



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza

Instituto de Geociências

Departamento de Geologia

**CARACTERIZAÇÃO BIOGEOQUÍMICA E  
PALINOFACIOLÓGICA DE SEDIMENTOS SUPERFICIAIS  
LAMOSOS DA REGIÃO DE RESSURGÊNCIA DA PLATAFORMA  
CONTINENTAL DO SUDESTE BRASILEIRO – ARRAIAL DO  
CABO E CABO FRIO/ RJ**

JOÃO TERRA ASSINY RAPHAELLI

Orientador: Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho

Coorientador: Dr. Frederico Sobrinho

Rio de Janeiro

Abril de 2015

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| ÍNDICE DE FIGURAS.....  | 4  |
| ÍNDICE DE TABELAS.....  | 6  |
| RESUMO.....   | 7  |
| ABSTRACT.....   | 8  |
| 1 INTRODUÇÃO.....   | 9  |
| 2 PARÂMETROS FISIAGRÁFICOS.....   | 10 |
| 3 RESSURGÊNCIA.....   | 12 |
| 4 OBJETIVO.....   | 14 |
| 5 MATERIAIS E MÉTODOS.....  | 14 |
| 5,1 COLETA.....   | 14 |
| 5,2 ANÁLISE DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT%) E ENXOFRE<br>TOTAL(%).....     | 16 |
| 5,3 ANÁLISE DE PALINOFÁCIAS.....  | 16 |
| 5,4 CARACTERIZAÇÃO BIOGEOQUÍMICA.....                                       | 18 |
| 5,4,1 ESTERASES (ESTES).....  | 18 |
| 5,4,2 ATIVIDADE DO TRANSPORTADOR DE ELÉTRONS – DESIDROGENASE<br>(ASTE)..... | 18 |
| 5,4,3 BIOPOLÍMEROS.....   | 19 |
| 5,5 TRATAMENTO ESTATÍSTICO.....   | 19 |
| 6 RESULTADOS.....   | 20 |
| 6,1 COT% E S%.....  | 20 |

|  |    |
|--|----|
| 6,2 DISTRIBUIÇÃO DOS GRUPOS DA MATÉRIA ORGÂNICA PARTICULADA..... | 21 |
| 6,3 RESULTADOS DAS ENZIMAS BACTERIANAS.....                      | 23 |
| 6,4 RESULTADOS DOS BIOPOLÍMEROS.....                             | 25 |
| 6,5 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO.....                                  | 26 |
| 7 DISCUSSÃO.....   | 29 |
| 8 CONCLUSÃO.....   | 38 |
| 9 AGRADECIMENTOS.....  | 40 |
| 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                               | 41 |
| ANEXOS.....  | 52 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1:</b> Figura 1: À direita, imagem Landsat retirada de <i>Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO</i> através do software <i>Google Earth</i> . À esquerda, imagem de Albuquerque <i>et al.</i> , (2012).....  | 10 |
| <b>Figura 2:</b> Mapa de localização da área de estudo nos limites das bacias de Campos e Santos e a delimitação do corpo de lama sobre a plataforma. As setas indicam as posições relativas de (a) sequência de refletores paralelos, (b) sequência caótica e transparente, (c) <i>Beach-rock</i> e (d) sequência de refletores irregulares. Imagem retirada de Albuquerque <i>et al.</i> , 2012..... | 11 |
| <b>Figura 3:</b> Modelo da dinâmica eólica e o efeito convectivo de águas inferiores em costa Oeste. Geoxame, 2011. El Niño e La Niña. <a href="http://geoxame.blogspot.com.br/2011/01/el-nino-e-la-nina.html">http://geoxame.blogspot.com.br/2011/01/el-nino-e-la-nina.html</a> . Acessado em 25/09/2014.....   | 12 |
| <b>Figura 4:</b> Produtividade primária fitoplantônica integrada média para o mês de agosto de 1998 estimada a partir de imagens <i>SeaWiFS</i> em g.C/m <sup>2</sup> na escala de cores. Sathyendranath & Platt, 1988.....  | 13 |
| <b>Figura 5:</b> Em A, mapa georreferenciado das estações de coleta. Em B, vista em perspectiva 3D georreferenciada com exagero vertical da área de coleta.....  | 15 |
| <b>Figura 6:</b> Fotos cedidas pelo Projeto <i>Produtividade na ressurgência costeira de Cabo Frio e seu potencial de acúmulo de matéria orgânica: Interação Biosfera – Geosfera</i> . Em A, o equipamento <i>Box Core</i> ; em B, operários utilizando o <i>Box Core</i> ; em C, sedimentos coletados na estação BC-13.....   | 15 |
| <b>Figura 7:</b> Equipamentos utilizados no processamento para obtenção da ESTE. Laboratório de Microbiologia Marinha - UFF.....   | 18 |
| <b>Figura 8:</b> Equipamentos utilizados no processamento para obtenção da ASTE. Laboratório de Microbiologia Marinha - UFF.....   | 18 |
| <b>Figura 9:</b> Gráfico quantitativo de COT e S (à esquerda) e da razão COT:S (à direita), ambos identificados em cada uma das estações de coleta.....  | 20 |
| <b>Figura 10:</b> Diagrama ternário da distribuição dos Grupos da MO Particulada encontrados nas amostras.....   | 23 |
| <b>Figura 11:</b> Gráfico com as distribuições dos valores de ASTE e ESTE identificados no material coletado.....  | 24 |
| <b>Figura 12:</b> Distribuição dos Biopolímeros (PTN, LIP e CHO).....  | 25 |
| <b>Figura 13:</b> Gráfico das dez variáveis em Modo-R da Análise de Cluster.....   | 27 |
| <b>Figura 14:</b> Gráfico dos doze casos em Modo-Q da Análise de Cluster.....  | 28 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 15:</b> Distribuição espacial das Palinofácies Muito Proximal, Proximal, Intermediária e Distal, com as associações B, A, A + C e C, respectivamente.....   | 29 |
| <b>Figura 16:</b> Acima, dados dos sensores de temperatura para os fundeios 1 e 2. Abaixo, imagem do programa Oscar/NOOA mostrando a distribuição espacial do fluxo superficial, bem como a coerência com o padrão observado em uma imagem <i>True Color</i> do sensor <i>Modis</i> . Albuquerque <i>et al.</i> , 2012..... | 30 |
| <b>Figura 17:</b> Indicação do padrão de aumento do Grupo MOA na área de estudos.....   | 31 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1:</b> Valores percentuais para COT e S (2 <sup>a</sup> e 3 <sup>a</sup> colunas, respectivamente) e resultados da razão COT:S na 4 <sup>a</sup> coluna nas 12 amostras..... | 21 |
| <b>Tabela 2:</b> Relação dos grupos componentes da MO particulada (FITO, MOA, PALINO) encontrados nas estações de coleta.....  | 22 |
| <b>Tabela 3:</b> Valores encontrados nas doze amostras para a enzima bacteriana Desidrogenase (2 <sup>a</sup> coluna) e Esterase (3 <sup>a</sup> coluna).....                          | 24 |
| <b>Tabela 4:</b> Valores encontrados dos biopolímeros (CHO, PTN e LIP) nas doze amostras.....  | 26 |

## Resumo

Algumas regiões como deltas, recifes de corais e lugares de ocorrência da ressurgência respondem por quase a totalidade da produtividade da matéria orgânica (MO) nos oceanos. O fenômeno ressurgência define-se como a ascensão de camadas d'água mais inferiores, frias e densas do oceano, trazendo consigo nutrientes responsáveis pelo *input* na produtividade de MO do sistema, podendo, dependendo das condições do ambiente, haver sua preservação gerando sedimentos com expressiva massa orgânica e potencialmente precursores de rochas geradoras de hidrocarbonetos. Neste trabalho foram realizadas análises de palinofácies, geoquímicas e biogeoquímicas em sedimentos superficiais coletados com *box core* de doze estações dispostas sobre o banco lamoso da região de ressurgência de Arraial do Cabo e Cabo Frio afim de que se caracterizasse a MO e se obtivesse dados ambientais e de sedimentação atuais para melhor entendimento do processo e lançar ferramentas para possíveis confecções futuras de modelos preditivos. De posse destas, verificou-se, quantitativa e qualitativamente, os componentes refratários da MO - Fitoclastos (FITO) com valores médios de 3,7%, Palinomorfos (PALINO) com valor médio de 4,35% e Matéria Orgânica Amorfa (MOA) predominando com valor médio de 91,9%. Também se fez geoquímica observando valores de Carbono Orgânico Total (COT) num range de 0,63 a 1,47 % e de Enxofre Total (S) entre 0,06 e 0,24%. Quanto a biogeoquímica, nos Biopolímeros foi observado Carboidratos (CHO) com valores entre 0,28 e 0,83  $mg.C.g^{-1}$ , Proteínas (PTN) com valores entre 0,08 e 0,19  $mg.C.g^{-1}$  e Lipídios (LIP) com valores entre 0,09 e 1,05  $mg.C.g^{-1}$ , além dos valores enzimáticos de Desidrogenase (ASTE) entre 0,47 e 0,64  $\mu L.O^2.h^{-1}.g^{-1}$  e Esterase (ESTE) que variou valores de não detectado a 0,87  $\mu g.fluoresceína.h^{-1}.g^{-1}$ . Tais dados puderam classificar o ambiente como marinho aberto oligotrófico oxidante, de produtividade autóctone e com considerável intervenção alóctone, continental e marinha, possivelmente através de correntes, e sem intervenção antropogênica.

**Palavras-chave:** Ressurgência, Biogeoquímica, Palinofácies, Biopolímeros, Arraial do Cabo.

## Abstract

In some regions like deltas, coral reefs, and places of occurrence of upwelling account for almost all of the productivity of organic matter in the oceans. The upwelling phenomenon is defined as the rise of the lower layers of water, cold and dense of the ocean, bringing nutrients responsible for input on the productivity of the organic matter system and may, depending on the environment conditions, there preservation generating sediments organic mass and potentially significant precursors of hydrocarbon source rocks. In this article were analyzed superficial sediments (palynofacies, geochemical and biogeochemical) of twelve stations upon the muddy bank in the upwelling region of Arraial do Cabo and Cabo Frio collected with box core in order to characterize the organic matter and obtain environmental and currents sedimentation data for a better performance of the process and launch tools for possible future of predictive models. Knowing this, it was quantitatively and qualitatively, the refractory components MO - phytoclasts (PHYTO) with average values of 3.7%, Palynomorphs (Palino) with an average value of 4.35% and organic matter Amorphous (MOA) predominating with an average of 91.9%. There has also been watching geochemical Total Organic Carbon values (TOC) in the range of 0.63 and 1.47% Total Sulfur (S) between 0.06 and 0.24%. The biogeochemical, Biopolymers was observed in Carbohydrate (CHO) values between 0.28 and 0.83  $mg.C.g^{-1}$  Protein (STP) to values between 0.08 and  $mg.C.g^{-1}$  and lipids (LIP) values between 0.09 and 1.05  $mg.C.g^{-1}$ , addition of enzyme values Dehydrogenase (ASTE) between 0.47 and 0.64  $\mu L.O^2.h^{-1}.g^{-1}$  and Esterase (THIS) ranged not detected values with a 0,87  $\mu g.fluoresceín.h^{-1}.g^{-1}$ . Such data could classify the environment as an oligotrophic oxidant open sea, of autochthonous productivity with some allochthonous intervention (continental and marine), possibly through oceanic currents, and without anthropogenic intervention.

**Keywords:** upwelling, biogeochemistry, palynofacies, biopolymers, Arraial do Cabo.



## 1. INTRODUÇÃO

De todos os ambientes marinhos existentes, são as plataformas continentais que respondem por 20% da produção marinha global segundo Martinez *et al.* (1996). Ainda segundo esses autores, as plataformas são muito afetadas por variações eustáticas e a produção alóctone é influenciada por mudanças no aporte de nutrientes devido à descarga de rios ou por correntes de ressurgência. Quando há sedimentação em quantidade e qualidade necessárias para que ocorra o soterramento de certa quantidade dessa matéria orgânica (MO) produzida nesses locais, parte do Carbono do ciclo biológico é retida no ciclo geológico gerando sedimentos precursores de rochas geradoras de hidrocarbonetos.

Nos oceanos, as margens continentais respondem por grande parte dessa atividade no mundo e desempenham papel chave nos ciclos biogeoquímicos globais (Walsh, 1991; Bauer & Druffel, 1998; Bousquet *et al.*, 2000; Dickens, 2003; Dell'Anno & Danovaro, 2005), seguidas, sob o ponto de vista físico, mar adentro por sucessões complexas de *canyons* submarinos, áreas afetadas por deslizamento e campos abertos (Weaver *et al.*, 1994). Produtividade primária, por sua vez, é a produção de MO, constituída principalmente por Carbono, que a comunidade biológica realiza através de reações químicas como a quimiossíntese e a fotossíntese extraindo esse elemento do reino mineral e o introduzindo no ciclo biológico.

Ressurgências costeiras são caracterizadas por uma produtividade primária elevada, geralmente cerca de três vezes maiores que os valores médios frequentemente observados nas águas das plataformas (Ryther, 1969; Suess *et al.*, 1987). Tais áreas desempenham um papel importante na produção e deposição de MO em sedimentos marinhos apesar da sua extensão ser relativamente baixa, inferior a 1 % da superfície do mar global (Bertrand, 1998). De fato, as áreas de ressurgência respondem por maiores taxas de acúmulo de MO no oceano moderno (Calvert, 1987).

Visando a interpretação desses ambientes de alta capacidade de acúmulo de sedimentos ricos em MO que pode ser retirada do ciclo biológico e retida no ciclo geológico, produzindo sedimentos precursores de rochas com grande potencial de geração de hidrocarbonetos, se fez necessário esse estudo. Assim, com a participação no Projeto *Produtividade na ressurgência costeira de Cabo Frio e seu potencial de acúmulo de matéria orgânica: Interação Biosfera – Geosfera*, através do *Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânicas (LAFO-UFRJ)*, em parceria com o *Laboratório de Biologia Marinha (BioMar-UFF)*, com a *PETROBRAS* e utilizando a ressurgência costeira brasileira como estudo de

caso, foi escolhida a área de estudo situada no limite entre a Bacia de Campos e a Bacia de Santos sobre a plataforma continental do sudeste brasileiro, no litoral de Arraial do Cabo e de Cabo Frio, Rio de Janeiro. Foi feita amostragem com *box core* em um banco lamo-arenoso adjacente ao alto estrutural de Cabo-frio de onde foram marcadas doze estações. Em laboratório, foram feitas análises de palinofácies, Carbono Orgânico Total (COT) e Enxofre Total (ST), biopolímeros (Carboidratos, Lipídios e Proteínas) e enzimas bacterianas (endoenzimas e exoenzimas). Posteriormente, coletas de dados e processamentos estatísticos.

## 2. PARÂMETROS FISIAGRÁFICOS

A área de estudo está localizada no sudeste brasileiro, conforme Figura 1, no Estado do Rio de Janeiro, próxima ao Alto de Cabo Frio, entidade geológica situada na plataforma continental, nos municípios de Arraial do Cabo e de Cabo Frio e que se inicia próximo ao Pontal do Atalaia seguindo submersa pela plataforma continental. Por estar situada na margem continental, trata-se de uma região de papel chave em ciclos biogeoquímicos (Walsh, 1991; Bauer & Druffel, 1998; Bousquet *et al*, 2000; Dickens, 2003; Dell'Anno & Danovaro, 2005).

A gênese do alto estrutural se deu no Mesozoico-Cenozoico (Almeida, 1991) no evento relacionado à abertura do Atlântico que é influenciado por magmatismo e estruturas alcalinas, como a Ilha de Cabo Frio, que são explicados por modelos de reativação de falhas fundamentais ou transformantes, atividade de *hotspots* e a combinação destes (Fainstein & Summerheys, 1982; Almeida, 1991). Tal estrutura é o limite entre as bacias sedimentares de *rift* de Santos e Campos, o que fica bem evidenciado pela presença de sistemas lagunares costeiros na porção Oeste formados pelas variações do nível do mar no Quaternário e pela série de charneiras junto a um litoral de falésias esculpidas a Leste, indicando uma zona limitante dos macros compartimentos sedimentares (Muehe & Valentini, 1998).

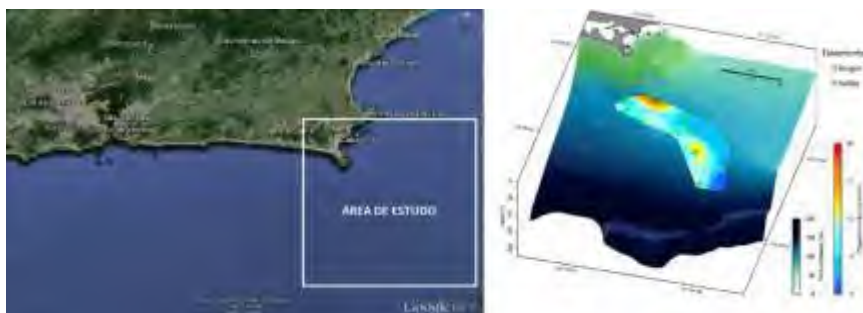


Figura 1: À direita, imagem Landsat retirada de *Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO* através do software *Google Earth*. À esquerda, imagem de Albuquerque *et al.*, (2012).

A característica geomorfológica mais marcante dessa área é o corte abrupto da linha de costa que, vindo do Norte, passa do sentido NE-SW para Leste-Oeste entre os municípios de Cabo Frio e Arraial do Cabo, conforme Figura 1. Tal mudança na linha de costa, formando um cabo no limite das bacias de Campos e Santos, é marcada por uma fácies sedimentar de lama que é presente desde a Ilha de Cabo Frio até as profundidades limítrofes da Plataforma continental (Albuquerque *et al.*, 2012).

Tais autores deflagraram a presença de feições de *beach-rocks* e paleolagunas modernas através de geofísica na lama sobre o pacote sedimentar recente que foi alvo desse estudo, exibindo a suscetibilidade da região às oscilações eustáticas. No mesmo trabalho, em associação com esses refletores geofísicos, amostragem de testemunhos longos (kullenberg) representados na Figura 2, Albuquerque *et al.* (2012) caracterizaram fácies sedimentares que definiram períodos de sedimentação distintos desde o final do Pleistoceno ao Holoceno recente.

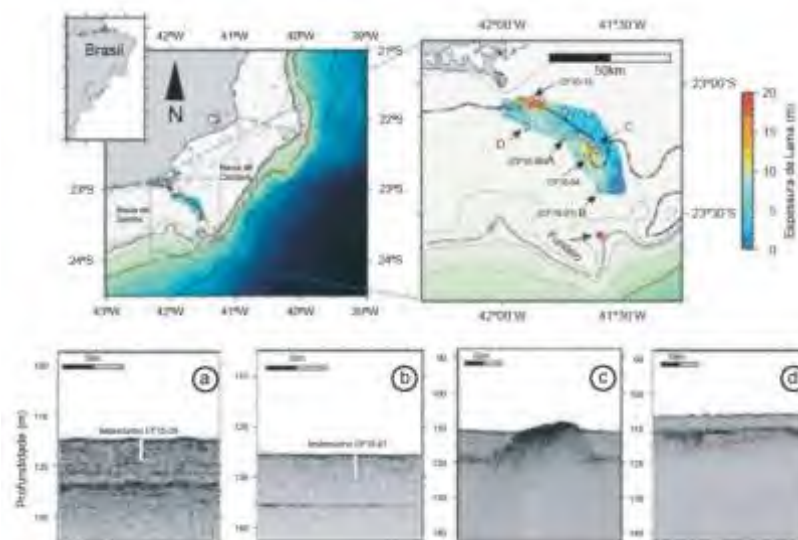


Figura2: Mapa de localização da área de estudo nos limites das bacias de Campos e Santos e a delimitação do corpo de lama sobre a plataforma. As setas indicam as posições relativas de (a) sequência de refletores paralelos, (b) sequência caótica e transparente, (c) *Beach-rock* e (d) sequência de refletores irregulares.

Imagem retirada de Albuquerque *et al.*, 2012.

Sob o ponto de vista atmosférico, o brusco corte da linha de costa para Oeste das curvas batimétricas na altura de Cabo Frio provoca uma situação instável do fluxo da Corrente do Brasil que passa a desenvolver vórtices, meandros no seu flanco direito (Mesquita *et al.*, 1979; Albuquerque *et al.*, 2012) e transporte de *Ekman* (Andrade, 2008) com efeitos ainda não conhecidos sobre processos geológicos e biológicos da plataforma

continental enquanto que a orientação mais frontal, das linhas batimétricas e das praias, à mercê das ondas de tempestade, reduziu a resultante do transporte longitudinal para uma situação de quase equilíbrio (Muehe & Corrêa, 1989). Os ventos de Nordeste, atuantes na área de estudo nos períodos quentes do ano, são influenciados por essa inflexão da linha de costa e pelas diferenças geométricas da plataforma continental na região gerando uma interação peculiar entre atmosfera, o continente e o oceano. De certo, essa interação torna uma dinâmica oceanográfica nesta região da costa brasileira bastante discutida (Valentin, 1984; Knoppers & Moreira 1990; Castelão & Barth, 2006).

### 3. RESSURGÊNCIA

A Ressurgência é um fenômeno que ocorre em diferentes lugares no mundo, porém, preferencialmente na costa Oeste dos continentes devido ao domínio eólico sobre ele conforme mostra o modelo da Figura 3. De fato, por ação do movimento de rotação da Terra, ventos transcontinentais como os alísios correm preferencialmente para Oeste fazendo com que as massas d'água aquecidas da superfície do litoral sejam movidas nesse sentido gerando um vetor de convecção no qual outras massas d'água, mais frias e densas de regiões mais inferiores, ascendam e tragam consigo nutrientes (substâncias inorgânicas e mineralizadas) do fundo a zona fótica, proporcionando um aumento na produtividade primária devido a esse *input* no sistema.

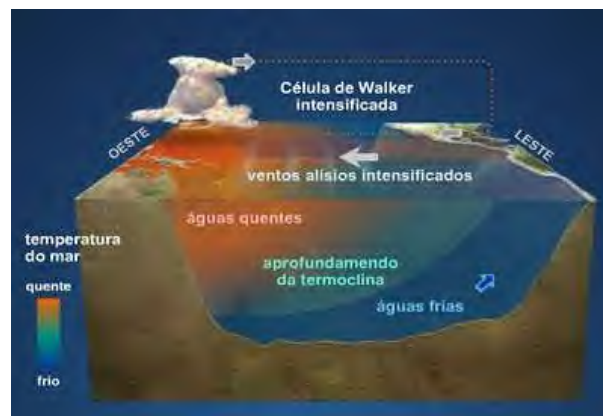


Figura 3: Modelo da dinâmica eólica e o efeito convectivo de águas inferiores em costa Oeste. Geoexame, 2011. El Niño e La Niña. <http://geoexame.blogspot.com.br/2011/01/el-nino-e-la-nina.html>. Acessado em 25/09/2014.

O mapa a seguir da Figura 4 mostra a produtividade média ( $g.C/m^2$ ) integrada a coluna d'água onde os tons frios de azul representam a baixa produtividade enquanto que os tons

quentes de vermelho indicam maior produtividade. Nesse mapa a produção primária é uma função da biomassa fitoplantônica (determinada pela concentração de clorofila-a) e da irradiância que foi calculada por modelos de transferência radiativa (Gregg & Carder, 1990) e estimada por modelos de atenuação na coluna d'água (Sathyendranath & Platt, 1988). Nota-se que, salvando as regiões de alta produtividade sob o domínio fluvial em grandes deltas, as regiões de maiores produtividades nos oceanos estão na costa oeste dos continentes em locais de ocorrência de ressurgência. Essa intensa produtividade que ocorre nessas áreas proporciona o aumento no fluxo de MO aumentando a deposição de substâncias orgânicas nos sedimentos, em quantidade e em qualidade (Zegouagh *et al.*, 1999). Não obstante, a interpretação dos processos superficiais é imprescindível para entender o papel da degradação química no acúmulo da MO para o progressivo soterramento (Roncaglia, 2004).

Em Retângulos estão representadas as regiões de elevada produtividade primária associada a deltas de rios. Já em círculos, aquelas associadas a recifes de corais e, por fim, apontadas com setas, as regiões que a produtividade é associada a ressurgências costeiras.

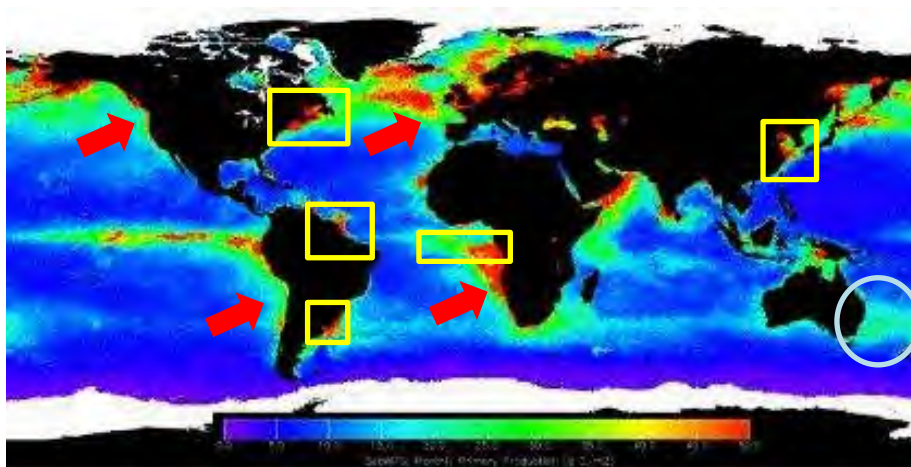


Figura 4: Produtividade primária fitoplantônica integrada média para o mês de agosto de 1998 estimada a partir de imagens *SeaWiFS* em  $g.C/m^2$  na escala de cores. Sathyendranath & Platt, 1988.

Mesmo não se tratando de uma Ressurgência típica como a do Chile, do sudoeste africano ou da costa da Califórnia, há peculiaridades geográfico-geológico-atmosféricas na região de estudos que formam um conjunto de variáveis que condicionam a ocorrência de ressurgências sazonais. São eles: a atuação dos ventos de Nordeste; a inflexão da linha de costa de quase  $120^\circ$  que contribui para a divergência das massas de ar; contato de duas correntes de sentidos opostos e temperaturas de grande amplitude térmica, a ACAS (Corrente das Malvinas, mais fria, que vem de Sudoeste) e a Corrente do Brasil (mais quente, vinda de

Nordeste) que possibilita a formação de vórtices, meandros e transportes de *Ekman*; relevo com geometria complexa e presença do alto estrutural de Cabo Frio que funcionam como uma espécie de rampa para a ascensão de camadas de água frias da ACAS (Albuquerque *et al.*, 2012).

Nas épocas mais quentes do ano os ventos de Nordeste potencializam-se e impulsionam as águas da Corrente do Brasil que vem do Nordeste acompanhando a linha de costa. Ao passar pela inflexão do cabo da região de estudos afasta-se da costa e possibilita a ACAS ressurgir. Em contrapartida, no inverno e com a chegada de uma frente fria, a Corrente do Brasil perde forças seguindo pela costa e a ACAS desce ocasionando a subsidência. Essa variação proporciona uma pluralidade nas condições físico-químicas, ecológicas e biogeoquímicas da região (Albuquerque *et al.*, 2012).

#### **4. OBJETIVO**

Caracterizar a geomicrobiologia e biogeoquímica dos sedimentos superficiais do banco lamoso da plataforma continental de Arraial do Cabo e Cabo-frio afim de lançar dados ambientais que permitam melhor conhecimento da Ressurgência sazonal da região e dispor ferramentas para possíveis modelos preditivos de produtividade primária nesse tipo de região peculiar.

#### **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

##### **5.1 Coleta**

Em doze estações foram retiradas amostra de sedimentos de acordo com os dados batimétricos. Essa etapa foi realizada através do equipamento *box core* (BC) nas estações situadas entre as latitudes 7408124S e 7446843S e as longitudes 0194562W e 0243566W da área de estudo representadas pelos pontos vermelhos da Figura 5.

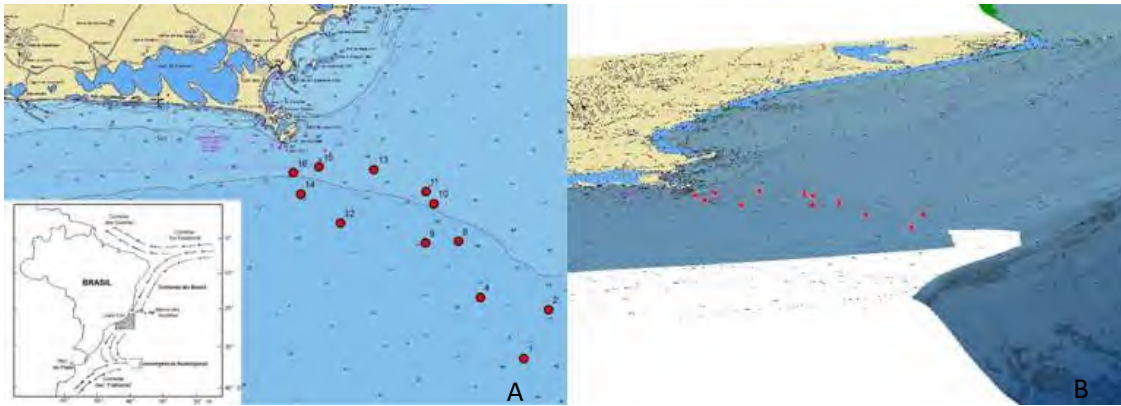


Figura 5: Em A, mapa georreferenciado das estações de coleta. Em B, vista em perspectiva 3D georreferenciada com exagero vertical da área de coleta.

Colocadas em envelopes plásticos, cada amostra relacionada a uma estação foi dividida em três grupos de 10 cm (num total de trinta centímetros), e armazenadas em *freezer*, mantendo os parâmetros físico-químicos e geomicrobiológicos estáveis. Para este trabalho foram feitas as análises nos 10 primeiros centímetros superficiais das amostras. Estas foram nomeadas obedecendo à sigla BC seguidas do número que representa sua estação de coleta num total de doze estações (BC-01; BC-02; BC-04; BC-08; BC-09; BC-10; BC-11; BC-12; BC-13; BC-14; BC-15; BC-16). A Figura 6 mostra etapas do processo da coleta e exemplo de sedimentos coletados.

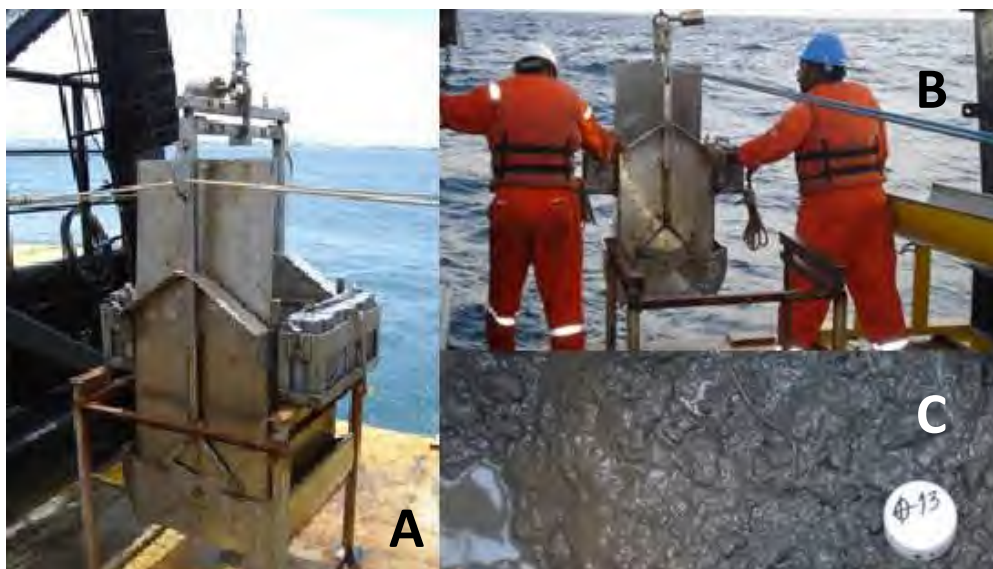


Figura 6: Fotos cedidas pelo Projeto *Produtividade na ressurgência costeira de Cabo Frio e seu potencial de acúmulo de matéria orgânica: Interação Biosfera – Geosfera*. Em A, o equipamento *Box Core*; em B, operários utilizando o *Box Core*; em C, sedimentos coletados na estação BC-13.

## **5.2 Análise de Carbono Orgânico Total (COT%) e Enxofre Total (S%)**

A análise do COT expressa o teor da matéria orgânica através da porcentagem em peso relativo de carbono orgânico (Jarvie, 1991). Fez-se, também, a determinação do Enxofre Total (S%) por esse mesmo método, onde pode ser calculada a razão COT/S para caracterizar o ambiente marinho quanto ao seu estágio oxidativo para ambientes marinhos (Tayson, 1995).

Os métodos adotados foram ASTM D 4239 (American Society for testing and Materials-ASTM, 2008) e NCEA-C-1282 (United States Environmental Protection Agency-US EPA, 2002). Nesses métodos são feitas acidificações das amostras para eliminar os carbonatos e, a partir disso, determinar a quantidade elementar de carbono (COT%) e enxofre (S%) utilizando o aparelho SC 144 da LECO.

Para a descarbonatação foram realizadas as seguintes etapas: pesado 0,3 g da amostra em um recipiente de porcelana filtrante, de massa conhecida; depois foram acidificadas com ácido clorídrico 1:1 a frio e mantidas por 24 horas para eliminação de todo carbonato; posteriormente foi feita a lavagem com água destilada quente por 1 hora para eliminar os cloretos. Esse processo continuou, porém desta vez com água destilada em temperatura ambiente para que o pH se aproximasse de 6.

Finalmente, as amostras foram colocadas no equipamento (SC 144 - LECO) e o valor da massa inicial de antes da acidificação foi inserida em seu programa. Nele, as amostras foram colocadas num forno com atmosfera rica em oxigênio à temperatura de 1350°C. Tal situação de temperatura somada ao alto fluxo de oxigênio fez com que a amostra entrasse em combustão total onde o carbono e o enxofre sofrem oxi-redução gerando CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>. As concentrações foram obtidas em porcentagem através de uma conversão a partir do que foi detectado pela célula de infravermelho do aparelho.

## **5.3 Análise de Palinofácies**

A preparação das amostras para análise de palinofácies foi realizada através do procedimento padrão não-oxidativo descrito por Tyson (1995) e Mendonça Filho *et al.* (2010; 2011a). A MO particulada que resta após esse processamento de acidificação (Ácido Clorídrico – HCl e Ácido Fluorídrico – HF) divide-se em três grupos: palinomorfos (esporos, grãos de pólen, zoomorfos e algas de água doce e marinha), fitoclastos (fragmentos lenhosos de vegetais superiores) e matéria orgânica amorfa (Traverse, 1994; Tyson, 1995; Mendonça Filho, 1999; Mendonça Filho *et al.* 2010; 2011a).



Inicialmente, secaram-se as amostras em estufa a 50°C. Logo após esse procedimento, foram colocados aproximadamente 30g de material nos béqueres de plástico identificados (1000ml) para sofrerem a acidificação em três etapas na capela. Na primeira etapa a acidificação das amostras foi feita com ácido clorídrico (37%) para a eliminação da fração carbonática. Após esse processo, as amostras ficaram em repouso por 18 horas até que se fizesse a neutralização com água filtrada. Na segunda etapa utilizou-se ácido fluorídrico (40%) para a eliminação da fração silicosa. Agora com um aguardo de 24 horas de repouso, as amostras foram neutralizadas novamente em água filtrada. A terceira etapa a acidificação serviu para eliminar possíveis flúor-silicatos formados nos processos anteriores, utilizando-se de ácido clorídrico (37%) com posterior repouso de 3 horas, seguido de nova neutralização em água filtrada. Durante todas as etapas foram utilizados filtros com malha de 10 µm, recuperando, assim, qualquer estrutura orgânica com dimensões maiores que esta.

O material recuperado foi colocado em tubos com Cloreto de Zinco e levado a centrífuga para a separação da fração orgânica através de flotação. Após a flotação, separa-se a fração orgânica suspensa para a fabricação de lâminas organopalinológicas com o resíduo orgânico e se reserva o restante da fração orgânica precipitada.

A partir da confecção dessas lâminas, o estudo de palinofácies foi feito utilizando exames quantitativos e qualitativos dos grupos e subgrupos da MO particulada, definindo-se uma assembleia total de seus componentes que, por sua vez, reflete as condições ambientais específicas e pode ser associada com um potencial de geração de hidrocarbonetos específico (Combaz, 1964; Tyson, 1995). Para isso, aplicaram-se técnicas de microscopia como principal ferramenta para aquisição de dados e métodos estatísticos para sua interpretação (Mendonça Filho *et al.*, 2009; 2010; 2011a).

As técnicas foram as leituras em luz branca transmitida e luz azul-ultravioleta incidente (fluorescência), utilizando-se, para tal, contagem e identificação de 300 partículas por lâmina, as quais se obedeceu a classificação geral dos componentes da MO divididos em três grupos principais: matéria orgânica amorfa (MOA), palinomorfos (PALINO) e fitoclasto (FITO), (Tyson, 1995; Mendonça Filho *et al.*, 2010; 2011a).

Ao serem definidas, as palinofácies conseguem expressar a assembleia total de componentes da MO particulada refletindo as condições ambientais específicas que podem ser associadas a um potencial de geração de hidrocarbonetos específico (Combaz, 1964; Tyson 1995).

## 5.4 Caracterização Biogeoquímica

### 5.4.1 Esterases (ESTE)

As exoenzimas bacterianas, esterases, foram quantificadas obedecendo ao método descrito por Stubberfield & Shaw (1990), onde 1g de amostra fresca é tratada com solução de 39 % de diacetato de fluoresceína que é hidrolisada pelas exoenzimas. Os ésteres de fluoresceína produzem fluorescência, a qual acaba sendo quantificados por espectrofotômetro. É inferida a atividade de quebra bioquímica dos oligômeros orgânicos (carboidratos, proteínas e lipídios) em monômeros inferiores a 600 Da expressa em  $\mu\text{g}$  de fluoresceína/h/g. A Figura 7 mostra a solução em fluorescência para recuperação das enzimas.



Figura 7: Equipamentos utilizados no processamento para obtenção da ESTE. Laboratório de Microbiologia Marinha - UFF.

### 5.4.2. Atividade do Transportador de Elétrons – Desidrogenase (ASTE)

A quantificação da endoenzima do sistema transportador de elétrons (ASTE) foi feita seguindo o ensaio de Trevors (1984), modificado por Hourri-Davignon & Relexans (1989), no qual 1g de amostra fresca é tratada com INT (2-(p-Iodophenyl)-3(p-nitrophenyl)-5-phenyl tetrazoliumchloride), produzindo INTF (cloreto de iodo-nitro-til-tetrazoliumformazan), possibilitando a utilização de espectrofotômetro onde se expressa em  $\mu\text{L}$  de  $\text{O}_2$ / h/g. A seguir, exemplo de solução de amostra já tratada na Figura 8.



Figura 8: Equipamentos utilizados no processamento para obtenção da ASTE. Laboratório de Microbiologia Marinha - UFF.

### 5.4.3 Biopolímeros

As concentrações totais dos biopolímeros foram quantificadas através de espectrofotômetro e os resultados foram expressos em mg/g.

As concentrações totais de PTN foram obtidas seguindo a metodologia descrita por Hartree (1972) e modificada por Rice (1982). Esta metodologia compreende a reação das proteínas com tartarato de Na-K e com *Folin* em meio básico de pH 10. Depois se determina a densidade ótica das amostras a partir de um comprimento de onda de 650 nm, contra branco reagente podendo, assim, ser medida. O padrão para a calibração é a utilização de albumina de soro bovino (BSA).

Para determinação das concentrações totais dos CHO foi empregado o método descrito por Dubois *et al.*, (1956) e modificadas por Gerchacov & Hache (1972) para amostras de sedimentos. De acordo com este método os açúcares simples, oligossacarídeos, polissacarídeos e seus derivados, possuem grupos redutores livres metil-ésteres que, quando tratadas com fenol, reagem na presença de um concentrado de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Determinou-se a densidade ótica das amostras a partir de um comprimento de onda de 485 nm, contra branco de reagente. Utilizou-se D-glicose como padrão para calibração.

Por fim, foram determinadas as concentrações totais de LIP seguindo o método de Bligh & Dyer (1959) e Marsh & Weinstein (1966) através da utilização de clorofórmio e metanol e medido por espectrofotometria. Determinou-se a densidade óptica através da medição do comprimento de onda de 375 nm contra branco reagente. A tripalmatina foi utilizada como padrão para realizar a calibração.

## 5.5 Tratamento Estatístico

Utilizando-se dos dados quantitativos da fração particulada da MO (PALINO, MOA e FITO), das concentrações biopoliméricas (LIP, CHO e PTN), das enzimas bacterianas (ASTE e ESTE) e das análises geoquímicas de COT% e S% pôde ser feito um tratamento estatístico que teve a função de reuni-los por agrupamentos (análise *cluster*).

Valentim (2000) disse que os grupos PALINO, MOA e FITO podem ser usados em palinofácies para se reconhecer o grau de similaridade a fim de reuni-los em conjuntos e, desta forma, estabelecer relações entre as associações palinofaciológicas. É mister dizer que além das associações dos grupos da fração refratária da MO, neste trabalho foram colocados todos os parâmetros moleculares dos biopolímeros, das enzimas bacterianas e da geoquímica

dos sedimentos para serem correlacionados e inter-relacionados. O objetivo dessa técnica foi ressaltar os efeitos dos parâmetros mascarados pela predominância do grupo MOA que pôde ser observada nos resultados. Ao se utilizar os demais parâmetros biogeoquímicos deflagrou-se a influência enzimática e biomolecular na atividade da microbiota presente nos sedimentos recentes da área de estudo.

Foi utilizada uma matriz com 12 casos representando as amostras (BC-01, BC-02, BC-04, BC-08, BC-09, BC-10, BC-11, BC-12, BC-13, BC-14, BC-15, BC-16) e 10 variáveis (FITO, PALINO, MOA, COT, S, PTN, CHO, LIP, ASTE e ESTE) adquiridas de percentuais relativos dos componentes da MO através da fórmula inserida no programa. Foram obtidas análises de *cluster* no Modo-Q e Modo-R, para isso, o método de *Ward's* com distância de *city-bloch* (*Manhattan*) no programa *Statistica 7.0*.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 COT% e S%

Como observado na Figura 9 e na Tabela 1 que se segue, os valores de COT oscilaram entre 0,63% (BC-1) e 1,47% (BC-8). Os valores de S variaram entre 0,06% (BC-1) e 0,24% (BC-4). Os cálculos das razões COT/S resultaram em valores entre 4,61 (BC-4) e 12 (BC-13).

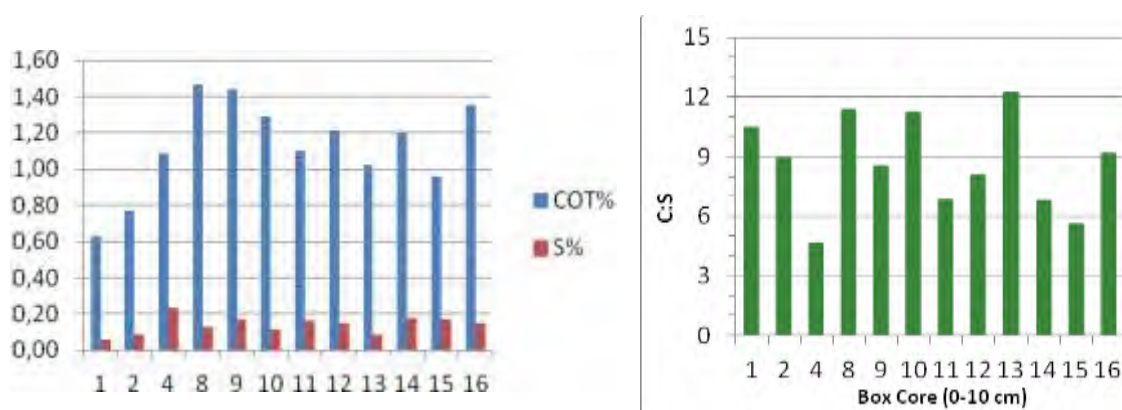


Figura 9: Gráfico quantitativo de COT e S (à esquerda) e da razão COT:S (à direita), ambos identificados em cada uma das estações de coleta.

Tabela 1: Valores percentuais para COT e S (2ª e 3ª colunas, respectivamente) e resultados da razão COT:S na 4ª coluna nas 12 amostras.

| <b>Estação</b> | <b>COT%</b> | <b>S%</b>   | <b>COT:S</b> |
|----------------|-------------|-------------|--------------|
| <b>BC-01</b>   | 0,63        | <b>0,06</b> | <b>10,40</b> |
| <b>BC-02</b>   | 0,77        | 0,09        | <b>8,84</b>  |
| <b>BC-04</b>   | 1,09        | <b>0,24</b> | <b>4,61</b>  |
| <b>BC-08</b>   | 1,47        | 0,13        | <b>11,24</b> |
| <b>BC-09</b>   | 1,44        | <b>0,17</b> | <b>8,46</b>  |
| <b>BC-10</b>   | 1,29        | 0,12        | <b>11,12</b> |
| <b>BC-11</b>   | 1,10        | <b>0,16</b> | <b>6,77</b>  |
| <b>BC-12</b>   | 1,21        | 0,15        | <b>7,96</b>  |
| <b>BC-13</b>   | 1,02        | <b>0,08</b> | <b>12,12</b> |
| <b>BC-14</b>   | 1,20        | 0,18        | <b>6,67</b>  |
| <b>BC-15</b>   | 0,96        | <b>0,17</b> | <b>5,53</b>  |
| <b>BC-16</b>   | 1,36        | 0,15        | <b>9,09</b>  |

## **6.2 Distribuição dos grupos da matéria orgânica particulada.**

Na leitura e interpretação das lâminas organopalinológicas foram encontrados os três principais grupos da MO particulada: FITO, MOA e PALINO, sendo o grupo MOA o de maior abundância, observado na Tabela 2.

**Tabela 2: Relação dos grupos componentes da MO particulada (FITO, MOA, PALINO) encontrados nas estações de coleta.**

| <b>Estação</b> | <b>FITO(%)</b> | <b>MOA(%)</b> | <b>PALINO(%)</b> |
|----------------|----------------|---------------|------------------|
| <b>BC-01</b>   | <b>4,4</b>     | <b>82</b>     | <b>13,6</b>      |
| <b>BC-02</b>   | <b>6,9</b>     | <b>89,2</b>   | <b>3,9</b>       |
| <b>BC-04</b>   | <b>3,4</b>     | <b>93,5</b>   | <b>3,1</b>       |
| <b>BC-08</b>   | <b>4</b>       | <b>93,5</b>   | <b>2,5</b>       |
| <b>BC-09</b>   | <b>3,1</b>     | <b>91,3</b>   | <b>5,6</b>       |
| <b>BC-10</b>   | <b>4,9</b>     | <b>89,9</b>   | <b>5,2</b>       |
| <b>BC-11</b>   | <b>2,2</b>     | <b>95</b>     | <b>2,8</b>       |
| <b>BC-12</b>   | <b>4,3</b>     | <b>92</b>     | <b>3,7</b>       |
| <b>BC-13</b>   | <b>2,5</b>     | <b>93,8</b>   | <b>3,7</b>       |
| <b>BC-14</b>   | <b>4,9</b>     | <b>93,2</b>   | <b>1,8</b>       |
| <b>BC-15</b>   | <b>1,6</b>     | <b>95,3</b>   | <b>3,1</b>       |
| <b>BC-16</b>   | <b>2,1</b>     | <b>94,8</b>   | <b>3,1</b>       |
| <b>MÉDIA</b>   | <b>3,69</b>    | <b>91,96</b>  | <b>4,34</b>      |

Do grupo FITO foram identificados todos os subgrupos, Opacos (20,14%), Não-opacos (54,16%), Membranas (4,17%) e Cutículas (21,53%). Do subgrupo dos Não-opacos foi predominante a incidência dos Bio-estruturados (51,38% do grupo FITO total), já do subgrupo Opacos a predominância foi dos Alongados (9,02% do grupo FITO total), por fim, do subgrupo Cutículas foi observada cutícula não degradada (84,21% do subgrupo Cutícula Total) e a associada a fitoclastos (15,79% do subgrupo Cutícula Total).

No grupo PALINO é encontrado o subgrupo dos Palinomorfos Continentais Totais (15,47% do grupo PALINO total), sendo composto exclusivamente por Esporomorfos totais, o subgrupo Palinoforaminífero (19,44% do grupo PALINO total) e o subgrupo majoritário foi

o Marinho Total constituído por Dinocistos (85,71% do grupo PALINO total), além de palinofaraminíferos (0,7% do total).

O grupo majoritário da MO presente nos sedimentos é a MOA, caracterizada como homogênea e fluorescente.

O diagrama ternário de distribuição dos grupos principais da fração refratária da MO, observado na Figura 11, dá uma melhor compreensão desse domínio de ocorrência do grupo MOA frente aos demais numa distribuição espacial.

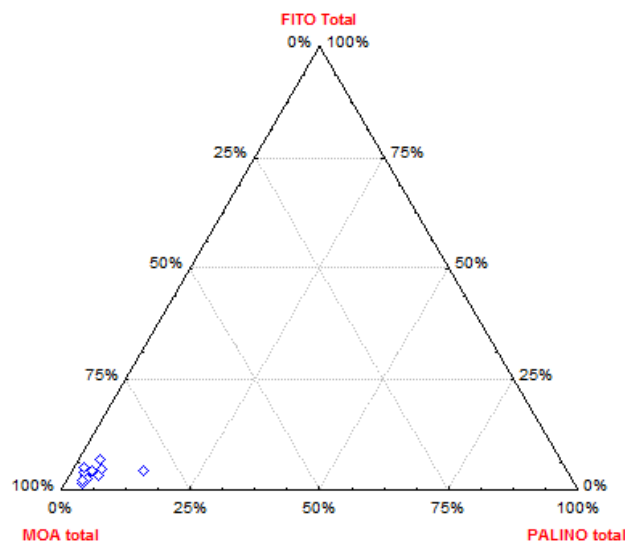


Figura 10: Diagrama ternário da distribuição dos Grupos da MO Particulada encontrados nas amostras.

### 6.3 Resultados das enzimas bacterianas.

Com relação à endoenzima ASTE, os valores nas amostras oscilaram entre 0,39  $\mu\text{L.O}_2 \cdot \text{g}^{-1}$  de sedimento na estação BC-04 e 0,64  $\mu\text{L.O}_2 \cdot \text{g}^{-1}$  para BC-16. Ao passo que para valores da exoenzima ESTE houve oscilação de nulo (0) em BC-04 e BC-15 a 0,87  $\mu\text{g}$  de fluoresceína ativado em uma hora em 1 g de sedimento em BC-14.

A distribuição desses valores pôde ser descrita nos gráficos da Figura 11, os quais foram distribuídos na Tabela 3.

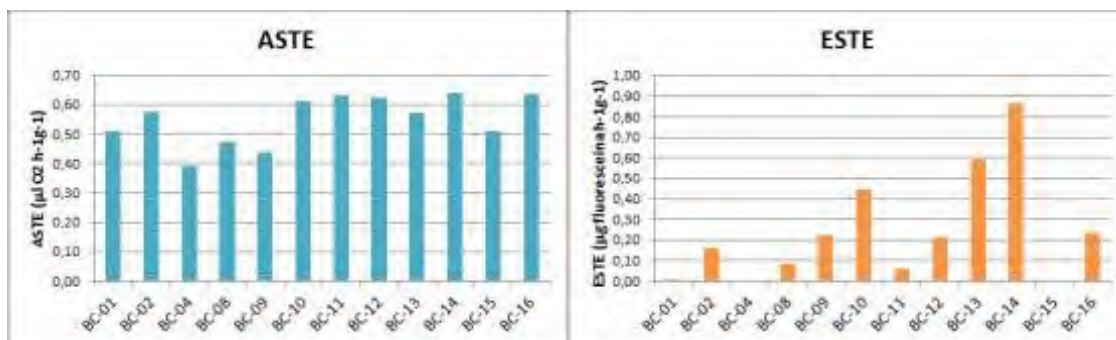


Figura 11: Gráfico com as distribuições dos valores de ASTE e ESTE identificados no material coletado.

Tabela 3: Valores encontrados nas doze amostras para a enzima bacteriana Desidrogenase (2ª coluna) e Esterase (3ª coluna).

| Estação | ASTE | ESTE        |
|---------|------|-------------|
| BC-01   | 0,51 | <b>0,01</b> |
| BC-02   | 0,58 | 0,16        |
| BC-04   | 0,38 | <b>0,00</b> |
| BC-08   | 0,47 | 0,08        |
| BC-09   | 0,44 | <b>0,23</b> |
| BC-10   | 0,61 | 0,44        |
| BC-11   | 0,63 | <b>0,06</b> |
| BC-12   | 0,62 | 0,21        |
| BC-13   | 0,57 | <b>0,59</b> |
| BC-14   | 0,64 | 0,87        |
| BC-15   | 0,51 | <b>0,00</b> |
| BC-16   | 0,64 | 0,23        |



## 6.4 Resultados dos biopolímeros

Os valores de PTN encontrados nas amostras variaram de 0,16 mg/g de sedimento (BC-01) a 0,38 mg/g de sedimento (BC-16), mostrando um gradiente proximal-distal decrescente. Já os valores de CHO oscilaram entre 0,70 mg/g de sedimento (BC-02) e 2,07 mg/g de sedimento (BC-08) não deixando claro a mesma relação espacial. Por fim, os valores de LIP variaram de 0,11 mg/g de sedimento (BC-15) a 1,40 mg/g de sedimento (BC-010), também sem a relação espacial encontrada para PTN.

Os gráficos observados na Figura 12 e resumidas na Tabela 4 expõem a distribuição dos biopolímeros nas estações.

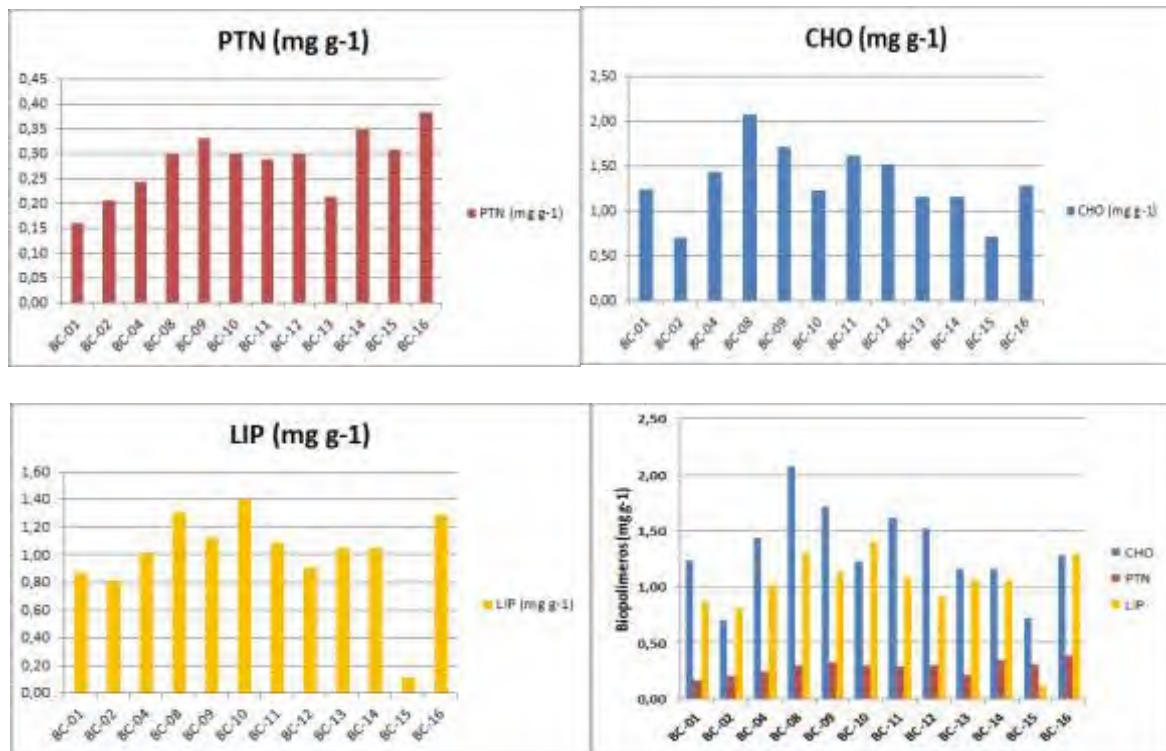


Figura 12: Distribuição dos Biopolímeros (PTN, LIP e CHO).

Tabela 4: Valores encontrados dos biopolímeros (CHO, PTN e LIP) nas doze amostras.

| Estação | CHO  | PTN  | LIP  |
|---------|------|------|------|
| BC-01   | 0,50 | 0,08 | 0,65 |
| BC-02   | 0,28 | 0,10 | 0,61 |
| BC-04   | 0,58 | 0,12 | 0,76 |
| BC-08   | 0,83 | 0,15 | 0,98 |
| BC-09   | 0,69 | 0,16 | 0,84 |
| BC-10   | 0,49 | 0,15 | 1,05 |
| BC-11   | 0,65 | 0,14 | 0,81 |
| BC-12   | 0,61 | 0,15 | 0,68 |
| BC-13   | 0,46 | 0,10 | 0,79 |
| BC-14   | 0,46 | 0,17 | 0,79 |
| BC-15   | 0,29 | 0,18 | 0,09 |
| BC-16   | 0,51 | 0,19 | 0,97 |

### 6.5 Análise de agrupamento.

Utilizando a análise no Modo-R conseguiu-se organizar os grupos moleculares enzimáticos e biopoliméricos, da MO particulada e dos elementos de geoquímica em três associações, representadas pelas letras **A**, **B** e **C** segundo o grau de similaridade entre as frequências dos componentes das amostras, conforme a Figura 13. A primeira associação (**A**) contempla os biopolímeros PTN e CHO e os dados geoquímicos de COT e S. Já a segunda associação (**B**) estão contidos o grupo restante da MO particulada, MOA, a enzima associada ao sistema transportador de elétrons, ASTE, e baixos valores do biopolímero LIP. Por fim, a associação (**C**) contém baixos valores da enzima ESTE e altos valores dos grupos da MO particulada, FITO e PALINO.

De posse dessas variáveis foi feito a análise no Modo-Q com os doze casos produzindo cinco grupos (I, II, III, IV e V), conforme é exibido na Figura 14. O grupo I ficou constituído pelas estações BC-10, BC-11, BC-12, BC-14 e BC-16BC-01. No grupo II ficaram inseridas as estações BC-04, BC-08 e BC-09. Já o grupo III ficou constituído, apenas, da estação BC-15, ao passo que o grupo IV ficou contendo as estações BC-02 e BC-13. Por fim, o grupo V conteve a estação BC-01.

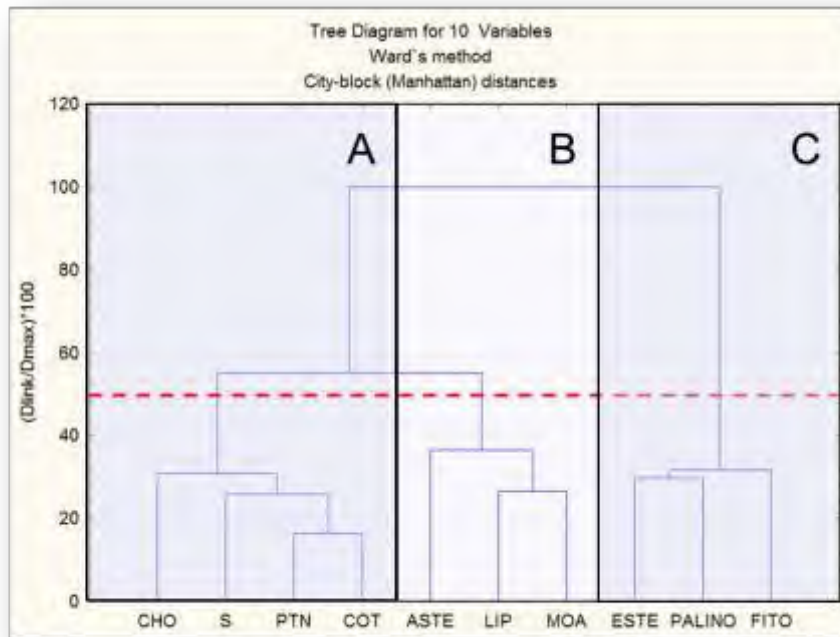


Figura 13: Gráfico das dez variáveis em Modo-R da Análise de Cluster.

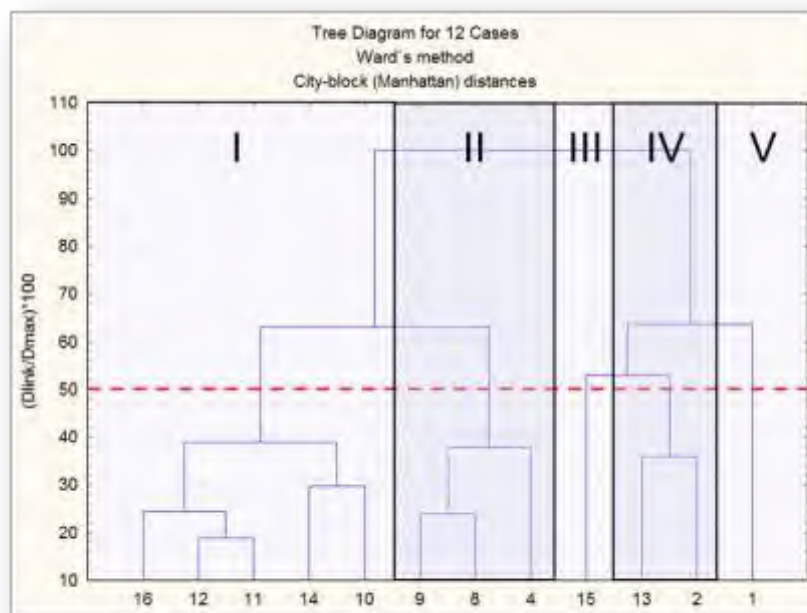


Figura 14: Gráfico dos doze casos em Modo-Q da Análise de Cluster.

De acordo com a Figura 15, ao Grupo I coube a **Palinofácies Proximal**, constituída pela associação **A**, pois as estações referentes a esse grupo possuem os maiores valores de PTN sendo o pico ( $0,38 \text{ mg.g}^{-1}$ ) encontrado na estação BC-16, a mais proximal destas.

Ao passo que o Grupo V ficou caracterizado pela **Palinofácies Distal**, pois seu único constituinte, BC-01, apresenta o maior valor encontrado de PALINO em relação aos demais, além de FITO elevado e ESTE baixa.

Paralelamente, ao Grupo II coube a **Palinofácies Intermediária**, a qual se caracterizou como sendo intermediária entre as **Palinofácies Proximal** e **Palinofácies Distal**, como é mostrado na Figura 16, pois possui as associações **A**, uma vez que possui valores elevados de S, sendo o pico ( $0,24\%$ ) em BC-04, além de valores altos de COT e CHO com picos de  $1,47\%$  e  $2,07\%$ , e **C**, já que os valores de ESTE são baixos, sendo nulo em BC-04, respectivamente, ambas na estação BC-08.

Ao grupo III ficou caracterizado pela **Palinofácies Muito Proximal** com a associação **B**. Tal caracterização se deu pela presença do pico de MOA ( $95,30\%$ ) e pelo menor valor de LIP ( $0,11 \text{ mg.g}^{-1}$ ).

Por fim, ao Grupo IV não coube associações possíveis para caracterização de uma palinofácies.

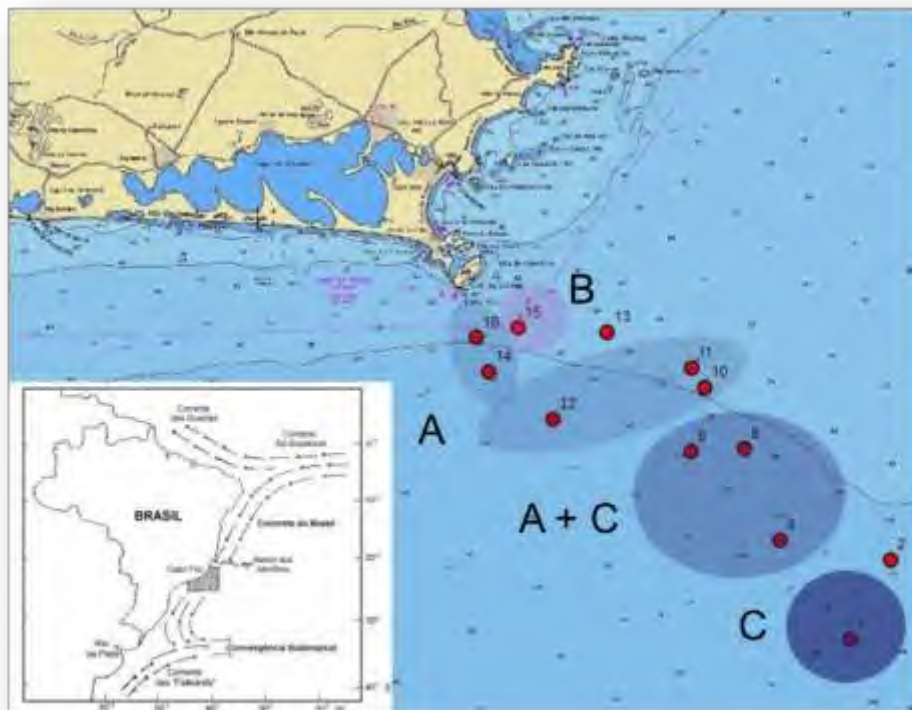


Figura 15: Distribuição espacial das **Palinofácies Muito Proximal, Proximal, Intermediária e Distal**, com as associações **B, A, A + C e C**, respectivamente.

## 7. DISCUSSÃO

Albuquerque *et al.*, (2012) apontaram, na fase inicial do Projeto *Produtividade na ressurgência costeira de Cabo Frio e seu potencial de acúmulo de matéria orgânica: Interação Biosfera – Geosfera*, quatro fácies sedimentares diacrônicas distintas através dos testemunhos de *Kulleberg* e de sedimentos superficiais em *box-core*. A fácies do topo foi identificada como sendo do Holoceno Superior (3000 anos ao atual), de onde foram retirados aqueles sedimentos superficiais para este estudo. Essa fácies está associada à sedimentação sob o domínio da ação de correntes de contorno após o período Transicional (Holoceno Inferior ao Médio) em que o controle sedimentar se dava pela variação eustática no período do afogamento da plataforma continental.

Nessa fase do Projeto, esses autores identificaram o aumento da produtividade da quarta fácies em relação às anteriores demonstrando maior influência da ACAS e domínio do fenômeno ressurgência. Contudo, a diminuição das taxas de sedimentação das fases anteriores para a atual ( $0,16 \text{ mm.ano}^{-1}$ ) foi explicada pelos pontos de fundeio (Fig. 2) nos quais foram registradas velocidades de correntes inferiores das camadas d'água com valores de 30 cm/s em direção ao talude, indicando um fluxo de aporte sedimentar para o fundo, não havendo,

portanto, retenção de sedimentos tão pronunciante como nas fases anteriores. Também foram identificadas e traçadas isotermas de 18°C próximas a 50 m de profundidade paralelamente com outras entre 20°C e 22°C registradas praticamente na base da coluna d'água marcando a influência de vórtices quentes massivos em alguns períodos específicos, conforme mostrado na Figura 16.

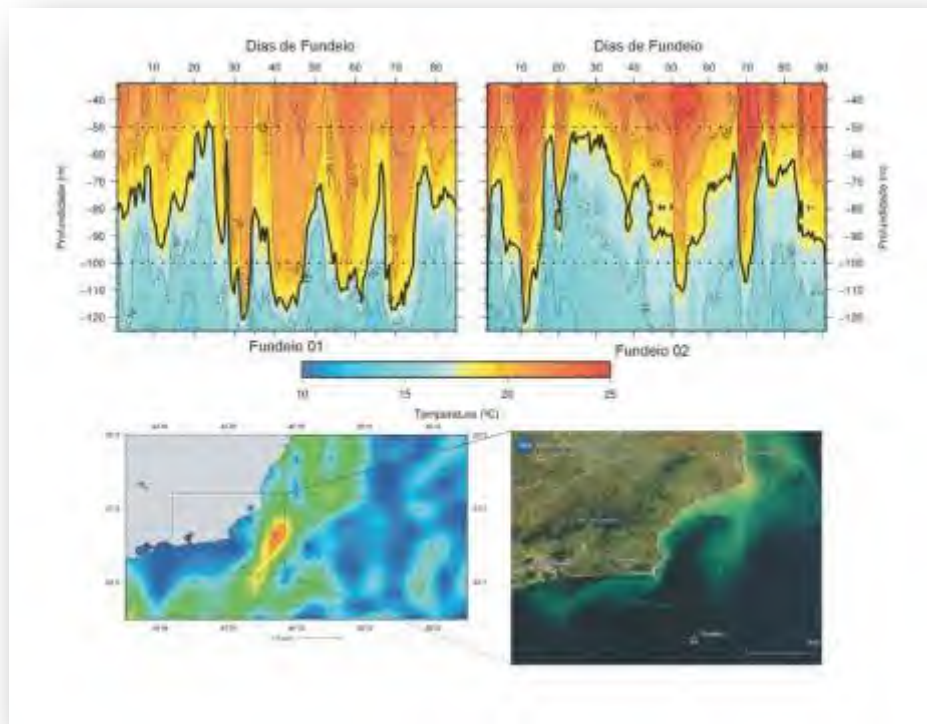


Figura 16: Acima, dados dos sensores de temperatura para os fundeios 1 e 2. Abaixo, imagem do programa Oscar/NOOA mostrando a distribuição espacial do fluxo superficial, bem como a coerência com o padrão observado em uma imagem *True Color* do sensor *Modis*. Albuquerque *et al.*, 2012.

Albuquerque *et al.*, (2012) detectaram um fundo marinho com morfologia plano-inclinada de valores menores que 0,5° no sentido SW, típicos de plataforma, e profundidades variando entre 74 m no extremo norte e 132 m na parte sul da área. A camada de lama variou de 1 a 21 m, com as maiores espessuras observadas ao longo de uma faixa de 7 km de largura que atravessa toda a área mapeada na direção NE-SW. Nesta faixa, os valores de espessura variaram entre 7 m e 21 m, com os valores máximos sendo observados no extremo norte da área (Fig. 5), corroborando com as observações geofísicas realizadas por Artusi (2004) e Simões (2007) em levantamentos similares no limite oeste da Região de Cabo Frio, correspondente ao trecho de plataforma continental entre Cabo Frio e a Baía de Guanabara.

Na literatura, há exemplos de análise elementar de COT em regiões de ocorrência da Ressurgência e compará-las com os resultados obtidos neste trabalho é imprescindível, tanto para uma percepção mais geral, já que regiões de Ressurgência tem grande importância em nível global no ciclo do carbono (Baumgart *et al.*, 2010;. Muller-Karger *et al.*, 2005;. Jahnke *et al.*, 1990.) e representam o cargo chefe da participação no soterramento desse elemento do produto da produtividade primária (Jahnke *et al.*, 1990), quanto para ajudar o entendimento das particularidades da região de estudo em questão.

Autores realizaram estudos em amostras superficiais na mesma região deste estudo. Figueiredo *et al.*, (2013) acharam teores de COT que oscilaram de 0,7 a 2,7%, com média de 2%, identificada, também, por Sanders *et al.*, (2014) na mesma área. Cordeiro *et al.*, (2014) verificaram oscilação similar de COT (1,1 a 2,7%) com média ligeiramente mais alta.

Em estudos realizados em outras regiões de ocorrência de Ressurgência de costas Lestes, como em Omã (região com características pluviométricas similares à área de estudo), relatados nos trabalhos de Passier *et al.*, (1997) e de Sirocko *et al.*, (2000), foram divulgados valores aproximados das médias dos teores de COT, assim como aos trabalhos citados anteriormente.

Aycard *et al.*, (2003), em estudo realizado em outra costa Leste, porém desta vez em local mais úmido, de diferenças geomorfológicas e hidrodinâmicas consistentes, além de boa contribuição fluvial, deflagraram valores médios de teores de COT de 3%, superiores, portanto, aos estudos dos autores citados até aqui.

O presente trabalho, que apresentou valores do teor de COT entre 0,63 e 1,47% com média de 1,13%, corrobora com os valores daqueles autores que estudaram essa área, assim como aqueles que estudaram regiões com situação geomorfodinâmica e hidrológica similar. Além disso, para todos esses estudos de casos de ressurgências, valores de COT% superiores a 1% refletem a boa taxa de preservação do microambiente gerado pela sedimentação de finos da área de estudo, como sugere Cordeiro *et al.*, (2014).

Com esses dados e com os teores de S Total, oscilados entre 0,06 e 0,24%, com média de 0,14%, obteve-se a razão COT:S de média 8,57. Essa condição confere com os dados dos autores já citados para estudos dessa mesma área classificando o ambiente como oxidante. A região que difere, novamente, é a estudada por Aycarda *et al.*, (2003), pois a ressurgência venezuelana conferiu ambiente redutor, devido às altas taxas de S Total e, conseqüentemente, razões COT/S baixas. Tal ocorrência impera por se tratar de um ambiente rico em sulfetos. Essas características podem ser diretamente ligadas às mesmas condições que diferem a

região das demais citadas e também pela maior estratificação da lâmina d'água acentuada pela geomorfologia peculiar do aumento pronunciado da profundidade pelo espaço.

Mendonça Filho e colaboradores (2010) disseram que a MOA pode ser derivada da atividade microbiana através das bactérias autotróficas e fotossintetizantes que produzem mucilagem (EPS – Substância Polimérica Extracelular). De acordo com Tyson (1995) a predominância de MOA com fluorescência é característica de ambiente que preserva a MO devido a sua condição redutora e de grande produtividade primária. As amostras de MOA (homogêneas e com fluorescência), apresentadas neste trabalho, mostraram que o ambiente desta área de estudo possui produtividade primária acima da média para regiões de mar aberto. Porém, a razão COT:S elevada caracterizou ambiente como oxidante. Provavelmente a MOA homogênea e fluorescente produzida pelos seres fitoplantônicos autóctones sofre certo retrabalhamento na própria coluna d'água, até chegar ao sedimento.

A principal variável que pode corroborar com essa hipótese é o valor encontrado para ESTE. A produção dessa enzima pela comunidade microbiana nos sedimentos está diretamente ligada a necessidade de quebra dos oligômeros constituintes da MO em frações menores de monômeros para serem assimilados (até 600 Da). Porém, com concentrações baixas de ESTE nos sedimentos o estudo mostrou que a comunidade não possui necessidade de sintetizar tal enzima porque a MO que serve de fonte de alimento para ela já chega aos sedimentos no tamanho desejado para a assimilação, refletindo a degradação dessa MO na coluna d'água.

Ressaltando essa conjuntura de assimilação de MO na fração desejada pela comunidade microbiana dos sedimentos, concentrações da enzima desidrogenase (ASTE) foram detectadas em todas as amostras. De acordo com Guerra (2008), as desidrogenases são enzimas constitutivas intracelulares que compõem o sistema transportador de elétrons e sua atividade está diretamente ligada à respiração e, conseqüentemente, é um método que avalia células viáveis e a geração de adenosina trifosfato (ATP). Sendo um parâmetro ligado ao índice metabólico e, portanto, relacionado à biomassa (Trevors, 1984; Relexans, 1989), sua presença nas amostras diz que os sedimentos apresentam células vivas, metabolicamente ativas, digerindo MO e produzindo/ reciclando energia e biomassa.

Quanto as características espaciais envolvendo a fração particulada da MO, pôde-se notar um vetor de ascensão da quantidade de MOA em função decrescente do afastamento da linha de costa, obtendo-se a relação de que a proporção desse grupo aumenta conforme mais proximal é a amostragem. Porém, Tyson (1995) diz que a correlação espacial em ambientes marinhos abertos feita através do estudo de Palinofácies aponta para o aumento percentual de



MOA nas amostras mais distais, pois ocorrem processos de diluição dos demais grupos do Querogênio (Tyson 1987, 1989, 1993 e Bustin, 1988). Com estas análises pode-se notar, apesar da hegemonia do grupo MOA em todas as amostras, que o menor valor percentual desse grupo é encontrado na estação mais distal, BC-01 (82%), que também apresenta o pico em PALINO (13,60%). Pode-se notar, também, o pico em FITO (6,90%) no BC-02, novamente distal.

Tais paradoxos referentes ao padrão da MOA da área de estudo deste trabalho com a literatura inserem na discussão que variáveis relacionadas às condições do ambiente devem ser levadas em consideração para a caracterização da MO refratária. A máxima de Tyson (1995) sobre a tendência do aumento de MOA conforme o afastamento da costa em ambientes de mar aberto vai de encontro aos dados obtidos neste trabalho, o que pode ser explicado por todo o contexto fisiográfico citado anteriormente, contexto este, responsável pela ocorrência da Ressurgência, como a quebra abrupta de linha de costa, a mistura de duas correntes de amplitudes térmicas diferentes (ACAS e Corrente do Brasil), ventos que seguem a linha de costa e relevo submarino peculiar com um alto estrutural, além da ocorrência de subsidência de águas mais quentes vindas de norte em alguns pontos durante certas épocas do ano.

Tais características fazem com que anomalias e distúrbios inusitados na caracterização da MO ocorram. Esses aspectos fisiográficos, autores do fenômeno Ressurgência neste estudo, são confirmados por Albuquerque *et al.*, (2012) como sendo os responsáveis por possíveis anomalias ao citarem vórtices e meandros do produto da interação das águas diferenciadas das correntes que ali atuam, sobre o relevo e a geomorfologia peculiar da região.

Exposto isto, a Figura 17 mostra a situação espacial dos grupos de palinofácies com um claro vetor proximal-distal invertido entre as Palinofácies A, B, C e D. Observa-se que a estação com pico de MOA é a estação mais proximal, BC-15, em contrapartida, a de menor percentual de MOA é BC-01, a mais distal.

Constatada essa inversão no padrão proximal-distal aferido pelo grupo MOA, somada aos outros valores contabilizados da MO particulada, PALINO e FITO, é que se investigou as demais variáveis geoquímicas e biogeoquímicas nas análises estatísticas, a primeira para se tentar correlacionar a interdependência das frações particuladas com os dados elementares e a segunda porque expõem a importância da interpretação molecular na produtividade do sistema, fornecendo dados sobre o potencial trófico de ambientes bentônicos marinhos (Cividane *et al*, 2002). Além disso, a utilização de demais variáveis pôde minimizar os efeitos da hegemonia do percentual de MOA que ocorre em todas as amostras.

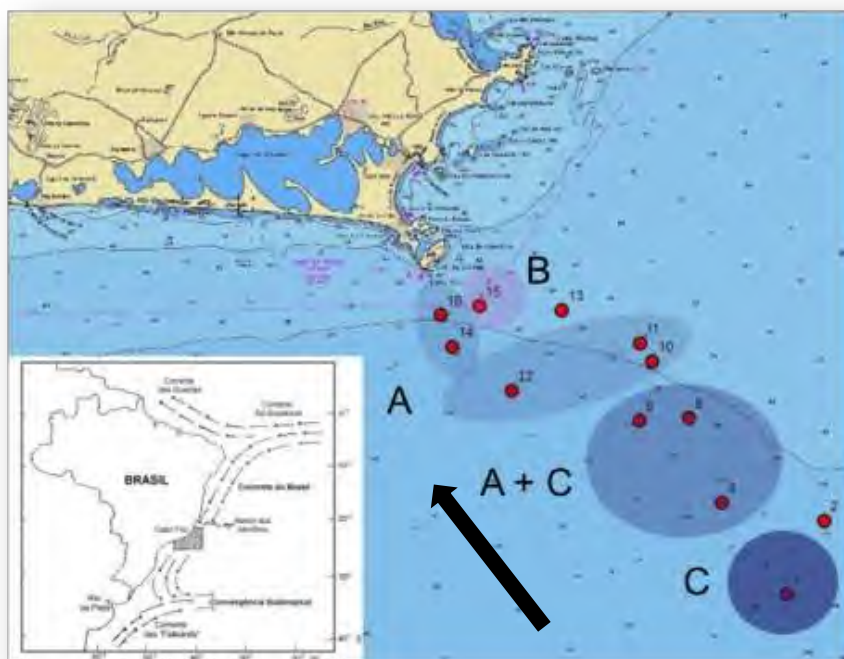


Figura 17: Indicação do padrão de aumento do Grupo MOA na área de estudos.

Já que, de acordo com Mendonça Filho e colaboradores (2010), a MOA pode ser derivada da atividade microbiana, e de acordo com Rowe & Deming (1985) e Fabiano e colaboradores (1995), que dizem que a MO em ambientes marinhos é composta pelas frações lábil e refratária, é que se fomentou englobar os dados da fração particulada com os dados das quantidades moleculares derivadas da produtividade, LIP, CHO e PTN, as enzimas bacterianas (ASTE e ESTE) e os dados geoquímicos de COT e S, podendo, assim, esclarecer as anomalias referentes às análises.

Neste trabalho verifica-se que a tendência baixa de ESTE nas amostras não deflagra baixa atuação de consumo de MO pela comunidade bacteriana pela simples detecção de ASTE, inferindo atividade metabólica de acepção de elétrons comprovadamente notada, logo, é correto afirmar que há um consumo de uma fração orgânica no tamanho fundamental sem gasto de energia (<600 Da). Sugerir a quantificação bacteriana para amostras dessa região de estudo agregaria respostas, pois, de acordo com o trabalho de Danovaro & Pusceddu (2007), em locais onde a quantidade de MO excede a capacidade de consumo pela comunidade microbiana, uma fração desta fica potencialmente disponível e tende a se acumular progressivamente nos sedimentos, logo, as bactérias heterotróficas poderiam aumentar a eficiência de transformar detrito orgânico em biomassa e auxiliar na remobilização de grande quantidade de carbono acumulado através de atividade enzimática, remineralizando os

nutrientes necessários à sustentação da produção primária na coluna d'água. Por outro lado, a observação da razão PTN:CHO infere que elementos como o Nitrogênio são sedimentados, mesmo sendo um fator limitante e possuir a tendência a ser facilmente consumido e remineralizado por níveis tróficos superiores.

Quanto aos biopolímeros, foi observada a ordem de predominância CHO > LIP > PTN nas estações. Fichez (1991) e Danovaro e colaboradores (1993) dizem que a fração lábil da MO é composta, principalmente, de açúcares simples e proteínas que são rapidamente mineralizadas por bactérias, o que torna essa fração potencialmente disponível para níveis tróficos superiores. Paralelamente a isso, Fabiano & Danovaro (1994) apontam que a fração refratária da MO é composta de macromoléculas complexas (como os ácidos húmicos, fúlvicos e polímeros complexos), moléculas que são degradadas mais lentamente ficando submetidas ao soterramento e, portanto, saindo da teia alimentar dos seres bentônicos a curto prazo e se fixando no ciclo geológico com maior probabilidade. Logo, os resultados corroboram com a literatura já que o CHO é o biopolímero de maior abundância, indicando que é, atualmente, produzido e ciclado. Por outro lado, a PTN é o biopolímero de menor abundância por se tratar de uma fração lábil facilmente degradável já que é constituída do grupo amina, o qual é altamente ciclável uma vez que a disponibilidade de Nitrogênio é um fator limitante para a implantação da comunidade microbiana (Fabiano *et al.*, 1995 e Pusceddu *et al.*, 1999) não ficando disponível em grande quantidade no ambiente fazendo com que fiquem disponíveis quantidades desse biopolímero em menor abundância nos sedimentos. Esses dados indicam que o sistema é produtivo e, ao mesmo tempo, sequestrador e fixador de carbono.

Cividane *et al.*, (2002) diz que concentrações anômalas de biopolímeros estão relacionadas à morfodinâmica e às características hidrológicas e físico-químicas peculiares de determinada região. Nordstrom (1992) diz que a baixa influência hidrodinâmica favorece o domínio da sedimentação de grãos mais finos, impedindo que parte da ciclagem biopolimérica ocorra, disponibilizando parte da fração lábil ao ciclo geológico. Assim, os parâmetros fisiográficos já citados neste trabalho e no de Albuquerque *et al.*, (2012) corroboram com os demais trabalhos da literatura.

Esses conceitos explicam, inclusive, os comportamentos anômalos das estações BC-02 e BC-10, as quais apresentam inversão de LIP e CHO, ficando a ordem LIP > CHO > PTN. Em BC-10, a amostra superficial é mais rasa (85m de profundidade), sendo mais exposta aos fluxos hidrodinâmicos das marés e das ondas, além das correntes de fundeio. Já BC-02, estação distal mais oriental, fica mais suscetível aos meandros e vórtices gerados pelas

confluências das correntes que ali atuam (ACAS e a Corrente do Brasil), modificando, também, os ciclos hidrológicos, além de tornarem tal estação vulnerável às correntes de fundo e às diferenças dos padrões físico-químicos que esse contexto gera. No caso desta estação, a apresentação do pico de FITO (6,9%) corrobora as influências das correntes de norte sugerindo a entrada de fitoclastos provenientes de sistemas fluviais mais setentrionais como o delta do rio Paraíba do Sul.

É notado que as amostras mais proximais apresentam as maiores quantidades de PTN, mostrando o domínio espacial sobre essa variável (o mesmo não observado com LIP e CHO). Em BC-15, a mais proximal e com presença de sedimentos mais grossos que as demais estações, ocorre a principal anomalia presente nas amostras: diminuição de dois biopolímeros em relação às demais estações. No entanto, as taxas de queda foram diferentes, como podem ser observadas no gráfico da Figura 13. O decréscimo de LIP foi o mais acentuado, seguido do CHO que continuou sendo o biopolímero em maior quantidade percentual dessa estação. Tal situação provocou uma inversão inusitada na ordem biopolimérica,  $CHO > PTN > LIP$ . Meyer-Reil (1983), avigorado por Sargent e colaboradores (1983) e por Danovaro *et al.*, (1994), disse que a composição bioquímica da MO em sedimentos de áreas com maior característica costeira, ou seja, mais proximais, tendem a apresentar baixos valores de LIP e maiores quantidades de PTN. Esta estação, geograficamente localizada mais ao norte da área de estudo, fica definida como a única constituinte da **Palinofácies D**, constatando a situação de interface costeira-marinha. Sua tendência de aumento da porcentagem de PTN em detrimento de LIP é pertinente com a literatura.

A identificação de uma granulometria levemente maior que as demais estações poderia responder por tais quantidades em LIP. Contudo, a fração de PTN permaneceu nas mesmas proporções das demais estações. Em relação ao seu papel funcional, Dellano *et al.*, (2002) e Pusceddu *et al.*, (2003) definem a concentração de proteínas e carboidratos como indicadores do nível de eutrofização, além de serem um fator limitante aos organismos bentônicos. Tais autores estabelecem padrões oligo-mesotróficos para ambientes com  $PTN < 1,5 \text{ mg/g}$  e  $CHO < 5 \text{ mg/g}$ , logo, as estações distais não diferem das características ambientais das demais estações, mesmo tendo os maiores valores constatados neste trabalho.

O funcionamento dos ecossistemas é envolvido por muitos processos que podem ser resumidos em: produção, consumo e transferência a níveis tróficos superiores, decomposição da MO e regeneração de nutrientes (Danovaro & Pusceddu, 2007). Essa interdependência das fases por onde flui a MO é mais sensível nos índices de PTN e CHO do que no de LIP. Sendo assim, coloca-se em pauta a noção de que as anomalias biopoliméricas de BC-15 (baixa

acentuadíssima de LIP seguida de CHO e manutenção de PTN frente aos maiores índices das estações proximais, gerando uma ordem inusitada (CHO > PTN > LIP) advêm de algumas particularidades dessa região especial, sobretudo no local dessa estação: (1) região suscetível as mais diversas variações físico-químicas e biológicas; (2) situação mais proximal e granulometria mais grossa que as demais estações; (3) relação particular de reciclagem/consumo com disponibilidade e transferência para outros níveis tróficos de PTN e CHO.

A razão PTN:CHO está ligada à participação da fração nitrogenada na composição da MO e valores elevados sugerem aumento de produtividade de ambientes mais proximais como estuarinos e costeiros (Fabiano *et al.*, 1999; Martin *et al.*, 1987). Este trabalho reforçou, novamente, o caráter proximal da BC-15 ao expor a maior razão PTN:CHO (0,43), enquanto que a média das amostras foi de 0,23.

Albuquerque *et al.*, (2012) apontaram a maior sedimentação na estação mais ao norte, BC-15, por apresentar o pacote lamoso com maior espessura. Sugerem, também, que esses sedimentos poderiam ser oriundos de drenagem continental, como a ação de plumas costeiras e/ ou contribuição do Rio Paraíba do Sul, ratificando o trabalho de Viana & Faugères (1998) que identificaram grandes acúmulos em áreas de energia zero nas proximidades de Cabo Frio e Búzios.

Somando esses dados com os valores de COT dessa estação (0,96%) que ficou próximo à média (1,13%), este trabalho sugere que a fração lábil não responde pelo Carbono Orgânico Total da amostra BC-15 tão significativamente quanto às demais o que é confirmado pela sua posição destoada das demais estações no gráfico de similaridade de LIP neste presente trabalho. O valor nulo de ESTE nessa estação diz que a comunidade microbiana do sedimento assimila monômeros do tamanho adequado (< 600 Da) e não gastam tanta energia para fazê-lo. Em contrapartida, a baixa de ASTE sugere que há menos atividade metabólica celular que nas demais estações.

Portanto, faz-se necessário ser dito que muito provavelmente as frações de PTN e CHO detectadas em BC-15 possuem maior tendência a ficarem aprisionadas no ciclo geológico e menores chances de serem recicladas em outros níveis tróficos que as demais, mesmo se tratando de fração lábil facilmente degradável e, no caso de PTN, com fator limitante Nitrogênio, além de apresentar taxa de sedimentação entre as maiores da área e de estar menos suscetível as correntes de fundeio que levariam material ao talude como sugerido por Albuquerque *et al.*, (2012) através dos dados coletados nos pontos de fundeio de locais mais distais. Já a fração LIP, apesar de representar a menor das estações, tem grandes chances de já ter sido o saldo da reciclagem seletiva dos biopolímeros forçada pelo retrabalhamento

dos sedimentos sob domínio das condições físico-químicas daquele local. O pico de MOA, típico de estações mais distais de ambientes marinhos de acordo com a literatura, reforça uma influência alóctone já que se trata da estação mais proximal.

Caso se conseguisse mais dados oceanográficos e físico-químicos dessa estação poder-se-ia, então, reforçar esta hipótese. Também, com este estudo hipotético, poder-se-ia sugerir uma similaridade dessa estação BC-15 com o trabalho de Aycarda *et al.*, (2003) sobre área de ocorrência da ressurgência sazonal no litoral venezuelano. Nessa região, a produtividade se mantém semi-reciclada sobre os fatores limitantes, como a PTN, e outras acepções de elétrons respondem pela queda mais abrupta de LIP e CHO, graças à sulfetação desses biopolímeros conforme o aumento do soterramento, ligando, assim, aos mecanismos diferenciados de acepção de elétrons da biota, destoando dos mecanismos mais superficiais que utilizariam a sulfatorredução.

Por fim, a ausência de uma identificação de uma Palinofácies para o grupo II, correspondente às estações BC-02 e BC-13, embute a necessidade de mais parâmetros quantitativos e qualitativos para que anomalias ainda obscuras na região pudessem ser expostas a luz do conhecimento.

## **8. CONCLUSÃO**

Este trabalho visou à caracterização da matéria orgânica atentando para a quantidade e a qualidade das frações particulada e lábil na região do mar de Arraial do Cabo e Cabo Frio sob o domínio do fenômeno da ressurgência. Para isso, a utilização de alguns métodos como confecção e microscopia de lâminas organopalinológicas, detecção de biopolímeros e enzimas bacterianas, além de geoquímica elementar, somadas a conceitos amplamente debatidos no meio científico como contexto fisiográfico envolvendo domínio eólico, geológico e oceanográfico junto às dinâmicas diferentes de outras localidades onde esse fenômeno ocorre, foi imprescindível.

Tal composição de conhecimentos pôde gerar dados que responderam tanto às características físico-químicas do ambiente quanto aos parâmetros que definem a ressurgência da região e seu acúmulo de matéria orgânica em sedimentos potencialmente precursores de rochas geradoras de hidrocarbonetos.

Impera a classificação de ambiente oxidante conferida para todas as estações de coleta através dos dados obtidos da geoquímica uma vez que a razão COT/S foram maiores que

4,61. Além dessa máxima, também foi notório o predomínio do grupo MOA na análise de palinofácies.

No entanto, os maiores valores foram achados nas estações mais proximais colocando na luz das discussões um dos maiores paradoxos desse trabalho com a literatura: um gradiente invertido proximal-distal para esse grupo. Somado a isso, foi observado as maiores quantidades dos outros grupos da fração particulada do querogênio, FITO e PALINO, nas estações mais distais (BC-2 e BC-1, respectivamente) quando, de acordo com a literatura, o caráter distal deixaria mais diluídos tais grupos, corroborando a importância das influências geradas pelos contextos fisiográficos e do fenômeno em tais análises.

Ainda sob essa ótica palinofaciológica, notou-se que o pico de FITO (BC-02) está diretamente relacionado à suscetibilidade ao contexto fisiográfico e à posição geográfica uma vez que tal ocorrência poderia ser respondida pela exposição a material vindo de sistemas deltáicos do norte, muito provavelmente do Paraíba do Sul, através de transporte por correntes.

Quanto aos biopolímeros, como os valores detectados para PTN e CHO foram inferiores aos citados pela literatura para eutrofização, o ambiente foi classificado como oligotrófico.

Ainda versando biopolímeros, outra ocorrência inusitada ficou bem exemplificada na estação proximal BC-15 que, mesmo tendo o pico de PTN corroborando com a situação geográfica da interface marinho-costeira, apresenta o maior valor de MOA e os menores valores de LIP, ASTE e ESTE. Tais características sugeriram a influência alóctone no acúmulo de COT introduzindo hipóteses como origens para a fração lábil sem desconsiderar a importância do saldo da taxa de sedimentação - já descontado o que se perderia pela drenagem das correntes de contorno observadas nas estações mais distais - e das características proximais conferidas a ela, além uma análise mais aprofundada da taxa de preservação do CO em testemunhos. A necessidade de mais estudos para se aferir esses e demais parâmetros é imprescindível para o entendimento dos processos da ressurgência peculiar da região, suas causas, consequências e interações.

O pragmatismo científico permite, a princípio, classificar o ambiente da área de estudo com os dados obtidos neste trabalho como sendo oligotrófico e oxidante, de baixa (ou nula) influência antropogênica, sob forte suscetibilidade das variáveis físico-químicas, hidrológicas e biogeoquímicas fabricadas pela ocorrência da ressurgência, grande produtividade com o *input* alóctone, além de certa contribuição autóctone, e alta ciclagem da MO com possibilidade de mineralização de parte dessa matéria.

## 9. AGRADECIMENTOS

Ao Projeto *Produtividade na ressurgência costeira de Cabo Frio e seu potencial de acúmulo de matéria orgânica: Interação Biosfera – Geosfera*, pela concessão das amostras; à PETROBRAS, pelo financiamento e suporte; aos orientadores, pesquisadores, técnicos e alunos do Laboratório de Palinofície & Fácies Orgânica (LAFO-UFRJ) e do Laboratório de Biologia Marinha (BioMar-UFF) junto ao seu corpo técnico.



## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, A. L. S.; Belém, A. L.; Portilho-Ramos, R. C.; Mendoza, U. & Barbosa, C. F. 2012. Projeto Ressurgência: processos geoquímicos e oceanográficos no limite entre as bacias de Campos e Santos. *B. Geoci. Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1/2, p. 193-210.
- Almeida, F. F. M de. 1991. O alinhamento magmático de Cabo Frio. *Simpósio de Geologia do Sudeste*, v. 2, n. 1991, p. 423-428.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), 2008. Standard test methods for Sulfur in the analysis sample of coal and coke using high-temperature tube furnace combustion methods. ASTM D 4239. Publicado on-line em 01 Fev 2008. (<http://engineers.ihs.com/document/abstract/NWETIBA>).
- Andrade, M.M. 2008. Paleoprodutividade costeira da região de Cabo Frio, Rio de Janeiro, ao longo dos últimos 13.000 anos cal AP. Programa de Pós-graduação em Geoquímica Ambiental, Universidade Federal Fluminense. *Tese de Doutorado*, 275p.
- Artusi, L. 2004. Geologia, geomorfologia e sismoestratigrafia rasa da plataforma continental ao largo da laguna de Araruama–RJ. Geologia, geomorfologia e sismoestratigrafia rasa da plataforma continental ao largo da laguna de Araruama-RJ.
- Aycard, M.; Derenne, S.; Largeau, C.; Mongenot, T.; Tribovillard, N.; & Baudin; F. 2003. Formation pathways of proto-kerogens in Holocene sediments of the upwelling influenced Cariaco Trench, Venezuela. *Organic Geochemistry*, 34(6), 701-718.
- Bauer, J. E. & Druffel, E. R. M. 1998. Ocean margins as a significant source of organic matter to the deep open ocean. *Nature*, v. 392, n. 6675, p. 482-485.

- Baumgart, A.; Jennerjahn, T.; Mohtadi, M. & Hebbeln, D. (2010). Distribution and burial of organic carbon in sediments from the Indian Ocean upwelling region off Java and Sumatra, Indonesia. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 57(3), 458-467.
- Bertrand, C. 1998. Climate simulation at the secular time scale. *Ph.D. Thesis*, 208 pp., Institut d'Astronomie et de Géophysique Georges Lemaitre, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium.
- Bligh, E. G. & Dyer, W. 1959. A rapid method for total lipid extraction and purification. *Canadian Journal Biochemistry Physiology*, 37, 911-917.
- Bousquet, P.; Peylin, P.; Ciais, P.; Le Quéré, C.; Friedlingstein, P. & Tans, P. P. (2000). Regional changes in carbon dioxide fluxes of land and oceans since 1980. *Science*, 290(5495), 1342-1346
- Bustin, R. M. 1988. Sedimentology and characteristics of dispersed organic matter in Tertiary Niger Delta: origin of source rocks in a deltaic environment. *AAPG Bulletin*, v. 72, n. 3, p. 277-298.
- Calvert, S. E. 1987. Oceanographic controls on the accumulation of organic matter in marine sediments. *Geological Society, London, Special Publications*, v. 26, n. 1, p. 137-151.
- Castelão, R. M. & Barth, J. A. 2006. Upwelling around Cabo Frio, Brazil: The importance of wind stress curl. *Geophysical Research Letters*, v. 33, n. 3.
- Cividane, S.; Incera, M.; López, J. 2002. Temporal variability in the biochemical composition of sedimentary organic matter in an intertidal flat of the Galician coast (NW Spain). *Oceanologica Acta*, v. 25, n. 1, p. 1-12.

- Combaz A. 1964. Les palynofacies. *Revue de Micropaléontologie*, 7:205-21.
- Cordeiro, L. G. M. S.; Belém, A. I.; Bouloubassi, I.; Rangel, B.; Sifeddine, A.; Capila, R. & Albuquerque, A. L. S. 2014. Reconstruction of southwestern Atlantic sea surface temperatures during the last Century: Cabo Frio continental shelf (Brazil). *Paleography, Paleoclimatology, Paleoecology*, v. 415, p. 225-232.
- Danovaro, R.; Fabiano, M. & Boyer, M. 1994. Seasonal changes of benthic bacteria in a seagrass bed (*Posidonia oceanica*) of the Ligurian Sea in relation to origin, composition and fate of the sediment organic matter. *Marine Biology*, v. 119, n. 4, p. 489-500.
- Danovaro, R., Fabiano, M. & Della Groce, N. 1993. Labile organic matter and microbial biomasses in deep-sea sediments (Eastern Mediterranean Sea). *Deep-Sea Research*, 40(5), 953-965.
- Danovaro, R. & Pusceddu, A. 2007. Biodiversity and ecosystem functioning in coastal lagoons: Does microbial diversity play any role? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v.75, p.4-12.
- Dell'anno, A. & Danovaro, R. 2005. Extracellular DNA plays a key role in deep-sea ecosystem functioning. *Science*, v. 309, n. 5744, p. 2179-2179.
- Dickens, G. R. 2003. Rethinking the global carbon cycle with a large, dynamic and microbially mediated gas hydrate capacitor. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 213, n. 3, p. 169-183.
- Dubois M.; Gilles, K.; Hamilton, J. K.; Rebers, P. A. & F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28, 350-356.

- Fabiano, M.; Danovaro, R. & Fraschetti, S. 1995. A three-year time series of elemental and biochemical composition of organic matter in subtidal sandy sediments of the Ligurian Sea (northwestern Mediterranean). *Continental Shelf Research*, v. 15, n. 11, p. 1453-1469.
- Fabiano, M. & Danovaro, R. (1994). Composition of organic matter in sediments facing a river estuary (Tyrrhenian Sea): relationships with bacteria and microphytobenthic biomass. *Hydrobiologia*, 277(2), 71-84.
- Fabiano, M.; Povero, P.; Danovaro, R. & Misic, C. 1999. Particulate organic matter composition in a semi-enclosed Periantartic system: the Strait of Magellan. *Scientia Marina*, 63(1): 89–98.
- Fainstein, R. & Summerhayes, C. P. 1982. Structure and origin of marginal banks off Eastern Brazil. *Marine Geology* 46: 199-215.
- Fichez R. 1991a. Composition and fate of organic matter in submarine cave sediments; implications for the biogeochemical cycle of organic carbon. *Oceanologica Acta*, 14(4), 369-377.
- Fichez R. 1991b. Suspended particulate organic matter in a submarine cave. *Marine Biology*, 108, 167-174.
- Figueiredo, T. S.; Albuquerque, A. L. S.; Sanders, C. J.; Cordeiro, L. G. M. S. & Silva-Filho, E. V. 2013. Mercury deposition during the previous century in an upwelling region; Cabo Frio, Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 76 (2013) 389-393.

- Geoexame. El Niño e La Niña. Modelo da dinâmica eólica e o efeito convectivo de águas inferiores em costa Oeste. 2011. Disponível em: <<http://geoexame.blogspot.com.br/2011/01/el-nino-e-la-nina.html>> Acessado em: 25/09/2014.
- Gerchakov, S. M. & Hatcher, P. G. 1972. Improved technique for analysis of carbohydrates in sediments. *Limnology and Oceanography*, 17, 938-943.
- Gregg, W. W. & Carder, K. L. 1990. A simple spectral solar irradiance model for cloudless maritime atmospheres. *Limnology and oceanography*, v. 35, n. 8, p. 1657-1675.
- Guerra, L. V. 2008. Processos Microbiológicos e Composição da Matéria Orgânica Relacionados à Eutrofização de uma Lagoa Costeira Hipersalina, L. Araruama, RJ. *Defesa de Mestrado em Geoci. da Universidade Federal Fluminense.*
- Hartree E. F. 1972. Determination of proteins: a modification of the Lowry method that give a linear photometric response. *Analytical Biochemistry*, 48,422-427.
- Houri-Davignon, C.; Relexans, J. C. & Etcheber, H. 1989. Measurement of actual electron transport system (ETS) Activity in marine sediments by incubation with INT. *Environmental Technology*, 10(1), 91-100.
- Jahnke, R.A.; Reimers, C.E. & Craven, D.B. 1990. Intensification of recycling of organic matter at the sea floor near ocean margins. *Nature*, 348: 50-54.
- Jarvie, D. M. 1991. Total Organic Carbon (TOC) Analysis: Chapter 11: Geochemical Methods and Exploration.
- Knoppers, B. A. & Moreira, P. F. 1990. Matéria em suspensão e sucessão do fitoplankton na Lagoa de Guarapina. RJ. *Acta Limnol. Bras.* 3 (in press).

- Marsh J. B. & W. J. Weinstein. 1966. A simple charring method for determination of lipids. *Journal of Lipid Research*, 7,574-576.
- Martin, J. H.; Knauer, G. A.; Karl, D. M. & Broenkow, W. W. 1987. Carbon cycling in the Northeast Pacific. *Deep-Sea Research*, 34(2A): 267–285.
- Mendonça Filho, J.G. 1999. *Aplicação de estudos de palinofácies e fácies orgânica em rochas do Paleozóico da Bacia do Paraná, Sul do Brasil*. Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Tese de Doutorado, 242 p.
- Mendonça Filho, J. G.; Chagas, R. B. A.; Menezes, T. R.; Mendonça, J. O.; Da Silva, F. S., & Sabadini-Santos, E. 2010. Organic facies of the Oligocene lacustrine system in the Cenozoic Taubaté basin, Southern Brazil. *International Journal of Coal Geology*, 84(3), 166-178.
- Mendonça Filho, J.G.; Menezes, T.R.; Mendonça, J.O.; Oliveira, A.D.; & Santana, A.J.. 2011a. Kerogen: Composition and classification. *In: Flores, D. & Marques (Eds.), M. ICCP Training Course on Dispersed Organic Matter. (ISBN no 978-989-8265-67-8) ed. Plenimagem, 2011, p. 17-23.*
- Mendonça Filho, J.G.; Menezes, T.R. & Mendonça, J.O. 2011b. Organic Composition (Palynofacies Analysis). *In: ICCP Training Course on Dispersed Organic Matter. Editora ICCP, p. 33-81.*
- Mesquita, A. R. de; Leite, J. B. de A. & Rizzo, R. 1979. Contribuição ao estudo das correntes marinhas na plataforma entre Cabo Frio e Cananéia. *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 28(2):95-100.

- Meyer-Reil, L. A. 1983. Benthic response to sedimentation events during autumn to spring at a shallow water station in the western Kiel Bight. II Analysis of benthic bacterial populations. *Mar. Biol.* 77: 247–256
- Muehe, D. & Corrêa, C.H.T. 1989. The coastline between Rio de Janeiro and Cabo Frio. In: Claudio Neves (ed.), *Coastlines of Brazil*, pp.110-123, American Society of Civil Engineers (ASCE), New York, NY, U.S.A. ISBN: 978-0872627079.
- Muehe, D. & Valentini, E. 1998. O Litoral do Estado do Rio de Janeiro: uma caracterização físico-ambiental. Rio de Janeiro: *Fundação de Estudos do Mar*.
- Muehe, D. & Carvalho, V. G. de. 1993. Geomorfologia, cobertura sedimentar e transporte de sedimentos na plataforma continental interna entre a Ponta de Saquarema e o Cabo Frio (RJ). *Boletim do Instituto Oceanográfico*, v. 41, n. 1/2, p. 1-12.
- Muller-Karger, F. E.; Varela, R.; Thunell, R.; Luerssen, R.; Hu, C. & Walsh, J. J. 2005. The importance of continental margins in the global carbon cycle. *Geophysical Research Letters*, 32(1).
- Nordstrom, K. F. 1992. Estuarine beaches. *Estuarine beaches*.
- Passier, H. F.; Luther, G. W. & Lange, G. J. de. 1997. Early diagenesis and sulphur speciation in sediments of the Oman Margin, northwestern Arabian Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v. 44, n. 6, p. 1361-1380.
- Pusceddu, A.; Dell'Anno, A.; Danovaro, R.; Manini, E.; Sara, G. & Fabiano, M. 2003. Enzymatically hydrolyzable protein and carbohydrate sedimentary pools as indicators of the trophic state of detritus sink systems: a case study in a Mediterranean coastal lagoon. *Estuaries*, 26(3), 641-650.

- Pusceddu, A.; Sara, G.; Armeni, M.; Fabiano, M. & Mazzola, A., 1999. Seasonal and spatial changes in the sediment organic matter of a semi-enclosed marine system (W-Mediterranean Sea). *Hydrobiologia*, 397: 59-70.
- Relexans J. C. 1989. Effets des polluants sur la physiologie respiratoire de la méiofaune. Rapport de contrat n° 87270, Ministère de l'Équipement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports. 81 pp.
- Rice, D. L. 1982. The detritus nitrogen problem: new observation and perspectives from organic geochemistry. *Marine Ecology Progress Series*, v.9, p.153–162.
- Ryther, J. H. 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. *Science*, v. 166, n. 3901, p. 72-76.
- Roncaglia, L. 2004. Palynofacies analysis and organic-walled dinoflagellate cysts as indicators of palaeo-hydrographic changes: an example from Holocene sediments in Skjalafjord, Faroe Islands. *Marine Micropaleontology*, v. 50, n. 1, p. 21-42.
- Rowe, G. T. & Deming, J. W. 1985. The role of bacteria in the turnover of organic carbon in deep-sea sediments. *Journal of Marine Research*, v. 43, n. 4, p. 925-950.
- Sanders, C. J.; Caldeira, P. P.; Smoak, J. M.; Ketter, M. E.; Belém, A.; Mendoza, U. M. N.; Cordeiro, L. G. M. S.; Silva-Filho, E. V.; Patchineelam, S. R. & Albuquerque, A. L. S. 2014. Recent organic carbon accumulation (~ 100 years) along the Cabo Frio, Brazil upwelling region. *Continental Shelf Research* 75 (2014) 68-75.
- Sargent, J. R.; Hopkins, C. C. E.; Seiring, J. V. & Youngson, A. 1983. Partial characterisation of organic material in surface sediments from Balsfjorden, northern Norway, in relation to its origin and nutritional value of sediment-ingesting animals. *Mar. Biol.* 76: 87–94.



- Sathyendranath S. & Platt, T. 1988. The spectral irradiance field at the surface and in the interior of the ocean: A model for applications in oceanography and remote sensing. *Journal of Geophysical Research*, 93, 9270-9280.
- Simões, I. C. V. P. 2007. Aplicação da Batimetria Multifeixe para Definição da Morfologia Detalhada do Fundo Marinho ao Largo da Laguna de Araruama e Arraial do Cabo-RJ. Aplicação da batimetria multifeixe para definição da morfologia detalhada do fundo marinho ao largo da laguna de Araruama e Arraial do Cabo RJ.
- Stubberfield, L. C. F. & Shaw, P. J. A. 1990. A comparison of tetrazolium reduction and FDA hydrolysis with other measures of microbial activity. *Journal of Microbiological Methods*, v. 12, n. 3, p. 151-162.
- Suess, E.; Kulm, L. D. & Killingley, J. S. 1987. Coastal upwelling and a history of organic-rich mudstone deposition off Peru. *Geological Society, London, Special Publications*, v. 26, n. 1, p. 181-197, 1987.
- Traverse, A. 1994. Palynofloral geochronology of the Brandon Lignite of Vermont, USA. *Review of palaeobotany and palynology*, 82(3), 265-297.
- Trevors, J. T. 1984. Dehydrogenase activity in soil: a comparison between the INT and TTC assay. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 16, n. 6, p. 673-674.
- Tyson, R.V. 1995. Sedimentary organic matter. Organic facies and palynofacies. Londres, Chapman & Hall. 615 p.
- Tyson, R. V. 1989. Late Jurassic palynofacies trends, Piper and Kimmeridge clay formations, UK onshore and northern north sea. *Northwest European micropalaeontology and palynology*, p. 135-72.

- Tyson R.V. 1993. Palynofacies Analysis. *In*: Jenkins D.J. (eds.) Applied Micropaleontology. *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht. p. 153-191.
- Tyson R.V. 1987. The genesis and palynofacies characteristics of marine petroleum source rocks. *In*: Brooks J. & Fleet A.J. (eds.) Marine petroleum source rocks. Oxford, *Geological Society Special Publication*, Blackwell Scientific Publications, 26:47-68.
- Valentin, J.L. 2000. Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos. Rio de Janeiro, *Interciência*, 117 p.
- Valentin, J. L. 1984. Analyse des paramètres hydrobiologiques dans la remontée de Cabo Frio (Brésil). *Marine Biology*, v. 82, n. 3, p. 259-276.
- Viana, A.R. & Faugères, J.C. 1998. Upper slope sand deposits: the example of Campos Basin, a latest Pleistocene-Holocene record of the interaction between alongslope and downslope currents. *In*: M.S. Stoeker, D. Evans, & A. Cramp (eds.) *Geological Processes on Continental Margins: Sedimentation, Mass-Wasting and Stability*, Geological Society, Special Publications, 129: 287-316.
- Walsh, J.J., 1991. Importance of continental margins in the marine biogeochemical cycling of carbon and nitrogen. *Nature* 350, 53–55.
- Weaver, S.D.; Storey, B.; Pankhurst, R.J.; Mukasa, S.B.; Divenere, V.J. & Bradshaw, J.D., 1994. Antarctica–New Zealand rifting and Marie Byrd Land lithospheric magmatism linked to ridge subduction and mantle plume activity: *Geology*, v. 22, p. 811–814.
- Zegouagh, Y.; Derenne, S.; Largeau, C.; Bertrand, P.; Sicre, M. A.; Saliot, A. & Rousseau, B. 1999. Refractory organic matter in sediments from the North–West African upwelling system: abundance, chemical structure and

origin. *Organic Geochemistry*, 30(2), 101-117.

**ANEXOS**  
**PALINOFÁCIES**

## **LEGENDA DA ESTAMPA I**

1,2 – Fitoclastos opacos. Alongado (1) e Degradado (2), amos em luz branca.

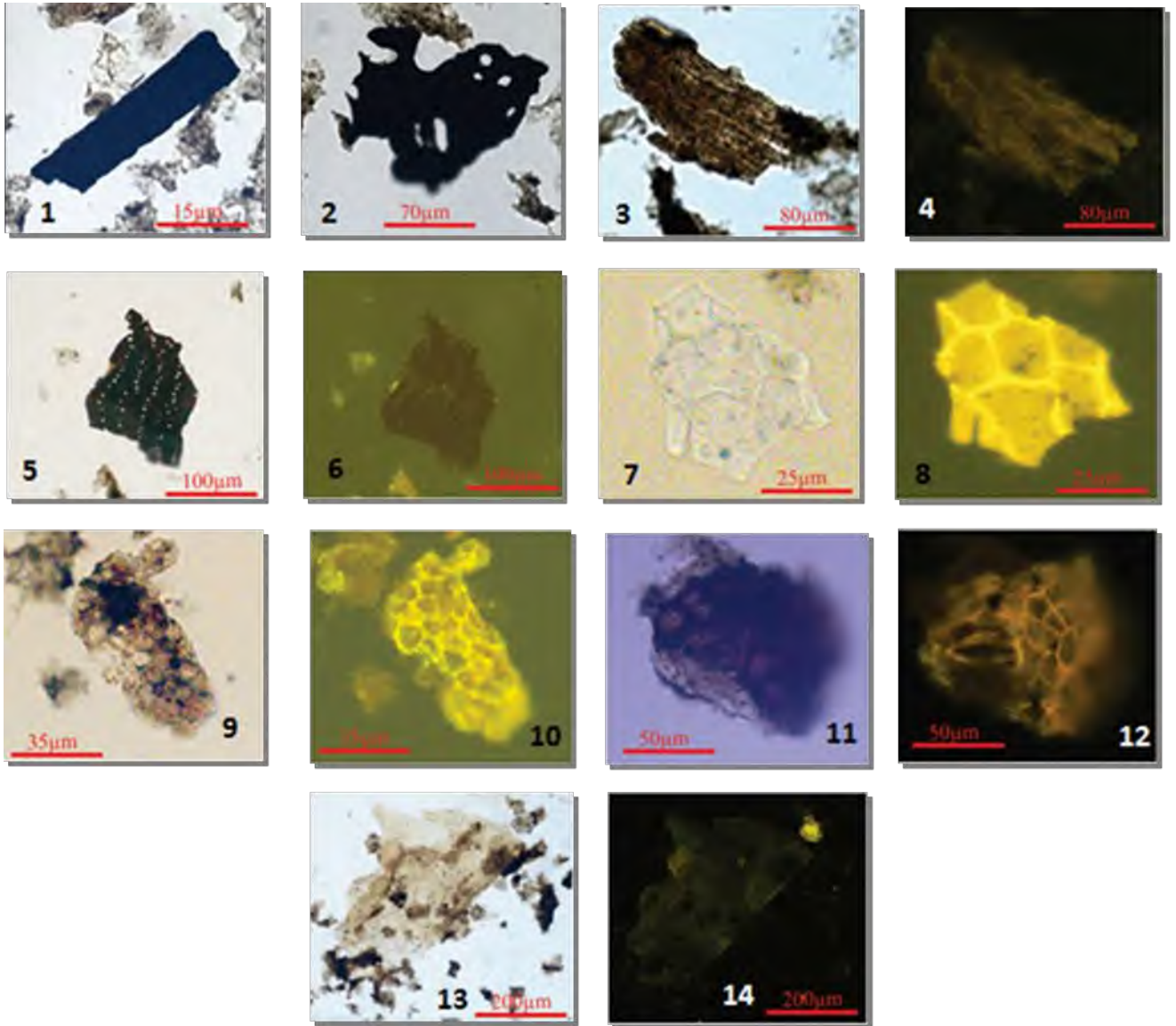
3 a 6 – Bioestruturados. Luz branca (3 e 5) e fluorescência (4 e 6).

7 e 8 – Cutículas. Luz Branca (7) e fluorescência (8).

9 a 12 – Cutículas associadas a Fitoclastos. Luz branca (9 e 11) e fluorescência (10 e 12)

13 e 14 – Membranas. Luz branca (13) e fluorescência (14).

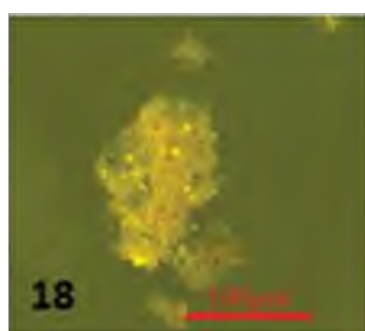
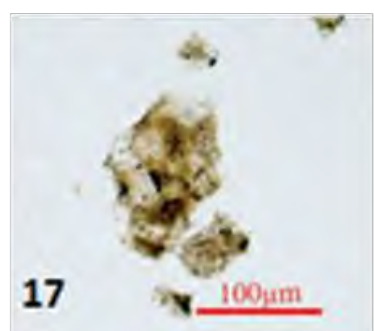
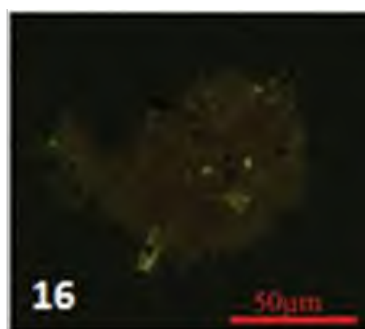
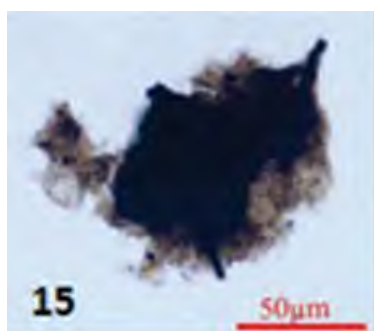
ESTAMPA I



## **LEGENDA DA ESTAMPA II**

15 a 18 – Matéria Orgânica Amorfa Bacteriana Homogênea. Luz branca (15 e 17) e fluorescência (16 e 18).

## ESTAMPA II





### **LEGENDA DA ESTAMPA III**

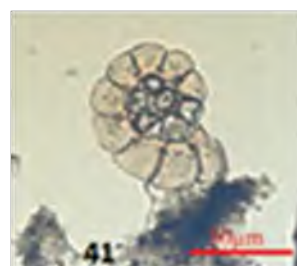
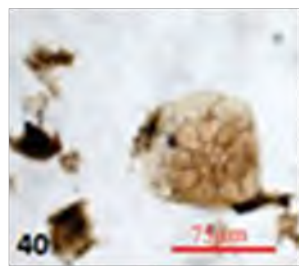
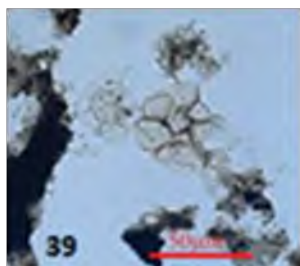
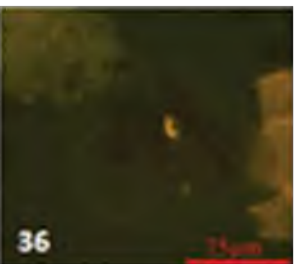
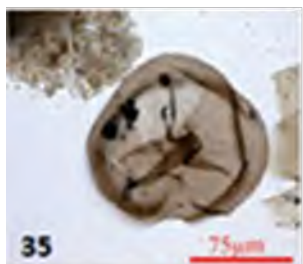
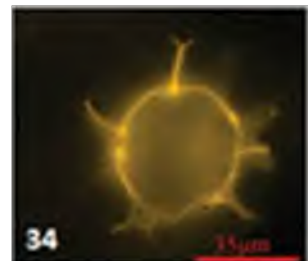
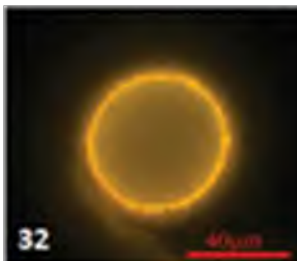
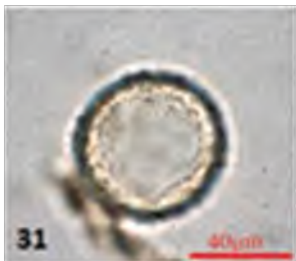
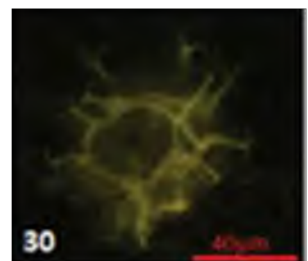
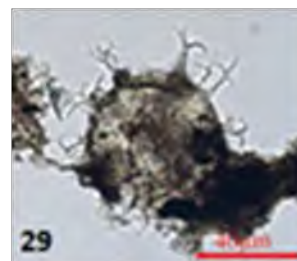
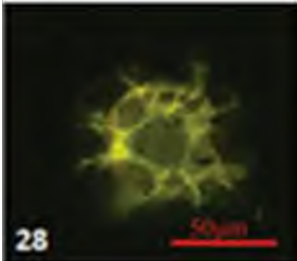
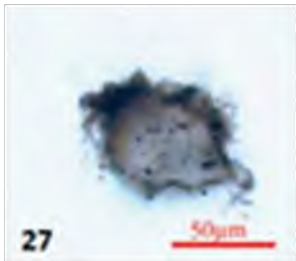
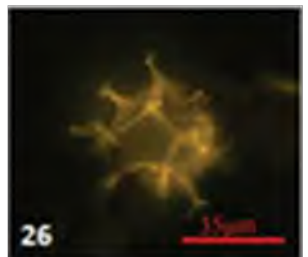
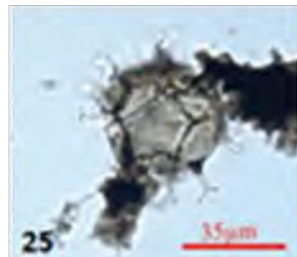
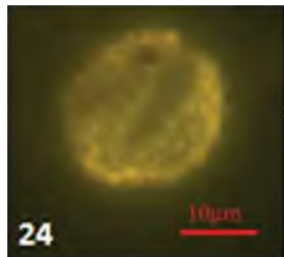
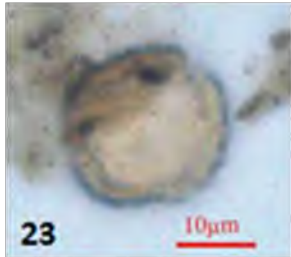
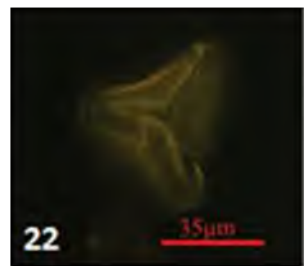
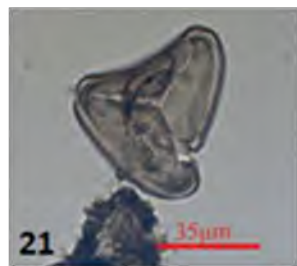
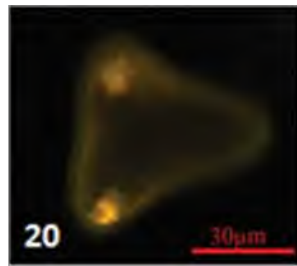
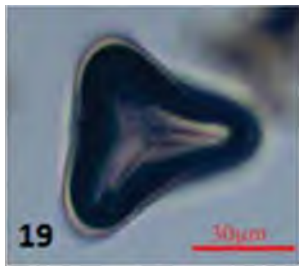
19 a 22 – Esporos. Luz branca (19 e 21) e fluorescência (20 e 22).

23 e 24 – Grãos de Pólen. Luz branca (23) e fluorescência (24).

25 a 38 – Dinocistos. Luz branca (25, 27, 29, 31, 33, 25 e 37) e fluorescência (26, 28, 30, 32, 34, 36 e 38).

39 a 41 – Palinoforaminíferos. Todos em luz branca.

ESTAMPA III



#### **LEGENDA DA ESTAMPA IV**

42 – Escolecodonte. Luz branca.

43 – Fragmento de ovo de copépoda. Luz branca.

44 – Fragmento de artrópode. Luz branca.

# ESTAMPA IV

