

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE DE SEDIMENTOS ASSOCIADOS À ATIVIDADE
DE PERFURAÇÃO NA PLATAFORMA CONTINENTAL
EXTERNA, BACIA POTIGUAR – BRASIL**

Autora:

CLAUDETE RODRIGUES DE SOUZA

Orientadora:

Prof^ª. Dra. HELENICE VITAL
(PPGG/DG/UFRN)

Dissertação n.º 129/PPGG

Natal – RN, abril de 2014.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ANÁLISE DE SEDIMENTOS ASSOCIADOS A ATIVIDADE DE PERFURAÇÃO NA PLATAFORMA CONTINENTAL EXTERNA, BACIA POTIGUAR – BRASIL

Autora:

CLAUDETE RODRIGUES DE SOUZA

Dissertação de Mestrado apresentada em 03 de abril de 2014 para obtenção do título de Mestre em Ciências da Terra pelo Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN com área de concentração Geodinâmica.

Comissão Examinadora:

PROF^a. Dr^a. HELENICE VITAL (DG/PPGG/UFRN - Orientadora)

PROF^a. Dr^a. ZULEIDE MARIA CARVALHO LIMA (DGEO/PPG/UFRN)

PROF. Dr. IRAN CARLOS STALLIVIERE CORRÊA (IGEO/ PPGGEO/UFRGS)

Natal – RN, abril de 2014

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação de mestrado desenvolvida no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGG/UFRN), tendo sido subsidiada pelos seguintes agentes financiadores:

- Avaliação da sedimentologia nas Bacias Potiguar e Ceará (PETROBRAS);
- Auxílio PQ CNPq – Caracterização Geológica e Geofísica de áreas submersas rasas do Estado do Rio Grande do Norte (Processos n.º 303481/2009-9);
- Programa Estratégico em Ciências do Mar: Projeto 207-2010 - “REDE RECIFES (UFRN-UFPE-UFBA) - Mapeamento e Caracterização de Recifes da Plataforma Continental Jurídica Brasileira” (CAPES);
- Project 1202 “Rapid environmental changes and human impact on continental shelves” (INQUA: International Union for Quaternary Research);
- Laboratório de Geografia Física (LABGEOFIS);



“A dream you dream alone is only a dream.

A dream you dream together is reality”

John Lennon (1940-1980)

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / SISBI / Biblioteca Setorial
Centro de Ciências Exatas e da Terra – CCET.

Souza, Claudete Rodrigues de.

Análise de sedimentos associados à atividade de perfuração na plataforma continental externa, Bacia Potiguar - Brasil / Claudete Rodrigues de Souza. - Natal, 2014.

119 f.: il.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Helenice Vital.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica.

1. Plataforma continental externa – Dissertação. 2. Análise de sedimentos - Dissertação. 3. Monitoramento – Dissertação. 4. Costa afora – Dissertação. 5. Margem equatorial brasileira – Dissertação. I. Vital, Helenice. II. Título.

RN/UF/BSE-CCET

CDU: 551.462.32

Este estudo foi desenvolvido em uma área localizada na plataforma externa da Bacia Potiguar, margem equatorial brasileira. A amostragem de sedimentos foi realizada em três campanhas, em torno de um poço exploratório, para comparar as propriedades dos sedimentos do fundo marinho, incluindo granulometria, composição, conteúdo de carbonato e matéria orgânica. Os sedimentos analisados foram coletados em três períodos diferentes: anterior a perfuração do poço, 3 e 12 meses após a perfuração. O planejamento amostral utilizou 16 estações localizadas em 4 radiais distantes 50 m, 100 m, 250 m e 500 m do poço. Os sedimentos foram analisados nas camadas 0-2 cm e 0-10 cm. Os resultados mostraram que a cobertura sedimentar em torno do poço era pobre a muito pobremente selecionada, com granulometria predominante na fração areia grossa com grânulo e cascalho, seguida por cascalho e lama. O conteúdo de carbonato de cálcio foi maior que 96%, associado a sedimentos bioclásticos, e o conteúdo de matéria orgânica foi menor que 12%. Apenas pequenas variações sedimentológicas ocorreram na área afetada pelas operações de perfuração. A principal diferença foi observada em amostras da segunda campanha, em termos de uma mudança na distribuição granulométrica associada a um aumento no conteúdo de sedimentos siliciclásticos. Este impacto ocorreu nos sedimentos mais superficiais (0-2 cm), no raio mais próximo ao poço (50 m), e poderia sugerir o efeito da perfuração. Entretanto, os sedimentos coletados na campanha 3, um ano após a perfuração, voltaram a apresentar as mesmas características da primeira campanha. Estes resultados indicam que não houve variações sedimentológicas significantes devido a atividade de perfuração, e que a dinâmica oceânica na área de estudo foi forte o suficiente para recuperar as características originais do ambiente.

Palavras –Chave: monitoramento, costa afora, plataforma externa, margem equatorial brasileira

ABSTRACT

This study was developed in an area located on the outer shelf in the Potiguar Basin, Brazilian equatorial margin; this tropical shelf represents a modern, highly dynamic mixed carbonate-siliciclastic system. Field sampling was carried out during 3 cruises surrounding a shallow-water exploratory well to compare sediment properties of the seafloor, including grain-size, texture, mineral composition, carbonate content, and organic matter. Cruise 1 (C1) was carried prior to drilling, while Cruise 2(C2) and 3 (C3) respectively 3 and 12 months after drilling. The sample grid used had 16 stations located along 4 radials from 50 m the well up to a distance of 500 m. Sediments were analyzed in the first 0-2 cm, and 0-10 cm layers. The results show that sedimentary cover around the well is poor to very poorly sorted, with the particle size predominantly in the medium to coarse sand fraction, followed by gravel and mud. The content of calcium carbonate is greater than 96%, associated to bioclastic sediments, and the content of organic matter is less than 12%. Only minor sedimentological variations occurred in the area affected by drilling operations. Mainly observed during the second cruise, in terms of a change in grain size distribution associated to an increase in siliciclastic content, This impact occurred in the most surficial sediment (0-2 cm), in the radial closest to the well (50 m), and could suggest the effects of drilling. However, in the third cruise, one year after drilling, the sediments return to show the same characteristics as in the first cruise. These results show no significant sedimentological variations due to drilling activity, and indicate that ocean dynamics in this area was high enough to recover the environment original characteristics.

Keywords: offshore monitoring, outer shelf, Brazilian equatorial margin.

AGRADECIMENTOS

Sempre e a todo o momento a Deus, esquecê-lo seria ignorar a existência dos acontecimentos.

Agradeço a UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, através do PPGG - Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica e Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental-GGEMMA pela infraestrutura necessária a realização desta dissertação;

A CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de mestrado;

Aos agentes Financiadores da pesquisa: PETROBRAS, CAPES, FINEP e CNPq pelos recursos necessários, e adicionalmente a PETROBRAS pela concessão dos dados para a realização desta dissertação.

A minha orientadora à Professora Dra. Helenice Vital pela supervisão e sugestões durante a confecção desta dissertação.

A Cléo Rodrigues, Mary Nogueira, Ilka Souza, Joyce Clara e Maria Verônica pelas contribuições ao meu trabalho.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica e do Departamento de Geologia em especial, aos professores: Prof. Dr. Narendra Kumar Srivastava, Prof. Dr. Germano Melo, a Profa Dra. Marcela Marques Vieira, Profa. Dra. Patrícia Pimenta Beck Eichler, e Prof. Dr. Moab Praxedes Gomes.

Aos funcionários do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental-GGEMMA em especial a Francisco Canindé e Francisco Júnior pelo apoio nas atividades de laboratório.

Aos colegas do PPGG: Nilda Araújo, e ao Douglas Machado por toda dedicação ao longo desses dois anos.

Aos colegas: André Giskard, Guilherme Pierri, Narelle Maia, Cristiane Leão, Aline Jardim, Miguel Borges, Francisco Cordeiro, Débora Vieira, Fátima Alves, Ranyere Alves pelo apoio ofertado durante o desenvolvimento deste trabalho.

E finalmente à minha família, e amigos pelo apoio, e por estarem sempre ao meu lado, importantíssimos para a concretização de mais um sonho conquistado.

SUMÁRIO

RESUMO	<i>i</i>
ABSTRACT	<i>ii</i>
AGRADECIMENTOS	<i>iii</i>
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	<i>viii</i>
LISTA DE TABELAS	<i>xi</i>
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	12
1.1 APRESENTAÇÃO, JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS GERAIS.....	12
1.2 TRABALHOS PRETÉRITOS.....	14
CAPÍTULO 2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	16
2.1 MARGEM ATLÂNTICA EQUATORIAL.....	16
2.2 BACIA POTIGUAR.....	17
2.3 ARCABOUÇO ESTRUTURAL E SEDIMENTAR.....	17
2.4 PLATAFORMA CONTINENTAL.....	19
2.5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO.....	21
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1 AQUISIÇÃO DE DADOS.....	24
3.1.1 Etapa de gabinete.....	25
3.1.2 Etapa de campo.....	25
3.1.2.1 Etapa de perfuração.....	27
3.1.3 Etapa de laboratório.....	28
3.1.3.1 Conteúdo de carbonato de cálcio e matéria orgânica.....	28
3.1.3.2 Análises granulométricas.....	29
3.1.3 Análises Estatísticas.....	30
3.1.4 Difração de Raio-X.....	32
3.1.5 Microscopia eletrônica de varredura.....	33
3.1.6 Classificação sedimentar.....	34
3.1.7 Mineralogia.....	35
3.4 Etapa final – integração dos resultados.....	35
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1 Resultados Estatísticos.....	37
4.1.1 Dados estatísticos carbonato de cálcio.....	37
4.1.2 Dados estatísticos matéria orgânica.....	38
4.1.3 Dados estatísticos cascalho.....	38
4.1.4 Dados estatísticos areia.....	39
4.1.5 Dados estatísticos lama.....	40
4.1.6 Testes Estatísticos.....	41
4.2 Mapas de curvas de isovalor.....	45
4.3 Caracterização sedimentológica.....	51
4.3.1 Resultados obtidos por Difração de Raio X (DRX).....	52
4.3.2 Resultados obtidos por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	53
4.3.2.1 Grãos siliciclásticos.....	53
4.3.2.2 Grãos Bioclásticos.....	54
4.3.3 Diâmetro médio.....	57
4.3.4 Grau de selecionamento.....	57
4.3.5 Classificação sedimentar.....	58
4.4. Mineralogia.....	59
4.4.1 Análise mineralógica C1 (0-2 cm).....	59
4.4.2 Análise mineralógica C1 (0-10 cm).....	59
4.4.3 Análise mineralógica C2 (0-2 cm).....	63

4.4.4	Análise mineralógica C2 (0-10 cm).....	66
4.4.5	Análise mineralógica C3 (0-2 cm).....	68
4.4.6	Análise mineralógica C3 (0-10 cm).....	71
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES		74
REFERÊNCIAS		78
APÊNDICE- Artigo submetido à revista Environmental Monitoring Assesment		85
ANEXOS		114

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1	Mapa de localização da área em estudo.....	14
Figura 2.1	Mapa regional da margem equatorial brasileira com a localização da Bacia Potiguar(Smith&Sandwell,1997)Brasileira.....	16
Figura 2.2	Mapa de localização da Bacia Potiguar modificado de Farias et al 1990.....	17
Figura 2.3	Arcabouço estrutural da Bacia Potiguar modificado por Bertani et al 1990	18
Figura 2.4	Compartimentação da plataforma continental.....	19
Figura 2.5	Representação das litofácies na plataforma.....	23
Figura 3.1	Fluxograma das atividades realizadas.....	25
Figura 3.2	Malha amostral da coleta de sedimentos na área de estudo para as três campanhas realizadas (C1, C2 e C3).....	27
Figura 3.3	Amostragem de sedimentos durante a pós-perfuração através da <i>Van Veen</i> com capacidade de 231 litros.....	27
Figura 3.4	Representação gráfica das fases de perfuração de um poço. A) Fase sem riser. B) Fase com riser	29
Figura 3.5	Etapas de laboratório. A)Análise do teor de carbonato. B)Teor de matéria orgânica. C) Granulômetro a laser Cilas 1180.....	31
Figura 3.6	Difratômetro de Raio X. B) Em detalhe, a parte interior do equipamento.....	34
Figura 3.7	Microscópio eletrônico de varredura.....	35
Figura 3.8	A)Lupa binocular usada pra análise da mineralogia B)Análise da amostra em lupa binocular.....	37
Figura 4.1	Mapas de curvas de isovalor para a variável carbonato de cálcio (%) para as três campanhas de monitoramento (C1, C2 e C3) em 0-2 cm e 0-10 cm.....	47
Figura 4.2	Mapas de curvas de isovalor para a variável matéria orgânica (%) para as três campanhas de monitoramento (C1, C2 e C3) em 0-2 cm e 0-10 cm	48
Figura 4.3	Mapas de curvas de isovalor para a variável cascalho (%) para as três campanhas de monitoramento (C1, C2 e C3) em 0-2 cm e 0-10 cm.....	49
Figura 4.4	Mapas de curvas de isovalor para a variável areia (%) para as três campanhas de monitoramento (C1, C2 e C3) em 0-2 cm e 0-10 cm.....	50
Figura 4.5	Mapas de curvas de isovalor para a variável lama (%) para as três campanhas de monitoramento (C1, C2 e C3) em 0-2 cm e 0-10 cm.....	51
Figura 4.6	Difratograma dos picos demonstrando os minerais identificados na amostra da campanha C1 (0-2 cm).....	53
Figura 4.7	Difratograma dos picos demonstrando os minerais identificados na amostra da campanha C2 (0-2 cm).....	53
Figura 4.8	Difratograma dos picos demonstrando os minerais identificados na amostra da campanha C3 (0-2 cm).....	54
Figura 4.9	Representação em microscópio eletrônico de varredura para as amostras C1,C2 e C3 em 0-2 cm.....	56
Figura 4.10	Representação dos compostos químicos vistos com EDS.....	57
Figura 4.11	Composição mineralógica das amostras para C1(0-2 cm).....	61
Figura 4.12	Composição mineralógica das amostras para C1 (0-10 cm).....	63
Figura 4.13	Composição mineralógica das amostras para C1 (0-10 cm).....	63
Figura 4.14	Composição mineralógica das amostras para C2 (0-2 cm).....	65
Figura 4.15	Composição mineralógica das amostras para C2 (0-2 cm).....	66
Figura 4.16	Composição mineralógica das amostras para C2 (0-2 cm).....	66
Figura 4.17	Composição mineralógica das amostras para C2 (0-10 cm).....	68
Figura 4.18	Composição mineralógica das amostras para C2 (0-10 cm).....	68
Figura 4.19	Composição mineralógica das amostras para C3 (0-2 cm).....	70

Figura 4.20	Composição mineralógica das amostras para C3 (0-2 cm).....	70
Figura 4.21	Composição mineralógica das amostras para C3 (0-2 cm).....	71
Figura 4.22	Composição mineralógica das amostras para C3 (0-10 cm).....	71
Figura 4.23	Composição mineralógica das amostras para C3 (0-10 cm).....	73
Figura 4.24	Composição mineralógica das amostras para C3 (0-10 cm).....	73
Figura 4.25	Composição mineralógica das amostras para C3 (0-10 cm).....	74
Figura 4.26	Composição mineralógica das amostras para C3 (0-10 cm).....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela1	Resultados estatísticos dos testes aplicados nas campanhas de monitoramento (C1,C2 e C3) nos intervalos das camadas de 0-2 cm e 0-10 cm.....	42
Tabela1	Summary of Statistical levels (calcium carbonate, organic matter, gravel, sand, mud,siliciclastic sediments and bioclástica collected in campaigns C1,C2 e C3 (0-2 cm and 0-10 cm).....	94
Tabela 2	Results of the statistical tests applied to the campaigns of monitoring (C1, C2 and C3) in the layers of 0-2 cm and 0-10 cm.....	98
Tabela 3	Result of the application of the Kruskal-Wallis test for the data of the variables for the data of the variables for the layers (0-2 cm and 0-10 cm).....	99
Table 4	Sediment classification for the northeastern Brazilian continental shelf (Vital et al. 2005, after Larssonneur 1977, Dias 1996 and Freire et al., 1997).....	101

Introdução

1.1- Apresentação, Justificativa e Objetivos Gerais.

A porção da zona *offshore* da Bacia Potiguar apresenta grande importância ambiental (estudo da compreensão do habitat costeiro e plataformal, análise da natureza e transportes de poluentes) e econômica, principalmente devido à ocorrência de atividades de exploração e produção de petróleo, apesar do estado apresentar nos últimos anos (2000 a 2009) uma queda em sua produção, pois muitos dos seus poços, já atingiram seu pico de produção (ANP). Atualmente, o Brasil possui reservas de petróleo aprovadas com capacidade de produzir cerca de 15 bilhões de barris de óleo e 459 bilhões de metros cúbicos de gás natural. Hoje, a bacia *onshore* do Rio Grande do Norte corresponde a 88% do total de produção de petróleo (Cerne, 2013). Ocupando a 6ª posição em produção de petróleo e gás (ANP, 2013). Espera-se que, no futuro, haja um incremento substancial da produção *offshore* devido aos vários campos petrolíferos produtores em águas rasas.

Tendo em vista que se pretende atingir uma maior exploração nos anos seguintes, é de fundamental importância a compreensão geológica, biológica e química para que se possa prevenir danos causados ao meio ambiente. Em regiões ambientais vulneráveis e que estão susceptíveis a atividades antrópicas é necessário o monitoramento ambiental. A partir de uma caracterização sedimentar detalhada é possível mensurar mudanças ambientais que ocorram na área, como por exemplo as modificações geradas pela indústria petrolífera durante a perfuração de poços em áreas costa-afora, para então prevenir e avaliar possíveis danos causados ao meio ambiente. A sedimentação desses ambientes pode ser afetada pela atividade de perfuração de petróleo, principalmente se houver descarte de cascalhos durante a fase de perfuração.

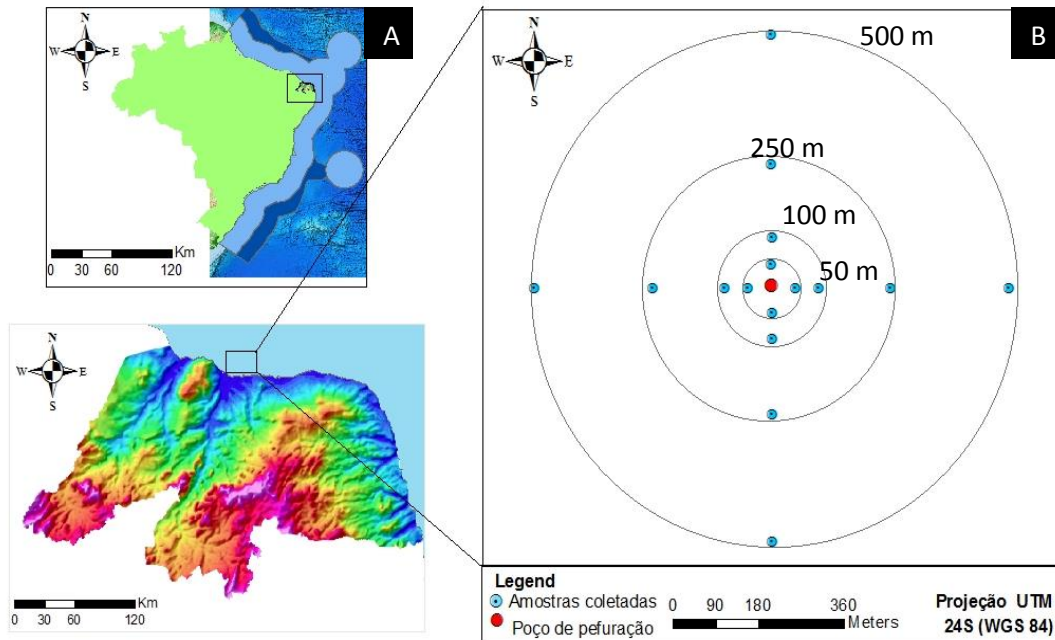
No início a indústria petrolífera utilizava fluidos de base aquosa em perfuração de poços. Com o desenvolvimento de novas tecnologias poços mais profundos e com geometria mais complexas foram perfurados. Essa complexidade por sua vez levou a utilização de fluidos de características de alta inibição química frente à argilo minerais e com excelente lubrificidade para superar o atrito entre a coluna de perfuração e as paredes do poço, surgindo então os fluidos de base não aquosa. Sendo, portanto necessário estudar quais seriam os efeitos ambientais da utilização desses fluidos não aquosos

(Non-Aqueous Fluids-NAFS) e os efeitos ambientais decorrentes de descargas de cascalho. (Toldo *et al.*, 2005).

No Brasil, mesmo não existindo ainda uma regulamentação específica para o regimento dos descartes provenientes da atividade de perfuração, esta prática é adotada em conformidade aos processos de licenciamento ambiental destas atividades exploratórias. Os efeitos do descarte podem causar interferências no sedimento, tais como alterações na granulometria (Bernier *et al.*, 2003), aumento dos níveis de hidrocarbonetos (Steinhauer *et al.*, 1994; Oslgard e Gray, 1995) e enriquecimento orgânico (Bernier *et al.*, 2003).

De acordo com a legislação atual do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais) são necessárias campanhas de monitoramento, ambiental antes e pós-perfuração, que permitam identificar e dimensionar as possíveis mudanças causadas no ambiente pelo descarte de cascalho e fluido de perfuração no ambiente marinho decorrentes das atividades de perfuração de poços. Em conformidade com a legislação brasileira, estudos sistemáticos de monitoramento em ambientes marinhos em água rasa estão sendo realizados em áreas de atividade de exploração de petróleo em ambiente de plataforma rasa na Bacia Potiguar em parceria com a Petrobrás e diversas universidades brasileiras, incluindo a Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Entre essas atividades foram monitoradas as atividades desenvolvidas em torno de um poço de perfuração, localizado na plataforma continental externa da Bacia Potiguar, aproximadamente a 30 km da costa e em torno de 53 m de profundidade (Figura 1).

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho foi a caracterização e avaliação da sedimentologia (granulometria, mineralogia, conteúdo de carbonato e matéria orgânica) em uma área ao redor de um poço de exploração na Bacia Potiguar, e como objetivo específico, a aplicação de modelamento estatístico dos dados obtidos para identificação de possíveis impactos potenciais da atividade de perfuração exploratória em águas rasas.



(Figura 1- A) Mapa de localização da área em estudo, plataforma externa adjacente ao estado do Rio Grande do Norte. (B) Malha amostral da coleta de sedimentos.

1.3-Trabalhos pretéritos

Diversos trabalhos foram realizados sobre estudos de impactos relacionados a atividades de perfuração em ambientes bentônicos. Entre estes podem ser citados: Daan e Mulder, 1993; Olsgard e Gray, 1995; Kennicutt *et al.*, 1996; Neff *et al.*, 2000 e Breurer *et al.*, 2004. Entretanto, a maioria desses estudos anteriores foram concentrados em impactos ambientais a longo prazo, da produção do Atlântico Norte e mar do Norte, no estudo de investigação dos fluidos de perfuração (Naf, tipo I e óleo mineral tipo II). Todos esses trabalhos diz respeito a análises abrangentes dos efeitos da exploração de petróleo e gás (produção *offshore* sobre a comunidade bentônica). Muitos desses trabalhos realizaram análises, sedimentológicas, biológicas e estudos estatísticos na região do Mar do Norte.

Entretanto, o primeiro Monitoramento Ambiental realizado em regiões marinhas de perfuração no Brasil, iniciou em 1998, na Bacia de Campos, com o projeto

Monitoramento Ambiental em Atividades de Perfuração - MAPEM). Embora a Petrobrás desde a década de 70, desenvolva estudos nesta área, as atividades iniciaram apenas na década de 90. O MAPEM teve como objetivo fornecer dados essenciais para a validação dos modelos em água rasa e profunda continental, analisar os efeitos ambientais decorrentes de descargas de cascalhos, impregnados com fluidos não aquosos de nova geração, utilizado em perfurações marítimas tanto para ambiente de água rasa, como de água profunda, bem como, a coleta de dados essenciais para estabelecer os tipos de biota que vivem nestes ambientes, o tipo, e grau de impacto sobre estas comunidades, bem como a velocidade de recuperação da comunidade (Toldo, 2010).

A preocupação deste estudo foi à compreensão de quais foram às alterações ambientais causadas pela perfuração para isso as análises sedimentares geraram informações sobre a composição granulométrica, teor de carbonato biogênico e carbono orgânico total, e composição mineralógica (argilo-minerais). Essas variáveis comparadas a variação espacial e temporal permitiu compreender como o substrato marinho reagiu às atividades de perfuração (Fornari, 2005).

O plano de amostragem foi desenvolvido com base em 54 estações, distribuídas na forma de uma malha concêntrica radial, sendo 06 amostras de sedimentos coletadas em círculos a 50 m e 100 m a partir do poço de perfuração, e outras 12 amostras coletadas em círculos a distâncias de 150 m, 300 m e 500 m. Adicionalmente, 06 amostras foram coletadas a uma distância de 2.500 m da área de perfuração. Com os objetivos propostos e métodos de trabalhos empregados, o projeto MAPEM constituiu-se em um dos mais intensivos levantamentos de estudos ambientais do fundo do mar já empreendidos na margem continental brasileira (Fornari, 2005).

Como resultado do MAPEM (Correa *et al.*, 2009) descrevem a composição sedimentar do fundo marinho na Bacia de Campos, em torno de 900 m de profundidade, enquanto (Correa *et al.*, 2010) descreve os efeitos da perfuração do substrato oceânico, no talude continental superior, em profundidades de 200 m.

2-Contexto geológico

2.1 - Margem Atlântica Equatorial

A Bacia Potiguar localiza-se no extremo leste da Margem Equatorial Brasileira, (Figura 2.1) compreendendo um segmento emerso e outro submerso. Distribui-se em sua maior parte no Estado do Rio Grande do Norte e parcialmente no Estado do Ceará.

A Margem Atlântica Equatorial se formou em três eventos distensivos durante o Mesozóico. No Neotriássico, o Pangea passou a experimentar esforços distensivos em partes do seu interior e estes eventos na América do Sul foram materializados por soerguimentos com magmatismo associado e instalação de junções tríplices, resultando na formação do Oceano Atlântico Central. O Oceano Atlântico Equatorial evoluiu a partir de três episódios distensivos, com formação de três conjuntos de bacias sedimentares e evolução separada no tempo e espaço. O primeiro episódio de fragmentação está relacionado à formação do Oceano Atlântico Central e o segundo, vincula-se aos processos distensivos que geraram o oceano atlântico e as bacias sedimentares: de Marajó, Bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova; e o terceiro está relacionado à evolução do processo de abertura do Oceano Atlântico Equatorial a partir do extremo leste da Placa Sul-Americana, com sentido de movimentação de SE para NW, e formou as bacias Potiguar, Ceará, Barreirinhas e Pará-Maranhão, culminando com a ruptura continental (Soares *et al*,2008).

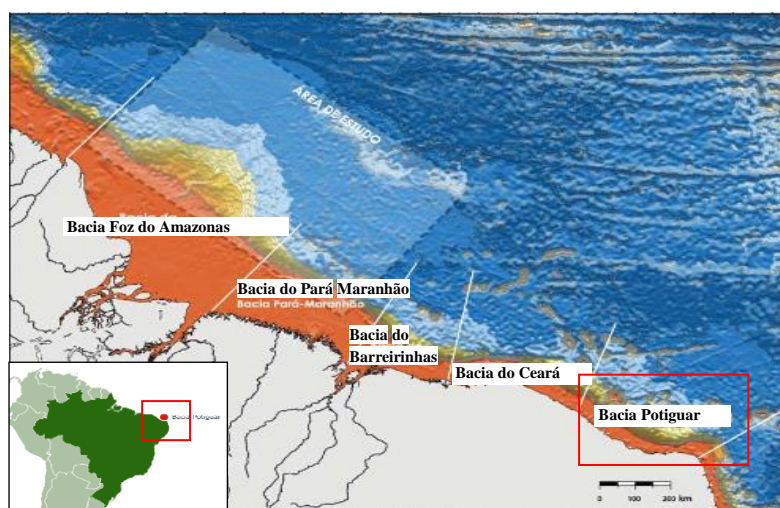


Figura 2.1-Mapa regional da margem equatorial brasileira com a localização da Bacia Potiguar (Smith e Sandwell,1997).

2.2- Bacia Potiguar

A Bacia Potiguar está localizada na porção mais oriental do nordeste do Brasil, abrangendo em suas porções emersa e submersa, parte dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará (Souza, 1982; Matos, 1987, 1992) e suas respectivas plataformas continentais. Esta bacia compreende uma área de 49.000 km² inserida em parte dos estados do Ceará e do Rio Grande do Norte. Dessa área, 26.500 km² encontra-se em porção submersa e 22.500 km² correspondem à porção emersa. Esta bacia se enquadra no grupo das bacias meso-cenozóicas que formam a província costeira de margem continental brasileira, constitui uma das regiões sismicamente mais ativas do Brasil (Matos, 1987, 1992; Assumpção, 1992; Cremoni, 1995; Oliveira *et al.*, 1996; Ferreira *et al.*, 1998). A bacia se limita a sul, leste e oeste com rochas do embasamento cristalino, ao norte com o oceano atlântico e a noroeste com a Bacia do Ceará (Figura 2.2).

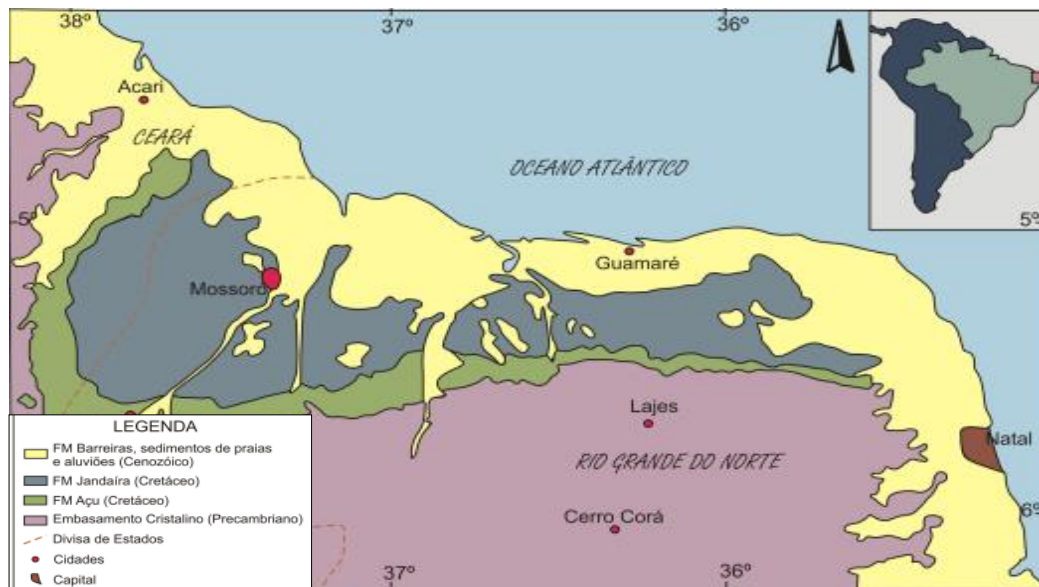


Figura 2.2- Mapa de localização da Bacia Potiguar modificado de Farias *et al.*, 1990.

2.3-Arcabouço Estrutural e Sedimentar

Variações no regime tectônico que atuaram na formação da margem atlântica equatorial produziram embaciamento com arcabouço estruturais conhecidos: Sistema de *riftes* do nordeste (Matos, 1992). A Bacia Potiguar está relacionada a este sistema e sua evolução iniciou no Neocomiano em fases distintas: *Rifte*, *Pós-rifte* e *Drifte* (Bertani *et al.*, 1990). A porção da plataforma continental apresenta composição sedimentar heterogênea que iniciou desde o Neocampaniano com sistemas deposicionais

siliciclásticos que predominam na área proximal da bacia e depósitos carbonáticos na borda da plataforma (Pessoa Neto *et al.*, 2007; Vital *et al.*, 2008).

A sequência do Cretáceo Superior é recoberta por uma sequência terciária clástica e carbonática (Formação Tibau, Guamaré e Ubarana). Também são caracterizadas rochas vulcânicas associadas à Formação Macau, depositadas entre o Eoceno e o Oligoceno (Mizusaki, 1989; Bertani *et al.*, 1990), e feições ígneas em águas profundas.

O arranjo estrutural da bacia é decorrente dos falhamentos normais ocorridos durante o Cretáceo Inferior, quando se desenvolveu o *rifte* que precedeu a abertura do oceano atlântico (Souza, 1982). A porção emersa é constituída basicamente por três elementos principais: grabens, altos estruturais e plataformas rasas (Bertani *et al.*, 1990). As reativações tectônicas durante o Cretáceo Superior (Mesocampaniano) ocorreram associadas com o soerguimento da bacia e com a implantação de esforços distensivos de direção E-W. As reativações que ocorreram no Cretáceo foram as mais intensas e produziram na bacia uma ampla reestruturação nas porções imersa e emersa (Cremonini, 1993). Os principais lineamentos estruturais (Figura 2.3) são as falhas de Areia Branca, Afonso Bezerra, Carnaubais e Ubarana. Associadas a elas destacam-se o Alto de Touros, o de Mossoró, o de Caponga-Aracatí e o Alto de Macau. Outros elementos estruturais importantes são o “*graben*” de Umbuzeiro e o bloco baixo da falha de Ubarana, onde se encontram as maiores espessuras de rochas sedimentares (Souza, 1982).

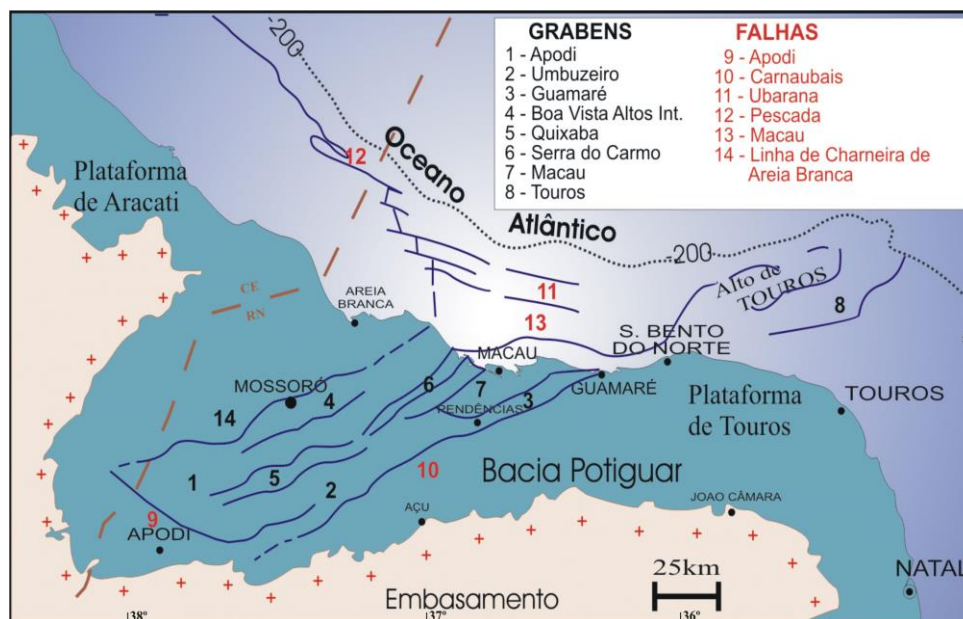


Figura 2.3: Arcabouço estrutural da Bacia Potiguar (RN/CE). Modificado por Bertani *et al.* 1990

2.4- Plataforma Continental

As plataformas continentais são províncias compreendidas entre a linha de costa e o talude continental. Esta, por sua vez, possui características próprias de acordo com a variação da sua profundidade, ocasionando processos diferenciados ao longo desta, tornando-se necessário, portanto dividi-la em três regiões: interna, média e externa. De acordo com Nittrouer e Wright (1994) e Wright (1995), a plataforma interna esta relacionada com as zonas costeiras, principalmente com a zona de surf, visto que ocorrem controles com as forças hidrodinâmicas que regem esses sistemas. De acordo com Wright (1995) essa região une a zona marginal às plataformas média e externa ao oceano profundo. O mesmo autor explicita que o transporte que ocorrem na plataforma interna é mais intenso do que nas outras regiões devido à profundidade do leito marinho, o qual é constantemente resolvido pela ação efetiva das ondas.

De acordo com Gomes e Vital (2010) a plataforma continental do Rio Grande do Norte na Bacia Potiguar é estreita (em média 40 a 60 km de largura) e rasa, com limite externo em torno de 50-60 m de profundidade. A plataforma se divide em plataforma interna, média e externa de acordo com a geomorfologia e sedimentologia estudada na região (Figura 2.4).

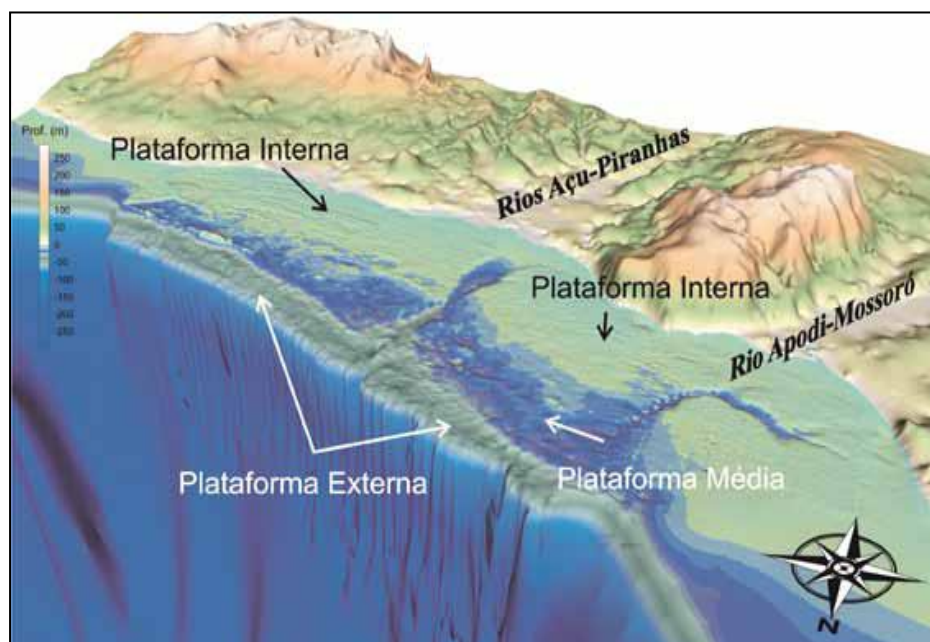


Figura 2.4: Compartimentação da plataforma continental (Gomes e Vital, 2010)

A plataforma continental do Rio Grande do Norte é subdividida em: plataforma interna - limitada pela isóbata de 15 m com relevo suave envolvendo extensos campos de dunas longitudinais, com predominância de sedimentos siliciclásticos; a plataforma média - limitada entre as isóbatas de 15 m e 25 m, caracterizada pela ocorrência mista de sedimentos e dunas transversais, a plataforma externa é estreita com declividade superior à da plataforma média e limita-se entre as isóbatas de 25 m até 40 m de profundidade. O limite entre a plataforma média e externa é bem marcado, na porção central desta plataforma, por uma extensa linha de antigas rochas praias. Essa região de plataforma externa apresenta predominância de sedimentos bioclásticos e proeminentes desníveis batimétricos (Vital *et al.*, 2008; Gomes e Vital, 2010).

A sedimentação nas plataformas continentais atuais resultam da interação de diversos fatores que englobam a dinâmica deposicional, os quais segundo (Johnson e Baldwin, 1996), podem ser controlados pela natureza, tipos e volume de sedimentos introduzidos no ambiente, pelos efeitos oscilatórios do nível do mar e, pelos processos dinâmicos do transporte e retrabalhamento dos depósitos. Estes mesmos autores citam ainda, que alguns fatores secundários influenciam a sedimentação tais como: clima, fatores biológicos, fatores químicos. De acordo com Swift e Thorne (1991) os processos dinâmicos que controlam essa sedimentação são determinados pelas variáveis: taxa do aumento relativo do nível do mar; tipo de sedimento; força do fluido; taxa de transporte de sedimentação; taxa de entrada de sedimento. Essas variáveis interagem ao longo do tempo geológico e resultam na produção de um perfil de equilíbrio e na determinação das fácies, tanto na organização interna como na distribuição das mesmas.

A plataforma continental do Rio Grande do Norte é caracterizada como uma plataforma mista apresentando a transição de um sistema predominantemente siliciclástico na plataforma interna, carbonato-siliciclásticos na plataforma média, para predominantemente carbonáticos na plataforma externa. (Pessoa Neto, 2003; Vital *et al.*, 2005, 2008).

Vital *et al.*, 2005 realizaram trabalhos de análise Sedimentológica ao longo da plataforma interna setentrional entre Guamaré e Macau. Foram reconhecidas 16 fácies distintas. Entretanto apenas dez foram evidenciadas na carta da plataforma continental entre Guamaré e Macau.

Devido à fraca contribuição terrígena e o clima tropical, uma importante sedimentação de carbonatos biogênicos domina boa parte da plataforma média e toda a plataforma externa. Uma plataforma estável, pouco profunda e pouco influenciada pela corrente sul equatorial, com estabilidade salina, temperatura e transparência das águas, reúne condições favoráveis para o desenvolvimento da vida vegetal, principalmente as algas calcárias (Mabesoone *et al.*, 1972; Summerhayes *et al.*, 1975). Em contraste com outras plataformas tropicais, com a presença de corais e ausência de sedimentos, oólitos e outras formas de carbonatos.

Os sedimentos carbonáticos são dominados por algas calcárias recentes sendo que as coralinas ramificadas e *Halimeda* são predominantes em toda área. A maioria dos corais observados na plataforma externa aparentam ser reliquiais, enquanto que os da plataforma média são mais recentes. O limite entre os sedimentos e as areias terrígenas da plataforma externa é frequentemente abrupto. Alguns dos sedimentos consistem quase exclusivamente de restos de organismos, podendo também estar presentes pequenas quantidades de areia calcárias relíquias. A grande maioria destes sedimentos são palimpséticos, com mesclas de organismos. De modo geral, os sedimentos ricos em carbonatos contêm grande quantidade de foraminíferos bentônicos. *Archais angulatas* são as mais abundantes nos sedimentos grossos, as *Amphistegitia radiais* predominam nos sedimentos mais finos, já que estes sedimentos não contêm oólitos e outros precipitados quimicamente e apresentam poucos corais (Mabesoone e Tinoco, 1967).

2.5– Caracterização da área em estudo

A margem continental do Nordeste do Brasil foi compartimentada de acordo com Martins e Coutinho (1981) em setentrional (do Delta do Parnaíba e cabo do calcanhar), e oriental (trecho entre Delta do Parnaíba a Belmonte). A área em estudo esta inserida na porção setentrional do estado do RN na plataforma externa.

Na porção setentrional do RN o relevo é constituído de superfícies relativamente planas, alternadas com fundos ondulados, campos de dunas subaquosas de características irregulares de recifes de algas. A plataforma estreita e rasa favorece, ao mesmo tempo, a diminuição das correntes de maré e o aumento das correntes costeiras sobre o litoral. A constância dos ventos alísios de sudeste, o clima semi-árido com drenagem pouco expressiva e a aproximação do eixo da Corrente Costeira Norte

Brasileira, segundo Palma (1979), contribuiu para a regularização do litoral. Essas condições favorecem o desenvolvimento da sedimentação carbonática típica da área, a qual contrasta com o setor norte, onde predomina a sedimentação terrígena. De modo geral, o relevo da plataforma é dominado por superfícies relativamente planas, alternadas com fundos ondulados, campos de dunas de areias e feições irregulares típicas dos recifes de alga coralinas. As formações bioconstruídas predominam na plataforma externa, embora apareçam também na parte interna. O desenvolvimento dessas formações biológicas é favorecido pela quase total ausência de sedimentação terrígena, consequência do clima semi-árido da região costeira adjacente. Outra feição típica na região (localizada na interface entre a plataforma média e externa (Vital *et al.* 2008, 2010; Gomes e Vital, 2010) são as linhas de arenitos de praia (*beach rocks*) que apresentam um desenvolvimento máximo a partir do cabo do Calcanhar em direção ao sul. Na borda da plataforma continental, podem ser observadas estruturas sedimentares de origem deltaica e zonas de abrasão ativa, formadas durante o Pleistoceno.

O clima em parte semi árido do continente, resultando num baixo fornecimento de material terrígeno para a plataforma, aliado às condições de alta salinidade, alta temperatura e transparência das águas da corrente sul equatorial, favorecem o crescimento de intensa vida vegetal, principalmente algas calcárias, até as profundidades de quase 100 m. Na costa do estado do Rio Grande do Norte, em função das condições acima expostas, são encontradas basicamente três coberturas sedimentares, onde a delimitação dessas fácies baseou-se principalmente em sua composição, (porcentagem de componentes bióticos e de carbonato de cálcio). De acordo com (Mabesoone *et al.*, 1970) , fácies de algas calcárias inicia-se entre as isóbatas de 12 a 15 metros da plataforma interna e estende-se até a plataforma externa. De acordo com este mesmo autor, esta fácies ocupam quase totalmente o restante da plataforma continental, aproximando-se até a quebra do talude continental, nas isóbatas de 70 e 80 metros. Essa fácies caracteriza-se por uma mescla biogênica/ biodetrítica, em sua maior parte (90 a 100%), é composta por fragmentos de algas calcárias. O estudo da plataforma continental do Estado do Rio Grande do Norte apresenta uma predominância de sedimentação carbonática sobre a terrígena. Tal fato se explica pela pequena contribuição continental, em uma plataforma estável, pouco profunda, e com águas limpas, quentes e moderadamente salinas, favorecendo o desenvolvimento de organismos produtores de carbonato. O conteúdo biótico caracteriza-se por algas

coralinas incrustantes ramificadas, responsáveis pelo alto teor de carbonato nos sedimentos.

Trabalhos mais recentes (Vital *et al.*, 2005, 2008, 2010; Gomes e Vital, 2010) afirmam que a região em estudo é mista com sedimentos de origem bioclástica e siliciclásticos. Os cascalhos carbonáticos, bioclásticos e areias muito grossas relacionadas com o crescimento de algas coralinas ramificadas dominam a plataforma externa (Figura 2.5). No desenvolvimento *in situ* de rodolitos produz uma fracção grossa de tamanho consistente. Halimeda (um gênero de algas verdes) e diferentes tipos de moluscos também são comuns, mas contribuem com quantidades variáveis de grânulo de areia. Foraminíferos bentônicos, ostracodes, gastrópodes e bivalves ocorrem em menor número (Testa; Bosence, 1998, 1999; Tabosa, 2006). A maior parte do carbonato apresenta algum grau de reformulação, e é composto por misturas de organismos recentes e reformulados (Vital *et al.*, 2008).

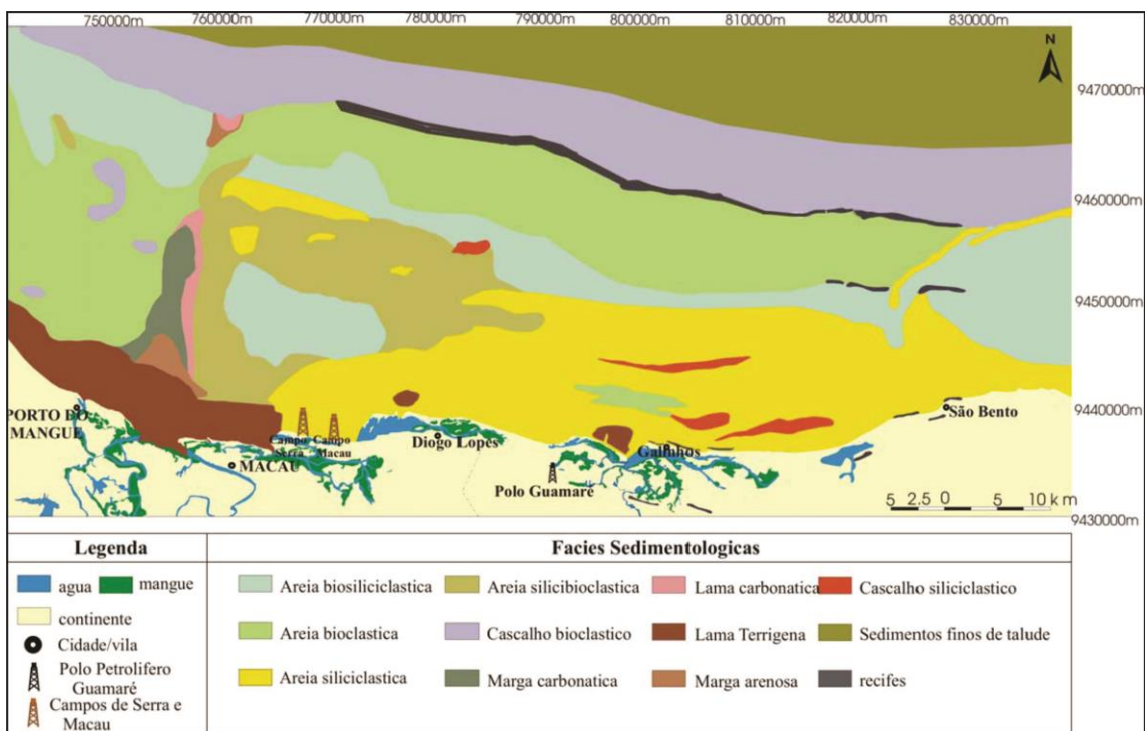


Figura 2.5.- Representação das litofácies na plataforma continental do Rio Grande do Norte.

(Vital *et al.*, 2008).

3-Materiais e Métodos

3.1-Aquisição de dados

A sistemática metodológica consistiu das seguintes etapas: 1) Etapa de gabinete (compilação de dados); 2) Etapa de campo (coleta de amostras); 3) Etapa de laboratório (análise das variáveis de carbonato de cálcio, matéria orgânica, cascalho, areia, lama e composição mineralógica), análise estatística e análise sedimentológica e 4) Etapa final (integração dos dados e elaboração de dissertação). A sequência destas etapas, destacando suas atividades mais relevantes, pode ser visualizada no fluxograma (Figura 3.1).

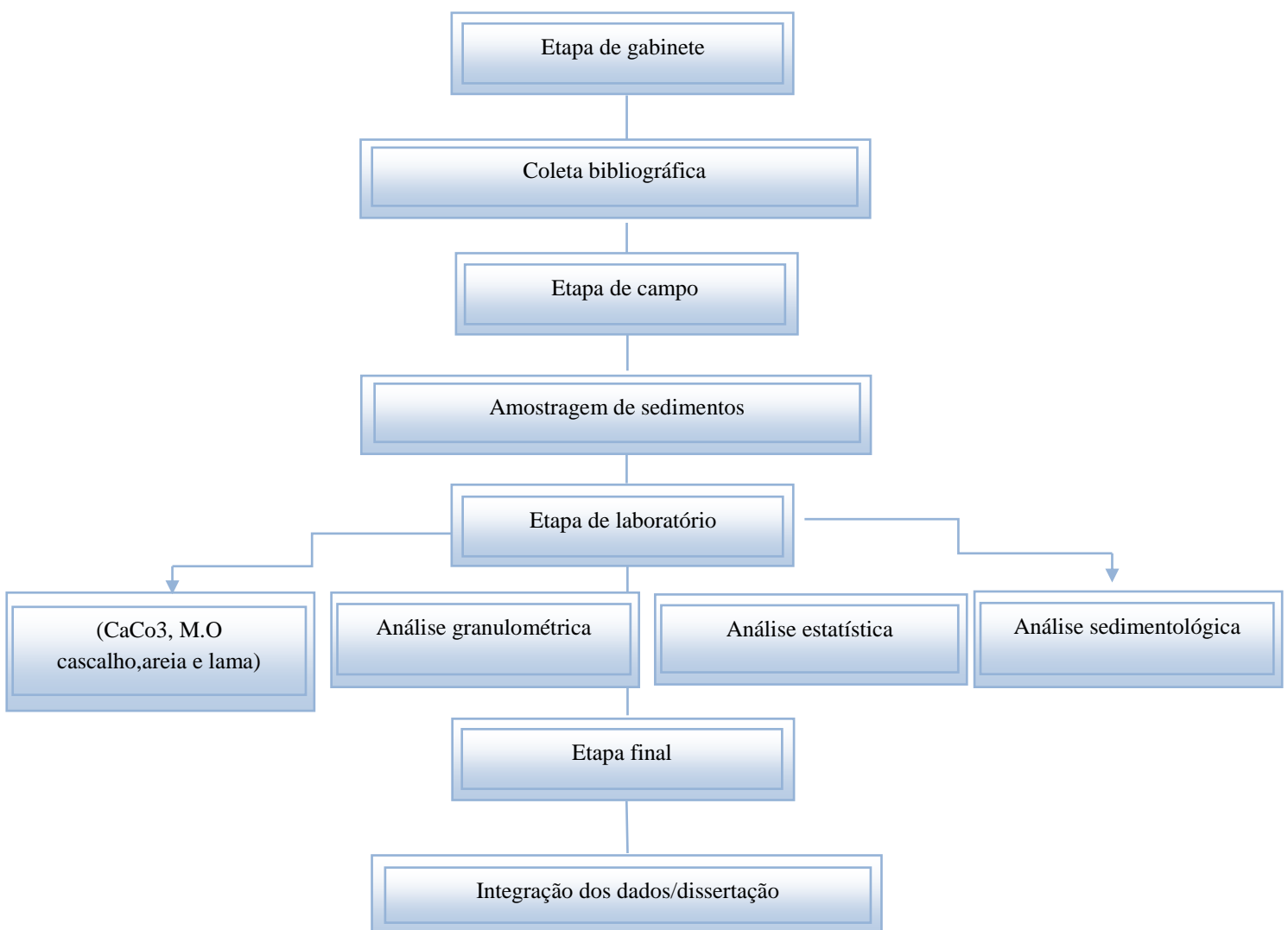


Figura 3.1- Fluxograma das atividades realizadas.

3.1.1- Etapa de gabinete

Pesquisas bibliográficas foram realizadas com o objetivo de subsidiar a caracterização da área em estudo. Com esta finalidade foi feito um levantamento de trabalhos que englobasse o tema principal, bem como trabalhos que pudessem contribuir diretamente ao tema em estudo. Foram consultados teses, dissertações, artigos e revistas científicas para a compilação de dados que auxiliassem o acervo de informações e no entendimento da pesquisa. Foram catalogados trabalhos que envolvessem os temas relacionados a este trabalho, tais como: aspectos geológicos, estatísticos, sedimentares, biológicos, ambientais no Brasil e no mundo para que auxiliassem na fundamentação teórica do presente trabalho.

3.1.2- Etapa de Campo

As amostras utilizadas neste estudo foram cedidas pela PETROBRAS (UO-RNCE) através do projeto Avaliação da Sedimentologia nas Bacias Potiguar e Ceará (PETROBRAS/UFRN). De acordo com o relatório de bordo, a coleta de amostragem de sedimento de fundo foi realizada a bordo da embarcação R/V Luke Thomas em torno de um poço de perfuração localizado na Bacia Potiguar na porção *offshore* adjacente ao estado do Rio Grande do Norte, a uma profundidade de aproximadamente 53 m. O estudo de monitoramento consistiu na realização de três campanhas de amostragem: uma anterior a perfuração (Pré-perfuração -C1) realizada em julho de 2009; a segunda realizada 3 meses após a perfuração (Pós-perfuração -C2) em maio de 2010, e a terceira campanha realizada um ano após a perfuração (Pós Perfuração - C3) em janeiro de 2011.

A amostragem foi realizada, em triplicata, em 16 estações de amostragens distribuídas em quatro círculos concêntricos ao redor do poço selecionado, com raios de 50 m, 100 m, 250 m e 500 m, sendo um dos raios de coleta orientados segundo o eixo principal da corrente local (Figura 3.2). As amostras foram coletadas com um amostrador pontual tipo *Van Veen* com capacidade de 231 litros (Figura 3.3), em intervalos de (0-2 cm) e (0-10 cm). Ao total foram coletadas 288 amostras durante as três campanhas de amostragem.

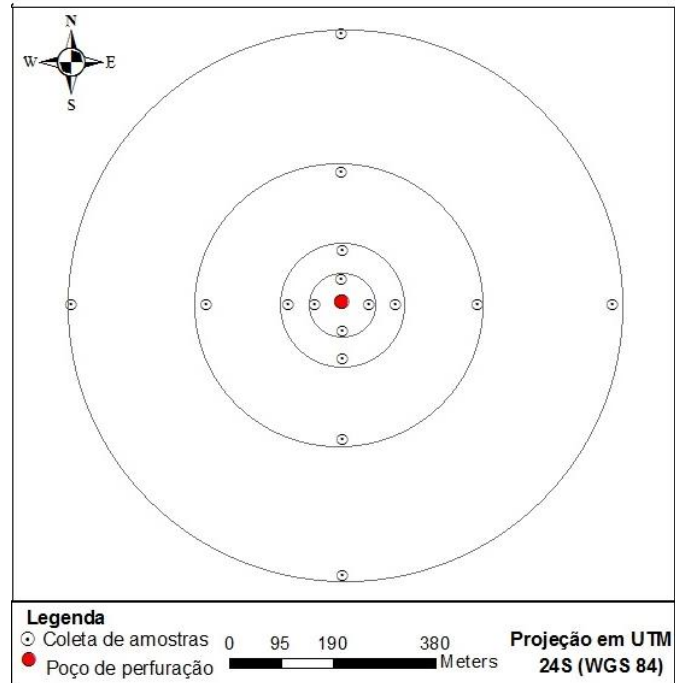


Figura 3.2- Malha amostral da coleta de sedimentos na área de estudo para as três campanhas realizadas (C1, C2 e C3) nos intervalos de 0-2 cm e 0-10 cm.

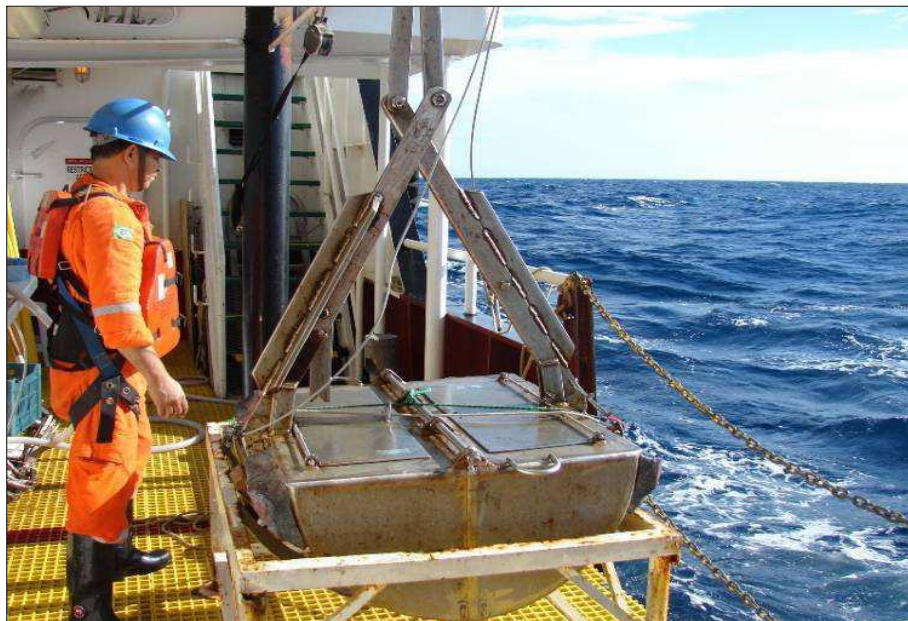


Figura 3.3- Amostragem de sedimentos durante a pós-perfuração através da *Van Veen* com capacidade de 231 litros. Fonte: Relatório de Monitoramento Ambiental BM-POT-11, Bacia Potiguar-RN- PETROBRAS,2011.

A malha amostral em círculos concêntricos teve como objetivo avaliar de forma mais eficiente a extensão do impacto do descarte de cascalho de perfuração na área monitorada. Os pontos mais próximos em torno do poço (50 m e 100 m) foram estabelecidos para garantir a detecção da influência do cascalho de perfuração na região mais próxima do poço, caso houvesse algum desvio na direção de deposição do cascalho de perfuração, considerando as limitações reportadas para modelos hidrodinâmicos. Os pontos mais distais (250 m e 500 m) foram propostos para a verificação de interferência do cascalho em uma região relativamente mais distante, bem como identificar um possível gradiente de influência da dispersão do cascalho de perfuração.

3.1.2.1- Etapa de perfuração

Durante a fase de perfuração do poço na área em estudo foi utilizado dois tipos de fluido o de base aquosa (fases 1 a 4) e o sintético usado apenas na fase 5. Este por sua vez foi perfurado em 5 fases, estas fases dependem do tamanho da broca utilizada durante a atividade perfuração.

Na fase 1 o descarte de cascalho de perfuração foi posto no fundo marinho em torno do poço. Foi descartado 80 m³ de cascalho. Nesta fase não foi instalado o *riser* (Figura 3.4a). Com isso a rocha triturada, coletivamente denominada de cascalho, de perfuração independente do tamanho do grão, foi lançada diretamente do assoalho oceânico para cima, (fluxo ascendente) se acumulando no entorno do poço. Após a instalação do *riser* (Figura 3.4b), o descarte ocorreu da unidade operacional para dentro da coluna d'água (fluxo descendente). Nas demais fases (II a V) o cascalho de perfuração gerado foi estocado na sonda de perfuração e posteriormente, descartado em local com lâmina d'água de 1500 m, já que o IBAMA não permite descartar cascalho de perfuração em ambientes rasos (< 60 m).

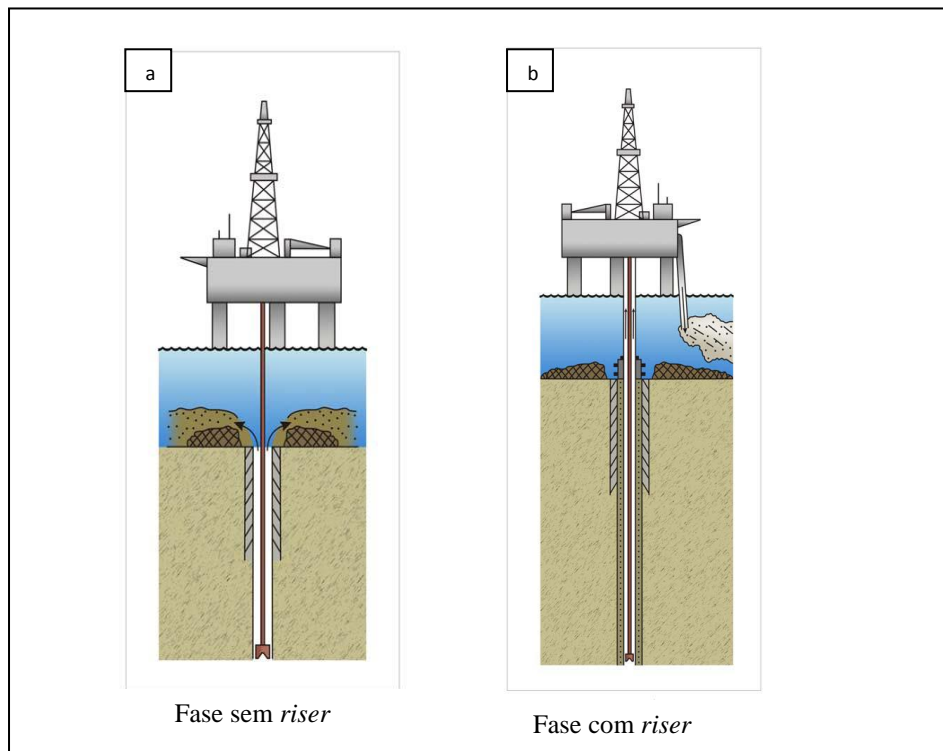


Figura 3.4-Representação gráfica das fases de perfuração de um poço. a) Fase sem riser. b) Fase com riser. Fonte: Relatório de Monitoramento Ambiental BM-POT-11, Bacia Potiguar-RN- PETROBRAS,2011.

3.1.3- Etapa de Laboratório

As análises de (teor de carbonato e matéria orgânica) foram realizadas no Laboratório de Análise Ambiental, Museu Câmara Cascudo (LAA-MCC)) e as análises granulométricas foram desenvolvidas no laboratório de Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental (GGEMMA) e no laboratório de Geografia e Física (LabGeoFis) todos localizados na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

3.1.3.1- Conteúdo de carbonato de Cálcio (CaCO_3) e Matéria Orgânica.

Para a quantificação do teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) (Figura 3.5A) foram retiradas 10 gramas de cada amostra, para ambas as camadas (0-2 cm e 0-10 cm). Posteriormente estas amostras foram atacadas com ácido clorídrico (HCl), diluído a 10%, para a eliminação do teor de carbonato presente em cada amostra. Após estes

procedimentos, cada amostra foi pesada em balança digital analítica (Tecnal B-TEC-210A) com sensibilidade de 0,0001g . O valor do carbonato de cálcio foi determinado pelo método de diferença de peso.

Para a determinação do teor de matéria orgânica (Figura 3.5B) foram retiradas 10g de cada amostra, para ambas as camadas (0-2cm e 0-10cm). Posterior a pesagem foram colocadas em cadinhos de porcelana, e submetidas a altas temperaturas (600° C), em forno elétrico tipo mufla (marca Fornitec, 20 ampere, 4,4kw, 220V), com faixa de ajuste de 100° C a 1.200° C. A quantificação da matéria orgânica foi obtida através da diferença do peso inicial (10g) e peso final de cada amostra.

3.1.3.2- Análises granulométricas

No Laboratório de Geografia Física (LabGeoFis) as amostras foram novamente submetidas à secagem na estufa a uma temperatura de 60°C para eliminação da umidade residual. Após a secagem se pesou 100 gramas de cada amostra com a balança analítica digital (modelo B-TEC-210A da Tecnal). Em seguida houve a separação de frações maiores que 0,062 mm (peneiramento a seco) em agitador eletro-magnético (marca Produtest) de acordo com a metodologia descrita por Folk (1968). Posteriormente as amostras foram separadas, pesadas e identificadas de acordo com a fração granulométrica correspondente.

Para a análise granulométrica as frações maiores que 0,062 mm foram separadas por peneiramento a seco em agitador eletro-magnético (marca Produtest), com peneiras de diversas aberturas de malha (4mm, 2mm, 1mm, 0,500mm, 0,250mm, 0,125mm, 0,062mm e <0,062mm), seguindo metodologia descrita por Folk (1968). A duração de vibração para cada bateria foi de no máximo 20 minutos, a uma potência de vibração (reostato) de seis pontos. O equipamento (granulômetro a laser Cilas) tem o objetivo de processar os dados e determinar a fração granulométrica do material a ser analisado (Figura 3.5 C).



Figura 3.5- Etapas de laboratório. A)Análise do teor de carbonato. B)Teor de matéria orgânica. C) Granulômetro a laser Cilas 1180.

3.1.3.3-Análises Estatísticas:

As análises estatísticas foram realizadas para cada estação durante três campanhas e amostradas em três locais (triplicatas), totalizando, portanto seis amostras por estação. Essas amostras foram analisadas individualmente considerando cinco variáveis: carbonato de cálcio, matéria orgânica, cascalho, areia e lama. Essas variáveis foram elaboradas para dados dos intervalos amostrados (0-2 cm e 0-10 cm) considerados separadamente ($n_{0-2cm}=n_{0-10cm}=16$ estações). Para uma investigação detalhada foi necessário comparações estatísticas entre campanhas, pretendendo com isso observar a ocorrência de mudanças composicionais nas estações de coleta entre as três campanhas (C1,C2 e C3), já que diferenças de dados podem ocorrer devido a fenômenos naturais provocados por correntes marinhas, mudanças climáticas, bem como mudanças causadas por ação antrópica, já que a área em estudo foi submetida à atividade de perfuração e o material do fundo no entorno do poço possa provocar mudanças artificiais.

Para as análises estatísticas, o valor utilizado como representativo de cada intervalo em cada estação foi à mediana dos resultados analíticos das triplicatas. As interpretações e representações gráficas estatísticas foram realizadas no ambiente dos *softwares* STATISTICA versão 10.1, SURFER versão 10.0 e no Programa de Planilha Eletrônica Microsoft Office Excel 2010. Para a comparação desses dados entre as três campanhas teve como base o fato que cada ponto de coleta foi amostrado três vezes e com isso resultando em uma estrutura de resultados pareados, portanto cada comparação se baseia nos dados de cada trio de resultados correspondente a cada estação de coleta.

De acordo com essas perspectivas, foram aplicados os seguintes tratamentos estatísticos:

- Análise exploratória – Elaboração de sumário estatístico com as principais estatísticas descritivas: valores mínimos e máximos, médias, medianas, coeficiente de variação e assimetria e suas respectivas representações gráficas (*Box plot*);
- Inferência estatística - Aplicação dos seguintes métodos não-paramétricos: teste de *Kruskal-Wallis (K-W)*. No caso do teste de *Kruskal-Wallis*, este foi subsidiado com o teste de comparações múltiplas. Esses testes foram interpretados admitindo-se como resultado significativo o nível de significância de 5% (0,05 em escala de proporção). Desta forma, para resultados obtidos com valor inferior a 5% (ou seja, $p\text{-valor} < 0,05$) rejeita-se a condição de H_0 (de que os dados testados não diferem entre si), ao passo que se for superior, $p\text{-valor} > 5\%$, aceita-se a condição de H_0 (de que os dados testados diferem entre si). Também, foram construídas matrizes de coeficiente de correlação de *Spearman (r_s)*. Com o objetivo de comparar as possíveis variabilidades nas variáveis de estudo.
- Distribuição espacial - mapas de curvas isovalor.

Ressalta-se, ainda, que a opção pelos testes não paramétricos, expostos anteriormente, se dá pelo fato de que os dados das variáveis em análise apresentarem distribuições predominantemente assimétricas. Analisando os resultados dos dados estatísticos foram observados que em muitos casos em relação às variáveis de estudo os valores de assimetria foram superiores a 1 em valor absoluto, ou seja possui distribuições assimétricas. Este comportamento não uniforme da assimetria recomenda o uso de testes estatísticos não paramétricos para as variáveis de estudo citadas neste trabalho. Justificando, portanto o uso dos testes estatísticos não paramétricos.

Foi utilizada a escala empírica para a análise dos dados estatísticos para os dados de coeficiente de variação: De 0,00%-30,00%: variabilidade baixa; de 30,01%-60,00%: variabilidade média; de 60,01%-100,00%: variabilidade alta; de 100,01%-200,00%: variabilidade muito alta.

3.1.3.4- Difração de Raio-X

As amostras foram analisadas no Departamento de Física Teórica e Experimental (DFTE) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Foram observadas 18 amostras da camada de intervalo de 0-2 cm para as campanhas C1, C2 e C3.

O método utilizado para o estudo de difração de raio X foi o mineralogia total (método do pó). No estudo de agregados policristalinos através desse método a amostra é pulverizada, fixada a um porta amostra por prensagem e/ou colagem e submetida a um feixe de raios-X monocromático. Cada partícula deste pó vai se comportar como um pequeno cristal, com orientação aleatória em relação ao feixe de raios-X incidente. O inconveniente da técnica se deve à sobreposição de reflexões dos componentes, misturando as informações contidas na intensidade e dificultando a análise de um agregado com número excessivo de compostos cristalinos.

O difratômetro (Figura 3.6 A/B) utilizado foi o *Rigaku*, modelo *MiniFlex II*. O detector utilizado é o rápido, do tipo D Tex Ultra. Operando a 30Kv e 15mA e o ânodo da fonte utilizado é de cobre com $K\alpha = 0,1542\text{nm}$ e filtro de Ni. Os parâmetros utilizados para as análises foram $\theta_i = 10^\circ$, $\theta_f = 90/80$, Passo: 0,01 ou 0,05 e Velocidade: 15.

Os arquivos com a extensão *.txt foram transformados em arquivos Philips PC RD (PANalytical binary scan) com extensão *.rd pelo software ConvX. O parâmetro ânodo foi modificado por cobre (Cu), pois foi o utilizado pelo difratômetro na análise. Estes arquivos *.rd puderam então ser importados pelo *software X'Pert HighScore Plus* no qual as amostras foram identificadas mineralogicamente.

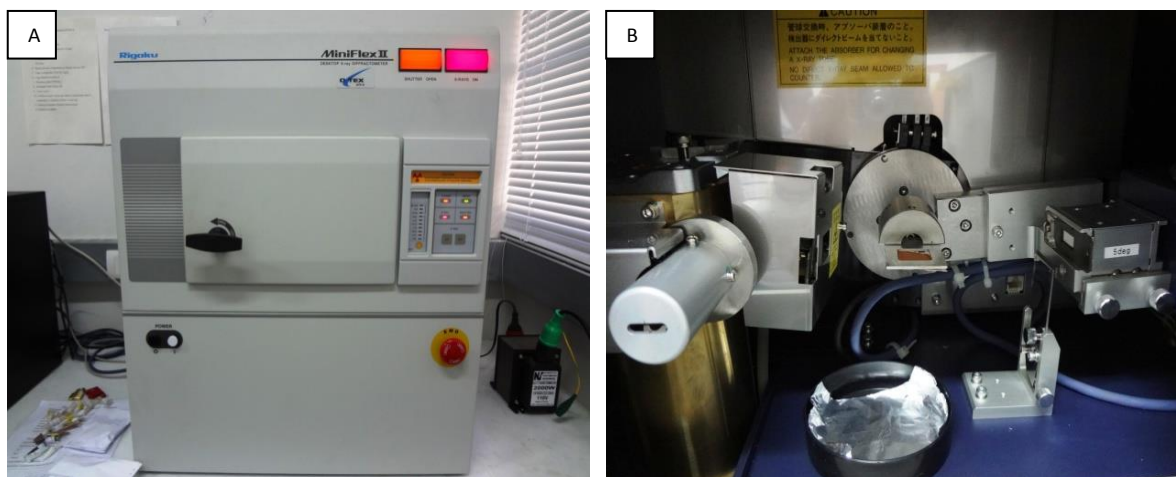


Figura 3.6- A)Difratômetro de Raio X utilizado para análise das amostras. B) Em detalhe, a parte interior do equipamento.

3.1.3.5- Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As mesmas amostras submetidas às análises de difração de Raios-X foram submetidas à Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) observado na (figura 3.7). Dezoito amostras foram analisadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LABMEV) do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMat) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

O MEV é um dos mais versáteis instrumentos disponíveis para a observação e análise de características microestruturais de objetos sólidos. A principal razão de sua utilidade é a alta resolução que pode ser obtida quando as amostras são observadas; valores da ordem de 2 a 5 nanômetros são geralmente apresentados por instrumentos comerciais, enquanto instrumentos de pesquisa avançada são capazes de alcançar uma resolução melhor que 1 nm (Nagatani *et al.*, 1987). Outra característica importante do MEV é a aparência tridimensional da imagem das amostras, resultado direto da grande profundidade de campo. Permite, também, o exame em pequenos aumentos e com grande profundidade de foco, o que é extremamente útil, pois a imagem eletrônica complementa a informação dada pela imagem óptica.

Segundo Kestenbac (1994), seu princípio de funcionamento é semelhante ao de um microscópio ótico tradicional, no entanto os fótons emitidos são substituídos por um feixe de elétrons e lentes eletromagnéticas. Esta utilização de uma radiação com comprimento de onda menor que a luz visível como fonte de iluminação do objeto aumenta consideravelmente a resolução das imagens obtidas.

Ao MEV pode ser acoplado o sistema EDS (Energy Dispersive System), o qual possibilita a determinação da composição qualitativa e semi-quantitativa das amostras, a partir da emissão de raios-X característicos. Quando o feixe de elétrons gerado pelo MEV incide sobre um mineral, os elétrons mais externos dos átomos e os íons constituintes são excitados, mudando de níveis energéticos. Ao retornarem para sua posição inicial, liberam a energia adquirida, a qual é emitida em comprimento de onda no espectro de raios-X. Como elétrons de diferentes átomos possuem energias distintas, a medição desta energia associada ao elétron emitido permite identificar quais os elementos químicos que estão presentes naquele ponto, facilitando a determinação da composição mineral (Reed, 1996).

Neste trabalho através do MEV foi possível identificar a morfologia dos sedimentos das amostras principalmente os bioclásticos.

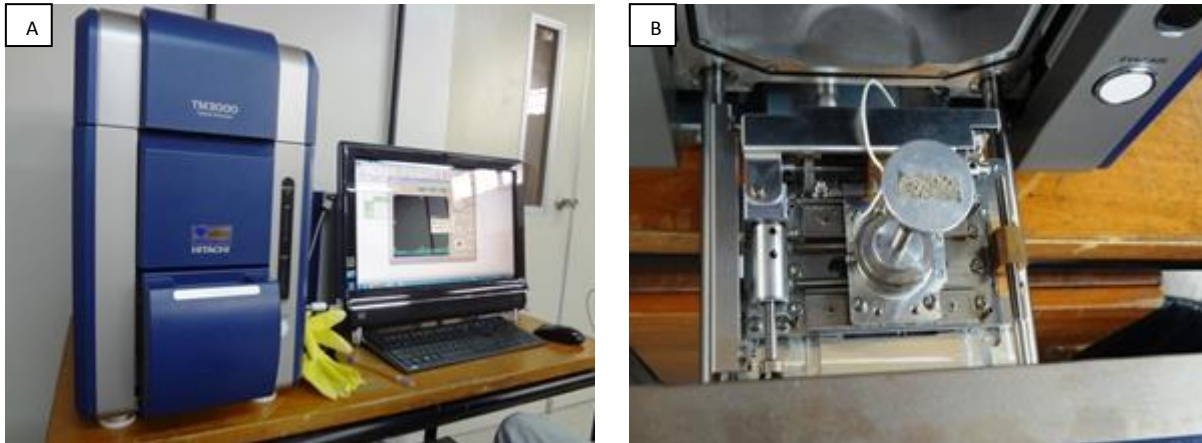


Figura 3.7- A)Microscópio Eletrônico de varredura. B) Detalhe da parte interna do microscópio.

3.1.3.6-Classificação sedimentar

A classificação sedimentar utilizada neste estudo foi a da carta sedimentológica para a plataforma continental brasileira entre Guamaré a Macau (Vital *et al.*, 2005). Este estudo se baseou na classificação de (Freire *et al.*, 1997), entretanto com algumas adaptações para se adequar as características sedimentares da plataforma continental do RN.

A classificação de sedimentos do fundo marinho proposta por (Freire *et al.*, 1997) baseia-se, essencialmente na predominância de depósitos carbonáticos formados por uma mistura de sedimentos de origem biogênica e biodetrítica constituída de fragmentos de foraminíferos, algas calcárias, moluscos, briozoários, equinodermas, em que são representados proporcionalmente de conteúdos percentuais em cascalho (> 2mm), em areia (2mm a 63 μ), e em lama(< 63 μ).

A classificação proposta por (Vital *et al.*, 2005) substitui o termo litoclástico por siliciclásticos. Os demais critérios usados na classificação de sedimento utilizado por (Freire *et al.*, 1997) permanecem inalterados.

3.1.3.7- Mineralogia

Para o estudo de caracterização mineralógica foram analisadas todas as frações da amostra bruta em lupa binocular (Figura 3.8) para todas as amostras e triplicatas coletadas para ambas as camadas de 0-2 cm e 0-10 cm. Foram observados os principais constituintes mineralógicos, a sua disposição durante as três campanhas amostrais (C1, C2 e C3), bem como os aspectos texturais (arredondamento dos grãos e esfericidade Powers, 1953, grau de seleção e classificação sedimentar de acordo com Folk, 1974 e classificação sedimentar seguindo diretrizes de (Vital *et al.*, 2005). Os componentes de origem silicilástica e bioclástica foram estudados de forma qualitativa e foram estabelecidos os percentuais de cada componente observado no estudo mineralógico. Entretanto com essa análise foi possível identificar diferenças e semelhanças relacionadas a composição mineralógica durante as três campanhas de amostragem.

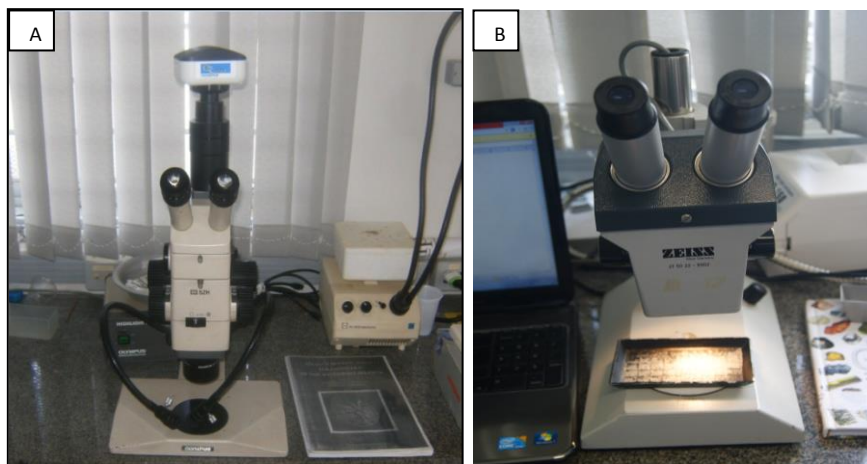


Figura 3.8- A) Lupa binocular usada para análise da mineralogia B) Análise da amostra em lupa binocular.

3.4 - Etapa final – Integração dos dados

Esta etapa metodológica corresponde a integração das análises dos dados granulométricos fornecidos pelo banco de dados gerado pelo laboratório GGEMMA e interpretação de caracterização mineralógica das amostras das campanhas C1, C2 e C3 para os intervalos das camadas de 0-2 cm e 0-10 cm, bem como as análises de difratometria e microscopia eletrônica de varredura para auxiliar nas interpretações sedimentológica dos resultados.

O tratamento dos dados consistiu em um processamento dos resultados fornecidos pelo granulômetro, no software SAG (Dias e Ferraz, 2004), o qual permitiu classificar as amostras de acordo com o diâmetro médio dos grãos, textural de Folk (1974), aspectos texturais (arredondamento dos grãos, esfericidade), além da classificação textural de (Freire *et al.*, 1997), adaptada de (Dias, 1996) e modificada por (Vital *et al.*, 2005).

Com esses dados foi possível realizar a classificação e tabulação dos dados obtidos nas etapas anteriores, os quais possibilitou o tratamento dos dados e foram gerados mapas no *softwares* (Surfer 10, e ArcGis 10). Através do *software* Estatística 10.1 foram confeccionados gráficos do tipo *Box plot* para melhor interpretação dos dados das variáveis estudadas neste relatório (carbonato de cálcio, matéria orgânica, cascalho, areia e lama). Utilizando todos estes programas, foi possível adquirir, armazenar, tabular e manipular e visualizar todos os dados para a integração dos dados obtidos nesta pesquisa, resultando portanto nesta presente dissertação.

4-Resultados e Discussões

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos após processamento dos dados. A caracterização e avaliação temporal dos parâmetros sedimentológicos, em torno de um poço exploratório, localizado na plataforma continental brasileira adjacente a Bacia Potiguar, permitiu o monitoramento da cobertura sedimentar em três campanhas amostrais (C1, C2 e C3), realizadas. Adicionalmente, levando-se em consideração que os mapas faciológicos existentes para essa região são de cunho regional, este estudo permitiu ainda o conhecimento em detalhe das mudanças que podem ocorrer no substrato marinho de uma pequena área na plataforma externa tropical.

4.1-Resultados Estatísticos

4.1.1- Dados Estatísticos - Carbonato de Cálcio

O sumário estatístico em relação aos dados dos teores de carbonato de cálcio nas amostras das três campanhas para os intervalos das camadas de (0-2 cm e 0-10 cm), apresentam valores de mediana similares entre si em termos de comparação entre raios (50 m, 100 m 250 m e 500 m) e intervalos das camadas (0-2 cm e 0-10 cm).

Considerando a totalidade das amostras em cada campanha ($n_{C1} = n_{C2} = n_{C3} = 48$), e analisando a mediana no intervalo de 0-2 cm verifica-se uma variação entre 96,58% a 99,50%. Enquanto para intervalo de 0-10 cm a mediana possui variação entre 97,88% a 99,37%.

Em relação aos valores de coeficiente de variação, estes apresentam baixa amplitude para o intervalo de 0-2 cm (0,56% a 13,30%) e em 0-10 cm (0,55%-18,29%).

Esses dados revelam que a variável carbonato de cálcio não sofreu variações temporais e espaciais durante o monitoramento das três campanhas amostrais (C1, C2 e C3), com exceção de uma leve diminuição na campanha C2, no raio de 50 cm, camada de 0-2 cm. Mostrou uma homogeneidade nos resultados sem grandes oscilações entre os valores dos teores por raios amostrais. O valor de coeficiente de variação relativamente baixo demonstra que no substrato

marinho não ocorreu variações significativas temporais em relação a variável carbonato de cálcio durante a atividade de perfuração em torno no poço na área monitorada para as três campanhas amostrais.

4.1.2- Dados Estatísticos - Matéria Orgânica

Para os valores evidenciados no sumário estatístico dos teores de matéria orgânica nas amostras das três campanhas (C1, C2 e C3) para os intervalos das camadas em (0-2 cm e 0-10 cm), apresentam valores de mediana heterogêneos em termos de comparação entre raios (50 m, 100 m 250 m e 500 m) e intervalos das camadas (0-2 cm e 0-10 cm).

Considerando a totalidade das amostras em cada campanha ($n_{C1} = n_{C2} = n_{C3} = 48$), e analisando a mediana no intervalo de 0-2 cm verifica-se uma variação entre 6,61% a 9,24%. Enquanto para intervalo de 0-10 cm a mediana possui variação entre 6,99% a 8,95%.

Observando o comportamento da distribuição das medianas entre campanha e entre os círculos de raios amostrais percebe-se que há heterogeneidade entre as três campanhas. Os valores da mediana apresentam uma discreta mudança em relação aos teores de matéria orgânica durante C1, C2 e C3 nas camadas de 0-2 cm e 0-10 cm. Em 0-2 cm as medianas aumentam de C1 para C2 e em C3 os teores aumentam gradualmente. Em 0-10 cm as medianas aumentam de C1 para C2, entretanto em C3 os teores mostram-se com valores aleatórios. Ocorre um aumento discreto de C2 para C3 apenas nos raios de 50 m e 250 m.

Os valores de coeficiente de variação e sua baixa amplitude em 0-2 cm (7,59%-19,61%) e em 0-10 cm (6,99%-19,74%) demonstram que o substrato marinho não sofreu variações temporais em relação ao teor de matéria orgânica, já que os valores de coeficiente estão todos na faixa de variabilidade baixa na escala empírica durante a atividade de perfuração, sendo interpretado como um ambiente homogêneo.

4.1.3- Dados Estatísticos - Cascalho

De acordo com os valores obtidos no sumário estatístico e considerando a totalidade das amostras em cada campanha para a variável cascalho ($n_{C1} = n_{C2} = n_{C3} = 48$), e analisando

ambas as camadas percebe-se que a mediana em 0-2 cm varia entre 10,48% a 28,91 % e em 0-10 cm varia entre 11,91 % a 25,52%.

Os valores da mediana apresentaram maiores teores em C1(0-2 cm). Em C2 (0-2 cm) apresentam os menores teores em todos os círculos amostrais. Em C3(0-2 cm) os valores dos teores apresentam-se maiores do que em C2 (0-2 cm).

Para o intervalo da camada em 0-10 cm os valores da mediana apresentam teores maiores em C1 e para C2 apresentam os menores teores, exceto para o círculo de raio amostral (250 m). Em C3 apresentam teores maiores que C2. Observando o comportamento da distribuição das medianas entre campanha e entre os círculos de raios amostrais percebe-se que há heterogeneidade entre as três campanhas. Comparando os valores das medianas em 0-2 cm e 0-10 cm observa-se que há mudanças entre as campanhas em relação à distribuição temporal e espacial.

Os valores de coeficiente de variação apresentam amplitude em 0-2 cm entre (24,80% a 64,64%). Em 0-10 apresentam os valores entre (21,71% a 42,96%) Esses resultados demonstram de acordo com a escala empírica as seguintes variabilidades: baixa (0%-30%), média (30,01%- 60%) e alta (60,01%-100%). Em 0-10 cm a amplitude de coeficiente de variação apresenta percentual entre (21,71% a 42,96%), e de acordo com a escala são: variabilidade baixa (0%-30%) e média (30,01%- 60%). Os resultados obtidos para as camadas 0-2 cm e 0-10 cm indicam que o substrato marinho sofreu variações temporais em relação ao teor de cascalho durante a atividade de perfuração na área em estudo, indicando que essa variável é composicionalmente mais heterogênea que as variáveis de carbonato de cálcio e matéria orgânica.

4.1.4- Dados Estatísticos - Areia

O sumário estatístico dos teores de areia nas amostras das três campanhas para os intervalos em 0-2 cm e 0-10 cm e considerando a totalidade das amostras em cada campanha ($n_{C1} = n_{C2} = n_{C3} = 48$), para ambas as camadas percebe-se que a mediana em 0-2 cm varia entre 63,88% a 88,26% e em 0-10 cm varia entre 67,34% a 87,03%.

Observando o comportamento da distribuição das medianas entre campanha e entre os círculos de raios amostrais percebe-se que há heterogeneidade entre as três campanhas (C1, C2 e C3). Os valores da mediana apresentam um enriquecimento nos teores de C1 para C2 para as camadas (0-2 cm e 0-10 cm). Em C3(0-2 cm e 0-10 cm) os valores das medianas apresentam-se menores do que em C2 (0-2 cm e 0-10 cm).

A areia tem um comportamento em termos de distribuição espacial para o círculo do raio amostral inverso ao comportamento do cascalho. Este comportamento é aceitável, já que entre essas duas variáveis existe correlação forte e inversa. Comparando os valores das medianas em 0-2 cm e 0-10 cm observa-se uma heterogeneidade entre as campanhas em relação à distribuição temporal e espacial dos teores entre campanhas.

Os valores de coeficiente de variação para o teor de areia apresenta baixa amplitude em 0-2 cm (5,87%- 15,91%) e em 0-10 cm (4,58%-13,44%). Esses resultados demonstram que o substrato marinho não sofreu variações temporais em relação ao teor de areia durante a atividade de perfuração, sendo interpretado como um ambiente uniforme e portanto homogêneo para as três campanhas (C1, C2 e C3).

4.1.5- Dados Estatísticos - Lama

O sumário estatístico dos teores de lama nas amostras das três campanhas para o intervalo das camadas de 0-2 cm e 0-10 cm. Considerando a totalidade das amostras em cada campanha ($n_{C1} = n_{C2} = n_{C3} = 48$), e analisando ambas as camadas percebe-se que a mediana em 0-2 varia entre 1,59% a 11,89% e em 0-10 cm varia entre 1,72% a 13,86%.

Observando o comportamento da distribuição das medianas entre campanha e entre os círculos de raios amostrais percebe-se que há diferenças entre as três campanhas (C1, C2 e C3).

Os valores da mediana em 0-2 cm e 0-10 cm apresentam-se bastante aleatórios. Não há um comportamento de distribuição uniforme entre os círculos dos raios amostrais para as três campanhas em ambos os intervalos das camadas (0-2 cm e 0-10 cm).

Os valores de coeficiente de variação para os teores de lama apresentam amplitude em 0-2 cm (15,18% a 100,60%), evidenciando variabilidade baixa (0%-30%), média (30,01%-

60%) e alta (60,01-100%). Os resultados em 0-10 cm (17,15% a 124,28%), demonstram variabilidade baixa (0%-30%), média (30,01%- 60%), alta (60,01-100%) e muito alta (100,01%- 200,00%).

Os resultados obtidos para as camadas 0-2 cm e 0-10 cm indicam que o substrato marinho sofreu variações temporais em relação ao teor de lama durante a atividade de perfuração na área em estudo, sendo interpretado como um ambiente extremamente heterogêneo.

4.1.6 - Testes Estatísticos

Os testes estatísticos realizados nesse estudo (Kruskal-Wallis, comparações múltiplas e Coeficiente de correlação) e os seus respectivos resultados, estão sumarizados na Tabela 4.1 para todas as variáveis (carbonato de cálcio, matéria orgânica, cascalho, areia e lama).

Tabela 4.1- Resultados estatísticos dos testes aplicados nas campanhas de monitoramento (C1, C2 e C3) nos intervalos das camadas de 0-2 cm e 0-10 cm.

Testes	Hipóteses testadas	Resultados
<i>Kruskal-Wallis</i>	H ₀ : As três campanhas (C1, C2, C3) não diferem entre si.	H ₀ é rejeitada para as três campanhas (C1, C2 e C3), exceto para as variáveis carbonato de cálcio (0-2 cm e 0-10 cm), lama de (0-2 cm) .
	H ₁ : Pelo menos uma das três campanhas (C1, C2, C3) diferem entre si.	
Comparações múltiplas	H ₀ : As três campanhas (C1,C2,C3) não diferem entre si	H ₀ é rejeitada para as três campanhas (C1, C2 e C3), exceto para as variáveis carbonato de cálcio (0-2 cm e 0-10 cm).
	H ₁ : Pelo menos uma das três campanhas (C1, C2, C3) diferem entre si.	
Coeficiente de correlação de <i>Spearman</i> (rs)	H ₀ : A correlação entre as duas variáveis (C1, C2, C3) não diferem de 0	H ₀ é rejeitada para as três campanhas (C1, C2 e C3).
	H ₁ : A correlação entre as duas variáveis (C1, C2, C3) é diferente de 0.	

Carbonato de Cálcio

De acordo com os teste de Kruskal para os p-valores em 0-2 cm ($p=0,0544$) e em 0-10 cm ($p=0,3575$) para a variável carbonato de cálcio o teste aceita a hipótese H_0 , ou seja, as três campanhas não diferem entre si, justificando, portanto que entre as três campanhas não há diferenças estatísticas significativas em termos de comparação entre campanhas (mudanças temporais) e nem entre os círculos de raios amostrais (mudanças espaciais).

Em decorrência da complementação dos resultados obtidos no teste de Kruskal foi aplicado entre campanhas o teste de comparação múltipla para identificar quais campanhas difere das outras duas ou mesmo se as três campanhas são distintas entre si. O teste para a variável carbonato de cálcio não identificou diferenças entre as campanhas (C1, C2 e C3) para as camadas de 0-2 cm e 0-10 cm.

Matéria Orgânica

Com o teste de Kruskal-Wallis obteve-se o seguinte resultado para a variável matéria orgânica: os p-valores evidenciam diferenças entre as campanhas (C1, C2 e C3) para ambas as camadas ($p=0,000$) de 0-2 cm e ($p=0,000$) 0-10 cm de acordo com o teste de Kruskal a hipótese H_0 foi rejeitada e, portanto há diferenças entre as campanhas C1, C2 e C3 (0-2 cm e 0-10 cm).

De acordo com o resultado do teste de comparação múltipla existem diferenças estatísticas significativas entre as campanhas C1, C2 e C3 para as camadas (0-2 cm), e C1 e C3 (0-10 cm), entretanto não existe diferença estatisticamente significativa entre C2 e C3 em 0-10 cm.

Cascalho

Com o teste de Kruskal-Wallis obteve-se o seguinte resultado para a variável cascalho os p-valores mostram diferenças entre as campanhas (C1, C2 e C3) para as camadas 0-2 cm ($p=0,0017$) e para a camada 0-10 cm ($p=0,0000$) (C1, C2 e C3) de acordo com o teste de Kruskal a hipótese H_0 foi rejeitada e, portanto há diferenças entre as campanhas C1, C2 e C3.

Analisando as campanhas através do teste de comparação múltipla há diferenças para as campanhas (C1, C2) exceto para C1 e C3 para a camada de 0-2 cm. Entretanto para a camada de 0-10 cm não foi possível detectar diferença estatisticamente significativa entre as três campanhas.

Areia

Com o teste de Kruskal-Wallis obteve-se o seguinte resultado para a variável areia, os p-valores apresentam resultados que evidenciam diferenças entre as três campanhas para ambas as camadas. Em 0-2 cm ($p=0,0045$) e em 0-10 cm ($p=0,0138$). De acordo com o teste de Kruskal há hipótese H_0 foi rejeitada e, portanto há diferenças entre as campanhas C1, C2 e C3.

O teste de comparação múltipla para a camada (0-2 cm) demonstra diferenças entre C1 e C2, entre C2 e C3, entretanto o teste não demonstra diferenças estatísticas significativas entre C1 e C3. Para a camada (0-10 cm) o teste de comparação múltipla evidencia diferenças estatísticas significativas apenas para a camada de C2 e C3.

Lama

Com o teste de Kruskal-Wallis obteve-se o seguinte resultado para a variável lama: Os valores para p-valores demonstram que não há diferenças estatísticas significativas para a camada de 0-2 cm ($p=0,3164$), entretanto para a camada de 0-10 cm para ($p=0,0395$) há diferenças entre as campanhas (C1, C2 e C3).

Analisando os resultados pelo teste de comparação múltipla não demonstrou que há diferenças significativas estatísticas entre as campanhas, não sendo possível detectar diferenças entre as campanhas através desse teste.

Coefficiente de correlação de Spearman (r_s)

Baseando-se nas correlações evidenciadas pela matriz de *Scatterplot* para as três campanhas (C1, C2 e C3) no intervalo da camada de 0-2 cm de acordo com a escala empírica apresentada neste trabalho (no capítulo 3 de metodologia) para os valores de r_s chegou-se aos seguintes resultados: entre carbonato de cálcio e lama há uma correlação fraca e inversa ($r_s = -0,45$). Entretanto, correlacionando à variável carbonato de cálcio com os materiais mais grossos

(cascalho e areia) percebe-se uma correlação fraca. Entre carbonato de cálcio e areia apresentam o valor de ($r_s:0,41$). Entre as variáveis carbonato de cálcio e cascalho correlação fraca e inversa ($r_s = -0,32$)

A correlação entre matéria orgânica e lama é estatisticamente desprezível. Entretanto as correlações entre matéria orgânica e cascalho ($r_s:0,21$) classifica-se como correlação fraca, entre matéria orgânica e areia ($r_s:-0,22$), correlação fraca e negativa. Analisando as variáveis areia e cascalho observa-se uma correlação forte e inversa entre elas ($r_s = -0,92$). A correlação entre areia e lama apresenta-se negativa e moderada ($r_s=-0,56$).

De acordo com estudo de correlação de *Spearman* e os valores expressos de r_s para o intervalo da camada em 0-10 cm para as três campanhas de monitoramento (C1, C2 e C3) observa-se uma correlação moderada e inversa entre as variáveis carbonato de cálcio e lama ($r_s = -0,53$), mostra que o material carbonático presente nos sedimentos de fundo marinho não estão associados aos materiais granulometricamente mais finos.

Analisando a correlação do carbonato de cálcio (0-10 cm) com os materiais granulometricamente mais grossos (cascalho e areia) essa comparação não está bem definida, já que a correlação do carbonato com a areia é fraca ($r_s:0,44$). Pode ser observada a correlação fraca e positiva entre matéria orgânica e cascalho ($r_s:0,34$), e entre matéria orgânica e areia ($r_s:-0,34$), negativa. Correlação entre matéria orgânica e carbonato de cálcio ($r_s:-0,25$) fraca e inversa.

Entre as variáveis de areia e cascalho, observa-se uma correlação forte e inversa ($r_s = -0,86$). Na medida em que os valores para a variável cascalho crescem implicam no decréscimo nos teores de areia, resultando em uma correlação forte, entretanto, inversa entre essas duas variáveis. Analisando as correlações entre areia e lama verifica-se correlação negativa e moderada ($r_s=-0,59$).

4.2- Mapas de curvas de isovalor

Carbonato de Cálcio

Para uma melhor visualização da distribuição do carbonato de cálcio na área estudada foi confeccionado o mapa dos teores em relação à média das triplicatas (figura 4.1). Os mapas de curva de isovalor no intervalo de 0-2 cm revelam a distribuição geográfica e o comportamento desta variável em termos temporais. Percebe-se uma diferença de distribuição entre os intervalos de 0-2 cm e 0-10 cm. Para C1 (0-2 cm) percebe-se valores mais baixos na parte central do mapa (próxima aos círculos amostrais de 50 m e 100 m), entretanto em C2 e C3 (0-2 cm) estes valores tendem a enriquecer em relação a porção mais proximal em torno do poço.

Para a camada de 0-10 cm em C1 nota-se um enriquecimento no entorno do poço de perfuração (raio de 50 m), porém para C2 e C3 este comportamento modifica-se, com teores mais baixos na parte central do mapa. Há possibilidade de que este comportamento de distribuição da variável carbonato de cálcio esteja relacionado com a atividade de perfuração de poço. Seria possível supor que durante a campanha de pós perfuração (C2) teria havido escape de material não carbonático ocasionando uma diminuição dos teores, gerando um empobrecimento desta variável na porção central da área em estudo.

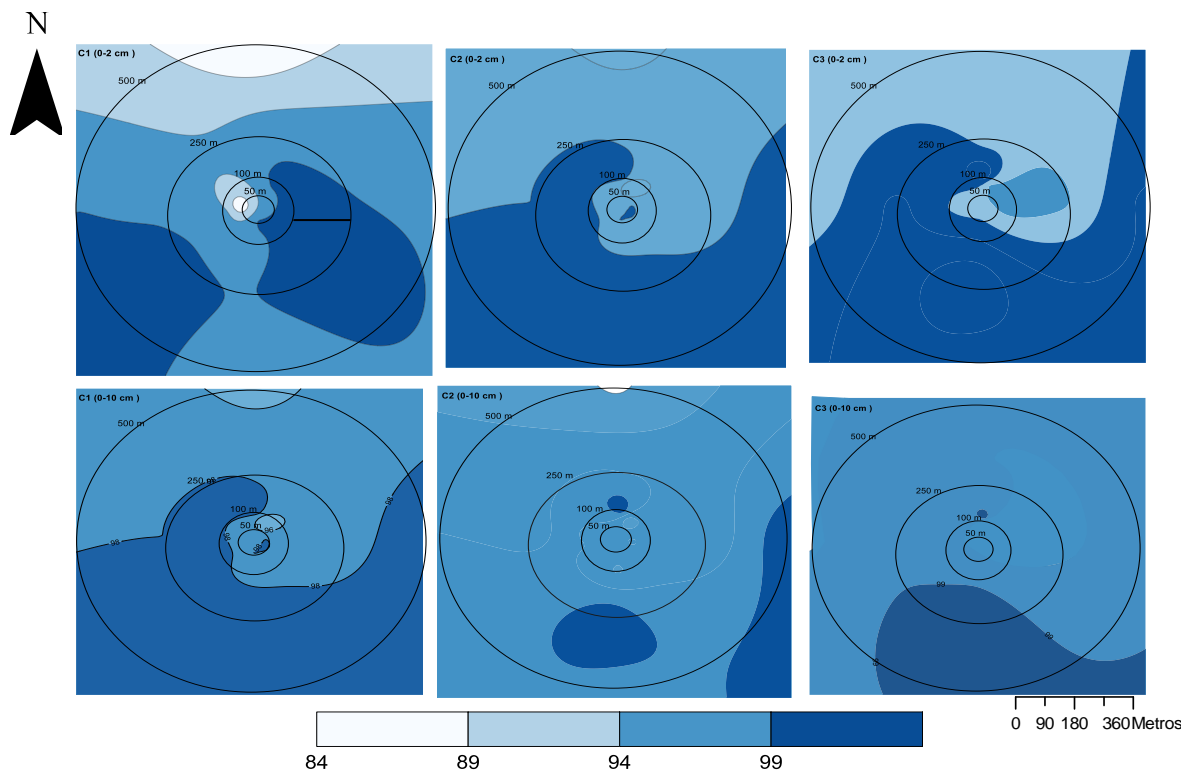


Figura 4.1- Mapas de curvas de isovalor para a variável carbonato de cálcio (%) para as três campanhas de monitoramento (C1, C2 e C3) em 0-2 cm e 0-10 cm).

Matéria Orgânica

Para a variável matéria orgânica, os mapas de curva de isovalor (Figura 4.2) no intervalo de 0-2 cm, revelam a distribuição geográfica e o comportamento desta variável em termos temporais.

Percebe-se uma diferença de distribuição entre os intervalos de 0-2 cm e 0-10 cm. Para C1 (0-2 cm), percebem-se valores mais baixos na parte central do mapa (próxima aos círculos amostrais de 50 m e 100 m) e tendem a aumentar quanto mais distais em relação ao poço de perfuração. Enquanto que em C2 e C3 (0-2 cm), na porção mais proximal do poço, o valor de matéria orgânica tende a aumentar para a campanha C3.

Para a camada de 0-10 cm em C1 há um comportamento dispersivo em relação aos teores de matéria orgânica, valores maiores convergem do centro para as porções distais

principalmente na porção norte do mapa, enquanto para C2 e C3 ocorre um aumento do teor de matéria orgânica.

No intervalo de 0-10 cm a distribuição apesar de diferir da camada de 0-2 cm mas segue o mesmo padrão de distribuição aleatória dos teores. Em C1 o enriquecimento inicia no centro do mapa e se estende para a porção norte, enquanto em C2 e C3 ocorre um maior enriquecimento do centro se estendendo para as porções laterais a oeste do mapa.

Esse comportamento prova que os fatores atuantes na distribuição nos intervalos de 0-2 cm e 0-10 cm são verticalmente heterogêneos. Comparando as três campanhas (0-2 cm e 0-10 cm) não se observam semelhanças entre elas, indicando, portanto que os processos atuantes para esta variável podem ao longo do tempo ocasionar mudanças significativas. Na porção sul do mapa apresentam valores mais baixos para as duas campanhas de 0-2 cm e 0-10 cm. Os maiores valores para o mapa C1(0-10 cm) correspondem aos menores valores para o mapa c3 (0-2 cm).

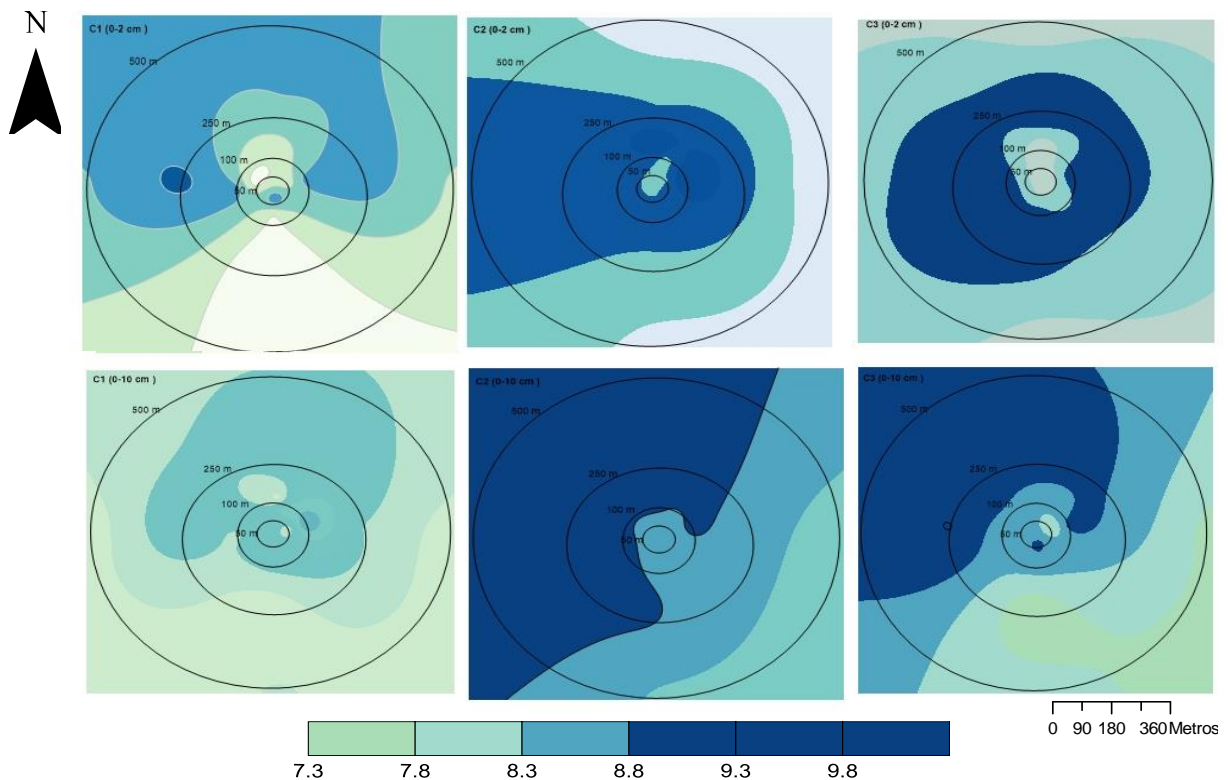


Figura 4.2- Mapas de curvas de isovalor para a variável matéria orgânica (%) para as três campanhas de monitoramento (C1, C2 e C3) em 0-2 cm e 0-10 cm.

Cascalho

Para a variável cascalho (figura 4.3) em C2 e C3 em ambas as camadas (0-2 cm e 0-10 cm), percebe-se que na porção central da área ocorre um enriquecimento de cascalho. Esses mapas demonstram que esse comportamento de enriquecimento durante pós perfuração e um ano pós perfuração poderia está relacionado ao material granulometricamente mais grosso (cascalho), descartado em torno do poço de perfuração.

Analisando a distribuição espacial da variável cascalho no mapa para o intervalo de 0-2 cm para todas as campanhas, verifica-se uma distribuição espacial aleatória. Em C2 e C3 percebem-se maiores teores na porção central do mapa e divergindo para as laterais. Para o intervalo de 0-10 cm ocorre o mesmo processo. Em C2 verifica-se um enriquecimento na porção central do mapa. Esse comportamento exprime o comportamento que a variável cascalho tenha sofrido em decorrência da atividade de perfuração na área. Entretanto neste caso, não se anula a hipótese da atuação dos processos naturais sob essa variável. Nas duas campanhas (0-2 cm e 0-10 cm) observa-se do centro para a porção do sul no mapa um percentual menor de cascalho.

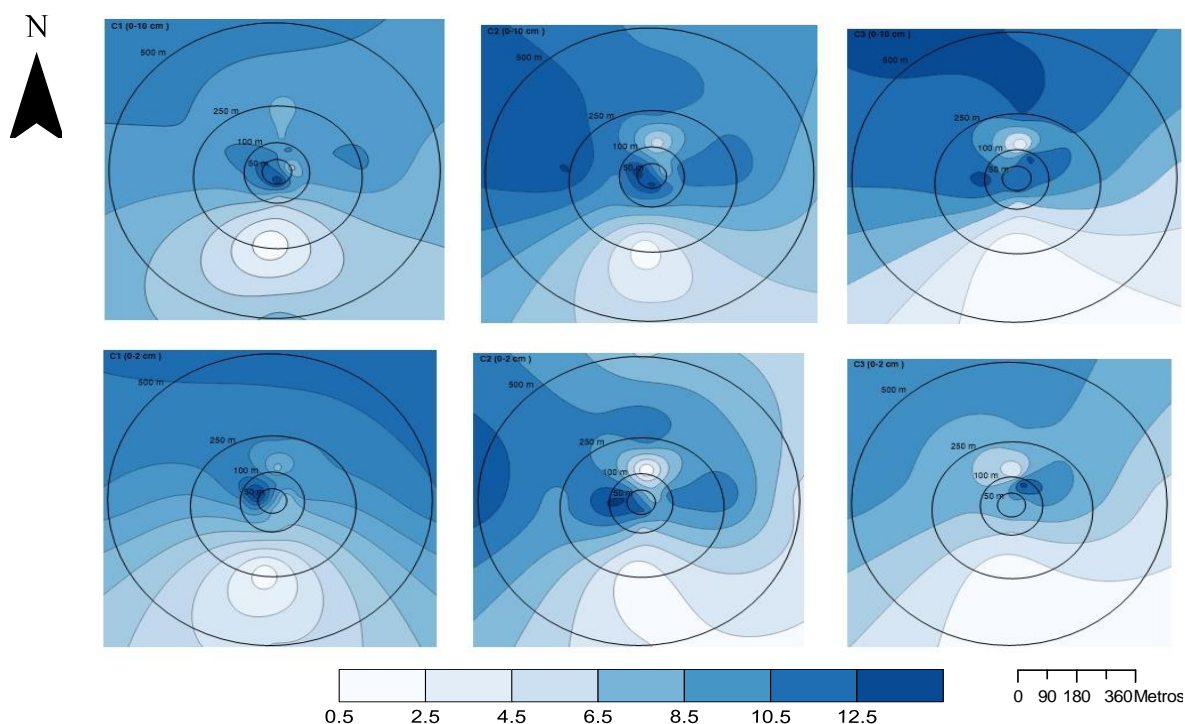


Figura 4.3- Mapas de curvas de isovalor para a variável cascalho (%) para as três campanhas de monitoramento (C1, C2 e C3) em 0-2 cm e 0-10 cm.

Areia

Para a variável areia (Figura 4.4), em ambos os intervalos das camadas (0-2 cm e 0-10 cm), observa-se que a disposição geográfica do seu teor em percentual indica em geral menores valores na parte central do mapa se estendendo para porção leste. Esse comportamento da variável areia é o oposto ao do cascalho (apresenta maiores teores na parte central do mapa). Esse resultado é o esperado, já que estas duas variáveis possuem forte correlação inversa entre si. É importante destacar que o efeito da perfuração para a variável areia, não é um fator dominante na distribuição desta variável, já que há semelhanças de distribuição durante as três campanhas amostrais (C1,C2 e C3) para ambos os intervalos (0-2 cm e 0-10 cm). Provavelmente, a variável areia bem como a variável cascalho são governadas mais por processos naturais do que pelo efeito da atividade de perfuração na área em estudo.

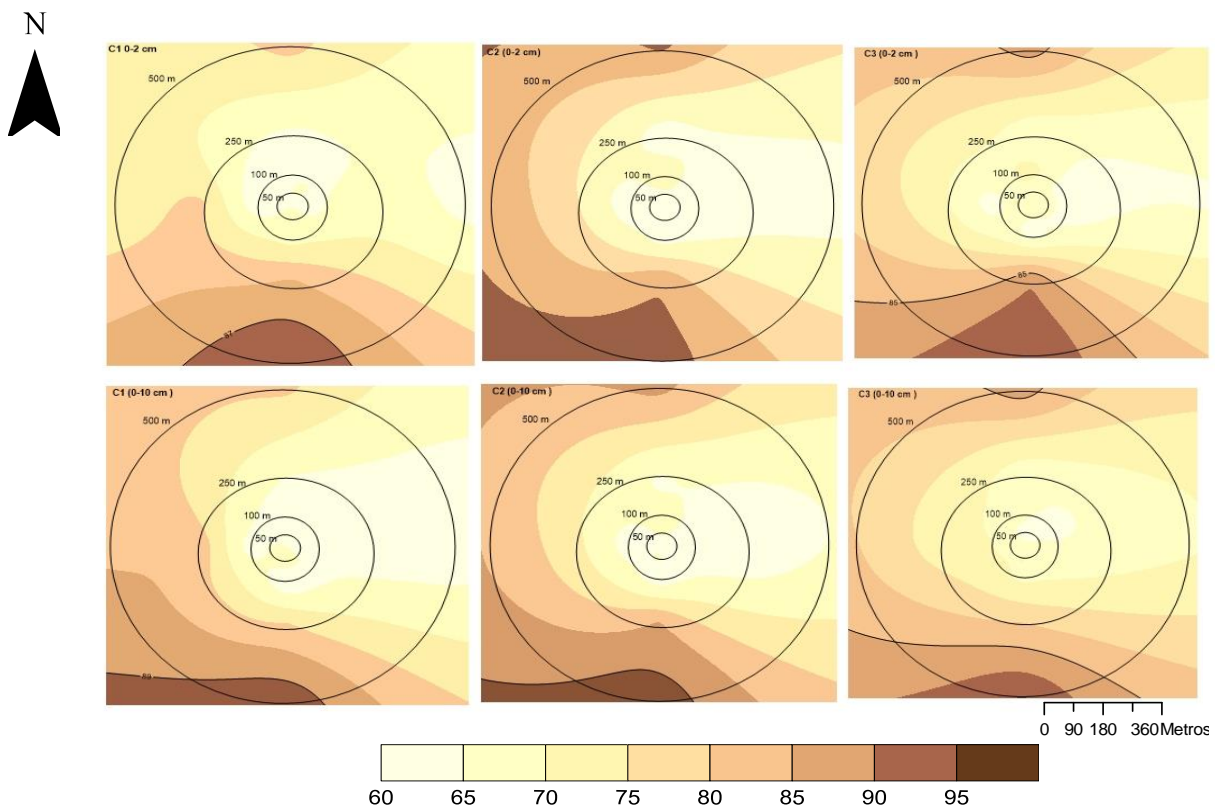


Figura 4.4- Mapas de curvas de isovalor para a variável areia (%) para as três campanhas de monitoramento (C1,C2 e C3) em 0-2 cm e 0-10 cm.

Lama

Para a variável lama (Figura 4.5), os mapas demonstram semelhanças entre si para as três campanhas de monitoramento e para ambas os intervalos das camadas (0-2 cm e 0-10 cm). Os maiores valores estão na parte central do mapa da porção leste da área estudada em C1(0-2 cm). De acordo com essa distribuição espacial da variável lama, indica que os fatores que atuam na distribuição não foram capazes de ocasionar modificações significativas durante as três campanhas (C1,C2 e C3). Essa semelhança na distribuição dos mapas descartam a possibilidade da variável lama ter sofrido efeitos da atividade de perfuração.

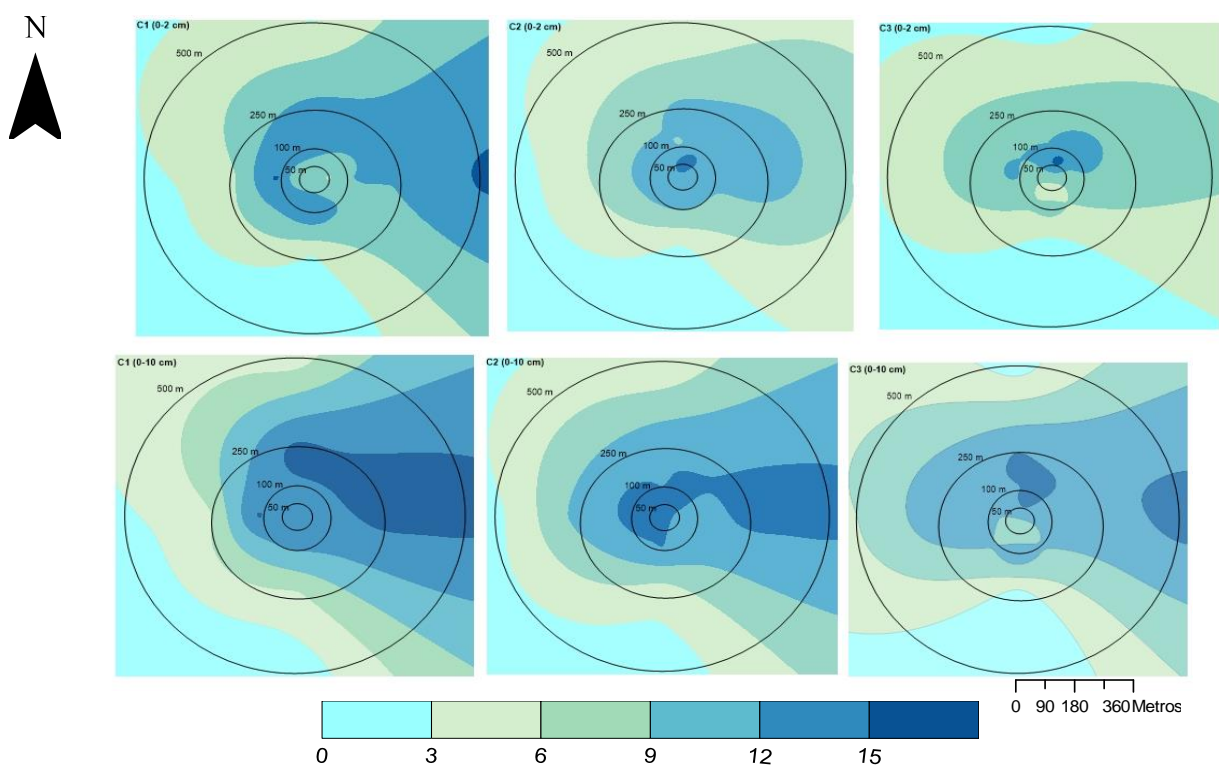


Figura 4.5- Mapa de isovalor para a variável lama (%) para as três campanhas de monitoramento (C1, C2 e C3) em 0-2 cm e 0-10 cm

4.3- Caracterização Sedimentológica

4.3.1- Resultados obtidos por Difração de Raios-X (DRX)

Análise de frações mais finas foram realizadas em 18 amostras das campanhas C1, C2 e C3, no intervalo de 0-2 cm por difração de Raios X (DRX), tendo sido identificados 12 tipos de minerais. Destes, 4 se mostram predominantes para todas as campanhas de monitoramento: calcita, aragonita, dolomita e clorita. Os demais ocorrem em menor quantidade e frequência como minerais acessórios: quartzo, illita, vermiculita, wollastonita, montmorilonita, biotita, siderita e, glauconita. Esses minerais ocorreram em todas as campanhas amostrais com exceção apenas do mineral de walostonita que ocorreu apenas em C2. Entretanto esse estudo demonstra homogeneidade dos resultados quanto aos elementos químicos identificados. A área em estudo é predominantemente constituída por sedimentos biogênicos, característica primordial da plataforma externa do Rio Grande do Norte.

Estudos anteriores (e.g. Freire 1985, Freire *et al*, 1997) já demonstraram que na plataforma externa da região em estudo, a composição predominantemente biogênica dos sedimentos deve-se principalmente a uma combinação básica de fatores tais como: o clima equatorial semi-árido, a rede fluvial esparsa e relativamente pequena e a pluviosidade relativamente baixa, levando a uma baixa taxa de contribuição de sedimentos terrígenos para essa área. Essa característica é inicialmente, mostrada pelos componentes macroscópicos predominantemente biogênicos, presentes em todas as amostras ricas em lithothamnium, halimedas, rodolitos, areias bioclásticas e, sobretudo, pelos resultados obtidos dos altos teores de carbonatos.

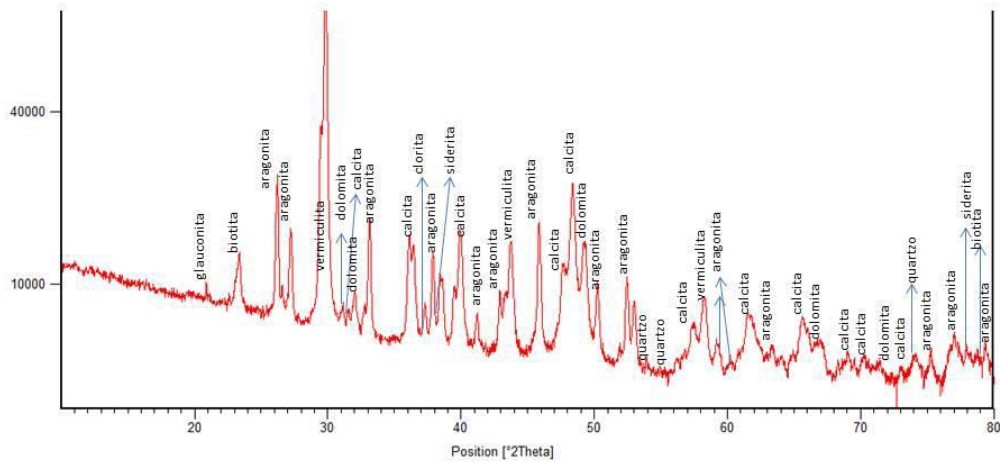


Figura 4.6- Difratoograma de Raios-X apresentando os minerais identificados em uma amostra da campanha C1 (0-2 cm)

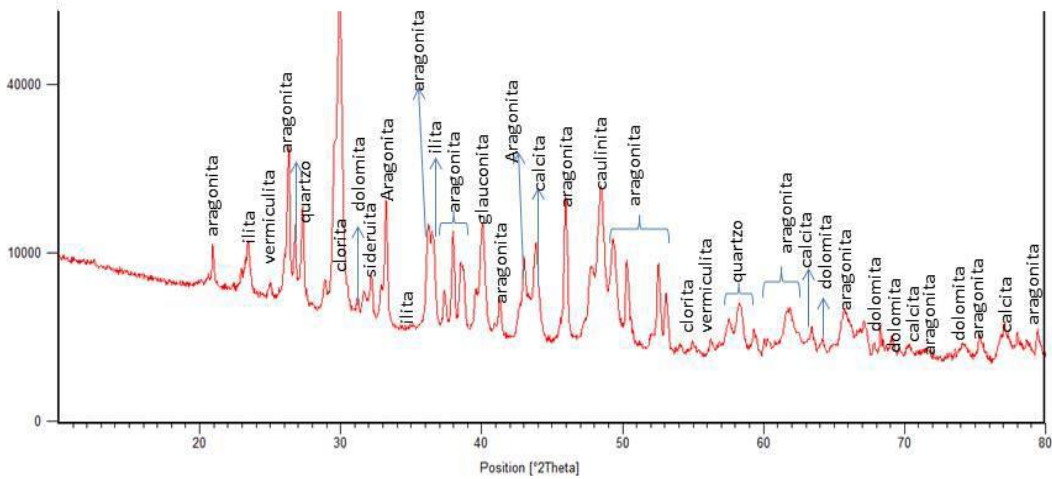


Figura 4.7- Difratoograma de Raios-X apresentando os minerais identificados em uma amostra da campanha C2 (0-2 cm)

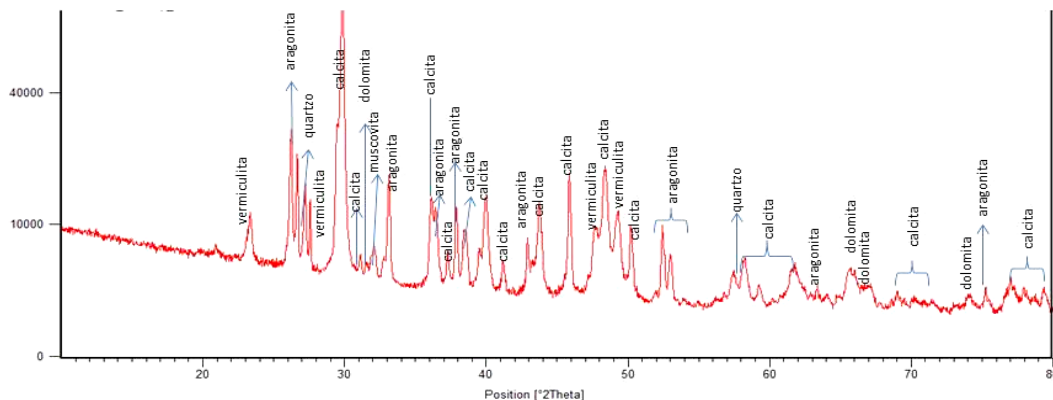


Figura 4.8- Difratograma de Raios-X apresentando os minerais identificados em uma amostra da campanha C3 (0-2 cm)

4.3.2- Resultados obtidos por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Estudos através do microscópio eletrônico de varredura foram realizados para as três campanhas de monitoramento (C1, C2 e C3) nos intervalos em 0-2 cm para visualizações das texturas dos sedimentos. Foi utilizado também o sistema EDS (Energy Dispersive System), o qual tornou possível a determinação da composição (qualitativa e semi quantitativa) de alguns minerais existentes nas amostras analisadas.

4.3.2.1-Grãos siliciclásticos

A porção siliciclástica é constituída predominantemente de quartzo, com fragmentos de rocha, minerais pesados e feldspato como acessórios.

A origem do quartzo nos sedimentos da plataforma é proveniente da dispersão mecânica deste mineral através de plumas fluviais, ou pode estar relacionado à abrasão de águas marinhas, juntamente com a contribuição dos ventos. Mesmo o quartzo podendo atingir uma dispersão mecânica a grandes distâncias, essa dispersão tende a diminuir em direção ao oceano. Na plataforma externa o quartzo está atrelado ao material biogênico de espículas de organismos silicosos com sedimentação no assoalho submarino, bem como grãos trazidos pelo vento (Marques, 2008).

4.3.2.2-Grãos Bioclásticos

Foram identificados foraminíferos, equinodermas (espículas), briozoários, moluscos e diatomáceas. Os foraminíferos são os mais abundantes e mostram-se bastante preservados (Figura 4.9 A/B); os equinodermas apresentam-se fragmentados, e preservados (Figura 4.9 B/D); as espículas de equinoderma mostram-se com bastante frequência (Figura 4.9 C); os briozoários que foram observados (Figura 4.9 F); a maioria deles estão bastante fragmentados. Os moluscos observados foram os bivalves e estão bem preservados (Figura 4.9 G); as diatomáceas são raras (Figura 4.9 H), tendo sido identificada apenas na campanha C3.

Através do EDS (Energy dispersive x-ray) foi possível determinar os elementos químicos presentes e identificar um possível mineral. Foram observados elementos que em sua composição química possuíam alumínio, magnésio, silicato, bromo, cálcio, carbonato, cobalto, sulfúreo, potássio, vanádio e cromo. Todos esses fragmentos apresentaram percentual maior em vanádio e cromo.

A contaminação do meio ambiente marinho pode se originar através de diversas fontes antrópicas continentais. As fontes de origem terrestre contribuem entre 70 a 80% da contaminação marinha, enquanto que apenas 20 a 30 % da carga de poluentes para os oceanos são provenientes das atividades localizadas *in situ* como transporte marítimo, exploração de recursos minerais da plataforma continental e descarga direta de contaminantes por emissários submarinos (Crossland *et al.* 2005).

Abílio *et al.* (2004) analisaram os metais Cd, Ba, Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, V e Cr, carbonato e matéria orgânica, em sedimentos marinhos da bacia de Santos, sudeste do Brasil. Aplicando aos dados a análise multivariada (clusteranalysis) e de componentes principais (CP), para estabelecer as possíveis associações entre as variáveis estudadas e observaram que os metais Cr, Cu, Ba e Zn apresentaram a mesma associação geoquímica, cuja fonte foi identificada como da mineralogia local.

Entre os principais contaminantes gerados por estas fontes encontram-se os metais, atingindo o mar através de bacias de drenagem ou pela deposição atmosférica. Estes contaminantes representam problemas particulares para o meio ambiente marinho, visto que

apresentam ao mesmo tempo toxicidade, persistência e podem bioacumular na cadeia alimentar (Lacerda, 2002; Marins *et al.* 2004a).

O conhecimento da geoquímica de metais da plataforma continental brasileira tem sido centrado na região sudeste, particularmente em áreas de exploração petrolífera (Carvalho *et al.*, 2002; Rezende *et al.*, 2002). Na plataforma ao longo da costa nordeste semi-árida do Brasil ainda são bem restritos.

Tendo em vista que na natureza não é comum encontrar minerais com tal grau percentual de composição atribuí-se, portanto, à materiais superficiais, tendo em vista que a área de estudo foi submetida à atividades de perfuração, e estes fragmentos poderiam estar relacionados à composição das ligas metálicas. Os elementos de vanádio e cromo são utilizados para aumentar a resistência mecânica e a corrosão.

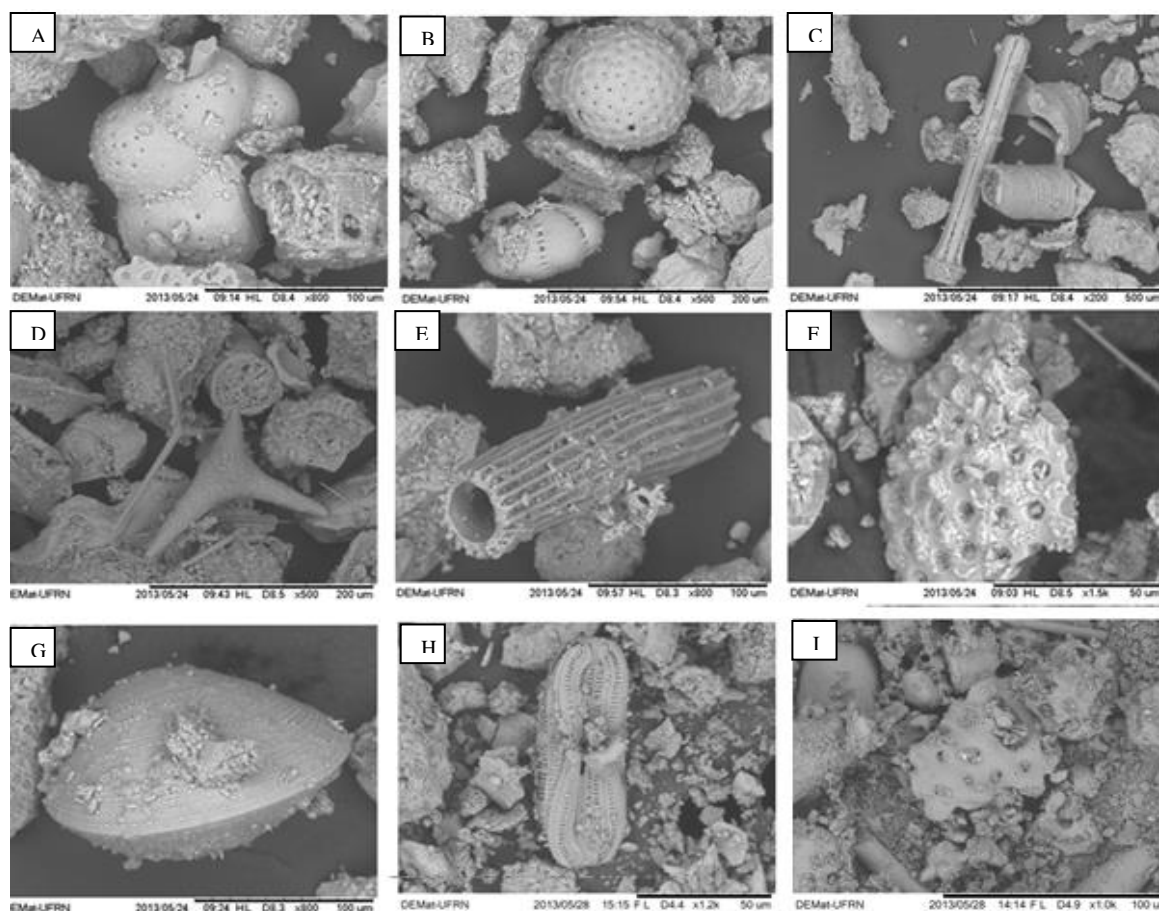


Figura 4.9- Representação em microscópio eletrônico de varredura para as amostras C1,C2 e C3 em 0-2 cm. A)Foramíniferos;B)Foraminiferos preservados;C) Equinoderma; D) Espículas de equinodermas; E) Fragmento de equinoderma; F) Briozoário; G)Molusco bivalve; H) Diatomácea; I) Briozoários.

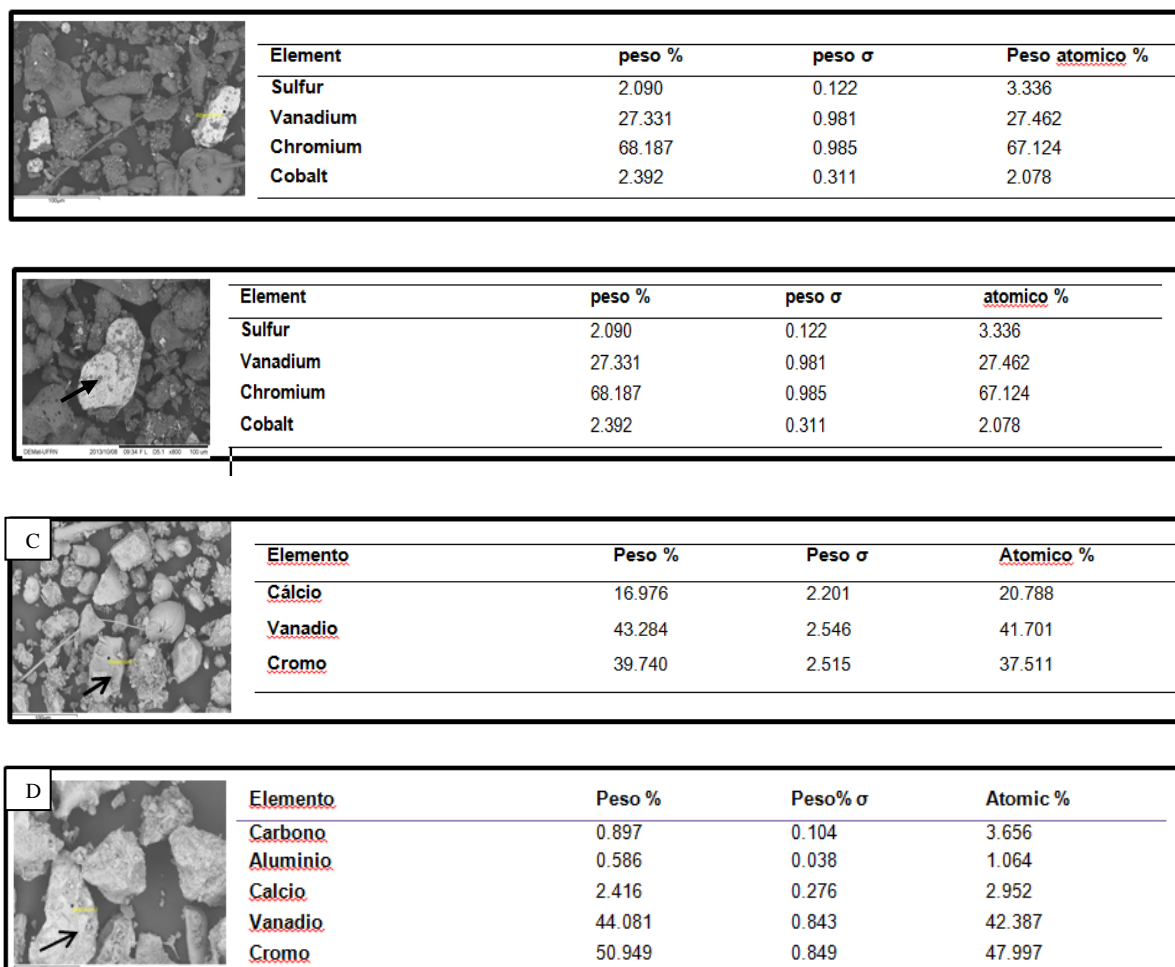


Figura 4.10- Representação dos compostos químicos determinados com EDS. A) Fragmento composto de maiores percentuais de cromo e vanádio, além de sulfúreo e cobalto; B) Fragmento composto de percentuais de cromo e vanádio, além de sulfúreo e cobalto C) Fragmento composto por cálcio, vanádio e cromo. D) Fragmento composto de cromo, vanádio, carbonato, cálcio e alumínio. Obs: As setas indicam na figura o mineral analisado.

4.3.3- Diâmetro Médio

A distribuição granulométrica das médias para as triplicatas nas campanhas de monitoramento (C1, C2 e C3) para o intervalo de 0-2 cm, demonstra que em C1 predomina areia grossa (60%), seguido de areia média (33,33 %) e areia muito grossa (6,25%). A campanha C2 apresenta maior percentual de areia média (31%) e areia grossa (16%), enquanto C3 possui o maior percentual de areia grossa (38%), seguido de areia média (8%) e areia muito grossa (2%).

A distribuição granulométrica das médias para as triplicatas nas campanhas de monitoramento (C1, C2 e C3) para o intervalo de 0-10 cm, demonstra que em C1 predomina areia média (64,58%), seguido de areia grossa (35,42%). A campanha C2 apresenta-se similar a C1 em termos de classes e percentuais. A areia média predomina (66,7%), seguida de areia grossa (33,33%). A campanha C3 apresenta três classes: areia grossa com percentual predominante (52,08%,) seguida de areia média com 41,67% e areia muito grossa com 6,25%.

4.3.4- Grau de Selecionamento

O parâmetro estatístico do desvio padrão em sedimentologia é muito utilizado tendo em vista que os seus valores podem indicar a energia da bacia de acumulação, grau de maturidade textural e a ocorrência de misturas populacionais. De acordo com Sahu (1964) o grau de selecionamento dos grãos nas amostras é um aspecto importante nas análises granulométricas dos sedimentos. O desvio padrão mede o nível de seleção dos sedimentos indicando as flutuações do nível energético, do agente responsável pela deposição e a capacidade de classificar os sedimentos. Neste estudo o grau de selecionamento foi calculado segundo a fórmula de Folk e Ward (1957). Analisando-se os dados do desvio padrão foi observado a presença de sedimentos muito pobremente selecionado ($2-4\Phi$) e pobremente selecionado ($1-2\Phi$) para todas as campanhas amostrais (C1, C2 e C3) nas camadas de 0-2 cm e 0-10 cm. Exceto para campanha de C3 (0-2 cm) que apresentou sedimentos moderadamente selecionados ($0,5-1,0\Phi$), entretanto com baixa representatividade.

Os sedimentos que predominam na área em estudo são muito pobremente selecionado (com 63,89% em 0-2 cm e 70,14% em 0-10 cm), distribuídos aleatoriamente em todos os raios amostrais (50 m, 100 m, 250 m e 500 m) em ambas as camadas 0-2 cm e 0-10 cm. Os sedimentos pobremente selecionados apresentam percentuais de 34,72% em 0-2 cm e 29,86% em 0-10 cm; sedimentos moderadamente selecionados foram observados apenas na camada de 0-2 cm com 1,39%.

4.3.5- Classificação sedimentar

A distribuição de fácies sedimentológica, utilizando a proposição de Vital et al. (2005, após Larssoneur 1977, Dias 1996 e Freire et al., 1997) em torno do poço localizado na plataforma externa na porção *offshore* da Bacia Potiguar, permitiu a identificação de 4 fácies sedimentares para C1, C2 e C3 (0-2 cm e 0-10 cm).

Areia Bioclástica com grânulo e cascalho

Areia bioclástica com grânulo e cascalho é a fácies predominante na área em estudo e a sua distribuição ocorre aleatoriamente tanto nos círculos de raios internos (50 m e 100 m) quanto nos externos (250 m e 500 m), em torno do poço de perfuração. A predominância dessa fácies se deve pela grande concentração do teor de carbonato presente na plataforma rasa na área setentrional do RN, e baixo percentual de sedimentos lamosos. Em termos percentuais pode-se afirmar que este tipo de sedimento totaliza aproximadamente 97% na área de estudo.

Lama Calcária

Lama calcária apresenta-se com uma distribuição dispersa e baixa representatividade em toda a região de estudo. Distribuem-se aleatoriamente tanto nos círculos de raios interno em torno do poço, quanto nos mais externos com distancia de 500 m de distância do poço selecionado. Para o intervalo de 0-2 cm observa-se lama calcária apenas nas campanha C2 e C3, enquanto para o intervalo de 0-10 cm ocorre nas três campanhas de monitoramento. Esta fácies possui um baixo percentual não ultrapassando 2% para os intervalos de 0-2 cm e 0-10 cm para todas as campanhas amostrais.

Areia biosiliciclástica

Esta fácies é composta por uma porcentagem de areia mais lama superior a 50%, conteúdo de lama inferior a 15%, fração superior a 2mm inferior a 15% e teor de carbonato variando de 50% a 70 %. A granulometria principal é areia média, podendo apresentar areia fina e grossa quartzosa e com grãos opacos.

Areia silicibioclástica

Esta fácies é composta por uma porcentagem de areia + lama superior a 50%, conteúdo de lama inferior a 15%, fração superior a 2mm inferior a 15% e teor de carbonato variando de 30% a 50 %. Areia silicibioclástica apresentam baixa representatividade na área em estudo, não ultrapassando o percentual de 1%.

4.4- Mineralogia

Para uma melhor compreensão optou-se neste estudo em separar o resultado das análises mineralógicas por campanhas (C1, C2 e C3) e camadas (0-2 cm e 0-10 cm).

4.4.1– Análise Mineralógica C1(0-2 cm)

Os resultados obtidos para a campanha C1 indicam predominância de sedimentos de composição de carbonato de cálcio com valores percentuais em torno de 98%. O material bioclástico na maioria das amostras é predominantemente representado por foraminíferos com percentual de 35% (Figura 4.11A,4.11B,4.11C,4.11D,4.11E), apresentam fragmentos de moluscos com percentual de 24% (Figura 4.11C), embora muito fragmentado, entretanto o gastrópodes (do gênero *Turritella*) se apresenta muitas vezes intacto (Figura 4.11D), os tubos de verme (2%) apresentam-se individuais, algumas amostras apresentam briozoários com percentual de 10%, as algas calcárias estão presentes com percentual de 19% (Figura 4.11F), são raros os corais e quando ocorrem são fragmentados e se destacam pela sua coloração

avermelhada. Estes corais não ultrapassam o percentual de 2%. Os equinodermas, possui um percentual inferior a 5%, as espículas de equinodermas (espinhos), apresentam-se intactos nas amostras. Há materiais de origem carbonática presentes nas amostras que não foram possíveis de serem classificados devido a sua fragmentação.

O material siliciclástico (Figura 4.11B,4.11C), é representado em sua maioria por quartzo raros feldspatos, e alguns fragmentos de rocha. Os siliciclásticos não chegam a ultrapassar o percentual de 2%. A variação da mediana do material siliciclástico não é superior a 1,8%. Os minerais apresentam-se bastante fragmentados, e de difícil identificação, embora em algumas amostras verificam-se visivelmente grãos de quartzo com mal selecionamento, grãos subangulosos e baixa esfericidade.

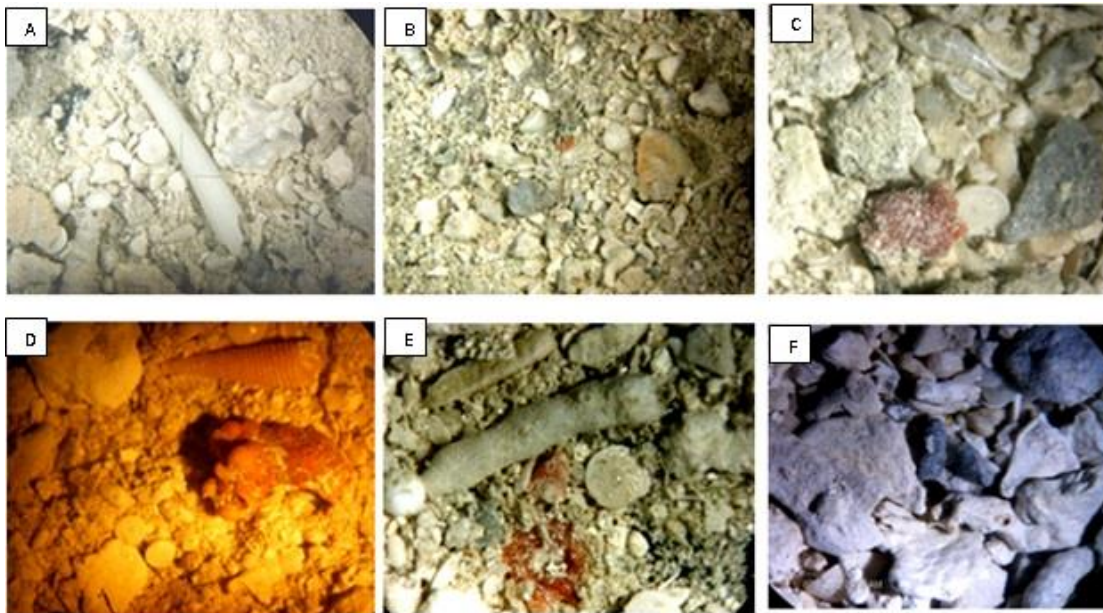


Figura 4.11- Composição mineralógica das amostras para C1(0-2 cm). A) Presença de foraminíferos e fragmento de equinoderma. B) fragmento quartzo. C) Fragmento de molusco, foraminífero e quartzo. D) Presença de molusco do gênero *Turritella*. E) Presença de briozoários e foraminíferos. F) Fragmento de algas calcárias. Com aumento de 40x.

4.4.2– Análise Mineralógica C1 (0-10cm)

A análise da camada de 0-10 cm indica similaridade em termos percentuais dos sedimentos de origem bioclástica em relação ao intervalo de 0-2 cm, apresentando os mesmos tipos de bioclásticos. O percentual bioclástico varia entre 97% a 99% aproximadamente para a maioria das amostras, embora algumas amostras tenham apresentado percentuais carbonáticos com média menor que 50%. Entretanto isto não ocorreu com frequência entre as amostras.

Entre os bioclásticos encontrados pode ser observado tubos de vermes individualizados apresentando o percentual de 2% (Figura 4.12D), equinodermas com percentual de 12% (Figura 4.12B). Alguns equinodermas nas amostras apresentam-se intactos com variação na sua coloração, alguns se apresentam mais claros e outros escuros. Os foraminíferos apresentam a maior concentração (Figura 4.12A) com percentual aproximadamente de 36% (Figura 4.13A,4.13B,4.13C,4.13D,4.13E,4.13F), fragmentos de algas calcárias (Figura 4.12C) com 20%, (Figura 4.13A), moluscos com percentual de 25% (Figura 4.13B, 4.13E) (gastrópodes e bivalves), verifica-se ainda espículas de equinodermas transparente (1%) (Figura 4.13F).

Os sedimentos siliciclásticos representam menor percentual nas amostras, com variação de 0,63 % a 2,12%, os grãos apresentam-se com esfericidade baixa, angulares a subarredondados e podem ser vistos apresentando coloração escura. Em algumas amostras foram observados minerais de coloração bastante escura e coloração avermelhada, podendo inferir uma composição ferruginosa (Figura 4.12E,4.12F).

O quartzo (Figura 4.13 D), que em algumas amostram pode chegar o percentual de 2% é o mineral predominante nas três campanha (C1, C2 e C3) (0-10 cm). Fragmento de rocha e minerais pesados também podem ser observados, porém não ultrapassam o percentual de 1%. Os grãos de quartzo se apresentam em sua maioria com mal selecionamento, baixa esfericidade e sub arredondado a sub angulosos, alguns grãos de quartzo apresentam-se bastante fragmentados. A sua visualização em lupa binocular se torna difícil pelo seu tamanho e fragmentação.

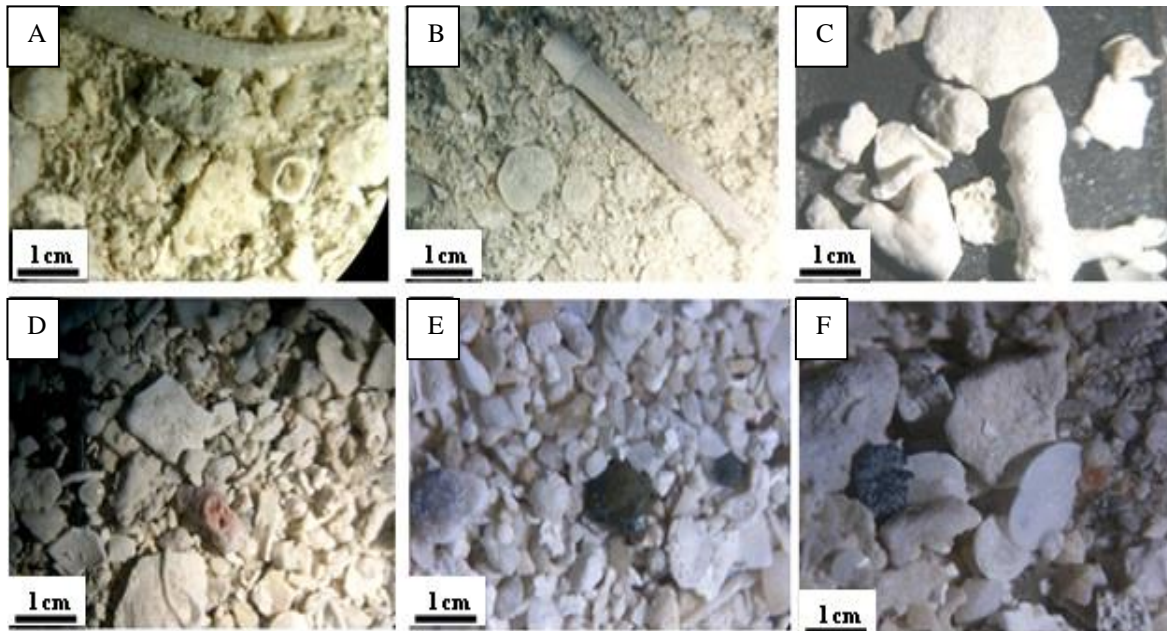


Figura 4.12 Composição mineralógica das amostras para C1 (0-10 cm). A) Fragmentos bioclásticos em destaque foraminífero e. B) Fragmentos de foraminíferos e equinodermas. C) Fragmentos de briozoários e algas calcárias. D) Fragmentos de briozoários, algas calcárias e tubo de verme. E) Bastante material bioclástico em destaque fragmento de mineral pesado F) Fragmentos de foraminíferos de coloração escura e algas calcárias. Aumento 40x.

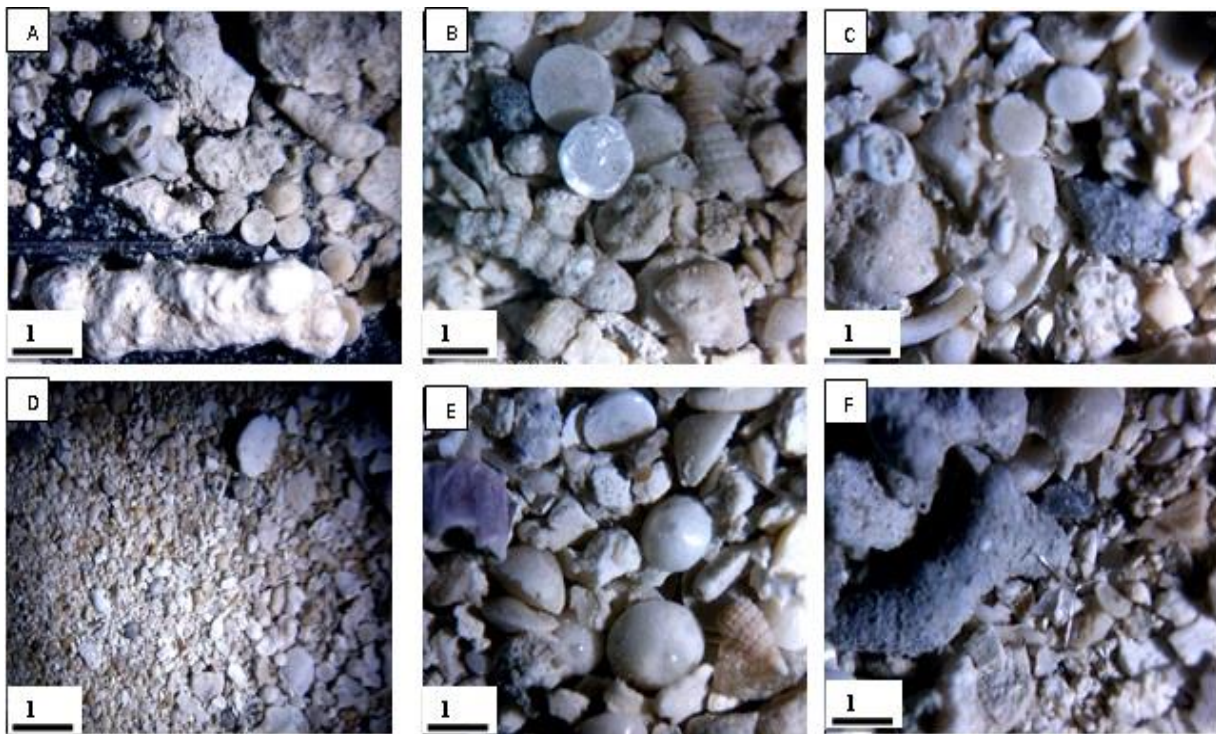


Figura 4.13- Composição mineralógica das amostras para C1 (0-10 cm). A) Fragmentos de algas calcárias, foraminíferos e tubo de verme. B) Fragmentos de foraminíferos, gastrópodes. C) Fragmento de foraminíferos, moluscos e briozoários D) Vista geral da amostra com maior concentração de bioclásticos e poucos grãos de quartzo. E) Foraminíferos, quartzo e gastrópodes do gênero *turritela*. F) Presença de algas calcárias, e espículas de equinodermas. Aumento 40x.

4.4.3-Análise Mineralógica C2(0-2cm)

O percentual carbonático nesta campanha apresenta a variação do teor da campanha aproximadamente entre 96% a 99%. O material bioclástico mostrou a mesma variação nas espécies apresentadas em C1 foraminíferos (36%), moluscos (25%), equinodermas (14%), briozoários (14%) e algas calcárias (10%), embora tenha se verificado um percentual maior e representativo em algumas classes tais como os equinodermas que apresentaram para a camada de 0-2 cm percentual maior que 12%.

O material bioclástico (4.14F) observado das amostras é composto por testas de foraminíferos (Figura 4.14A,4.14B,4.14C,4.14D,4.14E,4.15A,4.15E,4.15F,4.16D,4.16E), fragmentos de conchas de moluscos pelecípodes, gastrópodes intactos (Figura 4.16A), algas calcárias, tubos de vermes (Figura 4.16D) briozoários (Figura 4.16F), pequenos fragmentos de corais (Figura 4.14D, 4.15B, 4.15C), distribuído aleatoriamente e em pequena quantidade. Espículas de esponja, equinodermas, quartzo e bioclastos são observados nessas amostras.

Os foraminíferos (Figura 4.15D) mais comuns encontrados nas amostras são os da espécie *discorbis*. Entretanto foram observados também os de gênero *quincloculina lamarckiana*, *trochamina*, *ammonia*, entre outros. Os moluscos são representados pelos gastrópodes e os bivalves (muitos não se apresentam bem preservados).

As algas calcárias estão distribuídas homoganeamente em todas as amostras e possuem uma boa representatividade no percentual amostral dos sedimentos de fundo marinho.

Os anelídeos, embora em pequena quantidade sejam representados por tubos de vermes, estes se apresentam em formas individuais. Os briozoários nas zonas de intermaré existem relativamente poucos briozoários, já que as condições de alta energia e recuo da água durante a maré baixa são mais duros para organismos tão frágeis. Mas em zona sublitoral são mais abundantes e estão associados com algas calcárias.

As espículas, equinodermas e radiolários não se apresentam em todas as amostras, são raros e apresentam-se de forma preservada nos sedimentos.

Em relação ao material siliciclástico analisado, o percentual de grãos de quartzo, de modo geral, não ultrapassou o limite de 4%, entretanto em algumas amostras percebe-se um

maior percentual, ou seja, um aumento representativo em percentual nas amostras durante a campanha de pós perfuração para a camada de 0-2 cm no raio de 50 m. Pode-se verificar um aumento da quantidade de grãos de quartzo e dos fragmentos de rocha. Esses fragmentos apresentam-se com coloração amarelada com aspecto ferruginoso e em alguns clastos apresentam minerais pesados incrustados.

Os sedimentos siliciclásticos, estão representados por quartzo ($< 2\%$), fragmentos de rocha (Figura 4.16C) ($< 2\%$), minerais acessórios como feldspato ($< 1\%$) e minerais ($> 1\%$) pesados. Nas amostras, o quartzo se apresenta com uma coloração azul escura (Figura 15B, 4.16B), raras vezes incrustados em fragmentos bioclásticos (Figura 4.14A). O grão de quartzo apresenta esfericidade baixa, raras vezes se mostra mais anguloso e esférico (Figura 4.14E), a maioria dos minerais são subarredondados. Minerais não identificados, de coloração avermelhada, provavelmente de composição ferruginosa apresentam-se incrustado em fragmentos bioclásticos.

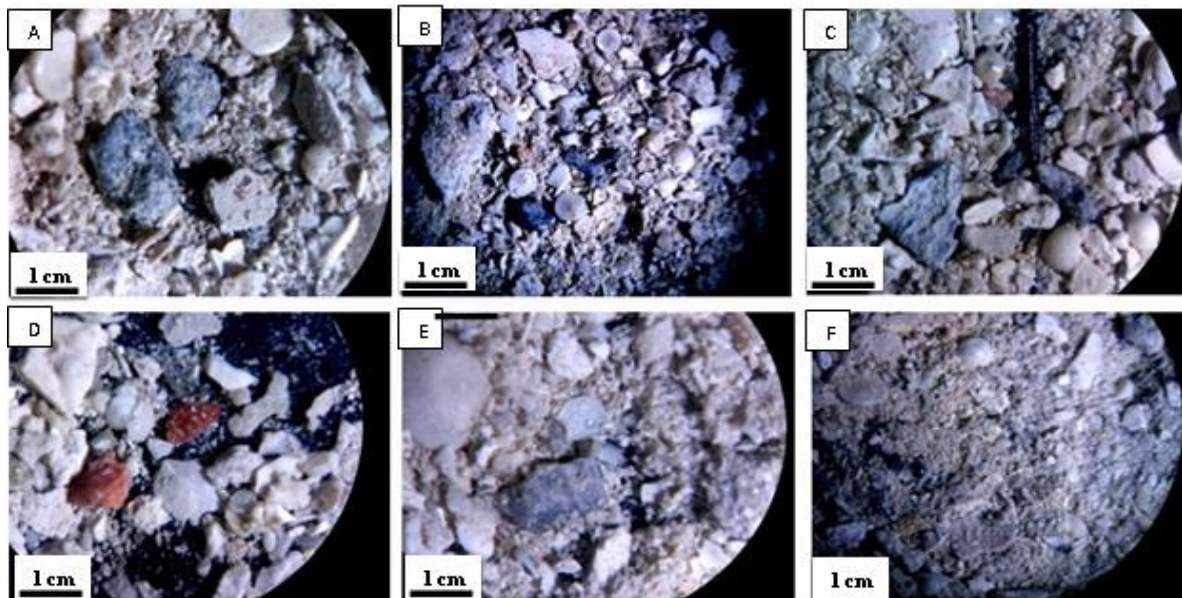


Figura 4.14- Composição mineralógica das amostras para C2 (0-2 cm). A) Presença de grãos de quartzo subangulosos, foraminíferos e fragmento carbonático com incrustação de quartzo e mineral pesado. B) Presença de testas de foraminíferos e grãos de quartzo. C) Fragmento bioclástico com coloração escura. D) Fragmentos de corais (?) E) Presença de quartzo e foraminíferos F) Vista geral da amostra representando percentual maior de material carbonático. Com aumento de 40x.

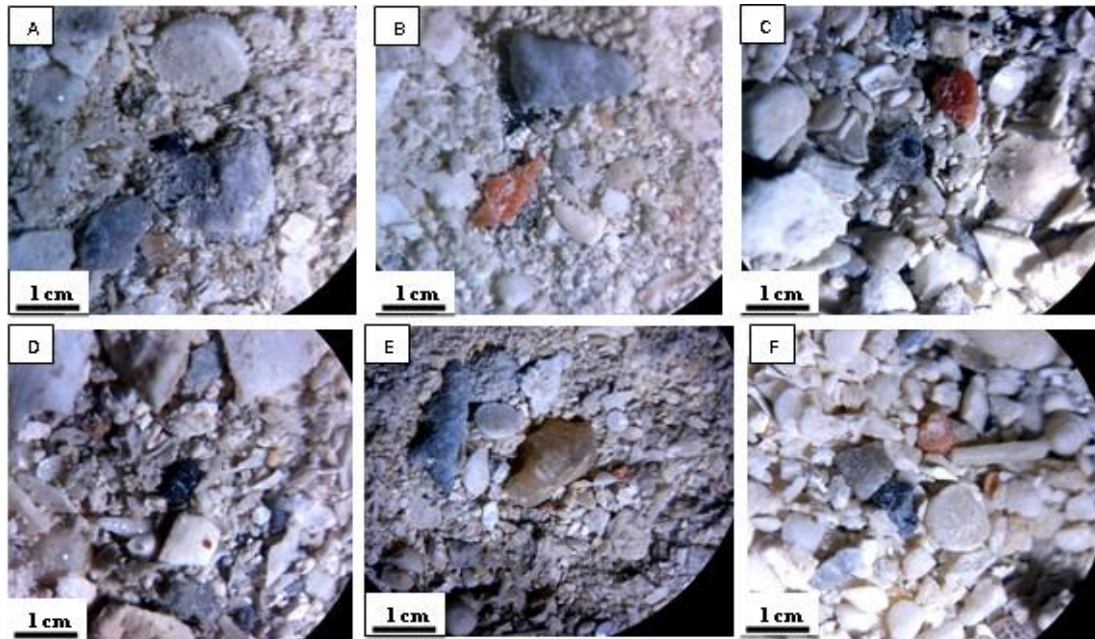


Figura 4.15- Composição mineralógica das amostras para C2 (0-2 cm). A) Presença de grãos de quartzo de coloração azul e foraminíferos. B) Quartzo subanguloso, bioclástico e fragmentos de corais. C) Fragmento de quartzo com provável incrustação de mineral pesado (?) D) Testas de foraminíferos, quartzo e moluscos. E) Amostra apresentando fragmentos de origem carbonática. F) Presença de fragmentos de quartzo, equinodermas e moluscos. Com aumento de 40x.

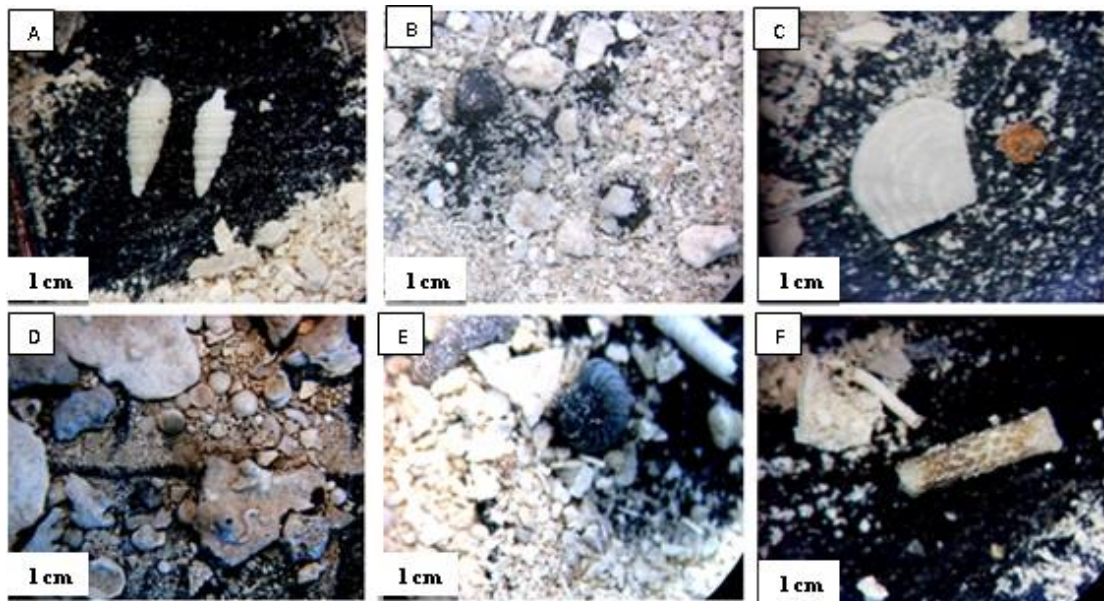


Figura 4.16- Composição mineralógica das amostras para C2 (0-2 cm). A) Presença de gastrópodes. B) fragmento de quartzo de coloração azul escura. C) Fragmento de molusco e siliciclásticos. D) Fragmento de tubo de verme, foraminíferos e moluscos. E) Foraminífero de coloração escura. F) Presença de fragmentos de briozoários. Com aumento de 40x.

4.4.4– Análise Mineralógica C2(0-10 cm)

O percentual da composição carbonática não teve variações significativas. Permanece com teor carbonático em torno de 98%. O material bioclástico apresentou a mesma variação nas espécies apresentadas, embora tenha se observado espécies com maiores frequências que não foram vistas durante a campanha C1.

As amostras tem bastante material carbonático representados por bioclásticos. A composição bioclástica é composta por foraminíferos não ultrapassando o percentual de 36% (Figura 4.17A, 4.17D e 4.17E), moluscos (Figura 4.18C,4.18F) observado apresentam variação em torno de 25%, algas calcárias apresentam-se bem distribuídas com percentual superior a 10%, tubos de vermes representam valores percentuais inferiores a 3%, briozoários com percentual superior a 10%, pequenos fragmentos de corais que representam 1%, espículas de esponja e equinodermas perfazem o percentual em torno de 12% (Figura 4.17F). As algas calcárias (Figura 4.18E) mostram-se contínuas e estão distribuídas homogeneamente. Os anelídeos continuam com uma pequena representatividade em seu percentual amostral representado por tubo de verme individual. Os briozoários (Figura 4.18E) se apresentam em menor quantidade e bastante fragmentados, isso se deve a fragilidade desses organismos. Os corais se apresentam bastante fragmentados nas amostras, embora esteja distribuído uniformemente permanece com uma pequena quantidade.

Os foraminíferos na maioria das amostras (Figura 4.18A,4.18B,4.18C,4.18D, 4.18E, 4.18F) se apresentam com uma coloração branca, por vezes, apresentam uma coloração escura.

Em relação ao material siliciclástico analisado, o percentual de grãos de quartzo, de um modo geral permanece em torno de 1,2% aproximadamente. Nesta campanha, pode-se avaliar que os siliciclásticos (Figura 4.17B,4.17F), continuam com percentual semelhante aos das campanhas estudadas (< 2%) como ocorre na campanha C1, representados por grãos de quartzo e fragmentos de arenitos e alguns desses possuem incrustação de mineral pesado.

O quartzo (Figura 4.17B,4.17F) se apresenta com angulosidade variável, alguns grãos se mostram com arestas bastante angulosas, outras subangulosas, a esfericidade desses grãos é pequena, apresentam-se bastante fragmentados e o seu tamanho não ultrapassa 0,5 mm.

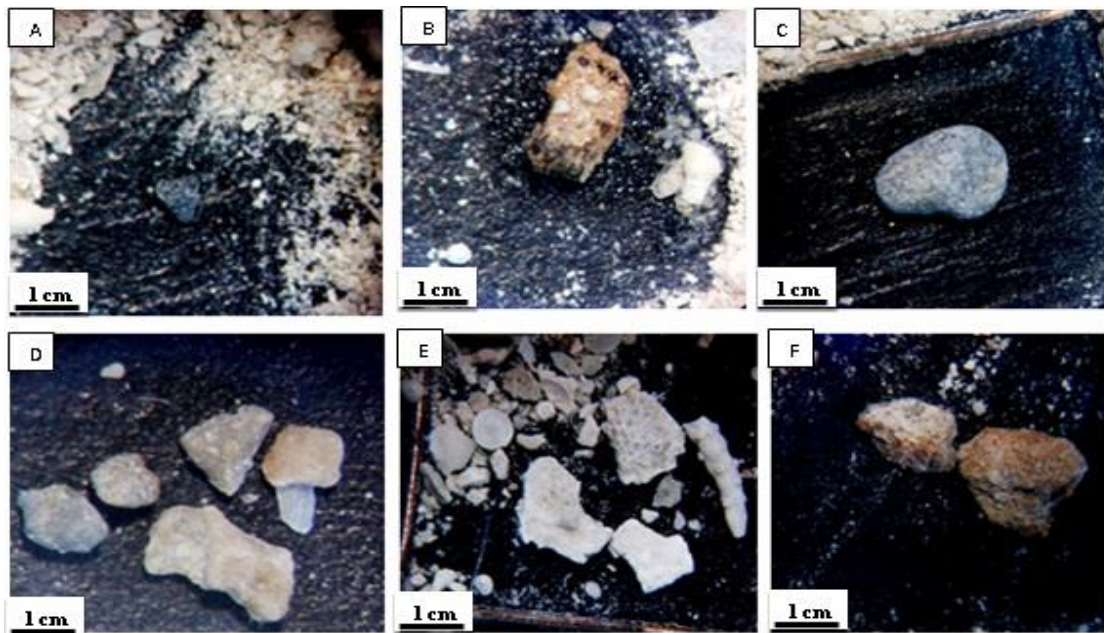


Figura 4.17- Composição mineralógica das amostras para C2 (0-10). A) Presença de pequeno fragmento de quartzo de coloração azul escura. B) Fragmento de rocha. C) Fragmento de quartzo com angulosidade acentuada. D) Fragmentos siliciclásticos. E) Fragmentos carbonáticos com destaque os foraminíferos e briozoários. F) Presença de fragmentos de rocha. Com aumento de 40x.

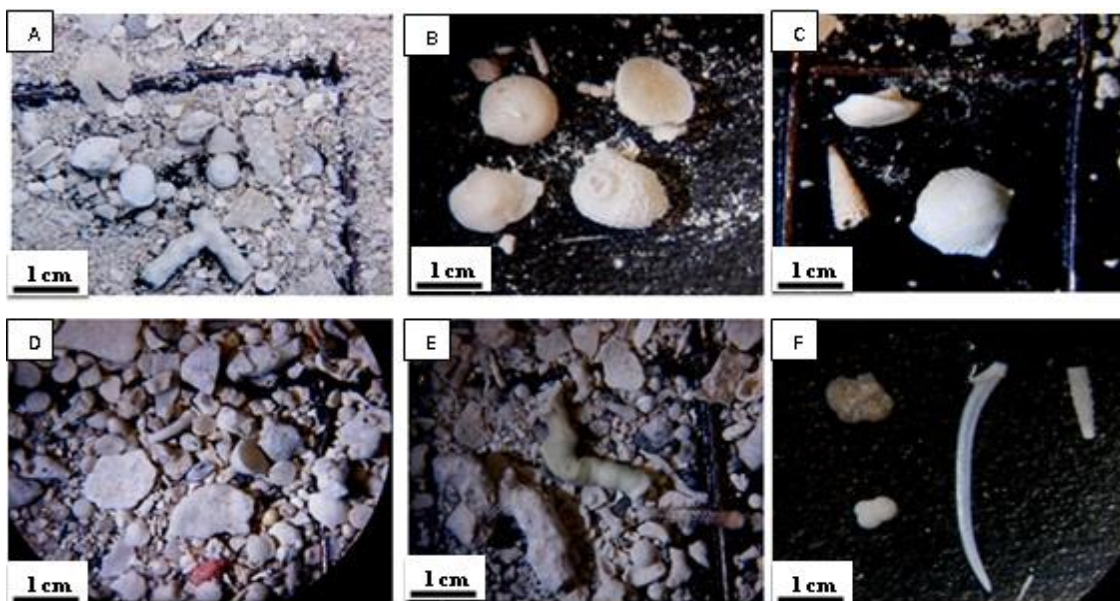


Figura 4.18- Composição mineralógica das amostras para C2 (0-10). A) Vista geral das amostras com presença de fragmentos bioclásticos. B) Testas de foraminíferos. C) Fragmento de moluscos e foraminíferos(?). D) Fragmentos bioclásticos. E) Fragmentos carbonáticos com destaque os foraminíferos, briozoários, equinodermas. F) Presença de foraminífero e moluscos. Com aumento de 40x.

4.4.5-Análise Mineralógica C3 (0-2 cm)

Na campanha C3 (0-2 cm) apresenta a mesma diversidade de bioclastos vistas nas campanhas anteriores. Os foraminíferos são os predominantes (Figura 4.19A,4.20B,4.20E,4.21F,4.22B,4.22C,4.22D,4.22E,4.22F). Foram observados gastrópodes intactos (Figura 4.19D,4.20B e briozoários fragmentados, alguns briozoários apresentaram-se preservados (Figura 4.19B,4.19C), algas calcárias com uma boa representatividade e bem preservadas, poucos tubos de vermes, alguns tubos se mostram incrustados em fragmentos de composição carbonática, aparecem equinodermas bem preservados tanto na campanha de 0-2 cm quanto na de 0-10 cm e espículas de equinodermas estão presentes (Figura 4.21B,4.22A).

A composição carbonática em relação ao seu percentual continua com a mesma variação em torno de 97% a 98%. O material carbonático permanece predominante nas amostras, fragmentos de minerais de carbonato de cálcio estão distribuídos continuamente em todas as amostras, fragmentos bioclásticos, apresentam a mesma diversidade de organismos, das campanhas já discutidas. A grande maioria representado por foraminíferos (39%) bastante preservados. Os moluscos (Figura 4.20 D) (28%), representados por bivalves e gastrópodes em sua maioria, se apresentam fragmentados, alguns bivalves se mostram preservados assim como os gastrópodes. As algas calcárias (14%) apresentam uma boa representatividade nas amostras, mostram-se bastante preservadas. Os tubos de verme da classe dos anelídeos possui uma pequena representatividade, não ultrapassando 3% aproximadamente. Os briozoários (Figura 4.20A, 4.20F,4.21C) se apresentam fragmentados e com menores percentuais, não ultrapassando os 10 % das amostras analisadas. Podem ser encontrados esponjas como observado na (Figura 4.19E). Os corais (1%) observados possuem uma frequência contínua e apresentam-se muito fragmentados nas amostras em C3 (0-2 cm), alguns chegam a ser imperceptíveis pelo tamanho e fragmentação.

O percentual siliciclástico (Figura 4.21A) é representado em sua maioria por quartzo, (Figura 4.21C,4.21D) raros grãos de feldspato e fragmentos de rocha (Figura 4,19F,4.20C,4.21E) com incrustações de minerais provavelmente de composição ferruginosa. Esses sedimentos apresentaram uma variação entre 1,19 % a 1,87% em relação ao percentual siliciclástico. Os grãos de quartzo (Figura 4.22A) apresentam-se pouco angulosos a sub

angulosos, pouco esféricos, e bastante fragmentados. A sua coloração é escura, raramente ocorre na cor esbranquiçada. Ocorrem fragmentos de rocha de coloração ferruginosa, entretanto com baixo percentual. Na campanha C2 apresenta um percentual maior de grãos siliciclásticos, principalmente, representado por fragmentos rochosos.

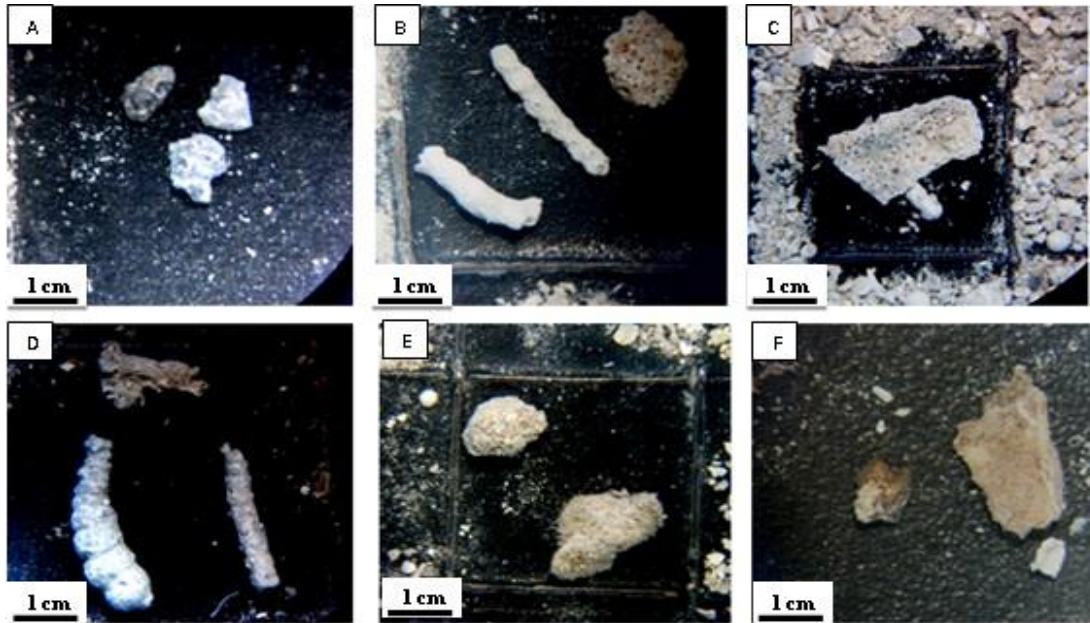


Figura 4.19- Composição mineralógica das amostras para C3 (0-2 cm). A) Presença de fragmentos bioclásticos bastante fragmentados. B) Presença de briozoários C) Fragmento de briozoário (?) D) Fragmento molusco e tubo de verme. E) Presença de esponjas. F) Presença de fragmento de rocha. Com aumento de 40x.

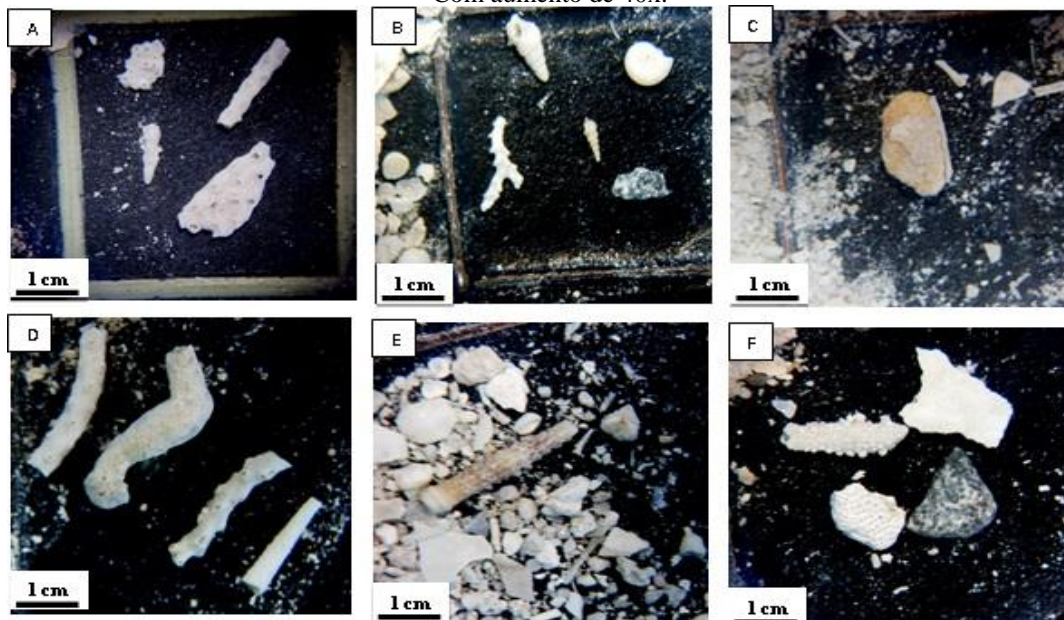


Figura 4.20- Composição mineralógica das amostras para C3 (0-2 cm). A) Presença de briozoários. B) Diversidade de bioclastos: foraminífero, moluscos e presença de grão siliciclásticos. C) Fragmento de rocha. D) Moluscos e foraminíferos. E) Equinoderma F) Presença de bioclastos em destaque o bioclasto com coloração azul e briozoários. Com aumento de 40x.

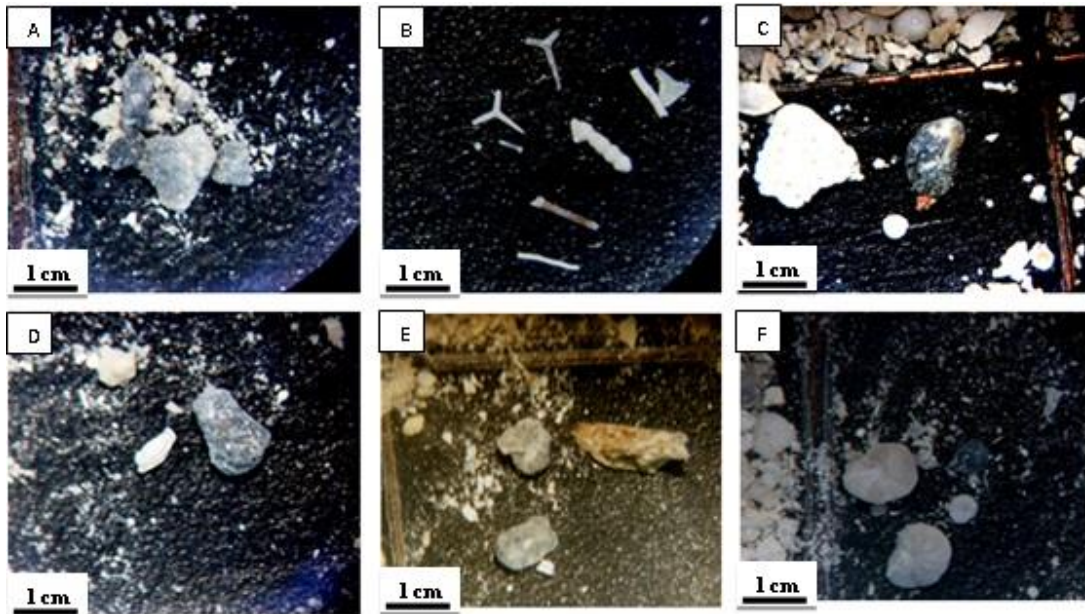


Figura 4.21- Composição mineralógica das amostras para C3 (0-2 cm). A) Presença de grãos de quartzo. B) Presença de espículas, equinodermas, moluscos e foraminíferos. C) Fragmento de briozóário e siliciclástico (?). D) Fragmento de foraminífero e quartzo. E) Fragmentos de rocha e quartzo. F) Presença de foraminíferos e quartzo. Com aumento de 40x.

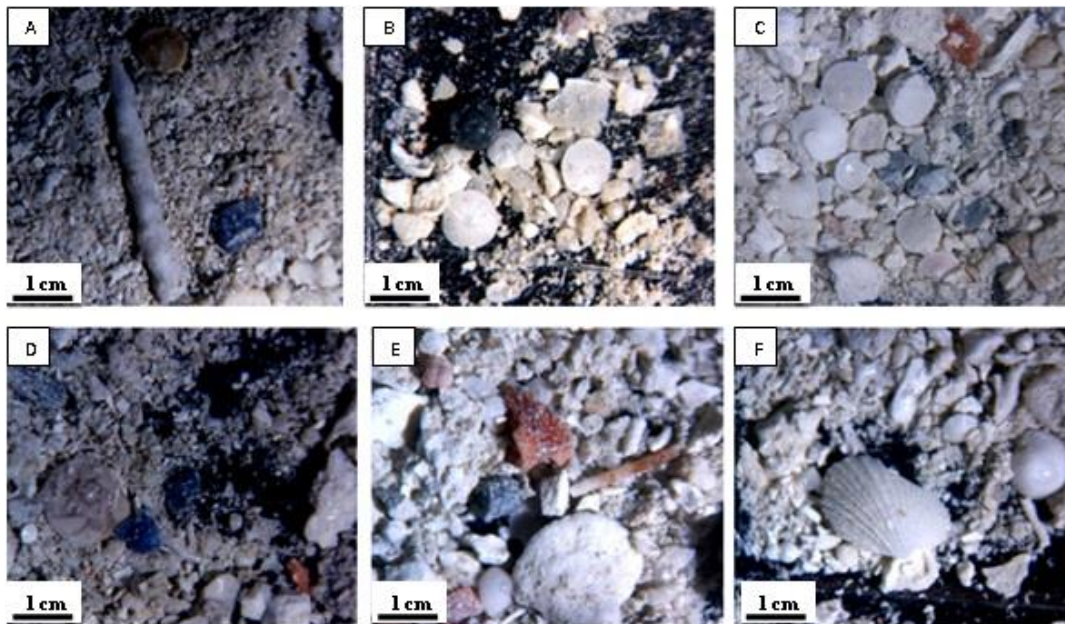


Figura 4.22- Composição mineralógica das amostras para C3 (0-10 cm). A) Presença de grãos de quartzo e equinoderma. B) Presença de espículas, equinodermas, moluscos e foraminíferos. C) Fragmento de bioclásticos (foraminíferos) e siliciclástico (?). D) Fragmento de foraminífero e quartzo. E) Fragmentos de bioclásticos. F) Presença de foraminíferos moluscos. Com aumento de 40x.

4.4.6 - Análise Mineralógica C3(0-10 cm)

Os sedimentos da campanha C3 (0-10 cm) apresentam os mesmo bioclastos observados nas campanhas anteriores. Alguns bioclásticos, principalmente foraminíferos (Figura 4.24A) podem ser observados nas (Figura 4.23A,4.23B,4.23C,4.23D,4.23E,4.23F,4.24A,4.25B,4.25E). As amostras apresentam predominância de foraminíferos (38%), ocorrem presença de moluscos (Figura 4.25D) (28%) e alguns destes, particularmente os gastrópodes apresentam-se intactos, briozoários (Figura 4.24C, 4.26C) com percentual em torno de 6% fragmentados e intactos, algas calcárias (15%) com uma boa representatividade e preservadas, ocorrem poucos tubos de vermes (Figura 4.24A,4.26A) (< 2%), entretanto alguns destes se mostram incrustados em fragmentos de rocha carbonática, aparecem resquícios de equinodermas fragmentados (6%), há também espículas (Figura 4.24E,4.26E) presentes (> 2%). Alguns foraminíferos apresentam-se aglutinados (Figura 4.25F)

Os sedimentos siliciclásticos, como podem ser visto nas figuras (4.24B,4.24D,4.24F,4.25C,4.26B,4.26D,4.26F) são constituídos de quartzo (< 2%), fragmentos rochosos (< 1% e de minerais pesados. O quartzo se apresenta pouco anguloso, alguns grãos se mostram com arestas sub- angulosas, a esfericidade dos grãos é baixa, apresentam-se bastante fragmentados. A sua coloração é bastante escura, raramente ocorre na cor esbranquiçada. Os grãos siliciclásticos mesmo em pequenas quantidades foram mais perceptíveis na terceira Campanha. Entretanto há amostras que possui apenas traços de grãos de quartzo.

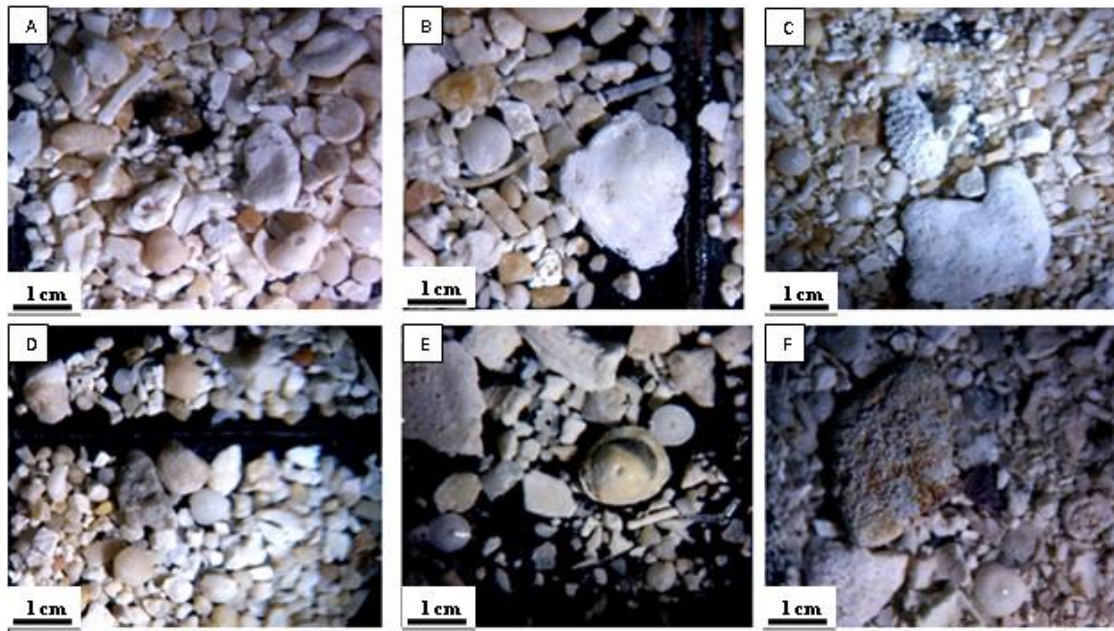


Figura 4.23- Composição mineralógica das amostras para C3(0-10 cm). A)Vista geral da amostra com destaque nos bioclastos e fragmento de rocha. B)Presença de foraminíferos e moluscos. C) Fragmento de briozoário, moluscos e foraminíferos.D) Fragmento de foraminífero e quartzo. E)Fragmentos de bioclasto com provável contaminação) Presença de fragmento de rocha e quartzo.Com aumento de 40x.

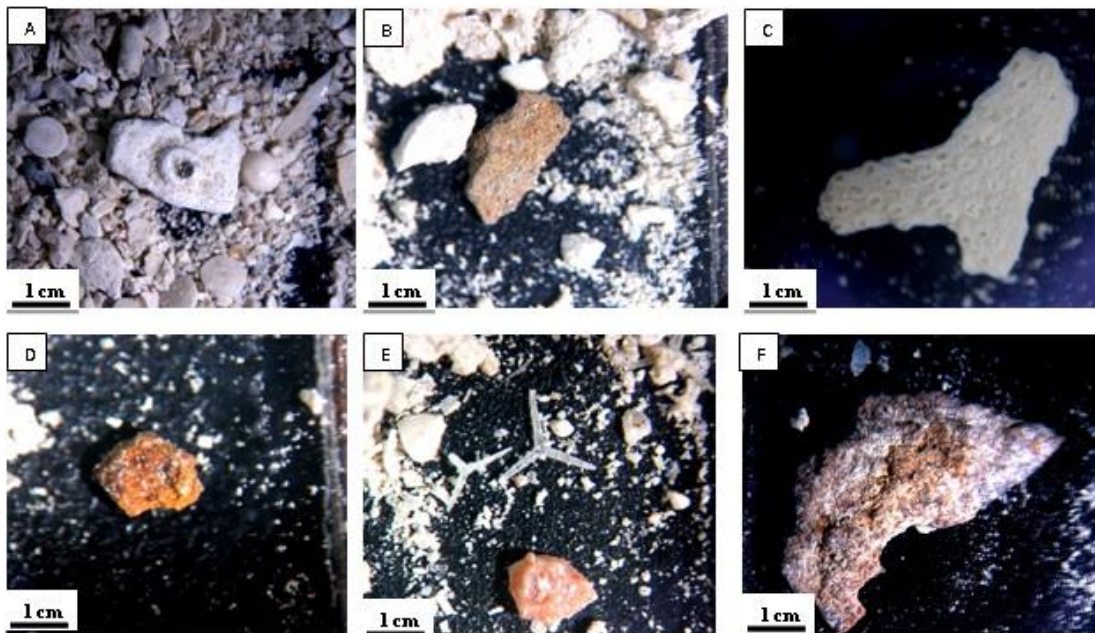


Figura 4.24- Composição mineralógica das amostras para C3 (0-10 cm). A)Presença de foraminíferos, tubos de verme. B)Fragmento de rocha.C) Fragmento de briozoário. D) Fragmento de rocha. E)Fragmentos de espículas e coral. F)Presença de fragmento de rocha.Com aumento de 40x.

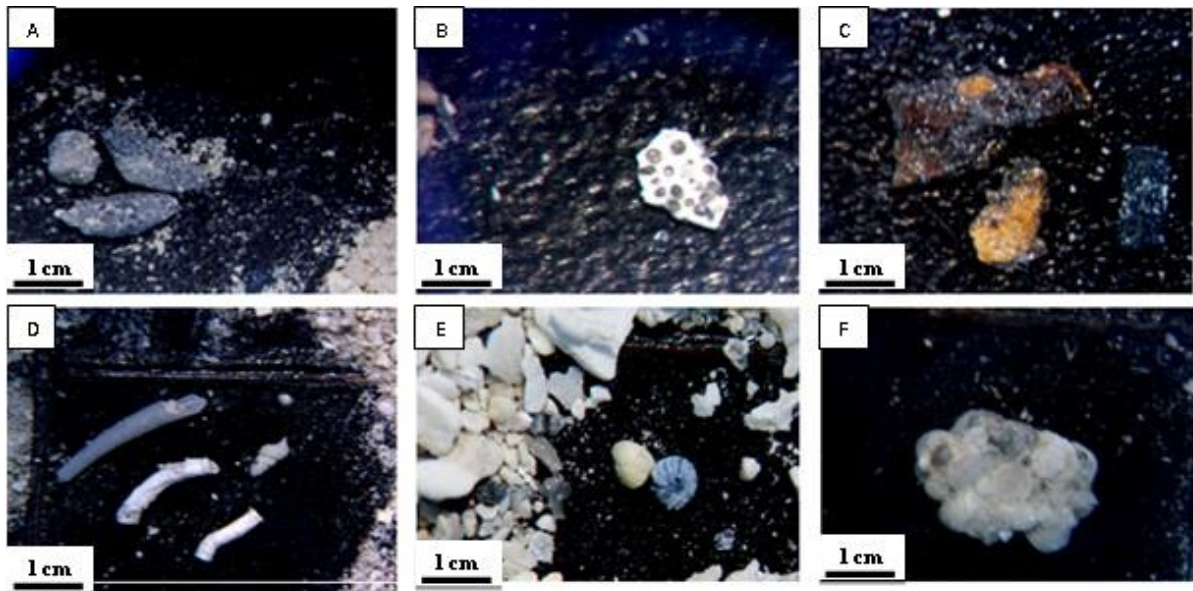


Figura 4.25- Composição mineralógica das amostras para C3 (0-10 cm). A) Presença de grãos siliciclásticos, B) Bioclasto com impregnação de mineral pesado (?) C) Fragmento de rocha e grão de quartzo. D) Fragmento de moluscos. E) Fragmentos de foraminífero. F) Aglutinação de foraminíferos e minerais pesados (?). Com aumento de 40x.

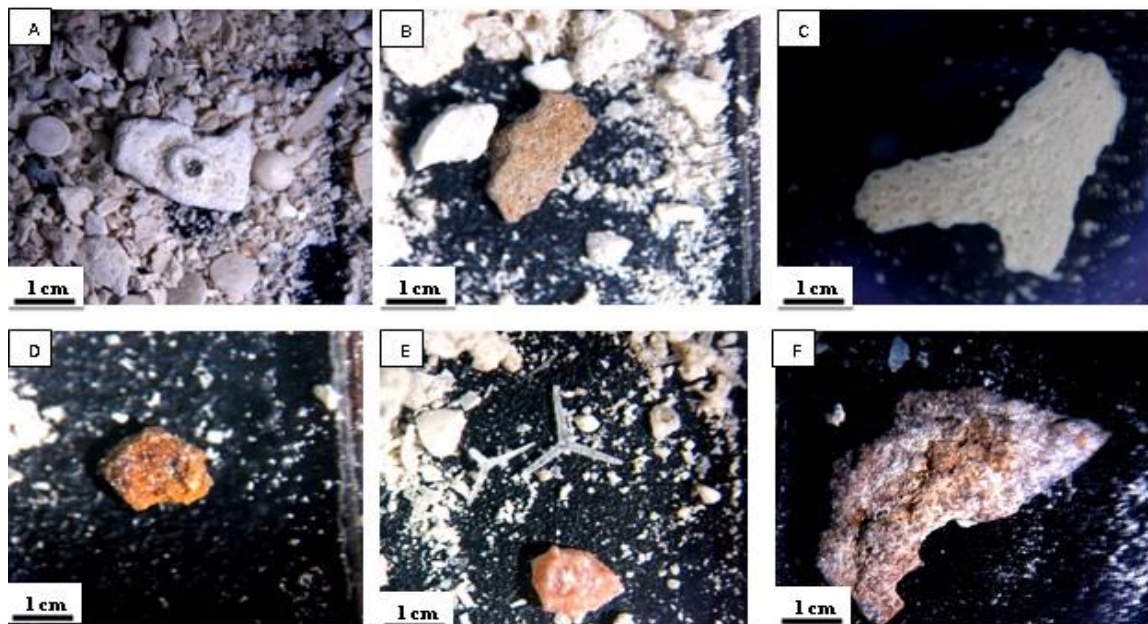


Figura 4.26- Composição mineralógica das amostras para C3 (0-10 cm). A) Presença de foraminíferos, tubos de verme. B) Fragmento de rocha. C) Fragmento de briozoário. D) Fragmento de rocha. E) Fragmentos de espículas e coral. F) Presença de fragmento de rocha. Com aumento de 40x.

5-Conclusões e Recomendações

Os resultados obtidos neste estudo, de acordo com os valores de médias, medianas, e dados de coeficiente de variação, não indicaram que carbonato de cálcio tenha sofrido influência da atividade de perfuração. A média e mediana indicam um comportamento uniforme em termos de distribuição dos teores entre campanhas (C1, C2 e C3) e raios (50 m, 100 m 250 m e 500 m). O baixo valor do coeficiente de variação para carbonato de cálcio confirma que o substrato marinho não sofreu alterações. Possíveis variações que possam ter ocorrido para esta variável na amplitude de valores mínimos e máximos não foram significativos estatisticamente para evidenciar qualquer mudança entre C1,C2 e C3 nos intervalos de (0-2 cm e 0-10 cm).

A variável matéria orgânica em todas as campanhas de monitoramento apresentou heterogeneidade em ambas as camadas (0-2 cm e 0-10 cm). A média dos teores registrado em torno do poço de perfuração varia entre 6,58% a 9,00% (0-2 cm) e 6,59% a 9,22% (0-10 cm). O coeficiente de variação demonstra baixos percentuais, indicando que não houve grandes mudanças quanto ao substrato marinho. Em 0-2 cm os dados de C1 são inferiores aos de C2 e este inferior a C3. Enquanto para 0-10 cm os dados de C1 são inferiores aos de C2 e este superior a C3. Esses resultados mostram que os níveis de matéria orgânica não foram em qualquer grau desviados dos seus teores naturais pelo efeito da atividade de perfuração e sim, por variáveis sazonais da dinâmica da região em estudo.

A variável cascalho, em todas as campanhas de monitoramento, apresentam heterogeneidade em ambas as camadas (0-2 cm e 0-10 cm). A média dos teores registrado em torno do poço de perfuração varia entre 3,56% a 47,43% (0-2 cm) e 13,15% a 26,30% (0-10 cm). O alto valor do coeficiente de variação para cascalho evidencia que há heterogeneidade composicional e que houve mudanças no substrato marinho, no entanto, essa modificação pode ter relação com a perfuração, a qual pode causar adição ou movimentação no seu entorno, entretanto não se descarta a possibilidade de ser também causada pela dinâmica do fundo marinho. Analisando em termos de raios amostrais observa-se que ocorrem decréscimos de C1 para C2 em ambas as camadas analisadas (0-2 cm e 0-10 cm). As três campanhas de monitoramento

demonstram diferenças entre si, entretanto percebe-se que o empobrecimento em C2 para o intervalo de 0-2 cm pode está condicionado ao descarte de cascalho oriundo da perfuração. Essa diminuição do teor de cascalho poderia ser explicada pelo descarte de material fino na lamina mais superficial dos sedimentos durante a fase de perfuração. Observando o comportamento em C3(0-2 cm e 0-10 cm) percebe-se que ocorreu decréscimo do teor nesta campanha. O fato de ocorrer o aumento do teor de cascalho na campanha C3 para ambas as camadas (de 0-2 cm e 0-10 cm), principalmente nos raios proximais do poço perfurado (50 m e 100 m) pode esta relacionado a fatores sazonais que ocorre na área em estudo e tenha dissipado o efeito de enriquecimento do teor de C1 para C2 após 1 ano de perfuração.

A variável areia em todas as campanhas de monitoramento apresentou heterogeneidade em ambas as camadas (0-2 cm e 0-10 cm), com uma variação no conteúdo de 47,81% a 94,60%. Comparando-se as campanhas observa-se um enriquecimento no teor de areia de C1 para C2, contrária ao comportamento do cascalho. Esse comportamento confirma a correlação entre areia e cascalho, forte e inversa. As mudanças da distribuição dos teores em C2 para as camadas de 0-2 cm e 0-10 cm podem esta relacionados ao efeito da perfuração, entretanto também podem estar relacionados aos efeitos naturais da dinâmica regional da área em estudo.

A variável lama para as campanhas de monitoramento (C1, C2 e C3) no intervalo de 0-2 cm apresentam uma variação dos teores de 0,37% a 19,35%. Analisando as três campanhas elas apresentam-se homogêneas entre si. Em relação aos valores de coeficiente de variação sua variabilidade é muito alta indicando uma composição extremamente heterogênea. Tal heterogeneidade pode está relacionada ao estado natural dos sedimentos de fundo. Esta variável apresenta teores percentuais menores em C1, ao passo que em C2 essa distribuição tem um comportamento aleatório, em C3 os teores também não apresentam comportamento definidos. Para as campanhas de monitoramento (C1, C2 e C3) no intervalo de 0-10 cm apresentam uma variação dos teores de 0,39% a 19,89%. Em termos de distribuição dos teores entre os raios, observa-se um percentual maior em C1 que não foi observado para o intervalo de 0-2 cm. Em C2 há diminuição para os raios de 50 m, 100 m e 250 m exceto para o raio de 500 m que permanece inalterado. O comportamento aleatório da distribuição dos

teores dessa variável indicam que a variável lama não sofreu influência do efeito de perfuração para ambas as camadas de 0-2 cm e 0-10 cm.

Os resultados das análises de sedimentos de fundo marinho apresentados neste estudo mostram uma predominância granulométrica de areia grossa para as campanhas C1, C2 e C3. Em termos percentuais totalizam para estas campanhas no intervalo de 0-2 cm (67%), seguido de areia média (30%) e areia muito grossa (3%). Para o intervalo de 0-10 cm mostram uma predominância granulométrica de areia média apenas para C1 e C2. Em termos percentuais totalizam para o intervalo de 0-10 cm (57%) da área estudada, seguido de areia grossa (40%) e areia muito grossa (3%) da plataforma externa.

De acordo com os dados obtidos do desvio padrão, verificamos na área em estudo que para as campanhas (C1, C2 e C3) no intervalo de 0-2 cm e 0-10 cm predominam os sedimentos muito pobremente selecionados ($2\Phi - 4\Phi$). Esses sedimentos não possuem uma distribuição espacial definida e ocorrem nos raios mais internos em torno do poço de perfuração (50 m e 100 m) quanto nos mais distais (250 m e 500 m). A presença de sedimentos muito pobremente selecionados e pobremente selecionados na área indica uma dinâmica marinha menos intensa na região em estudo.

A classificação sedimentar aplicada na área em estudo indica que há predominância de areia bioclástica com grânulos e cascalhos, seguido de lama calcária, areia biosiliciclástica e areia silicibioclástica.

A plataforma externa adjacente ao Rio Grande do norte é composta por sedimentos biogênicos, minerais pesados, fragmentos de rochas e sedimentos bioclásticos. Esta plataforma é caracterizada pela presença de alto teor de carbonato, atribuída à presença sedimentos biogênicos que são constituídos por uma grande variedade de organismos: algas calcárias, moluscos (bivalves, gastrópodes,), foraminíferos bentônicos e planctônicos, briozoários, tubos de vermes, equinodermas, esponjas e suas espículas, artrópodes e corais.

Os foraminíferos, algas calcárias, moluscos ocorrem com maiores frequências e quantidades na área de estudo, já os tubos de vermes, os briozoários, os equinodermas, as esponjas e suas espículas, os artrópodes e os corais aparecem em menores quantidades e com menor frequência, principalmente os corais. Na região estudada há a presença de sedimentos bem preservados (biomorfos) e fragmentados (bioclásticos),

com predominância destes últimos, indicando que a plataforma é um ambiente com alta energia devido à ação de ondas, marés e correntes. As algas calcárias desenvolvem-se melhor em regiões rasas, pois necessitam da luz solar para realizarem o processo de fotossíntese. Os organismos tais como: briozoários, equinodermas, tubos de vermes, esponjas e suas espículas, os artrópodes e os corais, ocorrem de maneira irregular de acordo com as condições ambientais que possibilitam o seu desenvolvimento. Esta irregularidade também é associada à presença de correntes e ao tipo de substrato.

Os sedimentos siliciclásticos apresentaram um percentual bem inferior ao material carbonático, não ultrapassaram 4% em todas as campanhas, para ambos os intervalos de 0-2 cm e 0-10 cm compostos essencialmente de quartzo, minerais pesados e fragmentos de rochas.

Para uma confirmação das suposições aqui apresentadas sugere-se que monitoramentos desse tipo sejam associado a aplicação de técnicas hidroacústicas, tais como batimetria multifeixe e levantamento com sonar de varredura lateral, de forma a obter uma visão coerente da morfologia do fundo marinho, bem como o estudo da estratigrafia rasa subjacente, com utilização de perfiladores de subfundo.

Estas informações fornecerão subsídios para o entendimento da dinâmica da plataforma externa adjacente a Bacia Potiguar, que poderão ser comparados com outras plataformas similares em outras partes do mundo.

Referências

Abílio, G.S.; Cupelo, A.C.G;Rezende.C.E (2004). Metal distribution in sediments of na offshore exploration area Santos basin Brazil. 4th international Symposium Environmental Geochemistry in tropical countries, R.J Brasil, Book of Abstracts; volume único, p. 320-321.

ANP, Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural, Outubro de 2013, disponível em: <
<http://www.anp.gov.br/?pg=68653> acesso em: 16 de dezembro de 2013.

Assunção M. (1992). The regional intraplate stress field in South America. *Journal of Geophysical Research*, 97(B8): 11889-11903.

Bernier, R., Garland, E., Glickman, A., Jones, F., Mairs, H., Melton, R., Ray, J., Smith, J., Thomas, D. & Campbell, J. (2003). Environmental aspects of the use and disposal of non aqueous drilling fluids associated with offshore oil & gas operations, International Association of Oil & Gas Producers Report No: 342, Inglaterra, Londres.

Bertani, R. T., Costa, I. G., Matos, R. M. D. (1990). Evolução tectono-sedimentar, estilo estrutural e “habitat” do petróleo na Bacia Potiguar. In: Gabaglia, G. P. R., MilNI, E. J., (ed). *Origem e Evolução de Bacias Sedimentares*.Petrobrás. p.291-310. Rio de Janeiro.

Breurer, E., Stevenson, A. G., Howe, J. A., Carroll, J., & Shimmiel, G. B. (2004). Drill cutting accumulations in the Northern and Central North Sea: A review of environmental interactions

Carvalho, C.E.V.; Salomão, M.S.M.B.; Molisani,M.M;Rezende,C.E &, Lacerda, L.D. (2002). Contribution of a médium-size tropical river to the particulate heavy-metal load for the South Atlantic Ocean. *The Science of the Total Enviroment* 284:85-93.

Correa, I. C. S.; Toldo JR, Elírio Ernestino. ; Toledo, Felipe (2010). Impacts on seafloor geology of drilling disturbance in shallow waters. *Environmental Monitoring and Assessment (Print)*, v. 167, p. 7-16.

Correa, I. C. S. ; Toldo JR., Elírio Ernestino ; Toledo, Felipe A.(2009). Seafloor geological impacts associated with drilling disturbance. Deep-Sea Research. Part 2, Tropical Studies in Oceanography. v. 56, p. 4-11.

Cremonini, O. A.(1993). Caracterização estrutural e evolução da área de Ubarana, porção submersa da Bacia Potiguar, Brasil. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, 136 p.

Cremonini OA. (1995). A reativação Tectônica da Bacia Potiguar no Cretáceo Superior. SBG, Boletim de resumos expandido, V Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 1: 277-280, Gramado, RS.

Crossland, C.J., Kremer, H. H, Lindeboom, H.J. ,Marshall Crossland,.I., Lê Tessier, M.D.A. (2005) Coastal Fluxes in the Anthropocene.Springer Verlag, Berlim, 231 p.

Daan, R., & Mulder, M. (1993). Long term effects of OBM cutting discharges at a drilling site on the Dutch.

Dias, G.T. M (1996). Classificação de sedimentos marinhos: proposta de representação em cartas sedimentológicas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34. Anais. SBG, v.3, p. 423-426. Salvador-BA.

Dias, G.T.M e Ferraz, C.B.(2004. SAG-Sistema de Análise Granulométrica. Manual do Usuário.

Ferreira JM, Oliveira RT, Takeya MK & Assunção M. (1998). Superposition of local and region stresses in Northeast Brazil: Evidence from focal mechanisms around the potiguar marginal basin. Geophysics Journal International, 134: 341-355.

Fornari M. (2005). Avaliação sedimentar em área de perfuração exploratória marítima, bacia de campos, Rio de Janeiro-Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Pós graduação em Geociências, 65p.

França, A. M. C., Coutinho, P. N. & Summerhayes, C. P.(1976). Sedimentos superficiais da margem continental nordeste brasileira. Rev. Br as. Geociências, (6):71-88.

- Freire, G. S. S.; Cavalcanti, V.M.M.; Maia, L. P. & Lima, S.F. (1997). Classificação dos sedimentos da plataforma continental do Estado do Ceará. Simpósio de Geologia do Nordeste, Fortaleza-CE, p.209-211.
- Freire, G. S. S.(1985). Geologia Marinha da Plataforma Continental do Estado do Ceará.
- Folk, R.L, Ward W.C. (1957). Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27:3-26.
- Folk, R. L (1968). Petrology of sedimentary rocks. Austin: Hemphill's, 182p.
- Folk, R .L. (1974). Petrology of sedimentary rocks. Austin: Hemphill Publish Company,181p.
- Gomes, M. P.; Vital, H. (2010). Revisão da Compartimentação Geomorfológica da Plataforma Continental Norte do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geociências*.Volume 40(3): 321-329.
- Johnson,H.D.,Baldwin,C.T.(1996).Shallow Clastic Seas, In: *Sedimentary Environments: processes, facies and stratigraphy*, Editor (s): Reading, Blackwell Scientific Publications. P.236-286.
- Kestenbac,H.J.; Bota Filho W.J.(1994). Microscopia eletrônica transmissão e varredura. São Paulo: AMB.
- Kempf M. (1970). Notes on the benthic bionomy of N.E. Brazilian shelves. *Mar. Biol.* 5(3):213-214.
- Kennicutt II, M. C., Green, R. H., Montagna, P. A., & Roscigno, P. F. (1996). Gulf of Mexico offshore operations monitoring experiment—GOOMEX, PhaseI: Sublethal responses to contaminant exposure—Introduction and overview. *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Science*, 53, 2540–2533.
- Lacerda,LD.,Kremer H.H.,Kjerfve B., Salomons W., Marshall-Crossland, J.I.& Crossland J.C (2002). South American Basins: Loicz Global Change Assesment and Synthesis of River Catchment-Coastal Sea Interaction and Human Dimensions. Loicz Reports & Studies No.21.Loicz, Texel, The Netherlands,Volume 1: ii+95p., volume 2: ii +127 p.

Larssoneur, C. La. (1977). Cartographie de's dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise u points et utilisée em Manche. *Journal Redi Oceanog*, v.2, p. 34-39.

Mabesoone, J.M & Tinoco, I (1967). M.Shelf off Alagoas an Sergipe (Northeastern Brazil). II. *Geology. Trab. Inst. Oceanogr. Univ. Fed. Pernambuco*, 7/8: 151-186.

Mabesoone, J. M. & Tinoco, I. M. (1970). Shelf off Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil). 2 - *Geology. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco*, (7/8):151-186.

Mabesoone, J. M., Kempf, M. & Coutinho, P. N. (1972). Characterization of surface sediments on the northern and eastern Brazilian shelf. *Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco*, (13):41-48.

Marques,W.S.(2008).Geoquímica de carbonatos da plataforma continental do nordeste do Brasil. Tese doutorado, Centro de Tecnologia e Geociências,UFRPE 108p.

Martins, L. R. & Coutinho, P. N. (1981). The brasilian continental margin. *Earth Science Reviews*, Amsterdan. Elsevier. (17):87-107.

Marins, R.; De Paula Filho, F.; Maia, S.; De Lacerda, L. e Marques,W (2004). Distribuição de mercúrio total como indicador de poluição urbana e industrial na costa brasileira. *Química Nova*, 27:763 – 770.

Matos, R. M. D., Lima Neto, F. F., Alves, A. C., Waick, R. N. (1987). O Rifte Potiguar – gênese, preenchimento e acumulações de hidrocarbonetos. In: *Seminário sobre riftes intracontinentais*, Rio de Janeiro, Resumo dos trabalhos. PETROBRÁS/DEPEX, p. 160-197.

Matos, R. M. D.(1992). The Northeast Brazilian Rift System. *Tectonics* , v. 11, n. 4, p. 766-791.

McCave, I.N., and Syvitski, J.P.M.(1991). Principles and methods of geological particle size analysis. In Syvitski, J.P.M. (Ed.), *Principles, Methods, and Application of Particle Size Analysis*: Cambridge (Cambridge Univ. Press), 3-21.

Mizusaki, A.M.P. (1989). A Formação Macau na porção submersa da Bacia Potiguar. *Bol Geoc. PETROBRÁS*. v. 3, n. 3, p. 191-200.

Nagatani, T. et al (1987). Development of an ultra high resolution scanning electron microscope by means of a field emission source and inlens system. **Scanning Microsc.**, v.11, p.901-909.

Neff, J. M., McKelvie, S., & Ayers, R. C. (2000). Environmental impact of synthetic based drilling fluids. New Orleans: U.S. Department of Interior, Minerals Management Service.

Nittrouer & Wright, (1994). Transport of particles across Continental Shelves. *Reviews of Geophysics*, 32(1):85-113.

Wright, L.D. (1995). *Morphodynamics of inner continental shelves*. London, CRC Press Lewis Publishers: 240p.

Olsgard, F., & Gray, J. S. (1995). A comprehensive analysis of the effects of offshore oil and gas exploration and production on the benthic communities of the Norwegian continental shelf. *Marine Ecology Progress Series*, 122, 277–306.

Oliveira DC, Cruz Jr FW & Menezes RMR (1996). Significado geodinâmico da estruturação rasa no extremo sudoeste da Bacia Potiguar (Nordeste do Brasil). *Boletim de resumos, IV Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil*, 1: 95-106, UNESP, Rio Claro, SP.

Palma, J. J. C. (1979). Geomorfologia da plataforma continental norte brasileira. In: Projeto REMAC - Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, Série Projeto REMAC, (7):25-51.

Pessoa Neto O.C. (2003). Estratigrafia de sequência da plataforma mista neogênica na Bacia Potiguar, margem equatorial brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, 33:263-278.

Pessoa Neto, O. C. (2007). Litoestratigrafia da Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 15 (2) p.357-369.

Portal do Cerne (Centro de Estratégias em recursos naturais e energia). Disponível em: ><http://www.cerne.org.br/pt-BR/noticias/petroleo-e-gas-sao-debatidos-no-segundo-dia-do-forum-estadual-de-energia-do-rn>> Acesso em 16 de dezembro de 2013.

Powers M.C. (1953). A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, 23: 117-119.

Reed, S.J.B.(1996).Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology, New York, Cambridge University Press. 201 p.

Rezende, C.E.; Ovalle, A.R.; Carvalho, C.E & Lacerda, L.D (2004). Geochemistry and spatial distribution from two offshore oil fields in Southeastern Brazil. in: Lacerda, L.D.,Santelli, R.E.; Duursma, E.K.,Abrão, J.J (eds). Facets of environmental Geochemistry in tropical and subtropical environments. Springer Verlag, Heidelberg,p:355-364.

Steinhauer, M.; Crecelius, E. & Steinhauer, W.(1994) Temporal and spatial changes in the concentrations of hydrocarbons and trace metals in the vicinity of an offshore oil -production platform. Marine Environmental Research n° 37. p129-163. .

Smith WHF & Sandwell DT. (1997). Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. Science, 277: 1956–1962.

Soares Júnior, A.V., Costa, J.B.S., Hasui, Yociteru, (2008) São Paulo, UNESP, Geociências, v. 27, n. 4, p. 427-437. Evolução da margem atlântica equatorial do Brasil:três fases distensivas.

Souza S. M., (1982). Atualização da litoestratigrafia da Bacia Potiguar. In: SBG In: SBG,Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Salvador. Anais., v. 5, p. 2392-2406.

Summerhayes, C. P. Coutinho, P. N., França, A. M. C. & Ellis, J. P.(1975). Upper continental margin sedimentation off Brazil. Part III. Salvador to Fortaleza, ortheastern Brazil. Contr. Sedimentology, Stuttgart. (4):44-78

Swift,D. J.P., Thorne, J.A.(1991). Sedimentation on continental margins:I.A Geologists General model for shelf sedimentation. Spec.Publ. Int.Assoc.Sedimentol.14,3-31.

Toldo JR., E.E.; AYUP-ZOUAIN (2004), R.N.: Estrutura, Organização e Premissas do Projeto MAPEM.; Capítulo; Monitoramento Ambiental em Atividades de Perfuração Exploratória Marítima - Modelo de Águas Profundas; Elirio E. Toldo Jr.; Porto Alegre; BR; 29; 1; Português; Impresso;

Elírio E. Toldo Jr, Ricardo N. Ayup-Zouain, Carla Dal Sasso Freitas, Dirce Pozzebon, Eduardo Soriano-Sierra, Felipe A. Toledo, Fernando H. Pulgati, Iran C. S. Corrêa, Jandyra M. G. Fachel, Maria A. G. Pivel, Maria do Carmo Peralba, Maria Fernanda L. Santos, Sérgio Netto. (2005). Monitoramento Ambiental em Atividades de Perfuração Exploratória Marítima (MAPEM). 3^o Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás . Publicação CECO-IG-UFRGS.

Toldo, Elírio E. ; Ayup-Zouain, Ricardo N. ; Netto, Sérgio A. (2010). Environmental monitoring of offshore drilling for petroleum exploration (MAPEM Project): shallow waters. *Environmental Monitoring and Assessment (Print)*, v. 167, p. 1-5.

Vital, H.; Tabosa, W.F.; Staatterger, K.; Caldas, L.H.O (2001). Tectonics and Bottom Morphology control on Sediment Distribution in the Brazilian NE Continental Margin: São Bento do Norte / Caiçara do Norte Área. Abstracts of the Chapman conference on the Formation of Sedimentary Strata on Continental Margins , American geophysical Union, Ponce-Puerto Rico. p.37.

Vital H., Silveira M., Amaro V.E. (2005). Carta sedimentológica da plataforma continental brasileira - área Guamaré a Macau (NE Brasil), utilizando integração de dados geológicos e sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geofísica*, **23**(3):233-241.

Vital,H.; Stattegger, K.; Amaro, V.E.;Schwarzer, K.; Frazão, E.P.; Tabosa, W.F.; Silveira, L.M (2008). A modern high-energy siliclastic-carbonate platform: Continental shelf adjacent to northern Rio Grande do Norte State, northeastern Brazil. In: Recent advances in models of siliclastic shallow- marine stratigraphy, SEPM SP 90;175-188.

Vital, H.; Gomes, M.P., Tabosa, W.F., Frazão, E.P., Santos, C.L.A., Plácido Junior, J.S. (2010). Characterization of the Brazilian Continental Shelf adjacente to Rio Grande do Norte State, NE Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, special issue IGCP526, **58**:43-54.

Wright, L.D. (1995). *Morphodynamics of Inner Continental Shelves*. CRC Press, Boca Raton,FL

Vital H.; Tabosa, W.F.;Stattegger, K.,Caldas,L.H.O,(2001).Tectonics and bottom morphology control on sediment distribution in the Brazilian Northeastern Continental Margin: São Bento do Norte/Caiçara do Norte Area. The American Geophysical Union. Chapman Conference on the Formation of sedimentary strata on Continental Margins. Ponce Puerto Rico. P.37.

APÊNDICE – Artigo submetido à *Revista Environmental Monitoring and Assessment* em 18.03.2014.

**SEDIMENT STUDIES ASSOCIATED WITH DRILLING ACTIVITY ON A
TROPICAL SHALLOW SHELF**

Claudete R. Souza, Helenice Vital, Germano Melo Junior, Cleuneide R. Souza, Mary Lucia da Silva Nogueira, Werner Farkatt Tabosa.

Abstract — Environmental monitoring studies were developed in an area located on the outer shelf in the Potiguar Basin, Brazilian equatorial margin; this tropical shelf represents a modern, highly dynamic mixed carbonate-siliciclastic system. Field sampling was carried out during 3 cruises surrounding a shallow-water exploratory well to compare sediment properties of the seafloor, including grain-size, texture, mineral composition, carbonate content, and organic matter, prior to drilling with samples obtained 3 and 12 months after drilling. The sample grid used had 16 stations located along 4 radials from 50 m the well up to a distance of 500 m. Sediments were analyzed in the first 0-2 cm, and 0-10 cm layers. The results show that sedimentary cover around the well is dominated by bioclastic sediments, poor to very poorly sorted. Only minor sedimentological variations occurred in the area affected by drilling operations. The most noticeable effects were observed during the second cruise, in terms of a change in grain size distribution associated to a slight increase in siliciclastic content, This impact occurred in the most surficial sediment (0-2 cm), in the radials closest to the well (50 m), and could suggest the effects of drilling. However, in the third cruise, one year after drilling, the sediments return to show the same characteristics as in the first cruise. These results show no significant sedimentological variations due to drilling

Souza, C.R.

activity, and indicate that ocean dynamics in this area was high enough to recover the environment original characteristics.

Key-Word: offshore monitoring, outer shelf, Potiguar Basin, Brazilian equatorial margin.

C.R. Souza

Geodynamic and Geophysics Programme, Federal University of Rio Grande do Norte

Campus UFRN. P.O. Box 1596, 59072-970.Natal/RN, Brasil

Email: Claudete@yahoo.com.br

H. Vital

Department of Geology, Geodynamic and Geophysics Programme,

Federal University of Rio Grande do Norte

Campus UFRN. P.O. Box 1596, 59072-970.Natal/RN, Brasil

Email: helenice@geologia.ufrn.br

G. Melo Jr.

Department of Geology,

Federal University of Rio Grande do Norte

Campus UFRN. P.O. Box 1596, 59072-970. Natal/RN, Brasil

Email: germano@geologia.ufrn.br

C.R. Souza

Geodynamic and Geophysics Programme,

Federal University of Rio Grande do Norte

Campus UFRN. P.O. Box 1596, 59072-970. Natal/RN, Brasil

Souza, C.R.

Email: Cleo14bis@hotmail.com

M.L.S. Nogueira.

Geodynamic and Geophysics Programme,

Federal University of Rio Grande do Norte

Campus UFRN. P.O. Box 1596, 59072-970. Natal/RN, Brasil

Email: marylsnogueira@yahoo.com.br

W.F. Tabosa

Department of Geology,

Federal University of Rio Grande do Norte

Campus UFRN. P.O. Box 1596, 59072-970. Natal/RN, Brasil

Email: werner@geologia.ufrn.br

1-Introduction

Environmental effects of offshore petroleum operations have received attention since the 80s from the last century, when possible effects of discharges of drilling mud and cuttings and produced water from offshore facilities have been one subject of concern, and numerous field studies have been conducted around the world, mainly in the north-Atlantic, north-Pacific, Gulf of Mexico, and North Sea to assess these effects (e.g. Breuer et al. 2004, Marsh 2003, Bernier et al. 2003, Kennicutt et al. 1996, Olsgard, F., & Gray, 1995, Steinhauer et al, 1994, Chapman 1992, Boothe, & Presley 1987, National Research Council 1983, Menzie 1982, Hileman 1981, Middleditch 1981, Gettleson 1980). The sedimentation of these environments can be affected by the activity of drilling for oil, especially if there is disposal of rubble during the phase of drilling. The effects of disposal may cause interference in the

Souza, C.R.

sediment, such as changes in particle size (Bernier et al.,2003), increased levels of hydrocarbons (Steinhauer et al. , 1994; Oslgard & Gray, 1995) and organic enrichment (Bernier et al., 2003).

On the other hand, the south- Atlantic has received much less interest despite the intense activity of the PETROBRAS – Brazilian Oil Company. Probably, because in Brazil there were no specific regulations for disposing the waste from drilling activity. This practice is adopted in accordance with the processes of environmental licensing of these exploratory activities. Studies with this focus begins in 2001 on the Campos and Santos basins. The MAPEM project—Environmental Monitoring of Offshore Drilling for Petroleum Exploration, conducted between 2001 and 2003 (Toldo et al, 2009) was the first multidisciplinary study, in an area off the Brazilian continental margin, to investigate the effects of cuttings discharge impregnated with one of the new-generation non-aqueous fluids (NAF type III) realized in deep water of the Campos Basin, in the southwest of the South Atlantic Ocean. As a result of MAPEM Correa et al. (2009) describes the sediment composition of the seabed around 900 m depth in the Campos basin, while Correa et al. (2010) describes the effects of drilling disturbance on the seafloor of the upper continental slope at depths of 200 m. However no studies were reported to the tropical equatorial margin. Recent increases in the rate of federal oil and gas leasing on the outer continental shelf and deep waters have intensified public interest in the potential environmental effects of these energy-related activities.

According to the current legislation of the Brazilian Institute of the Environment and of Natural Resources – IBAMA, environmental monitoring expeditions are necessary, prior and post-drilling, to identify and scale the possible changes caused in environment by disposing of gravel and drilling fluid in the marine environment arising out of activities of drilling the wells (Borges et al., 2011).

In line with the Brazilian legislation, the focus of this paper is the systematic monitoring studies of the marine environment in tropical very shallow water of the Potiguar Basin (Fig.1).

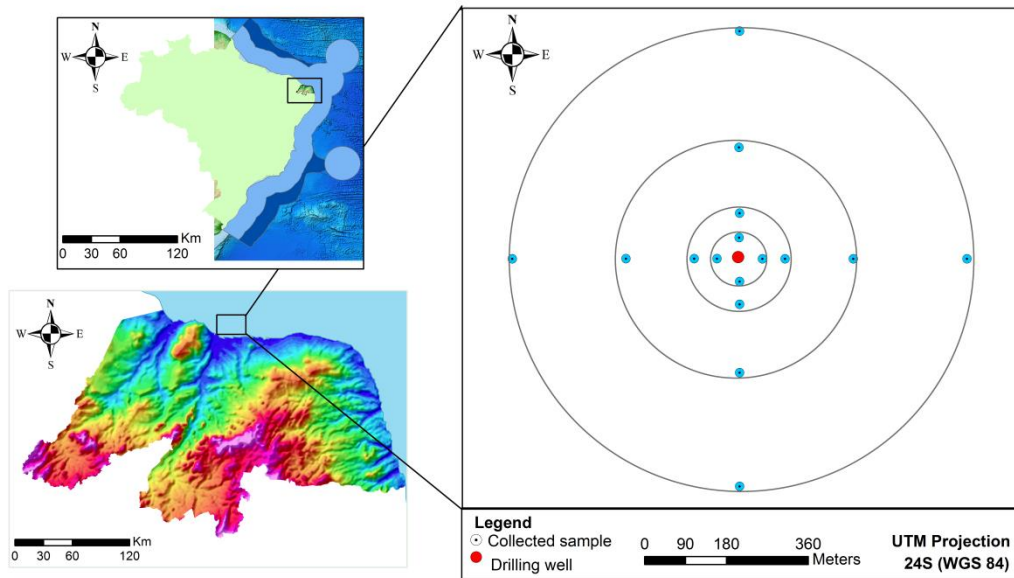


Fig. 1 – Location of the study area. A) general view of the area on the Brazilian equatorial margin; B) detail of the study area adjacent to Rio Grande do Norte State; and C) detail of the sampling plan. Drill well location is represented by the red circle and sampling locations by the blue circles.

This Basin has great economic and environmental importance due to the occurrence of exploration and production of oil. In such environments, which are vulnerable and susceptible to anthropogenic activities, it is necessary to understand the sedimentary dynamics along with the monitoring studies since, through a characterization of sedimentary area, it is possible to measure environmental changes that occur in the area, mainly the changes generated by the oil industry during the drilling of wells in offshore areas and to

Souza, C.R.

prevent and then assess possible damage caused to the environment. This is the first study realized in this area with the aim to compare sediment properties of the seafloor, including grain-size, texture, mineral composition, carbonate content, and organic matter, prior to drilling with samples obtained 3 and 12 months after drilling, to characterize variation in bottom sediments associated to the effects of drilling activity.

Regional Setting

The continental shelf of the Potiguar basin is narrow (~ 40 m wide) and shallow (~ 60 m depth). It has mixed sedimentation implanted since the Neocampanian, with siliciclastic depositional systems predominant nearshore and carbonate depositional systems predominant in the direction of the edge of the shelf (Pessoa Neto et al., 2003, 2007; Vital et al., 2008).

Gomes & Vital (2010) recognize three different environments in this continental shelf, mainly based on the geomorphology: 1) the inner shelf under bathymetric depth of 15 meters, where siliciclastics sediments dominates, and occur large longitudinal dunes; 2) the mid shelf. This region has a mix of siliciclastic and carbonate sediments, and transversal dunes between 15 and 25 meters deep. And 3) the outer shelf. Carbonates sediments are dominants in this area. This part of the shelf is narrow between 25 and 40 meters depth. An old beachrock chain at the 25 m isobath marks the limit between mid- and outer shelf. The shelf passes seawards into a steep slope; Others bedforms area also present on this shelf, such as incised valleys, reefs, isolated shallow-marine sand bodies and old beachrocks chains, in general associated with neotectonic (e.g.Schwarzer et al. 2006; Tabosa 2006; Tabosa & Vital 2006; Santos et al. 2007; Vital *et al.* 2008).

The carbonatic sediments of the province have already been reported (Summerhayes et al. 1975), indicating the presence of relict sands and biodetritical and palimpsestical gravels that predominate in the middle and outer shelf .

This open ocean facing shelf experiences high-energy, shoreline and shelf-margin parallel currents driven by a combination of oceanic, trade winds, tidal and wave processes. The processes operating on the shelf also play an important role in controlling the shelf morphology and sediment distribution (Testa & Bosence 1999; Vital et al. 2008).

3-Materials and Methods

Three oceanographic cruises were made denoted by C1, July 2009, prior to drilling; C2, May 2010, 90 days after drilling; and C3, January 2011, twelve months after drilling.

Sediment samples from the seabed were collected with a *Van Veen* (231 liters) sampler in the outer shelf (~50 m depth) of the Potiguar Basin, NE Brazil. The sampling plan around the well involved 16 stations for each sampling cruise. A concentric radial sampling grid was adopted, with four sediment samples collected at circles situated at 50, 100, 250 and 500 m from the well. The sampling was carried out in triplicate from the first 2 cm (0-2cm) and of the first 10 cm (0-10cm).

Each sample collected during each cruise was analyzed for grain size, carbonate and organic matter content, and mineralogy as well. Statistical analyzes were performed for the variables: (calcium carbonate, organic matter, gravel, sand and mud). In the stage of statistical summation the following empirical scale for the coefficient of variation was used: (0.00% to 30.00 %: low variability; from 30.01% to 60.0 %: average variability; of 60.01% to 100.00 %: high variability; and 100.01% to 200.00 %: extremely high variability. Non-parametric statistical tests were used as a result of the asymmetry values greater than 1 in absolute value, i.e. has asymmetric distributions. This behavior is not the same so asymmetry recommends the use of non-parametric statistical tests: *Kruskal- Wallis*, multiple comparisons and construction of arrays of Spearman's correlation coefficient (r_s). All tests were performed for C1, C2 and C3 in the range of 0-2 cm and 0-10 cm.

For the Kruskal-Wallis tests multiple comparison was performed, comparison among the three groups (cruises C1, C2 and C3), using the average between the triplicates. The tests admitted the hypotheses H0: The three cruises C1, C2 and C3 do not differ among themselves. H1: At least one of the three cruises differs from the others. For the Spearman correlation test (r_s) comparison among the three groups (cruises C1, C2 and C3) was performed, using the average between the triplicatas. The test admitted the hypotheses H0: The correlation between the two variables did not differ from 0. H1: The correlation between the two variables differs from 0. For the Spearman correlation the following empirical scale was used for positive and negative values: Up to 0.30% very weak correlation; 0.31% to 0.50%: weak correlation; 0.51%-0.70%: moderate correlation; 0.71%-0.90%: strong correlation :0.91% -1.00%. For all interpreted statistical tests level of significance of 5% (0.05 in scale proportional) was accepted. For p- value < 0.05 the H0 hypothesis is rejected and for p-value > 0.05 the H0 hypothesis is accepted.

The sediments were classified according to median, Folk (1974) and Vital et al. (2005, after Dias 1996 and Freire et al. 1997) for C1, C2 and C3 in the layers (0-2 cm and 0-10 cm).

Mineralogy of sediments were analyzed through binocular lupe and scanning electronic microscope; textural patterns of roundness and sphericity of the grains (Powers, 1953), degree of selection (Folk, 1974) and percentage of bioclastic and silicilastic material for the three cruises (C1, C2 and C3) in the layers (0-2 cm and 0-10 cm) were observed.

4-Results

4.1 - Calcium carbonate, organic matter, Grain Size.

According to the summary statistics (table 1) considering the totality of the samples in each cruise (cn1 = nC2 = cn3 = 48) for the layers of 0-2 cm and 0-10 cm the

Souza, C.R.

following results were presented: For the calcium carbonate content the median varies from 96,58% to 99,18% in (0-2 cm) and rated % 99,83% for (0-10 cm). The coefficient of variation for the calcium carbonate content shows amplitude between 0.56% to 13.30% in (0-2 cm) and between 055% to 18.29% for 0-10 cm. For the variable organic matter the median varies between 6.61% to 9.24% in (0-2 cm) and 6.61% to 9.24% for (0-10 cm). The coefficient of variation for the organic matter content has amplitude between 7,59% to 19,61% (0-2 cm) and 6.99 % -19,74% for (0-10 cm). For the variable gravel median varies between 10.48% to 28.91 in (0-2 cm) and 11.91 % to 25,52% for (0-10 cm). The coefficient of variation for the gravel content has amplitude between 24,80% and 64,64% in (0-2 cm) and 21,71% to 42.96% for (0-10 cm). For the variable sand the median varies between 63.88% to 88.26% (0-2cm) and for 67.34% to 87,03% (0-10cm). The coefficient of variation has amplitude between 5.87% to 15.91% (0-2 cm) and 4.58% 13.44% for (0-10 cm) For the variable mud the median varies between 1.59% to 11,89% in (0-2 cm) and 1.72% to 13.86% for (0-10cm).The coefficient of variation has amplitude between 15,18% 100,60% in (0-2 cm) and 17.15% 124,28% for (0-10 cm).

Table 1- Summary of Statistical levels (calcium carbonate, organic matter, gravel, sand, mud, siliciclastic, and bioclastic contents) measured in surface sediments layers (0-2 cm and 0-10 cm), in the three cruises (C1,C2 and C3) for each radial (50 m, 100 m, 250 m and 500 m).

Variable	Range	Cruise	Median			
			50m	100m	250m	500m
Calcium carbonate	0-2cm	C1	M1= 98,81 VF1=8,15	M2= 99,46 VF2=13,30	M3= 98,41 VF3=0,89	M4= 98,28 VF4=1,09
		C2	M1= 96,58 VF1=1,76	M2= 97,67 VF2=1,71	M3= 98,12 VF3=0,67	M4= 99,50 VF4=0,56
		C3	M1= 98,13 VF1=0,72	M2= 97,88 VF2=0,94	M3= 98,31 VF3=0,75	M4= 98,18 VF4=0,68
	0-10cm	C1	M1= 98,20 VF1=8,51	M2= 98,14 VF2=13,33	M3= 97,88 VF3=15,66	M4= 99,37 VF4=18,29
		C2	M1= 98,82 VF=0,96	M2= 98,83 VF2=1,32	M3= 98,84 VF3=0,55	M4= 98,81 VF4=0,81
		C3	M1= 98,80 VF1=0,56	M2= 98,81 VF2=0,72	M3= 98,83 VF3=0,64	M4= 98,84 VF4=1,22
Organic matter	0-2cm	C1	M1= 6,71 VF1=19,61	M2= 7,33 VF2=9,53	M3= 6,92 VF3=13,04	M4= 6,61 VF4=19,38
		C2	M1= 8,06 VF=11,78	M2= 7,88 VF2=16,62	M3= 7,95 VF3=9,64	M4= 7,62 VF4=13
		C3	M1= 8,84 VF1=7,59	M2= 8,49 VF2=14,08	M3= 9,24 VF3=15,40	M4= 9,10 VF4=13,73
	0-10cm	C1	M1= 7,98 VF1=10,08	M2= 7,72 VF2=18,65	M3= 7,30 VF3=11,51	M4= 6,99 VF4=19,69
		C2	M1= 8,42 VF1=6,99	M2= 8,74 VF2=12,57	M3= 8,62 VF3=11,59	M4= 8,74 VF4=19,74
		C3	M1= 8,54 VF1=10,96	M2=8,95 VF2=8,93	M3= 8,39 VF3=16,55	M4= 7,95 VF4=13,02
Gravel	0-2cm	C1	M1= 22,22 VF1=36,04	M2= 22,58 VF2=27,18	M3= 19,38 VF3=26,47	M4= 18,78 VF4=52,42
		C2	M1= 16,71 VF=31,75	M2= 17,34 VF2=30,84	M3= 16,25 VF3=32,11	M4= 10,48 VF4=54,60
		C3	M1= 24,98 VF1=24,80	M2= 28,91 VF2=25,96	M3= 25,48 VF3=39,91	M4= 11,26 VF4=64,64
	0-10cm	C1	M1= 19,16 VF1=24,14	M2= 19,21 VF2=27,46	M3= 15,68 VF3=23,81	M4= 14,11 VF4=42,21
		C2	M1= 18,48 VF=23,36	M2= 17,98 VF2=21,71	M3= 16,54 VF3=35,49	M4= 11,98 VF4=42,24
		C3	M1= 25,52 VF1=28,95	M2= 21,97 VF2=31,53	M3= 19,21 VF3=39,08	M4= 14,14 VF4=42,96
Sand	0-2cm	C1	M1= 67,74 VF1=11,49	M2= 64,87 VF2=8,29	M3= 72,81 VF3=10,95	M4= 77,51 VF4=15,91
		C2	M1= 71,04 VF=5,87	M2= 72,19 VF2=8,96	M3= 74,77 VF3=10,80	M4= 88,26 VF4=10,49
		C3	M1= 67,02 VF1=8,37	M2= 63,88 VF2=10,18	M3= 65,37 VF3=15,78	M4= 86,89 VF4=15,05
	0-10cm	C1	M1= 68,15 VF1=4,58	M2= 67,34 VF2=6,43	M3= 72,10 VF3=10,94	M4= 83,19 VF4=13,27
		C2	M1= 69,68 VF=4,63	M2= 69,86 VF2=5,12	M3=71,98 VF3=11,90	M4= 87,03 VF4=10,46
		C3	M1= 62,03 VF1=12,87	M2= 68,10 VF2=7,80	M3= 67,70 VF3=13,44	M4= 82,64 VF4=13,11
Mud	0-2cm	C1	M1= 7,47 VF1=39,15	M2= 11,89 VF2=15,18	M3= 6,29 VF3=55,62	M4= 2,81 VF4=107,97
		C2	M1= 11,71 VF=2,95	M2= 8,87 VF2=23,49	M3= 7,33 VF3=62,73	M4= 1,87 VF4=88,38
		C3	M1= 6,70 VF1=53,07	M2=9,52 VF2=24,27	M3= 7,37 VF3=56,45	M4= 1,59 VF4=100,60
	0-10cm	C1	M1= 13,86 VF1=17,44	M2= 13,46 VF2=18,53	M3= 9,31 VF3=59,32	M4= 1,72 VF4=124,28
		C2	M1= 11,80 VF=16,94	M2= 11,90 VF2=17,15	M3= 10,11 VF3=47,57	M4= 1,72 VF4=124,28
		C3	M1= 9,87 VF1=31,99	M2=12,23 VF2=26,07	M3= 11,03 VF3=55,76	M4= 2,15 VF4=105,38
Siliciclastic Sediments	0-2cm	C1	M1= 1,19 VF1=3,18	M2= 0,54 VF1=8,16	M3= 1,59 VF1=9,4	M4=1,72 VF1=27,93
		C2	M1= 3,42 VF1=17,65	M2=2,33 VF1=9,2	M3= 1,88 VF1=7,79	M4=0,5 VF1= 38,07
		C3	M1= 1,87 VF1= 25,58	M2=1,19 VF1=19,48	M3= 1,69 VF1= 20,01	M4= 1,82 VF1=29,91
	0-10cm	C1	M1=1,8 VF1=12,46	M2=1,86 VF1= 26,25	M3=2,12 VF1= 16,25	M4= 0,63 VF1= 34,25
		C2	M1=1,18 VF1= 7,23	M2=,117 VF1= 30,26	M3= 1,16 VF1= 10,99	M4=1,19 VF1= 43,67
		C3	M1=1,2 VF1= 27,17	M2=1,19 VF1=9,29	M3= 1,17 VF1= 32,18	M4=1,16 VF1= 32,67
Bioclastic	0-2cm	C1	M1= 98,81 VF1=8,15	M2= 99,46 VF2=13,30	M3= 98,41 VF3=0,89	M4= 98,28 VF4=1,09
		C2	M1= 96,58 VF1=1,76	M2= 97,67 VF2=1,71	M3= 98,12 VF3=0,67	M4= 99,50 VF4=0,56
		C3	M1= 98,13 VF1=0,72	M2= 97,88 VF2=0,94	M3= 98,31 VF3=0,75	M4= 98,18 VF4=0,68
	0-10cm	C1	M1= 98,20 VF1=8,51	M2= 98,14 VF2=13,33	M3= 97,88 VF3=15,66	M4= 99,37 VF4=18,29
		C2	M1= 98,82 VF=0,96	M2= 98,83 VF2=1,32	M3= 98,84 VF3=0,55	M4= 98,81 VF4=0,81
		C3	M1= 98,80 VF1=0,56	M2= 98,81 VF2=0,72	M3= 98,83 VF3=0,64	M4= 98,84 VF4=1,22

M= Median VF= Coefficient of Variation

4.2 - Graphical Representation (Calcium carbonate, Organic Matter and Grain Size).

Box plots for the variables of calcium carbonate, organic matter, particle size (gravel, sand and mud) were used for representation of distribution between cruises C1, C2 and C3 for (0-2 cm and 0-10 cm) and between radii (50 m, 100m, 250m and 500m) .

The box plot for the carbonate content (fig. 2) presents a homogeneous distribution in terms of radii and sampling for all cruises. However it was observed that in C1 (0-2 cm and 0-10 cm) in the radius of 50 m occurs a greater increase in comparison to C2 and C3 (0-2 cm and 0-10 cm) .

The organic matter results(fig.3) indicates a heterogeneous distribution between the three cruises for both layers, of 0-2 cm and 0-10 cm. An enrichment of organic matter from C1 to C2 (0-2 cm and 0-10 cm) was observed. This behavior of enrichment in organic matter remains the same for C3 (0-2m cm and 0-10 cm), however, with the exception of the values for the radius of 500 m (0-10 cm) when there is an apparent decrease in the value of the median. Box plot for gravel content (fig. 4) indicates, in general terms for both layers (0-2 cm and 0-10 cm), that in C2 occurs a decrease of the levels in relation to C1, however in C3 the general behavior of the levels in relation to the median tend to increase. For the sand content (fig. 5) in both layers (0-2 cm and 0-10 cm) presents in general terms an enrichment of the levels in relation to C1, however in C3 this behavior is allayed with the decrease of the levels in the campaign C3. The variable mud presents a different behavior (fig. 6), in both layers (0-2 cm and 0-10 cm). In C1, C2 and C3 the 0-2 cm layer shows an oscillatory behavior with higher levels in internal circles of radii and smaller in circles of external radii. In C1 (0-10 cm) and C2 (0-10 cm) show an oscillatory behavior with higher levels in circles of internal radii and lower levels in the circles of external radii. In C3 the highest levels are in circles of radii of 150 m and 250 m.

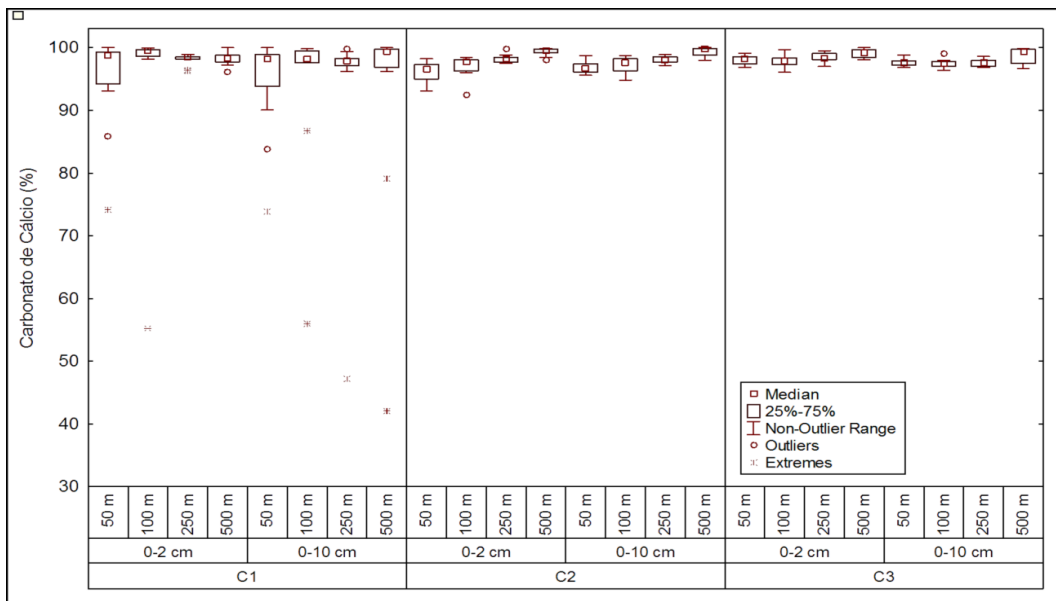


Fig 2- graphical representation of calcium carbonate data at layers 0-2 cm and 0-10 cm samples whereas individually each campaign and also the set of all three cruises. In each cruise, $n_{0-2cm} = n_{0-10cm} = 48$.

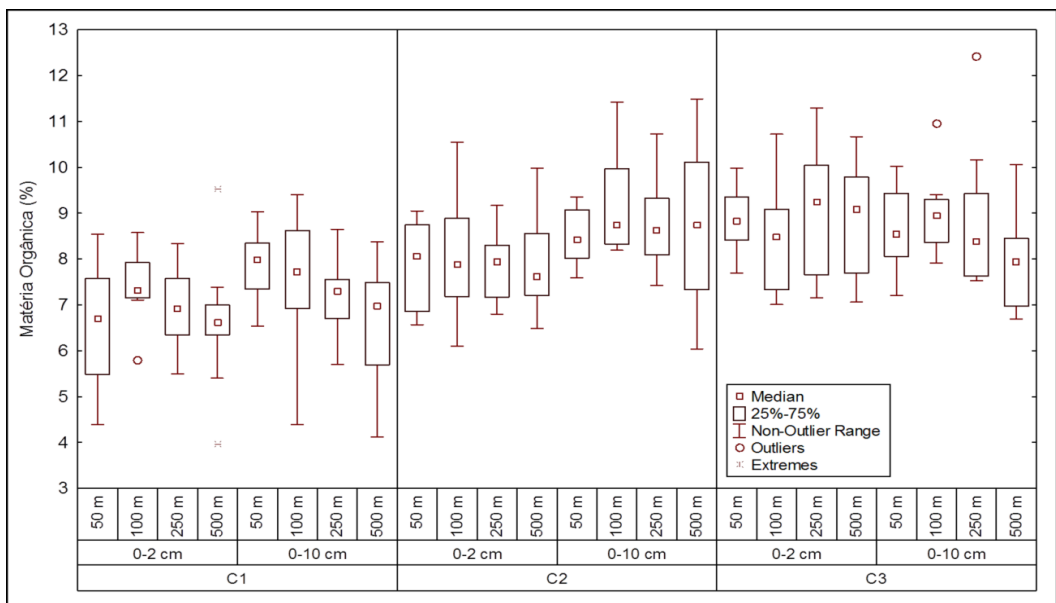


Fig 3- graphical representation of organic matter data in layers 0-2 cm and 0-10 cm, considering each cruise individually and also the set of all three cruises. In each cruise, $n_{0-2cm} = n_{0-10cm} = 48$.

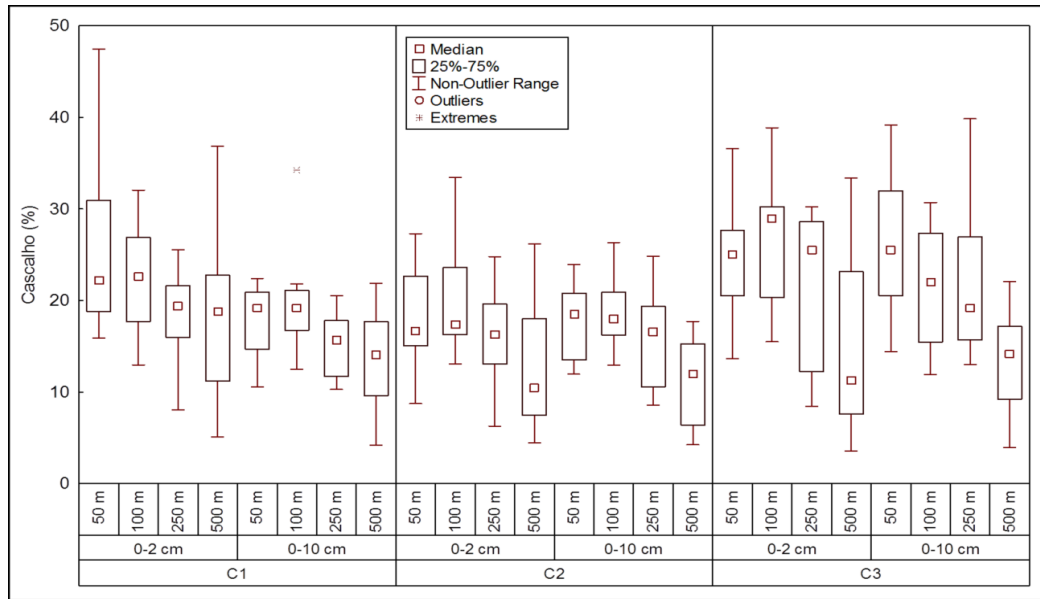


Fig 4- graphical representation of gravel data at layers 0-2 cm and 0-10 cm, considering each cruise individually and also the set of all three cruises. In each cruise, n0-2cm = n0-10cm = 48.

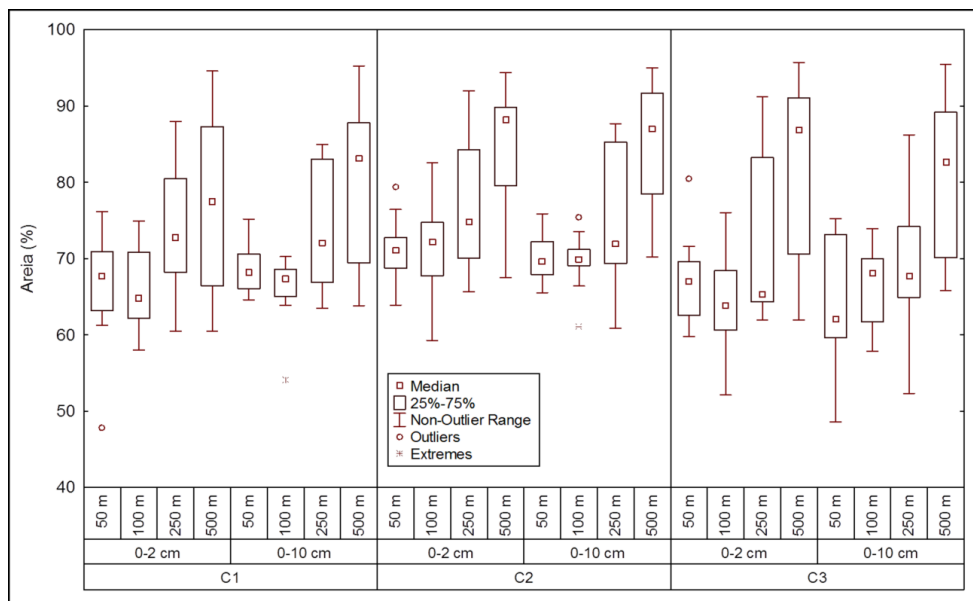


Fig 5- graphical representation of sand data in layers 0-2 cm and 0-10 cm considering each cruise individually and also the set of all three cruises. In each cruise, n0-2cm = n0-10cm = 48.

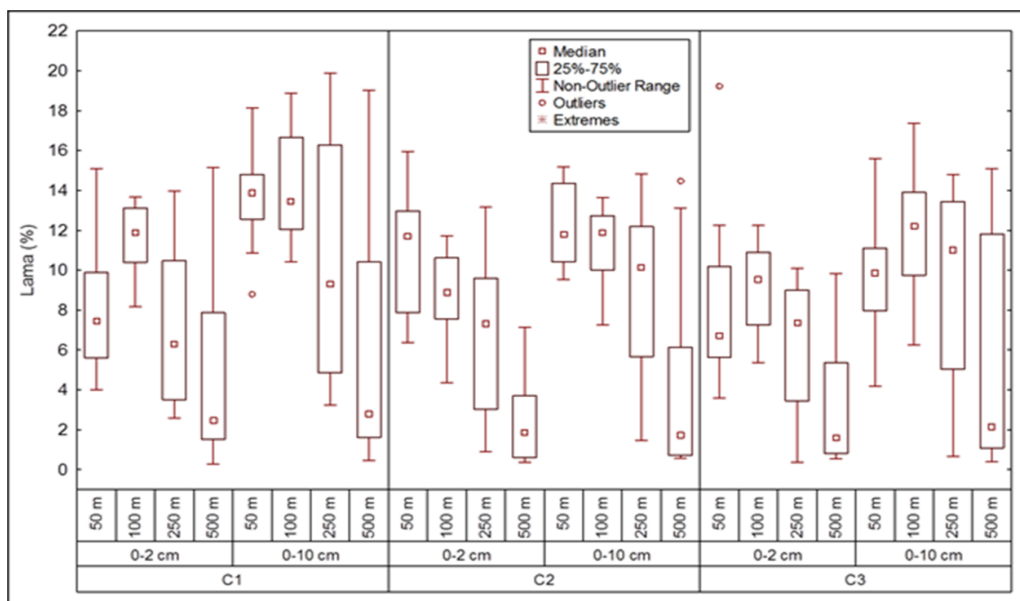


Fig 6- graphical representation of mud data at layers 0-2 cm and 0-10 cm, considering each cruise individually and also the set of all three cruises. In each cruise, n0-2cm = n0-10cm = 48.

4.3 - Statistical Tests

The statistical tests and their results are summarized in table 2 for the interpretations of the variable of calcium carbonate, organic matter, gravel, sand and mud for the three cruises of monitoring at intervals of 0-2 cm and 0-10 cm.

Table 2 - Results of the statistical tests applied to the three cruises (C1,C2 and C3) in the layers of 0-2 cm and 0-10 cm. n0-2cm = n0-10cm = 48.

Tests	Hypotheses tested	Results
<i>Kruskal-Wallis</i>	H0: The three cruises (C1, C2, C3) did not differ among	H0 is rejected for the three cruises (C1, C2 and C3), except for the variable calcium carbonate (0-2 cm and 0-10 cm), mud (0-2 cm).
	H1: At least one of the three cruises (C1, C2, C3) differ among	
Multiple Comparisons	H0: The three cruises (C1,C2,C3) did not differ among themselves	H0 is rejected for the three cruises (C1, C2 and C3), except for the variable calcium carbonate (0-2 cm and 0-10 cm).
	H1: At least one of the three cruises (C1, C2, C3) differ among	
Spearman correlation Coefficient (rs)	H0: The correlation between the two variables (C1, C2, C3) did	H0 is rejected for all three cruises (C1, C2 and C3).
	H1: The correlation between the two variables (C1, C2, C3) is	

Kruskal- Wallis

The variables calcium carbonate (C1,C2 and C3) at 0-2 cm and 0-10 cm and mud (C1,C2 and C3) in 0-2 cm showed no statistical differences (table 3) in terms of a comparison between cruises (temporal changes) and between sampling circles changes (spatial). For both variables according to the Kruskal Wallis test. the hypothesis H0 was accepted and the p-value was greater than 0.05 %.

However the Kruskal Wallis test indicate that for the variables organic matter, gravel and sand (C1, C2 and C3) at 0-2 cm and 0-10 cm and for mud (0-10 cm), the hypothesis H0 was rejected and the p-value for these variables is less than 0.05 %.

Table 3 - Result of the application of the Kruskal-Wallis test for all variables (layers 0-2 cm and 0-10 cm).

Variables	0-2 CM	0-10 CM
Calcium Carbonate	P = 0.0544 Accepts H0	P = 0.3575 Accepts H0
Organic Matter	P = 0.0000 Rejects H0	P = 0.0000 Rejects H0
Gravel	P = 0.0017 Rejects H0	P = 0.0000 Rejects H0
Sand	P = 0.0045 Rejects H0	P = 0.0138 Rejects H0
Mud	P = 0.3164 Accepts H0	P = 0.0395 Rejects H0

Multiple Comparisons

As a result of the complementation of the results obtained by the Kruskal-Wallis test, multiple comparison test was applied between cruises to identify which campaign differs from the other two or even if the three cruises are distinct among themselves. The test for the calcium carbonate variable (see table 2) did not identify differences between the cruises (C1, C2 and C3) for the layers of 0-2 cm and 0-10 cm. For the variable organic matter there are significant statistical differences between the cruises C1, C2 and C3 for the layers (0-2 cm), and C1 and C3 (0-10 cm). However there is no statistically significant difference between C2

Souza, C.R.

and C3 in 0-10 cm. For the variable gravel there are differences for the cruises (C1, C2) except for C1 and C3 for the layer of 0-2 cm. However for the 0-10 it was not possible to detect statistically significant differences between the three cruises for the variable gravel. The variable sand shows differences between the cruises (C1 and C2 and between C2 and C3, in the layer of 0-2 cm however the test did not demonstrate statistically significant differences between C1 and C3. For layer (0-10 cm) the test of multiple comparison shows statistically significant differences only for the layer of C2 and C3. The variable mud did not show any significant statistical differences between the cruises, it wasn't possible to detect differences between the cruises using this test.

Spearman Correlation Coefficient (r_s)

Based on correlations shown by the array of Scatterplot for the three cruises (C1, C2 and C3) in the layer of 0-2 cm and 0-10 cm, according to the empirical scale between sand and gravel presented in this work, indicated therefore that there is a interrelation between these variables, i.e. the extent to which the values for the variable gravel increase, imply the decrease in levels of sand, resulting in a strong correlation, inverse relationship between these two variables. For the other variables it is perceived that the correlations are weak. Some correlations are statistically negligible, such as between organic matter and mud. The correlation of calcium carbonate with gravel and sand is not well defined.

5 - Sediment classification

The regional sediment surface distribution from Potiguar Basin show twelve main lithofacies, which are represented in Figure 7A and Table 4. The small scale studies conducted on this work were developed in the outer shelf and registered the presence of four main lithofacies, in the three cruises (C1, C2 and C3), for both layers, 0-2 cm and 0-10 cm

Souza, C.R.

(fig 7B and 8): 1) Bioclastic sand with granules and gravel (, 2) Carbonate mud, 3) Biosiliciclastic sand, and 4) Silicibioclastic sands.

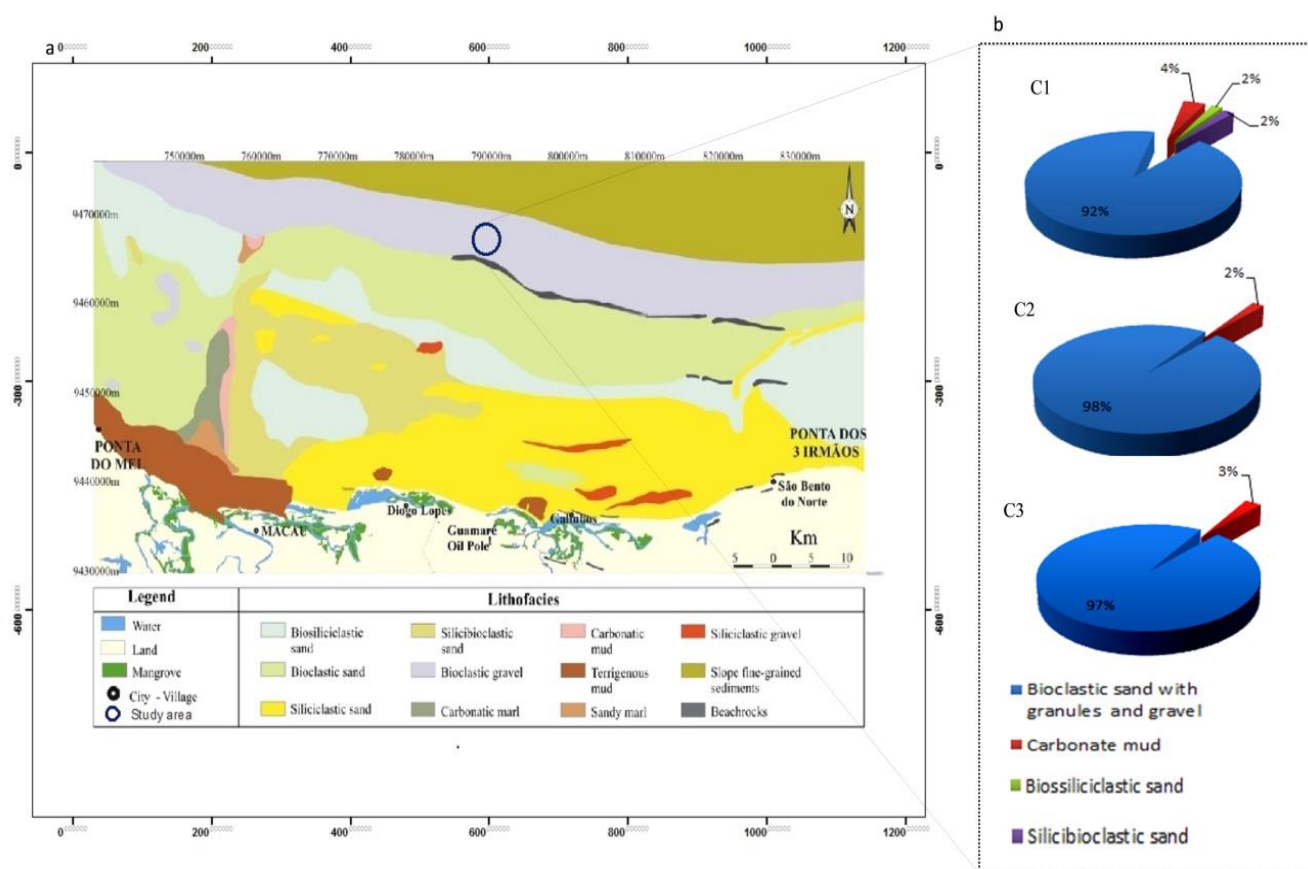


Fig 7- Sediment facies observed on the study area. A) Surface sediment distribution on the northern shelf of Rio Grande do Norte (Vital et al., 2008) with the study area indicated by the black circle. B) Distribution of surface sediments (%) for the three cruises C1, C2 and C3.

Table 4 - Sediment classification for the northeastern Brazilian continental shelf.

SEDIMENT CLASSIFICATION	PEEBLES, GRANULES, COQUINA OR RHODOLITES M<15%; Md > 2mm	SANDS M<15%; sand + mud >50%; Md < 2mm		MUDDY SEDIMENTS M > 15 %
		15% < larger than 2 mm < 50 %	Larger than 2 mm < 15%	
SILICICLÁSTIC SEDIMENT carbonate < 30%	Siliciclastic gravel	Siliciclastic sand with granule and gravel	Siliciclastic sand	Terrigenous mud
SILICIBIOLÁSTIC SEDIMENT carbonate 30 a 50%	Silicibioclastic gravel	Silicibioclastic sand with granule and gravel	Silicibioclastic sand	Sandy marl
BIOSILICLÁSTIC SEDIMENT Carbonate 50 a 70%	Biosiliciclastic gravel	Biosiliciclastic sand with granule and gravel	Biosiliciclastic sand	Marl
BIOCLÁSTIC SEDIMENT carbonate > 70%	Bioclastic gravel	Bioclastic sand with granule and gravel	Bioclastic sand	Carbonate mud

M = mud content; Md= median grain diameter. Lithofacies found on this work are highlighted in grey.

Bioclastic sand with granules and gravel are the predominant facies (97%) in all cruises. Its distribution occurs randomly in both circles of internal radii (50 m and 100 m) as external nodes (250 m and 500 m) around the drilling well. The predominance of coarse carbonate sediment facies in shallow outer shelf in northern area of RN was already demonstrated by previous studies. Carbonate mud is presented with a scattered distribution and low representativity in the whole region of study. It is distributed randomly around the well, both in internal and more external radii away from the well. Carbonate mud was observed on the interval of 0-2 cm only in campaign C2 and C3, while for the interval of 0-10 cm it occurs in the three cruises. This facies has a low percentage not exceeding 2% for the intervals of 0-2 cm and 0-10 cm for all cruises.

Biosiliciclastic sand was observed only in cruise C1 (0-10 cm) and C2 (0-2 cm). Silicibioclastic sand was observed only in cruise C1 (0-2 cm) and show low representativity in the area under study, not exceeding 1 % (Fig. 8).

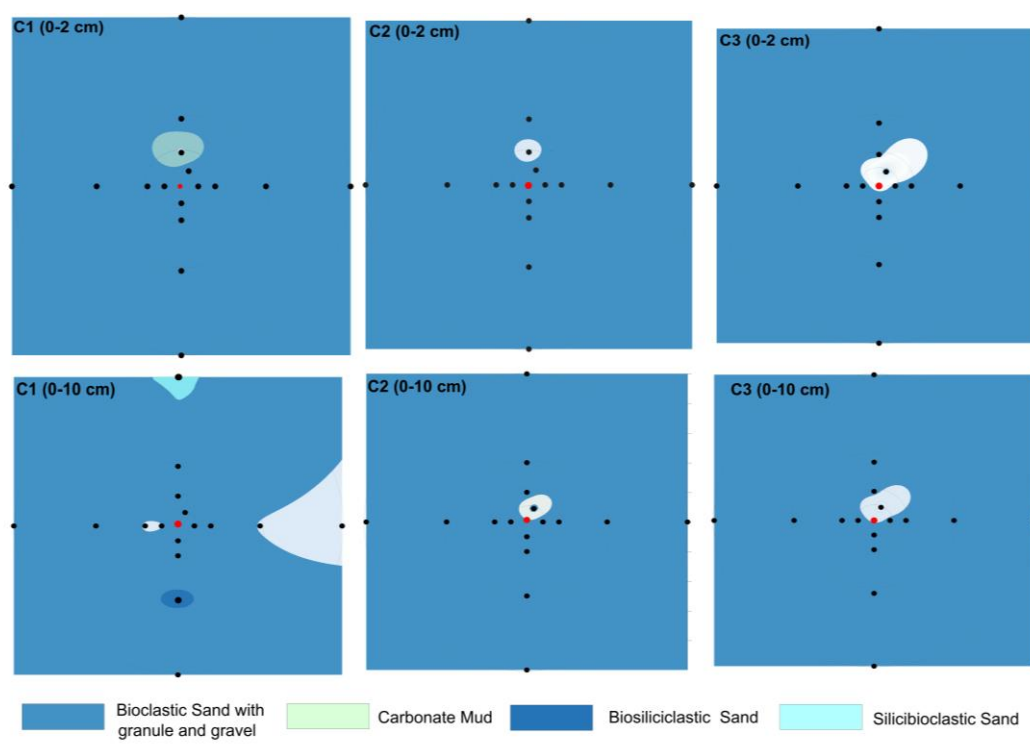


Fig 8- Sedimentological facies of the area around the studied exploratory-well.

6-Sediment Composition

6.1 –Siliciclastic sediments

The siliciclastic sediments occurs in small amounts in all cruises (C1,C2 and C3), and in both layers (0-2 cm and 0-10 cm), with median less than 2,35. A slight increase was observed in sediments from cruise C2, in the layer 0-2 cm, with a median of 3,42 (Table 1). The siliciclastic grains are extremely poorly selected (1-2 Φ) to very poorly selected (2-4 Φ) according to Folk (1974) classificatio, show low sphericity, and are subangular to subrounded (fig9).

Quartz is the main mineral constituent, while rock fragments, feldspars and heavy minerals occur in minor amounts. Most of heavy minerals are found incrustated in the rock fragments.

The quartz is presented with variable angularity; some grains are shown with quite angular edges, while other are subangular, quite fragmented, and the sphericity of these grains is small. Its size does not exceed 0.5 mm. The grains of quartz are mostly dark and they are rarely with light coloring (Fig. 9).

The rock fragments are mostly related to sandstones, and show yellowish color with ferruginous aspect, with some clasts exhibit incrustations of accessory minerals (Fig. 9). Rock fragments were more frequent during cruise C2. The feldspars are rare but very well preserved.

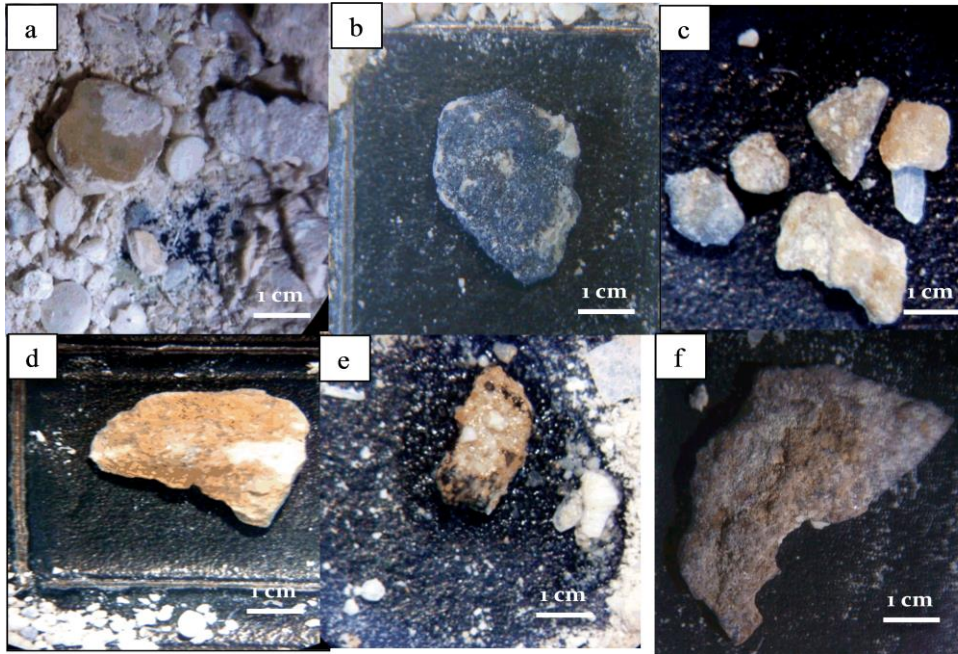


Fig 9- Siliclastic sediments (a) Quartz (b) Fragment of dark colored quartz (c) Siliclastic grains and extremely poorly selected, (d) Ferruginous clast (e) Fragment of rock with mineral incrustation (f) fragments probably have origin of relict sand. Binocular Magnified 40x.

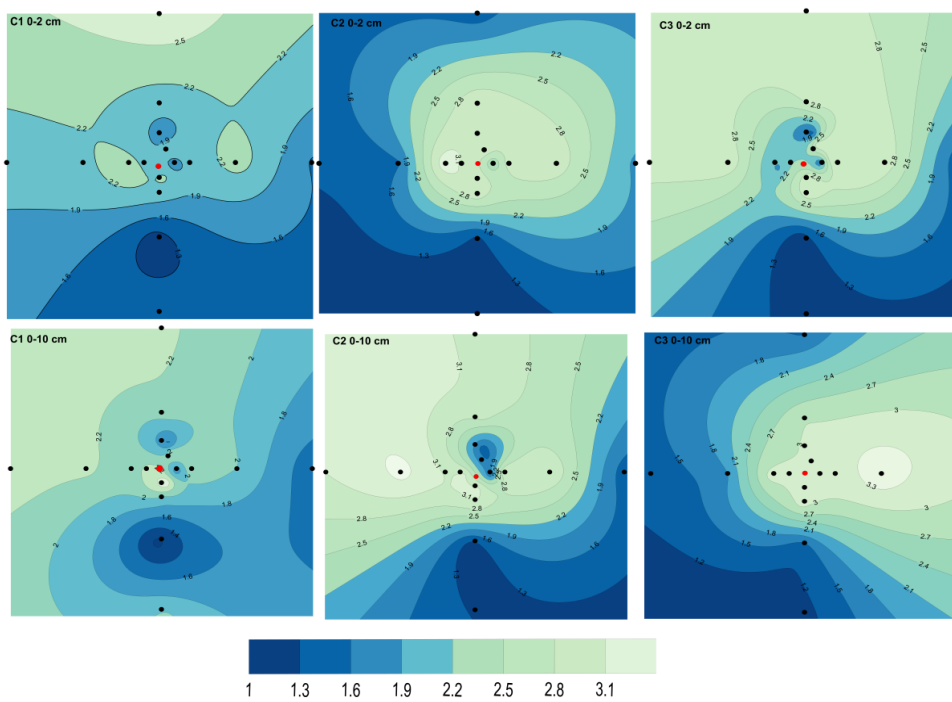


Fig 10- Sediment sorting distribution between cruises C1, C2 and C3 for (0-2 cm and 0-10 cm)..

6.2 –Bioclastics sediments

Bioclastic sediments performed more than 98% in all cruises and layers, except for cruise 2, layer 0-2 cm, which present 96%. The bioclastic material is composed by different shell fragments, microfossils, and calcareous nodules. Among them, the ones that stand out are foraminifers, molluscs, and calcareous algae, but gastropods, echinoderms, bryozoans, and worm tubes are also observed (Fig.11), These in turn, are found in abundance in marine sediments. What preserves these bodies are their shells and skeletons formed from minerals, and very hardened organic coatings (Carvalho, 2004), that can be found in offshore part of the platform.

In the study area bioclastics sediments exhibit very similar distribution between radii and for both layers. However, this percentage has slight variations between cruises, but this behavior is natural, considering that the marine environment undergoes hydrodynamic influences.

In the sediment samples from cruise C1 (0-10 cm and 0-2 cm) it was observed that bioclastic material in the majority of samples is predominantly represented by foraminifers tests (35%), present fragments of molluscs, although very fragmented (24%). However the gastropods (genus *Turritella*) were presented often intact, worm tubes (2%) are present individually, some samples show bryozoans (10%), calcareous algae (19%) are quite present, the corals are rare and when occur they are quite fragmented, however stands out when it occurs by its reddish color. The echinoderms (6%) are shown so well preserved as the thorns and spikes of echinoderms, and they are present intact in the samples. There were some fragments that could not be identified. These represented (4%) in the sediments.

In the C2 cruise (0-2 cm and 0-10 cm) the percentage of carbonate source material was roughly around 80-90%, the bioclastic material presented the same variation in species presented, although it was observed that different species were not seen during the campaign

Souza, C.R.

C1. The samples show rock fragments of carbonate origin probably calcite and / or dolomite. The bioclastic composition was consisted of Foraminifera (37%), molluscs (25%) (gastropods and bivalves), calcareous algae (14%), tube worms (2%), bryozoans (14%), small fragments of corals (1%), sponge spikes (1%), echinoderms (3%) and the diatoms are rares (1%) but was observed by electronic microscopic scanning .The calcareous algae are shown continuously and are homogeneously distributed. The annelids, still with a small sample representiveness in percentage were represented by individual tube worm. The bryozones are present in smaller quantities and rather fragmented, this is due to the fragility of these organisms. Some bioclasts such as foraminifers show up with a dark coloring however in most samples are shown with a white or colorless color. There were some fragments that could not be identified. These represented (2%) in the sediments.

Bioclastic sediments from cruise C3 (0-2 cm and 0-10 cm) has the same diversity of bioclasts seen in previous cruises. Foraminifera are the predominant (38%), molluscs (28%) represented by intact gastropods and bivalves), rather fragmented bryozoans (8%), well preserved calcareous algae (15%) with good representation, few tube worms (2%), some tubes are shown embedded in fragments of carbonate composition, echinoderms (6%) appear well preserved, both, in 0 -2 cm and 0-10 cm. Only 3% the fragments were not identified.

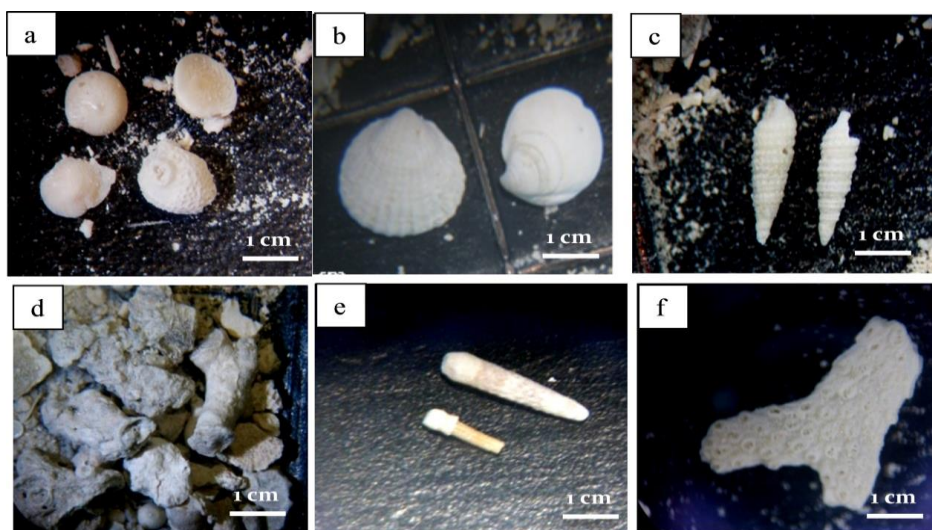


Fig. 11- Bioclastic sediments. (a)Foraminifers (b) carapaces of molluscs (c) gastropods (d) Calcareous algae (e) Echinoderm (f)Bryozoan. Binocular Magnified 40x.

7- Conclusion

The sediment composition of the seabed around 50 m depth in the Brazilian equatorial margin is poor to very poorly sorted. The dominant particle size occurs in the medium to coarse sand fraction (~ 71%), followed by gravel (~21%) and mud (~8%). The content of calcium carbonate is greater than 96%, associated to bioclastic sediments and the content of organic matter is less than 12%.

For cruises C1, C2 and C3, statistical summary and tests, as well as areal data distribution for calcium carbonate in both sampling depths (0-2 cm and 0-10 cm) and for mud in 0-2 cm were not influenced by drilling activity. The low value of the coefficient of variation and the homogeneity of the median values for these variables confirm that the marine substrate was not affected for these parameters.

The variables organic matter, gravel and sand in both sampling depths and for mud in 0-10 cm showed significant statistical changes and variations in terms of spatial and temporal distribution between C2 and C1, where the drilling activity took place. Nevertheless, possible drilling influence is considered much less relevant than variations due to the intense mass movement promoted by natural processes, as recorded in regional sedimentological studies carried out in this sector of the continental platform.

The degree of sediment sorting, as measured by the standard deviation for each sample, shows the predominance of very poorly sorted sediments (2σ - 4σ). These sediments do not have a spatial distribution defined and occur in more internal radii around the drilling well (50 m and 100 m) as in more distal ones (250 m and 500 m). The presence of very poorly sorted and, to a lesser extent, poorly sorted sediments indicate a less intensive marine dynamics in the study area.

The continental outer shelf encompassed by the study area is characterized by the presence of the high content of carbonate, which is due to the presence of sediment of bioclastic composition (foraminifera, bryozoans, fragments of shells, calcareous algae, etc).

Souza, C.R.

The mean and median values confirm that the variable calcium carbonate has homogeneous behavior for all cruises of 0-10 cm and 0-2 cm. The siliclastic sediments present in outer shelf are mainly dominated by quartz and occur in very few amounts.

The value of the median (clastic sediment) confirms variation in C2 cruise, as compared to C1, however very low and occurred only in the surficial sediment layer (0-2 cm) in the radial closest to the well (50 cm). These results show no significant sedimentological variations due to drilling activity, and indicate that ocean dynamics in this area was high enough to recover the environment original characteristics, as recorded by the C3 data.

References

Bernier, R., Garland, E., Glickman, A., Jones, F., Mairs, H., Melton, R., Ray, J., Smith, J., Thomas, D., Campbell, J. (2003). Environmental aspects of the use and disposal of non aqueous drilling fluids associated with offshore oil and gas operations, International Association of Oil and Gas Producers. Report No: 342, England, London.

Boothe, P.N., Presley, B.J. (1987). The effects of exploratory petroleum drilling in the northwest Gulf of Mexico on trace metal concentrations in near rig sediments and organisms. *Environ Geol Water Sci* Vol. 9, No. 3, 173-182.

Breuer, E., Stevenson, A.G., Howe, J.A., Carroll, J., Shimmield, G.B. (2004). Drill cutting accumulations in the Northern and Central North Sea: a review of environmental interactions and chemical fate. *Marine Pollution Bulletin* 48, 12–25.

Borges, A.L.M., Camargo, C.A.R., Azevedo, F.G., Hargreaves, F.M., Marins, G.M.S., Leme Junior, L., Bastos, L.B.M., Andrade, L.S.N., Silva, M.F.R. (2011). Teste de Longa Duração e

Souza, C.R.

Desenvolvimento da Produção de Waimea, no Bloco BM-C-41, Bacia de Campos. *In: Diagnóstico Ambiental OGX do Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.* 22-591p. 2011. <http://licenciamento.ibama.gov.br/Petroleo/TLD%20de%20Waimea,%20BI%20BM-C-41,%20Bacia%20de%20Campos/RIMA/RIMA%20OGX.pdf>. Accessed 15 december 2013.

Carvalho, I. S. (2004). *Paleontology: Interciencias*, Rio de Janeiro, 644 p.

Chapman, P.M. (1992). Pollution status of North Sea sediments: an international integrative study, in: Stebbing, A.R.D. et al. (Ed.) (1992). *Biological effects of contaminants in the North Sea: Results of the ICES/IOC Bremerhaven Workshop.* Marine Ecology Progress Series, 91(1-3): pp. 313-322.

Correa, I.C.S., Toldo Jr, E.E., Toledo, F.A.L. (2009). Seafloor geological impacts associated with drilling disturbance. *Deep-Sea Research II* 56 (2009) 4–11.

Correa, I.C.S., Toldo Jr., E.E., Toledo, F.A.L. (2010). Impacts on seafloor geology of drilling disturbance in shallow waters. *Environmental Monitoring and Assessment.* 167:7-16.

Dias, G. T. M. (1996). Classificação de sedimentos marinhos: proposta de representação em cartas sedimentológicas. *In: Anais do Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, Bahia, Brasil, SBG, 39:423-426.*

Folk, R. L. & Ward, W. C. (1957). Brazos River Bay: Study of the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27:3-27.

Folk, R. L. (1974). *Petrology of sedimentary rocks.* Austin: Hemphill. 107P.

Freire, G.S.S, Cavalcanti, V.M.M., Maia L.P., Lima, S.F.(1997). Classificação dos sedimentos da plataforma continental do estado do Ceará. In: Anais do Simpósio de Geologia do Nordeste. Fortaleza, Ceará, Brasil. p. 209-211.

Gettleston, D. A., 1980, Effects of oil and gas drilling operations on the marine environment. *In* R. A. Geyer, ed., Marine environmental pollution. I. Hydrocarbons.: NY, Elsevier, p. 371-412.

Gomes, M. P. & Vital, H. (2010). Revisão da Compartimentação Geomorfológica da Plataforma Continental Norte do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geociências*. Volume 40 (3): 321-329.

Hileman, B. (1981). Offshore oil drilling: *Environ. Sci.Tech nol.*, v. 15(11), 17. 1259- 1263.

Kennicutt II, M.C., Green, R.H., Montagna, P.A., Roscigno, P.F. (1996). Gulf of Mexico offshore operations monitoring experiment—GOOMEX, Phase I: sublethal responses to contaminant exposure—introduction and overview. *Canadian Journal of Fish and Aquatic Science* 53, 2533–2540.

Lima S. F. & Vital H. (2006). Geomorphological and paleogeographic characterization of continental shelf of the Apodi-Mossoro River, RN-Brazil. *In* :EMPLOYED AT C. A. (eds.) *Environmental Problems in Coastal Regions VI: Including Oil Spill Studies*. Wessex Institute of Technology, Cambridge Printing, p . 351-360.

Souza, C.R.

Marsh, R. (2003). A database of archived drilling records of the drill cuttings piles at the North West Hutton oil platform. *Marine Pollution Bulletin* 46 (5), 587–593.

Menzie, C. A. (1982). The environmental implications of offshore oil and gas activities: *Environ. Sci. Technol.*, v. 16(8), p. 454A-472A.

Middleditch, B. S. (1981). *Environmental effects of off-shore oil production*: New York, Plenum Press, 446 p.

National Research Council, 1983, *Drilling discharges in the marine environment*: Washington, DC, National Academy Press, 180 p.

Olsgard, F., & Gray, J. S. (1995). The comprehensive analysis of the effects of offshore oil and gas exploration and production on the benthic communities of the Norwegian continental shelf. *Marine Ecology Progress Series*, 122: 277-306.

Pessoa Neto, O.C. (2003). Stratigraphy of sequences of mixed neogenic platform in the Potiguar basin, equatorial margin Brazilian. *Brazilian Journal of Geosciences*. 33 (3): 263-278.

Pessoa Neto, O.C., Soares, U.M., Silva, J.G.F., Roesner, E.H., Florêncio, C.P., Souza, C.A.V. (2007). Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências – Petrobras*, Rio de Janeiro, 15(2):357-369.

Powers M. C. (1953). The new roundness scale is sedimentary VLP. *Journal of Sedimentary Petrology*, 23:117-119.

Souza, C.R.

Santos, C.L.A., Vital, H., Amaro, V.E., Kikuchi, R.P. (2007). Mapeamento de recifes submersos na costa do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geofísica*, 25, 1, 27-36.

Schwarzer, K., Stattegger, K., Vital, H., Becker, M. (2006). Holocene Coastal Evolution of the Rio Açu Area (Rio Grande do Norte, Brazil). *Journal of Coastal Research, Florida, Special*, 39, 140-144.

Summerhayes, C. P., Coutinho, N., France, M. C., Ellis, J. (1975). Continental margin sedimentation off Brazil. Part III. Salvador to Fortaleza (Brazil) Northeastern Contribution to *Sedimentology, Stuttgart*, 4: 44-78.

Steinhauer, M., Crecelius, E., Steinhauer, W. (1994). Temporal and spatial changes in the concentrations of hydrocarbons and trace metals in the vicinity of an offshore oil -production platform. *Marine Environmental Research*. 37:129-163.

Tabosa, W. F. (2006). Morfologia, hidrodinâmica e sedimentologia da plataforma continental adjacente a São Benedito e Caiçara do Norte – RN, NE Brasil. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Tabosa, W. F. & Vital, H. (2006). Hydrodynamic forces and environmental impacts on the coast and shelf of adjacent to São Bento do Norte, NE – Brazil. *WIT Transactions on ecology and the environmental*, England, v.88, p. 165-174.

Testa, V., Bosence, D. W. J. (1998). Carbonate-siliciclastic sedimentation on highenergy, ocean-facing, tropical ramp, NE Brazil. In: Wright, V. P. & Burchette, T. P. (eds). *Carbonate Ramps*, Geological Society, London, Special, 149, 55-71.


Testa, V. & Bosence, D. W. J. (1999). Physical and biological controls on the formation of carbonate and siliciclastic bedforms on the North-East Brazilian shelf. *Sedimentology*, 46, 279-301.


Toldo, E. E., & Ayup-Zouain, R. N. (2009). Environmental monitoring of offshore drilling for petroleum exploration (MAPEM): A brief overview. *Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56, 1–3.


Schwarzer K., Stattegger K., Vital H., Becker M. (2006). Holocene coastal evolution of the Rio Acu area (Rio Grande do Norte, Brazil). *Journal of Coastal Research*, SI 39:141-145




Vital., H, Amaro., V.E., Silveira, I.M. (2005). Carta sedimentológica da plataforma continental brasileira – área Guamaré a Macau (NE–Brasil), utilizando integração de dados geológicos e sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23:(3) 233-241.


Vital, H., Stattegger, K., Amaro, V. E., Schwarzer, K., Frazão, E. P., Tabosa, W. F. A. (2008). Modern high-energy siliciclastic-carbonate platform: Continental shelf adjacent to Northern Rio Grande do Norte State, NE Brazil. In: Hampson N, G., Steel, R., Burgess, P. Dalrymple, R. (Ed.). *Recent advances in models of siliciclastic shallow-marine Stratigraphy. (SEPM) (1) Special Issue, Volume 90, 177-190.*




UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN LABORATÓRIO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA E MONITORAMENTO AMBIENTAL - GGEMMA					Foto	
AVALIAÇÃO MINERALÓGICA NAS BACIAS POTIGUAR E CEARÁ						
Amostra	Campanha	Réplica	Intervalo Profundidade	Projeto		
11	C1	R1	0-2 cm	PMAE		
Siliciclásticos (%)	Bioclásticos (%)	Composição Mineralógica - Siliciclásticos (%)				
1,5	98,5	Quartzo	Minerais Pesados	Fragmentos de Rocha		Outros*
Método	Data					
microscopia	jun/12	1,5	0	0		
Modelo da Lupa	Objetiva	Arredondamento		Esfericidade		
Olympus	40x	subanguloso		média		
*Outros		**Observações				
Assinatura do Responsável:						

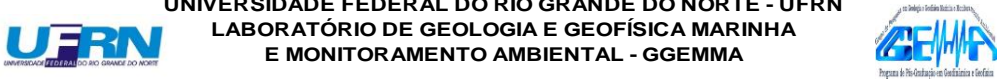

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN LABORATÓRIO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA E MONITORAMENTO AMBIENTAL - GGEMMA					Foto	
AVALIAÇÃO MINERALÓGICA NAS BACIAS POTIGUAR E CEARÁ						
Amostra	Campanha	Réplica	Intervalo Profundidade	Projeto		
44	C1	R2	0-2 cm	PMAE		
Siliciclásticos (%)	Bioclásticos (%)	Composição Mineralógica - Siliciclásticos (%)				
0,7	99,3	Quartzo	Minerais Pesados	Fragmentos de Rocha		Outros*
Método	Data					
microscopia	jun/12	0,7	0	0		
Modelo da Lupa	Objetiva	Arredondamento		Esfericidade		
Olympus	40x	subanguloso		baixa		
*Outros		**Observações				
Assinatura do Responsável:						



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN LABORATÓRIO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA E MONITORAMENTO AMBIENTAL - GGEMMA					Foto	
AVALIAÇÃO MINERALÓGICA NAS BACIAS POTIGUAR E CEARÁ						
Amostra	Campanha	Réplica	Intervalo Profundidade	Projeto		
44	C1	R3	0-2 cm	PMAE		
Siliciclásticos (%)	Bioclásticos (%)	Composição Mineralógica - Siliciclásticos (%)				
0,7	99,2	Quartzo	Minerais Pesados	Fragmentos de Rocha		Outros*
Método	Data					
microscopia	jun/12	0,7	0			
Modelo da Lupa	Objetiva	Arredondamento		Esfericidade		
Olympus	40x	subanguloso		média		
*Outros		**Observações				
Assinatura do Responsável:						



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN					Foto	
		LABORATÓRIO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA E MONITORAMENTO AMBIENTAL - GGEMMA				
AVALIAÇÃO MINERALÓGICA NAS BACIAS POTIGUAR E CEARÁ						
Amostra	Campanha	Réplica	Intervalo Profundidade	Projeto		
11	C2	R1	0-2 cm	PMAE		
Siliciclásticos (%)	Bioclásticos (%)	Composição Mineralógica - Siliciclásticos (%)				
1,5	98,5	Quartzo	Minerais Pesados	Fragmentos de Rocha	Outros*	
Método	Data					
microscopia	jun/12	1,5	0	0		
Modelo da Lupa	Objetiva	Arredondamento		Esféricidade		
Olympus	40x	subanguloso		média		
*Outros		**Observações				
Assinatura do Responsável:						

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN					Foto	
		LABORATÓRIO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA E MONITORAMENTO AMBIENTAL - GGEMMA				
AVALIAÇÃO MINERALÓGICA NAS BACIAS POTIGUAR E CEARÁ						
Amostra	Campanha	Réplica	Intervalo Profundidade	Projeto		
44	C2	R2	0-2 cm	PMAE		
Siliciclásticos (%)	Bioclásticos (%)	Composição Mineralógica - Siliciclásticos (%)				
2,1	97,9	Quartzo	Minerais Pesados	Fragmentos de Rocha	Outros*	
Método	Data					
microscopia	jun/12	2,1	0	0%		
Modelo da Lupa	Objetiva	Arredondamento		Esféricidade		
Olympus	40x	subanguloso		média		
*Outros		**Observações				
Assinatura do Responsável:						

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN					Foto	
		LABORATÓRIO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA E MONITORAMENTO AMBIENTAL - GGEMMA				
AVALIAÇÃO MINERALÓGICA NAS BACIAS POTIGUAR E CEARÁ						
Amostra	Campanha	Réplica	Intervalo Profundidade	Projeto		
44	C2	R3	0-2 cm	PMAE		
Siliciclásticos (%)	Bioclásticos (%)	Composição Mineralógica - Siliciclásticos (%)				
1,7	98,3	Quartzo	Minerais Pesados	Fragmentos de Rocha	Outros*	
Método	Data					
microscopia	jun/12	1,7	0			
Modelo da Lupa	Objetiva	Arredondamento		Esféricidade		
Olympus	40x	subanguloso		média		
*Outros		**Observações				
Assinatura do Responsável:						

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN LABORATÓRIO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA E MONITORAMENTO AMBIENTAL - GGEMMA						Foto
						
AVALIAÇÃO MINERALÓGICA NAS BACIAS POTIGUAR E CEARÁ						
Amostra		Campanha	Réplica	Intervalo Profundidade	Projeto	
11		C3	R1	0-2 cm	PMAE	
Siliciclásticos (%)	Bioclásticos (%)	Composição Mineralógica - Siliciclásticos (%)				
1,8	98	Quartzo	Minerais Pesados	Fragmentos de Rocha	Outros*	
Método	Data	1,8	0	0		
microscopia	jun/12					
Modelo da Lupa	Objetiva	Arredondamento		Esfericidade		
Olympus	40x	subanguloso		baixa		
*Outros		**Observações				
Assinatura do Responsável:						

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN LABORATÓRIO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA E MONITORAMENTO AMBIENTAL - GGEMMA						Foto
						
AVALIAÇÃO MINERALÓGICA NAS BACIAS POTIGUAR E CEARÁ						
Amostra		Campanha	Réplica	Intervalo Profundidade	Projeto	
11		C3	R2	0-2 cm	PMAE	
Siliciclásticos (%)	Bioclásticos (%)	Composição Mineralógica - Siliciclásticos (%)				
2	98	Quartzo	Minerais Pesados	Fragmentos de Rocha	Outros*	
Método	Data	2	0	0		
microscopia	jun/12					
Modelo da Lupa	Objetiva	Arredondamento		Esfericidade		
Olympus	40x	subanguloso		baixa		
*Outros		**Observações				
Assinatura do Responsável:						

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN LABORATÓRIO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA E MONITORAMENTO AMBIENTAL - GGEMMA						Foto
						
AVALIAÇÃO MINERALÓGICA NAS BACIAS POTIGUAR E CEARÁ						
Amostra		Campanha	Réplica	Intervalo Profundidade	Projeto	
44		C3	R1	0-2 cm	PMAE	
Siliciclásticos (%)	Bioclásticos (%)	Composição Mineralógica - Siliciclásticos (%)				
1,9	98,1	Quartzo	Minerais Pesados	Fragmentos de Rocha	Outros*	
Método	Data	1,9	0	0		
microscopia	jun/12					
Modelo da Lupa	Objetiva	Arredondamento		Esfericidade		
Olympus	40x	subanguloso		baixa		
*Outros		**Observações				
Assinatura do Responsável:						