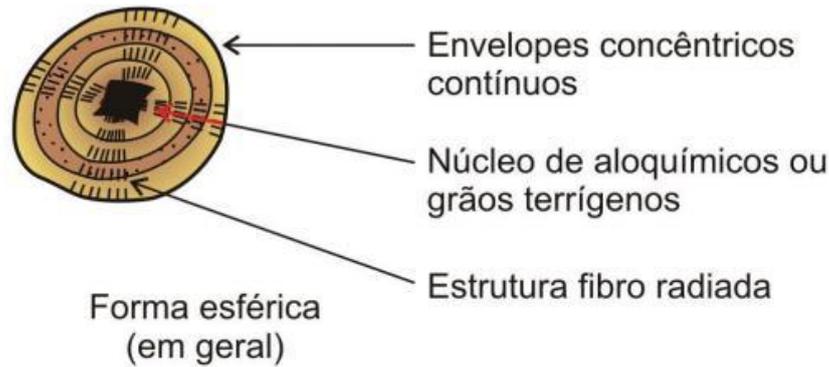


Figura 13 - Ilustração de um Ooide (Terra *et al.*, 2010).

5.1.2. Oncóides

Os oncóides caracterizam-se por possuírem envelopes descontínuos, geralmente pouco nítidos, frequentemente com sedimento interno preso entre os envelopes e forma subsférica a subelíptica (Terra *et al.*, 2010) (Figura 14). Segundo Tucker & Wright (1990), normalmente se formam a partir do revestimento por uma série de organismos incrustantes, como briozoários, corais, foraminíferos, serpulídeos, e algas, especialmente algas coralinas crustosas e cianobactérias.

O seu crescimento se dá pela movimentação mecânica, facilitada por ondas, correntes e bioturbação, dessa maneira novas superfícies são expostas, ficando susceptível ao crescimento de colônias de organismos. Muitos dos envelopes se desenvolvem pela adesão de partículas sedimentares à superfície muscilogênica de esteiras algais, e também pela precipitação de carbonato de cálcio em resposta a remoção de dióxido de carbono pelas algas (Flugel, 2010; Tucker & Wright, 1990).

Oncóides de laminação irregular e de grande tamanho (maiores que 5,0mm), ocorrendo associados a peloides e matriz micrítica, são típicos de deposição em ambientes de baixa energia, em posições protegidas, e sendo denominado segundo He Ziai (1982) de oncóide estático. Em condições de águas rasas e alta energia ambiental podem formar oncóides

subesféricos a esféricos, entre 0,5mm e 1,0mm, usualmente com boa seleção e estratificação cruzada, formando barras depositadas paralelamente à margem da bacia, e sendo denominados por He Ziai (1982) de oncóides dinâmicos. A estrutura interna desse tipo de oncóide se assemelha a dos oóides, já que existe um forte componente físico-químico para a sua formação. Muitas vezes, os oncóides de menor tamanho são confundidos com peloides algálicos, que ocorrem frequentemente associados (Terra *et al.*, 2010).

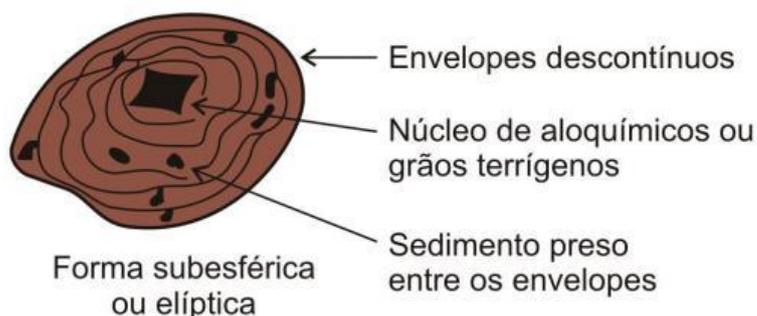


Figura 14 - Ilustração de um Oncoide (Terra *et al.*, 2010).

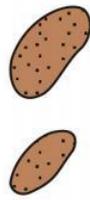
5.1.3. Litoclasto

O termo litoclasto é comumente associado ao termo extraclasto, um grão detrítico de sedimento carbonato litificado derivado de fora da área deposicional da sedimentação atual (Folk, 1959). Porém poder ser um termo utilizado para a presença de um fragmento de rocha no qual não sabe diferenciar se é um intraclasto ou extraclasto.

5.1.4. Peloides

Os peloides são definidos como grãos micríticos de forma subesférica sem estrutura interna. Os peloides podem ser grãos aloquímicos micritizados de origem desconhecida, clastos de lama ou, então, fragmentos de bioclastos naturalmente arredondados ainda reconhecíveis (Terra *et al.*, 2010) (Figura 15).

São comuns em ambiente de marinho raso, em recifes e aglomerado de lama, mas são bem abundantes em carbonatos de marinho profundo (Flugel, 2010).



Grãos micríticos de forma subesférica (em geral são aloquímicos micritizados).

Utiliza-se a denominação "pelóides fecais" para grãos elipsóides de seção circular, micríticos, de origem fecal com diâmetro em geral entre 0,1 e 0,5 mm.

Figura 15 - Ilustração de um Peloide (Terra et al., 2010).

5.1.5. Bioclasto

Os bioclastos envolvidos envolvem restos ou partes duras de organismos que foram preservadas nos sedimentos. Uma assembleia de grãos biogênicos pode ser bastante variada, refletindo a distribuição desses organismos no tempo e espaço. Como os fatores ambientais, incluindo temperatura, salinidade, profundidade, turvação da água e consistência do substrato controle de desenvolvimento da biota, uma identificação dos constituintes fósseis pode ser uma ferramenta importante na interpretação paleoambiental condições em que foram depositados. Por causa das mudanças evolutivas no assembléias fósseis ao longo do tempo, diferentes tipos de restos fósseis dominam rochas de diferentes idades. (Boggs, 1987).

Os bioclastos podem ser ostracodes, bilvalves, gastrópode, amonóides, algas calcárias, espinho e placas de equinóide e crinóide, foraminíferos bentônicos, algas verdes e vermelhas, etc. Será aprofundado mais sobre o bioclasto de bivalve que é o tipo de bioclasto encontrado nesse presente trabalho.

Os bivalves pertencem ao Filo *Mollusca* e ocorrem do Cambriano ao recente, sendo encontrados em todas as latitudes e em ambiente marinho normal, salobro, hipersalino, e em água doce, sendo raramente os principais formadores de sedimentos, a não ser em ambientes estressados, especialmente hipersalino ou hiposalino (Scholle & Scholle, 2003). Os bivalves podem possuir uma mineralogia inteiramente de aragonita ou de calcita, ou uma mistura das duas composições em camadas alternadas (Flügel, 2010). Morfologicamente são duas conchas calcárias bilateralmente simétricas, unidas em uma dobradiça de tecido muscular (Scholle & Scholle, 2003) (Figura 16).

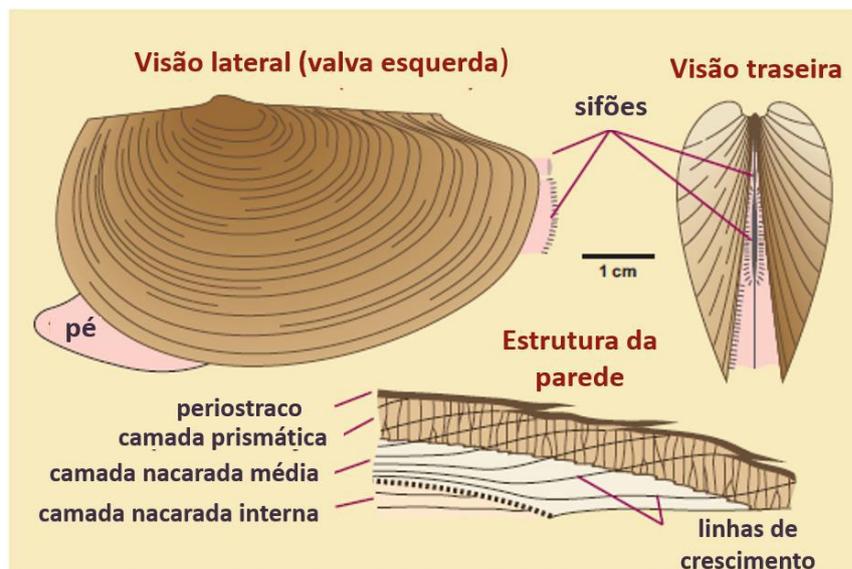


Figura 16 - Imagem modificada da morfologia de um bivalve de Scholle & Scholle (2003).

Depósitos compostos apenas por bioclastos de bivalves é de suma importância o entendimento de critérios tafonômicos em conjunto aos critérios sedimentológicos.

5.1.6. Lama Carbonática

Lama carbonática se refere a calcita microcristalina, menor que 62 μm , enquanto cimento constitui o material precipitado no espaço poroso existente na rocha e, portanto, é produto de processos diagenéticos no momento de sua deposição (Tucker & Wright, 1990).

A composição original pode ser de calcita (com baixo ou alto teor de Mg) ou de aragonita, dependendo de proveniência, como são susceptíveis a alterações diagenéticas, essas são comumente neomorfizadas e substituídas por calcita com baixo teor de magnésio. Há seis processos principais que atuam na produção de lama carbonática, entre eles: precipitação química associada a altas temperaturas e altas salinidades; precipitação induzida por organismos fotossintetizantes; desintegração de algas calcáreas, predominantemente algas verdes do gênero *Halimeda* e *Penicillus*; abrasão de partículas carbonáticas; acumulação de microorganismos; e bioerosão a partir da atividade endolítica de fungos, algas e esponjas. Além disso, o termo micrita também pode ser associado a cristais microcristalinos de origem secundária, precipitados como produtos diagenéticos (Tucker & Wright, 1990).

5.1.7. Cimento

Um dos constituintes mais frequentes nas rochas carbonáticas é o cimento. A cimentação ocorre quando os fluídos nos poros estão supersaturados com a fase cimentante; há fluxo desses fluídos e não ocorrem fatores cinéticos que inibam a sua precipitação. Os minerais carbonáticos mais importantes que cimentam são a aragonita, a calcita magnesiana, a calcita de baixo teor de magnésio e a dolomita. O cimento é sempre o preenchimento de algum espaço poroso existente na rocha (Terra et al., 2010)

5.2 Tafonomia

As concentrações fossilíferas são formadas por processos biológicos e sedimentológicos. Sendo assim, sua análise e classificação complementam a interpretação paleoecológica e de sua relação com a comunidade da qual derivou (Kidwell *et al.*, 1986). Alguns critérios são utilizados para a descrição dessas concentrações fossilíferas como: a composição, orientação, empacotamento e geometria.

Uma concentração esquelética pode consistir de uma concentração homogênea ou heterogênea. Kidwell (1986) divide em três tipos básicos de concentrações fossilíferas em relação a origem dos fósseis:

- 1- Autóctones: as espécies estão em situ e estão preservadas em posição de vida. Muitas vezes são homogêneas e indicam mortandade em massa. Em geral são monoespecíficas. Podem ser heterogêneas devido a condensação faunal.
- 2- Parautóctones: compostas por espécies autóctones que sofreram algum retrabalhamento mas não foram transportadas do seu local de origem, permanecem próximas a sua comunidade local. As espécies podem ser desarticuladas, reorientadas e concentradas por processos físicos e/ou biológicos.
- 3- Alóctones: compostas por espécies transportadas de seu seu habitat e depositadas em outro substrato.

De acordo com Kidwell et al. (1986) consideram três tipos básicos de concentrações fossilíferas em relação a origem da concentração (Figura 17):

- 1- Concentrações biogênicas: as concentrações ocorrem devido à alta produtividade (biogênico intrínseco) ou atividade de organismos que interagem com os Produtores da carapaça ou com as carapaças (biogênico extrínseco), ou seja, está diretamente ligada aos processos biológicos.
- 2- Concentrações sedimentológicas: resulta de processos físicos, geralmente hidráulicos, de acumulação. Os fósseis atuam como partículas sedimentares.
- 3- Concentrações diagenéticas: são acumulações criadas ou intensificadas devido a ação de processos físicos e químicos após o soterramento.

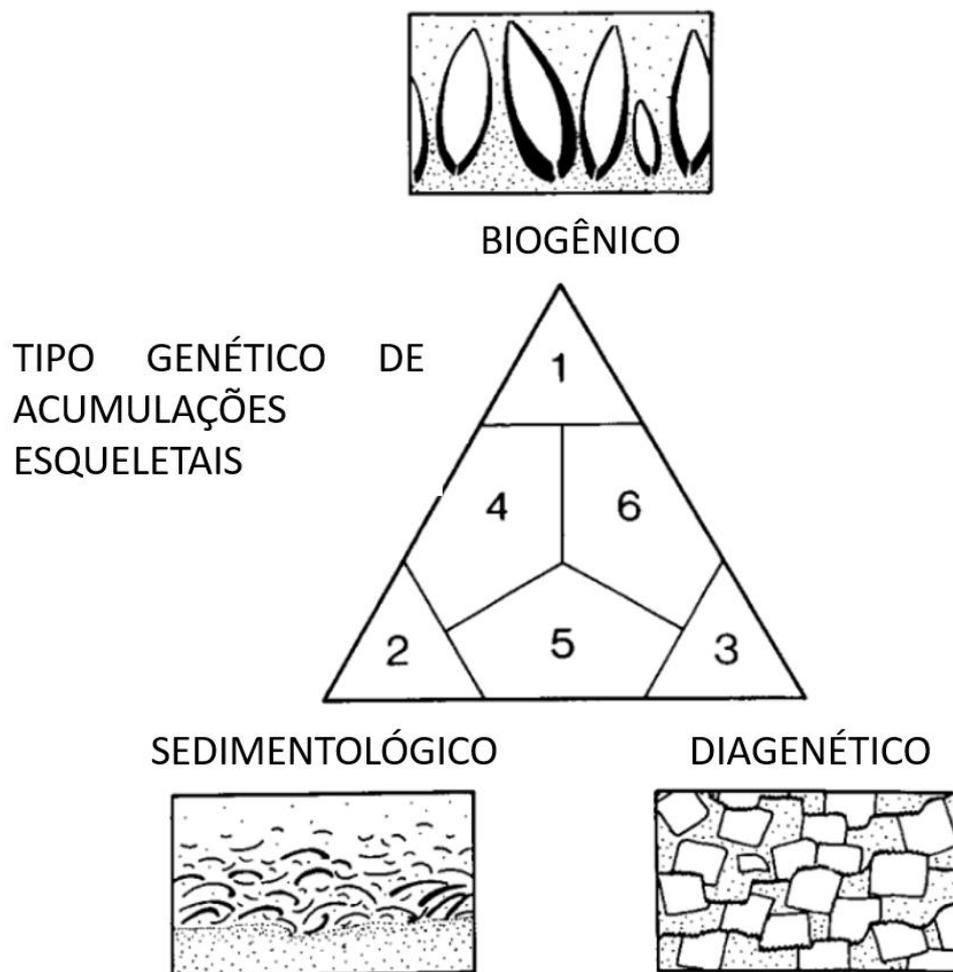


Figura 17 - Imagem modificada do diagrama com os tipos de acumulações esqueléticas em relação ao mecanismo formador.

5.3 Principais processos e produtos diagenéticos

Segundo Flügel (2010), entende-se como diagênese processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem nos sedimentos desde o momento de sua deposição até o começo de seu metamorfismo. A compreensão desses processos é de alta importância, visto que rochas carbonáticas são vulneráveis as alterações pós-deposicionais, alterando as propriedades primárias das rochas como porosidade, permeabilidade e até mesmo composição mineralógica.

Os processos diagenéticos são administrados por fatores internos e externos que interagem entre si como temperatura, pressão composição da água, velocidade do fluxo, cinética de dissolução e de precipitação de porosidade e permeabilidade. Baseado nestes fatores, com enfoque na mineralogia, hidrogeoquímica e hidrogeologia, Machel (1999) classificou os regimes diagenéticos em: próximo à superfície, soterramento raso, intermediário e profundo.

De acordo com Choquette & Pray (1970), reconhece-se os termos eogênese, mesogênese e telogênese são usados para caracterizar períodos, processos ou zonas diagenéticas. Eogênese está relacionada aos processos que ocorrem próximo à superfície. Mesogênese inclui aqueles processos que ocorrem durante o soterramento e a telogênese engloba processos associados ao soerguimento das rochas que se encontravam previamente soterradas.

5.3.1 Micritização

O termo “micritização” foi definido por Bathurst (1966) como sendo um processo que altera a textura original dos grãos carbonáticos para texturas criptocristalinas causada por repetidas perfurações causadas por algas, preenchidas por material microcristalino precipitado.

A maioria dos grãos carbonáticos fósseis são afetados por intensa micritização e alguns deles apresentam buracos causados por micro perfuração das carapaças (bioerosão). A micritização das conchas e o preenchimento interno com cimentos carbonáticos podem ocorrer antes mesmo dos processos iniciais de dissolução da concha. A micritização ocorre próximo da interface água-sedimento e pode continuar ocorrendo em profundidade (Palmer *et al.*, 2008). Estudos recentes se referem a micritização como sendo um processo de recristalização, análogo ao neomorfismo e não relacionada às microperfurações.

5.3.2 Dissolução

De acordo com Saller et al. (1994), a dissolução geralmente acontece em resposta a uma mudança significativa na química do fluido, tais como salinidade, temperatura e pressão parcial de CO₂. Essas mudanças são mais prováveis de ocorrer no estágio de eogênese. Após, depois de um soterramento significativo (estágio de mesogênese), a maturação de hidrocarboneto ou folhelho desidratado pode proporcionar fluidos agressivos para a dissolução. Finalmente, a dissolução pode ocorrer a qualquer momento durante a parte final do soterramento quando o carbonato foi exumado em associação com a inconformidade (estágio de telogênese) e torna-se em contato com águas meteóricas.

5.3.3 Cimentação

É a partir da precipitação química em cavidades preexistentes nos sedimentos ou rocha que ocorre a cimentação. A mesma decorre do preenchimento dos poros por fluidos supersaturados em determinada fase mineral, sob a influência de fatores cinéticos que não inibem a precipitação. Um eficiente mecanismo de transporte do fluido através dos poros é a necessidade básica para que aconteça este processo. No ambiente marinho, a água se movimenta através dos poros pela bioturbação ou mesmo pela ação das marés e ondas, mas, em subsuperfície, este transporte depende fundamentalmente do confinamento ou não do aquífero (Tucker & Bathurst, 1990).

5.3.4 Neomorfismo

Neomorfismo é um evento diagenético que envolvem minerais de mesma composição química sofrendo processos de substituição e recristalização (Tucker & Wright, 1990). De acordo com Bathurst (1986), o termo neomorfismo é especificamente aplicado quando há substituição de um mineral por outro de mesma composição química, porém de diferentes estruturas cristalinas. O outro tipo de neomorfismo é a recristalização, a qual compreende a substituição de um mineral por ele mesmo, com a mudança apenas do tamanho dos cristais. Em bioclastos formados originalmente por aragonita, é bastante comum este tipo de processo. Neste caso, o mineral que dá origem aos bioclastos é instável e transforma-se em calcita durante a

diagênese. Esta substituição pode sobrevir de forma degradante, resultando em um mosaico de cristalinidade bem mais fina, ou de forma agradante, na qual cristais pequenos são substituídos por cristais maiores, sendo que o primeiro se revela bastante incomum (Tucker, 1991).

5.3.5 Silicificação

A silicificação de rochas carbonáticas envolve tanto a substituição de carbonato por sílica quanto a precipitação e preenchimento de cimento de sílica (e.g Noble and Van Stempvoort, 1989; Flügel 2010).

5.3.6 Dolomitização

A dolomitização é um processo geoquímico que envolve a troca de um mineral por outro de composição química diferente. É um dos eventos diagenéticos mais importantes de substituição. Em geral, a precipitação de algumas dolomitas secundárias encontradas nas rochas carbonáticas não acontece diretamente a partir da água do mar (Moore, 1989). A ocorrência da dolomitização se dá em subsuperfície rasa ou profunda.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Composição

Os constituintes observados dos carbonatos aqui estudado foram grãos aloquímicos, matriz e cimento. Sendo os grãos aloquímicos os principais constituintes dessas rochas, e como exemplos têm-se: bioclastos de bivalves, cortóides, ooides e litoclastos de coquinas.

Bioclastos de bivalves – majoritariamente são os grãos mais importantes. Apresentam-se desarticulados (raramente articulados), pouca a muito fragmentados e normalmente com orientação caótica. A granulometria varia de 0,4 mm a 5,5 mm.

Cortóides – o segundo tipo de grão mais abundante. Basicamente são bioclastos de bivalves tão retrabalhados e tão fragmentados que perderam a sua forma original de concha. Por não terem essa forma original, não é possível analisar a orientação da concha, se esta

apresenta concavidade para baixo ou para cima. A granulometria desses grãos varia de 0,1 mm a 0,4 mm.

Ooides – são grãos que aparecem em determinados intervalos da sucessão de coquinas estudada. Apresentam formas esféricas a ovaladas com tamanhos de até 0,4 mm e com núcleo de cortóide ou grãos não identificados.

Litoclastos de coquinas – esse tipo de grão ocorre quase em todo intervalo analisado. São compostos por fragmentos da rocha coquina que já havia sido consolidada. São constituídos por bioclastos de bivalves, cortóides e ooides. Normalmente apresentam formas irregulares, mas por vezes era possível notar formas circulares.

Cimento – os principais tipos de cimentos encontrados são de composição calcítica, dolomítica e sílica.

Matriz – por fim, pode ser encontrada como uma lama carbonática com uma coloração mais escura.

6.2 Feições diagenéticas

Os principais processos diagenéticos observados nas rochas estudadas foram:

Cimentação – é o processo diagenético mais comum em que há a precipitação química de minerais. Os cimentos encontrados foram a calcita, a dolomita e a sílica.

A calcita é encontrada no tipo: 1) Calcita em mosaico interpartícula, ocorre na forma de mosaicos milimétricos a centimétricos de cristais espáticos, que preenchem espaços porosos no interior ou entre bioclastos; 2) Franja de calcita interpartícula, ocorre ao redor do grão como franjas de cristais regulares com terminações pontiagudas e achatadas, podendo ser contínuas ou não por todo o grão; 3) Bladed, ocorre ao redor do grão como franjas prismáticas bem alongadas e pontiagudas.

A dolomita é o segundo tipo de cimento mais abundante, aparece em vários intervalos e normalmente ocorre como cristais de coloração acastanhada. Seus hábitos mais comuns observados foram o blocoso, que ocorre cimentando o interior dos bioclastos e os espaços entre eles, e o hábito dentado curto, que ocorre nas bordas das porosidades móldicas.

A sílica ocorre de forma menos abundante, mas consiste na substituição de minerais carbonáticos por sílica. Ocorre no interior de bioclastos, em ooides e nos litoclastos de coquinas.

Recristalização – ocorre em todo o intervalo estudado, variando o grau entre alto e moderado. Ocorre a mudança de textura cristalina fazendo com que não seja possível reconhecer as linhas de crescimento que os bioclastos de bivalves possuem na sua estrutura original.

Dissolução – ocorre pela compactação química em que é possível observar contatos côncavo-convexos e suturados. É mais observado principalmente nos intervalos em que a porosidade móldica e vugular estão mais presentes.

6.3 Litofácies sedimentares

Utilizando a classificação de Folk (1962) e adaptado de acordo com a escala granulométrica de Udden-Wentworth, foi realizado um perfil litológico (Figura 18) e com isso, separado 3 fácies de acordo com o parâmetro granulométrico, sendo elas: (1) Calcarenito Grosso (CRE Grosso), (2) Calcirudito Fino (CRU Fino), (3) Calcirudito Médio (CRU Médio).

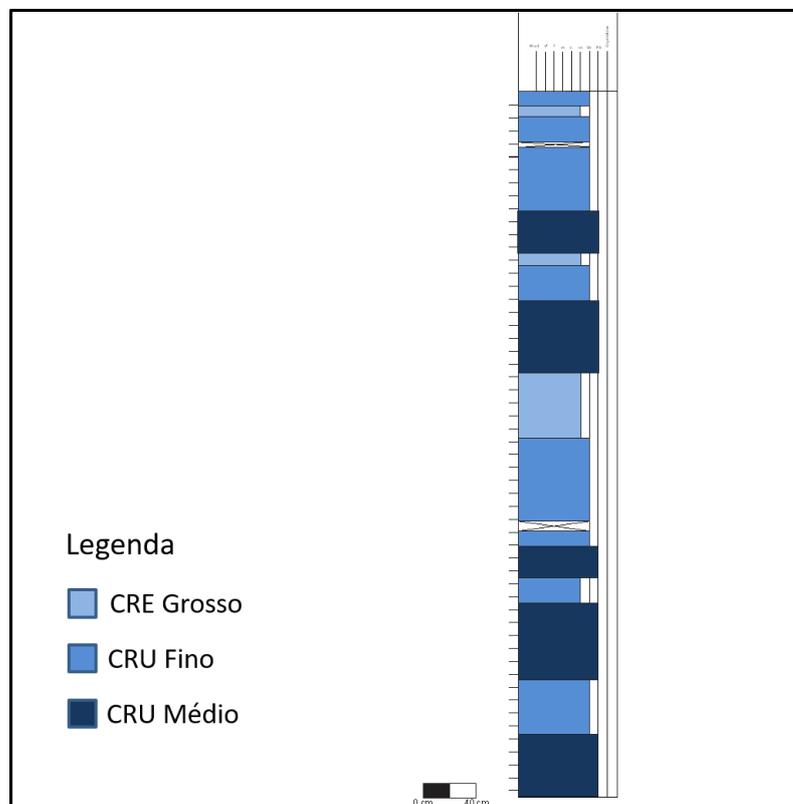


Figura 18 - Perfil litológico de cerca de 13 metros de testemunho do Poço 2-ANP-2A-RJS.

Quadro 1 - Litofácies identificadas com suas respectivas diagnoses.

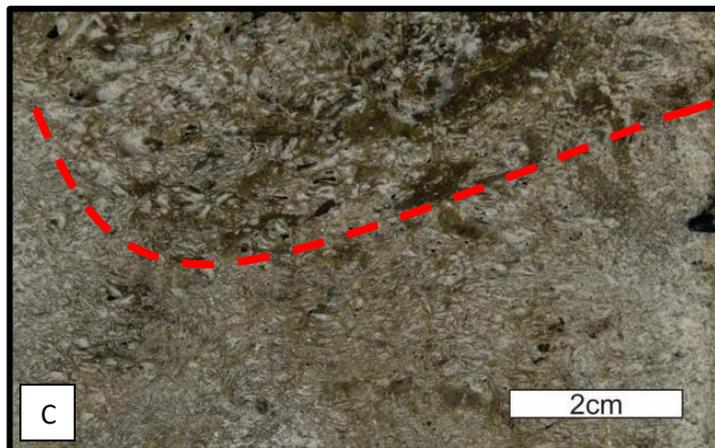
LITOFÁCIES	DIAGNOSE
CRE Grosso	Coquina composta por bioclastos de bivalves com granulometria variando de areia grossa a areia muito grossa.
CRU Fino	Coquina composta por bioclastos de bivalves com granulometria variando de areia muito grossa a grânulo, sendo a fração grânulo predominante.
CRU Médio	Coquina composta por bioclastos de bivalves com granulometria variando de grânulo a seixo, sendo a fração seixo predominante.

6.3.1 Litofácies calcarenito grosso (CRE grosso)

Diagnose - Coquina composta por bioclastos de bivalves com granulometria variando de areia grossa a areia muito grossa.

Descrição – rocha constituída fundamentalmente por bioclastos de bivalves, litoclastos de coquina e cimento. Os bioclastos se encontram desarticulados e bem fragmentados com a granulometria variando de areia grossa a muito grossa (0,6 mm a 2,0 mm). Os litoclastos de coquinas aparecem de forma mais irregular ou alongada com granulometria variando 0,5 a 4,5 cm e com a coloração mais escura. Em geral, a rocha é bem a moderadamente selecionada e o empacotamento é denso. A orientação dos bioclastos é caótica, mas por vezes é possível observar uma paralelização em alguns intervalos. A cimentação apresenta conteúdo carbonático e uma alta recristalização e por vezes é possível notar silicificação.

Estampa 1: Calcarenito Grosso - CRE Grosso



Estampa 1: Calcarenito Grosso – CRE Grosso

Figura A – Fotomicrografia na profundidade 5618,50. Essa profundidade apresenta recristalização moderada, com isso, é difícil o reconhecimento dos bioclastos de bivalves em certos pontos. As setas vermelhas indicam litoclastos de coquinas bem arredondados e de coloração preta a marrom escura. Estes litoclastos podem estar silicificados, alterados diageneticamente e/ou preenchidos por óleo.

Figura B – Fotomicrografia na profundidade 5621,05 m. Essa profundidade apresenta alta recristalização, sendo difícil identificar os bioclastos de bivalves. As setas vermelhas indicam pequenos litoclastos de coquina com bordas irregulares subarredondados a subangulosos e de coloração preta a marrom escura. Estes litoclastos podem estar silicificados, alterados diageneticamente e/ou preenchidos por óleo.

Figura C – Fotomicrografia mostrando o contato abrupto (linha vermelha tracejada) entre as litofácies CRU Médio (topo) e CRE Grosso (base) entre as profundidades de 5622,20 m e 5623,10 m. É nitidamente fácil notar a diferença granulométrica do CRE Grosso quando comparada com a granulometria do CRU Grosso acima do contato.

6.3.2 Litofácies calcirrudito fino (CRU fino)

Diagnose - Coquina composta por bioclastos de bivalves com granulometria variando de areia muito grossa a grânulo, sendo a fração grânulo predominante.

Descrição - rocha constituída fundamentalmente por bioclastos de bivalves, litoclastos de coquina e cimento. Os bioclastos se encontram desarticulados e pouco a parcialmente fragmentados com a granulometria variando de muito grossa a grânulo (1,0 mm a 4,0 mm) com orientação caótica. Os litoclastos de coquinas são mais abundantes nessa litofácies e ocorrem de forma mais irregular ou alongada com granulometria variando 1,5 a 6,5 cm e com a coloração mais escura. Em geral, a rocha é moderadamente selecionada e o empacotamento é denso e não sendo possível reconhecer estruturas sedimentares. A cimentação apresenta conteúdo carbonático e uma alta recristalização.

Estampa 2: Calcirrudito Fino - CRU Fino

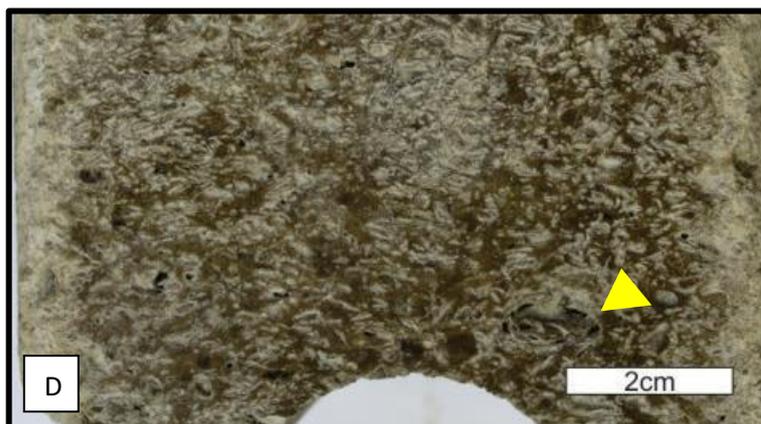
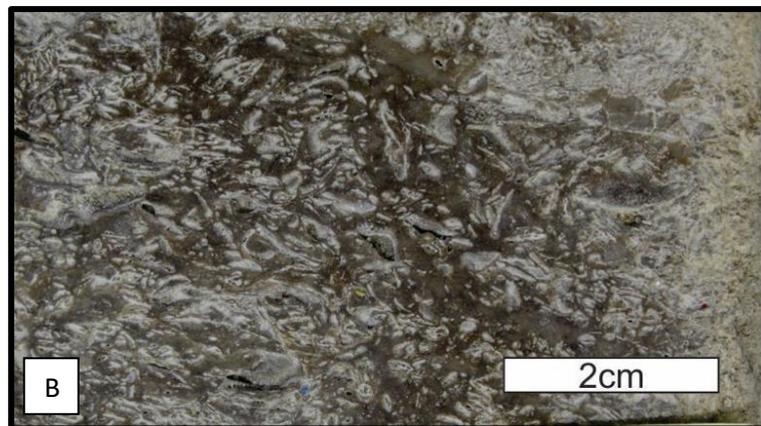
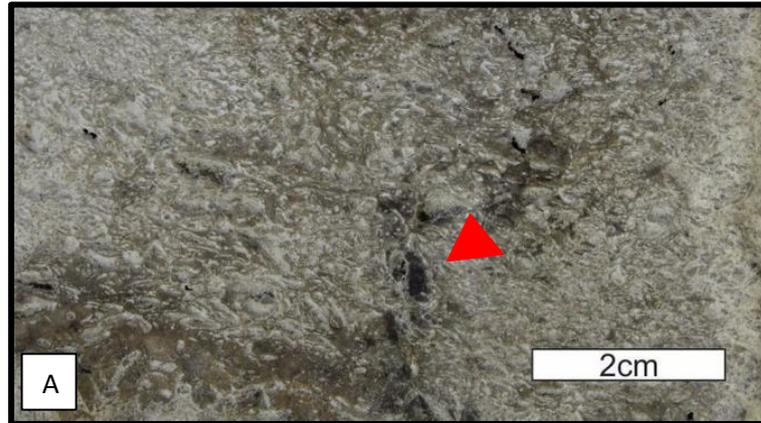


Figura A – Fotomicrografia da profundidade 5619,10 m. A seta vermelha indica um pequeno litoclasto de coquina com borda irregular e subarredondados e de coloração preta, podendo estar preenchido por óleo.

Figura B – Fotomicrografia da profundidade 5625,00 m. É possível observar a organização caótica, sem qualquer paralelismo aparente das conchas. Esse intervalo apresenta uma coloração marrom escura, interpretada como óleo.

Figura C – Fotomicrografia da profundidade 5626,40 m. É possível notar uma alta recristalização, sendo difícil o reconhecimento dos bioclastos de bivalves. As setas vermelhas indicam litoclasto de coquina com forma alongada e arredondado. Presença de poros móldicos (conchas dissolvidas com concavidades para baixo), como mostram as setas amarelas.

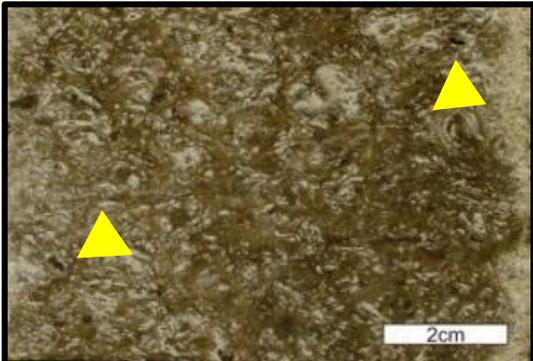
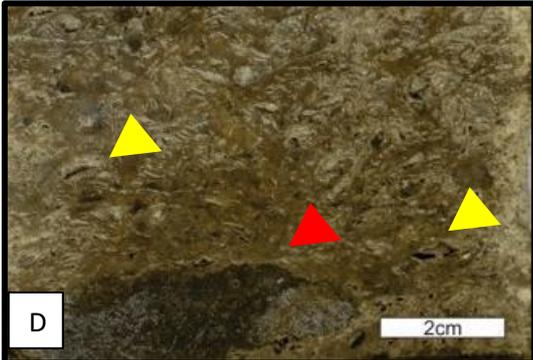
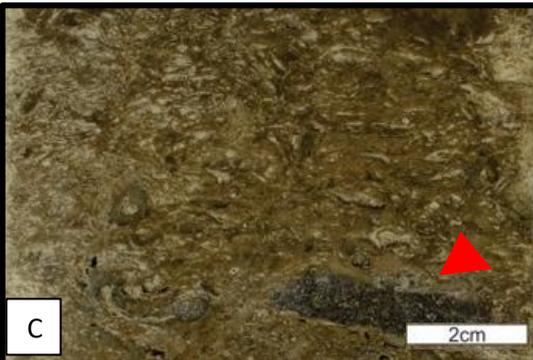
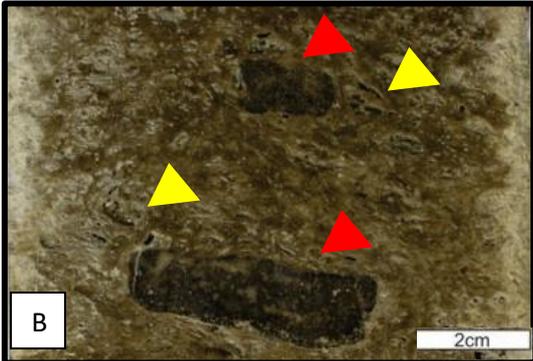
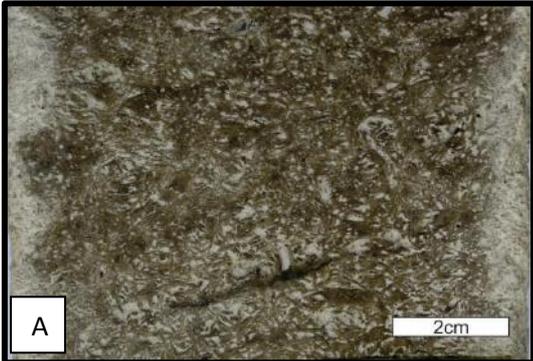
Figura D – Fotomicrografia da profundidade 5626,70 m. A organização dos bioclastos de bivalve se mostra caótica, sem qualquer paralelismo aparente. A seta amarela indica poro móldico de uma concha com concavidade para baixo.

6.3.3 Litofácies calcirrudito médio (CRU médio)

Diagnose - Coquina composto por bioclastos de bivalves com granulometria variando de grânulo a seixo, sendo a fração seixo predominante.

Descrição - rocha constituída fundamentalmente por bioclastos de bivalves, litoclastos de coquina e cimento. Os bioclastos se encontram desarticulados e pouco a parcialmente fragmentados com a granulometria variando de grânulo a seixo (3,5mm a 6,0mm) com orientação caótica. Os litoclastos de coquinas ocorrem de forma alongada, mas é possível notar forma irregular com granulometria variando 1 a 1,5 cm e com a coloração mais escura. Em geral, a rocha é mal selecionada, de empacotamento denso e não é possível reconhecer estruturas sedimentares. A cimentação apresenta conteúdo carbonático e uma alta recristalização, sendo até difícil o reconhecimento dos grãos.

Estampa 3: Calcirrudito Médio - CRU Médio



Estampa 3: Calcirrudito Médio – CRU Médio

Figura A – Fotomicrografia da profundidade 5620,45 m. É possível notar a organização caótica, sem qualquer paralelismo aparente das conchas. Esse intervalo apresenta uma coloração marrom escura, interpretada como óleo.

Figura B – Fotomicrografia da profundidade 5621,85 m. As setas vermelhas indicam grandes litoclastos de coquina com forma alongada, borda regular e subarredondada, de coloração preta, podendo estar preenchido por óleo.

Figura C – Fotomicrografia da profundidade 5622,20 m. Presença de litoclasto de coquina apontado pela seta vermelha de forma alongada e borda regular; presença de porosidade móldica de bioclastos de bivalves, com a concavidade tanto para baixo quanto para cima, indicados pela seta amarela.

Figura D – Fotomicrografia da profundidade 5627,00 m. A seta vermelha indica um litoclasto de coquina com forma alongada e arredondado, de coloração preta. As setas amarelas indicam porosidade móldica de bioclasto de bivalve.

Figura E – Fotomicrografia da profundidade 5629,00 m. É possível notar a organização caótica, sem qualquer paralelismo aparente das conchas. As setas amarelas indicam porosidade móldica.

6.4 Microfácies sedimentares

Assim como as litofácies, as microfácies foram classificadas texturalmente de acordo com a classificação de Folk (1962) , adaptada segundo a escala granulométrica de Udden-Wentworth. Com base nisso e nas características composicionais, diagenéticas e texturais foram identificadas 7 microfácies em um total de 14 lâminas petrográficas.

As 7 microfácies identificadas foram: 1) Calcarenito Bioclástico Grosso – CREbg; 2) Calcarenito Cortóidico Grosso - CREcg; 3) Calcarenito Bioclástico Oolítico Grosso – CREbog; 4) Calcirrudito Bioclástico Fino – CRUbf; 5) Calcirrudito Bioclástico Oolítico Fino – CRUbof; 6) Calcirrudito Bioclástico Médio – CRUbm; 7) Calcirrudito Bioclástico Oolítico Médio – CRUbo

Quadro 2 - Quadro resumo das microfácies de coquinas caracterizados neste trabalho.

MICROFÁCIES				
Microfácies	Diagnose	Composição	Amostras	Litofácies
CREbg	Coquina constituída por arcabouço de conchas pouco a parcialmente fragmentadas, com granulometria variando de areia grossa a areia muito grossa e alta recristalização.	Bioclasto de bivalves; litoclastos; 10% de dolomita.	1	CRE Grosso
CREcg	Coquina constituída por arcabouço de conchas muito, com granulometria de areia grossa a areia muito grossa e moderada recristalização.	Cortoides; litoclastos; 5% de dolomita.	1	CRE Grosso
CREbog	Coquina constituída por arcabouço de conchas muito fragmentadas, com granulometria variando de areia grossa a areia muito grossa, moderada recristalização e presença de ooides.	Bioclastos de bivalves; cortoides; litoclastos; ooide; 15% de dolomita.	1	CRE Grosso
CRUbf	Coquina constituída por arcabouço de conchas muito fragmentadas, com granulometria variando de areia muito grossa a grânulo e moderada recristalização.	Bioclastos de bivalves; litoclastos; 10% de dolomita.	1	CRU Fino
CRUbof	Coquina constituída por arcabouço de conchas pouco a parcialmente fragmentadas, com granulometria variando de areia muito grossa a grânulo, alta recristalização e presença de ooides.	Bioclastos de bivalves; cortoides; litoclastos; ooide; 10% de dolomita.	5	CRU Fino
CRUbm	Coquina constituída por arcabouço de conchas pouco a parcialmente fragmentadas, com granulometria variando de grânulo a seixo e alta recristalização.	Bioclastos de bivalves; cortoides; litoclastos; 10% de dolomita.	1	CRU Médio
CRUbo	Coquina constituída por arcabouço de conchas parcialmente fragmentadas, com granulometria variando de grânulo a seixo, alta recristalização e presença de ooides.	Bioclastos de bivalves; cortoides; litoclastos; ooide; 10% de dolomita.	4	CRU Médio

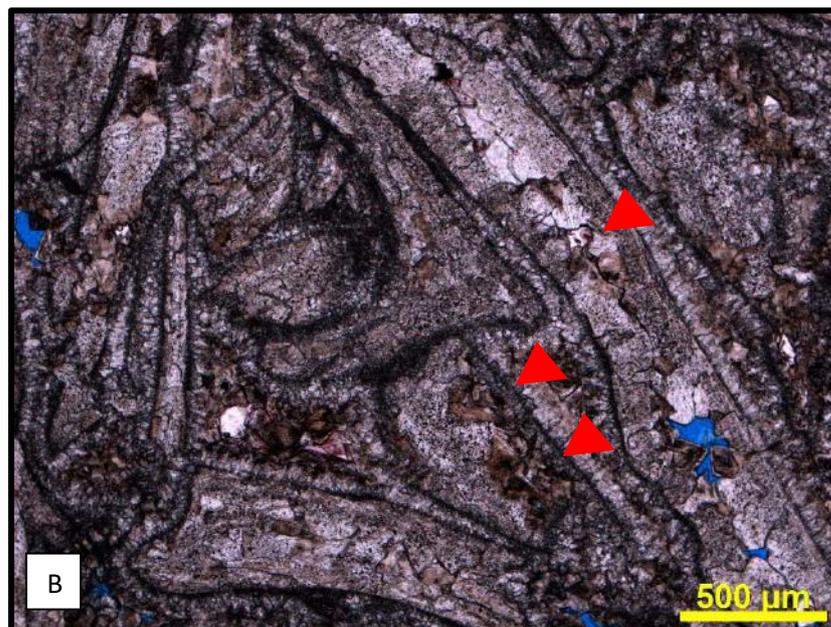
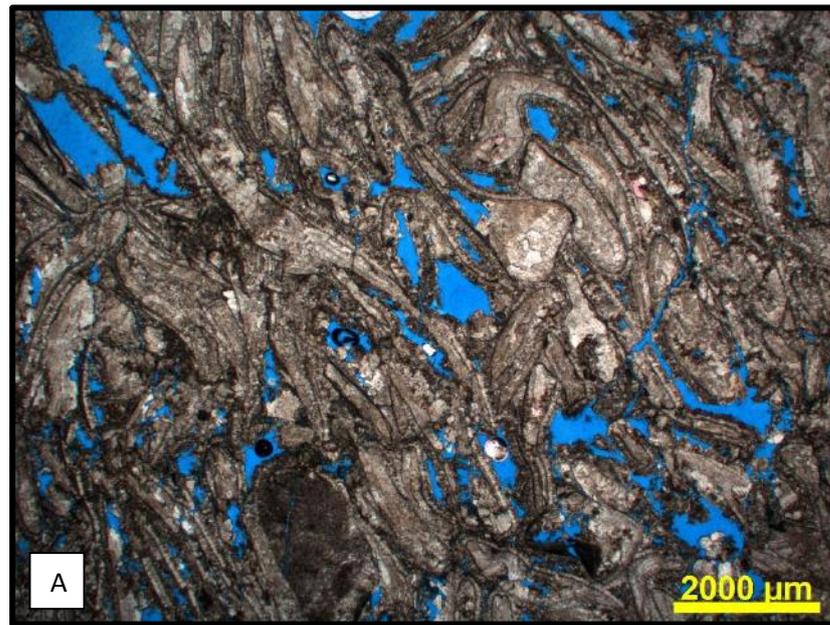
6.4.1 Microfácies Calcarenito Bioclástico Grosso – CREbg

Diagnose – Coquina constituída por arcabouço de conchas pouco a parcialmente fragmentadas, com granulometria variando de areia grossa a areia muito grossa e com alta recristalização.

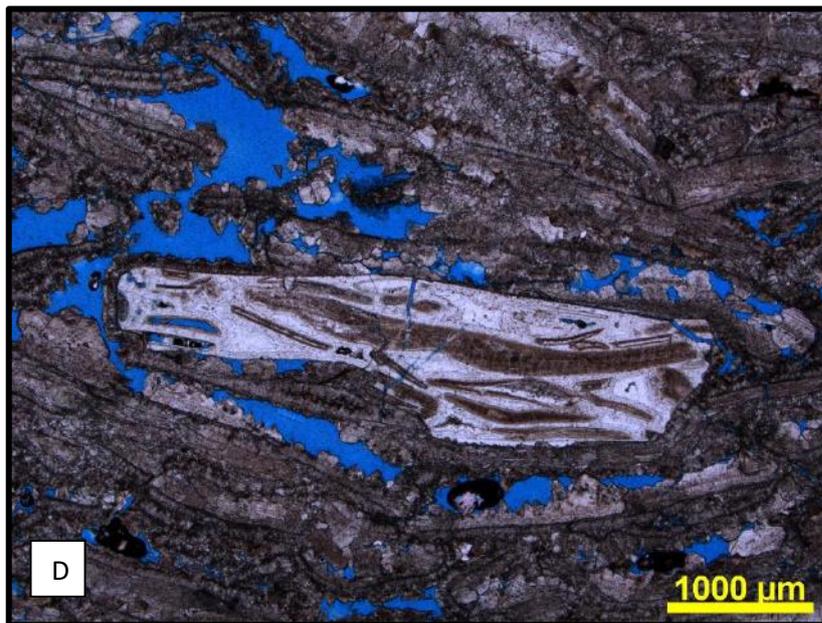
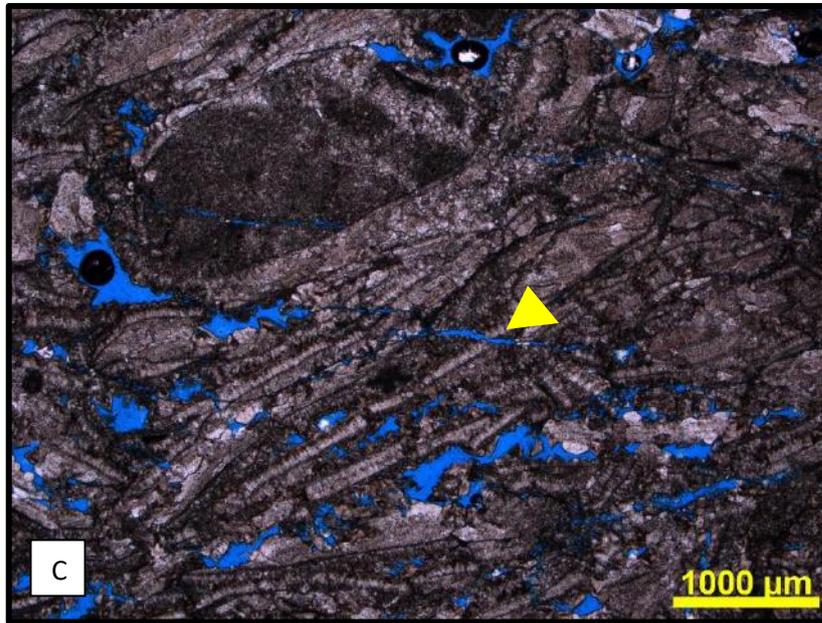
Descrição – A microfácies CREbg é caracterizada por uma rocha grão-suportada composta essencialmente por material carbonático (~90%), além de uma baixa contribuição de sílica (<5%) e cerca de 10% de espaço poroso. O material carbonático é constituído por aproximadamente 40% de bioclastos de bivalve que compõem o arcabouço da rocha, cerca de 60% de cimento e <1% de litoclastos de coquina. O arcabouço é composto por conchas de bivalves desarticuladas, pouco a parcialmente fragmentadas e granulometria variando de areia grossa a areia muito grossa (0,8mm a 1,2mm). Os bioclastos são muito recristalizados, sendo raramente possível identificar as linhas internas de crescimento. Apresenta litoclasto de coquina com granulometria de cerca de 4,2 mm com substituição por sílica (microcristalino) preenchendo os espaços entre os bioclastos presentes nesse intraclasto. De modo geral, a rocha é moderadamente selecionada, organizada de forma caótica, muito recristalizada e compactada. Quanto à cimentação, o cimento predominante é o de calcita em mosaico interpartícula (~50%), sendo seguida pelo cimento de franja calcítica interpartícula (~40%). A cimentação de dolomita está presente (~10%) e se apresenta predominantemente ao redor dos bioclastos e, em menor proporção, preenchendo os bioclastos. No que diz respeito a porosidade (~10%), o tipo de poro predominante é o interpartícula.

Interpretação – De acordo com Muniz e Bosence (2017), a microfácies CREbg se refere à tafofácies TF-3a, depositada em um ambiente lacustre raso, indicado como subaquoso intermediário. São interpretados como depósitos de barras e bancos de coquinas no interior da plataforma carbonática, gerados em ambiente de moderada energia sob ação de ondas e correntes acima do nível base de ondas de tempo bom.

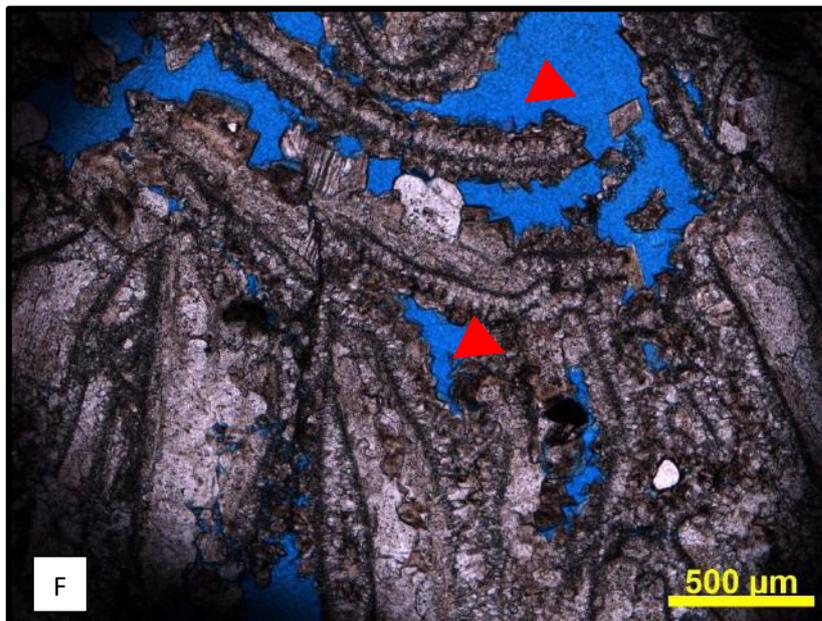
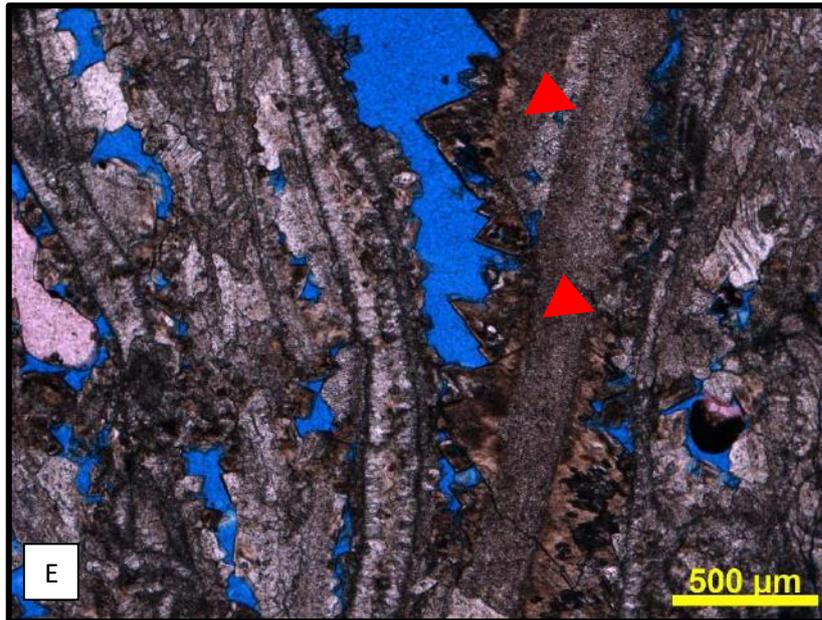
Estampa 4: Calcarenito Bioclástico Grosso – CREbg



Estampa 4: Calcarenito Bioclástico Grosso – CREbg



Estampa 4: Calcarenito Bioclástico Grosso – CREbg



Estampa 4: Calcarenito Bioclástico Grosso – CREbg

Figura A – Fotomicrografia geral a nicóis paralelos da microfácies CREbg na profundidade de 5618,50 m.

Figura B – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5618,50 m. As setas vermelhas indicam dolomitas preenchendo os bioclastos de bivalves.

Figura C – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5618,50 m. A seta amarela indica microfratura, indicando uma melhora da permo-porosidade.

Figura D – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5618,50 m. Presença de litoclasto de coquina com forma alongada e arredondado com substituição de sílica.

Figura E – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5618,50 m. As setas vermelhas indicam dolomitas romboédricas ao redor dos bioclastos de bivalve.

Figura F – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5618,50 m. As setas vermelhas indicam dolomitas ao redor dos bioclastos de bivalve.

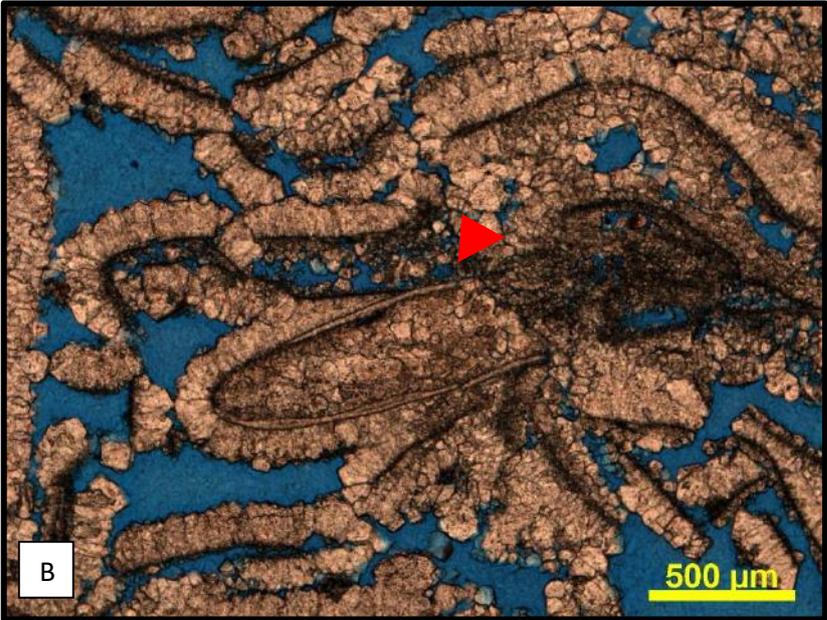
6.4.2 Microfácies Calcarenito Cortóidico Grosso – CREcg

Diagnose – Coquina constituída por arcabouço de conchas muito fragmentadas, granulometria de areia grossa a areia muito grossa e com moderada recristalização.

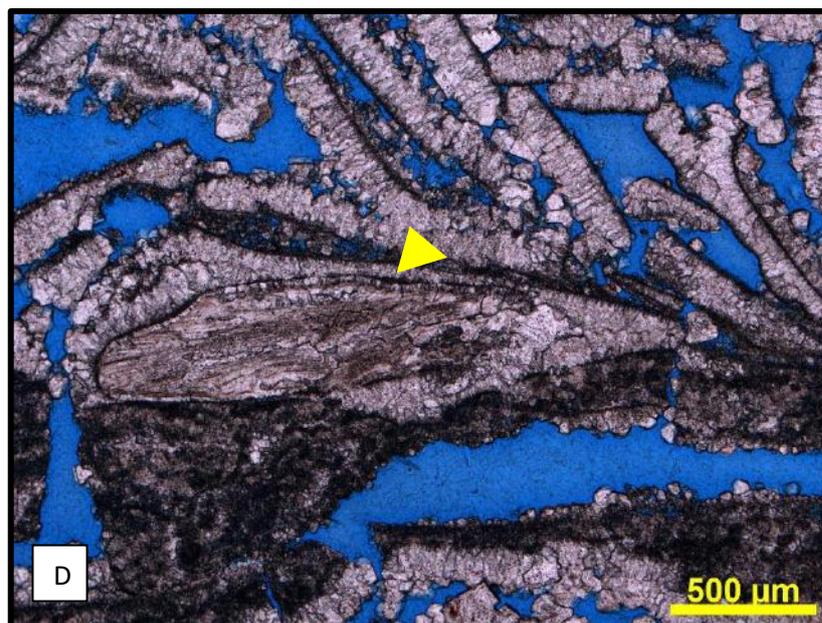
Descrição – A microfácies CREcg é caracterizada por uma rocha grão-suportada composta essencialmente por material carbonático (~80%), além de uma baixa contribuição de sílica (5%) e cerca de 15% de espaço poroso. O material carbonático é constituído por aproximadamente 40% de cortóide que compõem o arcabouço da rocha, cerca de 50% de cimento e 10% de litoclastos de coquina. O arcabouço é composto por cortóides, ou seja, são bioclastos muito fragmentadas, sendo até de difícil reconhecimento, e granulometria variando de areia grossa a areia muito grossa (0,6mm a 1,0mm). Por estarem muito fragmentados, é difícil identificar presença de linhas internas de crescimento. Apresenta litoclasto de coquina com granulometria de cerca de de 3,2 mm a 4,5 mm com substituição por sílica (microcristalino) preenchendo os espaços entre os bioclastos presentes nesse intraclasto. De modo geral, a rocha é muito bem selecionada, organizada de forma caótica, moderadamente recristalizada e compactada. Quanto à cimentação, o cimento predominante é o de franja calcítica interpartícula (~75%), sendo seguida pelo cimento de calcita em mosaico interpartícula(~20%). A cimentação de dolomita mosaica é presente (~5%) e se apresenta interpartícula. No que diz respeito a porosidade (~20%), na qual a mais predominante é a interpartícula,

Interpretação – De acordo com Muniz e Bosence (2017), a microfácies CREcg se refere à tafofácies TF-6, depositada em um ambiente lacustre raso, indicado como subaquoso intermediário. São interpretados como depósitos de barras e bancos de coquinas no interior da plataforma carbonática. Por apresentar um grau de fragmentação muito alto, essa microfácies está relacionada a um ambiente de alta energia sob ação de ondas e correntes acima do nível base de ondas de tempo bom.

Estampa 5: Calcarenito Cortóidico Grosso – CREcg



Estampa 5: Calcarenito Cortóidico Grosso – CREcg



Estampa 5: Calcarenito Cortódico Grosso – CREcg

Figura A – Fotomicrografia geral a nicóis paralelos da microfácies CRcg na profundidade de 5621,05 m, mostrando os bioclastos altamente dissolvidos e fragmentados, cimentados com franja calcítica.

Figura B – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5621,05 m. A seta vermelha indica um dos poucos bioclastos de bivalve parcialmente fragmentado.

Figura C – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5621,05 m. Presença de um bioclasto de bivalve pouco fragmentado e presença de dolomita.

Figura D – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5621,05 m. A seta amarela indica linha de crescimento no bioclasto de bivalve, indicando que a recristalização foi moderada.

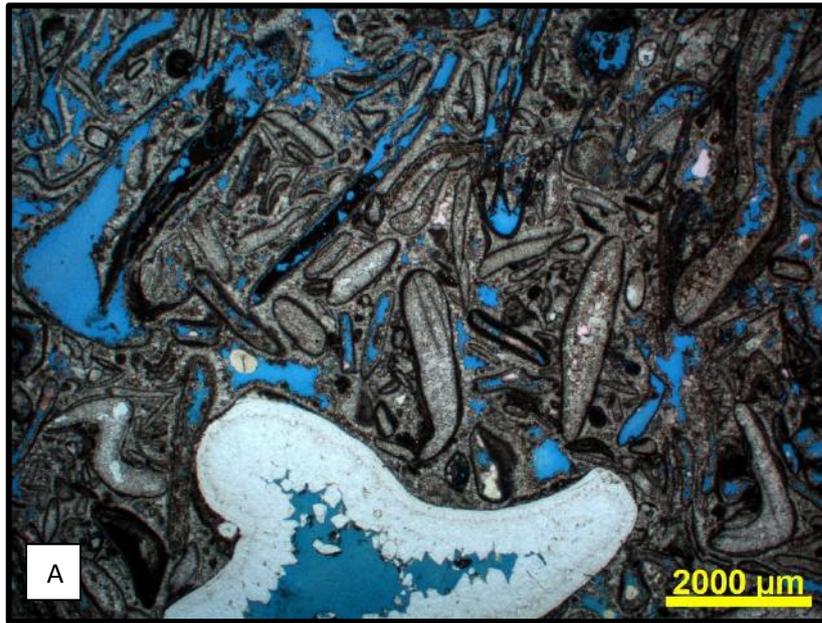
6.4.3 Microfácies Calcarenito Bioclástico Oolítico Grosso – CREbog

Diagnose – Coquina constituída por arcabouço de conchas parcialmente fragmentadas, com granulometria variando de areia grossa a areia muito grossa com moderada recristalização e presença de ooide.

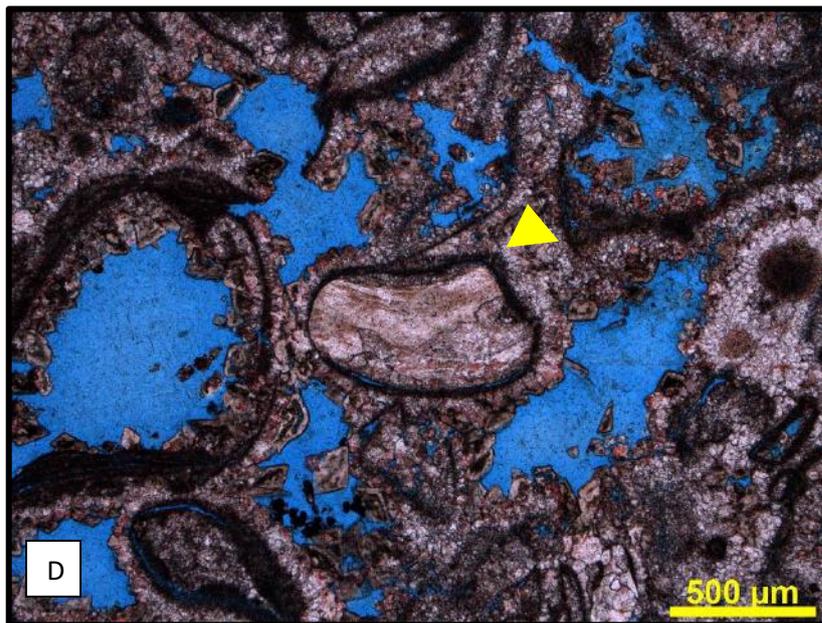
Descrição – A microfácies CREbog é caracterizada por uma rocha grão-suportada composta essencialmente por material carbonático (~85%), 5% de sílica preenchendo concha e cerca de 10% de espaço poroso. O material carbonático é constituído por aproximadamente 35% de bioclastos de bivalve que compõem o arcabouço da rocha, cerca de 60% de cimento e 5% de ooide. O arcabouço é composto por conchas de bivalves desarticuladas, muito fragmentadas e granulometria variando de areia grossa a areia muito grossa (0,5mm a 1,0mm). Os bioclastos são moderadamente recristalizados, sendo possível identificar algumas linhas internas de crescimento. Apresenta ooides que variam de 0,1 mm a 02 mm, onde seus núcleos são compostos por cortoides.. Se apresentam tanto de forma alongada e quanto arredondada, sendo a forma arredondada a mais comum. De modo geral, a rocha é mal selecionada, organizada de forma caótica, moderadamente recristalizada e compactada. Quanto à cimentação, o cimento predominante é o de calcita em mosaico interpartícula (~55%), sendo seguida pelo cimento de franja calcítica interpartícula (~35%). A cimentação de dolomita romboédrica é presente (~15%) ao redor das franjas de calcita e preenchendo os bioclastos de bivalves. No que diz respeito a porosidade (~10%), na qual a mais predominante é a móldica.

Interpretação – De acordo com Muniz e Bosence (2017), a microfácies CREbog se refere à tafofácies TF-4, depositada em um ambiente lacustre raso, indicado como subaquoso intermediário. São interpretados como depósitos de barras e bancos de coquinas no interior da plataforma carbonática. Essa microfácies está relacionada a um ambiente de moderada energia sob ação de ondas e correntes acima do nível base de ondas de tempo bom. Muniz (2013) propõe que a presença de ooides indica uma Plataforma carbonática protegida.

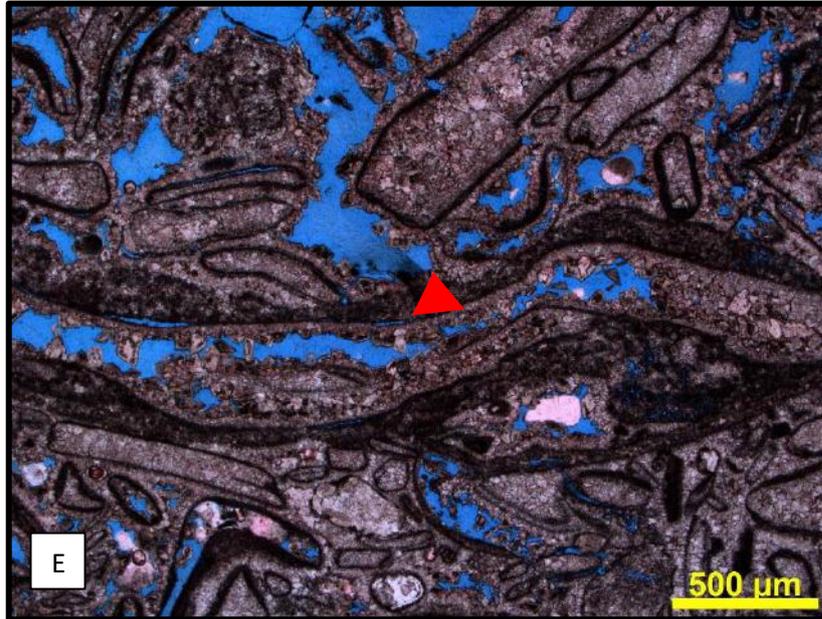
Estampa 6: Calcarenito Bioclástico Oolítico Grosso – CREbog



Estampa 6: Calcarenito Bioclástico Oolítico Grosso – CREbog



Estampa 6: Calcarenito Bioclástico Oolítico Grosso – CREbog



Estampa 6: Calcarenito Bioclástico Oolítico Grosso – CREbog

Figura A – Fotomicrografia geral a nicóis paralelos da microfácies CREbog na profundidade de 5623,10 m.

Figura B – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5623,10 m. Possível identificar bastante presença de ooide nessa microfácies.

Figura C – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5623,10 m. A seta vermelha indica a dolomita preenchendo bioclasto de bivalve.

Figura D – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5623,10 m. A seta amarela indica linhas de crescimento no bioclasto de bivalve, evidenciando que a recristalização foi moderada.

Figura E - Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5623,10 m. A seta vermelha indica dolomita preenchendo porosidade móldica.

Figura F - Fotomicrografia geral nicóis paralelos da profundidade 5623,10 m.

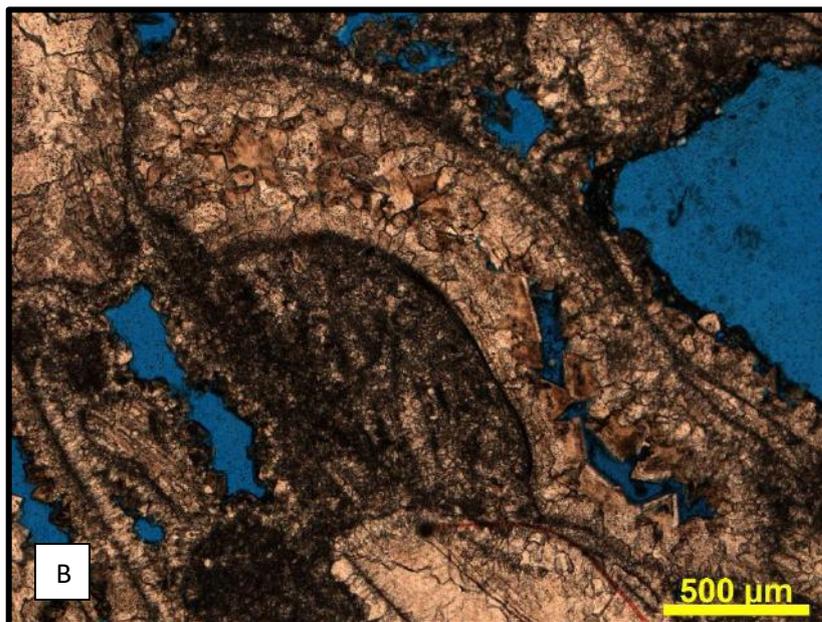
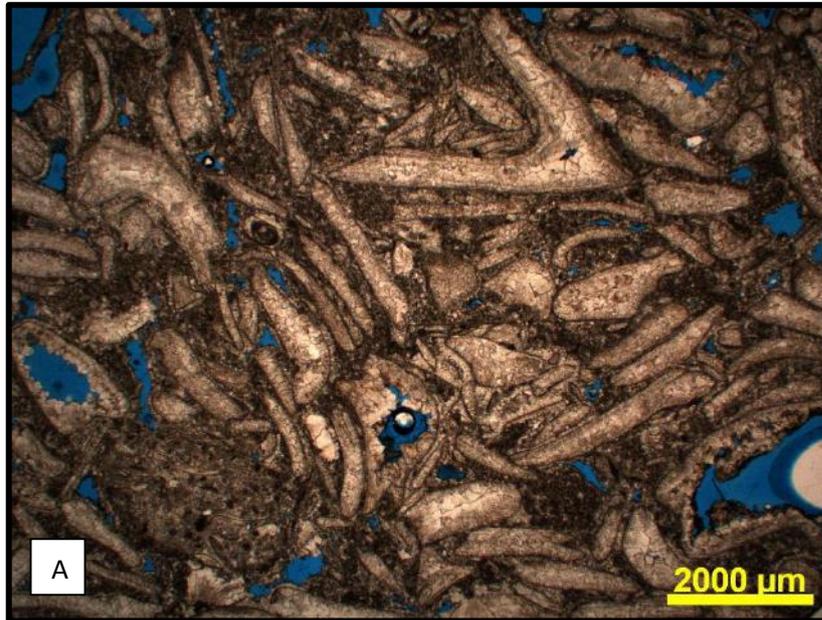
6.4.4 Microfácies Calcirrudito Bioclástico Fino – CRUbf

Diagnose – Coquina constituída por arcabouço de conchas pouco a parcialmente fragmentadas, com granulometria variando de areia muito grossa a grânulo e com moderada recristalização.

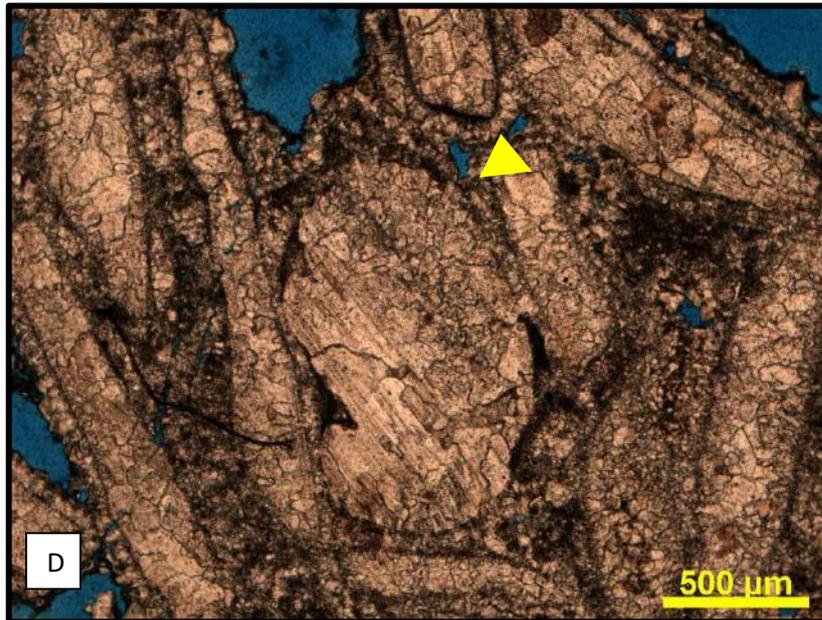
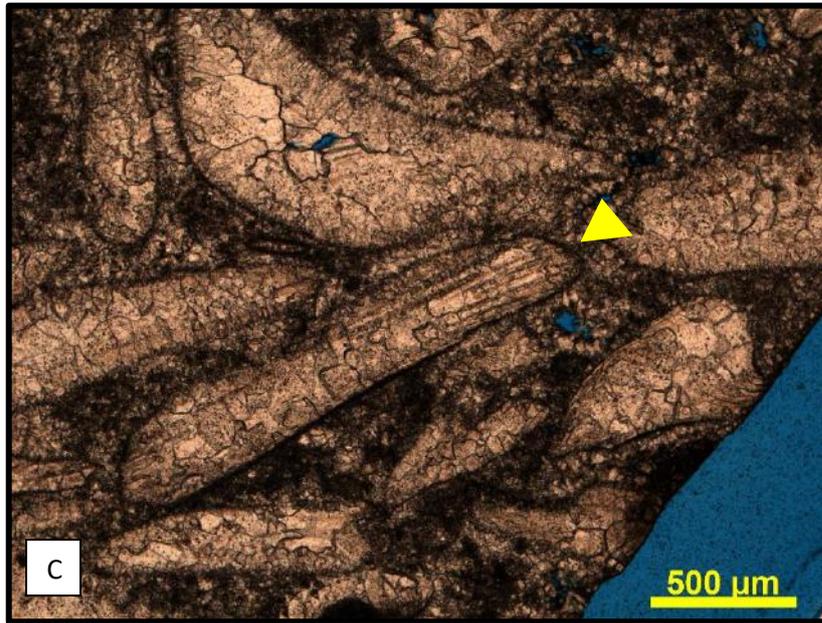
Descrição – A microfácies CRUbf é caracterizada por uma rocha grão-suportada composta essencialmente por material carbonático (>90%) e cerca de <10% de espaço poroso. O material carbonático é constituído por aproximadamente 35% de bioclastos de bivalve que compõem o arcabouço da rocha, cerca de 60% de cimento e 5% de litoclasto de coquina. O arcabouço é composto por conchas de bivalves desarticuladas, pouco a parcialmente fragmentadas e granulometria variando de areia muito grossa a grânulo (1,7 mm a 2,9 mm). Os bioclastos são moderadamente recristalizados, sendo possível identificar algumas linhas internas de crescimento. De modo geral, a rocha é bem selecionada, organizada de forma caótica, moderadamente recristalizada e compactada. Quanto à cimentação, o cimento predominante é o de calcita em mosaico interpartícula (~80%), sendo seguida pelo cimento de franja calcítica interpartícula (~10%). A cimentação de dolomita é presente (~10%) ao redor das franjas de calcita e preenchendo os bioclastos de bivalves. No que diz respeito a porosidade (~10%), na qual a mais predominante é a móldica.

Interpretação – De acordo com Muniz e Bosence (2017), a microfácies CRUbf se refere à tafofácies TF-4, depositadas em um ambiente lacustre raso, indicado como subaquoso intermediário. São interpretados como depósitos de barras e bancos de coquinas no interior da plataforma carbonática e está relacionado a um ambiente de moderada energia sob ação de ondas e correntes acima do nível base de ondas de tempo bom.

Estampa 7: Calcirrudito Bioclástico Fino – CRUbf



Estampa 7: Calcirrudito Bioclástico Fino – CRUbf



Estampa 7: Calcirrudito Bioclástico Fino – CRUbf

Figura A – Fotomicrografia geral a nicóis paralelos da microfácies CRUbf na profundidade de 5625,00 m.

Figura B – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5625,00 m. Possível notar o preenchimento com dolomita em bioclastos de bivalves.

Figura C – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5625,00 m. A seta amarela indica linhas de crescimento no bioclasto de bivalve, evidenciando que a recristalização foi moderada.

Figura D – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5625,00 m. A seta amarela indica novamente linhas de crescimento no bioclasto de bivalve.

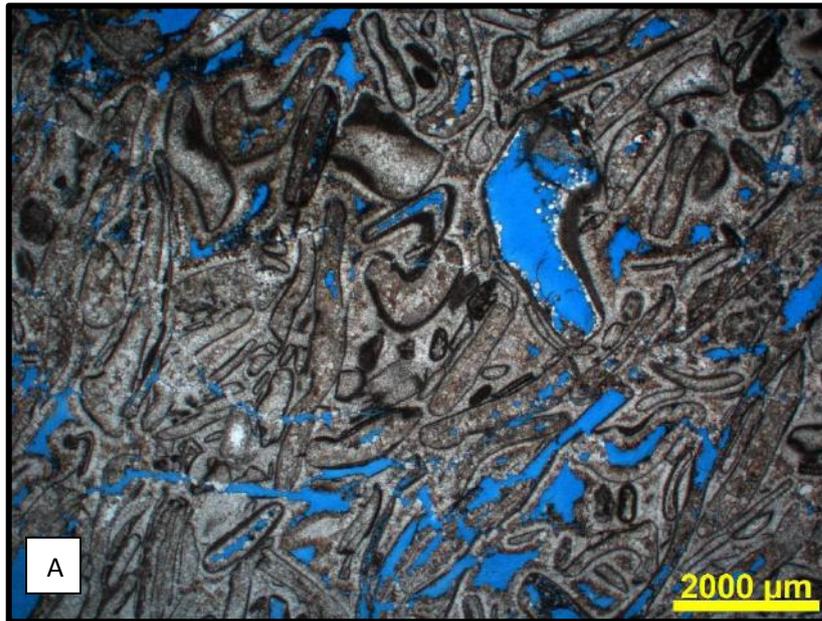
6.4.5 Microfácies Calcirrudito Bioclástico Oolítico Fino – CRUbof

Diagnose – Coquina constituída por arcabouço de conchas pouco a parcialmente fragmentadas, com granulometria variando de areia muito grossa a grânulo, com alta recristalização e presença de ooide.

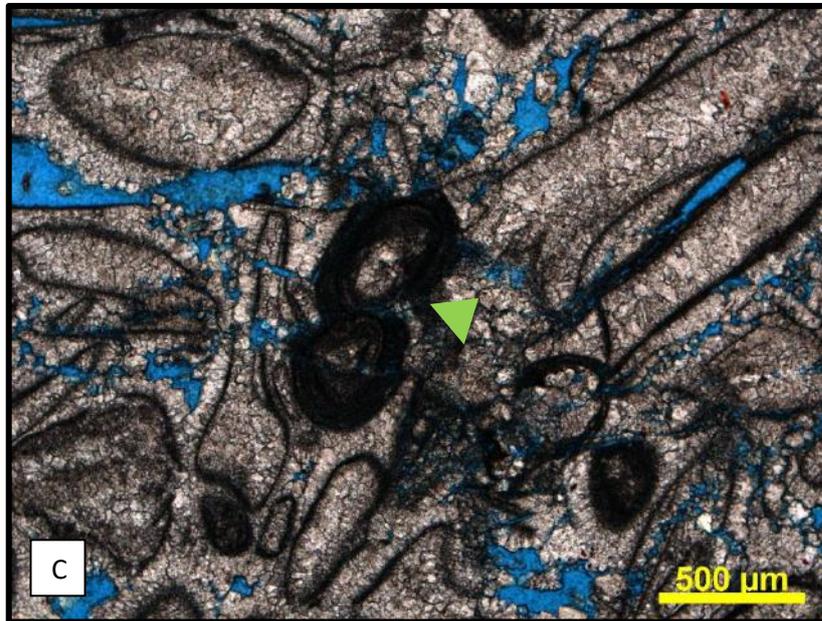
Descrição – A microfácies CRUbof é caracterizada por uma rocha grão-suportada composta essencialmente por material carbonático (~85%) e cerca de 15% de espaço poroso. O material carbonático é constituído por aproximadamente 40% de bioclastos de bivalves que compõem o arcabouço da rocha, cerca de 55% de cimento e 5% de ooide. O arcabouço é composto por conchas de bivalves desarticuladas, pouco a parcialmente fragmentadas e granulometria variando de areia muito grossa a grânulo (1,7 mm a 2,8mm). Os bioclastos são altamente recristalizados, sendo difícil identificar linhas internas de crescimento. Apresenta ooide, no qual seu núcleo é composto por cortoides e possuem tamanho que variam 0,2 mm a 0,6 mm, com forma mais alongada. É possível notar substituição por sílica em ooides pontuais. De modo geral, a rocha é mal selecionada, organizada de forma caótica, altamente recristalizada e compactada. Quanto à cimentação, o cimento predominante é o de calcita em mosaico interpartícula (~75%), sendo seguida pelo cimento de franja calcítica interpartícula (~15%). A cimentação de dolomita romboédrica é presente (~10%) ao redor das franjas de calcita e preenchendo os bioclastos de bivalves. No que diz respeito a porosidade (~15%), o tipo de poro predominante é o móldico.

Interpretação – De acordo com Muniz e Bosence (2017), a microfácies CRUbof se refere à tafofácies TF-4, depositadas em um ambiente lacustre raso, indicado como subaquoso intermediário. São interpretados como depósitos de barras e bancos de coquinas no interior da plataforma carbonática e está relacionado a um ambiente de moderada energia sob ação de ondas e correntes acima do nível base de ondas de tempo bom. Muniz (2013) propõe que a presença de ooides indica uma Plataforma carbonática protegida.

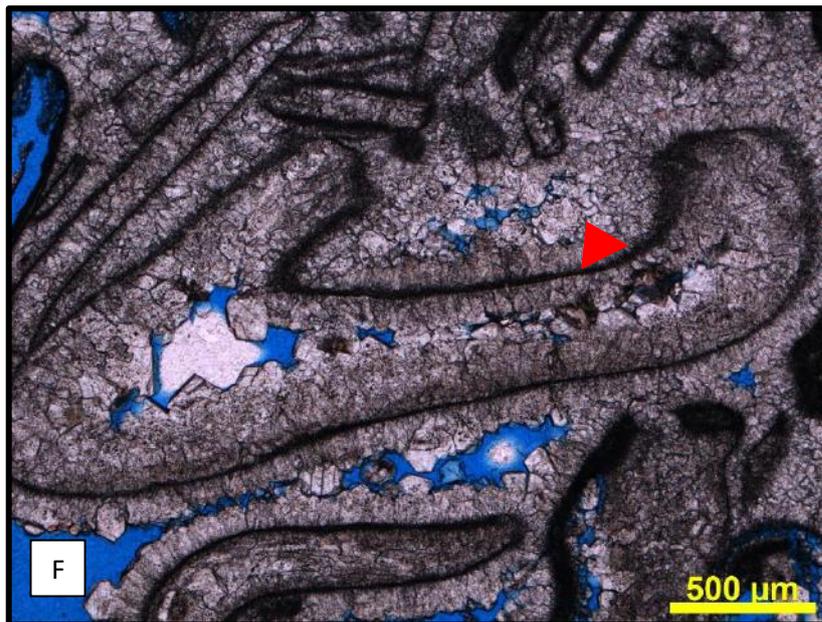
Estampa 8: Calcirrudito Bioclástico Oolítico Fino – CRUbof



Estampa 8: Calcirrudito Bioclástico Oolítico Fino – CRUbof



Estampa 8: Calcirrudito Bioclástico Oolítico Fino – CRUbof



Estampa 8: Calcirrudito Bioclástico Oolítico Fino – CRUbof

Figura A – Fotomicrografia geral a nicóis paralelos da microfácies CRUbof na profundidade de 5624,95 m.

Figura B – Fotomicrografia geral a nicóis paralelos da microfácies CRUbof na profundidade de 5626,70 m.

Figura C – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5626,70 m. A seta verde indica ooides.

Figura D – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5628,35 m. A seta verde indica ooides tanto de forma alongada quanto de forma mais arredondada.

Figura E - Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5628,35 m. Presença de litoclasto de coquina com substituição de sílica.

Figura F - Fotomicrografia geral nicóis paralelos da profundidade 5626,40 m. A seta vermelha indica presença de dolomita preenchendo bioclasto de bivalve.

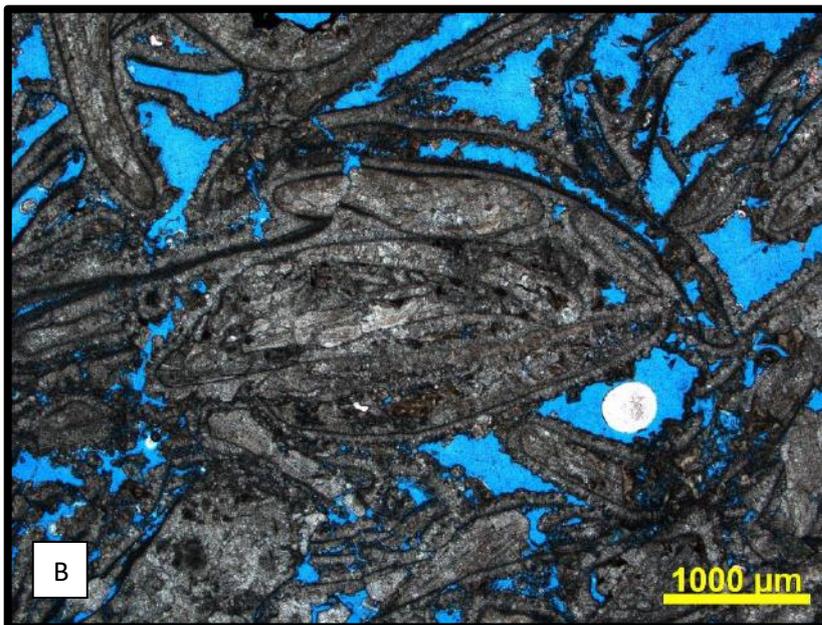
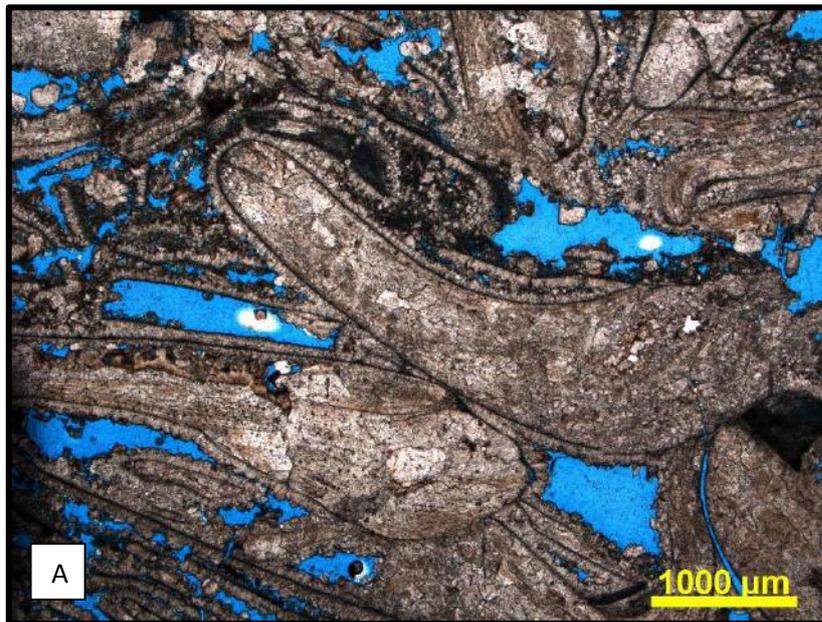
6.4.6 Microfácies Calcirrudito Bioclástico Médio – CRU_{bm}

Diagnose – Coquina constituída por arcabouço de conchas pouco a parcialmente fragmentadas, com granulometria variando de grânulo a seixo e com moderada recristalização.

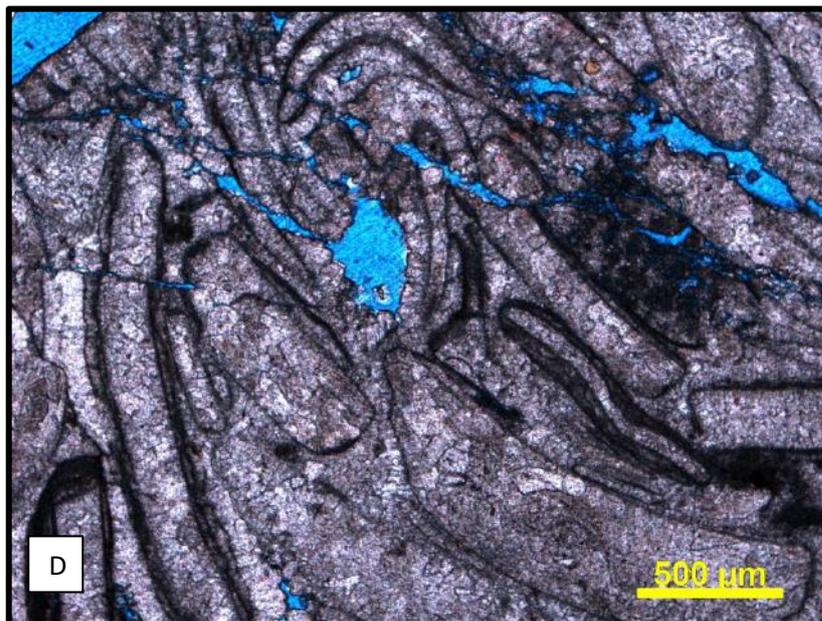
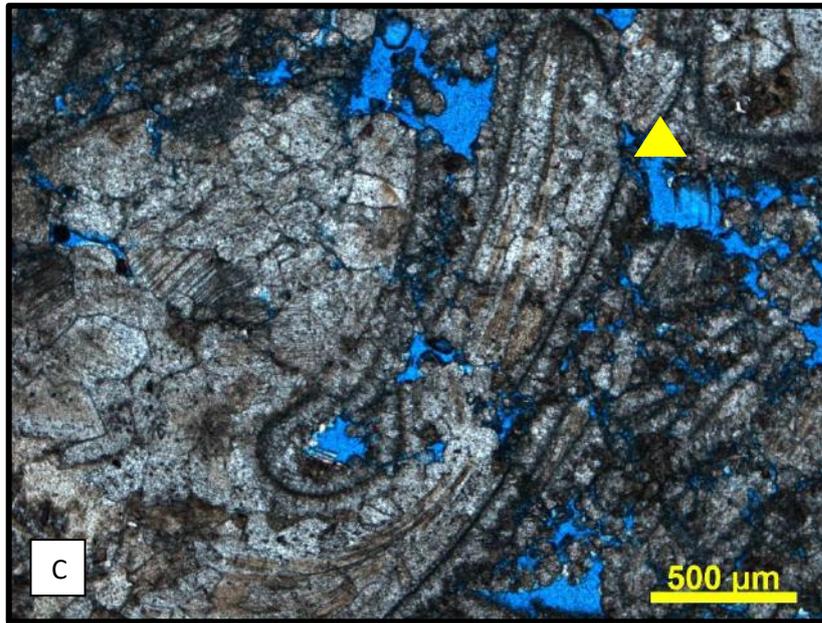
Descrição – A microfácies CRU_{bm} é caracterizada por uma rocha grão-suportada composta essencialmente por material carbonático (~80%) e cerca de 20% de espaço poroso. O material carbonático é constituído por aproximadamente 35% de bioclastos de bivalves que compõem o arcabouço da rocha, cerca de 45% de cimento e 20% de litoclasto de coquina. O arcabouço é composto por conchas de bivalves desarticuladas, pouco a parcialmente fragmentadas e granulometria variando de grânulo a seixo (1,8 mm a 4,4 mm). Os bioclastos são moderadamente recristalizados, sendo possível identificar linhas internas de crescimento. Os litoclastos são compostos por bioclastos de bivalves pouco a parcialmente fragmentados com granulometria variando de 2,6 mm a 4,8 mm. De modo geral, a rocha é moderadamente selecionada, com organização parcialmente caótica, altamente recristalizada e compactada. Quanto à cimentação, o cimento predominante é o de calcita em mosaico interpartícula (~50%), sendo seguida pelo cimento de franja calcítica interpartícula (~40%). A cimentação de dolomita é presente (~10%) ao redor das franjas de calcita e preenchendo os bioclastos de bivalves. No que diz respeito a porosidade (~15%), na qual a mais predominante é a interpartícula.

Interpretação – De acordo com Muniz e Bosence (2017), a microfácies CRU_{bm} se refere à tafofácies TF-3a, depositadas em um ambiente lacustre raso, indicado como subaquoso intermediário. São interpretados como depósitos de barras e bancos de coquinas no interior da plataforma carbonática. Essa microfácies está relacionada a um ambiente de baixa a moderada energia sob ação de ondas e correntes acima do nível base de ondas de tempo bom.

Estampa 9: Calcirrudito Bioclástico Médio – CRUbm



Estampa 9: Calcirrudito Bioclástico Médio – CRUbm



Estampa 9: Calcirrudito Bioclástico Médio – CRUbm

Figura A – Fotomicrografia geral a nicóis paralelos da microfácies CRUbm na profundidade de 5621,85 m.

Figura B – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5621,85 m. Possível observar presença de litoclasto de coquinas nessa microfácies.

Figura C – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5621,85 m. A seta verde amarela indica linhas de crescimento no bioclasto de bivalve, indicando, assim, uma recristalização moderada.

Figura D – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5621,85 m. Possível notar presença de microfraturas nessa microfácies, aumentando assim a permo-porosidade.

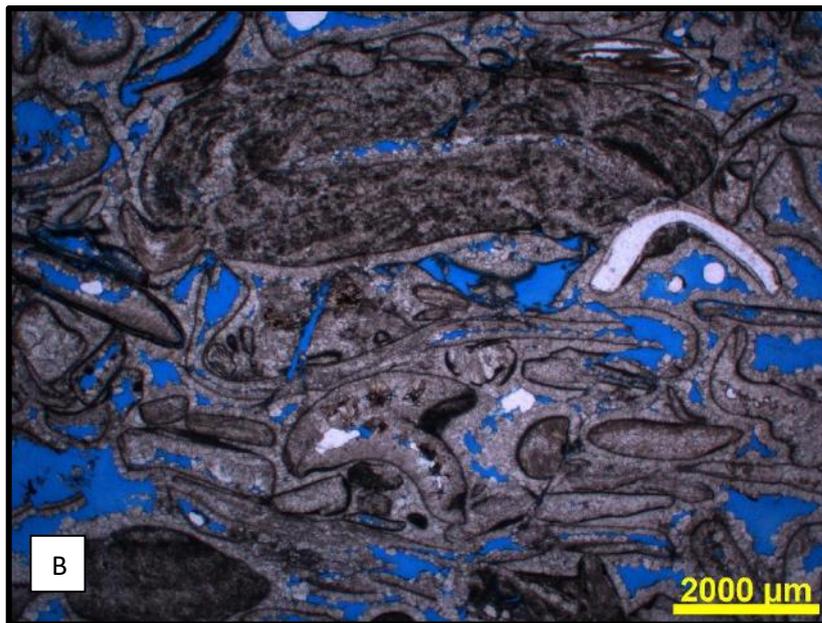
6.4.7 Microfácies Calcirrudito Bioclástico Oolítico Médio – CRU**bo**m

Diagnose – Coquina constituída por arcabouço de conchas pouco a parcialmente fragmentadas, com granulometria variando de grânulo a seixo, com alta recristalização e presença de ooide.

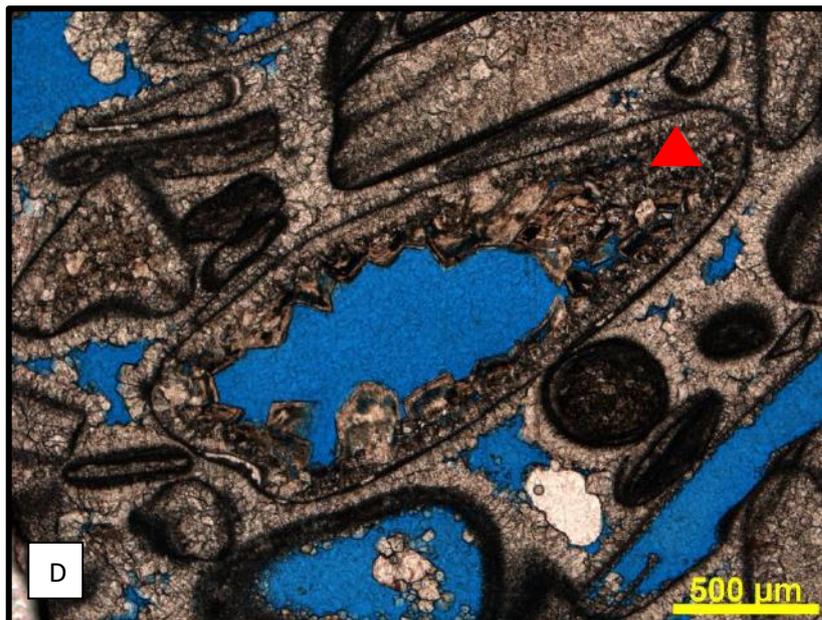
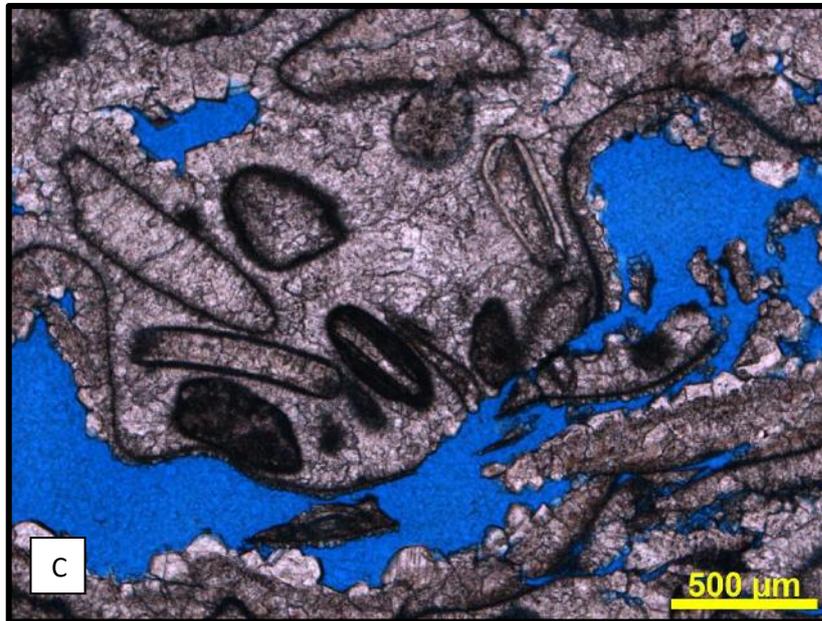
Descrição – A microfácies CRU**bo**m é caracterizada por uma rocha grão-suportada composta essencialmente por material carbonático (~80%) e cerca de 20% de espaço poroso. O material carbonático é constituído por aproximadamente 40% de bioclastos de bivalve que compõem o arcabouço da rocha, cerca de 50% de cimento e 10% de ooide e litoclasto de coquina. O arcabouço é composto por conchas de bivalves desarticuladas, pouco a parcialmente fragmentadas e granulometria variando de grânulo a seixo (2,1 mm a 5,2mm). Os bioclastos são altamente recristalizados, sendo difícil identificar linhas internas de crescimento. Apresenta ooides constituídos por núcleo de cortoides com granulometria variando de 0,1 mm a 0,2 mm. Se apresentam tanto de forma alongada e arredondada, sendo a forma mais alongada a mais comum. Os litoclastos apresentam três variações: 1) composto por bioclastos cimentados por calcita em mosaico interpartícula; 2) composto por bioclastos de bivalves preenchidos por sílica com cimentação interpartícula de sílica; 3) composto por bioclastos de bivalves preenchidos por sílica, porém com cimentação interpartícula de calcite em mosaico. De modo geral, a rocha é moderadamente selecionada, organizada de forma caótica, altamente recristalizada e compactada. Quanto à cimentação, o cimento predominante é o de calcita em mosaico interpartícula (~60%), sendo seguida pelo cimento de franja calcítica interpartícula (~35%). A cimentação de dolomita romboédrica é presente (~5%) ao redor das franjas de calcita e preenchendo os bioclastos de bivalves. No que diz respeito a porosidade (~15%), o tipo de poro predominante é o móldico

Interpretação – De acordo com Muniz e Bosence (2017), a microfácies CRU**bo**m se refere à tafofácies TF-3a, depositada em um ambiente lacustre raso, indicado como subaquoso intermediário. São interpretados como depósitos de barras e bancos de coquinas no interior da plataforma carbonática, e estão relacionados a um ambiente de baixa energia sob ação de ondas e correntes acima do nível base de ondas de tempo bom. Muniz (2013) propõe que a presença de ooides indica uma plataforma carbonática protegida.

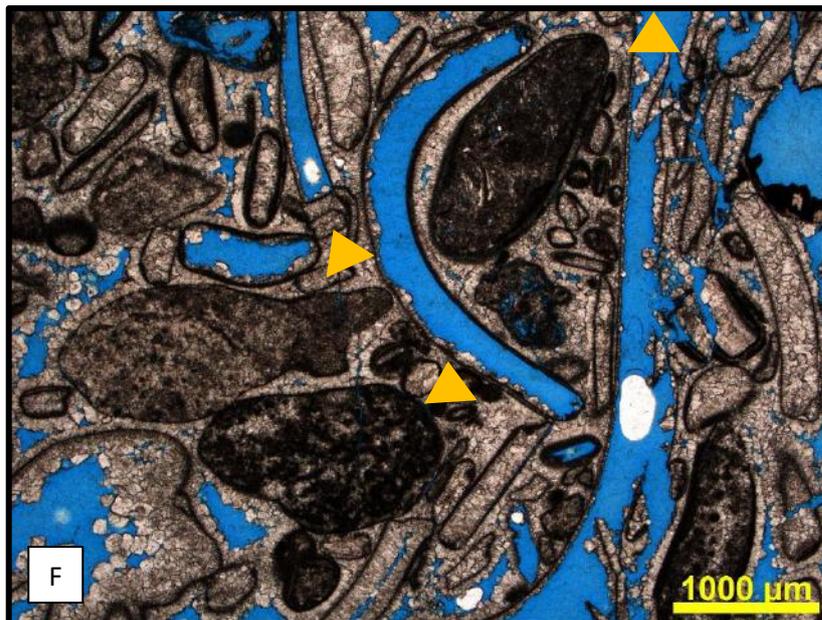
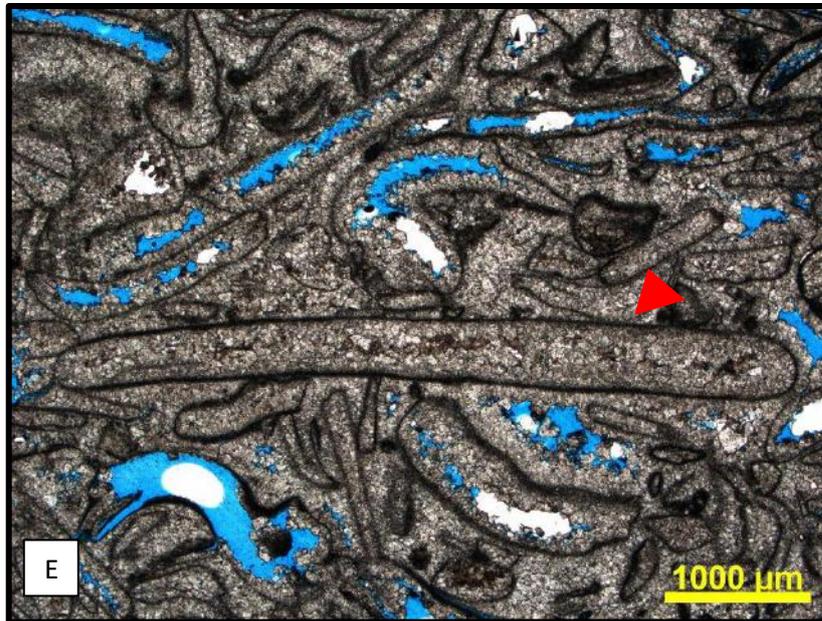
Estampa 10: Calcirrudito Bioclástico Oolítico Médio – CRUbon



Estampa 10: Calcirrudito Bioclástico Oolítico Médio – CRUbon



Estampa 10: Calcirrudito Bioclástico Oolítico Médio – CRUbom



Estampa 10: Calcirrudito Bioclástico Oolítico Médio – CRU**bo**m

Figura A – Fotomicrografia geral a nicóis paralelos da microfácies CRU**bo**m na profundidade de 5627,00 m.

Figura B – Fotomicrografia geral a nicóis paralelos da microfácies CRU**bo**m na profundidade de 5629,60 m.

Figura C – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5629,60 m. Grande presença de ooides nessa microfácies.

Figura D – Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5627,00 m. A seta vermelha indica dolomita romboédrica preenchendo porosidade móldica.

Figura E - Fotomicrografia a nicóis paralelos da profundidade 5622,20 m. A seta vermelha indica dolomita preenchendo bioclasto de bivalve.

Figura F - Fotomicrografia geral nicóis paralelos da profundidade 5627,00 m. As setas laranjas indicam litoclastos de coquinas altamente micritizados.

7. CONCLUSÃO

A partir da análise de amostras de rochas coletadas ao longo de uma sucessão de coquinas da Formação Itapema do Campo de Mero da Bacia de Santos, foi possível notar que essas coquinas são representadas por calcarenitos e calcirruditos majoritariamente compostos por bioclastos de bivalves e, em menor proporção, por cortoides, litoclastos de coquinas, ooides..

As litofácies sedimentares não possuem uma ampla variedade textural nem composicional, sendo possível identifica-las somente pela granulometria do arcabouço, cuja composição era majoritariamente representada por bioclastos de bivalves desarticulados. Com isso, foi descrito 3 litofácies sedimentares a partir de parâmetros granulométricos: 1) CRE Grosso; 2) CRU Fino; 3) CRU Médio

As microfácies sedimentares foram caracterizadas de acordo com critérios composicionais, texturais e diagenéticos, sendo possível, assim, identificar 7 microfácies: 1) CREbg; 2) CREcg; 3) CREbog; 4) CRUbf; 5) CRUbof; 6) CRUbm; 7) CRUbom.

No que diz respeito em questão de porosidade, a microfácies CREcg foi a que apresentou maiores valores (~20%), sendo seguido pelas microfácies CRUbof, CRUbm e CRUbom (~15%), podendo ser consideradas como as melhores microfácies para um reservatório de hidrocarbonetos. Já as microfácies CRE Grosso, CREbog e CRUbf apresentam os menores valores de porosidade (~10%), podendo ser explicados pelo alta cimentação que essas microfácies apresentam.

As microfácies oolíticas (CREbog, CRUbof e CRUbom) estão relacionadas a processos deposicionais de baixa a moderada energia, por apresentarem os bioclastos de bivalve pouco a parcialmente fragmentados.

Os principais processos identificados nas rochas estudadas são cimentação (calcita e dolomita) e substituição (sílica), seguidas de dissolução, compactação mecânica e química e fraturamento local. Sendo esses processos como os principais fatores para o aumento da porosidade.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahr, W. M. *Geology of Carbonate Reservoirs: The Identification, Description, and Characterization of Hydrocarbon in Carbonate Rocks*, First edition. Wiley, New Jersey, U.S.A., 2008.

ANP (2017) – Bacia de Santos - Sumário Geológico e Setores em Oferta – Décima Quinta Rodada de Licitações; Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

Asmus, H.E.; Guazelli, W. 1979. Geologia da Bacia de Pelotas e da Plataforma de Florianópolis. *Boletim Técnico da PETROBRAS*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, p. 157- 174.

Bathurst, R.G.C. Boring algae, micrite envelopes and lithification of molluscs bioespatoites. *Geological Journal*, v. 5, 1966.

Boggs, S. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. Toronto: Merrill Publishing Company, 1987. 784p.

Carlotto, M. A; Silva, R. C. B; Amato, A. A. et al. 2017. Libra: A newborn giant in the Brazilian Presalt Province, in R. K. Merrill and C. A. Sternbach, eds., *Giant fields of the decade 2000–2010: AAPG Memoir 113*, p. 165–176.

Chang, Hung Kiang, *et al.*, Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift system: an overview. *Tectonophysics*, 1992. 213.1: 97-138.

Chinelatto, G.F., Belila, A.M.P., Basso, M., Souza, J.P.P., Vidal, A.C. A taphofacies interpretation of shell concentrations and their relationship with petrophysics: A case study of barremian-aptian coquinas in the itapema formation, Santos Basin-Brazil, *Marine and Petroleum Geology* (2020)

Choquette, P.W.; Pray, L.C. Geologic Nomenclature e Classification of Porosity in sedimentary carbonates. *The American Association of Petroleum Bulletin*. Vol. 54 n° 2, p.207-250, 1970.

Conceição, J.C.J., P.V. Zalán, & S. Wolff.1988. Mecanismo, Evolução e Cronologia do Rift Sul-Atlântico: *Boletim de Geociências da Petrobras*, v.2, n.4, p. 255-265

Corrêa, C. R. A. *Controles estratigráficas e predição da paragênese diagenética dos carbonatos lacustres da Formação Coqueiros nos campos de Badejo, Trilha, Linguado e Pampo, Aptiano da Bacia de Campos (RJ)*. 2016. 101p. Dissertação (mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Dias, J. L.; Oliveira, J. Q.; Vieira, J. C. Sedimentological and stratigraphic analysis of the Lagoa Feia Formation, Rift phase of Campos Basin, Offshore Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 18 (3): 252-260. Setembro de 1988.

Flügel, E. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*. 02ed. Springer, 2004, 1007 p.

Folk, R.L. 1962. Spectral subdivision of limestones types. In: Ham, W.E. (ed.). *Classification of carbonate rocks*. Tulsa: AAPG, *AAPG Memoir* 1, p.62-85.

Guardado, L. R.; Gamboa, L. A. P.; Lucchesi, C. F. Petroleum Geology of the Campos Basin, Brazil, A Model for a Producing Atlantic Type Basin. In: EDWARDS, J.C. & SANTOGROSSI, P. A. (Eds.) *Divergent/Passive Margin Basin*. Tulsa: AAPG. Memoir 48, p. 3-79, 1989.

Kidwell, S. M.; Holland, S. M. Field Description of Coarse Bioclastic Fabrics. *Palaios*, Tulsa, v. 6, n. 3, p. 426–434,1991.

Kidwell, S.M, 1991. The stratigraphy of shell concentrations. In: Allison, P.A., Briggs, D.E.G. (Eds.), *Taphonomy: Releasing the Data Locked in the Fossil Record*. Plenum Press, New York, p. 211-290.

Kidwell, S.M, Fürsich, F.T., Aigner, T., 1986. Conceptual framework for the analysis and classification of fossil concentrations. *Palaios* v. 1, p. 228-238.

Leite, C.O.N; Silva, C.M.A; De Ros, L.F. 2020. Depositional and diagenetic processes in the Pre-salt rift section of a Santos Basin. *Journal of Sedimentary Research*, v.90, p. 584 – 608.

Macedo, J. M. Evolução tectônica da Bacia de Santos e áreas continentais adjacentes. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 3, n. 3, p. 159-173, 1989.

Muniz, M.C. Tectono-Stratigraphic evolution of the Barremian-Aptian Continental Rift Carbonates in Southern Campos Basin, Brazil. 2013. 301p.Tese (Doutorado em Geologia) – Royal Holloway University of London, Londres.

Muniz, M. C & Bosence, W.J. Reservoir layering controlled by the taphonomy and taphofacies of coquinas from the early Aptian Campos Basin, Brazil 2018. Conference: AAPG ICE 2017

Mohriak, W. U. e Paula, O. B. Major tectonic features in the southeastern Brazilian margin. 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Salvador, Brasil, 2005.

Mohriak, W. U. Bacias sedimentares da Margem Continental Brasileira. In: Bizzi, L. A.; Schobbenhaus, C.; Vidotti, R. M.; Gonçalves, J. H. (eds.). Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. CPRM, Brasília, 2003.

Moreira, J. L. P.; Madeira, C. V.; GIL, J. A.; Machado, M. A. P. (2007). Bacia de Santos. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 15, n. 2, p. 531-549.

Pereira, M. J.; Feijó, F. J. Bacia de Santos. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 219-234, jan./mar. 1994.

Pereira, M. J.; Macedo, J. M. A Bacia de Santos: perspectivas de uma nova província petrolífera na plataforma continental sudeste brasileira. *Boletim Geociências da Petrobrás*, v. 4, p. 3-11, 1990.

Pettijohn, F.J. *Sedimentary Rocks*. 3ed. New York: Harper and Row, 1957.628p.

Pinto, L. R. *Coquinas da formação itapema, campo de mero (pré-sal da bacia de santos): caracterização geológica e de reservatório*. 2020. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Oliveira, V. C. B; Silva, C. M. A; Borghi, L. F. A; Carvalho, I. S. Lacustrine coquinas and hybrid deposits from rift phase: Pre-Salt, lower Cretaceous, Campos Basin, Brazil: In: *Journal of South American Earth Sciences*, v.95, 2019.

Riguetti, A. L. *Análise faciológica e estratigráfica das coquinas da Formação Morro do Chaves, Bacia de Sergipe-Alagoas*. 2018, 94 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Scholle, P.A.; Ulmer-Scholle, D.S. *A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, Texture, Porosity and Diagenesis*. Oklahoma: AAPG Memoir, 2003. v.77, 459p.

Silva, C. M. A., V. S. S. Santos, R. P. Silva Filho, C. O. N. Leite, V. C. B. Oliveira, P. B. Guimarães, et al., 2014, *Análise Sedimentológica, Estratigráfica e Correlação Rocha-Perfil do Poço 2-ANP-02A-RJS, Área de Libra, Bacia de Santos*: Petrobras Internal Report, 56 p.

Souza-Lima, W. e Hamsi Junior, G. P. Bacias sedimentares brasileiras: Bacias da margem continental. In: *PHOENIX*, n. 50, Fev 2003

Tavares, A. C. G. *Fácies diagenéticas em coquinas da Formação Morro do Chaves (Barremiano-Aptiano, Bacia de Sergipe-Alagoas)*. 2014. 192f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Teixeira, B. F. *Coquinas da Formação Morro do Chaves (Cretáceo Inferior), seção rifte da Bacia de Sergipe-Alagoas*. 2012. 143f. Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro.

Terra, G. J.; Spadini, A.; FRANÇA, A.; Simbra, C.; Zambonato, E.; Juschaks, L.; Arienti, L.; Erthal, M.; Blauth, M.; Franco, M.; Matsuda, N.; Silva, N.; Moretti Junior, P.; D'ávila, R.; Souza, R.; Tonietto, S.; Dos Anjos, S.; Campinho, V.; Winter, W. Classificação de Rochas Carbonáticas Aplicável às Bacias Sedimentares Brasileiras. *Boletim de Geociências Petrobrás*, 2010. v.18, p. 9-28.

Tucker, M. E.; Wright, V. P. *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Science, 1990. 482p.

Udden, JA. 1914. Mechanical composition of clastic sediments. *Bulletin of the Geological Society of America* 25: 655–744.

Wentworth, CK. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology* 30: 377–392.