

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



**Sedimentologia pelágica no talude da margem continental do Ceará, Brasil.**

**Gustavo Ferreira de Oliveira**

Trabalho de Conclusão de Curso (IGL-U08)

Orientador: José Carlos Sícoli Seoane, D.Sc.

Coorientadora: Cátia Fernandes Barbosa, Ph.D.

Rio de Janeiro

Abril de 2014

# **Sedimentologia pelágica no talude da margem continental do Ceará, Brasil.**

**Gustavo Ferreira de Oliveira**

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

## **Orientadores:**

Orientador: José Carlos Sícoli Seoane, D.Sc.

Coorientador: Cátia Fernandes Barbosa, Ph.D.

**Aprovada em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2014. Por:**

---

Prof. José Carlos Sícoli Seoane, D.Sc-IGEO/UFRJ

---

Prof. Cátia Fernandes Barbosa, Ph.D. Geoquímica/UFF

---

Prof. D. Sc. Renato Rodriguez Cabral Ramos – Museu Nacional, UFRJ

Rio de Janeiro

Abril/2014

**FICHA CATALOGRÁFICA** Consultar a Biblioteca Central do CCMN

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família por sempre me apoiar e incentivar ao longo da minha vida, colocando minha educação e evolução como ser humano a frente de tudo. A minha amada geóloga Ana Francisca que apesar da distância sempre me deu todo apoio nos momentos difíceis dessa jornada. Aos Prof. D.Sc. José Carlos Sícoli Seoane e co-orientadora e amiga Profa. Ph.D. Cátia Fernandes Barbosa (UFF), por me darem todo apoio, pela amizade e por sempre me tratar com carinho e respeito estreitando a relação aluno-professor, ao professor Renato Campello e ao Instituto de Geoquímica da UFF por disponibilizarem o laboratório onde foram feitas as análises. Ao amigo e companheiro Leandro Candeias responsável do laboratório que teve toda paciência e compreensão me ensinando a metodologia e processos laboratoriais que permitiram a produção do trabalho. E por fim aos meus amigos que sempre me acompanharam e torceram pelo meu sucesso.

## Sumário

<b>Sumário</b> .....	iv
<b>Índice de figuras</b> .....	v
<b>Resumo e Abstract</b> .....	vi
<b>1.Introdução e Objetivos</b> .....	1
<b>2.Localização</b> .....	2
<b>3.Fisiografia e geologia da região</b> .....	3
<b>4.Material e Métodos</b> .....	5
4.1 Material.....	5
4.2 Métodos.....	5
4.2.1.Abertura do testemunho.....	5
4.2.2.Descrição do testemunho.....	6
4.2.3.Amostragem .....	6
4.3 Análises.....	8
4.3.1 Análise de densidade aparente.....	8
4.3.2 Análise granulométrica.....	8
4.3.3 Análise estatística.....	8
4.3.4 Datação.....	9
<b>5.Resultados</b> .....	9
5.1.Densidade aparente.....	11
5.2.Diâmetro médio.....	11
5.3.Curtose.....	13
5.4.Grau de seleção.....	14
5.5.Assimetria.....	15
5.6.Diagrama porcentagem de areia-silte-argila.....	16
5.7.Curvas de frequência granulométrica.....	16
<b>6.Interpretação dos dados</b> .....	17
<b>7.Conclusões</b> .....	17
<b>8.Referências bibliográficas</b> .....	19

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de circulação Global (kuhlbrodt et al, 2007).

Figura 2: Mapa de localização da área trabalhada e do testemunho, destacado no detalhe abaixo à direita. As linhas brancas representam os perfis sísmicos.

Figura 3: Subdivisão das Bacias costeiras ao norte do Brasil. Bacia do Ceará em destaque. (BEDEP/ANP– Webmaps)

Figura 4: Carta Estratigráfica da Bacia do Ceará (Condé et al, 2007 )

Figura 5: (a) Calypso Square Core, ferramenta utilizada na amostragem do testemunho; (b) esquema de retirada de subamostras explicitando a nomenclatura.(RETRO, 2009).

Figura 6: Coral de mar profundo, *Flabellum apertum*. (RETRO, 2009)

Figura 7: (a) Foto do testemunho MD09-CQ-3243, descrição de cores (escala de Munsel) e descrição da textura feita no dia da abertura;(b) perfil RGB (CRUISE REPORT MD09-173 – RETRO III ); (c) Tabela com legendas.

Figura 8 : Todas as amostras plotadas no diagrama ternário com porcentagens de areia, silte e argila. O diagrama demonstra que os sedimentos se concentram nas classes de silte e silte arenoso.

Figura 9: Tabela com todos os resultados obtidos nas análises e as sete sucessões definidas. Os valores são plotados em função da profundidade. Da esquerda para direita: Grau de seleção, assimetria, curtose, porcentagem de areia (vermelho)-silte (amarelo)-argila (verde), densidade, diâmetro médio, mediana e porcentagem de areia.

Figura 11: Tabela com frações granulométricas propostas por Simon j. Blott and Kenneth Pye (GRADISTAT, 2001).

Figura 12: -Imagem representando os três principais tipos de curtose de uma curva de frequência granulométrica; (a) curva Leptocúrtica , (b) curva mesocúrtica e (c) curva platicúrtica.(fonte internet).Classificação de curtose segundo Folk (Costa 2011).

Figura 13: Classificação de grau de seleção segundo Folk (1968, *apud* Farias 2008)

Figura 14: Classificação de assimetria (Folk *apud* Farias, 2008).

## **RESUMO**

A região do oeste do Atlântico Sul representa uma importante chave no entendimento das mudanças climáticas globais. Esta área está sob influência da Circulação Meridional do Atlântico (CMA), ou circulação termohalina que transporta calor e salinidade entre as altas e baixas latitudes. A CMA está diretamente ligada ao clima global, logo alterações na temperatura de suas águas e no seu comportamento refletem mudanças no sistema de circulação do planeta.

As análises sedimentológicas em testemunho indicam uma sucessão sedimentar composta por sete unidades de sedimentação. Três pacotes compostos por silte e argila indicam menor energia no transporte de sedimentos, e são separados por pacotes menos espessos apresentando areia, o que demonstra uma mudança no padrão de sedimentação. Essas mudanças ocorrem de maneira cíclica, e se repetem ao longo do testemunho. Estudos posteriores devem ser feitos na tentativa de associar essas quebras a eventos climáticos já conhecidos

## **ABSTRACT**

A region of western South Atlantic is an important key in the understanding of global climate changes. This area is under the influence of the Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC), or termohaline circulation that transports heat and salinity between high and low latitudes. The AMOC is directly linked to global climate, and changes in the temperature of its waters and their behavior reflect changes in the circulation system of the planet.

Sedimentological analyzes of the core indicate a sedimentary succession consists of 7 units of sedimentation. Three packets with silt and clay indicating low power transporting of sediments, and separated by thinner packets with more sand, which shows a change in the pattern of sedimentation. These changes occur in a cyclical manner, and recur along the bodycore. Further, more detailed studies should be done in an attempt to link these breaks to climatic events known.

## 1) INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A Circulação Meridional do Atlântico (CMA) assume importante papel na distribuição de calor ao redor do planeta, sendo responsável por levar águas superficiais quentes dos trópicos para o norte do Atlântico, onde esfriam nos mares que banham a Groelândia, afundam e voltam em direção ao sul (Figura 1). Sem o calor transportado por esse sistema, o clima em torno do Atlântico Norte (Europa, América do Norte e norte da África) seria muito mais frio (kuhlbrodt et al, 2007).

Mudanças abruptas no clima nos últimos milhares de anos representadas por ciclos decadais, centenários e milenares têm sido relacionadas a alterações na CMA, provocando discussões e servindo de tema para diversos trabalhos (Santos, 2013).

Até o presente momento muitos estudos e medidas foram realizados sobre mudanças na circulação de correntes no Atlântico Norte, porém a porção meridional ainda carece de estudos representando uma importante chave do passado a ser desvendada.

O estudo do comportamento da CMA no passado é importante, a fim contribuir com dados aplicáveis à modelos matemáticos de simulação de possíveis mudanças na circulação de calor, sal e umidade, que podem não só afetar o clima no Atlântico Norte, como de todo planeta.

A margem continental norte do Brasil é importante para o sistema de circulação termohalina global, sendo assim um ótimo alvo para se entender melhor a interação entre as altas e baixas latitudes (RETRO, 2009). Além disso, essa região está sob a influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que segundo Arbuszewski (2013), tem sofrido consideráveis deslocamentos nos últimos 25.000 anos.

Tais mudanças climáticas podem ser identificadas pelas variações ao longo de transeções perpendiculares às principais correntes que alimentam a CMA. No intuito de expandir o conhecimento sobre tais variações e suas influências, foi feita uma prospecção pelo projeto RETRO (*Response of the Tropical Atlantic Surface na Intermediate Waters to Changes in the Atlantic Meridional Overturning Circulation*, da European Science Foundation), onde foram adquiridos os dados de sísmica rasa e os testemunhos verticais cedidos para o presente estudo.

Os testemunhos foram amostrados e analisados dando ênfase em parâmetros estatísticos da granulometria e a densidade dos sedimentos, visando um melhor entendimento sobre as mudanças de energia nestes paleoambientes com base na variação das fácies sedimentares.

O objetivo deste trabalho é a realização de análises sedimentológicas, tais como granulometria e densidade aparente, no testemunho sedimentar MD09-CQ-3243, coletado no talude do norte brasileiro (Ceará). O estudo visa contribuir com o projeto RETRO (*Response of the Tropical Atlantic Surface na Intermediate Waters to Changes in the Atlantic Meridional Overturning Circulation*, da European Science Foundation), cujo objetivo principal é analisar o papel do oeste do Atlântico sobre a circulação termohalina no Atlântico Meridional.

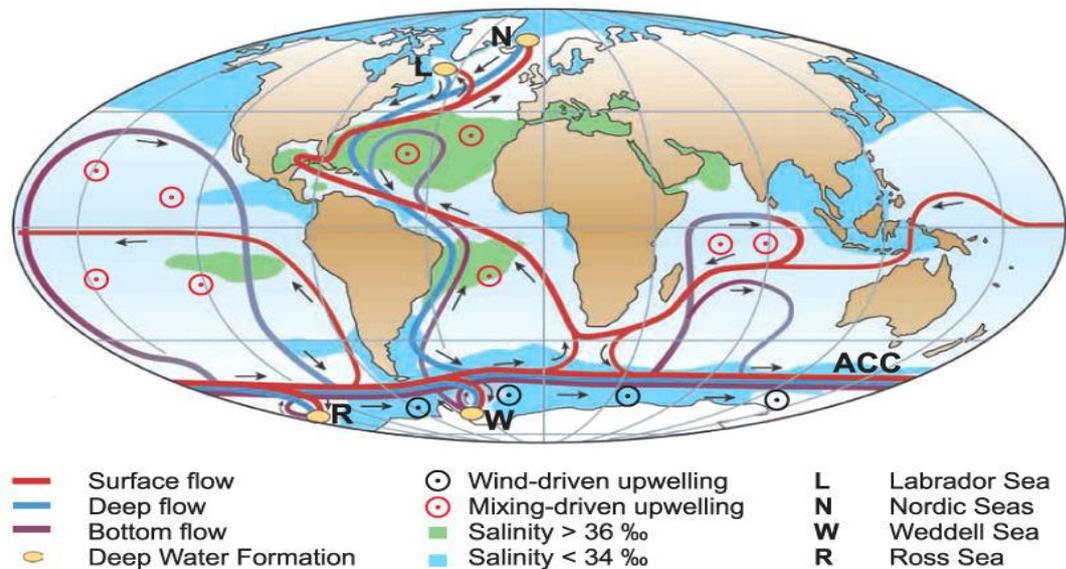


Figura 1: Esquema de circulação Global (kuhlbrodt et al, 2007).

## 2) LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada no estado do Ceará, próximo a divisa com o estado do Rio Grande do Norte, no litoral nordeste do Brasil (Figura 2). Mais especificamente, a região está inserida no talude da costa do Ceará, onde a lâmina d'água atinge aproximadamente 650 metros como demonstram as figuras abaixo.

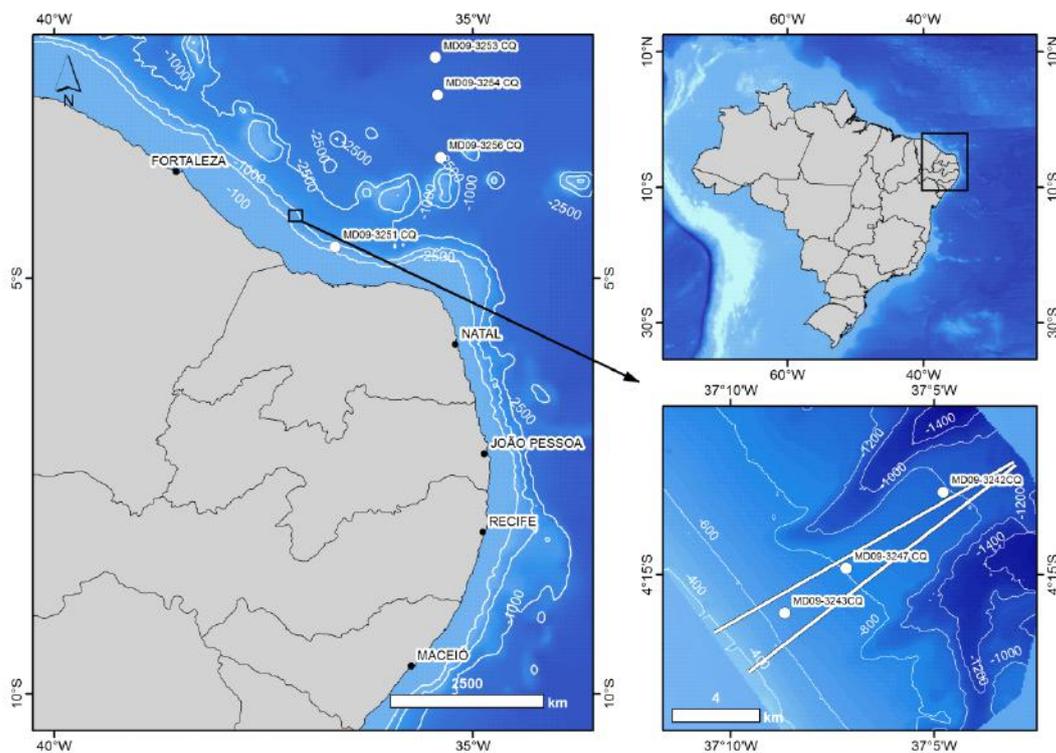


Figura 2: Mapa de localização da área trabalhada e do testemunho, destacado no detalhe abaixo à direita. As linhas brancas representam os perfis sísmicos.

### 3) FISIOGRAFIA E GEOLOGIA DA REGIÃO

A bacia do Ceará localiza-se na plataforma continental da margem equatorial brasileira, abrangendo uma área de aproximadamente 34.000 km<sup>2</sup> (Figura 3). Os principais rios que chegam ao litoral próximo a área de estudo são o Jaguaribe no estado do Ceará e o Apodi no estado do Rio Grande do Norte. Apesar de representarem uma grande fonte de sedimentos, os rios não têm grande influência sobre a sedimentação na região estudada, devido a sua localização em um alto estrutural.

A bacia está separada da bacia Potiguar pelo Alto de Fortaleza, a sudeste, e limita-se a oeste com a bacia de Barreirinhas pelo Alto de Tutóia. O seu limite sul é dado pela faixa de afloramento do embasamento cristalino, junto à linha de costa no estado do Ceará. Ao norte limita-se pelo ramo sul da Zona de Fratura Romanche. (Condé *et al*, 2007).



Figura 3: Subdivisão das Bacias costeiras ao norte do Brasil. Bacia do Ceará em destaque. (BEDEP/ANP– Webmaps)

Sua origem e evolução estão intimamente associadas a uma história geológica polifásica, no contexto da formação da margem equatorial afro-brasileira, desenvolvida sob um complexo regime tectônico de natureza transtrativa e transpressiva, responsável pela geração de um rifteamento oblíquo caracterizado pelo desenvolvimento de estágios distintos, pré-, sin- e pós-ativação dos movimentos transformantes.

Esse complexo cenário geodinâmico foi responsável pela grande variação na geometria, acervo estrutural e preenchimento das bacias da margem equatorial, refletindo o controle dinâmico e cinemático dominantes em cada uma de suas fases evolutivas (Neto *et al*, 2003).

Devido a características tectônicas distintas, a bacia do Ceará foi compartimentada em quatro sub-bacias: Piauí-Camocim, Acaraú, Icarai e Mundaú, de oeste para leste, as quais apresentam histórias deposicionais e deformacionais ligeiramente distintas

A região estudada no presente trabalho tem como principal área fonte a sub-bacia Mundaú. O preenchimento tectono-sedimentar da sub-bacia de Mundaú pode ser dividido em três principais superseqüências que representam as sucessivas fases

evolutivas da bacia: Rifte, Pós-Rifte e Drifte, caracterizadas por distintas arquiteturas e padrões de falhamentos ( Condé *et al*, 2007).

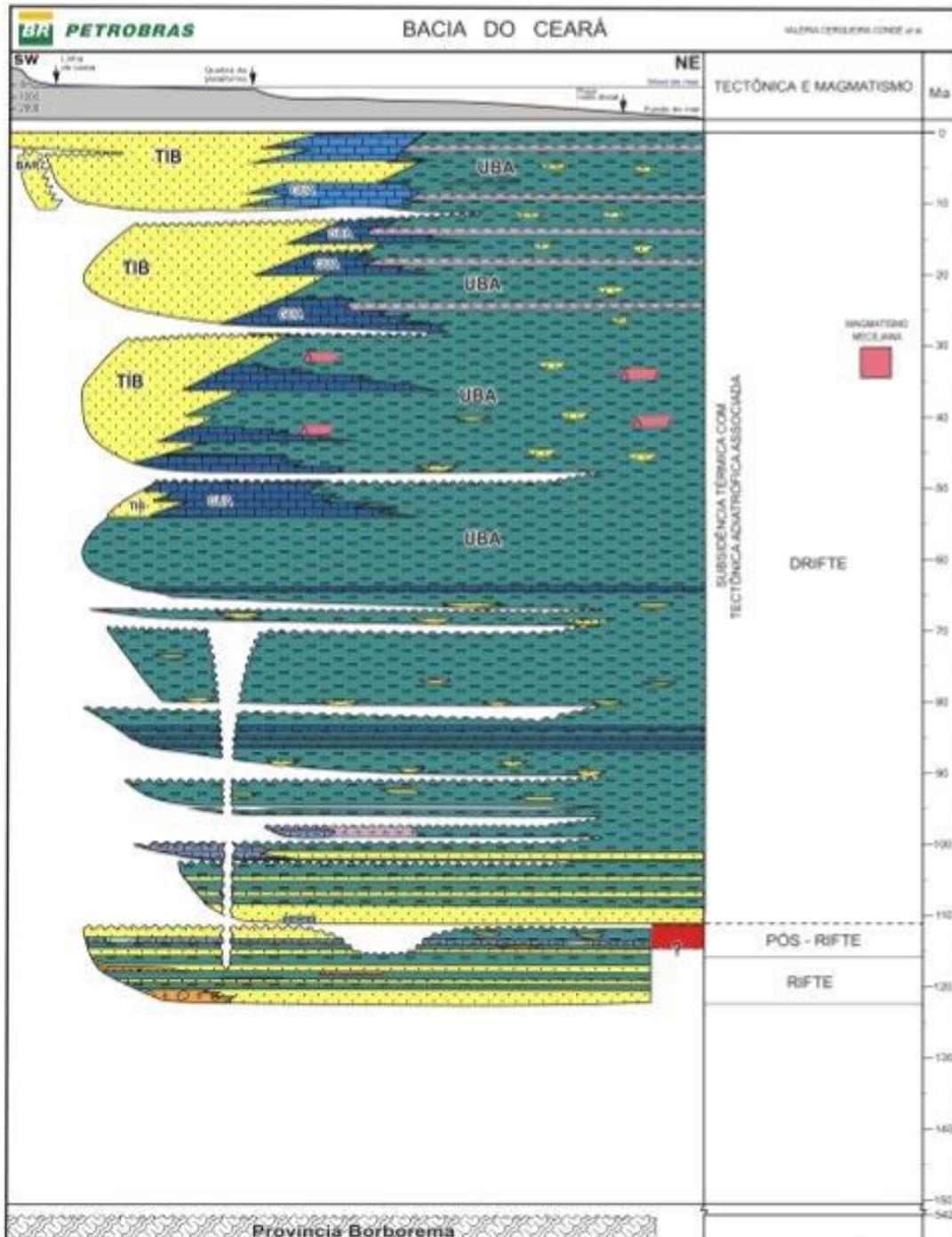


Figura 4: Carta Estratigráfica da Bacia do Ceará (Condé *et al*, 2007 )

## • 4) MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1) MATERIAIS

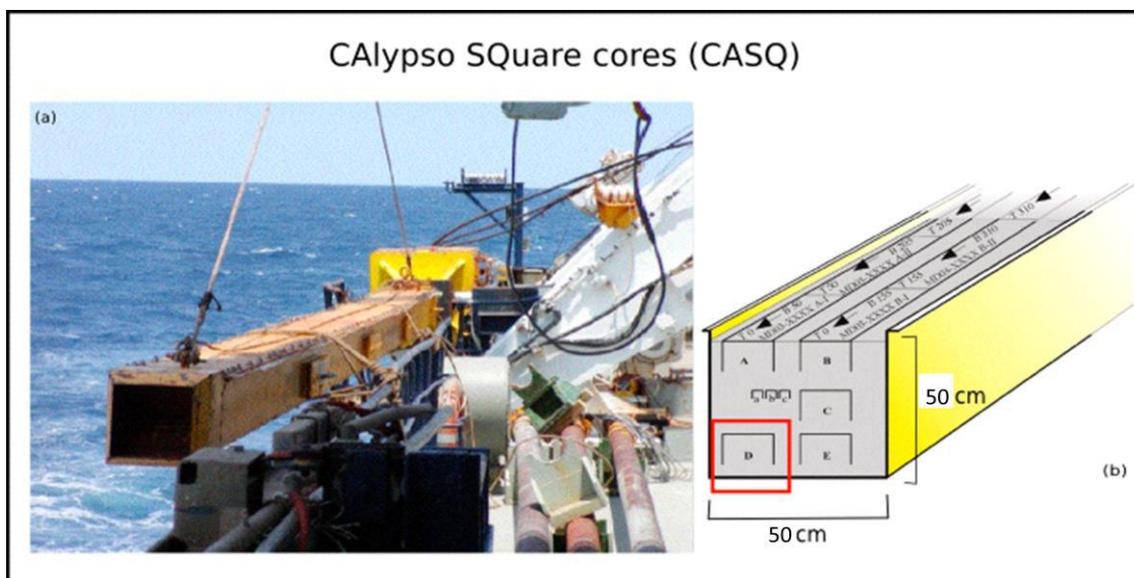


Figura 5: (a) Calypso Square Core, ferramenta utilizada na amostragem do testemunho; (b) esquema de retirada de subamostras explicitando a nomenclatura.(RETRO, 2009).

O material compreende uma subamostra dos dois primeiros metros superiores do testemunho CASQ (**Calypso Square**) MD09-3243CQ. Neste ocorrem sedimentos de mar profundo e vazas de foraminíferos, coletados pelo projeto RETRO em outubro de 2009 à bordo do navio de pesquisa Francês *R/V Marion Dufresne*, em águas profundas do nordeste brasileiro (Latitude: 04°15.97 – Longitude: 37°08.69). Os dados sísmicos foram levantados no cruzeiro prévio, a bordo do *R/V G O Sars*, em 2007.

### 4.2) MÉTODOS

#### 4.2.1) ABERTURA DO TESTEMUNHO

O testemunho MD09-CQ-3243 é separado em duas partes, uma menor de 0,49m e outra maior de 1,56m, portanto a sua abertura foi feita em dois momentos diferentes. A primeira parte a ser aberta foi o topo do testemunho, de 0,49m e posteriormente os outros 1,56m. As duas partes do testemunho foram tratadas de maneira igual.

#### 4.2.2) DESCRIÇÃO DO TESTEMUNHO

O testemunho é composto por intercalações de lamas carbonáticas e areias que se separam por contatos gradacionais. Nesses sedimentos foi possível observar uma grande quantidade de fósseis como foraminíferos e fragmentos de conchas que por vezes se concentram em níveis específicos formando vazas. Foi encontrado também um fóssil de coral de água profunda, *Flabellum apertum* (RETRO, 2009), no centímetro 180 em provável posição de vida.



Figura 6: Coral de mar profundo, *Flabellum apertum*. (RETRO, 2009).

Para a descrição de cores do testemunho foi utilizado o Livro de Cores de Munsell mostrando cores que variam de 5Y6/2 (*light olive gray*) até 2Y3/1 (*brownish yellow*) da base para o topo apresentando também lentes de cor diferente da matriz e intercalações de tons mais claros ou mais escuros.

A textura do testemunho se caracteriza no geral por sedimentos finos que variam de silte a argila. Da base em direção ao topo nota-se a presença de sedimentos mais grossos, areias finas, que se apresentam em pequenos níveis ou então como lentes dentro dos pacotes de granulometria mais fina.

#### 4.3.3) AMOSTRAGEM

O primeiro metro de cima para baixo do testemunho foi fatiado de 1 em 1 cm utilizando espátulas de aço inoxidável e retiradas 2 amostras com o volume de aproximadamente 2 ml a cada fatia de 1 cm. Utilizando seringas com as pontas cortadas, foi coletado uma amostra para o estudo de densidade e outra para o estudo de foraminíferos. O restante do testemunho foi fatiado a cada 2 cm e retiradas 2 amostras com o volume de aproximadamente 2 ml a cada fatia. As fatias foram embaladas em sacos plásticos e guardadas sob temperatura de aproximadamente 4°C. Foram retiradas também 4

amostras para datação de  $C^{14}$ : 3 horizontes, 10cm, 100cm, 206cm e um fóssil de coral em posição de vida (179-180cm). As amostras foram colocadas em sacos plásticos e enviadas para a análise no laboratório Beta Analytic. As amostras retiradas para análise de foraminíferos não foram utilizadas no presente trabalho.

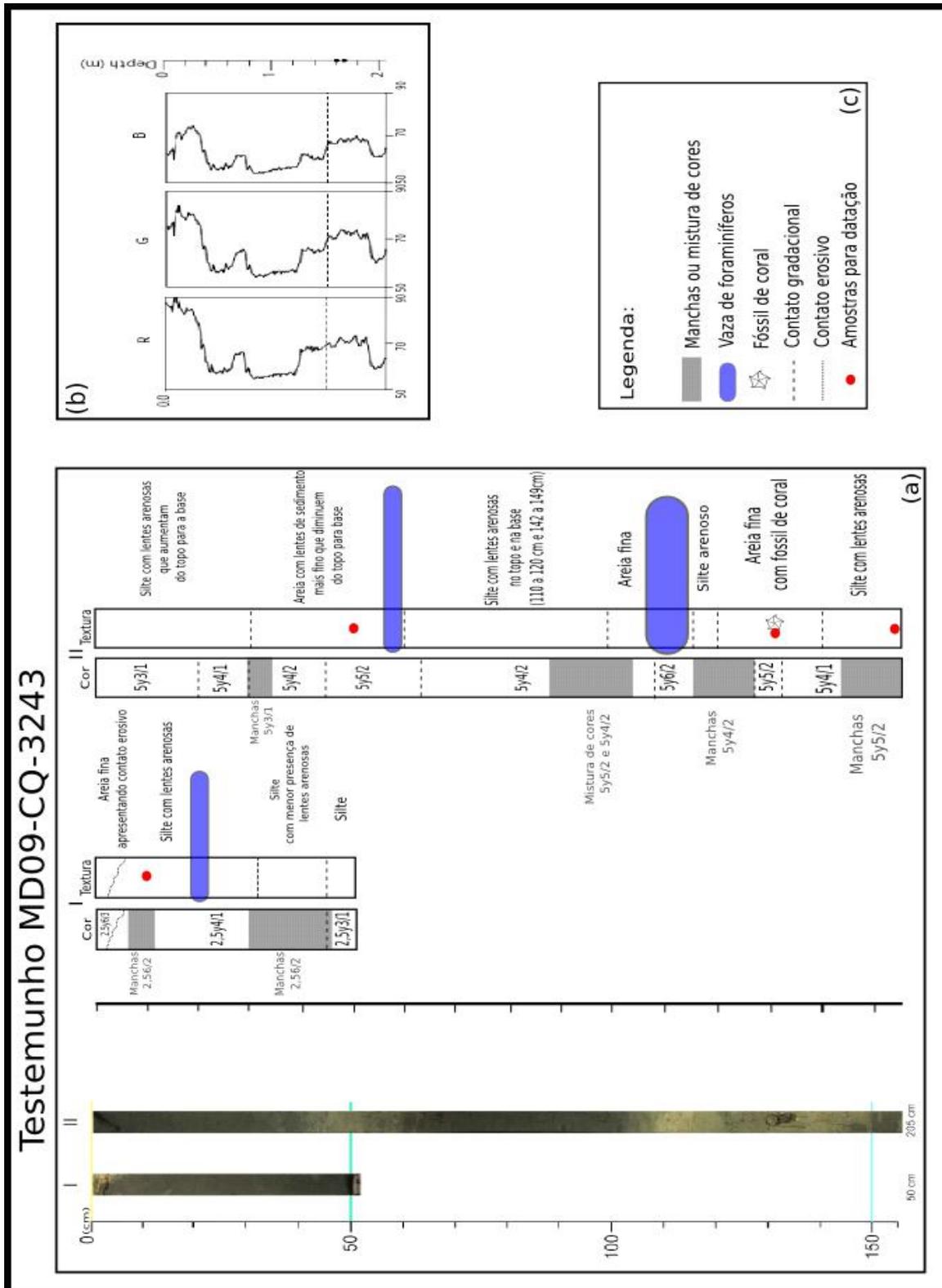


Figura 7: (a) Foto do testemunho MD09-CQ-3243, descrição de cores (escala de Munsell) e descrição da textura feita no momento da sub-amostragem;(b) perfil RGB (CRUISE REPORT MD09-173 – RETRO III);

### **4.3) ANÁLISES**

#### **4.3.1) ANÁLISE DE DENSIDADE APARENTE**

As amostras para densidade e foraminíferos foram feitas utilizando seringas de 3 ml com a ponta cortada que eram introduzidas no testemunho e depois retiradas, fornecendo as amostras indeformadas e seus respectivos volumes úmidos. Após a amostragem, foram imediatamente colocadas em cubetas de acrílico, anteriormente esterilizadas e pesadas em balança de cinco casas decimais, e então foram vedadas. As cubetas com as amostras foram pesadas para se obter o peso úmido e posteriormente foram colocadas na estufa para secar a 50°C e então pesadas novamente varias vezes até atingirem um peso seco estável. Esse índice físico é calculado dividindo a massa seca do sedimento pelo volume úmido do mesmo, ou seja, no cálculo é levado em conta também a porosidade da amostra.

#### **4.3.2) ANÁLISE GRANULOMÉTRICA**

A análise granulométrica foi feita utilizando equipamento CILAS 1064L e seu respectivo *software* “*The Particle Expert*”, consistindo o processo de análise, na incidência e dispersão de um feixe de laser em uma célula de material transparente de geometria laminar, e que determina frações granulométricas entre 0,002 e 500 µm (Fermino, 2007).

O processo consistiu inicialmente na pesagem de aproximadamente 0,5 g de sedimento de cada fatia do testemunho utilizando uma balança de duas casas decimais, posteriormente essas amostras foram submetidas a um banho de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O) durante 2 meses para a retirada de matéria orgânica

Após retirada a matéria orgânica, foi adicionado as amostras uma solução dispersante de hexametáfosfato de sódio e água (40g/L) e posteriormente foram postas na agitadora por 24 horas para evitar a formação de coloides e agregados de grãos que pudessem prejudicar a análise.

Ao saírem da agitadora as amostras foram passadas uma a uma por uma peneira de 0,42 mm para que a fração acima deste valor não prejudicasse o funcionamento do aparelho. Por não representar uma quantidade relevante (<5%) da amostra, constituída sempre por fragmentos de pterópodes e foraminíferos, as frações retidas foram descartadas. Após peneirada, cada amostra foi colocada no Becker do aparelho, onde é acrescido água até a solução atingir 400 ml e então a mesma é diluída, se necessário, até atingir uma concentração entre 10 e 300°C.

#### **4.3.3) ANÁLISE ESTATÍSTICA**

O *software* utilizado foi o “Gradistat” versão 8.0 (pacote estatístico para “*Microsoft Excel*”) que fornece automaticamente diversos resultados, tais como grau de seleção, assimetria, curtose, diâmetro médio e mediana (D<sub>50</sub>) utilizando para classificação granulométrica o método de Folk & Ward (1974), adotando-se a escala logarítmica de

tamanho phi ( $\Phi$ ) de Udden-Wentworth. Foram dispostos em diagrama ternários cada amostra (Areia-Silte-Argila), correspondente.

#### 4.3.4) DATAÇÕES

No total foram realizadas 4 datações de  $^{14}\text{C}$ : 3 horizontes, 10cm, 100cm, 206cm e um fóssil de coral em posição de vida ( 179-180cm). As análises vão permitir estimar as idades dos sedimentos do testemunho e até taxas de sedimentação. Não foi feita ainda correção de efeito reservatório, uma vez que os dados com correção mais próximos distam 1300km do local amostrado, no Banco Royal Charlotte.

O resultado das datações não chegou a tempo para inserção no presente trabalho.

### 5) RESULTADOS

Para se ter uma melhor visualização e interpretação dos resultados obtidos nas análises, os dados foram plotados em diversos gráficos, onde o grau de seleção, curtose, média, mediana, porcentagem de areia, assimetria, densidade aparente e porcentagem de areia, silte e argila variam em função da profundidade.

Após a análise dos padrões dos gráficos foram observados picos correlacionáveis que refletem provavelmente mudanças no regime de sedimentação ao longo do tempo, possibilitando assim a separação de sete sucessões distintas (Figura 9).

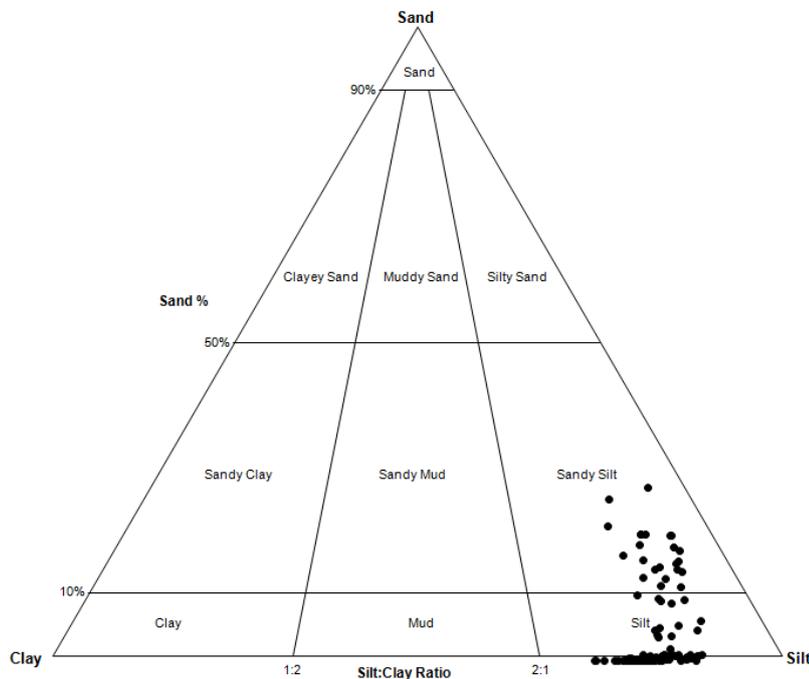


Figura 8 : Todas as amostras plotadas no diagrama ternário com porcentagens de areia, silte e argila. O diagrama demonstra que os sedimentos se concentram nas classes de silte e silte arenoso.

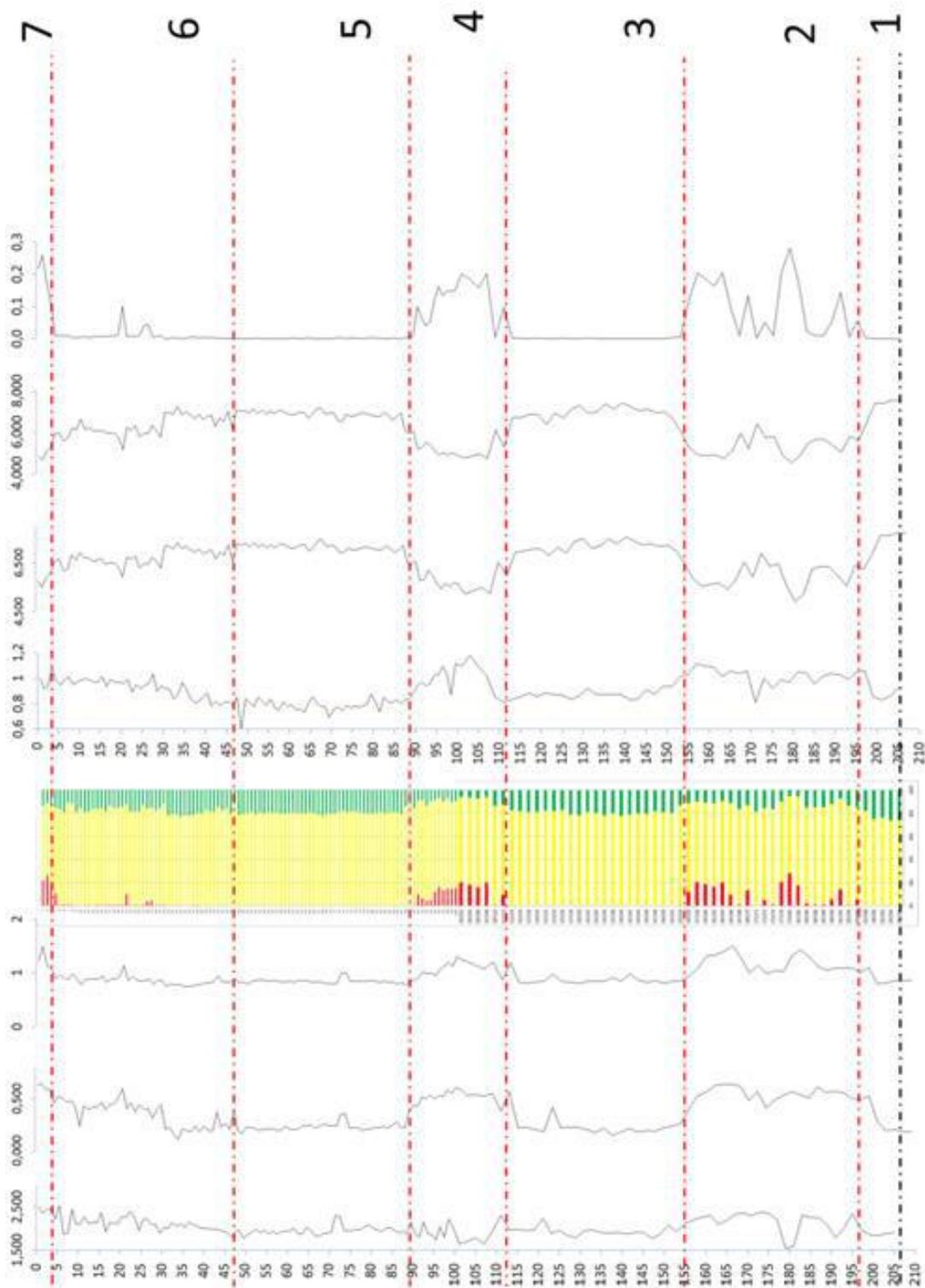


Figura 9: Tabela com todos os resultados obtidos nas análises e as sete sucessões definidas. Os valores são plotados em função da profundidade. Da esquerda para direita: Grau de seleção, assimetria, curtose, porcentagem de areia (vermelho)-silte (amarelo)-argila (verde), densidade, diâmetro médio, mediana e porcentagem de areia.

## 5.1) DENSIDADE APARENTE

A densidade aparente é um índice físico muito importante na classificação de sedimentos e para cálculo de fluxo à partir das idades. Analisando a variação da densidade relativa ao longo do testemunho é possível notar mudanças faciológicas e definir sucessões. Sedimentos na fração argila e com presença de matéria orgânica tendem a apresentar valores de densidade menores enquanto os mais grossos como a areia apresentam densidades mais elevadas (Neto, 2002)

No testemunho analisado, em geral foram observados valores baixos de densidade, apresentando entretanto intervalos onde a densidade se eleva bastante. Esses intervalos são visivelmente correlacionáveis com os gráficos de diâmetro médio, mediana ( $D_{50}$ ) e porcentagem de areia-silte-argila onde se percebe um aumento da granulometria e *inputs* de areia, com aumento de densidade.

Foram definidas 7 sucessões granulométricas distintas, conforme observado na figura 9. A sucessão 1 apresenta níveis com densidades mais baixas que tendem a aumentar em direção ao topo. A sucessão 2 apresenta uma intercalação de níveis mais densos e menos densos, que se mantém até o topo da mesma. Já na sucessão 3, a densidade volta a abaixar e se mantém assim até o topo. Na sucessão 4, a densidade sofre um grande aumento até a parte central, e depois volta a diminuir em direção ao topo. Na sucessão 5, se estabelecem novamente valores bem baixos de densidade chegando a atingir o pico mais baixo de  $0,6 \text{ g/cm}^3$  no topo. A sucessão 6 apresenta na base uma tendência de aumento de densidade, que se mantém até o topo da mesma. Esse padrão acompanha o diâmetro médio e os *inputs* de areia. A sucessão 7 apresenta altas densidades.

## 5.2) DIÂMETRO MÉDIO

O tamanho das partículas em sedimentos detríticos, expresso pelo seu diâmetro, constitui uma propriedade textural fundamental, (Suguio, 2003). Os dados de diâmetro médio mostram as variações granulométricas ao longo do testemunho. No geral, a granulometria é composta por silte e argila, com intercalações de níveis mais arenosos de silte muito grosso (4 a 5  $\phi$ ) a grosso (5 a 6  $\phi$ ) (Figura 9 e 10).

A mediana ( $D_{50}$ ) se situa entre a moda e a média, ou seja, entre o valor de maior frequência de ocorrência de um dado tamanho de grão e o valor obtido por meio de um gráfico de frequência simples (Tavares, 2010).

$\Phi$	$\mu\text{m}$	
		Areia fina
3	125	
		Areia muito fina
4	63	
		Silte muito grosso
5	31	
		Silte grosso
6	16	Silte
		Silte médio
7	8	
		Silte fino
8	4	
		Silte muito fino
9	2	
		Argila

Figura 10: Tabela usada no programa GRADISTAT , baseada nas frações granulométricas propostas por Udden(1914), Wentworth (1922) e Friedman e Sanders(1978). (Blott, S.J. & Pye, K., 2001)

Da base em direção ao topo é evidente a presença de três intervalos que apresentam uma granoascendência, caracterizando *coarsening upward*. Os mesmos são separados por outros intervalos em que a granulometria se mantém mais constante e fina. Esses níveis podem ser observados e correlacionados perfeitamente com os gráficos que representam os valores de mediana ( $D_{50}$ ), porcentagem de areia e com o diagrama de porcentagem de areia, silte e argila.

Com base nas principais quebras dos gráficos, foram evidenciadas mudanças bruscas na granulometria que são importantes na distinção e descrição das sete sucessões propostas.

Na sucessão 1 nota-se uma granulometria mais fina na fração silte fino que se mantém constante até o topo. Já a sucessão 2 possui um aumento de granulometria em direção ao topo apresentando intercalações de níveis de fração silte grosso e níveis de fração silte médio. Na sucessão 3 ocorre uma diminuição da fração mais grossa e o predomínio da fração silte fino que se mantém constante da base até o topo. A sucessão 4 é caracterizada por um aumento da granulometria na base, que se mantém até a porção central chegando a fração silte grosso, onde começa a diminuir novamente em direção ao topo voltando a fração silte médio. A sucessão 5 apresenta uma granulometria mais constante, que se mantém na fração silte fino da base até o topo. A sucessão 6 apresenta um aumento da granulometria da base em direção ao topo, variando da fração silte fino até silte médio caracterizando um *coarsening upward*, que se mantém até o final da mesma. A sucessão 7 é caracterizada por um aumento brusco da granulometria que varia de silte médio até a fração silte grosso.

### 5.3) CURTOSE

A curtose pode ser descrita como o grau de agudez dos picos presentes na curva de frequência granulométrica. Quanto maior a diferença de altura entre uma classe e as demais do conjunto, mais afilado será o pico, portanto maior o grau de agudez e curtose.

A curtose também pode ser representada pelo afilamento da curva de frequência granulométrica, levando em conta a razão entre o espalhamento na parte central da amostra e o espalhamento nas caudas da distribuição. Para se obter o afilamento, a curva que representa o conjunto de dados é comparada com uma *Curva Padrão*, *Curva Normal* para se saber se ela é mais "afilada" ou mais "achatada" (Farias 2008).

A curva pode ser leptocúrtica se for bastante afilada, mesocúrtica se tiver distribuição normal e platicúrtica se for achatada (Figura 11).

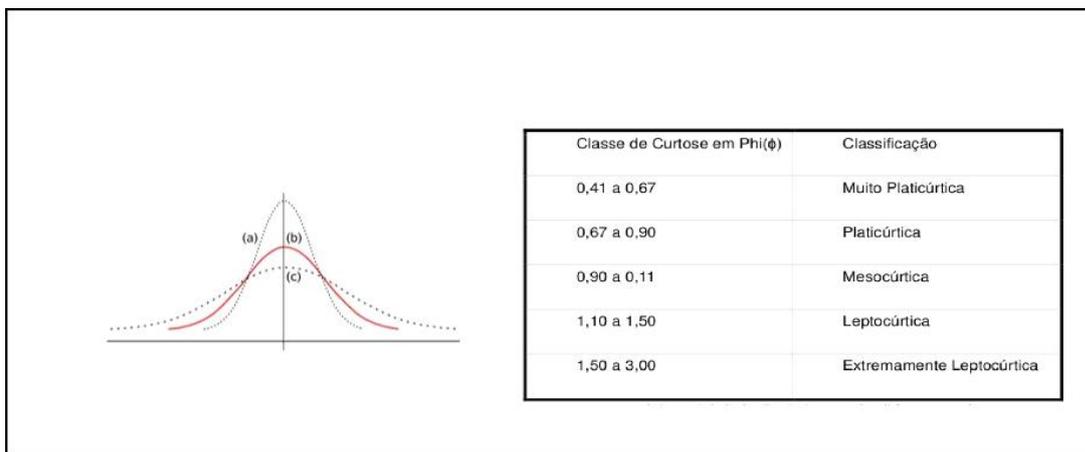


Figura 11 : -Imagem representando os três principais tipos de curtose de uma curva de frequência granulométrica; (a) curva Leptocúrtica , (b) curva mesocúrtica e (c) curva platicúrtica. Classificação de curtose segundo Folk 1968(Costa 2011).

Uma curtose platicúrtica sugere uma tendência deposicional, uma curtose mesocúrtica indica ambientes de transição e uma curtose leptocúrtica sugere transporte, podendo indicar remoção de alguma fração por meio de correntes de fundo. Valores de curtose muito altos ou muito baixos podem indicar que um tipo de material foi selecionado em uma região de alta energia e transportado sem perder suas características para um ambiente possivelmente de baixa energia (Costa 2011).

A sucessão 1 apresenta valores que classificam a curva como platicúrtica da base até o topo (Figura 9), já na sucessão 2 é possível observar a forma platicúrtica na base que vai se tornando cada vez mais leptocúrtica em direção ao topo atingindo o primeiro pico de  $1,5\phi$  aos 180 cm de profundidade e o segundo pico de  $1,6\phi$  aos 164 cm de profundidade assumindo a forma extremamente leptocúrtica, posteriormente retornando a forma mesocúrtica em direção ao topo. A sucessão 3 apresenta uma tendência constante , demonstrando em geral uma forma platicúrtica com alguns níveis de forma mesocúrtica. A sucessão 4 apresenta em geral uma tendência a forma leptocúrtica, porém com alguns níveis tendendo a forma mesocúrtica localizados na base e no topo.

A sucessão 5 apresenta um padrão mais homogêneo, tendendo a forma platicúrtica em geral, porém possui um pico de  $1\phi$  aos 73 cm de profundidade demonstrando uma forma mesocúrtica. Na sucessão 6 a forma platicúrtica se mantém, porém em direção ao topo, em 20 cm de profundidade ocorre indicação de uma

tendência a forma leptocúrtica e um pico aos 9 cm de profundidade indicando uma forma mesocúrtica. A sucessão 7 apresenta uma grande variação da curtose que vai de mesocúrtica até extremamente leptocúrtica da base para topo (Figura 9).

Todos os picos com tendências a forma leptocúrtica a extremamente leptocúrtica, podem ser correlacionados com o aumento das frações granulométricas nos gráficos de diâmetro médio, mediana ( $D_{50}$ ) e também com *inputs* de areia no diagrama de porcentagem de areia, silte e argila (Figura 9).

#### 5.4) GRAU DE SELEÇÃO

O grau de seleção apresenta relação direta com a granulometria do sedimento e as condições de transporte a que foi submetido.

De acordo com Suguio (1973) existe uma relação entre o grau de seleção e o diâmetro médio, de forma que quanto menor for o diâmetro médio, maior vai ser o grau de seleção. Essa relação é claramente observada comparando os dois gráficos respectivos (Figura 9).

Classe em $\phi$	Classificação
0,00 a 0,35	Muito bem selecionada
0,35 a 0,50	Bem selecionada
0,50 a 0,71	Moderadamente bem selecionada
0,71 a 1,00	Moderadamente selecionada
1,00 a 2,00	Pobrememente selecionada
2,00 a 4,00	Muito pobrememente selecionada
> 4,00	Extremamente mal selecionada

Figura 12: Classificação de grau de seleção segundo Folk (1968, *apud* Farias 2008)

No geral, o testemunho apresenta valores de grau de seleção que variam de 1,55 $\phi$  até 2,55 $\phi$ , indicando duas classificações segundo Folk (1968): "Pobrememente selecionada" e "Muito pobrememente selecionada" (Figura 12).

A sucessão 1 apresenta sedimentos pobrememente selecionados, que vão se tornando muito pobrememente selecionados em direção ao topo (Figura 9). Na sucessão 2 pode se classificar os sedimentos como muito pobrememente selecionados, padrão que se estende até o topo, onde ocorrem dois níveis de sedimentos pobrememente selecionados aos 191 e 180 cm de profundidade. Na sucessão 3 os sedimentos são classificados como pobrememente selecionados em geral, porém mais próximo ao topo, aos 121 cm de profundidade, ocorre um nível isolado muito pobrememente selecionados. Na sucessão 4 os sedimentos localizados na base foram classificados como pobrememente selecionados, enquanto da porção central em direção ao topo possui uma intercalação de sedimentos pobrememente e muito pobrememente selecionados. Na sucessão 5 os valores são mais constantes, classificando os sedimentos como pobrememente selecionados, porém com ocorrência de um nível muito pobrememente selecionado aos 73 cm de profundidade. Já na sucessão 6, os sedimentos da base são classificados como pobrememente selecionados, e em direção ao topo os sedimentos vão se tornando cada vez mais mal selecionados

sendo classificados como muito pobremente selecionados. Na sucessão 7 os sedimentos são classificados como muito pobremente selecionados.

## 5.5) ASSIMETRIA

A assimetria corresponde a forma da curva de uma distribuição de frequências. Quando a mediana ( $D_{50}$ ), média, e moda recaem em lugares diferentes na distribuição, elas podem deslocar a curva tornando-a assimétrica (Dias, 2004). Essa assimetria pode se dar como negativa, quando a curva se desloca da esquerda para a direita, ou positiva, quando a curva se desloca da direita pra esquerda. Quando a mediana, média e moda recaem no mesmo lugar a curva segue um padrão normal, ou seja, é simétrica. (Costa 2011)

Classe em phi	Matematicamente	Graficamente assimetria para os:
+1.00 a +0.30	Assimetria muito positiva	Valores de phi muito negativos, grossos
+0.30 a +0.10	Assimetria positiva	Valores de phi negativos
+0.10 a -0.10	Aproximadamente simétrica	Simétrica
-0.10 a -0.30	Assimetria negativa	Valores de phi positivos
-0.30 a -1.00	Assimetria muito negativa	Valores de phi muito positivos, finos

Figura 13: Classificação de assimetria (Folk 1968 *apud* Farias, 2008).

No gráfico de assimetria versus profundidade podem ser observados valores entre  $0,1\phi$  e  $0,7\phi$  demonstrando um comportamento geral de assimetria positiva, com alguns níveis de assimetria muito positiva (Figura 9). Em determinados níveis a curva do gráfico tende a ir para a direita, assumindo uma assimetria mais positiva evidenciando uma concentração dos dados nas frações mais grossas. Em alguns níveis assume um padrão em "zigue-zague", evidenciando uma intercalação de níveis com concentração de sedimentos mais finos e níveis com sedimentos mais grossos.

Na sucessão 1 é possível observar a curva do gráfico se deslocando bruscamente para direita no topo, evidenciando uma mudança de assimetria positiva a muito positiva indicando sedimentos mais grossos. Esse padrão se mantém na sucessão 2, porém com alguns níveis de valores menos positivos que causam um "zigue-zague" na curva evidenciando uma intercalação de sedimentos mais finos e mais grossos comprovada no gráfico de porcentagem de fração areia, silte e argila. Na sucessão 3 a curva assume um padrão mais deslocado para a esquerda, assumindo assimetria positiva, que se mantém da base até a metade. Já no topo, a curva começa a tender novamente para a direita, assumindo uma assimetria muito positiva. Na sucessão 4 se mantém a tendência para direita da curva, indicando uma assimetria muito positiva, porém novamente dominada pelo padrão em "zigue-zague", possivelmente causado pela intercalação de sedimentos mais grossos e mais finos evidenciada no diagrama de porcentagens de areia, silte e argila. A sucessão 5 é mais constante, apresentando uma tendência geral para esquerda assumindo uma assimetria positiva com uma inversão local aos 73cm de profundidade.

Na sucessão 6 é mantido o padrão da curva tendendo mais para esquerda até os 30cm de profundidade, posteriormente em direção ao topo a curva volta a tender para a direita, porém novamente com variações de valor que geram o padrão em "zigue-zague" indicando intercalações de sedimentos finos e grossos também presentes no diagrama de porcentagens de areia, silte e argila. Na sucessão 7 pode se observar uma tendência sempre para direita, identificando a assimetria muito positiva.

## **5.6) DIAGRAMA DE PORCENTAGEM DE AREIA-SILTE-ARGILA**

O diagrama de areia, silte e argila (Figura 9), representa a porcentagem de cada uma dessas frações granulométricas em cada amostra ao longo do testemunho. Esse diagrama permite a análise desses três parâmetros simultaneamente, facilitando a interpretação de variações na quantidade de cada um em relação ao total de 100%.

O diagrama em geral demonstra o domínio das frações silte e argila, porém com 3 entradas de areia fina mais significantes, a primeira mais na base entre os 196 e 154cm de profundidade, a segunda mais acima entre os 112 e 90 cm de profundidade e a terceira que vai dos 8 cm de profundidade até o topo.

A maior parte dos sedimentos é composta pela fração silte, que varia entre 60 e 80%, e diminui em níveis com presença de areia. A quantidade de argila ao longo do testemunho não muda muito, variando de 7 a 23%, diminuindo nos níveis mais arenosos e aumentando nos níveis menos arenosos e com mais silte.

Na sucessão 1 o diagrama demonstra uma maior porcentagem de silte e argila, acompanhado da ausência de areia, já na sucessão 2 nota se a entrada de areia nos sedimentos, gerando intercalações de níveis mais arenosos com níveis mais siltosos que se estendem até o topo. A sucessão 3 apresenta porcentagens semelhantes a da sucessão 1, onde há maiores quantidades das frações silte e argila, e ausência de areia. Na sucessão 4 nota se novamente a presença de areia nos sedimentos, formando intercalações de níveis mais arenosos e menos arenosos que se mantém até o topo. A sucessão 5 e apresenta o mesmo padrão das sucessões 1 e 3, com maiores porcentagens de silte(80%) e argila (20%), e com ausência de areia que se mantém constante até o topo. A sucessão 6 acompanha o mesmo padrão da sucessão 5, porém possui na sua parte central uma pequena quantidade de areia que se distribui em 3 níveis um pouco mais arenosos. Por fim, a sucessão 7 apresenta uma maior quantidade de areia, que aumentada da base em direção ao topo, atingindo até 27% .

## **5.7) CURVAS DE FREQUÊNCIA GRANULOMÉTRICA**

Segundo Baisch (2003) sedimentos maduros, retrabalhados (Ex: areias de praia e dunas) são usualmente unimodais, enquanto que sedimentos imaturos, pouco retrabalhados são bi ou polimodais.

Observando os diagramas de frequência granulométricas (AnexoI), pode se notar que os sedimentos em estudo apresentam uma baixa homogeneidade no geral, podendo ser classificados como imaturos. As amostras são na sua maioria polimodais, possuindo até 3 modas. O padrão polimodal se mantém por quase todo o testemunho, porém surgem alguns níveis de maior homogeneidade granulométrica, por vezes apresentando 1 ou 2 modas. Esses níveis são evidenciados entre os intervalos 182-177cm, 166-148cm, 90-108cm e 2-1cm, e coincidem com picos no gráfico de grau de seleção, o que confirma a maior maturidade dos sedimentos .

Ao longo do testemunho são identificados diversos valores de moda que estão distribuídos nas seguintes frações granulométricas:

- De 3 a 4  $\phi$  – Areia muito fina
- De 4 a 5  $\phi$  – Silte muito grosso
- De 5 a 6  $\phi$  – Silte médio
- De 6 a 7  $\phi$  – Silte fino
- De 7 a 8  $\phi$  – Silte muito fino
- De 8 a 9  $\phi$  – Argila

## 6) INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

A partir da análise dos gráficos de diâmetro médio, porcentagem de areia, mediana ( $D_{50}$ ), porcentagem de areia-silte-argila e densidade aparente, foram observados valores que se assemelham muito quanto ao padrão de variabilidade, possibilitando o reconhecimento e a definição de sete sucessões sedimentares.

Todas as sucessões propostas apresentam uma fácies sedimentar característica, e se separam das demais por mudanças bruscas observadas nas curvas dos gráficos, que definem o topo e a base de cada uma. Tais mudanças, também podem ser observadas nas curvas de grau de seleção, assimetria e curtose, sendo perfeitamente correlacionadas.

As sucessões 1, 3, e 5 se assemelham muito em relação aos padrões granulométricos, apresentando uma predominância das frações silte a argila e ausência da fração areia. Essas sucessões indicam períodos mais longos, dominados por um ambiente de baixa energia, que possibilita a deposição de sedimentos muito finos em suspensão. Já as sucessões 2 e 4, apresentam *inputs* de areia que geram intercalações de sedimentos finos a grossos. Nas mesmas é observado uma diminuição no grau de seleção, que pode indicar retomadas na circulação termohalina ou influências fluviais. A presença de sedimentos mais grossos indica um aumento na energia do ambiente, que se repete nos dois períodos mais curtos. A sucessão 6, na base, apresenta predominância de sedimentos mais finos, que vão diminuindo em direção ao topo, enquanto a quantidade de areia aumenta. Esse *coarsening upward*, evidencia um aumento gradativo na energia do ambiente de sedimentação e se estende até o topo da mesma. A sucessão 7 apresenta uma maior quantidade de sedimentos grossos indicando um ambiente de mais alta energia, que se estende até os dias atuais. Estudos recentes feitos por Santos (2014) utilizando testemunhos coletados próximo a área presente estipularam uma taxa de sedimentação de aproximadamente 1 centímetro a cada 1.000 anos. Esse dado permite inferir uma janela de tempo de aproximadamente 200.000 anos para o testemunho, e associar as sucessões a estágios isotópicos conhecidos.

## 7) CONCLUSÕES

A região estudada está inserida num ambiente marinho profundo, a grande quantidade de sedimentos biogênicos como carapaças de foraminíferos e pterópodes e lama carbonática indicam processos de sedimentação pelágica com pequenas contribuições terrígenas oriundas dos rios próximos. As análises realizadas indicam um registro sedimentar que se divide em sete sucessões diferentes. As variações granulométricas e de densidade das sucessões representam um ambiente distal, onde predomina a deposição de sedimentos finos, porém esse padrão de sedimentação parece ser interrompido por vezes ao longo do tempo. A maior presença de areia em

determinadas profundidades leva a crer que esse ambiente vem sofrendo influência de correntes mais fortes, capazes de transportar sedimentos mais grossos. Tais quebras parecem ocorrer de forma cíclica, e estão provavelmente associados a mudanças climáticas globais que vem afetando ao longo do tempo, correntes de fundo e o aporte sedimentar de rios que atuam na área estudada.

. De acordo com a taxa inferida , as mudanças nos processos de sedimentação e granulometria evidenciados na sucessão 4 (112-89cm), podem corresponder ao estágio isotópico marinho 5 (80 a 130 mil anos).

Apesar dos bons resultados obtidos no presente trabalho, ainda são necessários estudos mais aprofundados para se obter mais informações da região, que é de extrema importância no entendimento do comportamento da CMA e do paleoclima global.

## 8) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arbuszewski, Jennifer A., Peter B. De Menocal, Caroline Cléroux, Louisa Bradtmiller and Alan Mix. Meridional shifts of the Atlantic intertropical convergence zone since the Last Glacial Maximum , Nature Geoscience 3 october 2013 | doi: 10.1038/ngeo1961 .

Blott, S.J. & Pye, K. 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Earth Surface Processes and Landforms 26, p. 1237-1248.

Condé, C.Valéria, Cecília Cunha Lana, Otaviano da Cruz Pessoa Neto, Eduardo Henrique Roesner, João Marinho de Moraes Neto, Daniel Cardoso Dutra , Bacia do Ceará. Boletim de Geociências Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 347-355, maio/nov. 2007

Cruise report of the RETRO project, R/V “G.O. SARS” UoB Cruise No. GS07-150 07-20. December, 2007 .

Cruise report of the RETRO project coring expedition of the R/V Marion Dufresne leg 173, Fortaleza – Fortaleza, 17-26 October 2009. Cruise Report Version 20091210 [www.esf-retro.org](http://www.esf-retro.org)

Dias, J. A., 2004 A análise sedimentar e o conhecimentos dos sistemas marinhos (Uma Introdução à Oceanografia Geológica) Universidade do Algarve, UALg 84p e-book da versão preliminar. Disponível em [http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb\\_Sediment.html](http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb_Sediment.html). Acessado em a4/01/2014.

Farias, A.C. 2008. Aplicação da técnica de infravermelho na identificação e caracterização da mineralogia nos sedimentos carbonáticos em testemunho do arquipélago de Abrolhos, BA. Dissertação de graduação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ

Fermino,G.M. 2007. Análise da Granulometria, Mineralogia e Densidade dos sedimentos Carbonáticos em Testemunho do Arquipélago de Abrolhos no Estado da Bahia. Dissertação de graduação- Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ.68p.

Folk, R.L. 1968. Petrology of Sedimentary Rocks. The University of Texas Geology,307K, 38C, 383M. HemPhillis, Austin, Texas. 170P

Folk, R.L. 1974a. Petrology of Sedimentary Rocks. Austin, TX, Hemphill Publishing Company, 190p.

Kuhlbrodt, T., A. Griesel, M. Montoya, A. Levermann, M. Hofmann, and S. Rahmstorf (2007), On the driving processes of the Atlantic meridional overturning circulation, Rev. Geophys., 45, RG2001, doi:10.1029/2004RG000166

Neto, Pedro H. Weirich, André L. T. da Rosa & Jaime A. Gomes , Suscetibilidade de dois tipos de solo à compactação . Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.2, p.349-353, 2002 Campina Grande, PB, DEAg/UFCEG - <http://www.agriambi.com.br> .

Neto, João Marinho de Morais, Otaviano da Cruz Pessoa Neto, Cecília Cunha Lana & Pedro Victor Zalán, Bacia do Ceará, Revista Phoenix ano 5, número 57, 2003.

Santos, Thiago P. , Daniel R. Franco b, Catia F. Barbosa a, Andre L. Belem a, Trond Dokken c, Ana Luiza S. Albuquerque . Millennial- to centennial-scale changes in sea surface temperature in the tropical South Atlantic throughout the Holocene. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 08/2013; 392:1-8.

Santos, Thiago P., Belem, Andre L., Barbosa, Catia F., Dokken, Trond, Albuquerque, Ana Luiza S., Paleoceanographic reconstruction of the western equatorial Atlantic during the last 40 kyr, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 01/2014.

Suguio, K. 1973. Introdução à sedimentologia. São Paulo, Ed. Edgard Blücher/EDUSP, 317p

Suguio, K., 2003. Geologia Sedimentar. São Paulo, Editora Edgar Blücher Ltda. 400 p

Tavares, Ana Carolina De Almeida, Eduardo Bulhões, Alessa Favero Duque Estrada. Distribuição de fácies sedimentares e tendências de transporte de sedimentos na enseada de Manguinhos, Armação dos Búzios, RJ. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 2, Set. 2010