



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza

Instituto de Geociências

Departamento de Geologia

**CARACTERIZAÇÃO ORGANOFACIOLÓGICA DE  
TRÊS TESTEMUNHOS (BE-02, BE-07 e BE-09) DO  
BREJO DO ESPINHO**

ERIKA GOMES MARTINS

Orientador: Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho

Coorientador: M.Sc. Jaqueline Torres de Souza

Dr. Antonio Donizeti de Oliveira

Rio de Janeiro  
Setembro de 2014

# **Caracterização Organofaciológica de três testemunhos (BE-02, BE-07 e BE-09) do Brejo do Espinho**

**Erika Gomes Martins, João Graciano Mendonça Filho, Jaqueline Torres de Souza & Antônio Donizeti de Oliveira**

## **Resumo**

As rochas carbonáticas possuem grande importância para o setor de exploração de petróleo, sendo responsáveis por, aproximadamente, 50% da produção mundial. Com a descoberta dos reservatórios carbonáticos do pré-sal, foi motivado um interesse em estudar depósitos modernos análogos. Neste trabalho, foram realizadas análises de palinofácies associadas a técnicas de geoquímica orgânica, tendo como objetivo principal o estudo dos sedimentos e a interpretação das condições deposicionais durante sua evolução holocênica. Os sedimentos foram retirados de três testemunhos curtos do Brejo do Espinho, localizado a leste da cidade do Rio de Janeiro, caracterizado por possuir um ambiente de sedimentação hipersalino carbonático. Verificou-se a ocorrência de transição de um ambiente siliciclástico, marcado por um momento de maior energia no sistema e influência marinha, para um ambiente carbonático, mais estável e de menor energia, sem contato direto com o mar. Na Palinofácies, observou-se o predomínio do grupo da matéria orgânica amorfa (MOA) ao longo de todos os intervalos. Na base dos testemunhos, ocorrem as espécies de dinocistos *Operculodinium centrocarpum* e *Operculodinium israelianum*, refletindo uma influência marinha, e no topo microalgas do gênero *Botryococcus*, sugerindo chegada de água doce para o interior do Brejo.

**Palavras-chave:** Brejo do Espinho, Ambiente Hipersalino, Sedimentação Carbonática, Palinofácies, Matéria Orgânica Particulada

## **Abstract**

The carbonate rocks have great importance for the oil exploration industry, accounting for approximately 50% of world production. With the discovery of carbonate reservoirs of the pre-salt, was motivated an interest in studying modern analogues deposits. In this work, analysis of palynofacies associated techniques of organic geochemistry, having as main objective the study of the sediments and the interpretation of depositional conditions during their Holocene evolution. The sediments were taken from three short piston cores of the Brejo do Espinho, located east of the city of Rio de Janeiro, characterized by having an environment of hypersaline carbonate sedimentation. It was noted the occurrence of a transition from a siliciclastic environment, marked by a time of increased energy in the system marine influence for a carbonate environment, more stable with less energy and without direct contact with the sea. In Palynofacies, there was a predominance of the amorphous organic matter (MOA) group over all intervals. Occurring at the base dinocistos *species Operculodinium centrocarpum* and *Operculodinium israelianum*, reflecting the marine influence, and at the top microalgae of the genus *Botryococcus*, suggesting arrival of fresh water into the tubes.

**Keywords:** Brejo do Espinho, Hypersaline Environment, Carbonatic Sedimentation, Palynofacie, Particulate Organic Matter

## 1. INTRODUÇÃO

As rochas carbonáticas possuem um papel relevante para o setor de exploração de petróleo. Os reservatórios de hidrocarbonetos associados a essas rochas representam aproximadamente 50% da produção mundial de petróleo e têm por característica marcante sua complexidade, uma vez que são bastante heterogêneos.

As descobertas de reservas economicamente viáveis de óleo e gás associados a carbonatos de origem microbiana em diversos países, motivou o interesse em estudar depósitos modernos análogos no aspecto sedimentar, diagenético e geoquímico. No Brasil, as rochas carbonáticas ganharam um grande enfoque com a descoberta dos reservatórios carbonáticos do pré-sal.

No contexto desse novo *play* exploratório, destacam-se as rochas microbiais como uma nova frente de pesquisa. Essas rochas representam estruturas biossedimentares formadas por meio de atividades microbianas que podem tanto induzir a precipitação de minerais carbonáticos, quanto aprisionar sedimentos pré-existentes nos ambientes aquáticos. São reconhecidas no registro geológico desde o Éon Arqueano e são consideradas as mais antigas evidências da vida macroscópica na Terra, há cerca de 3,5 bilhões de anos (Srisvastava, 2002).

O Brejo do Espinho, onde este estudo foi desenvolvido, está situado 100 km a leste da cidade do Rio de Janeiro e é considerado, em termos ambientais, similar a paleodepósitos carbonáticos. Isto se deve a condições como baixa razão precipitação/evaporação e abundante presença de precipitação carbonática (Santelli *et al.*, 2006). Outras características importantes também podem ser ressaltadas, como a grande variedade de minerais carbonáticos, presença

de estruturas organossedimentares e processos atuais de dolomitização (Vasconcelos *et al.*, 2006).

Nesse trabalho foram realizadas análises de palinofácies associadas a técnicas de geoquímica orgânica (COT e S), tendo como objetivo principal caracterizar a matéria orgânica sedimentar particulada de três testemunhos curtos (BE-02, BE-07 e BE-09) retirados do Brejo do Espinho e interpretar as condições deposicionais durante sua evolução holocênica.

## 2. PALINOFÁCIES

A Palinofácies é atualmente considerada como o parâmetro mais eficaz na caracterização de fácies orgânica, pois permite uma observação direta do conteúdo orgânico das rochas sedimentares.

O conceito foi introduzido por Combaz (1964) e sua definição pode ser entendida como o “estudo palinológico do total de componentes da matéria orgânica contida em um sedimento após a remoção da matriz sedimentar (mineral) pela acidificação com HCl (ácido clorídrico) e HF (ácido fluorídrico)”.

Tyson (1995) define palinofácies como um corpo de sedimentos contendo uma assembleia distinta de matéria orgânica palinológica que reflete condições ambientais específicas, podendo estar associada a um potencial de geração de hidrocarbonetos.

A análise de palinofácies compreende o exame qualitativo e quantitativo da matéria orgânica particulada, integrando todos os seus aspectos, como a identificação dos componentes particulados individuais, determinação de suas proporções relativas e seu estado de preservação (Tyson, 1995).

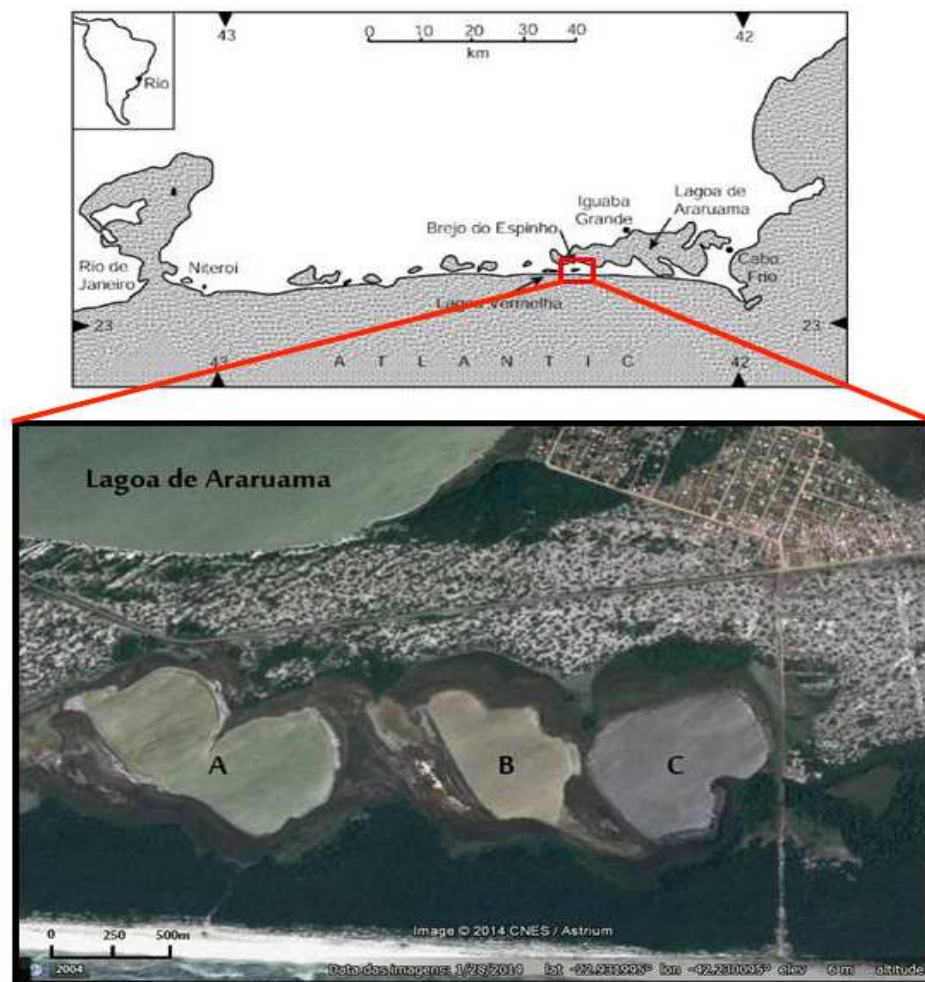
A identificação da matéria orgânica particulada obedeceu a classificação geral proposta por Tyson (1993, 1995), Vicent, 1995, Mendonça Filho (1999) e Mendonça Filho *et al.* (2002, 2010a, 2010b, 2011), indicando o uso apropriado da nomenclatura sob luz branca transmitida e luz ultravioleta incidente (fluorescência), sendo a matéria orgânica particulada dividida em três grupos principais:

1. **Palinomorfo:** refere-se a todo componente de parede orgânica resistente ao ataque com HCL (ácido clorídrico) e HF (ácido fluorídrico), sendo dividido em: esporomorfos; microplâncton de parede orgânica (marinho e água doce) e zoomorfos;
2. **Fitoclasto:** corresponde aos fragmentos de tecidos derivados de macrófitas terrestres. Primeiramente, os fitoclastos são divididos em não opacos (coloração amarelada a marrom escuro) e opacos (pretos). Os fitoclastos não opacos e opacos são subdivididos em categorias de acordo com sua morfologia, presença ou ausência de estruturas e estado de preservação. Os fitoclastos podem ser classificados em opacos (equidimensionais, alongados, corroídos e pseudo-amorfos), não opacos bioestruturados (listrados, estriados, bandados e perfurados), não opacos não-bioestruturados (degradados e não-degradados), cutículas e membranas (Tyson, 1995; Mendonça Filho, 1999; Mendonça Filho *et al.*, 2010a, 2010b, 2012a).
3. **Matéria orgânica amorfa (M.O.A.):** corresponde ao componente orgânico derivado de bactérias, fitoplâncton e agregados orgânicos degradados (Tyson, 1995; Mendonça Filho, 1999; Mendonça Filho *et al.*, 2010a, 2010b, 2012a). A MOA é caracterizada pela ausência de estruturação, contorno irregular e matriz granular heterogênea. Ocorre sob a forma de grumos ou dispersa, com diferentes tonalidades de marrom, quando analisada sob microscopia óptica de luz branca transmitida.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

O Brejo do Espinho localiza-se a cerca de 100km do Rio de Janeiro, na Região dos Lagos, entre os municípios de Araruama e Cabo Frio, nas coordenadas 22°56' S e 42°14' W. Ocupa uma suave depressão topográfica entre o primeiro e o segundo cordão arenoso da Restinga da Massambaba, em frente à Lagoa de Araruama.

Apresenta-se dividido em três compartimentos, A, B e C, conforme demonstrado na figura 1, cujas extensões e comunicações variam de acordo com as condições climáticas (Silva e Silva *et al.*, 2007).



**Figura 1-** Mapa com a localização do Brejo do Espinho (adaptado de Van Lith, 2002), destacando seus três principais compartimentos (modificado do Google Earth, 2014).



O Brejo do Espinho é um corpo aquático costeiro formado no último período de transgressão, com uma área de 1km<sup>2</sup> e uma profundidade que varia de 1,0 a 1,5m, podendo apresentar, inclusive, períodos de seca completa. A ação contínua dos frequentes ventos que sopram na região associada à baixa profundidade faz com que suas águas não apresentem estratificação (Höhn *et al.*, 1986).

O termo brejo, que deu origem ao nome da localidade, refere-se a áreas que ocupam as zonas baixas entre terraços arenosos e vales de rios e riachos, sujeitas a inundações sazonais ou permanentes (Andrade & Dominguez, 2002).

De acordo com Anjos *et al.* (2003), as trocas de água entre o Brejo do Espinho e outros corpos aquáticos adjacentes, incluindo o Oceano Atlântico, ocorrem apenas por percolação em subsuperfície através dos cordões arenosos. Estes influxos somados às chuvas e à evaporação resultam em um sistema dinâmico de águas mistas com a salinidade oscilando de salobra a hipersalina (Van Lith *et al.*, 2002).

Segundo Vasconcelos & Mackenzie (1997), o fluxo de água é controlado pelas variações climáticas. Durante a estação úmida, época em que o suprimento de águas meteóricas é mais alto, há a recarga do lençol freático, havendo um elevado fluxo de água doce para as águas do Brejo do Espinho. Durante a estação seca, período de menos chuvas e maior evaporação, a fonte de recarga de água é proveniente da água do mar infiltrada através da barreira arenosa.

Em contraste com o clima tropical úmido, característico da costa do Rio de Janeiro, a área de estudo está localizada em uma região com um micro-clima semi-árido, em resposta à intermitência de uma ressurgência costeira em Cabo Frio (Laslandes *et al.*, 2004). A intensificação da ressurgência induz a redução das chuvas e, conseqüentemente, ao aumento na evaporação e salinidade lagunar. Por outro lado, seu enfraquecimento induz efeitos

opostos. Tais situações são produzidas em uma escala interanual com importante repercussão no ambiente lagunar, especialmente na sedimentação carbonática, controlada pelo microclima local (Turcq *et al.*, 1999). A precipitação anual da região é de 700 mm e a evaporação de 1400 mm/ano (Silva e Silva *et al.*, 2004).

O Brejo do Espinho apresenta potencial para precipitação carbonática, sendo seus principais minerais calcita magnesiana, dolomita e aragonita (Anjos *et al.*, 2005).

O assoalho do brejo apresenta um tapete algal nos primeiros centímetros de sedimento. As cianobactérias são os principais agentes biológicos que compõem esses tapetes microbianos e são responsáveis pela sua acumulação, através tanto da indução da precipitação carbonática quanto pelo aprisionamento de sedimentos pré-existentes no ambiente aquático (Silva e Silva *et al.*, 2004). Em épocas de seca, há uma elevada evaporação e essas estruturas ficam expostas, desidratando-se e formando, então, uma fina crosta de carbonato (Höhn *et al.*, 1986; Santelli, 1988). Dessa forma, o sedimento torna-se rico em carbonatos, onde alternam-se lâminas carbonáticas com lâminas ricas em matéria orgânica (Santelli, 1988).

### 3.1 CONTEXTO GEOLÓGICO

O setor da planície costeira brasileira onde está localizado o Brejo do Espinho tem um *trend* regional leste-oeste, diferentemente do que ocorre com o restante da costa (norte-sul); e as características regionais de relevo são atribuídas às atividades tectônicas do Cenozóico. As principais estruturas são faixas costeiras como a Serra do Mar, o Gráben da Guanabara, os maciços costeiros e a Bacia Sedimentar de Santos (Turcq *et al.*, 1999). Dentro do Gráben da Guanabara, a planície costeira e a plataforma interna formam uma unidade morfológica contínua coberta pelas transgressões e regressões do Quaternário.

Durante o Quaternário, o litoral do Estado do Rio de Janeiro se caracterizou por variações do nível relativo do mar. Essas oscilações foram o principal mecanismo de formação e evolução dos sedimentos marinhos das áreas costeiras no Brasil (Vasconcelos, 1988).

A restinga da Massambaba é formada por um duplo sistema de cordões arenosos, sendo o mais interiorizado associado à última transgressão pleistocênica, enquanto que o mais externo corresponde à última transgressão holocênica (Muehe, 2006). Entre os dois sistemas de lagoas da região (interno e externo), a área de estudo situa-se no mais externo.

Estudos paleoambientais e paleoclimáticos indicam que o Brejo do Espinho iniciou sua formação entre 7.200 e 6.000 anos A.P. mantendo comunicação com o sistema lagunar interno até 4.100 anos A.P., sendo sua sedimentação neste período essencialmente organodetrítica. Com seu isolamento entre 4.100 e 3.900 anos A.P. em decorrência de um rebaixamento do nível do mar, a sedimentação mudou para essencialmente carbonática (Ortega, 1996). Essa paleoevolução está sintetizada no quadro 1.

**Quadro 1.** Paleoevolução do Brejo do Espinho, segundo Ortega (1996).

<b>PERÍODO (ANOS A.P.)</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>7.200 a 6.600</b>	Formação do Brejo do Espinho.
<b>6.600 a 4.100</b>	Comunicação entre os dois sistemas lagunares e sedimentação organodetrítica.
<b>4.100 a 3.900</b>	Redução do nível do mar, isolamento do sistema lagunar externo acompanhado de precipitação de carbonatos autigênicos.
<b>3.900/3.800 a 3.600</b>	Subida do nível do mar e interrupção da sedimentação carbonática.
<b>3.600 até o atual</b>	Redução contínua do nível relativo do mar. Sedimentação essencialmente carbonática.
	<b>3.600 a 2.000</b> – Período de elevada contribuição de carbonato orgânico.
	<b>3.000 a 2.500</b> – Oscilação negativa do nível do mar e formação de crostas carbonáticas.
	<b>2.800 a 2.500</b> – Eutrofização máxima.
	<b>2.000 a 800</b> – Predominância de dolomita.

O sedimento superficial do Brejo do Espinho é caracterizado pela presença de um tapete cianobacteriano. Nas camadas de subsuperfície, ocorrem diversos tipos de sedimentos carbonáticos (coquinas, estromatólitos e grainstones) e siliciclásticos (argilitos, laminitos e arenitos), associados a sistemas deposicionais costeiros. A composição mineralógicas desses sedimentos compreende de aragonita, dolomita, quartzo, calcita magnesiana, caolinita e sílica amorfa (Anjos, 1999; Anjos *et al.*, 2003).

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para esse trabalho, foram utilizados três testemunhos, retirados com a utilização de sondagens rasas (vibracores), dos bolsões A e B do Brejo do Espinho: Testemunhos BE2, BE7 e BE9 (Figura 2).



**Figura 2-** Localização dos testemunhos no Brejo do Espinho (modificado do Google Earth, 2014)

Após a abertura dos testemunhos, foi realizada a descrição dos sedimentos e, em seguida, realizada a amostragem em intervalos de 10 cm. O testemunho BE2 com 101 cm foi dividido em 10 intervalos (o último apresentando 11 cm), o testemunho BE7 com 81 cm foi dividido em 8 intervalos (o último possuindo, também, 11 cm) e o testemunho BE9 com 123 cm foi dividido em 12 intervalos (o último apresentando 13 cm), perfazendo um total de 30 amostras.

#### 4.1 Análise de Carbono Orgânico Total

O Carbono Orgânico Total (COT) é a abundância da matéria orgânica em sedimentos e é usualmente expressa como a porcentagem em peso relativo de carbono orgânico (Jarvie, 1991). A análise de COT constitui um critério inicial na avaliação do potencial de geração de hidrocarbonetos, podendo ser igualmente importante na interpretação de outros dados como a litologia, a origem da MO e o ambiente deposicional (Tyson, 1995; Tissot & Welte, 1984). Através desta análise também é possível obter o teor total de enxofre (S%) da amostra e o resíduo insolúvel (RI%).

As análises de COT e S foram realizadas com o dispositivo LECO SC 144. Os métodos adotados foram os ASTM D 4239 (American Society for Testing and Materials - ASTM, 2008) e NCEA-C-1282 (United States Environmental Protection Agency-US EPA, 2002).

O primeiro passo da preparação das amostras é a descarbonatação. Foram pesados 0,26g da amostra, previamente pulverizados, em um recipiente de porcelana filtrante (de massa conhecida). Adicionou-se ácido clorídrico (HCl) 1:1 a frio, e permaneceu em repouso por 24 horas, para eliminação da fração carbonática. Em seguida, a amostra foi lavada com água filtrada quente (100°C) para eliminação dos cloretos, durante uma hora, e depois neutralizou-se com água filtrada à temperatura ambiente, até que o pH ficasse próximo a 6 (conferindo com papel universal). Descartou-se o excesso de água e secou-se em estufa a 65°C, durante aproximadamente 3 horas. No final deste processo registrou-se o peso de cada porta-amostra.

Para combustão (queima), utiliza-se a massa inicial, ou seja, antes da acidificação, indicando no programa do equipamento o valor dessa massa inicial. No aparelho, as amostras

foram levadas a um forno numa atmosfera de oxigênio à temperatura de 1350°C. A combinação da temperatura com o fluxo de oxigênio levou a amostra à combustão total. Todo o carbono e enxofre contido na amostra sofreram oxi-redução nesse processo, formando CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>. A leitura dos gases formados foi feita pela célula de infravermelho e as concentrações foram obtidas em porcentagem.

O resíduo insolúvel (RI) é um parâmetro que foi calculado depois de analisadas as amostras. Corresponde à fração da amostra não eliminada pelo tratamento ácido, pressupondo-se que ocorreu eliminação total dos carbonatos durante a acidificação.

$$\text{RI (\%)} = \frac{\text{Peso do insolúvel} \times 100}{\text{Peso inicial da amostra.}}$$

Deste modo, é assumida uma relação entre a porcentagem de carbonato e o RI de cada amostra, que é dado pela seguinte fórmula:

$$\text{Teor de Carbonato (\%)} = 100 - \text{RI}$$

#### **4.2 Análise de palinofácies**

A preparação do material para análise de palinofácies foi realizada utilizando-se o procedimento padrão não-oxidativo descrito por Tyson (1995), Mendonça Filho *et al.* (2010; 2011a).

As amostras foram secas em estufa a 50°C e cerca de 30g foram separados para a análise de palinofácies. Foram feitos três processos de acidificação: o primeiro consistiu no uso de ácido clorídrico (37%) por 18h, para eliminar a fração carbonática; no segundo foi utilizado ácido fluorídrico (40%) por 24h, para eliminar a fração silicosa; no terceiro foi adicionado ácido clorídrico por 3h, para eliminar possíveis fluorsilicatos que possam ter sido

formados nas etapas anteriores. Sucessivas lavagens com água filtrada foram feitas entre as acidificações para neutralizar as amostras.

Uma vez os resíduos neutralizados e eliminado o excesso de água, foi adicionado cloreto de zinco (densidade = 1,9 a 2 g/cm<sup>3</sup>). Essa etapa consistiu na separação da fração orgânica da fração mineral remanescente, por densidade. O resultado desse processo foi o restante da fração inorgânica depositada no fundo do tubo e a fração orgânica suspensa. O material em suspensão foi lavado com água filtrada e ácido clorídrico (10%) para a eliminação do líquido denso. Por fim, foram confeccionadas lâminas organopalinológicas.

A análise do material foi realizada no microscópio Zeiss, modelo Axioskop 2-plus, com objetivas 10x, 20x e 40x, sob luz branca transmitida e luz azul incidente (fluorescência). Foram contadas de 300 a 500 partículas, obedecendo a classificação geral dos componentes da matéria orgânica que os divide em três grupos principais: matéria orgânica amorfa, fitoclasto e palinomorfo (Tyson, 1995; Mendonça Filho *et al.*, 2010; 2011a).

Mendonça Filho (1999) comenta que a razão principal para a contagem de 300 a 500 pontos é devida ao fato de que neste estudo muitos subgrupos dos valores totais são empregados com objetivo de calcular os vários parâmetros utilizados para interpretar as assembleias da matéria orgânica particulada. Um total de 300 a 500 partículas são necessárias para obter uma quantidade suficiente de pontos contados quando os componentes-alvo são subgrupos escassos ou raros, permitindo, assim, um cálculo confiável das porcentagens desses subgrupos.

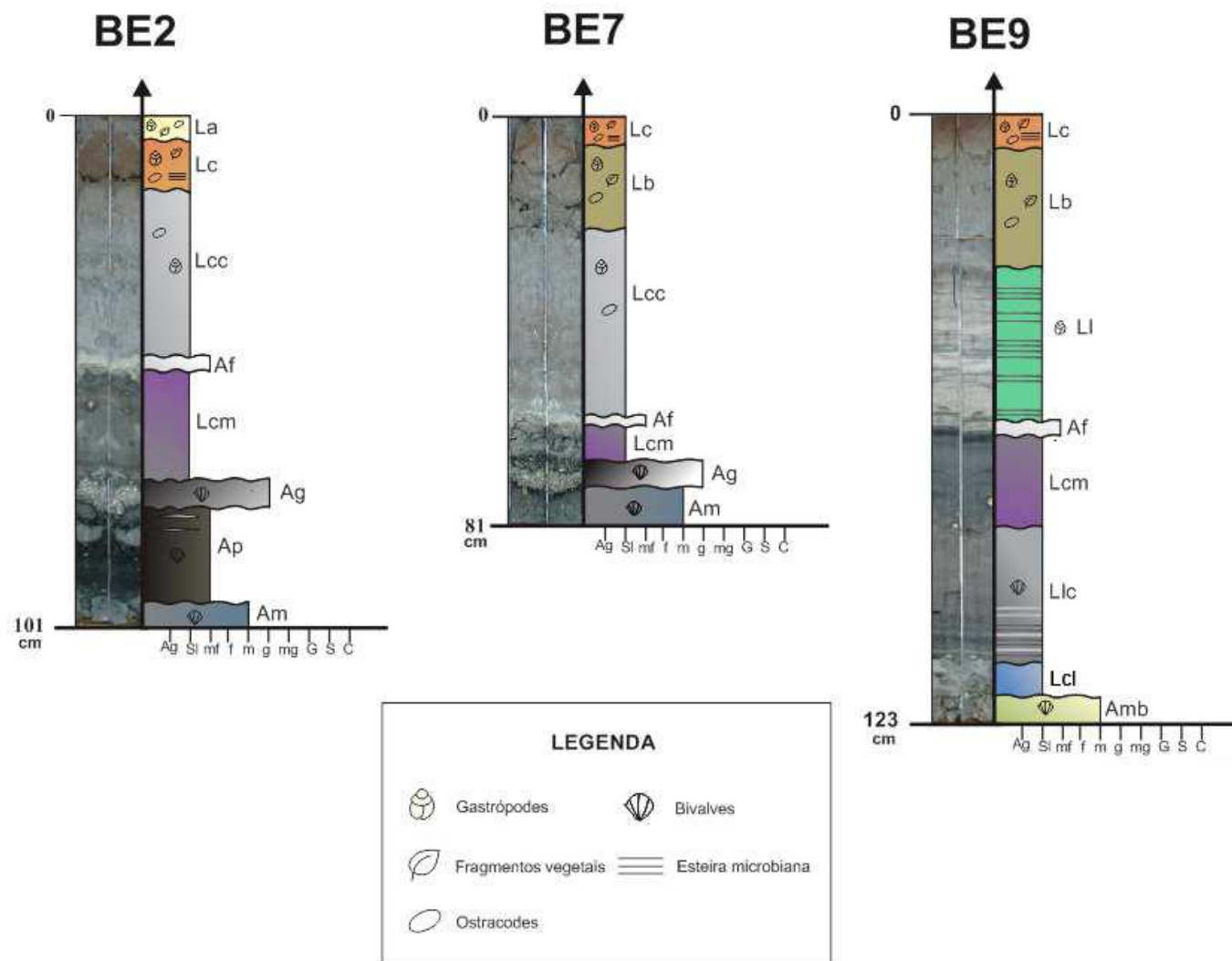
Após a contagem, os valores absolutos foram normalizados para 100% e diagramas binários foram confeccionados para uma melhor visualização dos resultados.



## **5. RESULTADOS**

### **5.1 Descrição dos testemunhos**

Os critérios utilizados para a separação das fácies foram: sedimentologia, estruturas sedimentares e conteúdo orgânico. As sequências sedimentares foram divididas em fácies representadas na Figura 3 e descritas conforme o Quadro 2.



**Figura 3:** Perfil de fácies sedimentares dos testemunhos BE2, BE7 e BE9 (Modificado de LAGESED – Geologia Sedimentar – UFRJ).

**Quadro 2:** Descrição das fácies sedimentares encontradas nos testemunhos (LAGESED – Geologia Sedimentar – UFRJ)

<b>Código</b>	<b>Diagnose</b>	<b>Descrição</b>
<b>La</b>	Lama arenosa	Sedimento de granulometria entre silte e argila, de coloração cinza claro, com abundância de partículas tamanho areia muito fina. Presença de gastrópodes, restos vegetais de cor preta a castanho escuro e ostracodes.
<b>Lb</b>	Lama bege	Sedimento de granulometria entre silte e argila, carbonático, coloração bege. Presença de areia muito fina carbonática com pouquíssimas partículas escuras e restos vegetais. Abundância de ostracodes e gastrópodes.
<b>Lc</b>	Lama castanha	Sedimento de granulometria entre silte e argila, carbonático, de coloração acastanhada. Presença de ostracodes, gastrópodes e restos vegetais. Formação de esteira microbiana de coloração avermelhada e esverdeada.
<b>Lcc</b>	Lama cinza claro	Sedimento de granulometria entre silte e argila, carbonático, de coloração cinza claro, com manchas esbranquiçadas. Presença de gastrópodes e ostracodes.
<b>Lcl</b>	Lama cinza lenticular	Sedimento de granulometria entre silte e argila, coloração cinza claro, contendo partículas de areia muito fina de carbonato e algumas lentes de lama cinza.
<b>Lcm</b>	Lama cinza médio	Sedimento de granulometria entre silte e argila, carbonático, de coloração cinza médio. Contém algumas partículas tamanho areia fina de composição carbonática, além de partículas escuras. Presença de fragmentos vegetais.

<b>Código</b>	<b>Diagnose</b>	<b>Descrição</b>
<b>Ll</b>	Lama laminada	Sedimento de granulometria entre silte e argila, coloração cinza claro, com intercalações claras e escuras, ora retilínea, ora ondulada. Presença de gastrópode.
<b>Llc</b>	Lama laminada cinza	Sedimento de granulometria entre silte e argila, coloração cinza. Na parte inferior, há intercalações de partes mais claras com partes mais escuras. Presença de bivalves e esteira microbiana.
<b>Af</b>	Areia fina	Sedimento de granulometria tamanho areia, variando de areia muito fina a fina, composição carbonática, de coloração cinza claro.
<b>Ag</b>	Areia grossa	Sedimento de granulometria tamanho areia, variando de areia média a grossa, mal selecionado, composto de grãos quartzosos subangulosos. Possui partículas escuras e grande quantidade de fragmentos de conchas de bivalves.
<b>Am</b>	Areia média	Sedimento de granulometria tamanho areia, variando de areia fina a média, mal selecionado, composto de grãos de quartzo subangulosos, coloração cinza. Presença de fragmentos de conchas de bivalves.
<b>Amb</b>	Areia média bege	Sedimento de granulometria tamanho areia média, mal selecionado, composição quartzosa, coloração bege, com abundância de conchas de bivalves e fragmentos de bivalves.
<b>Ap</b>	Areia preta	Sedimento de granulometria tamanho areia muito fina, coloração preta, apresentando pequenas lentes de areia fina quartzosa, de coloração cinza. Presença de conchas de bivalves.

## 5.2 Análise de Carbono Orgânico Total, Enxofre Total e Teor de Carbonato

Os resultados obtidos na análise de COT, S e CaCO<sub>3</sub> estão expostos nas tabelas 1, 2 e 3 para os testemunhos BE2, BE7 e BE9, respectivamente. No testemunho BE2 foram adquiridos resultados variando de 0,45 a 4,60% de COT, de 0,11 a 0,57% de S e de 4 a 96% de CaCO<sub>3</sub>. No testemunho BE7, os resultados encontrados variaram de 0,17 a 4,55% de COT, de 0,03 a 0,38% de S e de 9 a 95% de CaCO<sub>3</sub>. No testemunho BE9 os valores foram de 0,69 a 6,41% de COT, de 0,09 a 0,77% de S e de 56 a 98% de CaCO<sub>3</sub>.

**Tabela 1:** Valores percentuais de COT (Carbono Orgânico Total), S (Enxofre), CaCO<sub>3</sub> (Carbonato de Cálcio) e dos principais grupos da matéria orgânica do testemunho BE2.

Amostra	Profundidade (cm)	COT(%)	S(%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Fitoclastos (%)	MOA (%)	Palinomorfos (%)
Be2-01	10	3,40	0,27	68	3,66	92,38	3,96
Be2-02	20	3,20	0,29	57	4,01	91,36	4,32
Be2-03	30	2,35	0,20	93	1,28	96,57	1,92
Be2-04	40	1,62	0,17	91	0,33	96,72	2,62
Be2-05	50	2,20	0,28	96	1,57	96,54	1,89
Be2-06	60	3,65	0,46	93	0,98	97,39	1,63
Be2-07	70	4,60	0,57	92	1,18	96,46	2,36
Be2-08	80	1,05	0,15	26	1,19	98,15	0,90
Be2-09	90	1,60	0,28	16	1,61	96,50	2,25
Be2-10	101	0,45	0,11	4	1,03	96,22	2,41

**Tabela 2:** Valores percentuais de COT (Carbono Orgânico Total), S (Enxofre), CaCO<sub>3</sub> (Carbonato de Cálcio) e dos principais grupos da matéria orgânica do testemunho BE7.

Amostra	Profundidade (cm)	COT(%)	S(%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Fitoclastos (%)	MOA (%)	Palinomorfos (%)
Be7-01	10	4,55	0,31	88	2,15	94,79	2,76
Be7-02	20	3,70	0,29	72	2,15	96,01	1,84
Be7-03	30	2,98	0,26	94	0,97	98,06	0,97
Be7-04	40	2,85	0,30	94	0,32	98,11	1,58
Be7-05	50	3,25	0,35	95	0,33	97,71	1,63
Be7-06	60	3,48	0,38	93	0,98	97,07	1,63
Be7-07	70	1,40	0,21	78	0,66	99,02	0,33
Be7-08	80	0,17	0,03	9	0,99	97,54	1,32

**Tabela 3:** Valores percentuais de COT (Carbono Orgânico Total), S (Enxofre), CaCO<sub>3</sub> (Carbonato de Cálcio) e dos principais grupos da matéria orgânica do testemunho BE9.

Amostra	Profundidade (cm)	COT(%)	S(%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Fitoclastos (%)	MOA (%)	Palinomorfos (%)
Be9-01	10	3,98	0,24	89	3,07	93,87	3,07
Be9-02	20	2,67	0,21	92	1,26	96,86	1,89
Be9-03	30	1,86	0,18	92	1,28	96,43	1,92
Be9-04	40	2,66	0,38	95	1,30	97,08	1,62
Be9-05	50	1,84	0,27	96	1,28	98,08	0,64
Be9-06	60	1,44	0,22	98	1,01	97,65	1,34
Be9-07	70	3,37	0,48	92	1,32	97,52	0,99
Be9-08	80	4,79	0,65	78	1,00	98,00	0,67
Be9-09	90	5,49	0,73	87	1,94	98,06	0,00
Be9-10	100	5,64	0,75	87	2,22	97,47	0,32
Be9-11	110	6,41	0,77	56	0,90	98,21	0,90
Be9-12	123	0,69	0,09	58	1,31	97,65	1,04

### 5.3 Palinofácies

Na análise dos componentes orgânicos particulados, foram encontrados os três grupos da matéria orgânica: fitoclastos, matéria orgânica amorfa (MOA) e palinomorfos. As tabelas 1, 2 e 3 expõem os resultados para os três grupos, enquanto as tabelas 4, 5 e 6 apresentam os valores obtidos para os subgrupos (Testemunho BE2 – Tabelas 1 e 4; Testemunho BE7 – Tabelas 2 e 5; Testemunho BE9 – Tabelas 3 e 6).

O grupo Fitoclasto, que corresponde aos fragmentos de tecidos derivados de vegetais superiores, não apresenta valores expressiva. Os fitoclastos encontrados nas lâminas são, em sua maioria, opaco do tipo alongado (Estampa 1 - A) e corroídos (Estampa 1 – B). Estes apresentam coloração preta e não possuem fluorescência. Ocorrem também, em menores proporções, fitoclastos não-opacos, principalmente não-bioestruturados degradados. Possuem coloração variando desde marrom claro até marrom escuro e fluorescência muito baixa. Os outros componentes do grupo, como as membranas e as cutículas (Estampa 1 - C, D), aparecem em percentuais mais baixos.

A Matéria Orgânica Amorfa (MOA), que corresponde ao componente orgânico derivado de vegetais superiores, bactérias, fitoplâncton (de água doce ou marinho) e agregados orgânicos degradados, é o grupo dominante em todos os intervalos de amostragem dos três testemunhos. Em função das distintas características observadas, encontram-se divididas em dois subgrupos: MOA Pelicular e MOA em Placas.

A MOA Pelicular ocorre como partículas em películas finas, de coloração castanha clara sob luz branca transmitida, sem inclusões e com limites difusos. Sob luz azul incidente, apresenta coloração esverdeada translúcida (Estampa 2 – A, B, E, F)

A MOA em Placas exhibe limites mais definidos, de coloração acastanhada sob luz branca transmitida e contém pequenas inclusões que podem ser de pirita e/ou fragmentos de fitoclastos. Sob luz azul incidente, apresenta coloração amarela esverdeada intensa (Estampa 2 – C, D, E, F).

O grupo Palinomorfo, que se refere a todo componente de parede orgânica resistente ao ataque com HCl e HF, apresenta baixo percentual de ocorrência, sendo, em sua maioria, grãos de pólen, seguidos pelos esporos (Estampa 3 – A, B, C, D). Como representantes do microplâncton de água doce, foram encontradas microalgas do gênero *Botryococcus*, com coloração variando de amarelo a castanho médio e fluorescência amarela elevada (Estampa 3 – E, F, G, H). Também foram encontrados dinocistos das espécies *Operculodinium centrocarpum* e *Operculodinium israelianum*, representantes do microplâncton marinho (Estampa 3 – I, J, L, M)

Tabela 4: Valores percentuais dos subgrupos da Matéria Orgânica Particulada em relação ao total de Matéria Orgânica no Testemunho BE2.

	Fitoclastos				MOA		Palinomorfos			
	% F. O.	% F. N. O.	% Membrana	% Cutícula	% MOA EM PLACAS	% MOA PELICULAR	% Esporos	% Grãos de Pólen	% Brotryococcus	% Dinocistos
Be2-01	2,13	1,22	0,30	0	68,29	24,09	0,30	3,35	0,30	0
Be2-02	1,54	1,85	0,31	0,31	77,16	14,20	0,31	3,09	0,62	0
Be2-03	0	1,28	0,00	0	15,06	81,51	0	1,60	0	0
Be2-04	0	0,33	0,00	0	6,89	89,84	0,33	1,97	0	0
Be2-05	0,63	0,94	0,00	0	78,62	17,92	0	1,57	0	0
Be2-06	0,33	0,65	0,00	0	81,70	15,69	0	1,63	0	0
Be2-07	0	0,88	0,00	0,29	72,86	23,60	0,59	1,77	0	0
Be2-08	0,30	0,30	0,60	0	18,93	79,22	0	0,60	0	0,30
Be2-09	0	0,64	0,64	0,32	28,97	67,52	0	1,93	0	0,32
Be2-10	0,34	0,34	0,34	0	30,93	65,29	0	1,72	0	0,69

Tabela 5: Valores percentuais dos subgrupos da Matéria Orgânica Particulada em relação ao total de Matéria Orgânica no Testemunho BE7.

	Fitoclastos				MOA		Palinomorfos			
	% F. O.	% F. N. O.	% Membrana	% Cutícula	% MOA EM PLACAS	% MOA PELICULAR	% Esporos	% Grãos de Pólen	% Brotryococcus	% Dinocistos
Be7-01	1,23	0,92	0	0	47,85	46,93	0,31	2,15	0,31	0
Be7-02	0,92	0,61	0,61	0	61,35	34,66	0,31	1,53	0	0
Be7-03	0	0	0,65	0,32	65,05	33,01	0	0,97	0	0
Be7-04	0,32	0,00	0	0	88,01	10,09	0	1,26	0	0
Be7-05	0,33	0	0	0	90,85	6,86	0	1,63	0	0
Be7-06	0,33	0,33	0,33	0	91,21	5,86	0	1,63	0	0
Be7-07	0,33	0,33	0	0	23,28	75,74	0,33	0	0	0
Be7-08	0,33	0,33	0	0,33	50,50	47,04	0	0,99	0	0,33



Tabela 6: Valores percentuais dos subgrupos da Matéria Orgânica Particulada em relação ao total de Matéria Orgânica no Testemunho BE9.

	Fitoclastos				MOA		Palinomorfos			
	% F.O.	% F. N. O.	% Membrana	% Cutícula	% MOA EM PLACAS	% MOA PELICULAR	% Esporos	% Grãos de Pólen	% Brotryococcus	% Dinocistos
Be9-01	1,53	0,92	0,31	0,31	67,79	26,07	0	2,76	0,31	0
Be9-02	0,94	0,31	0	0	54,72	42,14	0	1,89	0	0
Be9-03	0,32	0,64	0,32	0	48,06	48,38	0	1,92	0	0
Be9-04	0,32	0,97	0	0	30,52	66,56	0	1,62	0	0
Be9-05	0,64	0,64	0	0	27,24	70,83	0	0,32	0	0
Be9-06	0,34	0,67	0	0	14,43	83,22	0	1,34	0	0
Be9-07	0,33	0,33	0	0,66	68,74	28,78	0	0,99	0	0
Be9-08	0,67	0	0,33	0	88,33	9,67	0	0,67	0	0
Be9-09	0,32	0,97	0,65	0	64,72	33,33	0	0	0	0
Be9-10	0,63	0,95	0,63	0	86,39	11,08	0	0,32	0	0
Be9-11	0,60	0	0	0,30	95,22	2,99	0	0,60	0	0,30
Be9-12	0	0,78	0	0,52	0,26	97,39	0,26	0,52	0	0,26

#### 5.4 Correlação entre fácies sedimentares, análises geoquímicas e palinofácies

A fácies **Lc** aparece no topo dos três testemunhos (Figuras 4, 5 e 6). Trata-se de uma lama acastanhada em que são encontradas esteiras microbianas. Apesar das análises terem ocorrido associadas a outras fácies, é possível sugerir que esta fácies possui um elevado valor de COT e a matéria orgânica particulada predominante é a MOA em Placas.

A fácies **Lcc** aparece no testemunho BE2 e BE7 (Figuras 4 e 5), porém com resultados opostos. No testemunho BE2, há o predomínio da MOA Pelicular e um valor de COT mais baixo (média de 1,9%), já no testemunho BE7, a MOA em Placas predomina e a média do valor de COT é mais elevada (3,1%). Uma possível explicação para isto é a localização dos testemunhos, que estão distantes, aproximadamente, 900 metros. Estes valores podem sugerir

condições de produção e/ou preservação da matéria orgânica, sendo maiores no testemunho BE7, que apresenta maior valor de COT.

A fácies **Af** aparece nos três testemunhos (Figuras 4, 5 e 6), porém em intervalos muito pequenos e suas análises foram feitas associadas a outras fácies, o que compromete seus valores. Trata-se de uma areia muito fina carbonática e, em todos os casos, aparece em contato com a fácies **Lcm**.

A fácies **Lcm** também aparece nos três testemunhos (Figuras 4, 5 e 6), porém no BE7 a amostragem foi feita associada a fácies **Am**, o que pode ter alterado seus resultados, por isso foram usados os valores encontrados nos testemunhos BE2 e BE9. Esta fácies apresenta um valor de COT elevado (média de 4,3%) e há o predomínio da MOA em Placas. No testemunho BE2, nesta fácies foram verificados os picos máximos dos valores percentuais de COT e MOA em Placas (4,6% e 81,70%, respectivamente) e o menor registro de MOA Pelicular (15,69%).

A fácies **Ag** ocorre nos testemunhos BE2 e BE7 (Figuras 4 e 5). No testemunho BE7, a fácies **Lcm** foi amostrada juntamente a fácies **Ag** e seu valor de COT foi de 1,4%, bem abaixo da média de 4,3% de quando foi analisada isolada. Os valores encontrados para os tipos de MOA também foram diferentes: menores para a MOA em Placas e maiores para a MOA Pelicular. Assim é possível sugerir que seja uma camada com baixíssimo valor de COT e altos valores de MOA Pelicular, a qual foi responsável por alterar os valores esperados para a fácies **Lcm** no testemunho BE7.

A fácies **Ap** aparece apenas no testemunho BE2 (Figura 4). Trata-se de uma areia muito fina, de coloração preta e possui baixo teor de COT (1,6%), com predomínio de MOA Pelicular (66,04%).

A fácies **Am** aparece na base dos testemunhos BE2 e BE7 (Figuras 4 e 6). Mesmo a amostragem sendo realizada com outras fácies, é possível sugerir que se trata de um intervalo que registra o menor valor de COT e o menor valor de  $\text{CaCO}_3$  dos testemunhos a qual pertencem.

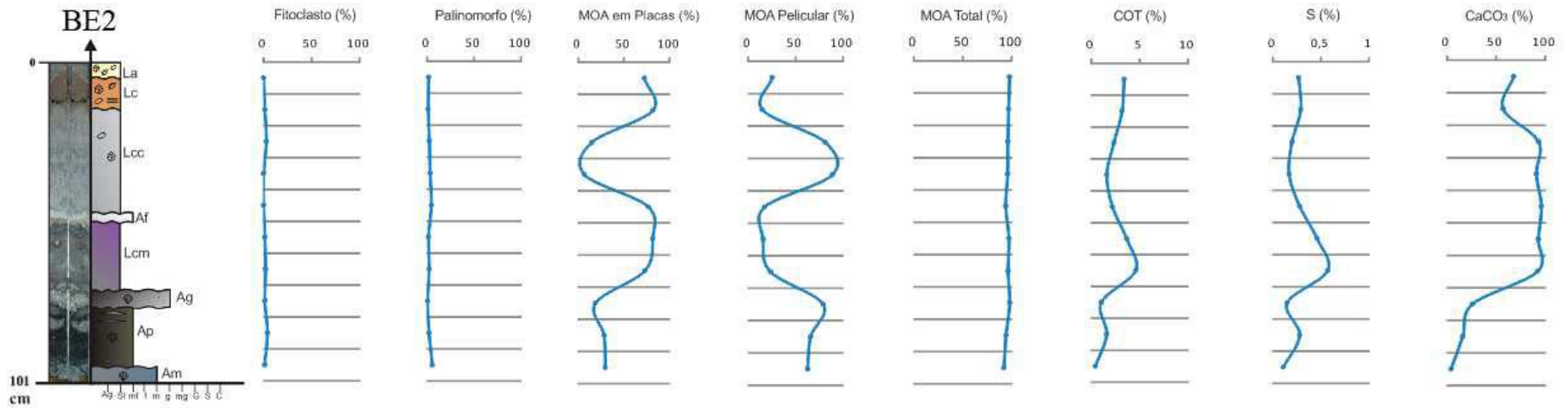
A fácies **Lb** ocorre nos testemunhos BE7 e BE9 (Figuras 5 e 6). No BE7, o valor de COT é mais elevado quando comparado ao BE9 (médias de 3,7% e 2,3%, respectivamente), mas em ambos os testemunhos há o predomínio da MOA em Placas.

A fácies **La** aparece apenas no topo do testemunho BE2 (Figura 4). Trata-se de uma lama cinza claro com abundância de partículas de areia muito fina. Apesar da amostragem ter sido realizada concomitante a fácies **Lc**, pode-se dizer que é um intervalo com um elevado valor de COT.

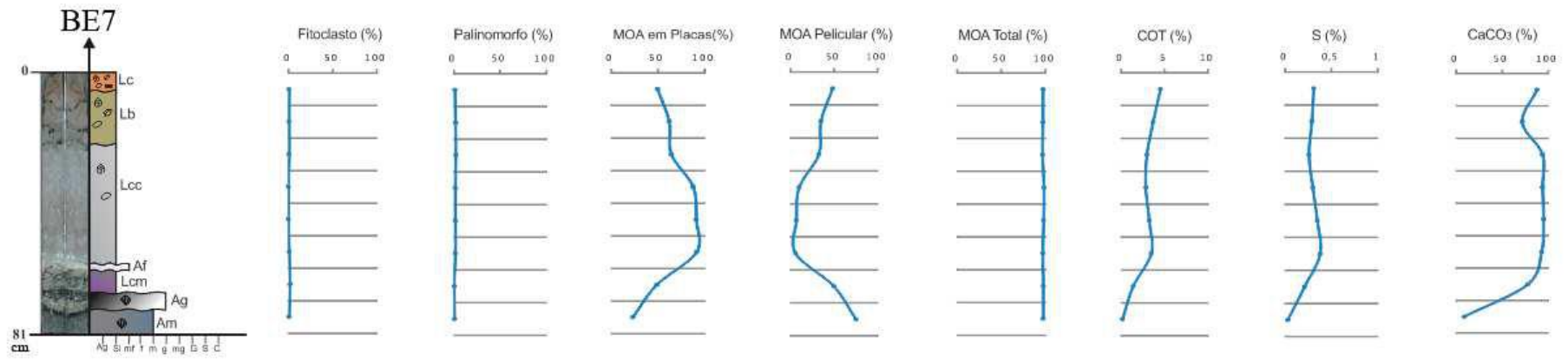
A fácies **LI** aparece apenas no testemunho BE9 (Figura 6) e trata-se de uma lama com laminações claras e escura, ora retilínea, ora ondulada. Possui um valor de COT de, em média, 2% e ocorre o predomínio da MOA Pelicular.

A fácies **Llc** aparece apenas no testemunho BE9 (Figura 6), sendo composta de uma lama de coloração cinza com laminações em sua parte inferior. Este intervalo foi o que registrou os maiores valores de COT (atingindo 6,41%) e de MOA em Placas (95,22%) e, em contrapartida, o menor valor de MOA Pelicular (2,99%).

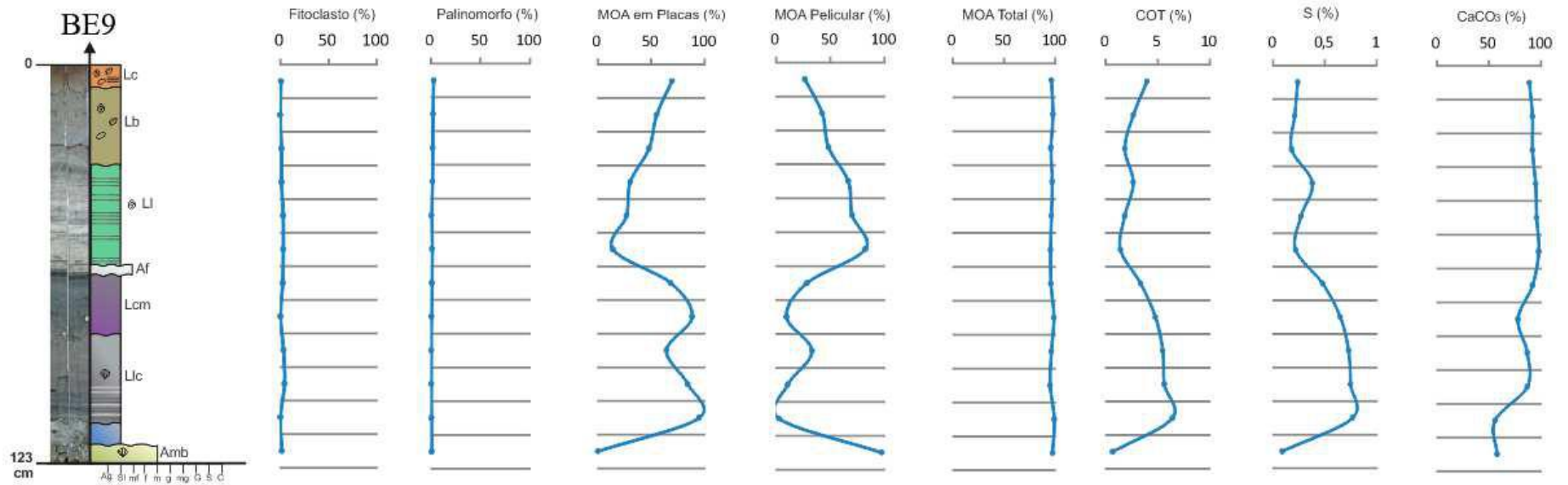
A fácies **Amb** aparece somente na base do testemunho BE9 (Figura 6). Apesar de sua amostragem ter sido realizada junto à fácies **Lcl**, essas duas fácies fora amostradas juntas e pertencem ao intervalo do testemunho BE9 que possui o segundo menor valor de  $\text{CaCO}_3$  (58%) e o menor valor de COT (0,69%).



**Figura 4:** Gráfico percentual das análises geoquímicas do testemunho BE2.



**Figura 5:** Gráfico percentual das análises geoquímicas do testemunho BE7.



**Figura 6:** Gráfico percentual das análises geoquímicas do testemunho BE9.

## 6. DISCUSSÃO

### 6.1 PALINOFÁCIES

O grupo de matéria orgânica predominantemente encontrado nos testemunhos estudados foi a Matéria Orgânica Amorfa (MOA). Nesse trabalho, a MOA foi dividida entre MOA em Placas e MOA Pelicular. Isso foi feito pois trabalhos anteriores já haviam considerado classificar a MOA em grupos com características diferentes sob a escala da luz do microscópio (Chagas, 2009; Mendonça Filho *et al.*, 2010; Pacton, 2011).

Segundo Mendonça Filho e colaboradores (2010), a MOA Pelicular pode ser derivada da atividade microbiana através das bactérias autotróficas e fotossintéticas que produzem mucilagem (EPS – Substância Polimérica Extracelular). Possui uma morfologia que está associada à natureza da matriz mineral, onde a sua produção ocorre simultaneamente à precipitação dos carbonatos e pode apresentar estruturas em crateras, devido à remoção dos minerais carbonáticos pela dissolução por HCl (Combaz, 1980; Mendonça Filho *et al.*, 2010b). A MOA Pelicular está geralmente associada a um baixo teor de COT (Mendonça Filho *et al.*, 2010a).

O material mucilaginoso também pode sofrer retrabalhamento microbiológico em condições redutoras (colônias de bactérias heterotróficas retrabalham o EPS produzido pelas bactérias autotróficas) e aparecer com um aspecto denso, altamente fluorescente, numa forma de placa, que é o caso da MOA em Placas (Mendonça Filho *et al.*, 2010a). Neste caso, a matéria orgânica é geralmente associada a um maior teor de COT (Mendonça Filho *et al.*, 2010a), o que pode ser confirmado em parte neste estudo, já que os picos da MOA em Placas coincidem com os picos dos valores de COT, enquanto que nas camadas onde a MOA Pelicular predomina, são encontrados valores de COT mais baixos. Ruídos na discordância

podem estar relacionados à transição entre MOA em Placas e MOA Pelicular; na cor intermediária na luz branca transmitida entre escura e clara.

A elevada abundância relativa de MOA exibindo intensa coloração de fluorescência é característica de áreas de alta preservação de matéria orgânica devido às condições redutoras, especialmente em áreas de alta produtividade primária (Tyson, 1993, 1995).

Ercegovac & Kostic (2006) sugerem que a MOA em Placas com possíveis inclusões de pirita e fitoclasto é formada em condições associadas à atividade de bactérias sulfato-redutoras. O enxofre orgânico, como também a pirita, deve sua entrada no sistema à atividade dessas mesmas bactérias, que se desenvolvem melhor em condições de pH por volta de 6,5-8 (Taylor *et al.*, 1997). Foi verificada neste trabalho essa possível associação da MOA em Placas aos valores de S, uma vez que há uma correlação entre suas curvas percentuais. Assim, além de placas, a MOA apresenta a característica de ter inclusões.



## 6.2 EVOLUÇÃO DEPOSICIONAL

Reunindo as análises de sedimentologia, palinofácies e geoquímica orgânica obtidas neste estudo, foi possível dividir os testemunhos em três intervalos, que representam a evolução deposicional no Brejo do Espinho, denominados, da base para o topo: intervalos **I**, **II** e **III** (Figura 7). Dessa forma, estes intervalos refletem as principais mudanças ambientais registradas no brejo.

O intervalo I, representando a porção inferior dos três testemunhos, apresentou o teor de  $\text{CaCO}_3$  com o percentual mais baixo (Tabelas 1, 2 e 3), indicando maior contribuição de fração siliciclástica. O testemunho BE9, apesar de apresentar o  $\text{CaCO}_3$  da porção inferior mais baixo que as demais, ainda assim gira próximo a 50%, indicando uma sedimentação mista, parte carbonática, parte siliciclástica. As fácies deste intervalo são caracterizadas por sedimentação arenosa, quartzosa e com grande quantidade de conchas de bivalves quebradas, indicando um momento de maior energia no sistema.

Neste intervalo, foram encontrados representantes dos palinomorfos marinhos, os dinocistos das espécies *Operculodinium centrocarpum* e *Operculodinium israelianum*. Embora tenham apresentado baixos percentuais na contagem de palinofácies, sua ocorrência não deve ser ignorada, pois é de extrema importância. E como estão associados a fácies arenosas, podem não ter sido preservados, já que sedimentos finos preservam melhor a matéria orgânica. Segundo Dale (2001), os dinocistos são depositados exclusivamente em ambientes marinhos, o que indica uma influência marinha no brejo. Tal influência marinha se daria por meio de pulsos transgressivos através da maré de sizígia (Vasconcellos, 1988).

A espécie *Operculodinium centrocarpum* é uma espécie encontrada em ambientes com águas agitadas e sem estratificação, corroborando com os resultados de Höhn *et al.* (1986) e a espécie *O. israelianum* pode indicar períodos de maior aquecimento da água (Dale, 2001).

O intervalo I pode ser correlacionado a Facies Ambiental III, de Barbosa (2003), datada entre 6.724 anos A.P e 4.486 anos A.P (219,0 cm - 147,0 cm), constituindo o primeiro momento de isolamento do brejo, ainda com a presença transgressiva do mar, registrada pela presença de dinocistos.

O intervalo II corresponde à porção central dos testemunhos e apresentou um aumento do teor de CaCO<sub>3</sub>, provavelmente refletindo o momento de transição de um ambiente siliciclástico para um ambiente mais carbonático. Dessa forma, a deposição sedimentar iniciou uma nova fase, a qual, pelo menos de forma direta, não mais sofreu com a influência marinha. As fácies deste intervalo são caracterizadas, predominantemente, por sedimentos de granulometria fina (silte e argila), com mais matéria orgânica, alguns apresentando laminação, indicando um ambiente mais estável e de menor energia.

O aumento nos valores de COT pode estar associado a uma condição de aumento na produtividade do sistema e/ou de maior preservação da matéria orgânica, influenciado por um sistema com maior lâmina d'água, possível anoxia do fundo e sedimentação de material fino (Mendonça Filho *et al.*, 2011).

O intervalo II pode ser correlacionado a Fácies Ambiental IV de Barbosa (2003), datada entre 4.486 A.P. e 2.200 anos A.P. (147,0 cm - 70,0 cm), que representa o período de total isolamento do Brejo, sem contato direto com o mar.

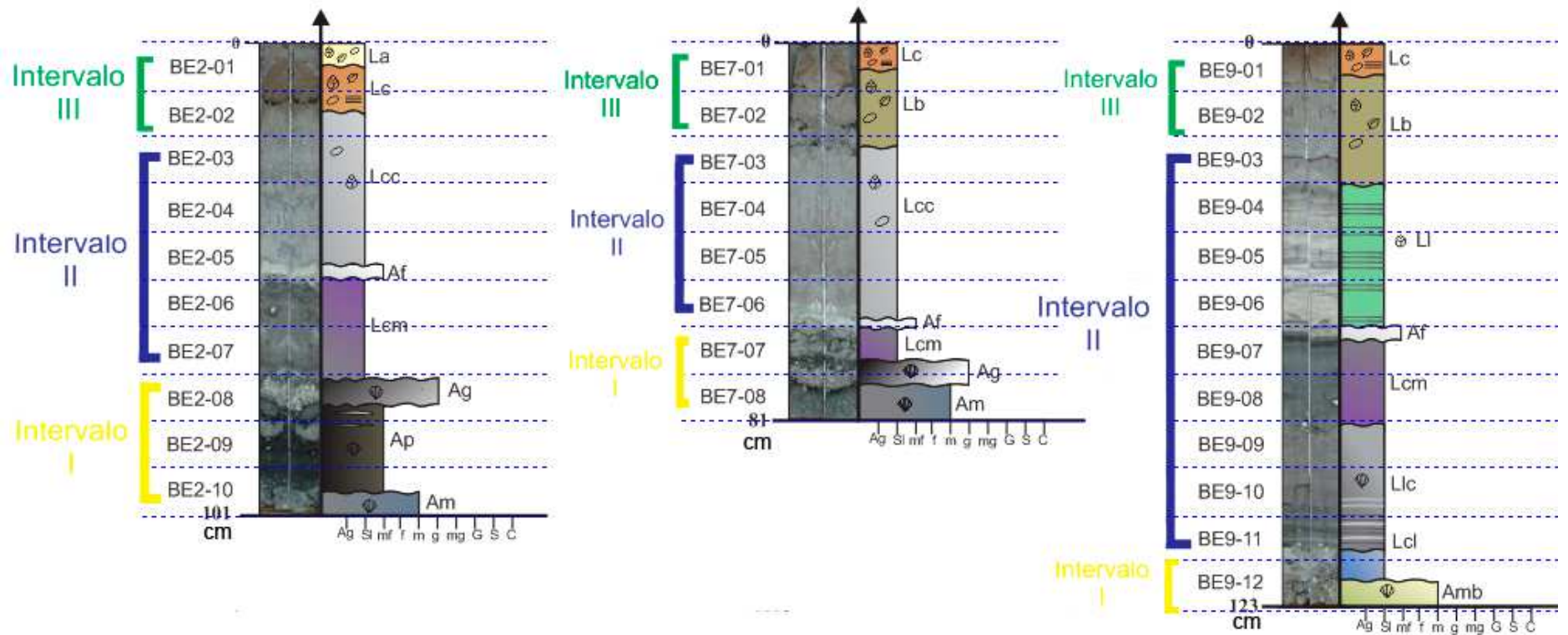
O intervalo III, representando o topo dos testemunhos, pode ser correlacionado a Fácies Ambiental V, de Barbosa (2003), situada entre 2.200 anos A.P. (70 cm), e hoje

constitui a fase de total isolamento do Brejo do Espinho. Foi caracterizada por uma sedimentação essencialmente carbonática, marcada por laminações orgânicas e finalmente recoberto por um tapete algal vivo.

Neste intervalo, observou-se uma diminuição do teor de  $\text{CaCO}_3$  em relação ao intervalo subjacente. Segundo Delfino (2009), próximo ao compartimento C do Brejo do Espinho situa-se uma duna, fixada por vegetação de restinga na maior parte de sua extensão. Durante o período de cheia lagunar, foram observados grãos de quartzo dentro do brejo, que provavelmente foram transportados desta duna pelo vento. Tais grãos de quartzo podem ser os responsáveis pela diminuição do teor de  $\text{CaCO}_3$  neste intervalo, contribuindo com o aumento da fração siliciclástica.

Outro ponto importante é a ocorrência de microalgas de água doce do gênero *Botryococcus*. A presença desses organismos indica que houve chegada de água doce, através da variação do lençol freático, que baixou a salinidade, permitindo o desenvolvimento dessas microalgas.

Neste intervalo foram observados os picos máximos dos percentuais de fitoclastos e palinórfos, atingindo 4,01% e 4,32%, respectivamente. Os palinórfos encontrados foram predominantemente do subgrupo esporórfos. Os fitoclastos correspondem aos fragmentos de tecidos derivados de vegetais superiores. Segundo Mendonça Filho *et al.* (2012a), os esporórfos podem ser produtos de Pteridófitas e Briófitas (esporos) ou de Gimnospermas e Angiospermas (grãos de pólen), ambos possuem origem terrestre. A presença dessas partículas nas lâminas corrobora com a ideia do influxo de água doce, que pode ter transportado esses fragmentos para o interior do Brejo do Espinho.



**Figura 7:** Testemunhos divididos em intervalos que representam a evolução ambiental do Brejo do Espinho, da base para o topo: intervalos I, II e III

## 7. CONCLUSÃO

A matéria orgânica particulada predominante nos três testemunhos foi a Matéria Orgânica Amorfa (MOA), que foi dividida em MOA Pelicular e MOA em Placas.

A MOA Pelicular é derivada das bactérias autotróficas que produzem EPS e está geralmente associada a um baixo valor de COT. Já a MOA em Placas deriva do retrabalhamento do EPS por bactérias heterotróficas e está associada a um maior teor de COT.

Os testemunhos foram divididos em três intervalos que refletem as principais mudanças ambientais registradas no Brejo do Espinho, representando sua evolução holocênica.

**Intervalo I:** Caracterizado por um valor de  $\text{CaCO}_3$  mais baixo e fácies sedimentares de granulometria mais grossa, com abundância de conchas de bivalves quebradas, sugerindo um momento de maior energia no sistema. A influência marinha se daria por meio de pulsos transgressivos, como mostra o registro de dinocistos das espécies *Operculodinium centrocarpum* e *Operculodinium israelianum*, organismos característicos de ambientes marinhos.

**Intervalo II:** Reflete o momento de transição de um ambiente siliciclástico para um ambiente mais carbonático, evidenciado pelo aumento do valor de  $\text{CaCO}_3$  e fácies sedimentares de granulometria mais fina (silte e argila), indicando um ambiente mais estável e de menor energia.

**Intervalo III:** Caracterizado por uma sedimentação essencialmente carbonática, recoberta por um tapete algal vivo. Ocorrência de microalgas do gênero *Botryococcus*, sugerindo que houve chegada de água doce, através da variação do lençol freático. Também foram registrados os picos percentuais máximos de fitoclastos e palinomorfos, o que corrobora com a ideia de influxo de água doce, que pode ter transportado esses fragmentos para o interior do Brejo do Espinho.

Seria importante promover uma amostragem em cada fácies sedimentares, para as análises não sofrerem interferência e oferecerem resultados mais precisos, mostrando melhor a relação das análises geoquímicas com a sedimentologia.

Além disso, a pouca variação nos dados de palinofácies poderia ser sanada com estudos de biomarcadores, que são estruturas básicas de moléculas biológicas preservadas e podem dar maiores informações sobre as condições ambientais.

## **8. AGRADECIMENTOS**

Ao Projeto Lagoas: Caracterização estratigráfica, sedimentológica, geoquímica e de fácies orgânicas das Lagoas Salgada, Vermelha e Brejo do Espinho (Parte II). Convênio específico 26 do termo de cooperação nº 0050.0023165.06.4., que faz parte de um convênio da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) com a Petrobras, coordenado pelo Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho (UFRJ).

Ao laboratório de Geologia Sedimentar da Universidade Federal do Rio de Janeiro – LAGESED, coordenado pelo Prof. Dr. Leonardo Borghi da Fonseca, por fornecer o registro fotográfico e a descrição dos testemunhos, e à geóloga Gisele Giseé Furukawa (LAFO) que também contribuiu com as descrições.

Aos orientadores, pesquisadores, técnicos e alunos do Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânicas (LAFO).

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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, A. C. S. & DOMINGUEZ, J. A. L. 2002. Informações geológico-geomorfológicas como subsídios à análise ambiental: O exemplo da planície costeira de Caravelas – Bahia. *Boletim Paranaense de Geociências*, 51:9-17.
- ANJOS, A.P.A.; SIFEDDINE, A.; PATCHINEELAM, S. R.; TURCQ, B. J. & ABRÃO, J. J. 2005. Dolomita e calcita magnésiana: Análise paleoambiental na lagoa Brejo do Espinho (RJ/Brasil). In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 10, 2005. *Resumos expandidos*, Guarapari.
- ANJOS, A.P.A., SIFEDDINE, A., PATCHINEELAM, S.R. & TURCQ, B., 2003, Dolomita em lagoa hipersalina holocênica no norte fluminense do Rio de Janeiro. 2003. 9. Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Recife, 97p
- ANJOS, A.P.A. 1999. *Caracterização da sedimentação atual de lagoas costeiras do litoral do Estado do Rio de Janeiro para fins de calibração de acordo com as variações paleoambientais e paleoclimáticas*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal Fluminense, Dissertação de Mestrado, 133 p.
- BARBOSA, D. S. 2003. Sedimentação Orgânica na Lagoa Brejo do Espinho (Cabo Frio, RJ): Composição e Implicações Paleoclimáticas. Niterói, 90p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, 2003.
- CHAGAS, R. B. A.; Mendonça Filho, J.G. & Mendonça, J.O. 2009. Caracterização Palinofaciológica de uma Sucessão Sedimentar Oligocênica da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 12(3): 257-266.
- COMBAZ, A. 1980. Les kérogènes vus au microscope. In: DURAND, B. (ed.) Kerogen. Éditions Technip, Paris, p. 55-111.



- COMBAZ, A. 1964. Les palynofaciès. *Revue de Micropaléontologie*, 7: 205-218.
- DALE, B. 2001. The sedimentary record of dinoflagellate cysts: looking back into the future of phytoplankton blooms. *Scientia Marina* , 65: 257-272.
- DELFINO, D. O. 2009. *Caracterização sedimentológica, química e cianobacteriana, e interpretação ecológica das esteiras microbianas do Brejo do Espinho, RJ, Brasil*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 205 p.
- ERCEGOVAC, M., KOSTIC, A., 2006. Organic facies and palynofacies: nomenclature, classification and applicability for petroleum source rock evaluation. *International Journal of Coal Geology* 68, 70–78.
- HÖHN, A., TOBSCHAL, H. J. & MADDOCK, J. E. L. 1986. Biogeochemistry of a hypersaline lagoon east of Rio de Janeiro, Brazil. *The Science of the total environment*. Amsterdam Elsevier Science, 58: 175-185.
- LASLANDES, B., SYLVESTRE, F., SIFEDDINE, A., TURCQ, B. J., ALBUQUERQUE, A. L., LALLIER- VERGÈS, E., ABRÃO, J. J. 2004. Contribution des assemblages de diatomées à la reconstitution de la variabilité hydrologique dans les lagunes de Cabo frio (Rio de Janeiro, Brésil) à l'holocène. In: Colloque de l'Adlaf Orleans, 23, 2004.
- MENDONÇA FILHO, J.G. 1999. Aplicação de estudos de palinofácies e fácies orgânica em rochas do Paleozóico Superior da bacia do Paraná, sul do Brasil. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 338 p.
- MENDONÇA FILHO, J.G., CHAGAS, R.B.A., MENEZES, T.R., MENDONÇA, J.O., da Silva, F.S., Sabadini-Santos, E., (2010a). Organic facies of the Oligocene lacustrine system in the Cenozoic Taubaté basin, Southern Brazil. *International Journal of Coal Geology*, v. 84, 166 - 178.

- MENDONÇA FILHO, J.G.; MENEZES, T.R.; MENDONÇA, J.O.; OLIVEIRA, A.D.; CARVALHO, M.A.; SANT'ANNA, A.J. & SOUZA, J.T. 2010. Palinofácies. *In*: I.S. Carvalho (Ed.) *Paleontologia*, Editora Interciência, p. 289-323.
- MENDONÇA FILHO J.G., MENEZES T.R., MENDONÇA, J.O., OLIVEIRA, A.D., CARVALHO, M.A., SANT'ANNA A.J., SOUZA J.T., 2010b. Palinofácies. *In*: Carvalho, I.S. (Ed.), *Paleontologia 3*, Interciência, Rio de Janeiro, vol. 2, 379-413.
- 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, 2011a, p. 17-23.
- MENDONÇA FILHO, J. G. et al., - Aplicação da faciologia orgânica no modelo sedimentológico-estratigráfico do Oligo-Mioceno e Mioceno da Bacia de Campos  
Mendonça Filho, J. G. et al. *Boletim Geociências Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 153-177, maio/nov. 2012a
- MUEHE, D. 2006. Gênese da morfologia do fundo da Lagoa de Araruama e cordões litorâneos associados. *In*: Simpósio nacional de geomorfologia / Regional conference on geomorphology. *Geomorfologia tropical e subtropical: processos, métodos e técnicas*, 6, Goiânia, 2006. Resumos expandidos, Goiânia.
- ORTEGA, L. A. T. 1996. Variations pléohydrologiques et paléoclimatiques d'une région d'upwelling au cours de l'Holocène: enregistrement dans les lagunes côtières de Cabo Frio (Etat de Rio de Janeiro, Brésil). L'Universite Pierre et Marie Curie, Tese de Doutorado.
- PACTON, M.;GORIN, G. E. & VASCONCELOS, C. O. 2011. Amorphous Organic Matter – Experimental Data on Formation and the Role of Microbes. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 166: 253-267.
- SANTELLI, R. C. L. 1988. *Estudos de isótopos estáveis em sedimentos carbonáticos da Lagoa Vermelha – RJ*. Programa de Pós-graduação em Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 95 p.

- SANTELLI, R. C. L.; WAGENER, A. L. R.; WAGENER, K. & PATCHINEELAMB, S. 2006. Assessing Past Environmental Changes through Sediment Records in a Hypersaline Lagoon. *Croatica Chemica Acta*, 79 (1): 129-141.
- SILVA E SILVA, L. H.; DELFINO, D. O.; FEDER, F.; LOPES, F. A. S. & GUIMARÃES, T. B. 2007. Tapetes microbianos lisos estratificados do Brejo do Espinho, RJ, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ*, 30 (1): 181-187.
- SILVA E SILVA, L. H.; SENRA, T.C.L.M.; FARUOLO T.C.L.M; CARVALHAL, S. B. V.; ALVES, S. A. P. M. N.; DAMAZIO, C. M.; SHIMIZU, V. T. A.; SANTOS, R.C. & IESPA, A.A.C. 2004. Composição paleobiológica das construções estromatolíticas da Lagoa Vermelha RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7 (2): 193-198.
- SRIVASTAVA, N. K. 2002. Lagoa Salgada, RJ - Estromatólitos recentes. *In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M. & BERBERT-BORN, M. L. C. (eds.) Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília, DNPM/CPRM, p. 203- 209.
- TISSOT, B.P., WELTE, D.H., 1984. *Petroleum Formation and Occurrence* (Second revised edition), Springer-Verlag, Berlin, 699pp.
- TURCQ, B.; MARTIN, L.; FLEXOR, J. M.; SUGUIO, K.; PIERRE, C. & TASAYACO-ORTEGA, L. 1999. Origin and Evolution of the Quaternary Coastal Plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. *In: Environmental Geochemistry os Coastal Lagoon Systems, Rio de Janeiro, Brazil*, p. 25-46.
- TYSON, R.V., 1993. Palynofacies Analysis. *In: Jenkins, D.J. (Eds.). Applied micropaleontology*, Kluwer Academic Publishers, pp. 153-191.
- TYSON, R.V., 1995. *Sedimentary Organic Matter. Organic facies and palynofacies*. Chapman and Hall, Londres, 615 pp.
- VAN LITH, Y., VASCONCELOS, C., WARTHMAN, R., MARTINS, J.C.F., MCKENZIE, J.A., 2002. Bacterial sulfate reduction and salinity: two controls on dolomite precipitation in Lagoa Vermelha and Brejo do Espinho (Brazil). *Hydrobiologia* 485, 35–49.

- VASCONCELOS, C.O. 1988. *Sedimentologia e Geoquímica da Lagoa Vermelha – Um exemplo de Formação e Diagênese de Carbonatos*. Programa de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Dissertação de Mestrado, 63p.
- VASCONCELOS, C. O.; MCKENZIE, J. A. 1997. Microbial mediation of modern dolomite precipitation and diagenesis under anoxic conditions (Lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brazil). *Journal of Sedimentary Research*, 67: 378–390.
- VASCONCELOS, C. O.; WARTHMAN, R.; MCKENZIE, J. A.; VISSCHER, P. T.; BITTERMANN, A. G. & LITH, Y. 2006. Lithifying microbial mats in Lagoa Vermelha, Brazil: Modern Precambrian relics? *Sedimentary Geology*, 185: 175-183.

**ANEXO**  
**PALINOFÁCIES**

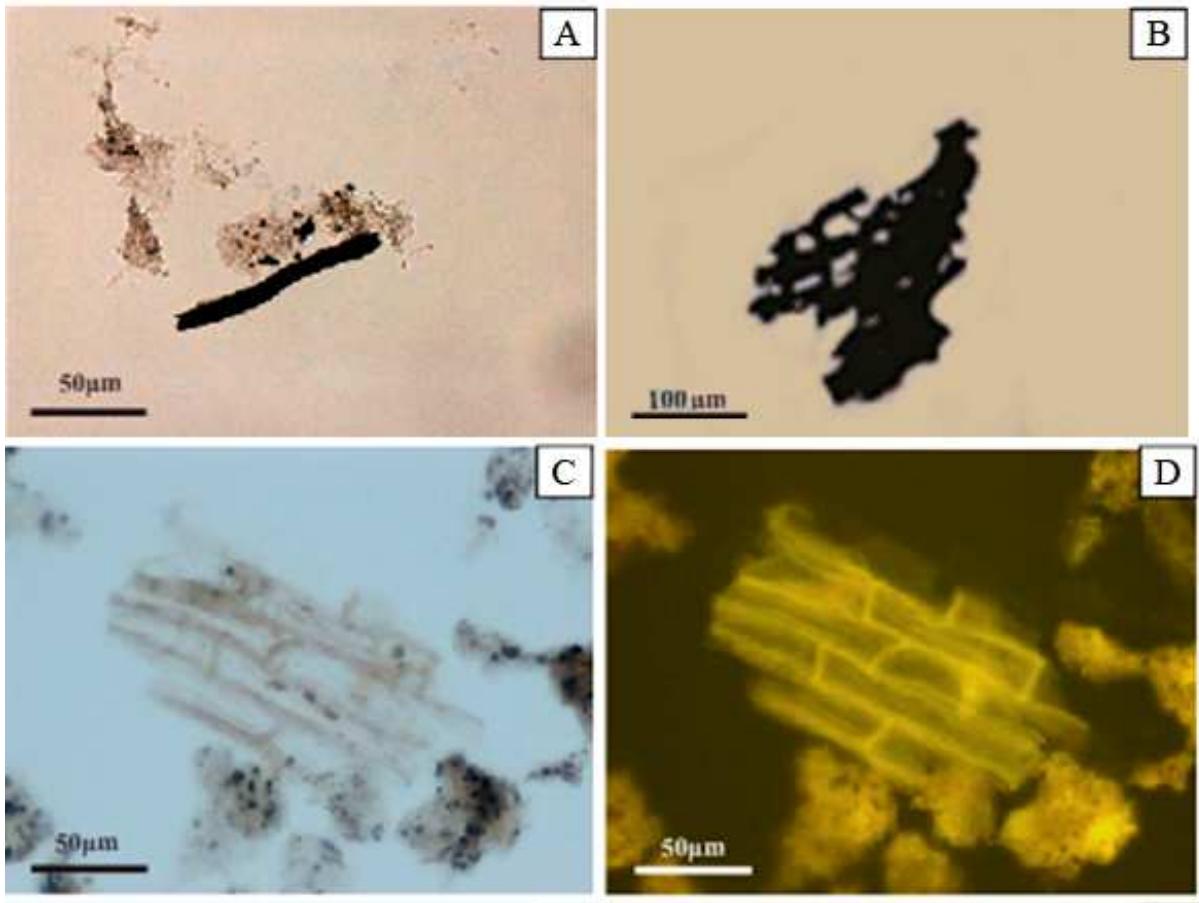
### **Legenda da Estampa 1**

A- Fitoclasto opaco alongado. Intervalo **BE2-02**. Aumento de 40x. Luz branca transmitida

B- Fitoclasto opaco corroído. Intervalo **BE9-01**. Aumento de 20x. Luz branca transmitida

C, D- Cutícula não degradada. Intervalo **BE9-12**. Aumento de 40x. Luz branca transmitida (C) e luz azul incidente (D)

# Estampa 1



## **Legenda da Estampa 2**

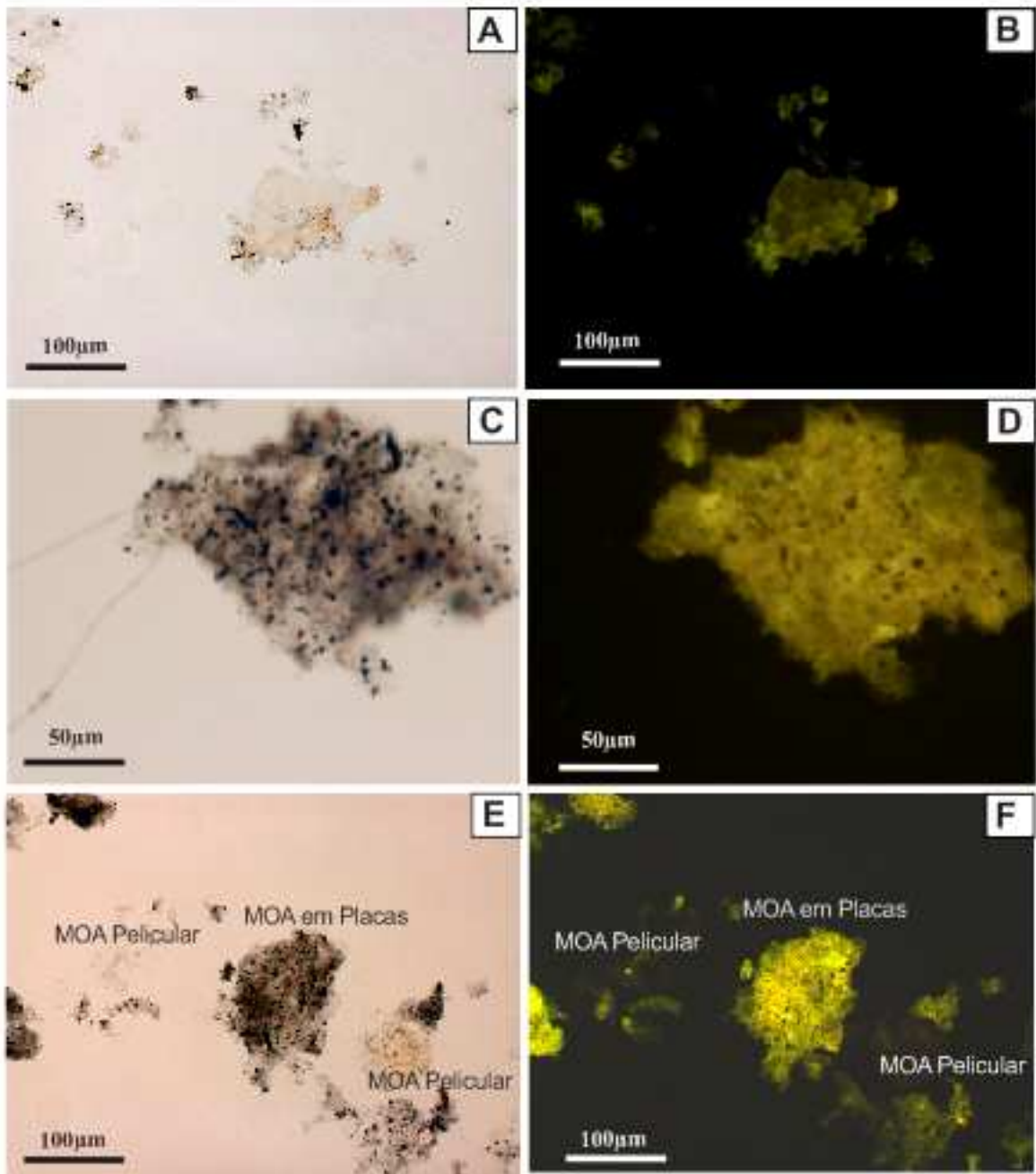
A, B – MOA Pelicular. Intervalo **BE2-06**. Aumento de 20x. Luz branca transmitida (A) e luz azul incidente (B),

C, D – MOA em Placas. Intervalo **BE9-07**. Aumento de 40x. Luz branca transmitida (C) e luz azul incidente (D),

E, F – Comparação entre MOA Pelicular e MOA em Placas. Intervalo **BE7-04**. Aumento de 20x. Luz branca transmitida (E) e luz azul incidente (F)



## Estampa 2



### **Legenda da Estampa 3-**

A, B – Esporomorfo. Intervalo **BE2-02**. Aumento de 20x.

C, D – Esporomorfo. Intervalo **BE7-01**. Aumento de 20x.

E, F – Microalga do gênero *Botryococcus*. Intervalo **BE9-01**. Aumento de 40x.

G, H – Microalga do gênero *Botryococcus*. Intervalo **BE2-02**. Aumento de de 20x.

I, J – Dinocisto da espécie *Operculodinium israelianum*. Intervalo **BE9-11**. Aumento de 40x.

L, M – Dinocisto da espécie *Operculodinium centrocarpum*. Intervalo **BE7-08**. Aumento de 40x.

Fotomicrografias em Luz Branca Transmitida: A, C, E, G, I, J, L.

Fotomicrografias sob Luz Azul/UV incidente (modo fluorescência) – B, D, F, H, J, M.

### Estampa 3

