

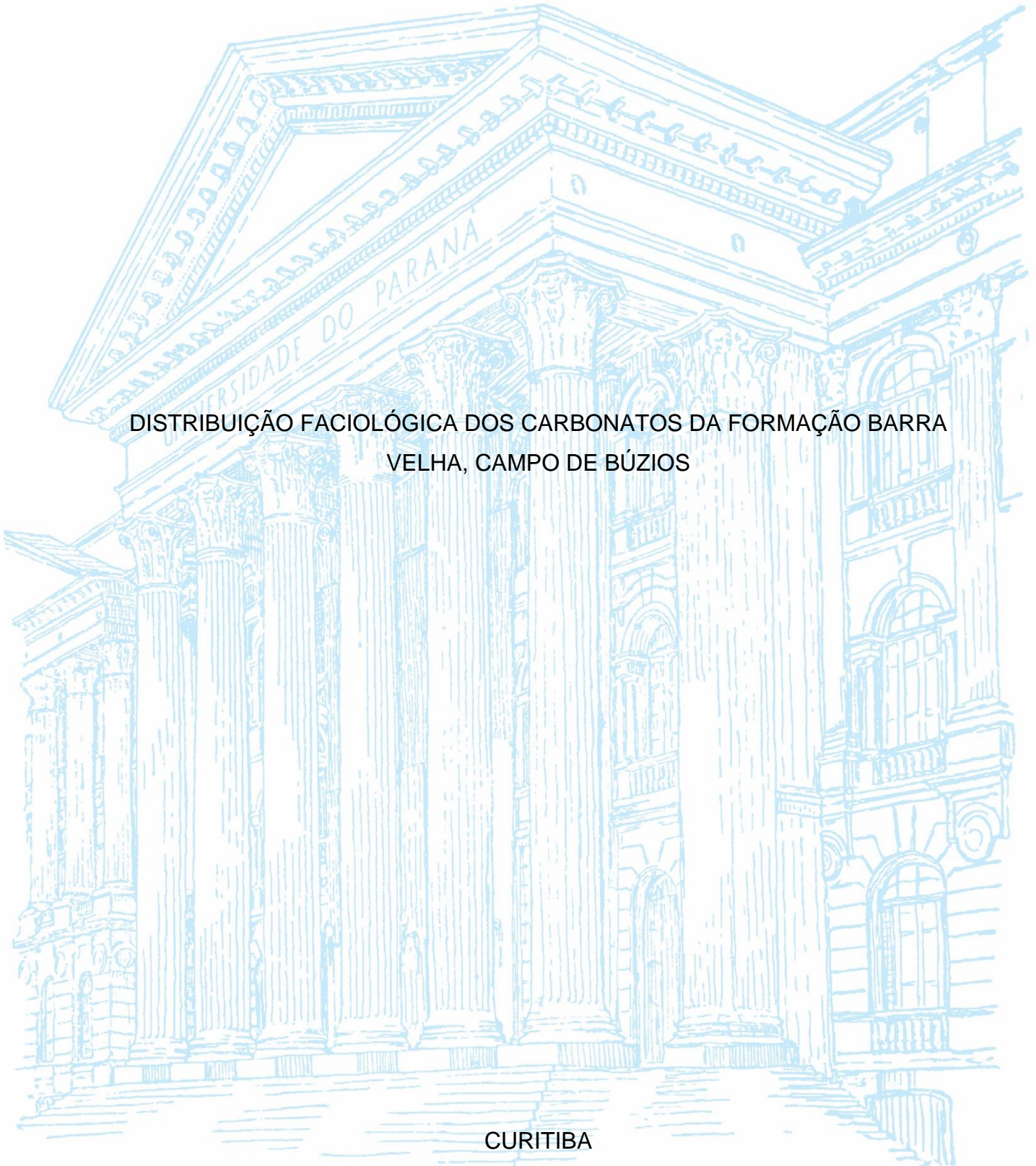
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

INGRID MARIA GERALDINO ALMEIDA

DISTRIBUIÇÃO FACIOLÓGICA DOS CARBONATOS DA FORMAÇÃO BARRA
VELHA, CAMPO DE BÚZIOS

CURITIBA

2023



INGRID MARIA GERALDINO ALMEIDA

DISTRIBUIÇÃO FACIOLÓGICA DOS CARBONATOS DA FORMAÇÃO BARRA
VELHA, CAMPO DE BÚZIOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Geologia da Universidade Federal do
Paraná como requisito parcial à obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Conforti Ferreira
Guedes

Co-orientador: Prof. Dr. Ricardo Jorge Jahnert

Co-orientadora: Msc. Rafaella de Carvalho
Antunes

CURITIBA

2023

À minha mãe, que sempre
me apoiou e acreditou nos meus sonhos!

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná, por proporcionar um ensino público, gratuito e de qualidade. A todos os mestres que tive durante a vida, que me ensinaram a questionar, a duvidar, a pensar e a sonhar. Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Conforti Ferreira Guedes, pela orientação e ensinamentos durante este trabalho e aos meus coorientadores Prof. Dr. Ricardo Jorge Jahnert e Msc. Rafaella de Carvalho Antunes pela sugestão da pesquisa, ensinamentos e suporte científico.

Aos colegas do LABPALEO, por todos os anos de companheirismo e ensinamentos, em especial à minha orientadora de iniciação científica Profa. Dra. Cristina Silveira Vega. Aos colegas de trabalho do setor de outorga do IAT, Felipe, Renata e Bruna, pelos ensinamentos, companheirismo e amizade, especialmente à minha querida chefe Geóloga Ronile Hoeflich.

À minha mãe Vânia e minha irmã Sofia, por todo amor, compreensão, apoio e incentivo durante todos esses anos da graduação. Às minhas queridas avós Nair e Maria Valdira, por todo amor, carinho e suporte. Às mulheres da minha vida, meu maior exemplo de força e determinação. Aos meus avôs Wilson e Juarez (*in memoriam*). Aos meus avós do coração, Carmen e Mauro Alixandrini, por todo o amor e carinho e por sempre acreditarem em mim e no meu sonho de ser geóloga. Um agradecimento especial ao Wagner Alixandrini, que naquele 20 de novembro de 2005, me levou à praia e me contou a história de formação do petróleo, despertando assim, meu amor por essa complexa e belíssima profissão. *“Ainda somos os mesmos e vivemos como os nossos pais” (Belchior).*

Aos meus amigos do passado e presente. Às minhas amigas Doismil, Mai, Verô, Liv e Gabi, pelo companheirismo, conselhos e suporte emocional e por todos os momentos inesquecíveis durante esses anos. Às minhas amigas de longa data, Aline e Anja, que mesmo à distância se fazem presentes, por todo amor e apoio sempre. Aos meus colegas de equipe de mapeamentos, Zanella, Marcelo e Gorski, por todos os momentos de descontração, mesmo em perrengues. À toda a turma de 2017 e à Turma do Alambique, pelo companheirismo, trocas de conhecimento e diversão, especialmente à Dani, Luísa e Serenóia. *“Amigo é coisa para se guardar, debaixo de sete chaves, dentro do coração” (Milton Nascimento).*

Por fim, um agradecimento à ANP, pela concessão dos dados, sem os quais este trabalho não seria possível.

*“Somewhere, something incredible
is waiting to be known.”*

Sharon Begley, 1977

RESUMO

As bacias marginais brasileiras possuem amplos depósitos lacustres carbonáticos, os quais fazem parte da seção Pré-Sal, a Bacia de Santos se destacou, a partir de 2006, devido à descoberta de grandes reservatórios de óleo nesses carbonatos, sendo na Formação Barra Velha, o seu maior acúmulo. A análise de fácies é uma ótima ferramenta para a caracterização de rochas sedimentares e interpretações de ambientes deposicionais, de modo que, a caracterização de reservatórios através de aspectos texturais e composicionais é de grande importância para a compreensão da gênese e evolução dos mesmos, auxiliando na prospecção de novos campos. Nesse contexto, a Formação Barra Velha se destaca por várias incertezas acerca da influência microbiana na diagênese das rochas, de sua evolução e o ambiente deposicional. Sendo assim, o presente trabalho de conclusão de curso objetivou a caracterização faciológica e interpretação dos ambientes deposicionais de três poços da Formação Barra Velha no Campo de Búzios: 2-ANP-1-RJS, 3-BRSA-1053-RJS e 9-BRSA-1159-RJS. A interpretação foi realizada através da descrição de 72 fotografias de lâminas, as quais foram classificadas em 14 diferentes fácies e agrupadas em 4 associações: autóctones cristalinas, autóctones micríticas, alóctones com matriz micrítica e alóctones sem matriz. Através da análise das características dessas fácies, foi possível interpretar os ambientes deposicionais, que eram controlados, principalmente, pelo balanço hídrico do sistema.

Palavras-chave: Bacia de Santos, Pré-sal, Formação Barra Velha, reservatórios carbonáticos.

ABSTRACT

The Brazilian marginal basins, such as the Santos Basin, have large lacustrine carbonate deposits, which are part of the Pre-Salt section. In 2006, large oil reservoirs were discovered in these carbonates. The Barra Velha Formation was the biggest hydrocarbon accumulation discovered in the basin. Facies analysis is a great tool for the characterization of sedimentary rocks and interpretation of depositional environments, so that the characterization of reservoirs through textural and compositional aspects is of great importance for the understanding of their genesis and evolution, helping in the prospecting for new fields. In this context, the Barra Velha Formation stands out for several uncertainties about the microbial influence on the diagenesis of rocks, their evolution and the depositional environment. Therefore, this undergraduation thesis aimed at the faciological characterization and interpretation of the depositional environments of three wells of the Barra Velha Formation in Campo de Búzios: 2-ANP-1-RJS, 3-BRSA-1053-RJS and 9-BRSA -1159-RJS. The interpretation was carried out through the description of 72 photographs of slides, which were classified into 14 different facies and grouped into 4 associations: autochthonous crystalline, autochthonous micritic, allochthonous with micritic matrix and allochthonous without matrix. Through the analysis of the characteristics of these facies, it was possible to interpret the depositional environments, which were mainly controlled by the water balance of the system.

Keywords: Santos Basin, Pre-salt, Barra Velha Formation, carbonate reservoirs.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA DE SANTOS	12
FIGURA 2 – CARTA CRONOESTRATIGRÁFICA DA BACIA DE SANTOS	13
FIGURA 3 – SEÇÃO-TIPO DA FORMAÇÃO BARRA VELHA	14
FIGURA 4 – LOCALIZAÇÃO DO CAMPO DE BÚZIOS	16
FIGURA 5 – INTRACLASTOS	18
FIGURA 6 – BIOCLASTOS.....	18
FIGURA 7 – PELÓIDES E PELÓIDES FECAIS.....	19
FIGURA 8 – OÓLITOS.....	20
FIGURA 9 – ONCÓLITOS.....	20
FIGURA 10 – ESFERULITOS.....	21
FIGURA 11 – SHRUBS.....	21
FIGURA 12 – FOLK (1962).....	22
FIGURA 13 – DUNHAM (1962).....	23
FIGURA 14 – EMBRY & KLOVAN (1971).....	24
FIGURA 15 – GOMES ET AL. (2020).....	24
FIGURA 16 – CLASSIFICAÇÃO DE FÁCIES	25
FIGURA 17 – LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS SELECIONADOS PARA O ESTUDO.....	26
FIGURA 18 – FOTOGRAFIAS DAS LÂMINAS	29
FIGURA 19 – FOTOGRAFIAS DAS LÂMINAS	30
FIGURA 20 – FOTOGRAFIAS DAS LÂMINAS	32
FIGURA 21 – FOTOGRAFIAS DAS LÂMINAS	33
FIGURA 22 – DISTRIBUIÇÃO DAS FÁCIES NO POÇO 2-ANP-1.....	34
FIGURA 23 – DISTRIBUIÇÃO DAS FÁCIES NO POÇO 3-BRSA-1053	35
FIGURA 24 – DISTRIBUIÇÃO DAS FÁCIES NO POÇO 9-BRSA-1159-RJS	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO DUNHAM (1962), EMBRY & KLOVAN (1971) E GOMES ET AL. (2020).....	27
TABELA 2 – RESULTADOS DA DESCRIÇÃO DO POÇO 2-ANP-1-RJS.....	33
TABELA 3 – RESULTADOS DA DESCRIÇÃO DO POÇO 3-BRSA-1053-RJS	34
TABELA 4 – RESULTADOS DA DESCRIÇÃO DO POÇO 9-BRSA-1159-RJS	35
TABELA 5 – ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 BACIA DE SANTOS	12
2.2 FORMAÇÃO BARRA VELHA	13
2.3 CAMPO DE BÚZIOS	15
2.4 ROCHAS CARBONÁTICAS	16
2.4.1 Matriz	16
2.4.2 Cimento	17
2.4.3 Grãos aloquímicos e componentes primários	17
2.4.3.1 Intraclastos	17
2.4.3.2 Bioclastos	18
2.4.3.3 Pelóides e pelóides fecais	19
2.4.3.4 Oólitos	19
2.4.3.5 Oncólitos	20
2.4.3.6 Esferulitos	20
2.4.3.7 <i>Shrubs</i>	21
2.5 CLASSIFICAÇÃO DE CARBONATOS	22
2.6 CLASSIFICAÇÃO DE FÁCIES DA FORMAÇÃO BARRA VELHA (WRIGHT & BARNETT, 2015)	25
3 MATERIAIS E MÉTODOS	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1 DESCRIÇÃO DAS FÁCIES ENCONTRADAS	27
4.1.1 <i>Floatstone</i> com esferulito	28
4.1.2 <i>Floatstone</i> com <i>shrubs</i>	28
4.1.3 <i>Grainstone</i> com esferulito	28
4.1.4 <i>Grainstone</i> com <i>shrubs</i>	28
4.1.5 <i>Mudstone</i>	29
4.1.6 <i>Packstone</i> com esferulito	29
4.1.7 <i>Packstone</i> com <i>shrubs</i>	30
4.1.8 <i>Rudstone</i> com esferulito	30
4.1.9 <i>Rudstone</i> com <i>shrubs</i>	31
4.1.10 <i>Shrubstone</i>	31

4.1.11 <i>Shrubstone</i> com lama.....	31
4.1.12 <i>Spherulitestone</i>	31
4.1.13 <i>Spherulitestone</i> com lama.....	32
4.1.14 <i>Wackestone</i> com <i>shrubs</i>	32
4.2 DISTRIBUIÇÃO FACIOLÓGICA NOS POÇOS.....	33
4.2.1 Poço 2-ANP-1-RJS	33
4.2.2 Poço 3-BRSA-1053-RJS	34
4.2.3 Poço 9-BRSA-1159-RJS	35
4.3 INTERPRETAÇÃO DAS FÁCIES E AMBIENTE DEPOSICIONAL	36
4.3.1 Autóctones cristalinas.....	37
4.3.2 Autóctones micríticas	37
4.3.3 Alóctones com matriz micrítica	37
4.3.4 Alóctones sem matriz	38
4.4 AMBIENTE DEPOSICIONAL NOS POÇOS.....	38
4.4.1 Poço 2-ANP-1	38
4.4.2 Poço 3-BRSA-1053	38
4.4.3 Poço 9-BRSA-1159	39
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	39
REFERÊNCIAS.....	41
APÊNDICE 1 – DESCRIÇÕES DO POÇO 2-ANP-1	43
APÊNDICE 2 – DESCRIÇÕES DO POÇO 3-BRSA-1053.....	44
APÊNDICE 3 – DESCRIÇÕES DO POÇO 9-BRSA-1159.....	45

1 INTRODUÇÃO

As bacias marginais brasileiras possuem amplos depósitos lacustres carbonáticos, os quais fazem parte da seção Pré-Sal (Wright & Barnett, 2015). A Bacia de Santos se destacou, a partir de 2006, devido à descoberta de grandes reservatórios de óleo nesses carbonatos, os quais são distribuídos entre Formação Barra Velha e Formação Itapema (Wright & Barnett, 2015; ANP, 2016). Segundo Moreira et al. (2007), a maior concentração de óleo ocorre na Formação Barra Velha, a qual se caracteriza por folhelhos, laminitos, estromatólitos e calcários microbiais, formados em um ambiente transicional entre continental e marinho raso durante o Eoaptiano-Neoaptiano.

De acordo com ANP (2016; 2022), o Campo de Búzios localiza-se na porção central da bacia de Santos, a aproximadamente 180 km da costa do município do Rio de Janeiro, e é o segundo maior produtor de óleo e gás no Brasil, produzindo cerca de 770 mil boe/d (barril equivalente de petróleo por dia), desde o início de sua operação em 2015, o campo vem batendo recordes de produção, com uma eficiência operacional de aproximadamente 95%.

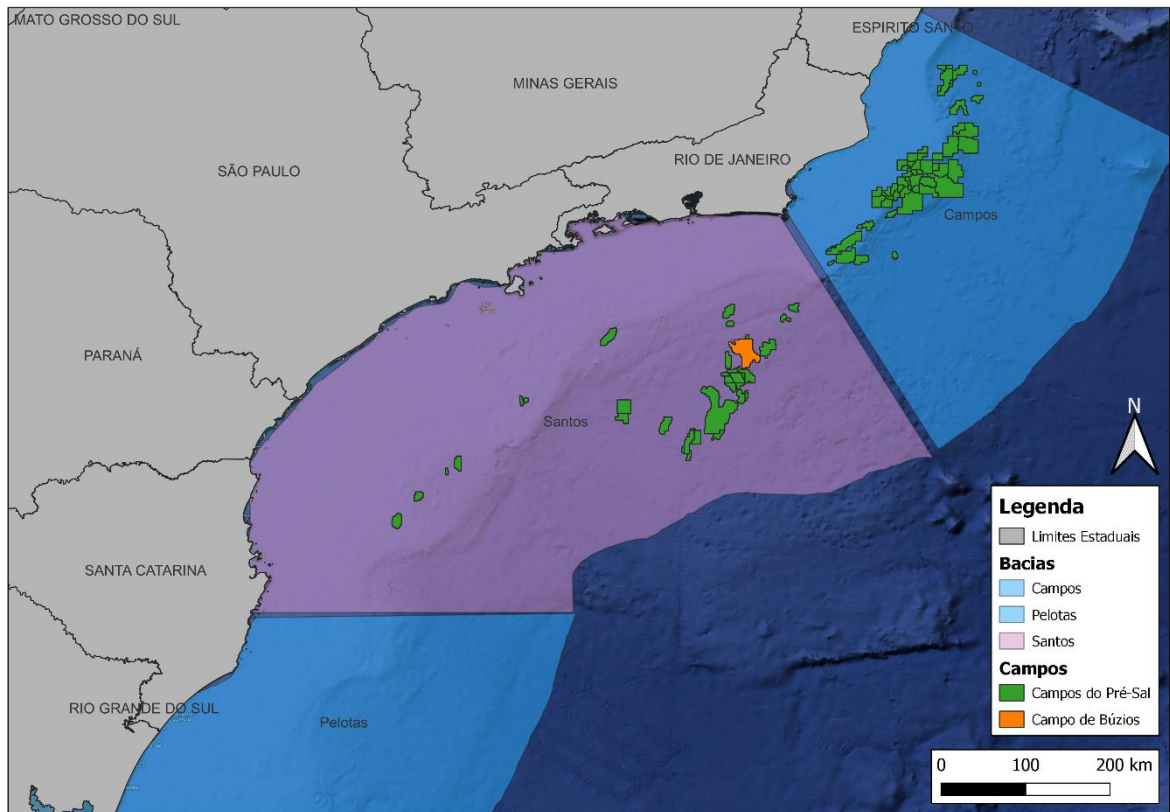
Segundo Walker (1992), a análise de fácies tem por finalidade caracterizar rochas sedimentares, contribuir para a interpretação de ambientes deposicionais, permitir a comparação com sistemas atuais e atuar como suporte para buscar informações adicionais, mas sobretudo, transmitir informações sobre as características de uma rocha. De modo que, a caracterização dos reservatórios, através dos aspectos texturais e composicionais, é de extrema importância para a compreensão da gênese e evolução dos mesmos, podendo auxiliar na prospecção de novos campos, bem como proporcionar o avanço da produção nos campos já existentes.

Nesse contexto, a Formação Barra Velha se destaca por várias incertezas acerca da influência microbiana na diagênese das rochas, de sua evolução e o ambiente deposicional, além disso, os carbonatos também apresentam muitas heterogeneidades (Gomes et al., 2020).

Sendo assim, o presente trabalho de conclusão de curso objetivou interpretar os ambientes deposicionais que caracterizam as rochas carbonáticas da Formação Barra Velha, em três poços do Campo de Búzios, na Bacia de Santos. A interpretação foi realizada através da descrição de fotografias de lâminas, análise e correlação

faciológica dos carbonatos das seções K44 e K46-48, da Supersequência Pós-Rifte, correspondentes às porções inferiores e superiores da Formação Barra Velha. A área de estudo (FIGURA 1) compreende três poços do Campo de Búzios: 2-ANP-1-RJS, 3-BRSA-1053-RJS e 9-BRSA-1159-RJS.

FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA DE SANTOS



FONTE DE DADOS: GeoANP (2022).

LEGENDA: Mapa de localização da Bacia de Santos contendo os campos do Pré-Sal, com destaque para o Campo de Búzios (laranja).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

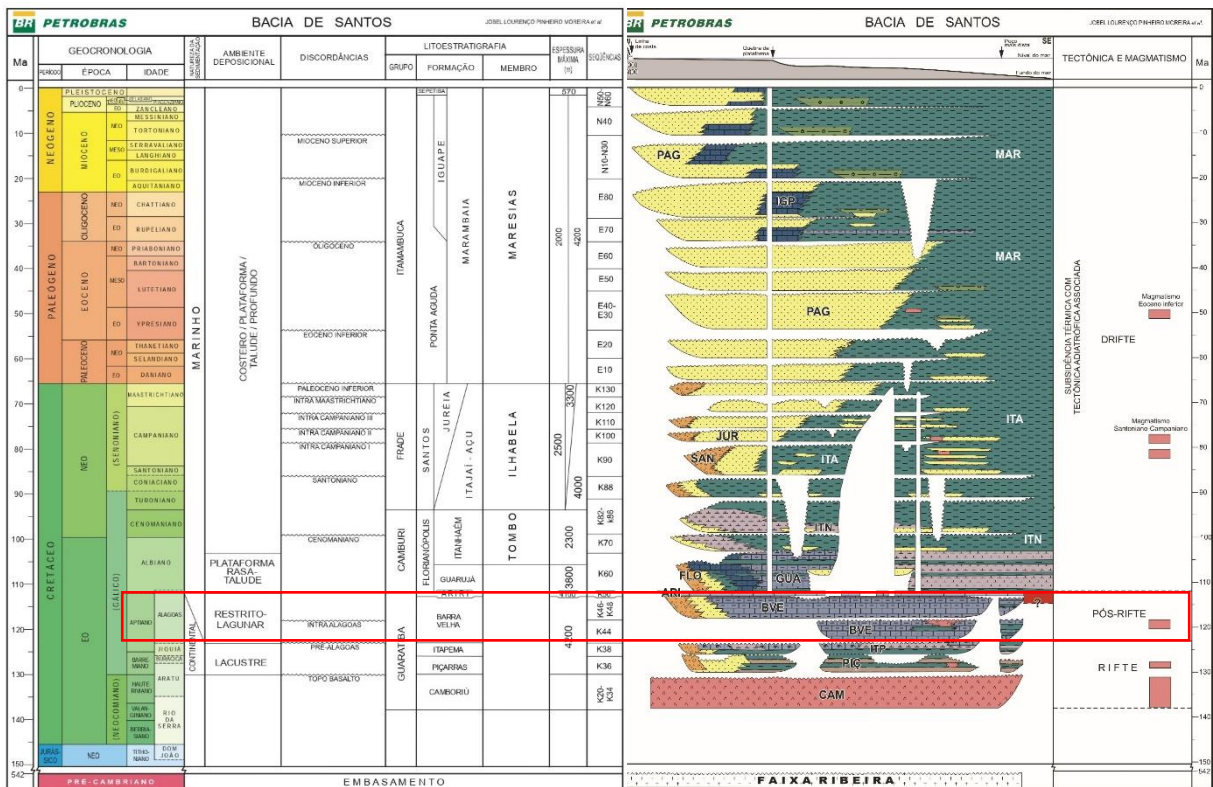
2.1 BACIA DE SANTOS

A Bacia de Santos (FIGURA 2) está localizada na porção sudeste da margem continental brasileira, abrangendo uma área de aproximadamente 350.000km² e englobando os litorais dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina, é limitada ao norte pela Bacia de Campos pelo Alto do Cabo Frio e ao sul pela Bacia de Pelotas pelo Alto de Florianópolis (Moreira *et al.*, 2007).

O embasamento cristalino da Bacia de Santos é formado por gnaisses e granitos de idade pré-cambriana do Complexo Costeiro e metassedimentos da Faixa Ribeira (Moreira *et al.*, 2007).

Segundo Moreira *et al.* (2007), na Bacia de Santos ocorrem três supersequências segundo zoneamento bioestratigráfico de ostracodes: supersequência rifte (sequências K20-K34, K36 e K38), supersequência pós-rifte (sequências K44, K46-K48 e K50) e supersequência drifte (sequências K60, K70, K82-K86, K88, K90, K100, K110, K120, K130, E10, E20, E30-E40, E50, E60, E70, E80, N10-N30, N40 e N50-N60).

FIGURA 2 – CARTA CRONOESTRATIGRÁFICA DA BACIA DE SANTOS



FONTE: Modificado de Moreira et al. (2007).

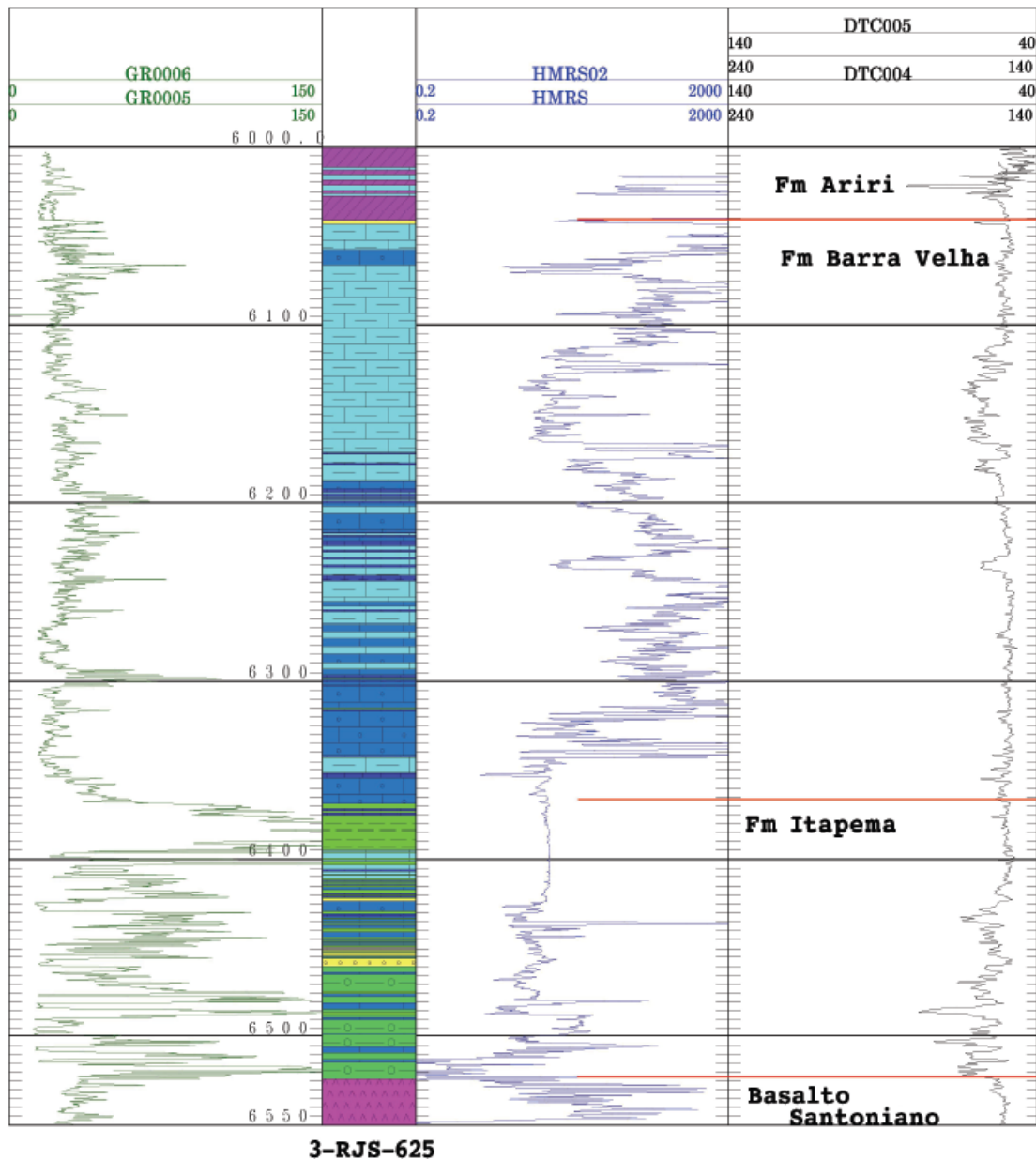
LEGENDA: Carta cronoestratigráfica da Bacia de Santos com destaque para o intervalo de estudo.

2.2 FORMAÇÃO BARRA VELHA

A Formação Barra Velha (FIGURA 3) ocorre em toda a Bacia de Santos, mas apenas em subsuperfície, é limitada na base pela Formação Itapema e no topo pela Formação Ariri, que marca a passagem da sequência sedimentar clástica/carbonática

para um ambiente evaporítico, possui idade estimada entre 123 Ma e 113 Ma correspondente ao intervalo Eoaptiano-Neoaptiano (Moreira *et al.*, 2007).

FIGURA 3 – SEÇÃO-TIPO DA FORMAÇÃO BARRA VELHA



FONTE: Modificado de Moreira *et al.* (2007).

De acordo com Moreira *et al.* (2007), a porção inferior da formação, denominada sequência K44, equivale ao andar local Alagoas inferior, cuja deposição ocorreu durante o Eoaptiano, é constituída por calcários microbiais, estromatólitos e laminitos nas porções proximais e folhelhos nas porções distais, também ocorrem *grainstones* e *packstones* compostos por fragmentos dos estromatólitos e bioclastos

associados, os quais foram depositados em ambiente transicional, entre continental e marinho raso, em condições estressantes. Os carbonatos dessa sequência encontram-se total ou parcialmente dolomitizados, podem ocorrer ainda, de maneira subordinada, coquinas e basaltos (Moreira *et al.*, 2007).

A porção superior da formação, denominada sequência K46-K48, equivale ao andar local Alagoas superior, cuja deposição ocorreu durante o Neoptiano, é constituída por calcários estromatolíticos e laminitos microbiais, localmente dolomitizados, as porções proximais são constituídas por leques aluviais de arenitos e conglomerados, os quais foram depositados em ambiente transicional, entre continental e marinho raso bastante estressante (Moreira *et al.*, 2007).

Para Carminatti *et al.* (2008), os carbonatos da Formação Barra Velha teriam origem microbial, tendo sido depositados em altos do embasamento, em ambiente marinho raso. Entretanto, para Wright & Barnett (2015), esses carbonatos teriam origem abiótica, associada a processos evaporativos.

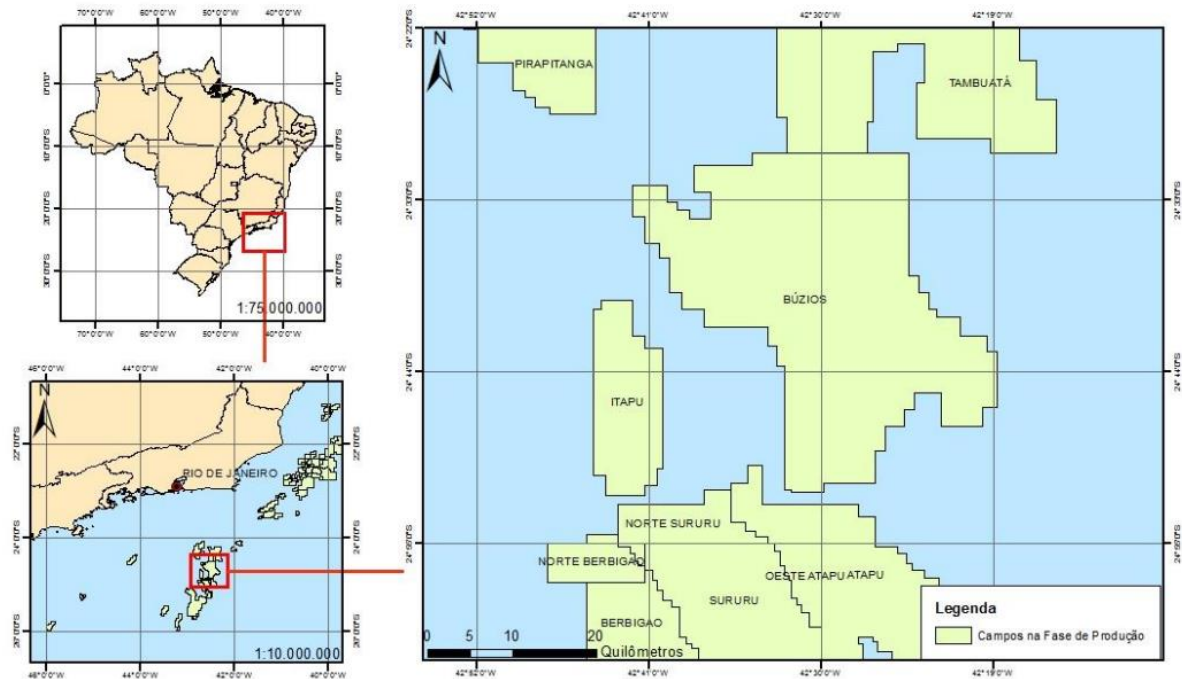
2.3 CAMPO DE BÚZIOS

O Campo de Búzios (FIGURA 4) foi descoberto em 2010 e possui uma área de 852,2 km² em lâmina d'água de 1.940 m, é considerado o maior campo de petróleo em águas profundas do mundo e está localizado a cerca de 180 km da costa do Rio de Janeiro, na porção central do offshore da Bacia de Santos, no contexto do pré-sal, no entorno do Campo de Búzios encontram-se os campos de Atapu, Itapu, Pirapitanga e Tambuatá (ANP, 2016; 2022).

O campo produz cerca de 770 mil boe/d (barril equivalente de petróleo por dia), sendo considerado o segundo maior produtor de óleo e gás no Brasil, possui uma eficiência operacional de aproximadamente 95% e desde o início de sua operação, em 2015, vem batendo recordes de produção (ANP, 2022).

Os reservatórios desse campo são definidos por sedimentos biogênicos carbonáticos *in situ* ou retrabalhados, de origem microbiolítica da Formação Barra Velha e de origem bioacumulada, principalmente de bivalves, informalmente denominados de coquinas, da Formação Itapema e encontram-se entre 5.000 e 6.000 m abaixo do nível do mar (ANP, 2016; 2022).

FIGURA 4 – LOCALIZAÇÃO DO CAMPO DE BÚZIOS



FONTE: Modificado de ANP (2016).

2.4 ROCHAS CARBONÁTICAS

Os minerais que compõem as rochas carbonáticas são principalmente calcita, dolomita e aragonita, mas apesar da baixa variedade mineralógica sua textura pode ser bastante variada, os componentes principais dessas rochas são o arcabouço, a matriz e o cimento (Tucker & Wright, 1990).

Assim sendo, para a classificação das rochas carbonáticas é necessário, além dos principais tipos de grãos formadores, determinar a presença de uma matriz e definir o tipo de arcabouço (Terra *et al.*, 2010).

2.4.1 Matriz

Um dos componentes mais comuns e abundantes das rochas carbonáticas é a matriz, também chamada de micrita ou lama carbonática (Terra *et al.*, 2010).

O termo micrita foi definido por Folk (1962), sendo uma abreviação para calcita microcristalina, caracterizada por partículas de carbonato com tamanho inferior a 4µm. Hoje em dia, partículas menores que 0,0625 mm, fração silte, são consideradas como matriz (Terra *et al.*, 2010).

Segundo Tucker & Wright (1990), as possibilidades mais aceitas para a formação de micrita são: abrasão mecânica e/ou biológica de cristais, precipitação por influência bioquímica ou bioacumulação de organismos.

A formação de matriz juntamente com constituintes aloquímicos é comum em rochas carbonáticas, ao contrário das rochas siliciclásticas, na qual a existência da fração argila com grãos maiores só acontece em condições específicas (Terra et al., 2010).

2.4.2 Cimento

Segundo Terra *et al.* (2010), o cimento é o preenchimento de um espaço vazio presente na rocha, é um constituinte bastante frequente nas rochas carbonáticas e se forma quando os fluidos nos poros estão supersaturados com elementos da fase cimentante, desde que haja fluxo e que não existam fatores cinéticos que impossibilitem a sua precipitação.

Os principais minerais carbonáticos que precipitam na forma de cimento são a calcita magnésiana, a calcita de baixo teor de magnésio, a dolomita e a aragonita (Terra *et al.*, 2010).

2.4.3 Grãos aloquímicos e componentes primários

Segundo Folk (1959), os componentes aloquímicos são todos os materiais formados por precipitação química ou bioquímica dentro de uma bacia sedimentar, mas que são organizados em agregados e, na maioria dos casos, sofreram algum tipo de transporte mecânico.

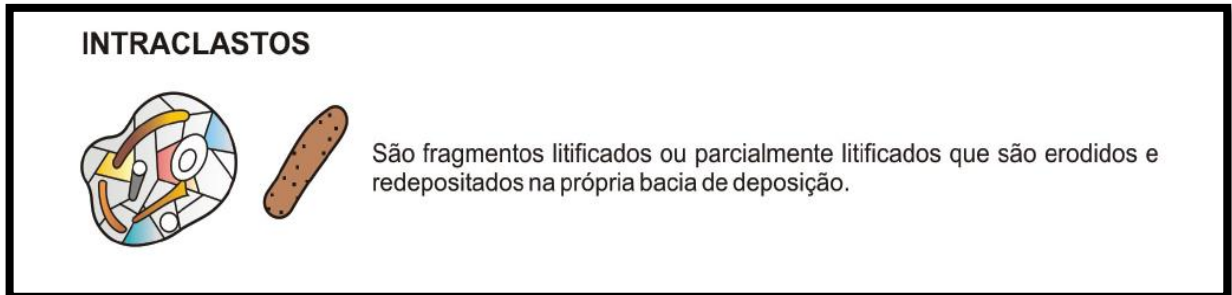
Os grãos aloquímicos são o principal componente das rochas carbonáticas sedimentares (Folk, 1959). Os tipos mais comuns são intraclastos, bioclastos, pelóides, oólitos e oncólitos (Tucker & Wright, 1990).

2.4.3.1 Intraclastos

De acordo com Terra *et al.* (2010), os intraclastos (FIGURA 5) são elementos parcialmente litificados, que sofreram erosão e foram redepositados na bacia, são penecontemporâneos aos sedimentos carbonáticos.

A identificação da composição dos intraclastos é bastante significativa para interpretações paleoambientais (Terra *et al.*, 2010). Além disso, segundo Scholle & Ulmer-Scholle (2003), os intraclastos também podem ser considerados evidência de alta energia no ambiente de deposição.

FIGURA 5 – INTRACLASTOS



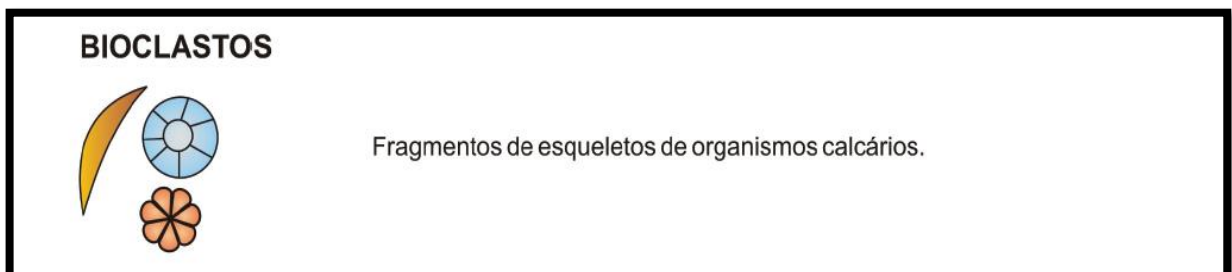
FONTE: Modificado de Terra *et al.* (2010).

2.4.3.2 Bioclastos

Segundo Terra *et al.* (2010), os bioclastos (FIGURA 6) são os principais componentes formadores das rochas carbonáticas sedimentares, incluindo todos os fósseis de estruturas calcárias bem como seus fragmentos. Os fósseis calcários mais comuns são de organismos como cnidários, equinodermas, briozoários, braquiópodes e moluscos (Tucker & Dias-Brito, 2017).

Para o reconhecimento dos bioclastos o método principal é a petrografia, a identificação é realizada através dos seguintes parâmetros: mineralogia e microestrutura do grão, forma e associação dos organismos (Terra *et al.*, 2010).

FIGURA 6 – BIOCLASTOS



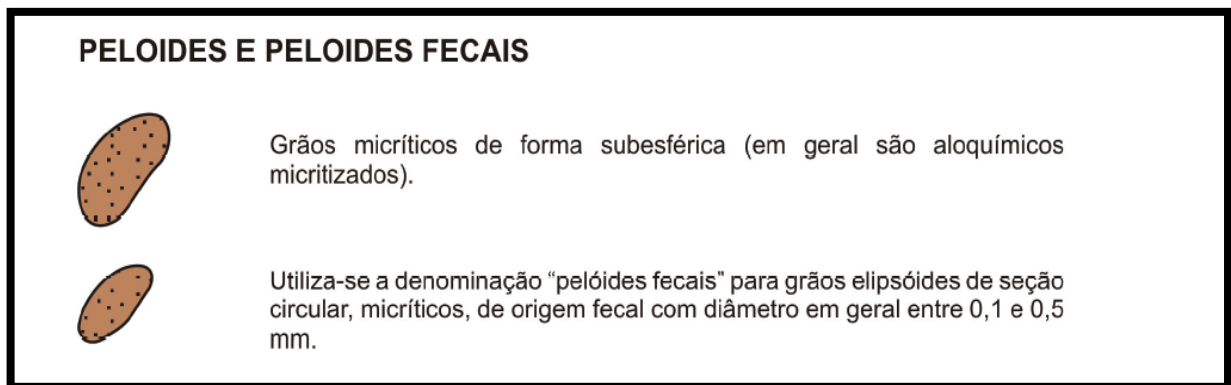
FONTE: Modificado de Terra *et al.* (2010).

2.4.3.3 Pelóides e pelóides fecais

Os pelóides e pelóides fecais (FIGURA 7) são descritos como grãos micríticos subesféricos e não apresentam estrutura interna, seu diâmetro comumente varia entre 0,1 e 0,5 mm (Terra et al., 2010; Tucker & Dias-Brito, 2017). Sua origem é variável, podendo ser desconhecida, fragmentos de bioclastos e algas vermelhas que foram arredondados, clastos de lama ou ainda de origem fecal, os quais são denominados pelóides fecais ou pellets (Terra et al., 2010).

Conforme Flügel (2010), a identificação e classificação dos tipos de pelóides pode ser utilizada para a obtenção de informações acerca do paleoambiente e diagênese. Os ambientes de ocorrência mais comuns dos pelóides são planícies de maré, lagunas e interior de plataformas (Tucker, 2001).

FIGURA 7 – PELÓIDES E PELÓIDES FECAIS



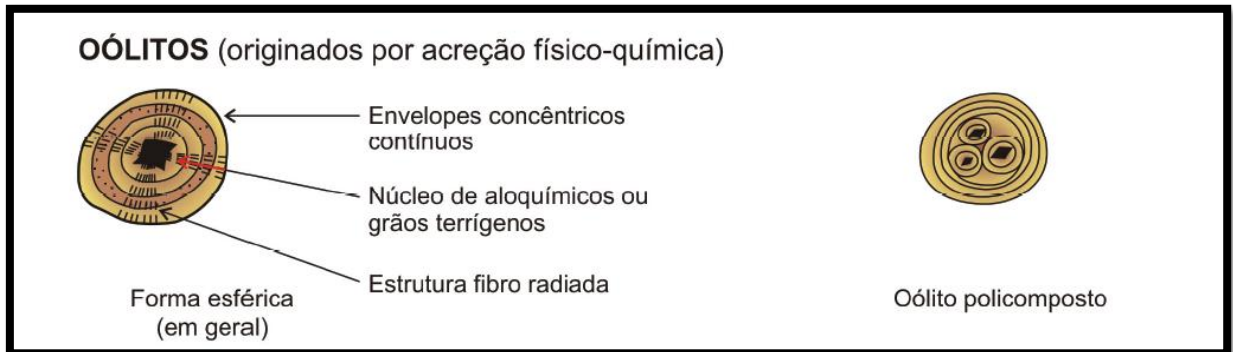
FONTE: Modificado de Terra *et al.* (2010).

2.4.3.4 Oólitos

Os oólitos (FIGURA 8) são grãos esféricos a subesféricos, formados por acreção físico-química em volta de um núcleo constituído por partícula carbonática ou grão de quartzo, comumente seu tamanho corresponde a fração areia, variando de 0,2 a 1,0 mm, mas pode exceder 2,0 mm em alguns casos, sendo denominado como pisólito, entretanto, essa denominação não é recomendada para a descrição de rochas carbonáticas das bacias brasileiras (Terra *et al.*, 2010).

A mineralogia, textura, tamanho e abundância dos oólitos são ótimos indicadores das condições físicas e químicas do ambiente de deposição, além disso, oólitos também podem ser indicadores de temperatura, salinidade, profundidade e energia da água (Flügel, 2010).

FIGURA 8 – OÓLITOS



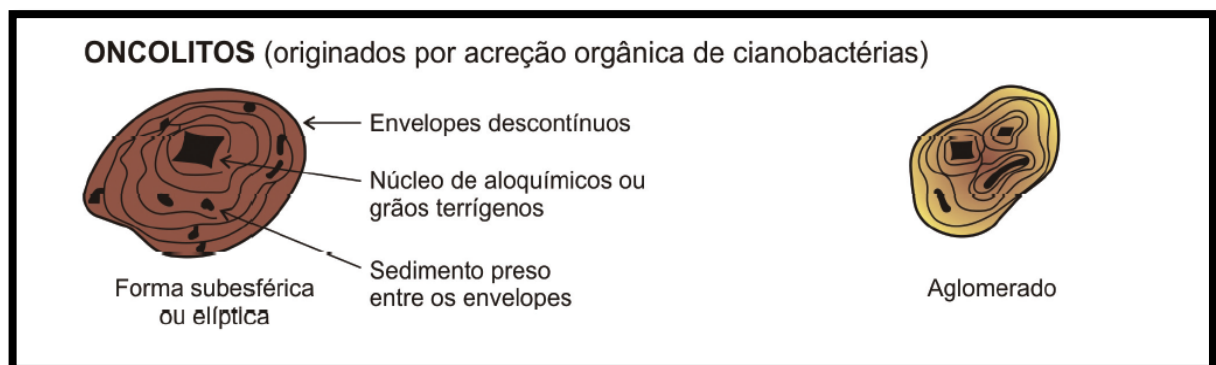
FONTE: Modificado de Terra *et al.* (2010).

2.4.3.5 Oncólitos

Os oncólitos (FIGURA 9) são partículas originadas da acreção organosedimentar de algas, micróbios e outros organismos incrustantes, podem ser subesféricas, subelípticas ou irregulares e possuem tamanho variando de milimétrico a centimétrico (Tucker & Dias-Brito, 2017).

Segundo Flügel (2010), o tamanho dos oncólitos está relacionado às taxas de sedimentação, energia e aos processos metabólicos dos organismos incrustantes, sendo assim, bons indicadores paleoambientais, identificando fatores como variações do nível do mar e padrões deposicionais.

FIGURA 9 – ONCÓLITOS



FONTE: Modificado de Terra *et al.* (2010).

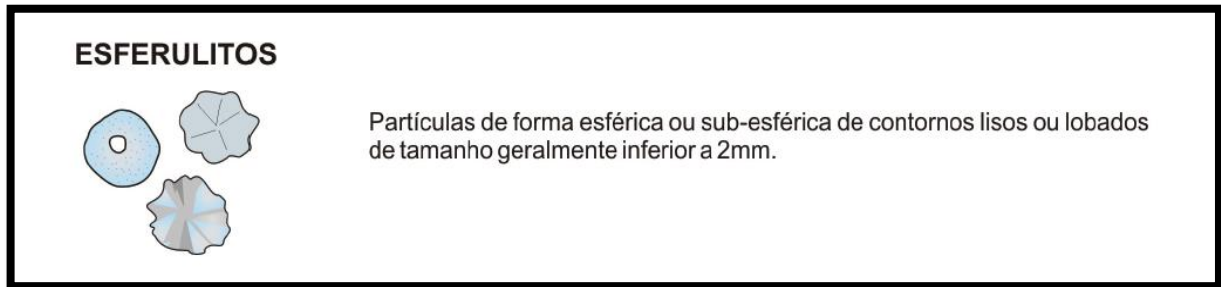
2.4.3.6 Esferulitos

De acordo com Terra *et al.* (2010), os esferulitos (FIGURA 10) são partículas, usualmente, menores que 2 mm, com formato esférico a subesférico e contorno liso

ou lobado, a porção central comumente é formada por micrita radial, podem ter estrutura interna variada e não possuem núcleo.

Os esferulitos podem ocorrer de modo isolado ou amalggado e são classificados como partículas *in situ*, no entanto, podem apresentar retrabalhamento, sendo assim, incluídos como grãos aloquímicos (Terra *et al.*, 2010).

FIGURA 10 – ESFERULITOS



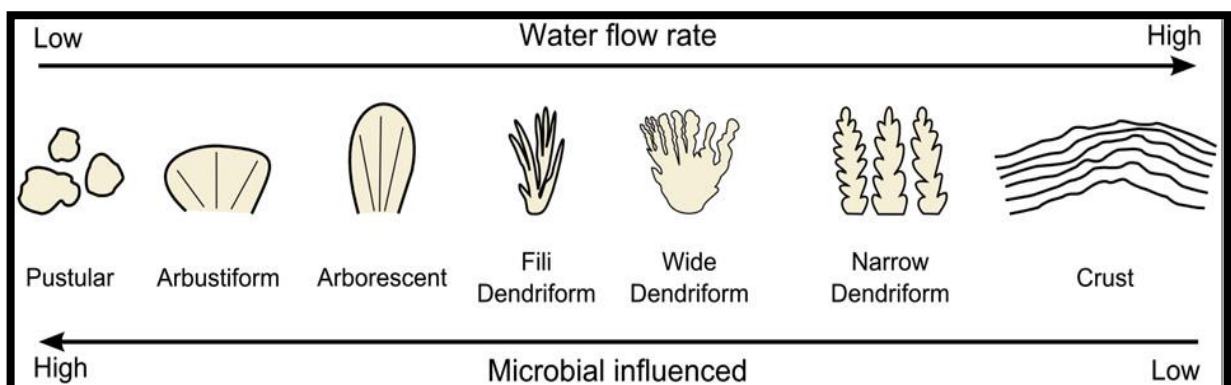
FONTE: Modificado de Terra *et al.* (2010).

2.4.3.7 *Shrubs*

Segundo Chafetz & Folk (1984), os *shrubs* (FIGURA 11) podem ser descritos como “formas de crescimento arborescente semelhantes a arbustos ou samambaias que se ramificam para formar colônias de 2 a 8 cm de altura, dando a aparência de uma sucessão de florestas em miniatura”, os *shrubs* são formados por um carbonato branco e denso.

Posteriormente, Erthal *et al.* (2017), associaram as morfologias de *shrubs* descobertos na Itália (pustular, arbustiforme, arborescente, dendriforme e crustiforme) com a taxa de energia do fluxo da água e com a influência microbiana.

FIGURA 11 – SHRUBS



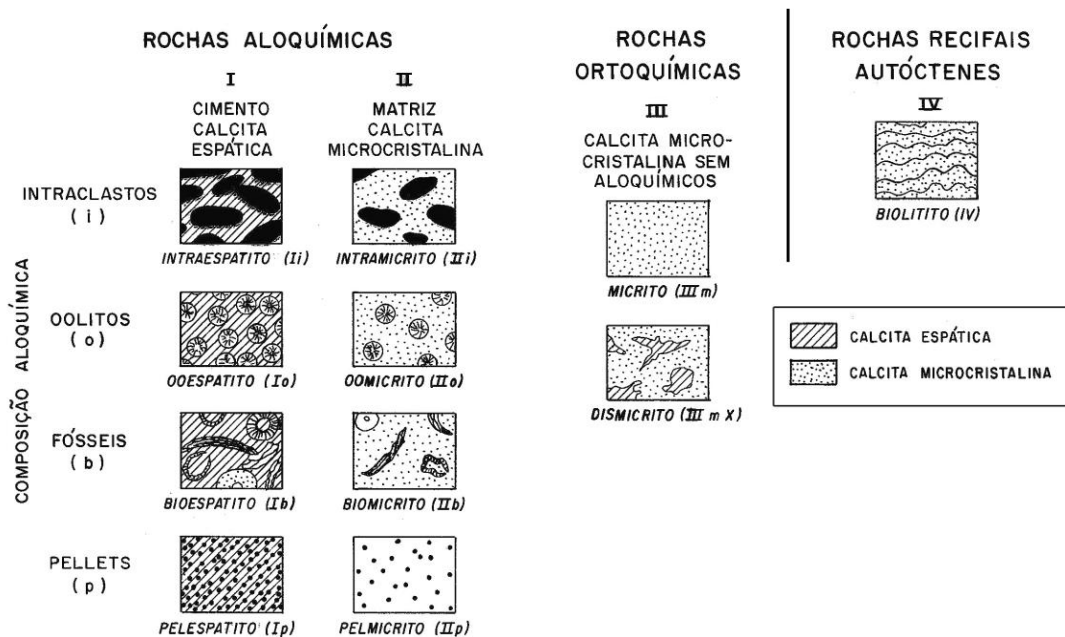
FONTE: Modificado de Erthal *et al.* (2017).

2.5 CLASSIFICAÇÃO DE CARBONATOS

A classificação de carbonatos pode ser baseada em diversas características, como cor, composição, textura e tamanho de grão. Entretanto, as classificações mais utilizadas atualmente se baseiam na maturidade textural, levando em conta que a trama da rocha está diretamente relacionada com a energia do ambiente deposicional.

Entre essas classificações estão a de Folk (1962) (FIGURA 12) e a de Dunham (1962) (FIGURA 13), a classificação de Folk (1962), se baseia na composição (grãos aloquímicos, matriz e cimento), enquanto que a de Dunham (1962), se baseia na textura deposicional, como presença de lama, abundância de grãos e a presença de evidências de ligação dos componentes do arcabouço no decorrer da deposição.







FIGURA 12 – FOLK (1962)



FONTE: Retirado de Terra *et al.* (2010).

LEGENDA: Classificação de rochas carbonáticas (Adaptado de Folk, 1962).

FIGURA 13 – DUNHAM (1962)

TEXTURA DEPOSICIONAL RECONHECÍVEL					Textura deposicional não-reconhecível
Componentes originais não-ligados durante a deposição			Componentes originais ligados durante a deposição		
Contém Matriz (Partículas tamanho argila/silte fino)					
Suportado pela matriz		O arcabouço é grão-suportado com matriz	Sem matriz, grão-suportado		
Menos de 10% de grãos	Mais de 10% de grãos				
<i>Mudstone</i>	<i>Wackestone</i>	<i>Packstone</i>	<i>Grainstone</i>	<i>Boundstone</i>	<i>Crystalline</i>
					











FONTE: Retirado de Terra *et al.* (2010).

LEGENDA: Classificação de rochas carbonáticas (Adaptado de Dunham, 1962).

As proposições dessas classificações foram bastante concretas, de modo que as classificações posteriores utilizaram suas bases, a exemplo da classificação de Embry & Klovan (1971) (FIGURA 14), a qual se trata de uma extensão da classificação de Dunham (1962) para carbonatos bioconstruídos, criada devido a demanda por uma descrição mais detalhada dos recifes devonianos do Canadá, na área de estudo dos autores (Antunes, 2021; Terra *et al.*, 2010).

Gomes *et al.* (2020) (FIGURA 15) apresentam uma nova classificação para as rochas carbonáticas da Formação Barra Velha, considerando a quantificação entre os constituintes propostos por Wright & Barnett (2015), como *shrubs*, esferulitos e lama, bem como a composição mineralógica e o retrabalhamento.

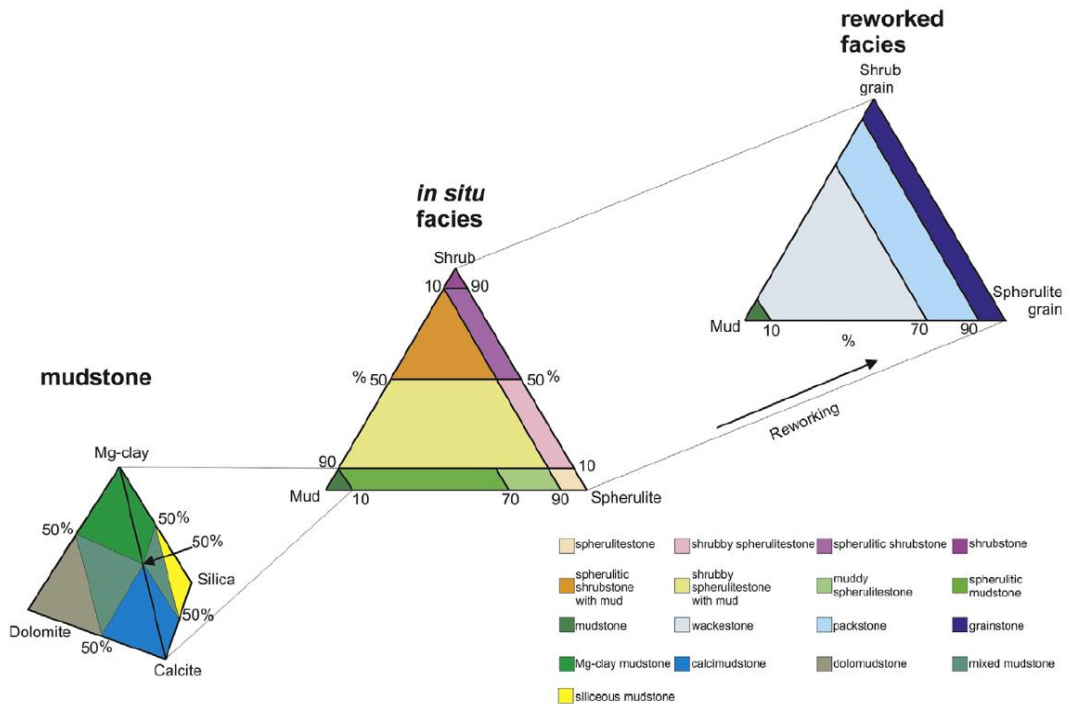
FIGURA 14 – EMBRY & KLOVAN (1971)

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

FONTE: Retirado de Terra *et al.* (2010).

LEGENDA: Classificação de rochas carbonáticas (Adaptado de Embry & Klován, 1971).

FIGURA 15 – GOMES ET AL. (2020)



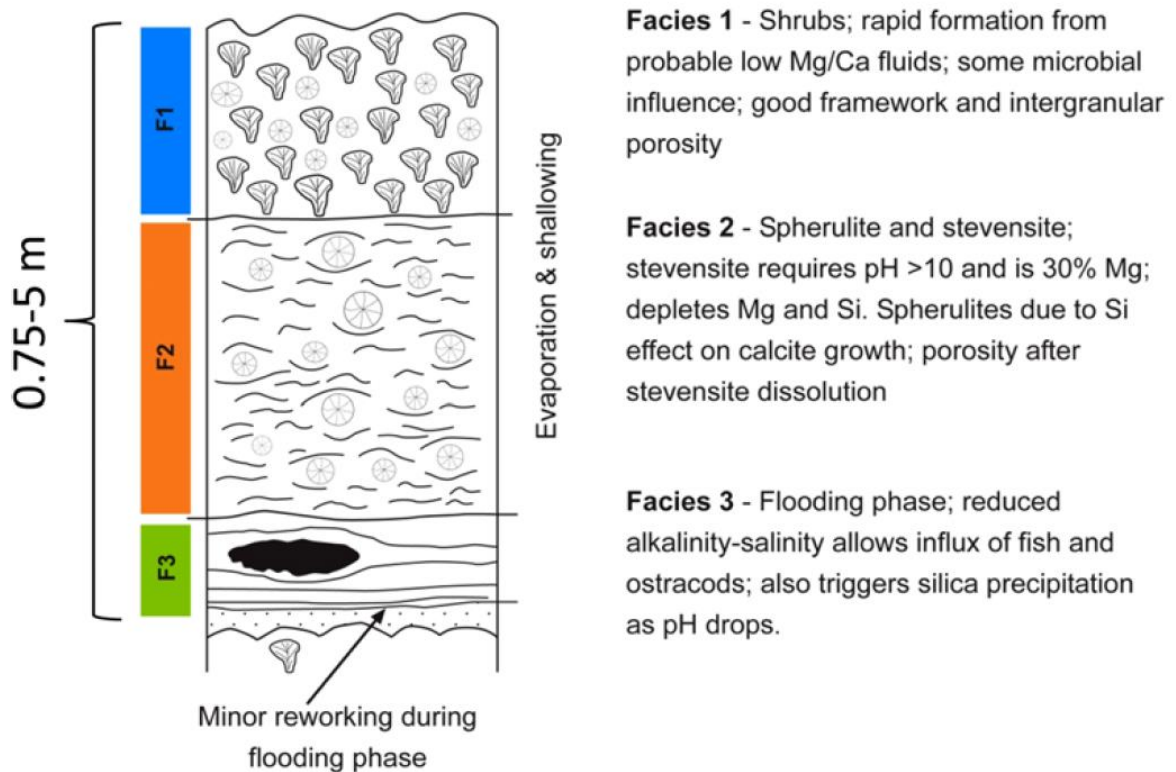
FONTE: Retirado de Gomes *et al.* (2020).

LEGENDA: Classificação de rochas carbonáticas.

2.6 CLASSIFICAÇÃO DE FÁCIES DA FORMAÇÃO BARRA VELHA (WRIGHT & BARNETT, 2015)

Wright & Barnett (2015), classificaram as rochas da Formação Barra Velha em 3 fácies principais (FIGURA 16). A Fácies 1 é constituída por *shrubs in situ*, com espessura das camadas variando entre 0,60 m a 5 m, podendo ser interpretada como precipitação rápida de soluções supersaturadas. A Fácies 2 é constituída principalmente por esferulitos *in situ*, mas podem ocorrer associados com fragmentos retrabalhados de *shrubs* e esferulitos, com espessura das camadas variando de 0,7 m a 3 m, podendo ser interpretada como início da evaporação e saturação do lago. A Fácies 3 é constituída de lama carbonática com estrutura laminada, podendo ocorrer fragmentos finos de *shrubs* e esferulitos, com espessura das camadas geralmente menor que 0,3 m, podendo ser interpretada como eventos pluviais curtos, causando um aumento da lâmina d'água.

FIGURA 16 – CLASSIFICAÇÃO DE FÁCIES



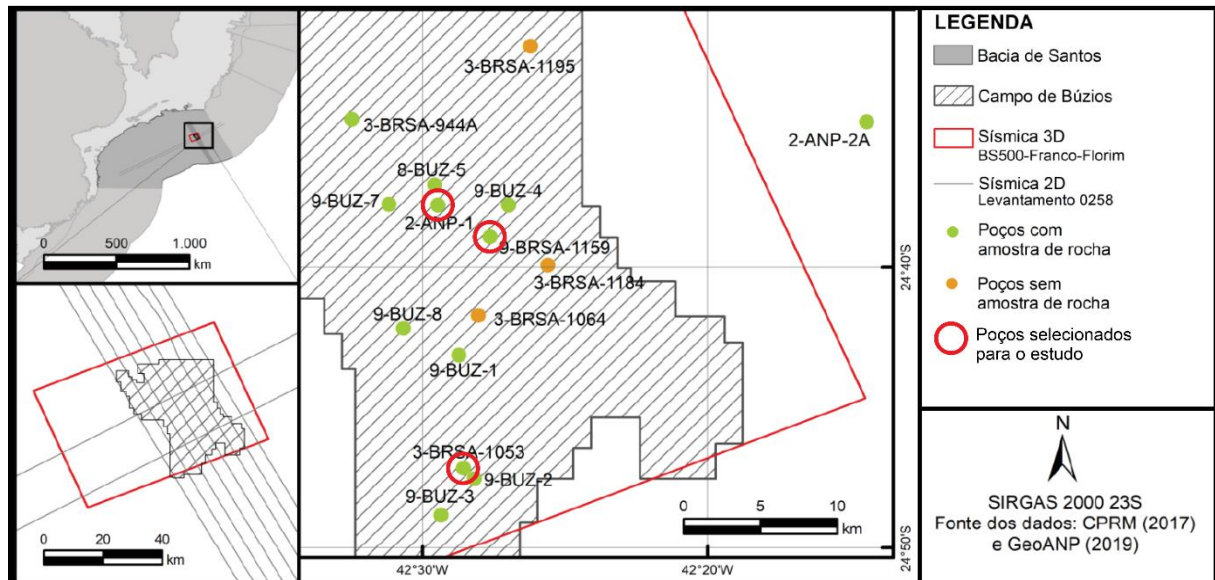
FONTE: Retirado de Wright & Barnett (2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica acerca da Bacia de Santos, da Formação Barra Velha, do Campo de Búzios e da composição, gênese e classificação das rochas carbonáticas sedimentares, visando a compreensão do contexto geológico da área de estudo.

A área de estudo corresponde às seções K44 e K46-48, dos carbonatos da Formação Barra Velha, de três poços do Campo de Búzios, sendo eles: 2-ANP-1-RJS, 3-BRSA-1053-RJS e 9-BRSA-1159-RJS (FIGURA 17). Na fase de perfuração, os poços estudados tiveram coleta de amostras de calha, amostras laterais e testemunhos, o presente estudo foi realizado com base na descrição de fotografias de lâminas dessas amostras. A Formação Barra Velha apresenta 211 m de espessura no poço 2-ANP-1-RJS, 372 m no poço 3-BRSA-1053-RJS e 181 m no poço 9-BRSA-1159-RJS, totalizando 764 m de espessura analisada, as fotografias de lâminas foram selecionadas aproximadamente a cada 10 m, excluindo-se fotografias com baixa visualização, totalizando 72 lâminas.

FIGURA 17 – LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS SELECIONADOS PARA O ESTUDO



FONTE: Modificado de Antunes (2021).

Para a descrição das fotografias de lâminas foi utilizado apenas computador pessoal, para visualizar as imagens, o método de descrição foi a estimativa de porcentagem visual dos constituintes e a classificação das lâminas foi realizada

através de uma tabela (TABELA 1), confeccionada baseada nas classificações de Dunham (1962), Embry & Klovan (1971) e Gomes *et al.* (2020).

A descrição teve por objetivo a classificação de fácies, correlação e distribuição faciológica, as quais foram utilizadas na interpretação do ambiente deposicional da área de estudo.

Os dados utilizados foram disponibilizados pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) no dia 27/09/2019, através do processo de solicitação de dados públicos nº 9880, através da UFPR, para utilização em projetos de pesquisa anteriores.

TABELA 1 – CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO DUNHAM (1962), EMBRY & KLOVAN (1971) E GOMES ET AL. (2020)

Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971; Gomes et al., 2020			
Esferulito	Com Lama (>10%)	Spherulitestone com lama	
	Sem Lama (<10%)	Spherulitestone	
Shrubs	Com Lama (>10%)	Shrubstone com lama	
	Sem Lama (<10%)	Shrubstone	
Mudstone	Só lama	Mudstone	
	Esferulito (<10%)	Mudstone com esferulitos	
	Shrubs (<10%)	Mudstones com shrubs	
Retrabalhados >50% de retrabalhados Classificação de Dunham (Gomes et al., 2020)	Rudstones (grão sustentado sem lama >2 mm)	Esferulito	Rudstone com esferulito
		Shrubs	Rudstone com shrubs
	Floatstones (grão sustentado com lama >2 mm)	Esferulito	Floatstone com esferulito
		Shrubs	Floatstone com shrubs
	Grainstones (grão sustentado sem lama <2 mm)	Esferulito	Grainstone com esferulito
		Shrubs	Grainstone com shrubs
	Packstones (grão sustentado com lama <2mm)	Esferulito	Packstone com esferulito
		Shrubs	Packstone com shrubs
	Wackestones (lama sustentado)	Esferulito	Wackestone com esferulito
		Shrubs	Wackestone com shrubs

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As tabelas de descrição detalhadas de cada poço se encontram nos APÊNDICES.

4.1 DESCRIÇÃO DAS FÁCIES ENCONTRADAS

A descrição e classificação das fotografias de lâminas resultaram em quatorze diferentes fácies sedimentares distribuídas entre os três poços, a seguir serão apresentadas as características principais de cada fácies descrita.

4.1.1 *Floatstone* com esferulito

Rocha composta por 60% a 90% de grãos de esferulito calcíticos retrabalhados e bastante fragmentados, podem ocorrer fragmentos de *shrubs* associados, de tamanho variando entre 0,2 mm e 3 mm, com lama carbonática e presença de cimento dolomítico (romboedros) (FIGURA 18A).

4.1.2 *Floatstone* com *shrubs*

Rocha composta por 60% a 90% de grãos de *shrubs* retrabalhados, de tamanho variando entre 2 mm e 4 mm, com lama carbonática e presença de cimento dolomítico (romboedros) (FIGURA 18B).

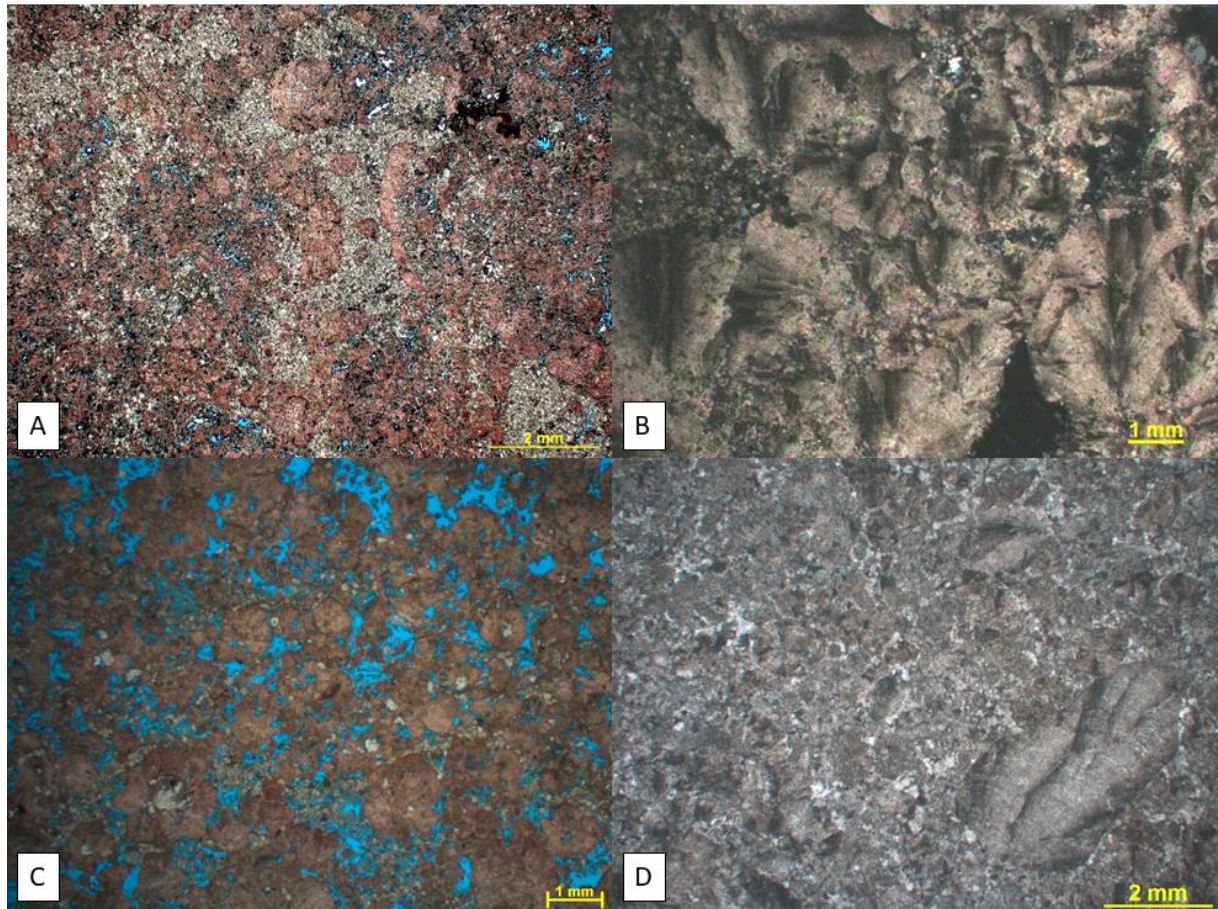
4.1.3 *Grainstone* com esferulito

Rocha composta por grãos de esferulito calcíticos retrabalhados, bastante fraturados e com feição de dissolução, de tamanho variando entre 0,2 mm e 1,5 mm, sem lama carbonática e com presença de cimento dolomítico (romboedros) (FIGURA 18C).

4.1.4 *Grainstone* com *shrubs*

Rocha composta por grãos de *shrubs* retrabalhados e bastante fragmentados, de tamanho predominantemente <2 mm, podem ocorrer fragmentos de esferulitos e pelóides, sem lama carbonática e com presença de cimento carbonático em mosaico (FIGURA 18D).

FIGURA 18 – FOTOGRAFIAS DAS LÂMINAS



LEGENDA: (A): Lâmina (2-ANP-1-5540,0m) de floatstone com esferulito em polarizador paralelo (P//), corante alizarina (vermelho) evidenciando a calcita. (B): Lâmina (2-ANP-1-5587,0m) de floatstone com shubs em polarizador cruzado (PX). (C): Lâmina (3-BRSA-1053-5513,0m) de grainstone com esferulito em polarizador paralelo (P//), corante alizarina (vermelho) evidenciando a calcita. (D): Lâmina (9-BRSA-1159-5483,0m) de grainstone com shubs em polarizador cruzado (PX).

4.1.5 Mudstone

Rocha composta por laminações micríticas, plano-paralelas, com superfícies onduladas ou levemente crenuladas, algumas vezes dolomitizadas (FIGURA 19A).

4.1.6 Packstone com esferulito

Rocha composta por grãos de esferulito calcínicos retrabalhados, bastante fragmentados, podem ocorrer fragmentos de *shubs*, de tamanho <2 mm, com lama carbonática e presença de cimento carbonático em mosaico (FIGURA 19B).

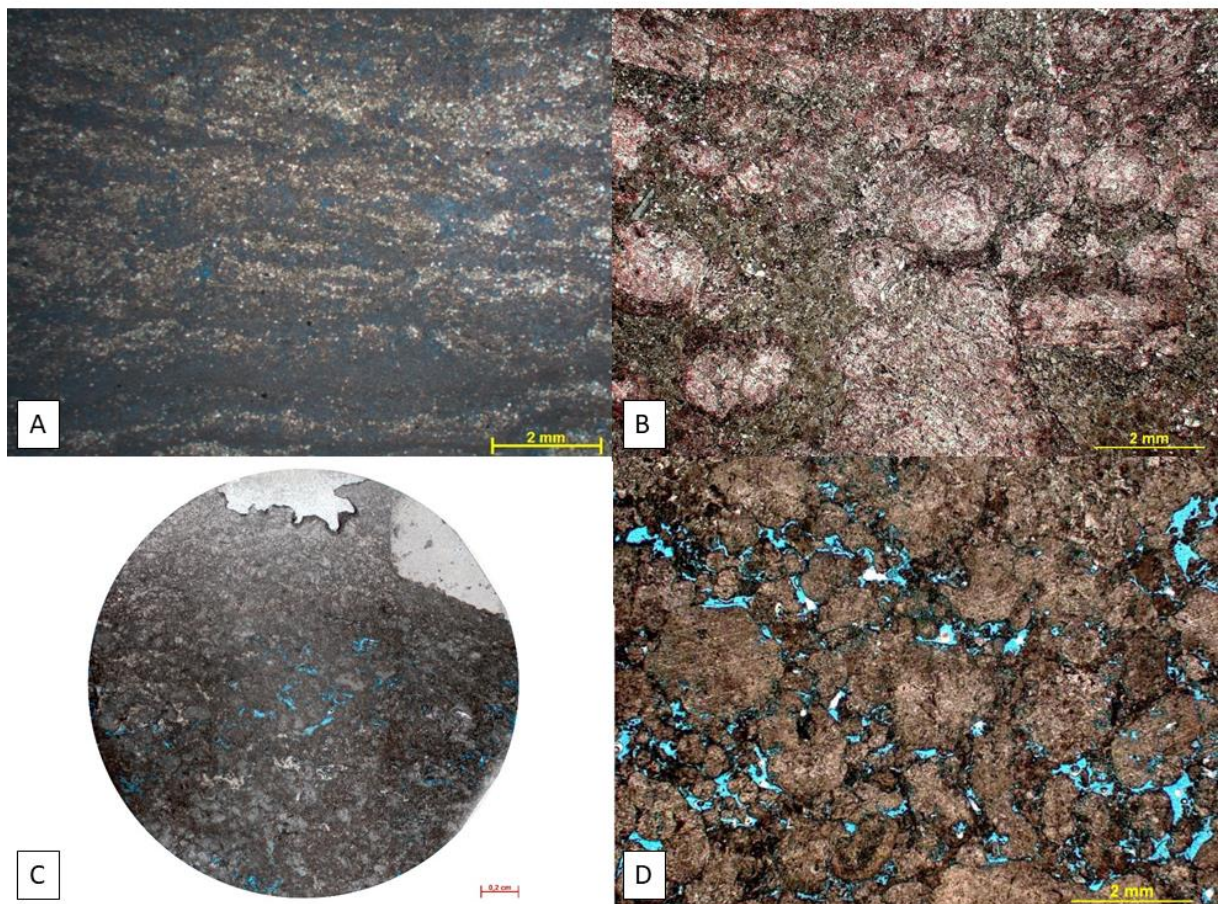
4.1.7 Packstone com *shrubs*

Rocha composta por grãos de *shrubs* retrabalhados, bastante fragmentados, de tamanho <2 mm, podem ocorrer fragmentos de esferulitos, com lama carbonática e presença de cimento carbonático em mosaico e blocoso (FIGURA 19C).

4.1.8 Rudstone com esferulito

Rocha composta por grãos de esferulito calcínicos retrabalhados, bastante fragmentados e com feições de dissolução, podem ocorrer fragmentos de *shrubs*, de tamanho entre 0,2 mm e 4 mm, sem lama carbonática e com presença de cimento carbonático blocoso (FIGURA 19D).

FIGURA 19 – FOTOGRAFIAS DAS LÂMINAS



LEGENDA: (A): Lâmina (3-BRSA-1053-5645,0m) de mudstone laminado em polarizador paralelo (P//). (B): Lâmina (2-ANP-1-5569,0m) de packstone com esferulito em polarizador paralelo (P//), corante alizarina (vermelho) evidenciando a calcita. (C): Lâmina (2-ANP-1-5479,0m) de packstone com *shrubs* em polarizador paralelo (P//). (D): Lâmina (2-ANP-1-5558,0m) de rudstone com esferulito em polarizador paralelo (P//).

4.1.9 *Rudstone com shrubs*

Rocha composta por grãos de *shrubs* retrabalhados, bastante fragmentados e com feições de dissolução, de tamanho >2 mm, sem lama carbonática e com presença de cimento carbonático em mosaico (FIGURA 20A).

4.1.10 *Shrubstone*

Rocha composta por grãos de *shrubs in situ*, com morfologia arborescente, também podem ocorrer esferulitos associados, de tamanho >2 mm, sem lama carbonática e com presença de cimento carbonático em mosaico e sílica (FIGURA 20B).

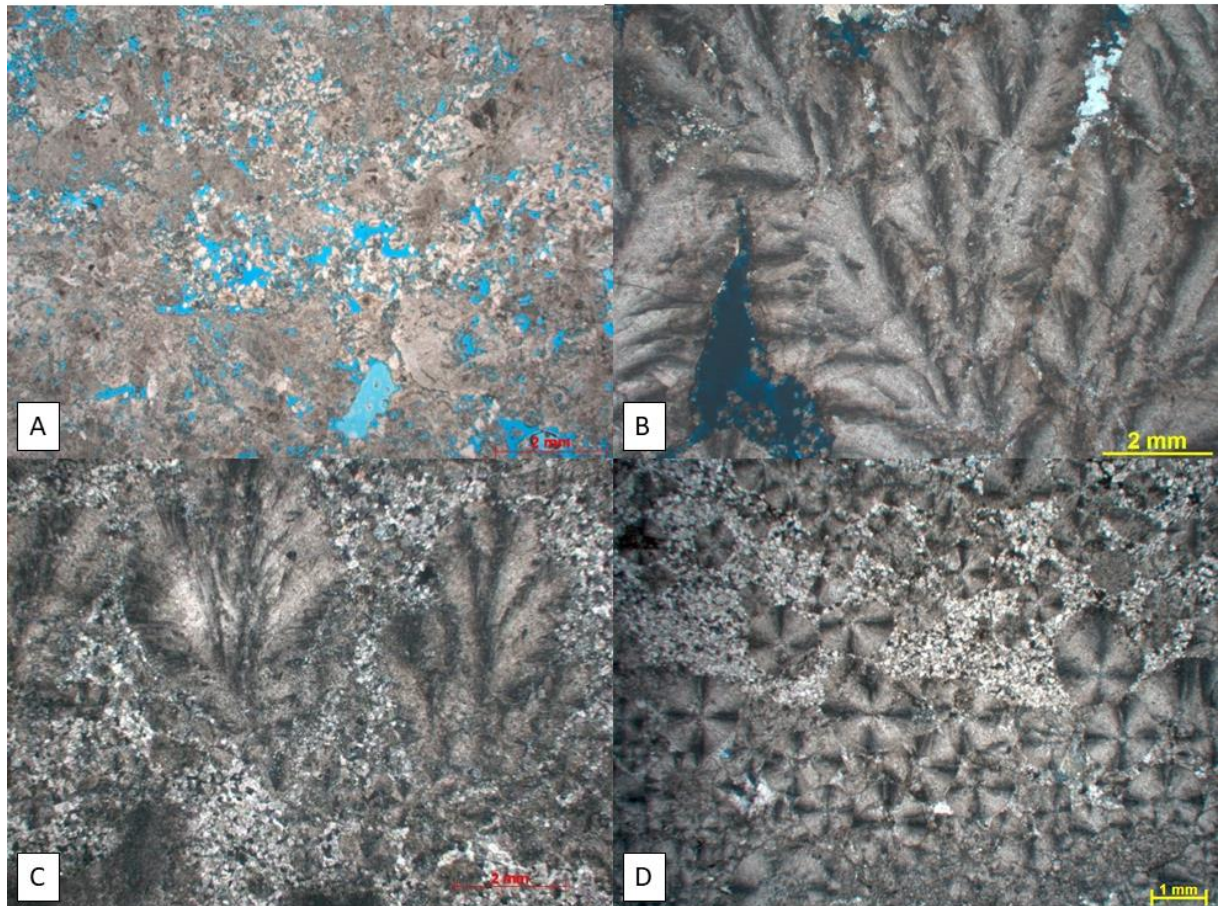
4.1.11 *Shrubstone com lama*

Rocha composta por grãos de *shrubs in situ*, com morfologia arborescente, também podem ocorrer esferulitos associados, de tamanho >2 mm, com lama carbonática e presença de cimento carbonático em mosaico (FIGURA 20C).

4.1.12 *Spherulitestone*

Rocha composta por grãos de esferulito *in situ*, também podem ocorrer *shrubs* associados, de tamanho <2 mm, sem lama carbonática e com presença de cimento carbonático em mosaico (FIGURA 20D).

FIGURA 20 – FOTOGRAFIAS DAS LÂMINAS



LEGENDA: (A): Lâmina (3-BRSA-1053-5384,0m) de rudstone com shubs em polarizador paralelo (P//). (B): Lâmina (9-BRSA-1159-5475,0m) de shrubstone arborescente em polarizador cruzado (PX). (C): Lâmina (2-ANP-1-5469,0m) de shrubstone arborescente com lama em polarizador cruzado (PX). (D): Lâmina (3-BRSA-1053-5399,0m) de spherulitestone em polarizador cruzado (PX).

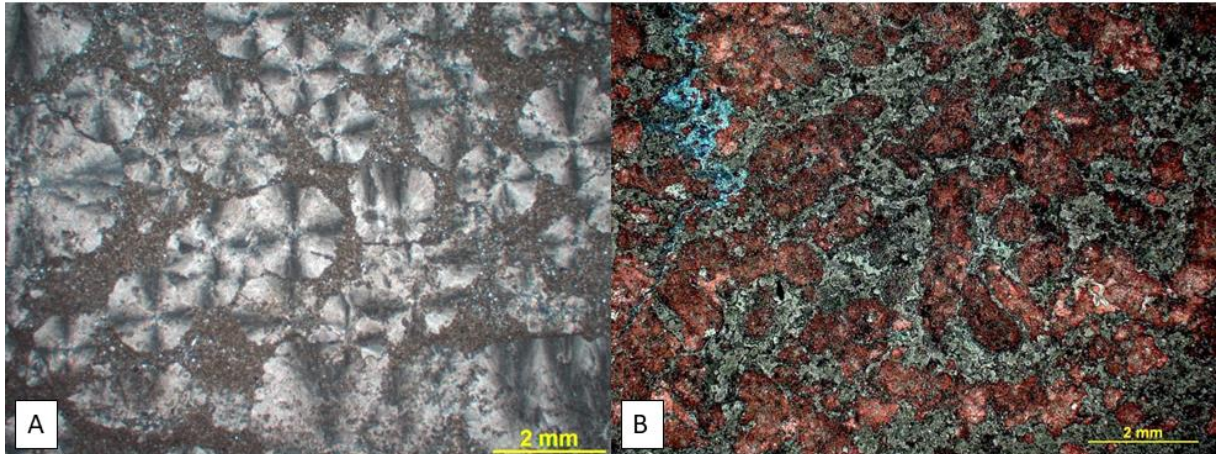
4.1.13 *Spherulitestone* com lama

Rocha composta por grãos de esferulito *in situ*, de tamanho variando de 1 mm a 3 mm, também podem ocorrer *shubs* associados, com lama carbonática e presença de cimento carbonático em mosaico (FIGURA 21A).

4.1.14 *Wackestone* com *shubs*

Rocha composta por grãos de *shubs* retrabalhados, bastante fragmentados e com feições de dissolução, podem ocorrer fragmentos de esferulitos, tamanho dos fragmentos variando de 0,1 mm a 3 mm, sustentados por lama carbonática e com presença de cimento carbonático em mosaico (FIGURA 21B).

FIGURA 21 – FOTOGRAFIAS DAS LÂMINAS



LEGENDA: (A): Lâmina (9-BRSA-1159-5596,0m) de spherulitstone com lama em polarizador cruzado (PX). (B): Lâmina (2-ANP-1-5499,0m) de wackestone com shrubs em polarizador paralelo (P//), corante alizarina (vermelho) evidenciando a calcita.

4.2 DISTRIBUIÇÃO FACIOLÓGICA NOS POÇOS

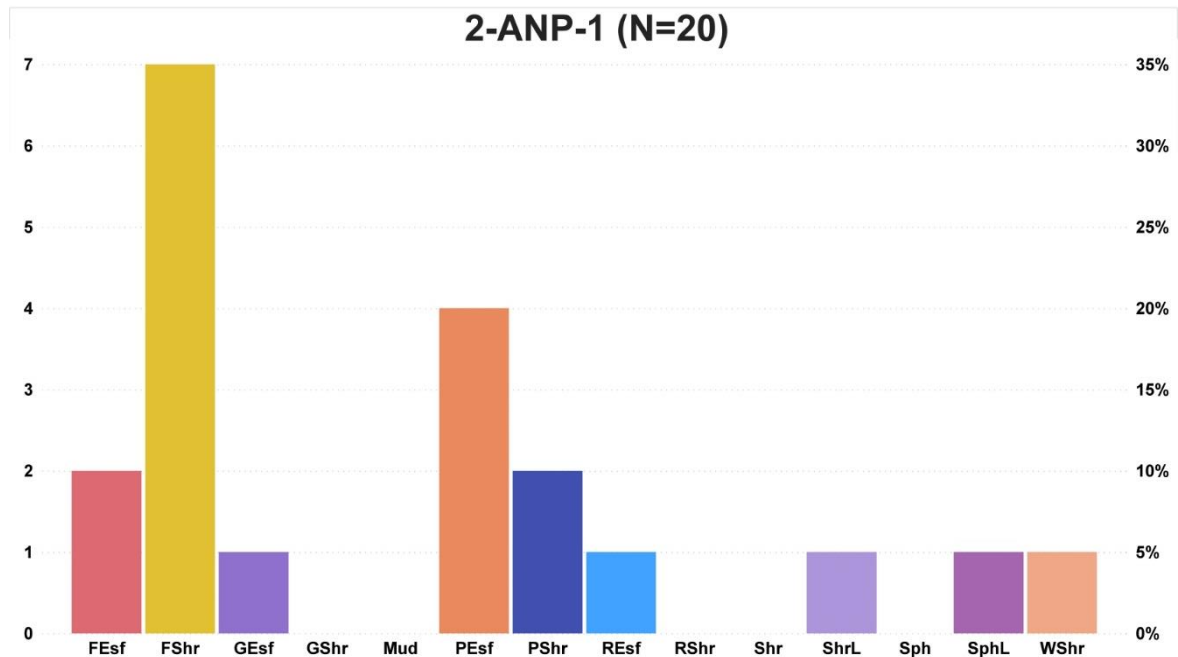
4.2.1 Poço 2-ANP-1-RJS

Foram descritas 20 fotografias de lâminas do poço 2-ANP-1-RJS, o qual apresentou um predomínio de fácies de retrabalhamento, como *floatstone* com *shrubs* e *packstone* com esferulito. A TABELA 2 apresenta as fácies descritas em cada lâmina e a FIGURA 22 apresenta o gráfico de distribuição das fácies no poço.

TABELA 2 – RESULTADOS DA DESCRIÇÃO DO POÇO 2-ANP-1-RJS

2-ANP-1			
Prof. (m)	Textura/Nome da Rocha	Prof. (m)	Textura/Nome da Rocha
5428,6	(FShr) Floatstone com shrubs	5530,0	(PEsf) Packstone com esferulito
5439,0	(FShr) Floatstone com shrubs	5540,0	(FEsf) Floatstone com esferulito
5449,0	(FShr) Floatstone com shrubs	5550,0	(FEsf) Floatstone com esferulito
5459,0	(FShr) Floatstone com shrubs	5558,0	(REsf) Rudstone com esferulito
5469,0	(ShrL) Shrubstone com lama	5569,0	(PEsf) Packstone com esferulito
5479,0	(PShr) Packstone com shrubs	5579,0	(PEsf) Packstone com esferulito
5489,0	(FShr) Floatstone com shrubs	5587,0	(FShr) Floatstone com shrubs
5499,0	(WShr) Wackestone com shrubs	5601,0	(SphL) Spherulitstone com lama
5510,0	(PShr) Packstone com shrubs	5611,0	(PEsf) Packstone com esferulito
5521,0	(FShr) Floatstone com shrubs	5621,0	(GEsf) Grainstone com esferulito

FIGURA 22 – DISTRIBUIÇÃO DAS FÁCIES NO POÇO 2-ANP-1



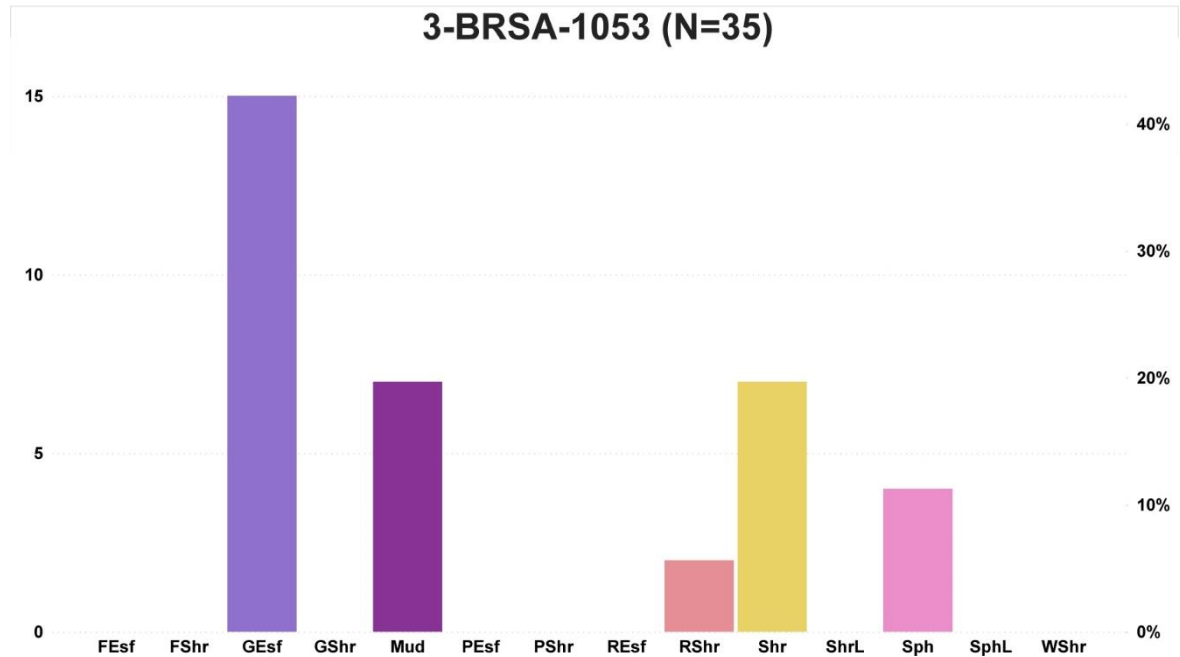
4.2.2 Poço 3-BRSA-1053-RJS

Foram descritas 35 fotografias de lâminas do poço 3-BRSA-1053-RJS, o qual apresentou um predomínio de fácies de retrabalhamento, como *grainstone* com esferulito, fácies de componentes *in situ shrubstone*, além de uma fácies de lama *mudstone*. A TABELA 3 apresenta as fácies descritas em cada lâmina e a FIGURA 23 apresenta o gráfico de distribuição das fácies no poço.

TABELA 3 – RESULTADOS DA DESCRIÇÃO DO POÇO 3-BRSA-1053-RJS

3-BRSA-1053					
Prof. (m)	Textura/Nome da Rocha	Prof. (m)	Textura/Nome da Rocha	Prof. (m)	Textura/Nome da Rocha
5354,0	(RShr) Rudstone com shrubs	5480,0	(Shr) Shrubstone	5603,0	(Shr) Shrubstone
5363,0	(Shr) Shrubstone	5495,0	(GEsf) Grainstone com esferulito	5612,0	(Sph) Spherulitestone
5375,0	(Shr) Shrubstone	5504,0	(GEsf) Grainstone com esferulito	5624,0	(Sph) Spherulitestone
5384,0	(RShr) Rudstone com shrubs	5513,0	(GEsf) Grainstone com esferulito	5633,0	(GEsf) Grainstone com esferulito
5399,0	(Sph) Spherulitestone	5522,0	(GEsf) Grainstone com esferulito	5645,0	(Mud) Mudstone
5411,0	(Sph) Spherulitestone	5534,0	(GEsf) Grainstone com esferulito	5666,0	(Mud) Mudstone
5417,0	(GEsf) Grainstone com esferulito	5546,0	(GEsf) Grainstone com esferulito	5675,0	(Mud) Mudstone
5429,0	(Shr) Shrubstone	5552,0	(Shr) Shrubstone	5687,0	(Mud) Mudstone
5438,0	(GEsf) Grainstone com esferulito	5564,0	(GEsf) Grainstone com esferulito	5702,0	(Mud) Mudstone
5447,0	(GEsf) Grainstone com esferulito	5573,0	(GEsf) Grainstone com esferulito	5711,0	(Mud) Mudstone
5462,0	(Shr) Shrubstone	5582,0	(GEsf) Grainstone com esferulito	5723,0	(Mud) Mudstone
5474,0	(GEsf) Grainstone com esferulito	5594,0	(GEsf) Grainstone com esferulito		

FIGURA 23 – DISTRIBUIÇÃO DAS FÁCIES NO POÇO 3-BRSA-1053



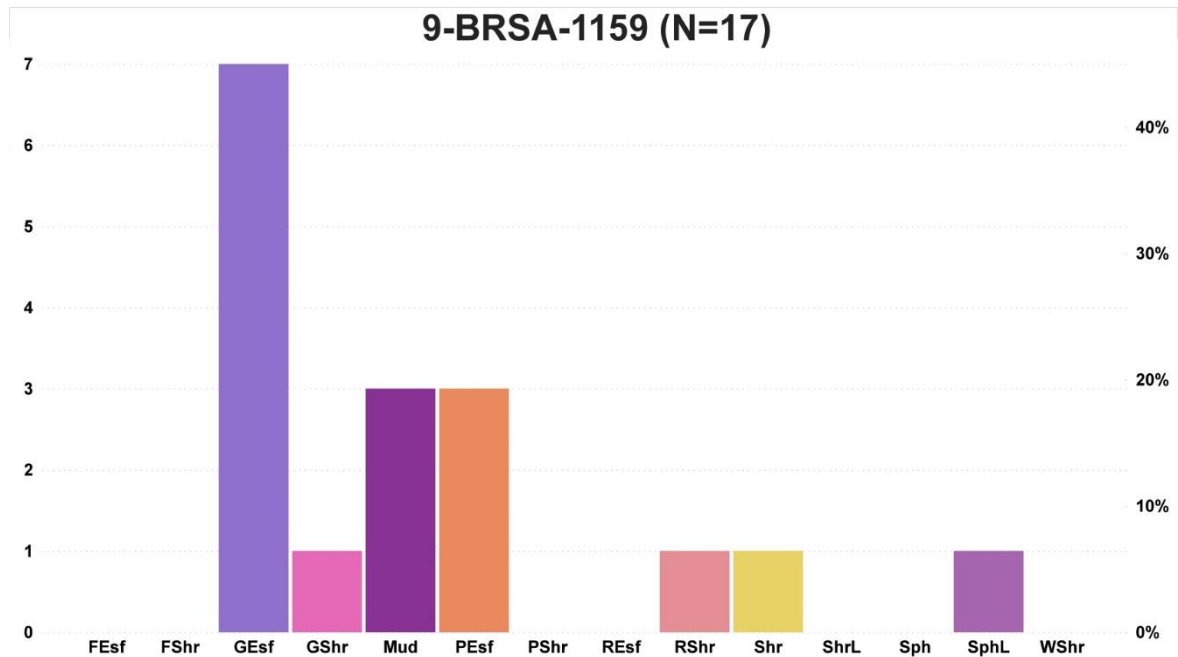
4.2.3 Poço 9-BRSA-1159-RJS

Foram descritas 17 fotografias de lâminas do poço 9-BRSA-1159-RJS, o qual apresentou um predomínio de fácies de retrabalhamento, como *grainstone* e *packstone* com esferulito, além de uma fácies de lama *mudstone*. A TABELA 4 apresenta as fácies descritas em cada lâmina e a FIGURA 24 apresenta o gráfico de distribuição das fácies no poço.

TABELA 4 – RESULTADOS DA DESCRIÇÃO DO POÇO 9-BRSA-1159-RJS

9-BRSA-1159			
Prof. (m)	Textura/Nome da Rocha	Prof. (m)	Textura/Nome da Rocha
5471,0	(GEsf) Grainstone com esferulito	5549,0	(PEsf) Packstone com esferulito
5475,0	(Shr) Shrubstone	5559,0	(Mud) Mudstone
5483,0	(GShr) Grainstone com shrubs	5575,0	(Mud) Mudstone
5491,0	(GEsf) Grainstone com esferulito	5586,2	(GEsf) Grainstone com esferulito
5501,0	(GEsf) Grainstone com esferulito	5596,0	(SphL) Spherulitestone com lama
5511,0	(RShr) Rudstone com shrubs	5506,2	(GEsf) Grainstone com esferulito
5521,0	(GEsf) Grainstone com esferulito	5516,5	(GEsf) Grainstone com esferulito
5531,0	(PEsf) Packstone com esferulito	5624,2	(Mud) Mudstone
5541,0	(PEsf) Packstone com esferulito		

FIGURA 24 – DISTRIBUIÇÃO DAS FÁCIES NO POÇO 9-BRSA-1159-RJS



4.3 INTERPRETAÇÃO DAS FÁCIES E AMBIENTE DEPOSICIONAL

As 14 fácies descritas podem ser agrupadas em 4 associações: autóctones cristalinas, autóctones micríticas, alóctones com matriz micrítica e alóctones sem matriz (TABELA 5).

TABELA 5 – ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES

Autóctones cristalinas	Autóctones micríticas	Alóctones com matriz micrítica	Alóctones sem matriz
Shrubstone	Mudstone	Floatstone com esferulito	Grainstone com esferulito
Shrubstone com lama		Floatstone com shrubs	Grainstone com shrubs
Spherulitestone		Packstone com esferulito	Rudstone com esferulito
Spherulitestone com lama		Packstone com shrubs	Rudstone com shrubs
		Wackestone com shrubs	

4.3.1 Autóctones cristalinas

Esse grupo é caracterizado por rochas compostas por elementos cristalinos formados *in situ*, os esferulitos e *shrubs*. As fácies descritas desse grupo são os *shrubstones*, *shrubstone* com lama, *spherulitestones* e *spherulitestones* com lama.

A presença de esferulitos e *shrubs in situ* nessas fácies indicam um ambiente com substrato orgânico e em processo de evaporação, com lâmina d'água não muito espessa e com maior saturação, possibilitando a precipitação dos esferulitos e *shrubs*.

Essas fácies podem ser associadas às Fácies 1 e 2, descritas por Wright & Barnett (2015).

4.3.2 Autóctones micríticas

Esse grupo é caracterizado por rochas compostas por laminações de composição micrítica formadas *in situ*. As fácies descritas desse grupo são os *mudstones*.

A composição micrítica e as laminações plano-paralelas nessa fácies indica um ambiente de baixa energia e com lâmina d'água mais espessa, onde predomina a decantação, esse aumento na lâmina d'água pode ter sido causado por eventos pluviais de curta duração.

Essa fácies pode ser associada à Fácies 3, descrita por Wright & Barnett (2015).

4.3.3 Alóctones com matriz micrítica

Esse grupo é caracterizado por rochas compostas por elementos que foram retrabalhados, principalmente *shrubs* e esferulitos, e que apresentam matriz micrítica. As fácies descritas desse grupo são os *floatstones*, *packstones* e *wackestones* com esferulito e *shrubs*.

A presença de matriz micrítica e elementos retrabalhados nessas fácies indicam que houve uma exposição subaérea das fácies autóctones cristalinas e posterior aumento da lâmina d'água com baixa energia, possivelmente ocasionado por eventos pluviais de curta duração, permitindo a decantação de lama.

4.3.4 Alóctones sem matriz

Esse grupo é caracterizado por rochas compostas por elementos que foram retrabalhados, principalmente *shrubs* e esferulitos, e que não apresentam matriz. As fácies descritas desse grupo são os *rudstones* e *grainstones* com esferulito e *shrubs*.

A presença de elementos retrabalhados e a ausência de matriz nessas fácies indicam que houve uma exposição subaérea das fácies autóctones cristalinas e posterior aumento da lâmina d'água com energia moderada a alta, possivelmente ocasionado por eventos de tempestade, impedindo a decantação de lama.

4.4 AMBIENTE DEPOSICIONAL NOS POÇOS

4.4.1 Poço 2-ANP-1

O poço apresenta um predomínio de fácies alóctones com matriz com alguns níveis de fácies autóctones cristalinas, seu ambiente pode ser interpretado como ciclos de aumento e diminuição da espessura da lâmina d'água, provavelmente relacionado a alternância entre períodos de maior aridez e períodos úmidos, iniciando com diminuição da lâmina d'água e aumento da saturação durante o processo de evaporação, precipitando esferulitos e *shrubs*, seguido de exposição subaérea, erodindo os mesmos, e posterior aumento da lâmina d'água com baixa energia, em eventos pluviais curtos, permitindo a decantação da lama entre os elementos retrabalhados.

4.4.2 Poço 3-BRSA-1053

O poço apresenta um predomínio de fácies alóctones sem matriz com alguns níveis de fácies autóctones cristalinas e na base apresenta fácies autóctone micrítica, seu ambiente pode ser interpretado como ciclos de aumento e diminuição da espessura da lâmina d'água, provavelmente relacionado a alternância entre períodos de maior aridez e períodos úmidos, iniciando com uma lâmina d'água espessa com baixa energia, resultado de eventos pluviais curtos, permitindo a decantação de lama, seguido da diminuição da lâmina d'água e aumento da saturação durante o processo de evaporação, precipitando esferulitos e *shrubs*, seguido de exposição subaérea,

erodindo os mesmos, e posterior aumento da lâmina d'água com alta energia, provavelmente devido eventos de tempestade, impedindo a decantação da lama entre os elementos retrabalhados.

4.4.3 Poço 9-BRSA-1159

O poço é muito semelhante ao anterior, apresentando um predomínio de fácies alóctones sem matriz com alguns níveis de fácies autóctones cristalinas e alóctones com matriz e na base apresenta fácies autóctone micrítica, seu ambiente pode ser interpretado como ciclos de aumento e diminuição da espessura da lâmina d'água, provavelmente relacionado a alternância entre períodos de maior aridez e períodos úmidos, iniciando com uma lâmina d'água espessa com baixa energia, resultado de eventos pluviais curtos, permitindo a decantação de lama, seguido da diminuição da lâmina d'água e aumento da saturação durante o processo de evaporação, precipitando esferulitos e *shrebs*, seguido de exposição subaérea, erodindo os mesmos, e posterior aumento da lâmina d'água com baixa energia, permitindo a decantação da lama entre os elementos retrabalhados, seguido de um evento de tempestade, ocasionando uma lâmina d'água espessa com alta energia, impedindo a decantação da lama entre os elementos retrabalhados.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir da descrição de 72 fotografias de lâminas, foram identificadas 14 diferentes fácies, as quais foram separadas em 4 associações. Após a análise e interpretação das fácies, foi possível chegar a uma possível interpretação para o ambiente deposicional dos 3 poços estudados.

Os resultados indicam que os carbonatos da Formação Barra Velha, nesses três poços, foram depositados em ambientes lacustres, com uma ciclicidade controlada pelo balanço hídrico do sistema, principalmente devido às taxas de evaporação e precipitação, causando uma variação na espessura da lâmina d'água, bem como na saturação, salinidade e alcalinidade.

A diferença dos ciclos evidenciados nos poços pode ser explicada pela variação lateral das fácies, bem como pelas características estruturais da bacia ou erosão. O poço que não apresenta a fácies *Mudstone*, por exemplo, poderia estar

situado num alto estrutural no momento da deposição, não atingindo a espessura de lâmina d'água necessária para a decantação de lama.

Sendo assim, o presente trabalho alcançou os objetivos propostos, de interpretação do ambiente deposicional nos poços estudados, no entanto, para uma interpretação mais abrangente seria necessário um banco de dados maior, como a descrição de todas as lâminas correspondentes ao intervalo da Formação Barra Velha e um maior número de poços estudados, além da associação com outros métodos analíticos, como descrição de testemunhos e interpretações geofísicas, como a sísmica.

REFERÊNCIAS

- ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). 2016. Sumários Executivos dos Planos de Desenvolvimento – Búzios. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/gestao-de-contratos-de-e-p/fase-de-producao/pd>. Acesso em 25 de agosto de 2022.
- ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). 2022. Boletim Mensal da Produção de Petróleo e Gás Natural - Junho, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletins/boletim-mensal-da-producao-de-petroleo-e-gas-natural>. Acesso em 25 de agosto de 2022.
- Antunes R. de C. 2021. *Modelo deposicional das coquinas do Campo de Búzios, Bacia de Santos*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 290 pp.
- Carminatti M., Wolff B., Gamboa L. 2008. New exploratory frontiers in Brazil. In: *Proceedings of the 19th World Petroleum Congress*, Madrid, 11 pp.
- Chafetz H.S., Folk R.L. 1984. Travertines; depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *Journal of Sedimentary Research*, **54**:289-316. doi: <https://doi.org/10.1306/212F8404-2B24-11D7-8648000102C1865D>
- Dunham R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham W.E. (Eds.) *Classification of carbonate rocks*. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, p. 108-122.
- Embry A.F., Klovan J.E. 1971. A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, N.W.T. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, **19**:730-781. doi: <https://doi.org/10.35767/gscpgbull.19.4.730>
- Erthal M.M., Capezzuoli E., Mancini A., Claes H., Soete J., Swennen R. 2017. Shrub morpho-types as indicator for the water flow energy – Tivoli travertine case (Central Italy). *Sedimentary Geology*, Elsevier, **347**:79-99. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.11.008>
- Flügel E. 2010c. *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*. 2ed. Springer, New York, 976 pp. ISBN 354022016X.
- Folk R.L. 1959. Practical classification of limestones. *AAPG Bulletin*, **43**:1-38.
- Folk R.L. 1962. Spectral subdivision of limestone types. In: Ham W.E. (Eds.) *Classification of carbonate rocks*. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, p. 62-84.

- Gomes J.P., Bunevich R.B., Tedeschi L.R., Tucker M.E., Whitaker F.F. 2020. Facies classification and patterns of lacustrine carbonate deposition of the Barra Velha Formation, Santos Basin, Brazilian Pre-salt. *Marine and Petroleum Geology*, Elsevier, **113**:104-176. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.104176>
- Moreira J.L.P., Madeira C.V., Gil J.A., Machado M.A.P. 2007. Bacia de Santos. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Petrobras, Rio de Janeiro, **15**(2): 531-549.
- Scholle P.A., Ulmer-Scholle D.S. 2003. *A color guide to the petrography of carbonate rocks: grains, textures, porosity, diagenesis*. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, 474 pp. ISBN 0891813586.
- Terra G.J.S., Spadini A.R., França A., Sombra C., Zambonato E., Juschaks L., Arienti L., Erthal M., Blauth M., Franco M., Matsuda N., Carramal da Silva N., Moretti P., Davila R., Souza R., Tonietto S., Anjos S., Campinho V., Winter W. 2010. Classificação de rochas carbonáticas aplicável às bacias sedimentares. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Petrobras, Rio de Janeiro, **18**:9-29.
- Tucker M.E. 2001c. *Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*. 3ed. Malden, Oxford; Blackwell, Massachusetts, 262 pp. ISBN 9780632057351.
- Tucker M.E., Dias-Brito D. 2017. *Petrologia sedimentar carbonática: iniciação com base no registro geológico do Brasil*. IGCE/UNESP, Rio Claro, 208 pp. ISBN 9788589082686.
- Tucker M.E., Wright V.P. 1990. *Carbonate sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 482 pp. ISBN 9781444314168.
- Walker R.G. 1992. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: Walker R.G., James N.P. (Eds.) *Facies Models: response to sea level change*. Geological Association of Canada, St. Johns, p. 1-14.
- Wright V.P., Barnett A.J. 2015. An abiotic model for the development of textures in some South Atlantic early Cretaceous lacustrine carbonates. *Special Publications*, Geological Society, Londres, **418**:208-219. doi: <https://doi.org/10.1144/SP418.3>

APÊNDICE 1 – DESCRIÇÕES DO POÇO 2-ANP-1

2-ANP-1										
Prof.(m)	Componentes						Porosidade	Estrutura	Outros	TexturaNome da Rocha
	Shrubs (in situ)	Descrição Shrubs	Esferulito (in situ)	Lama	Retrabalhados	Partículas retrabalhadas				
5428,6	-	-	-	5%	95%	Shrubs	Interpartícula	Maciça	Cimento carbonático	Floatstone com shrubs
5439,0	-	-	-	5%	95%	Shrubs	Vug e interpartícula	Maciça	Cimento carbonático	Floatstone com shrubs
5449,0	-	-	-	20%	80%	Shrubs	-	Maciça	Cimento carbonático	Floatstone com shrubs
5459,0	-	-	-	30%	70%	Shrubs	Vug e interpartícula	Maciça	Cimento carbonático	Floatstone com shrubs
5469,0	70%	Arborescente	-	15%	15%	Shrubs	Interpartícula e intrapartícula	Maciça	Cimento carbonático	Shrubstone com lama
5479,0	-	-	-	40%	60%	Shrubs	Vug, interpartícula e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Packstone com shrubs
5489,0	-	-	-	30%	70%	Shrubs	Canal e interpartícula	Maciça	Cimento carbonático	Floatstone com shrubs
5499,0	-	-	-	60%	40%	Shrubs	Vug	Maciça	Cimento carbonático	Wackestone com shrubs
5510,0	-	-	-	40%	60%	Shrubs	Vug, interpartícula, intrapartícula e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Packstone com shrubs
5521,0	-	-	-	20%	80%	Shrubs	Vug, interpartícula, intrapartícula e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Floatstone com shrubs
5530,0	-	-	-	15%	85%	Esferulito	Vug	Maciça	Cimento carbonático	Packstone com esferulito
5540,0	-	-	-	10%	90%	Esferulito	Vug, interpartícula, intrapartícula e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Floatstone com esferulito
5550,0	-	-	-	10%	90%	Esferulito	Vug, interpartícula, intrapartícula e intercrystalina	Maciça	Cimento carbonático	Floatstone com esferulito
5558,0	-	-	-	-	100%	Esferulito	Vug, interpartícula, intrapartícula e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Rudstone com esferulito
5569,0	-	-	-	30%	70%	Esferulito	-	Maciça	Cimento carbonático	Packstone com esferulito
5579,0	-	-	-	10%	90%	Esferulito	Vug, interpartícula e intrapartícula	Maciça	Cimento carbonático	Packstone com esferulito
5587,0	-	-	-	10%	90%	Shrubs	Vug	Maciça	Cimento carbonático	Floatstone com shrubs
5601,0	-	-	45%	40%	15%	Esferulito	Vug, interpartícula, intrapartícula e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Spherulitestone com lama
5611,0	-	-	-	25%	75%	Esferulito	Vug, interpartícula e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Packstone com esferulito
5621,0	-	-	-	-	100%	Esferulito	Vug, interpartícula, intrapartícula e fenestral	Maciça	Cimento carbonático / óxido de ferro	Grainstone com esferulito

APÊNDICE 2 – DESCRIÇÕES DO POÇO 3-BRSA-1053

3-BRSA-1053										
Prof. (m)	Componentes						Porosidade	Estrutura	Outros	Textura/Nome da Rocha
	Shruba (in situ)	Descrição Shruba	Esferefito (in situ)	Lama	Retrabalhado	Partículas retrabalhadas				
5354,0	-	-	-	-	100%	Shrubs	Vug, interpartícula, intrapartícula e fenestral	Maciça	-	Rudstone com shrubs
5363,0	100%	Alborescente	-	-	-	-	Vug, interpartícula, intrapartícula e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Shrubstone
5375,0	100%	Alborescente	-	-	-	-	Vug, interpartícula, intrapartícula e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Shrubstone
5384,0	-	-	-	-	100%	Shrubs	Vug, interpartícula, intrapartícula, intercrystalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Rudstone com shrubs
5399,0	-	-	100%	-	-	-	Interpartícula, intrapartícula e intercrystalina	Maciça	Cimento carbonático	Spherulitestone
5411,0	-	-	100%	-	-	-	Interpartícula, intrapartícula e intercrystalina	Maciça	Cimento carbonático	Spherulitestone
5417,0	-	-	-	-	100%	Esferefito	Vug, interpartícula, intrapartícula, intercrystalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático / óxido de ferro	Grainstone com esferefito
5429,0	80%	Alborescente	-	-	20%	Esferefito	Vug, interpartícula, intrapartícula e intercrystalina	Maciça	Cimento carbonático	Shrubstone
5438,0	-	-	-	-	100%	Esferefito	Vug, interpartícula, intrapartícula e intercrystalina	Maciça	Cimento carbonático	Grainstone com esferefito
5447,0	-	-	-	-	100%	Esferefito	Vug, interpartícula, intrapartícula, intercrystalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático / óxido de ferro	Grainstone com esferefito
5462,0	100%	Alborescente	-	-	-	-	Vug, interpartícula, intrapartícula, intercrystalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Shrubstone
5474,0	-	-	-	-	100%	Esferefito	Vug, interpartícula, intrapartícula, intercrystalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático / óxido de ferro	Grainstone com esferefito
5480,0	100%	Alborescente	-	-	-	-	Vug, interpartícula, intrapartícula e intercrystalina	Maciça	Cimento carbonático	Shrubstone
5495,0	-	-	-	-	100%	Esferefito	Interpartícula e intercrystalina	Maciça	Cimento carbonático	Grainstone com esferefito
5504,0	20%	Alborescente	-	-	80%	Esferefito	Vug, interpartícula, intrapartícula, intercrystalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Grainstone com esferefito
5513,0	-	-	-	-	100%	Esferefito	Vug, interpartícula, intrapartícula, intercrystalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Grainstone com esferefito
5522,0	-	-	-	-	100%	Esferefito	Vug, interpartícula, intrapartícula e intercrystalina	Maciça	Cimento carbonático / sílica	Grainstone com esferefito
5534,0	-	-	-	-	100%	Esferefito	Vug, interpartícula, intrapartícula, intercrystalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Grainstone com esferefito
5546,0	-	-	-	5%	95%	Esferefito	Vug, interpartícula, intrapartícula, intercrystalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático / sílica	Grainstone com esferefito
5552,0	100%	Alborescente	-	-	-	-	Vug, interpartícula, intrapartícula, intercrystalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Shrubstone
5564,0	-	-	-	-	100%	Esferefito	Vug, interpartícula, intrapartícula, intercrystalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Grainstone com esferefito
5573,0	-	-	-	5%	95%	Esferefito	Vug, interpartícula, intrapartícula e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Grainstone com esferefito
5582,0	-	-	-	-	100%	Esferefito	Vug, interpartícula, intrapartícula, intercrystalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Grainstone com esferefito
5594,0	-	-	-	-	100%	Esferefito	Vug, interpartícula, intrapartícula, intercrystalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Grainstone com esferefito
5603,0	70%	Alborescente	30%	-	-	-	Vug, interpartícula, intrapartícula e intercrystalina	Maciça	Cimento carbonático	Shrubstone
5612,0	-	-	100%	-	-	-	Vug, interpartícula, intrapartícula, intercrystalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Spherulitestone
5624,0	-	-	100%	-	-	-	Interpartícula, intrapartícula e intercrystalina	Maciça	Cimento carbonático	Spherulitestone
5633,0	-	-	-	-	100%	Esferefito	Vug, interpartícula, intrapartícula, intercrystalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Grainstone com esferefito
5645,0	-	-	-	100%	-	-	Intercristalina	Laminada	Cimento carbonático	Mudstone
5666,0	-	-	-	100%	-	-	Intercristalina	Laminada	Cimento carbonático	Mudstone
5675,0	-	-	-	100%	-	-	Vug, intercrystalina, canal e fratura	Laminada	Cimento carbonático	Mudstone
5687,0	-	-	-	100%	-	-	Intercristalina e fratura	Laminada	Cimento carbonático	Mudstone
5702,0	-	-	-	100%	-	-	Intercristalina e fratura	Laminada	Cimento carbonático	Mudstone
5711,0	-	-	-	100%	-	-	Vug e intercrystalina	Laminada	Cimento carbonático	Mudstone
5723,0	-	-	-	100%	-	-	Fratura	Laminada	Cimento carbonático	Mudstone

APÊNDICE 3 – DESCRIÇÕES DO POÇO 9-BRSA-1159

9-BRSA-1159										
Prof.(m)	Componentes						Porosidade	Estrutura	Outros	Textura/Nome da Rocha
	Shrubs (in situ)	Descrição Shrubs	Esferulito (in situ)	Lama	Retrabalhados	Partículas retrabalhadas				
5471,0	-	-	-	-	100%	Esferulito	Vug	Maciça	Cimento carbonático	Grainstone com esferulito
5475,0	100%	Arborescente	-	-	-	-	Vug, interpartícula	Maciça	Cimento carbonático / sílica	Shrubstone
5483,0	-	-	-	-	100%	Shrubs	Interpartícula e intercristalina	Maciça	Cimento carbonático	Grainstone com shrubs
5491,0	-	-	-	-	100%	Esferulito	Fenestral	Maciça	Cimento carbonático	Grainstone com esferulito
5501,0	-	-	-	-	100%	Esferulito	Intrapartícula e intercristalina	Maciça	Cimento carbonático	Grainstone com esferulito
5511,0	-	-	-	-	100%	Shrubs	Intrapartícula e intercristalina	Maciça	Cimento carbonático	Rudstone com shrubs
5521,0	-	-	-	-	100%	Esferulito	Interpartícula, intrapartícula e intercristalina	Maciça	Cimento carbonático	Grainstone com esferulito
5531,0	-	-	-	10%	90%	Esferulito	Interpartícula, intrapartícula, intercristalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático / sílica	Packstone com esferulito
5541,0	-	-	-	10%	90%	Esferulito	Interpartícula e intercristalina	Maciça	Cimento carbonático	Packstone com esferulito
5549,0	-	-	-	30%	70%	Esferulito	Interpartícula e intercristalina	Maciça	Cimento carbonático / sílica	Packstone com esferulito
5559,0	-	-	-	100%	-	-	Intercristalina	Laminada	Cimento carbonático	Mudstone
5575,0	-	-	-	100%	-	-	Intercristalina	Maciça	Cimento carbonático	Mudstone
5586,2	-	-	-	-	100%	Esferulito	Vug, interpartícula, intercristalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático / sílica	Grainstone com esferulito
5596,0	15%	Arborescente	70%	15%	-	-	Intrapartícula e intercristalina	Maciça	Cimento carbonático	Spherulitestone com lama
5506,2	-	-	-	-	100%	Esferulito	Vug, interpartícula, intrapartícula, intercristalina e fenestral	Maciça	Cimento carbonático / óxido de ferro	Grainstone com esferulito
5516,5	-	-	-	10%	90%	Esferulito	Vug, interpartícula, intrapartícula e fenestral	Maciça	-	Grainstone com esferulito
5624,2	-	-	-	100%	-	-	Vug e intercristalina	Laminada	Cimento carbonático	Mudstone