



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia

**CARACTERIZAÇÃO PALINOFACIOLÓGICA E
ORGANOGEOQUÍMICA DE TESTEMUNHOS DA
LAGOA VERMELHA**

SABRINA BARROSO SILVA

Orientador: Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho

Coorientador: Dr. Antônio Donizeti de Oliveira

Rio de Janeiro

Maio de 2014

Caracterização Palinofaciológica e Organogeoquímica de testemunhos da Lagoa Vermelha

Sabrina Barroso Silva, João Graciano Mendonça Filho & Antônio Donizeti de Oliveira

Resumo

A importância das rochas carbonáticas é amplamente reconhecida por estarem frequentemente associadas a grandes reservatórios de hidrocarbonetos. Grande parte das mais eminentes acumulações ao redor do mundo ocorre em sequências carbonato-evaporíticas, aumentando, assim, a necessidade do entendimento dos processos que ocorrem neste sistema. Neste trabalho foram realizadas análises de Palinofácies associadas às técnicas de geoquímica orgânica, com o objetivo de estudar os sedimentos da Lagoa Vermelha gerando um maior conhecimento das condições deposicionais durante a evolução holocênica, por ser considerada uma região análoga a sedimentação de paleodépósitos. Os sedimentos foram retirados de dois testemunhos do bolsão central da Lagoa Vermelha, localizada a leste da cidade do Rio de Janeiro, sendo caracterizada por sedimentação carbonática, presença de estruturas organossedimentares e processos atuais de dolomitização em um contexto de microclima semiárido. Constatou-se que a base do intervalo estudado caracteriza a deposição dos sedimentos em um momento anterior ao isolamento da Lagoa Vermelha, enquanto o pacote carbonático é referente a uma deposição muito restrita em condições de salinidade elevada. Na Palinofácies, observou-se o predomínio do grupo da matéria orgânica amorfa (MOA) ao longo de todos os intervalos, principalmente do subgrupo MOA Pelicular que possui origem microbiana, além de uns poucos dinocistos. Na relação COT/S comprovou-se que não houve intervalos representativos de sedimentação marinha. Sugeriu-se uma relação do COT com a disponibilidade de nutrientes e a salinidade.

Palavras-chave: Lagoa Vermelha, Ambiente Hipersalino, Sedimentação Carbonática, Palinofácies, Matéria Orgânica Particulada

Abstract

The importance of the carbonate rocks is widely recognized for being often associated with large hydrocarbon reservoirs. Much of the most eminent accumulations around the world occurs in carbonate-evaporite sequences, thus increasing the need for understanding the processes occurring in this system. In this study, Palynofacies analyzes associated with organic chemical techniques were performed, having as objective the study of sediments of Lagoa Vermelha generating a greater knowledge of the depositional conditions during the Holocene evolution to be considered an analogous region of the paleodeposits sedimentation. The sediments were drilling from two cores in the central pocket of Lagoa Vermelha, located east of the city of Rio de Janeiro, being characterized by carbonate sedimentation, presence of organic sedimentary structures and current processes of dolomitization in a semiarid microclimate structure. It was found that the base of the studied interval characterizes the deposition of sediments in a previous moment of isolation of Lagoa Vermelha, while the carbonate package is related to a very restricted deposition in conditions of high salinity. In Palynofacies, there was a predominance of amorphous organic material (AOM) group over all sampling intervals, mainly from subgroup AOM Pelicular that has microbial origin and also some dinocysts. In COT/S ratio was shown that there was no representative interval of marine sedimentation. We suggest a relation of TOC to the availability of nutrients and salinity.

Keywords: Lagoa Vermelha Hyper saline Environment, Carbonatic Sedimentation, Palynofacies, Particulate Organic Matter

1. INTRODUÇÃO

A importância das rochas carbonáticas é amplamente reconhecida por estarem frequentemente associadas a grandes reservatórios de hidrocarbonetos. Na literatura, muitos estudos foram desenvolvidos nesta área, principalmente, no Oriente Médio (Alsharhan & Nairn, 1993; Lambert *et al.*, 2006) e nos Estados Unidos (Dickinson, 1987; Seard *et al.*; 2013). Segundo Mazzullo & Chiligrarian (1992) estas rochas se desenvolvem como excelentes reservatórios por ocorrerem em variadas situações de aprisionamento de hidrocarbonetos. Estes autores também ressaltam as ótimas condições de porosidade e permeabilidade que as rochas carbonáticas costumam gerar para a migração de hidrocarbonetos. Além disso, Sarg (2001) enfatiza que muitas das principais acumulações mundiais de hidrocarbonetos são controladas pelas transições de fácies carbonato-evaporíticas.

Devido à grande importância das sequências carbonato-evaporíticas, principalmente, para a indústria petrolífera, houve um aumento na necessidade de estudos de análogos atuais. Estes estudos buscam um melhor entendimento dos processos que ocorreram para a formação destes sistemas e são desenvolvidos em ambientes carbonáticos hipersalinos encontrados, especialmente, em climas árido-tropicais ou semiáridos ao redor do mundo (Yemane & Kelts, 1996; Valero-Gomes *et al.*, 1999; Sanford & Wood, 2001; Gawad *et al.*, 2008).

A Lagoa Vermelha, onde este estudo foi desenvolvido, está situada 100 km a leste da cidade do Rio de Janeiro e é considerada um ambiente atual similar a paleodépósitos 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 sobre a Lagoa Vermelha, como a grande variedade de minerais

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

Este trabalho propõe o estudo de parâmetros paleoambientais de sedimentos da Lagoa Vermelha, pois está é considerada uma região análoga à sedimentação de paleodepósitos. Para isso, foram utilizadas técnicas de geoquímica orgânica (COT e S) e Palinofácies com a finalidade de associar os resultados à sedimentação dos intervalos. Através desta associação foi possível obter e caracterizar ambiente deposicional durante a evolução holocênica.

2. PALINOFÁCIES

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.

As assembleias de palinofácies podem ser vistas como “fácies orgânicas definidas palinologicamente” e geram muitos parâmetros que permitem uma análise detalhada da origem e estado de preservação da matéria orgânica particulada, bem como verificação de variações, mesmo que sutis no ambiente sedimentar (Combaz, 1964; Tyson, 1995; Mendonça Filho, 1999; Mendonça Filho *et al.*, 2010a, 2010b, 2012a).

Segundo Mendonça-Filho *et al.* (2010a, 2010b, 2012a), a classificação dos constituintes da matéria orgânica particulada é baseada, primeiramente, na morfologia e no estado de preservação através de microscopia óptica sob luz branca Transmitida e luz azul/ultravioleta incidente (modo fluorescência). Os três grupos principais reconhecidos na assembleia palinofaciológica são:

1. Grupo Fitoclasto: corresponde aos fragmentos de tecidos derivados de vegetais superiores. Fitoclastos podem ser translúcidos (não-opacos) ou negros (opacos) e não bioestruturados, bioestruturados ou “pseudoamorfizados”.
2. Grupo Matéria Orgânica Amorfa (M.O.A.): corresponde ao componente orgânico que aparenta não possuir estrutura sob escala microscópica, incluindo matéria orgânica amorfa derivada de fitoplâncton, matéria orgânica derivada de atividade microbiana produtora, resinas de vegetais superiores e produtos amorfos da diagênese de tecidos de macrófitas.

3. Grupo Palinomorfo: refere-se a todo componente de parede orgânica resistente ao ataque com ácido clorídrico a 37% (HCl a 37%) e ácido fluorídrico a 40% (HF a 40%) sendo dividido em subgrupos: a) esporomorfos (esporos de Briófitas e Pteridófitas; grãos de pólen de Gimnospermas e Angiospermas); b) microplâncton de parede orgânica de água doce (algas dos gêneros *Botryococcus*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*); c) microplâncton de parede orgânica marinho (Prasinophyta, Acritarcos, cistos de dinoflagelados) e d) zoomorfos (palinoforaminíferos, escolecodontes, ovos de copépoda, quitinozoários);

3.ÁREA DE ESTUDO

3.1 CONTEXTO FISIOGRAFICO DA LAGOA VERMELHA

A Lagoa Vermelha (Figura 1) se localiza 100 km a leste do Rio de Janeiro ($22^{\circ}55'39''$ e $22^{\circ}56'06''$ Sul e $42^{\circ}21'29''$ e $42^{\circ}24'13''$ Oeste). Esta possui cerca de 4400 m de comprimento e 250-850 m de largura com uma área de, aproximadamente, 2400 m² (Silva e Silva & Carvalho, 2005).

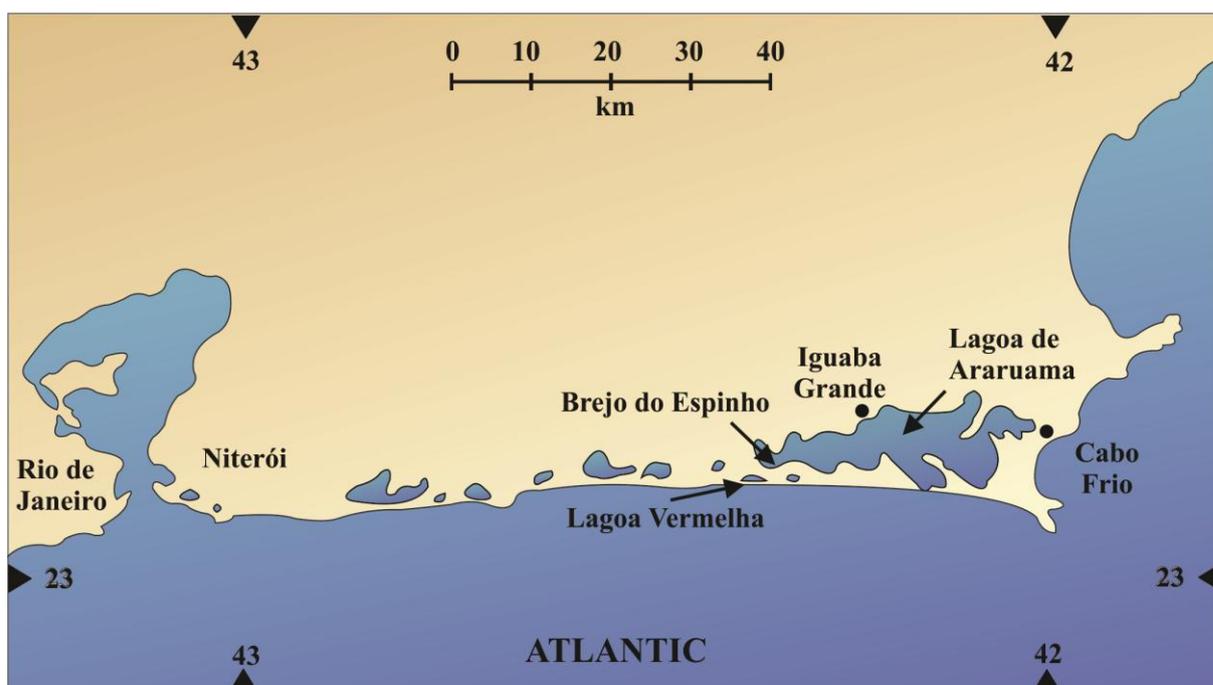


Figura 1 - Localização da Lagoa Vermelha 100km a Leste da cidade do Rio de Janeiro (van Lith, 2002).

Esta laguna possui um corpo aquoso pequeno, hipersalino e raso que faz parte de um grande sistema lagunar situado na restinga da Massambaba. Está situada entre dois sistemas de dunas paralelas, o mais recente (holocênico), que a separa do Oceano Atlântico e o mais

antigo (pleistocênico) da Lagoa de Araruama. (Vasconcelos *et al.*, 2006). Sua profundidade média é de 2 metros, sendo este parâmetro dependente diretamente do clima.

Vasconcelos *et al.*(2006) ressalta a ocorrência de uma zona de Ressurgência que promove um cenário de microclima semiárido em um contexto de clima tropical regional. Além disso, os autores afirmam que variações referentes às oscilações na razão precipitação/evaporação e às condições do mar podem causar ingressões. Estes fatores podem aumentar consideravelmente o volume de água da laguna, sendo causadas, por exemplo, pelo aumento das marés e por tempestades locais.

Pequenas flutuações no ciclo d'água podem ocorrer, principalmente, devido à geometria alongada e a topografia de fundo raso e podem resultar na mudança da área de superfície lagunar e, conseqüentemente na química da água. A Lagoa Vermelha sofre influxos de água marinha através da duna barreira que faz limite com o mar e influxos de água subterrânea na parte terrestre. Estes influxos somados as chuvas e a evaporação causam um sistema dinâmico de águas mistas com a salinidade variando entre menos salino que a água do mar e condições de hipersalinidade (van Lith *et al.*, 2002).

Höhn *et al.* (1986) ressaltam as mudanças na configuração da Lagoa Vermelha ao longo da década de 1980. Isto ocorreu devido ao desenvolvimento da indústria salineira na região. Para evitar a entrada de água doce na laguna, foi instalado um canal artificial ao redor desta. Segundo estes autores, duas barragens foram implantadas para divisão da laguna em três partes, diminuindo, assim, a circulação da água.

Segundo Vasconcelos *et al.* (2006) a composição mineralógica especial, rica em dolomita, e as macroestruturas microbiais nos sedimentos da Lagoa Vermelha estão em contraste com as lagunas vizinhas onde predomina a sedimentação rica em detritos. A

formação das esteiras microbianas na Lagoa Vermelha predomina nas camadas anaeróbicas na interface água/sedimento das bordas da laguna.

A composição das esteiras microbianas da Lagoa Vermelha é caracterizada por camadas verdes de bactérias fotossintéticas no topo, seguidas por interseções de camadas acastanhadas com ausência de bactérias heterotróficas, camadas vermelhas com bactérias púrpuras sulfurosas, e uma camada cinza na base com bactérias sulfato redutoras. Esta composição está, frequentemente, associada a esteiras microbianas formadas em ambientes hipersalinos (Höhn *et al.*, 1986; Vasconcelos *et al.*, 2006).

3.2 CONTEXTO GEOLÓGICO

O estado do Rio de Janeiro é caracterizado por rochas pré-cambrianas dominadas pela faixa Ribeira, um cinturão dobrado com *trend* NW possuindo 1400km de extensão que foi reativado durante o Mesozoico devido à abertura do Oceano Atlântico. No início do Cretáceo, durante a fase rifte, iniciou-se a sedimentação da Bacia de Santos. No Cenozoico foi desenvolvido um sistema de falhas na crosta continental formando corredores de grábens paralelos ao longo da costa que ocasionaram a formação das baías da Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande. Esforços tectônicos foram acompanhados de geração de magmas alcalinos que, provavelmente, resultaram no soerguimento da Serra do Mar por compensação isostática (Dias & Kjerfve, 2008).

Um aspecto de grande interesse da planície costeira do estado do Rio de Janeiro é a presença de dois sistemas lagunares. O litoral está dividido de Guaratiba até Cabo Frio, em sistemas lagunares internos que abrigam lagoas com corpos aquáticos volumosos (Jacarepaguá, Rodrigo de Freitas, Piratininga, Itaipu, Maricá, Guarapina, Jaconé, Saquarema e

Araruama) e os sistemas lagunares externos presentes dentro de uma zona baixa entre dois cordões arenosos, formados pelas lagoas Vermelha, Pitanguinha, Pernambuco e os brejos do Pau Fincado e do Espinho (Turcq *et al.*, 1999).

Os sedimentos da Lagoa Vermelha são caracterizados por diversos tipos de fácies incluindo esteiras microbianas superficiais, areia com conchas, areia e argila carbonáticas e argila carbonática com matéria orgânica. Esteiras microbianas vivas são encontradas geralmente em áreas de até um metro de profundidade da coluna d'água, mas estão ausentes da parte mais central e profunda da laguna. A ausência de gipso, comumente relacionado a ambientes marinhos evaporíticos, pode ser explicada pela presença abundante de matéria orgânica e bactérias sulfato-redutoras que deve ter mantido o sulfato abaixo de concentrações saturadas na água intersticial. Restos de Esteiras Microbianas recentes e calcificadas apresentam aparência muito semelhante as estruturas estromatolíticas (Maddock, 1999).

Höhn *et al.* (1986) ressaltam que o início do desenvolvimento das esteiras microbianas, provavelmente, não poderia ocorrer até que a laguna estivesse parcialmente isolada do Oceano Atlântico. Este isolamento foi resultado de um crescimento de sudeste para noroeste (direção predominante das correntes litorâneas) de uma série de barreiras ricas em conchas. Turcq *et al.* (1999) estima a formação desta barreira arenosa, através da datação de areias ricas em conchas, em 6600 anos. Além disso, mostram que o desenvolvimento dos carbonatos associados à atividade microbiana ocorre com o isolamento total da Lagoa Vermelha em relação ao Oceano Atlântico e à Lagoa de Araruama. Este último evento foi datado em, aproximadamente, 3700 anos.

Vasconcelos *et al.* (2006) caracterizam a sedimentação da laguna segundo a ocorrência de biominerais que são considerados fósseis do metabolismo. Estes autores concluem que as esteiras microbianas da Lagoa Vermelha possuem finas camadas de calcita e Mg-calcita. A

Mg-calcita registra alta precipitação neste ambiente e, na grande maioria das ocorrências, em formato ovalado ou redondo, não romboédricas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O material de estudo é proveniente de testemunhos de sondagens rasas (vibracores) realizados no interior da Lagoa Vermelha por pesquisadores da Universidade Federal Fluminense (UFF), integrantes do 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.

O projeto 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) e tem como objetivo a caracterização estratigráfica, sedimentológica, geoquímica da Lagoa Salgada, Vermelha e Brejo do Espinho, para utilização como análogo aos depósitos carbonáticos microbianos do pré-sal brasileiro.

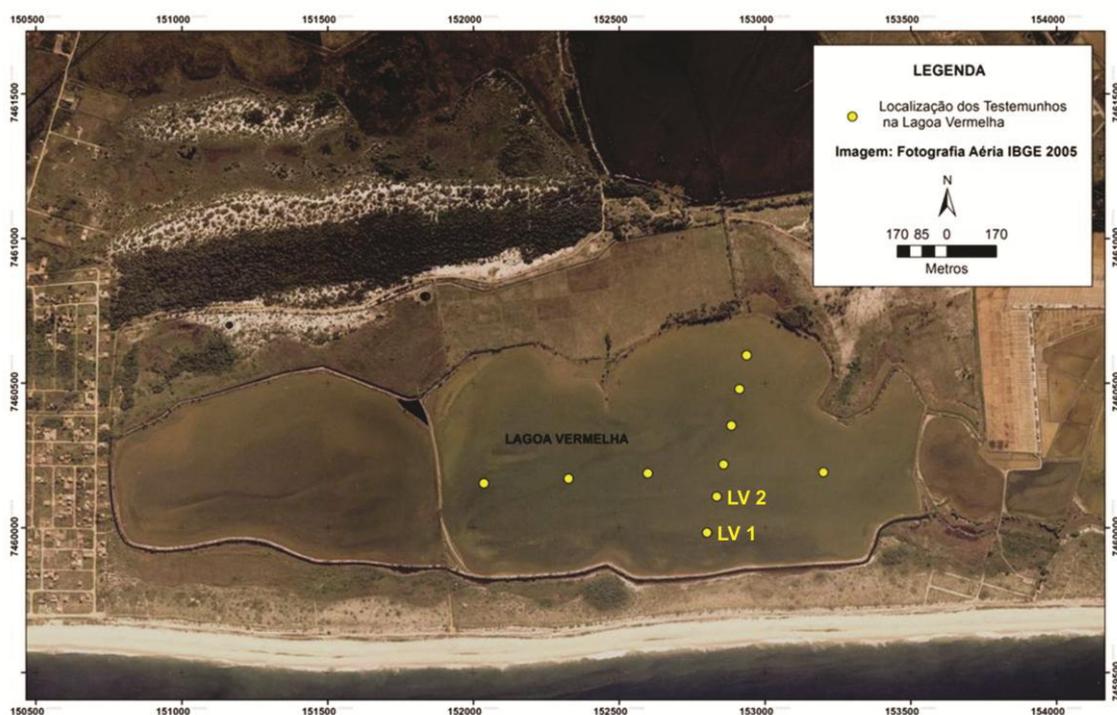


Figura 2 - Localização dos testemunhos LV 1 e LV 2 na Lagoa Vermelha (Fonte da imagem: IBGE).

Para esse trabalho foram utilizados dois testemunhos retirados do bolsão central da Lagoa Vermelha: Testemunho LV1 e LV2 (Figura 2). Os dois testemunhos foram retirados com a utilização de vibracore e foram amostrados em intervalos de 10cm.

Após a abertura dos testemunhos foi realizada a descrição dos sedimentos e, em seguida, realizada a amostragem em intervalos de dez centímetros. Os dois testemunhos possuem 107 cm de profundidade e foram divididos em 11 intervalos de amostragem, perfazendo um total de 22 amostras.

4.1 Análise de Carbono orgânico total, Enxofre e Teor de carbonato

A abundância de matéria orgânica nos sedimentos é comumente expressa através do percentual relativo de carbono orgânico em uma base de peso seco. (Tyson, 1995; Mendonça-Filho *et al.*, 2012) Através desta análise também é possível obter o teor total de enxofre (S%) da amostra e o resíduo insolúvel (RI%), que é determinado através da descarbonatação.

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).

São pesados 0,26g da amostra in natura, previamente pulverizada, num cadinho de porcelana filtrante (de massa conhecida). Após a pesagem, as amostras são acidificadas com HCl 1:1 a frio, e permanecem assim por 24 horas, para eliminação de todo carbonato.

Em seguida inicia-se a lavagem com água destilada quente, para eliminação dos cloretos. A amostra deve permanecer por uma hora nesta etapa, e logo após continua-se a lavagem com água destilada em temperatura ambiente, até que o pH fique próximo de seis (6). Escoando o excesso de água.

As amostras devem ser secas em estufa à 65°C, por aproximadamente 3 horas. Após o resfriamento, os cadinhos são pesados novamente.

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

O resíduo insolúvel (**RI**) corresponde à fração de amostra não eliminada pelo tratamento ácido, pressupondo-se a eliminação total dos carbonatos existentes, haverá apenas Carbono Orgânico no resíduo restante.

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

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

4.2 Palinofácies

A preparação do material para análise de palinofácies foi feita utilizando os procedimentos descritos por Tyson (1995), Mendonça Filho (1999) modificado por Oliveira *et al.* (2006), Mendonça Filho *et al.* (2010a), para padrões não oxidantes, sem descarte do sobrenadante da solução ácida no momento da neutralização com uso de conjunto de peneiras com malha de abertura de 10µm. As amostras foram homogeneizadas, fragmentadas e submetidas à maceração com ácido clorídrico durante 18 horas (retirada dos carbonatos) e ácido fluorídrico durante 24 horas (retirada dos silicatos). As amostras foram, novamente, acidificadas com ácido clorídrico para eliminação de eventuais fluorsilicatos formados nas etapas anteriores. As acidificações foram seguidas de neutralizações com sucessivas lavagens utilizando-se água filtrada, sem descarte do sobrenadante.

Após a última neutralização foi adicionado cloreto de zinco (ZnCl_2) às amostras e, então foram levadas para a centrífuga, com o objetivo de separar a fração orgânica da fração

mineral remanescente por densidade. Obtido o resíduo inorgânico foram confeccionadas lamina delgadas.

Para a análise de palinofácies foram contadas de 300 a 500 partículas em microscopia de Luz Branca Transmitida e Luz Azul/UV Incidente (Modo Fluorescência). Após a contagem, os valores absolutos foram normalizados para 100% e diagramas binários foram confeccionados. Para a contagem, foi utilizado microscópio Zeiss (Modelo AXIOSKOP 2 PLUS com ocular de 10x e objetiva de 20x).

5. RESULTADOS

5.1 Descrição dos testemunhos

O registro fotográfico e a descrição dos testemunhos foram realizados pela equipe do laboratório de Geologia Sedimentar da Universidade Federal do Rio de Janeiro – LAGESED, coordenado pelo Prof. Dr. Leonardo Borgh da Fonseca e pela geóloga Gisele Giseé Furukawa (LAFO).

Os critérios utilizados para a separação das fácies foram: sedimentologia, estruturas sedimentares e conteúdo orgânico. As fotografias dos Testemunhos LV1 e LV2 foram associadas com os perfis estratigráficos, utilizando as fácies descritas no Quadro 1.

Os testemunhos possuem 107 centímetros de profundidade e foram divididos em 11 intervalos de 10 cm, sendo o último de 100 a 107 cm. Os materiais retirados no topo dos testemunhos foram descritos como intervalos remobilizados, por serem mais plásticos e remexidos durante a sondagem, logo não fornecem dados seguros.

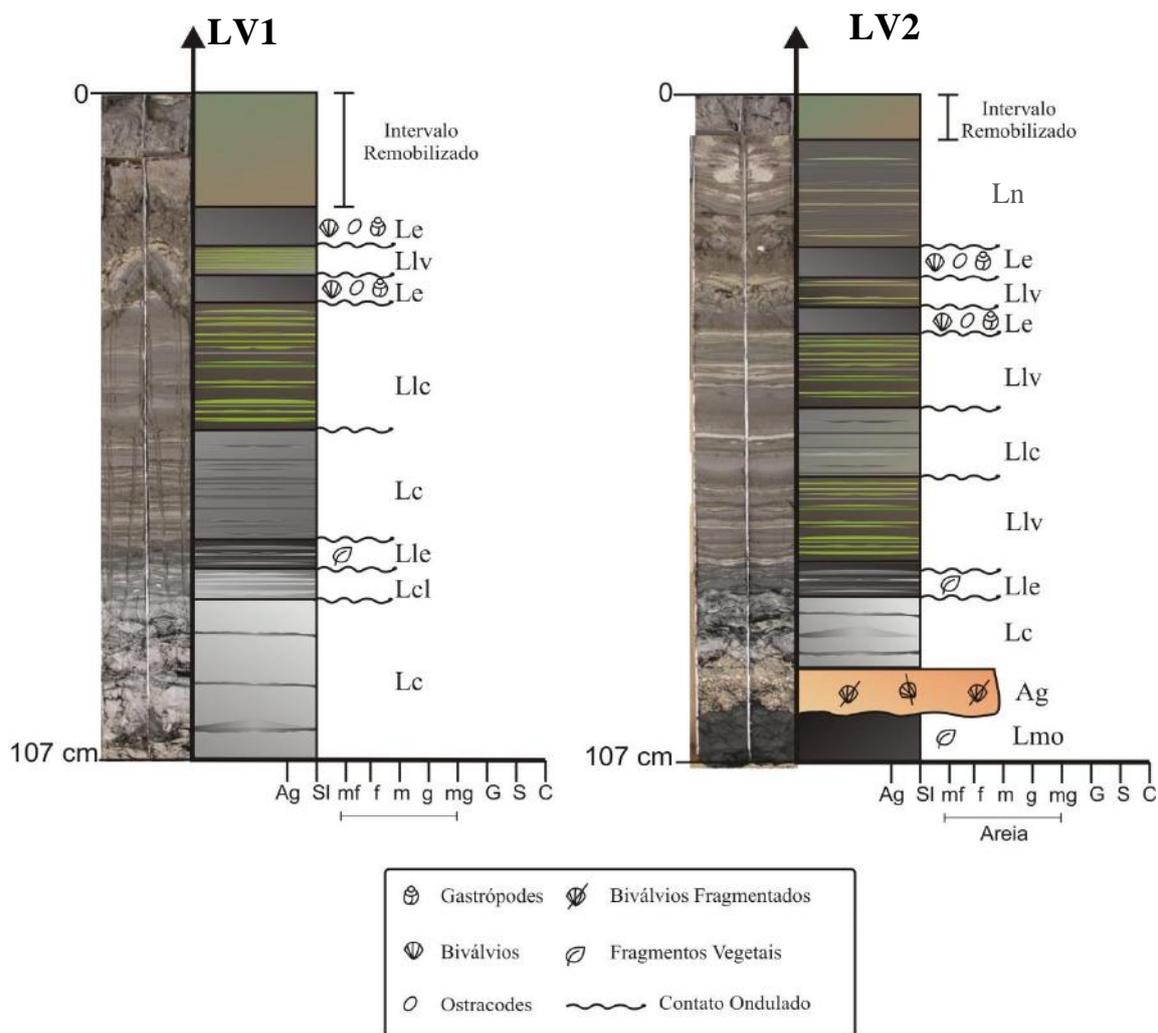


Figura 3: Perfil de fácies sedimentares dos testemunhos LV1 e LV2.

Quadro 1: Descrição das fácies sedimentares encontradas nos testemunhos

Código	Diagnose	Descrição
Ln	Lama nodular	Sedimento de granulometria entre silte e argila, carbonático, com feição nodular associada às camadas de lamina de sedimento intercaladas com esteiras verdes.
Lc	Lama clara	Sedimento de granulometria entre silte e argila, carbonático, peloidal, claro com alguns níveis de fragmentos vegetais. Ocorrem níveis de massa carbonática endurecida e concreções carbonáticas.

Lel	Lama esverdeada laminada	Sedimento de granulometria entre silte e argila, carbonático, peloidal, intercalado com lâminas de esteiras verdes lisas com, em média, 2mm de espessura, podendo conter fragmentos de esteiras vermelhas.
Le	Lama escura	Sedimento de granulometria entre silte e argila, carbonático, peloidal, com muitos ostracodes, gastrópodes e bivalvíos.
Lle	Lama laminada escura	Sedimento de granulometria entre silte e argila, carbonático, laminado, escuro com fragmentos de vegetais.
Ag	Areia grossa	Sedimento de granulometria tamanho areia, variando de areia média a areia muito grossa, predominando areia grossa com poucos grãos opacos (<1%). Grãos quartzosos arredondados a subangulosos e muito mal selecionados. Há fragmentos de conchas diversas, principalmente de bivalvíos.
Lmo	Lama com matéria orgânica	Sedimento de granulometria entre silte e argila, coloração muito escura com laminações e alta concentração de matéria orgânica, sendo identificados fragmentos de vegetais.
Lcl	Lama clara laminada	Sedimento de granulometria silte e argila, carbonático intercalando níveis mais claros e mais escuros, apresentando um nível arenoso.
Llc	Lama laminada cinza	Sedimento de granulometria entre silte e argila, carbonático, peloidal, intercalado com lâminas de esteiras cinzas lisas com, em média, 2mm de espessura.

5.2 Análise de Carbono Orgânico Total, Enxofre Total e Resíduo Inorgânico

Os resultados obtidos na análise de COT, S e Teor de Carbonato estão expostos nas tabelas 1 e 2 para os testemunhos LV1 e LV2, respectivamente. No Testemunho LV1 foram adquiridos resultados variando de 2,44 a 6,58% de COT, 0,32 a 0,79% de S e 95,7 a 85,7% de Teor de Carbonato. Os valores dos resultados encontrados no Testemunho LV2 apresentam maior oscilação e variam de 0,73 a 12,79% de COT, de 0,12 a 2,10% de S e 4,8 a 59,5% de Teor de Carbonato.

Tabela 1: Valores percentuais de COT (Carbono Orgânico Total), S (Enxofre), Teor de Carbonato e dos principais grupos da matéria orgânica do testemunho LV1

Amostra	Profundidade (cm)	COT (%)	S (%)	Teor de Carbonato (%)	Fitoclastos (%)	MOA (%)	Palinomorfos (%)
LV 1 - 01	0-10	4,01	0,39	86,8	3,11	96,27	0,62
LV 1 - 02	10-20	4,72	0,48	89,2	2,67	96,95	0,38
LV 1 - 03	20-30	4,45	0,47	89,5	0,47	99,06	0,47
LV 1 - 04	30-40	5,60	0,67	88,6	1,17	96,78	2,05
LV 1 - 05	40-50	6,58	0,79	85,7	1,50	97,90	0,60
LV 1 - 06	50-60	6,39	0,74	87,1	0,00	98,13	1,88
LV 1 - 07	60-70	4,83	0,57	91,1	1,20	97,31	1,50
LV 1 - 08	70-80	4,89	0,61	91,4	1,56	97,19	1,25
LV 1 - 09	80-90	2,83	0,37	93,6	3,76	95,92	0,31
LV 1 - 10	90-100	2,44	0,32	95,7	1,92	96,15	1,92
LV 1 - 11	100-107	2,72	0,36	93,9	3,98	94,50	1,53

Tabela 2: Valores percentuais de COT (Carbono Orgânico Total), S (Enxofre), RI (Resíduo Insolúvel) e dos principais grupos da matéria orgânica do testemunho LV2.

Amostra	Profundidade (cm)	COT (%)	S (%)	Teor de Carbonato (%)	Fitoclastos (%)	MOA (%)	Palinomorfos (%)
LV 2 – 01	0-10	4,85	0,49	89,4	7,10	92,58	0,32
LV 2 – 02	10-20	6,20	0,56	86,8	1,30	98,70	0,00
LV 2 – 03	20-30	7,36	0,68	82,9	0,93	98,13	0,93
LV 2 – 04	30-40	4,91	0,59	89,7	1,95	96,75	1,30
LV 2 – 05	40-50	5,66	0,72	86,6	1,31	98,36	0,33
LV 2 – 06	50-60	7,35	0,80	84,6	8,23	89,24	2,53
LV 2 – 07	60-70	6,66	0,65	87,5	2,30	94,74	2,96
LV 2 – 08	70-80	9,24	1,04	80,5	3,90	94,48	1,62
LV 2 – 09	80-90	2,24	0,29	95,2	2,26	96,77	0,97
LV 2 – 10	90-100	0,73	0,12	40,5	6,98	92,03	1,00
LV 2 – 11	100-107	12,79	2,10	45	2,56	96,47	0,96

5.3 Palinofácies

Através desta análise foi possível registrar a ocorrência dos três principais grupos da matéria orgânica particulada (Fitoclastos, Matéria Orgânica Amorfa e Palinomorfos) presentes nas lâminas organopalinológicas nos intervalos de amostragem. As tabelas 1 e 2 expõem os resultados para os três grupos, enquanto as tabelas 3 e 4 apresentam os valores obtidos para os subgrupos (Testemunho LV 1 – Tabelas 1 e 3; Testemunho LV2 – Tabelas 2 e 4).

O Grupo Fitoclasto não apresenta representatividade expressiva. Seu valor relativo ao total da matéria orgânica varia de 0 a 3,98% para o Testemunho LV1. Quanto aos

subgrupos, os fitoclastos opacos aparecem variando de 0 a 2,75%, os fitoclastos não opacos de 0 a 1,92%, cutículas de 0 a 0,31% e membranas 0 a 0,94%. O Testemunho LV2 apresentou valores um pouco mais relevantes, com o grupo fitoclasto compondo de 0,93 a 8,23% do total da matéria orgânica. Os subgrupos variam de 0 a 0,66% de fitoclastos opacos, 0,65 a 2,61% de fitoclastos não opacos, 0 a 0,66% de cutículas e 0 a 6,96% de membranas. As estampas 1E, 1F, 2A, 2B, 2C, 2D, 2E e 2F mostram alguns constituintes deste grupo (Tabelas 3 e 4).

A Matéria Orgânica Amorfa (MOA) é o grupo dominante em todos os intervalos de amostragem dos dois testemunhos. Este grupo está dividido em dois tipos de partículas: a) MOA Pelicular (Estampa 1 – G, H, I, J; Estampa 2 – I, J) e b) MOA em Placa (Mendonça Filho *et al.*, 2010). A MOA Pelicular apresenta coloração translúcida ou tons claros de amarelo e não possui inclusões sob luz branca transmitida. No modo fluorescência, este subgrupo apresenta coloração esverdeada translúcida. Em microscopia de luz branca transmitida, a MOA em Placa ocorre como partículas com limites mais definidos, de coloração castanha clara a escura, com presença de pequenas inclusões que podem ser de pirita e/ou fragmentos de fitoclastos enquanto, no modo fluorescência, a MOA em Placa apresenta coloração amarelo esverdeada intensa.

No Testemunho LV1, o grupo da Matéria Orgânica Amorfa varia de 94,50 a 99,06%. Os subgrupos variam de 15,27 a 64,42% de MOA Pelicular e de 31,73 a 82,04% de MOA em Placa. No Testemunho LV2, a concentração relativa do grupo MOA varia de 89,24 a 98,70% do total de matéria orgânica, enquanto os subgrupos possuem valores entre 16,45 a 95,77% de MOA Pelicular e 2,49 a 76,13% de MOA em Placa.

Tabela 3:

Valores percentuais dos subgrupos da Matéria Orgânica Particulada em relação ao total de Matéria Orgânica no Testemunho LV1

	FITOCLASTOS						MOA		PALINOMORFOS			
	% F.O.	%F.N.O.B.	%F.N.O.N.B	%F.N.O. TOTAL	%Cutículas	%Membranas	%MOA EM PLACAS	%MOA PELICULAR	%ESPOROS	%GRÃOS DE PÓLEN	%INDETERMINADOS	%DINOCISTOS
LV 1 - 01	1,55	0,31	0,00	0,31	0,31	0,93	54,35	41,93	0,62	0,00	0,00	0,00
LV 1 - 02	2,29	0,38	0,00	0,38	0,00	0,00	49,24	47,71	0,38	0,00	0,00	0,00
LV 1 - 03	0,23	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	41,08	57,98	0,47	0,00	0,00	0,00
LV 1 - 04	1,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,89	38,89	2,05	0,00	0,00	0,00
LV 1 - 05	0,90	0,60	0,00	0,60	0,00	0,00	64,86	33,03	0,60	0,00	0,00	0,00
LV 1 - 06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	55,71	42,57	1,71	0,00	0,00	0,00
LV 1 - 07	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	82,04	15,27	1,50	0,00	0,00	0,00
LV 1 - 08	0,63	0,63	0,00	0,63	0,31	0,00	62,50	34,69	1,25	0,00	0,00	0,00
LV 1 - 09	1,88	0,31	0,63	0,94	0,00	0,94	39,50	56,43	0,31	0,00	0,00	0,00
LV 1 - 10	0,00	1,92	0,00	1,92	0,00	0,00	31,73	64,42	1,92	0,00	0,00	0,00
LV 1 - 11	2,75	0,61	0,61	1,22	0,00	0,00	44,65	49,85	1,53	0,00	0,00	0,00

Tabela 4:

Valores percentuais dos subgrupos da Matéria Orgânica Particulada em relação ao total de Matéria Orgânica no Testemunho LV2.

	FITOCLASTOS						MOA		PALINOMORFOS			
	% F.O.	% F.N.O.B.	% F.N.O.N.B	% F.N.O. Total	%Cutículas	%Membranas	%MOA EM PLACAS	%MOA PELICULAR	%ESPOROS	%GRÃOS DE PÓLEN	%INDETERMINADOS	%DINOCISTOS
LV 2 - 01	0,00	0,00	0,65	0,65	0,00	6,45	76,13	16,45	0,00	0,32	0,00	0,00
LV 2 - 02	0,33	0,00	0,98	0,98	0,00	0,00	2,93	95,77	0,00	0,00	0,00	0,00
LV 2 - 03	0,00	0,31	0,62	0,93	0,00	0,00	2,49	95,64	0,31	0,62	0,00	0,00
LV 2 - 04	0,00	0,32	0,97	1,30	0,00	0,65	17,86	78,90	0,00	1,30	0,00	0,00
LV 2 - 05	0,66	0,00	0,66	0,66	0,00	0,00	26,23	72,13	0,00	0,33	0,00	0,00
LV 2 - 06	0,00	0,32	0,95	1,27	0,00	6,96	31,01	58,23	0,00	1,27	1,27	0,00
LV 2 - 07	0,33	0,66	0,99	1,64	0,33	0,00	14,47	80,26	0,33	1,64	0,99	0,00
LV 2 - 08	0,00	0,00	2,61	2,61	0,00	1,30	6,51	88,27	0,00	1,30	0,00	0,00
LV 2 - 09	0,00	0,32	1,94	2,26	0,00	0,00	4,19	92,58	0,32	0,32	0,32	0,00
LV 2 - 10	0,00	0,00	1,66	1,66	0,33	4,98	18,94	73,09	0,00	0,33	0,66	0,00
LV 2 - 11	0,32	0,00	1,60	1,60	0,64	0,00	40,26	55,91	0,00	0,00	0,32	0,64

F.O. = Fitoclasto Opaco

F.N.O.B. = Fitoclasto Não Opaco Bioestruturado

F.N.O.N.B. = Fitoclasto Não Opaco Não Bioestruturado

F.N.O. = Fitoclasto Não Opaco

Os constituintes do grupo palinomorfo apresentam baixo percentual de ocorrência. No Testemunho LV1 a concentração varia de 0,47 a 2,05%, onde são encontrados apenas esporos. No Testemunho LV2, o grupo dos palinomorfos varia de 0 a 2,96%, sendo registrados esporos, com valores entre 0 e 0,33%, grãos de pólen de 0 a 1,64%, e até 1,27% de indeterminados. Além destes, também são encontrados alguns poucos dinocistos (Estampa 2K, 2L). Os dinocistos são representantes do subgrupo do microplâncton marinho e são observados nos intervalos de amostragem LV2-10 e LV2-11.

6. DISCUSSÃO

6.1. CORRELAÇÃO ENTRE FÁCIES SEDIMENTARES, PALINOFÁCIES E ANÁLISES GEOQUÍMICAS.

As amostras foram analisadas de acordo com suas características geoquímicas e palonifaciológicas e então relacionadas às fácies sedimentares descritas. Esta associação pode ser vista na Figura 4. Vale ressaltar que os gráficos de COT e S não estão em escala de 100%, como os demais para melhor expressar suas variações (Figura 4). Os intervalos de 0-18cm do testemunho LV1 e 0-7 cm do testemunho LV2 foram descritos como intervalos remobilizados, por serem mais plásticos e remexidos durante a sondagem, logo não fornecem dados seguros.

Na base do testemunho LV2 ocorre uma variação na sedimentação que fica registrada no valor do Teor de Carbonato de 45%, indicando sedimentos margosos. Este resultado está associado à fácies lama com matéria orgânica (**Lom**) que é descrita como uma lama rica em matéria orgânica em decomposição, o que explica macroscopicamente o alto valor de COT (12,79%). A matéria orgânica particulada predominante nesta fácies é a MOA (MOA em Placa - 40,26% e MOA Pelicular – 55,91%).

A ocorrência de fitoclastos é baixa (2,56%) e foi possível observar a ocorrência, em baixíssima concentração, do dinocisto *Operculodinium centrocarpum*. Tal espécie possui abundância mais elevada em ambientes com águas agitadas e turbulentas, sendo tolerante a variação de salinidade. É uma espécie com abundância elevada desde a última fase glacial até o presente em regiões da costa sudeste da plataforma continental (Oliveira, 2003, 2011). Estudos de palinofácies de Souza (2012) e de Furukawa (2012) em região de ressurgência em

Cabo Frio-RJ Brasil, mostram a dominância dessa espécie. Tal ocorrência indica uma influência marinha no testemunho LV 2.

O intervalo LV2 - 10 do testemunho LV2 possui o Teor de Carbonato mais baixo dos testemunhos. A fácies **Ag** predomina neste intervalo, o que pode explicar esta mudança. Valores de Teor de Carbonato próximos de 50% estão relacionados a uma sedimentação mista, parte carbonática, parte siliciclástica. Através da descrição das fácies, fica evidente o predomínio de areias quartzosas grossas, porém, também foi observada grande concentração de fragmentos de conchas de bivalves. Segundo Machado *et al.* (2011), os bivalves possuem conchas aragoníticas, isto pode justificar a presença de 40,5% de carbonato inorgânico identificado na amostra LV2 - 10.

Os valores percentuais de COT e MOA Pelicular associados à fácies (**Lle**) aparecem mais baixos no testemunho LV1 quando comparados ao LV2. Uma possível justificativa para isso é a amostragem ter sido feita associada à fácies lama clara laminada (**Lcl**). A fácies **Lcl**, apesar de possuir um pequeno intervalo que foi registrado apenas no testemunho LV1, foi descrita como uma camada macroscopicamente pobre em material orgânico. Devido a esta mistura, os valores de COT associados à fácies **Lle** podem aparecer inferiores ao esperado.

A fácies **Lcl** (lama esverdeada laminada) está melhor representada no intervalo de LV1-07 no testemunho LV1 e intervalos de LV2-02 e LV2-07 no testemunho LV2. Esta fácies apresenta a elevada concentração de MOA pelicular e registra queda dos valores percentuais de COT, Teor de Carbonato e S. O intervalo amostrado LV1-07 do testemunho LV 1 apresenta uma exceção, por possuir valores de MOA em Placas superiores a MOA pelicular.

No intervalo da fácies lama laminada cinza (**Llc**) é possível observar, em ambos os testemunhos, um aumento nos valores de COT, S e Teor de Carbonato ainda predominar. Nesta fácies há o predomínio de esteiras cinzas, e um aumento de MOA em Placa. Uma mudança na abundância relativa de fitoclastos ocorre no Testemunho LV2, onde este grupo

chega até 8,23%, enquanto o valor máximo registrado no Testemunho LV1 é de 3,98%. Isto caracteriza maior contribuição de partículas de origem terrestre (alóctone), pois os fitoclastos são derivados de tecidos lignocelulósicos de vegetais terrestres (Tyson, 1995).

A fácies **Le** está presente nos dois testemunhos, porém a identificação de suas características fica um pouco incerta, pois a amostragem foi realizada em intervalos que estão associados a outras fácies. A fácies lama escura (**Le**) quando sofre influência da fácies lama nodular (**Ln**), apresenta maior conteúdo de MOA Pelicular do que quando amostrada com a fácies lama escura laminada (**Lel**). O mesmo ocorre com os teores de COT, S e Teor de Carbonato nos intervalos das amostragens LV1-03 e LV2-04. Neste intervalo a MOA Pelicular parece estar associada à fácies rica em esteiras verdes.

A fácies **Ln** é encontrada apenas no topo do testemunho LV2, abaixo do intervalo de material remobilizado. A descrição sedimentar caracterizou esta fácies como camadas de esteiras verdes intercaladas com carbonato, porém, grande parte deste intervalo de amostragem é composta por um nódulo de lama carbonática, aparentemente maciço. Esta fácies registra o pico de MOA Pelicular (95,77%), enquanto a MOA em Placa apresenta a sua menor ocorrência (2,49%). Tal tipo morfológico de MOA, pelicular, pode ser associado a material orgânico derivado da produtividade microbológica (MOA bacteriana). Algo que contribui para tal afirmação são as baixas frequências do Grupo Fitoclasto e Palinomorfos.

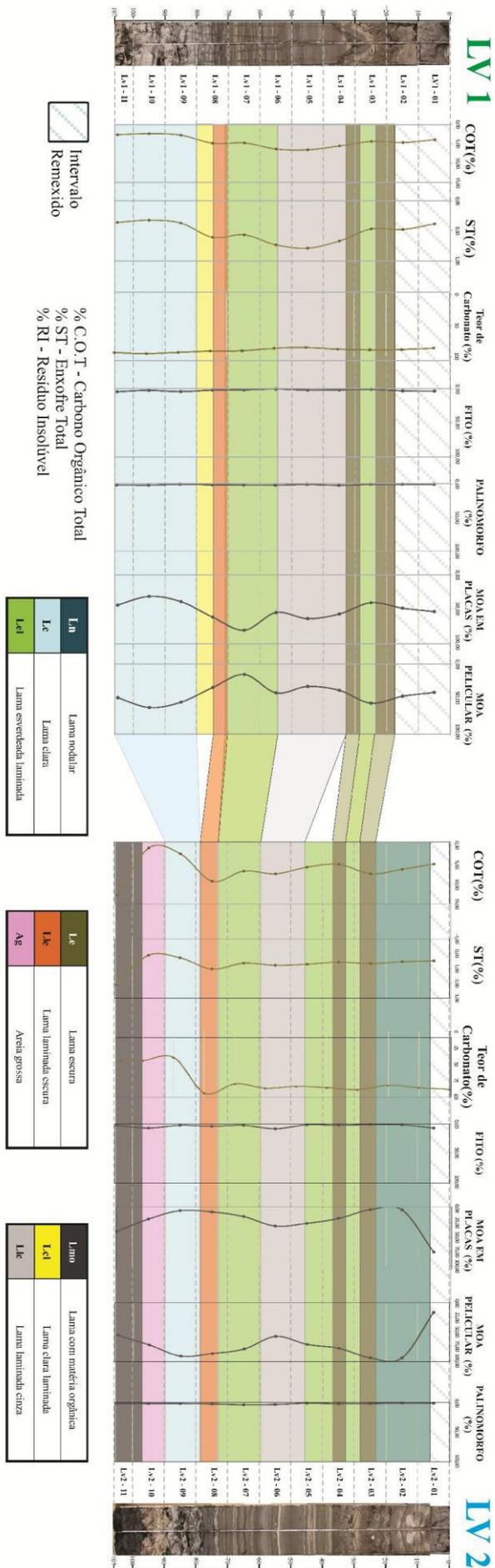


Figura 4 - Associação de Facies e Resultados dos Testemunhos LV1 e LV2

6.2. Elucidação da correlação das análises

O Grupo MOA predomina sobre os demais componentes da Palinofácies. Segundo Tyson (1995), alta concentração de matéria orgânica amorfa acontece em ambientes redutores (pelo menos, temporariamente, disóxicos a anóxicos) onde pelo menos um dos três fatores ocorre: (1) Alta preservação de matéria orgânica planctônica autóctone; (2) Material originado de esteiras microbianas bentônicas; (3) Ambiente de deposição distal removido de fontes ativas de matéria orgânica terrestre, especialmente, em condições de nível de mar alto.

Segundo Ercegovac & Kostic (2006) o processo sinsedimentar de “amorfização” ocorre na zona fótica, onde há maior gasto e remineralização da biomassa próximo à interface sedimento-água e são melhor preservadas em ambiente com deficiência de oxigênio. Segundo os autores citados, o aumento de MOA ocorre em fácies anóxicas distais e por sistemas influenciados por Ressurgência como é o caso da Lagoa Vermelha.

Mendonça Filho *et al.* (2010) descreve a MOA relacionada à esteiras microbianas como resultado da atividade de bactérias autotróficas e fotossintéticas que produzem mucilagem (EPS – Substância Polimérica Extracelular). Este material está associado à sedimentação carbonática e pode apresentar “crateras” referentes à remoção da fração mineral pela dissolução por HCl (MOA pelicular, *sensu* Combaz, 1980) ou pode sofrer retrabalhamento por bactérias heterotróficas apresentando-se mais em placa e com a fluorescência mais alta (MOA em placa) (Mendonça Filho *et al.*, 2012b). Por esta razão, o grupo MOA foi subdividido em MOA em placa e MOA pelicular.

Ercegovac & Kostic (2006) sugerem que a MOA em placa com possíveis inclusões de pirita e fitoclasto é formada em condições associadas à atividade de bactérias sulfato-redutoras e, supostamente, à situações onde a concentração de O₂ é levemente superior aos níveis encontrados na formação da MOA pelicular. Segundo Taylor *et al.* (1997), o enxofre

orgânico, como também a pirita, deve sua entrada no sistema à atividade microbiana de bactérias sulfato-redutoras que se desenvolvem melhor em condições de pH por volta de 6,5-8. No Testemunho LV1 é possível observar que a MOA em placa varia de maneira muito semelhante ao de S (Figura 4). No Testemunho 2 este padrão não aparece no intervalo da fácies **Ln**, porém nos demais ocorre de maneira sutil ou bem pronunciada, podendo sugerir uma real ligação da MOA em placa com o enxofre. O mesmo ocorre para o COT que aumenta nos intervalos onde a MOA em Placa aparece mais elevada, mesmo que não predomine sobre a MOA Pelicular.

Os gráficos de MOA pelicular aparecem, constantemente, mais altos em sedimentos com o Teor de Carbonato mais baixo, indicando sedimentação mais carbonática. Esta observação fica muito evidente em ambos os testemunhos na fácies Lc e Llc. Ercegovac & Kostic (2006) sugerem que este tipo de MOA é formada em menores níveis de O₂ e em ambientes mais calmos. Como já discutido acima, Mendonça Filho *et al.* (2012b), mostra que este tipo de MOA apresenta relações diretas com sedimentação carbonática. Vasconcelos *et al.* (2006) reforça a ideia de que devido a sua geometria e profundidade rasa, pequenas mudanças no ciclo d'água da Lagoa Vermelha alteram a química da água.

Estas perturbações descritas por van Lith (2002) como mudanças de salinidade devido a pluviosidade, a evaporação e a infiltração de água subterrânea podem ser associadas à sedimentação. Em momentos de menor perturbação, a sedimentação carbonática aumenta e, pelos resultados observados, a MOA pelicular apresenta os seus valores mais elevados, apesar de predominar em quase todos os intervalos de amostragem. Por outro lado, quando há variação de salinidade e pH em momentos de maior perturbação, há uma leve queda no percentual de Teor de Carbonato e na concentração de MOA pelicular.

A baixa ocorrência de fitoclastos e dos constituintes do microplâncton marinho e a ausência de representantes do microplâncton de água doce, diminuem as possibilidades de

estes grupos estarem sendo amorfizados e dando origem a MOA. Junto a isso, muitos trabalhos registram e estudam a presença das esteiras microbianas na Lagoa Vermelha (Höhn *et al.*, 1986; van Lith, 2002; Silva & Silva *et al.*, 2004; Vasconcelos *et al.*, 2006; Santelli *et al.*, 2006; Paction *et al.*, 2011), como também foi observada a presença das esteiras nos testemunhos.

Na figura 4, a variação dos gráficos dos fitoclastos não é tão notória devido às baixas concentrações observadas. Porém, observando as tabelas 4 e 5 pode-se notar a maior concentração destes grupos no Testemunho LV2, que se encontra mais próximo da influência de componentes orgânicos derivados de vegetais superiores terrestres e continentais de água doce. Segundo Tyson (1995), os fitoclastos correspondem aos fragmentos de tecidos derivados de macrófitas terrestres. Como o Testemunho LV2 está localizado mais ao próximo à influência de componentes terrestres (Figura 2), isto pode explicar a maior concentração destes.

É interessante reforçar que os palinomorfos encontrados foram do subgrupo esporomorfo, com exceção dos dois intervalos de amostragem da base do Testemunho LV2. Segundo Mendonça Filho *et al.* (2012a), os esporomorfos podem ser produtos de pteridófitas e briófitas (esporos) ou de Gimnospermas e Angiospermas (grãos de pólen), ambos possuem origem terrestre. Conseqüentemente, o baixo percentual de ocorrência destes palinomorfos e dos fitoclastos indica uma pequena influência terrestre.

Ainda no grupo dos palinomorfos foram observados dinocistos na base do Testemunho LV2. Apesar de poucos, estes são de extrema importância, pois segundo Dale *et al.* (1991), eles são depositados exclusivamente em ambientes marinhos, isto mostra uma interferência marinha na laguna. É importante ressaltar que o intervalo de amostragem LV2-10 é dominado pela fácies Ag, mas também possui sedimentos da fácies Lmo que, no

intervalo LV2-11, é amostrada sem nenhuma outra fácies. Neste último intervalo, foram observados dois indivíduos.

6.3 Condições deposicionais

A fácies Lmo, encontrada na base do testemunho LV2, registra o momento mais pretérito encontrado nesse trabalho. Recomenda-se correlacionar esta fácies à lama rica em material orgânico descrita por Turcq *et al.* (1999). Os autores sugeriram que esta sedimentação foi depositada em um ambiente restrito e este material foi datado em aproximadamente 6530 anos. Por volta de 6600 anos A.P., uma nova ilha barreira externa isolou a área lagunar. A Lagoa Vermelha possuía uma ligação com a Lagoa de Araruama pela extremidade a Leste. Este momento pode ser visto na Figura 5.

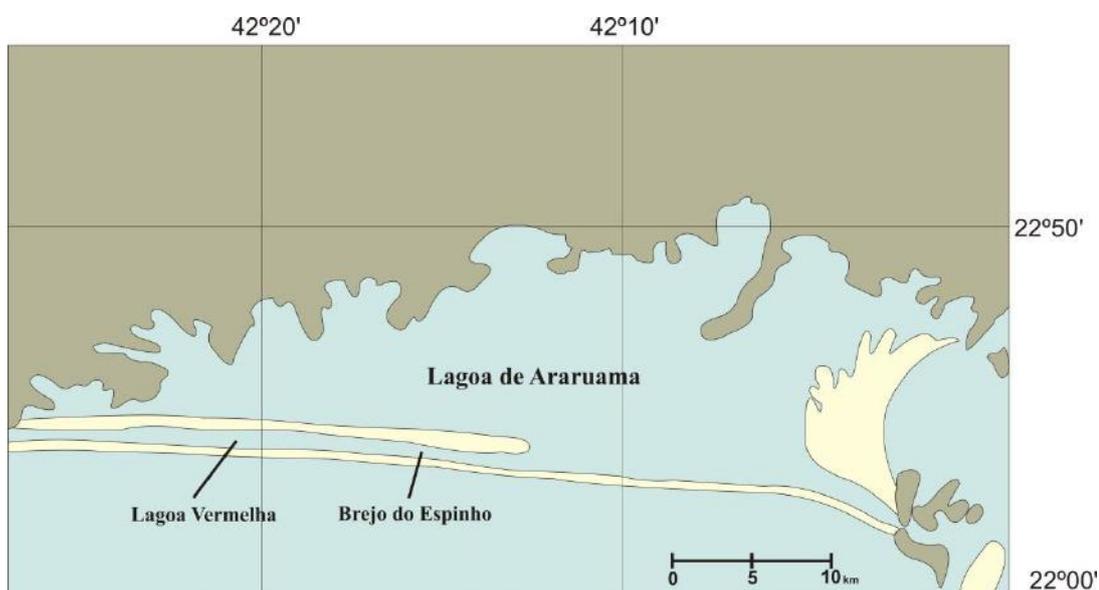


Figura 5 – Evolução da planície costeira de Araruama mostrando o cenário em aproximadamente 6.500 A.P., quando uma ilha-barreira isolou um novo sistema lagunar formado. Legenda: Azul – água; Amarelo – sedimentos; Marrom – cristalino. Modificado de Turcq *et al.* (1999)

Foram encontrados dinocistos na fácies Lmo. Como já discutido, os dinocistos pertencem ao grupo de microplâncton de parede orgânica de origem marinha. Isto indicaria uma leve influência do mar durante este período. Para respaldar que esta sedimentação, apesar da ocorrência de dinocistos, não é marinha e sim, lagunar, foi utilizado o gráfico de Leventhal (1995), onde pode-se observar que todas as amostras dos dois testemunhos obtiveram resultados na relação COT/S típicas de sedimentos não marinhos (Figura 6).

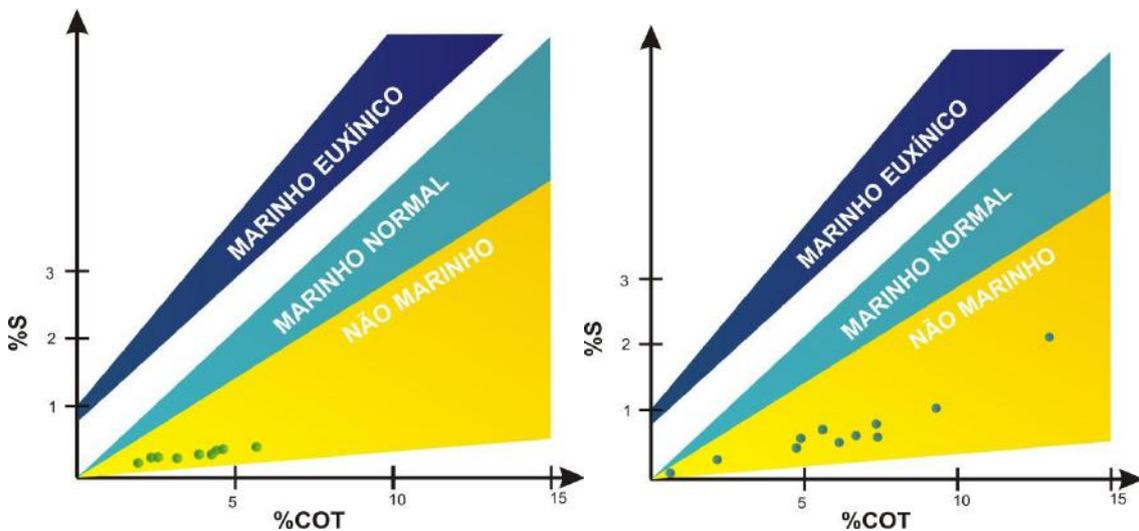


Figura 6 – Gráfico da razão COT/S com os resultados obtidos das amostras dos testemunhos LV1 e LV2 sobre os campos determinados por Leventhal (1995).

As conchas de bivalves e a granulometria grossa encontradas na fácies Ag indicam um momento de maior energia no sistema. Propõe-se que esta fácies seja correlacionada com as areias ricas em conchas de molusco descritas por Turcq *et al.* (1999) com idade de aproximadamente 4430 A.P. Segundo estes autores, esta sedimentação está no contexto de um dos momentos principais de emersão que se estendeu entre 5100-3900 A.P. Estes eventos podem ser observados na Figura 7.

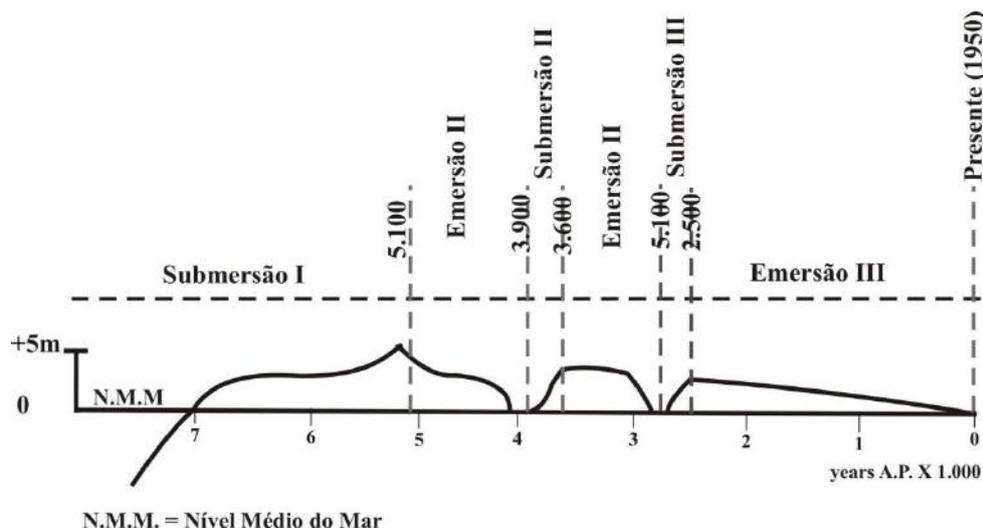


Figura 7 – Curva de mudança do nível do mar durante a evolução do Holoceno na Costa Central Brasileira, mostrando a alternância de episódios de submersão e emersão durante os últimos 7.000 anos. Turcq *et al.* (1999).

Como a matéria orgânica se preserva melhor em sedimentos finos, pode-se observar uma queda no COT. A falta de registro de dinocistos, por exemplo, pode se dar pelo mesmo motivo, não excluindo uma leve influência marinha. Estas areias podem ter sido depositadas pela erosão dos sedimentos das ilhas barreiras.

Acima das areias encontradas no testemunho LV2 são registrados sedimentos com valores de Teor de Carbonato típicos de sedimentos carbonáticos. A partir deste momento, as fácies são encontradas em ambos os testemunhos. Turcq *et al.* (1999) relaciona esta sedimentação rica em carbonato ao evento de isolamento da bacia datado em, aproximadamente 3700 anos. O Teor de Carbonato apresenta uma variação muito baixa mostrando que todos os sedimentos são carbonáticos. A partir deste episódio, as mudanças ocorrem dentro da laguna já formada.

No intervalo de amostragem LV1-03 e LV2-04 há uma queda nos valores de COT que está relacionada, principalmente, a fácies Le. Como já discutido, estes intervalos registram presença de gastrópodes, ostracodes e bivalves. Segundo Santelli *et al.* (2006) esta ocorrência

caracteriza momentos de menor salinidade no ambiente, onde há possibilidades destes organismos se desenvolverem.

Com a queda da salinidade, haveria possibilidade de serem encontrados microplânctons de água doce, como *Botryococcus*, *Pediastrum* e *Scenedesmus*. Wehr (2003) esclarece que, em condições de baixa disponibilidade de fósforo, os fitoplânctons sofrem com a alta competitividade sendo pastados, principalmente, por zooplânctons.

7. CONCLUSÃO

Não há evidências de um influxo subterrâneo significativo ou mesmo de água doce ou incursão marinha na Lagoa Vermelha após o seu isolamento. Isto pode ser visto através dos dados da Palinofácies que mostram predomínio de MOA bacteriana em todos os intervalos de amostragem evidenciando que a principal fonte de matéria orgânica decorre da atividade bacteriana autóctone. Além disso, a relação COT/S mostra que toda a sedimentação dos dois testemunhos não é de origem marinha.

A Lagoa Vermelha apresenta condições menos salinas e carbonáticas em momentos anteriores ao seu completo isolamento do mar e da Lagoa de Araruama. Foram encontradas quatro momentos ao longo dos testemunhos, sendo os dois primeiros anteriores ao isolamento da Lagoa Vermelha:

- 1) Condição menos salina do que a atual em um ambiente fechado, mas não totalmente restrito. Maior disponibilidade de nutrientes e maior concentração da biomassa, menor competitividade. Como consequência destas condições é registrado COT mais alto.
- 2) Sistema de maior energia com baixa preservação do material orgânico devido à granulometria grossa. Baixa salinidade registrada pela presença de organismos com carapaças. Menor COT registrado.
- 3) Ambiente totalmente restrito com sedimentação muito rica em carbonato. Condições de salinidade mais elevada. Devido à alta salinidade, os predadores das espécies que se adaptam às condições extremas não se desenvolvem. O aumento da produção primária e o desenvolvimento das esteiras microbianas são favorecidos. Com o aumento da biomassa, registro de COT elevado.
- 4) Ambiente totalmente restrito, sedimentação muito rica em carbonatos, porém, com salinidade mais baixa que a configuração anterior. O declínio da salinidade favorece a

diversificação das espécies de algas de água doce e o desenvolvimento de organismos com carapaças, gerando o aumento da competição no ambiente. O aumento da competitividade gera queda na biomassa, diminuindo o COT.

A MOA Pelicular predomina em todos os intervalos de amostragem. A MOA em Placa apresenta um aumento relativo nos intervalos de maior COT. Sugerindo uma ligação com os períodos onde há aumento da atividade de bactérias heterotróficas que poderia ser causado por dois motivos: (1) Alta disponibilidade de nutrientes antes do isolamento da Lagoa Vermelha; (2) Por haver queda da predação em condições de salinidade muito elevada.

8. AGRADECIMENTOS

Ao Projeto Lagoas pela concessão das amostras. Aos orientadores e aos pesquisadores, técnicos e estagiários do Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânica (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>).

A.S. Alsharhan, A.E.M. Nairn - Carbonate platform models of Arabian Cretaceous reservoirs in: J.A.T. Simo, R.W. Scott, J.P. Masse (Eds.), *Cretaceous Carbonate Platforms*, AAPG Memoir, vol. 56 (1993), pp. 173–184

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.

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.

DIAS, G. T. M., & KJERFVE B. (2008). Barrier and beach ridge systems of the Rio de Janeiro coast. (Dillenburg, S. R., Hesp, P. A., Ed.). 225-252., Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag;

DICKINSON, W.W., 1987, An Oxygen Isotope Model for Interpreting Carbonate Diagenesis in Nonmarine Rocks (Green River Basin, Wyoming, USA): *Chemical Geology*, v. 65, p. 103-116.

- 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.
- FURUKAWA, G. G.; Estudo De Palinofácies, Palinologia E Dinocistos Do Testemunho K9, Localizado Em Uma Área De Ressurgência Na Região De Cabo Frio, Rio De Janeiro/ Brasil Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2012
- GAWAD,E.A.; LOTFY,M.M.; SADOONI,F.N., 2008: Sedimentology and hydrocarbon potentiality of Arid Sabkha, UAE. *Journal Of Applied Sciences Research: Ptember*,
- 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.
- LAMBERT, L., DURLET, C., LOREAU, J.-P. and MARNIER, G., 2006. Burial dissolution of micrite in Middle East carbonate reservoirs (Jurassic-Cretaceous): keys for recognition and timing. *Marine and Petroleum Geology*, **23**, 79–92.
- LEVENTHAL J. S. (1995): Carbon-sulfur plots to show diagenetic and epigenetic sulfidation in sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 6, 1207–1211 MACHADO ET AL.; 2010 - Moluscos. In: Carvalho, I.S. (Ed.), *Paleontologia* 3, Interciência, Rio de Janeiro, vol. 1 pg. 409-447.
- MADDOCK, J.E;. 1999. Physical and Chemical Characteristics of Algal Mat from a Hypersaline Lagoon: Lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brazil. *In: Environmental Geochemistry os Coastal Lagoon Systems*, Rio de Janeiro, Brazil, p. 25-46.
- MAZZULLO, S.J.; CHILIGARIAN, G.V. - Carbonate Reservoir Characterization: A Geologic-Engineering Analysis. *Developments in Petroleum Science* 30, 639 pp., 1992.

- 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., 2010B. Palinofácies. In: Carvalho, I.S. (Ed.), *Paleontologia 3*, Interciência, Rio de Janeiro, vol. 2, 379-413.
- 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
- MENDONÇA FILHO, J. G. *et al.*, 2012b - *Organic Facies: Palynofacies and Organic Geochemistry*.
- NORTH AMERICAN COMMISSION OF STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE, 2005 – North American Code of Stratigraphic Nomenclature.
- OLIVEIRA, A. D. Reconstrução paleoambiental com base nas assembleias de dinoflagelados presentes nos sedimentos do Holoceno e Pleistoceno do Talude Continental Brasileiro da Bacia de Campos, RJ-Brasil. 2003. 168 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- OLIVEIRA, A. D.; MENDONÇA FILHO, J. G.; SANT'ANNA, A. J.; SOUZA, J. T.; FREITAS, A. G.; MENEZES, T. R. Inovação no processamento químico para

isolamento da Matéria Orgânica Sedimentar. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 43.,2006, Aracaju. Anais... Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Bahia-Sergipe, 2006. p. 324.

OLIVEIRA, A.D. 2011. *Estudo integrado de palinofácies com cistos de dinoflagelados fósseis (dinocistos) de zona climática tropical em sedimentos quaternários de águas profundas da Bacia de Campos, RJ, Brasil*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 230p.

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.

SANFORD & WOOD (2001) Hydrology of the coastal sabkhas of Abu Dhabi, United Arab Emirates *Hydrogeology Journal* (2001) 9 pgs. 358–366.

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.

SARG, J.F., 2001, The sequence stratigraphy, sedimentology, and economic importance of evaporite-carbonate transitions: a review; *Sedimentary Geology*, v. 140, p. 9-42.

SILVA E SILVA, L. H & CARVALHAL, S. B. V. 2005. Biolaminóides Calcários Holocênicos da Lagoa Vermelha, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 28: 59-70.

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.

SOUZA, J.T. - Integração Dos Estudos De Palinofácies E Palinologia Com Ênfase Em Dinocistos (Cistos De Dinoflagelados) Em Dois Testemunhos Do Quaternário Da Região De Cabo Frio - Rj/Brasil – Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2012

TURCQ, B.; MARTIN, L.; FLEXOR, J. M.; SUGUIO, K.; PIERRE, C. & TASAYACORTEGA, 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.1995. Sedimentay organic matter. *Organic facies and palynofacies*. Londres, Chapman & Hall. 615 p.

VALERO-GARCES, B.L.; *et al.*, "Holocene lacustrine deposition in the Atacama Altiplano: facies models, climate and tectonic forcing", *PALAEOGEO P*, 151(1-3), 1999, pp. 101-125;

VAN LITH, Y; The role of sulphate-reducing bacteria in dolomite formation. Swiss Federal Institute of Technology Zürich. Dissertação de Doutorado, 178 p.

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.

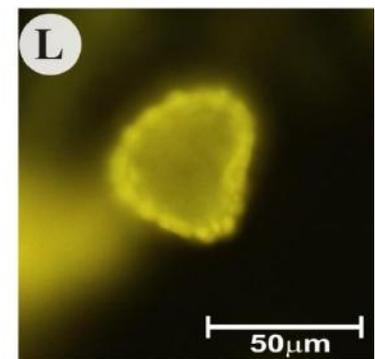
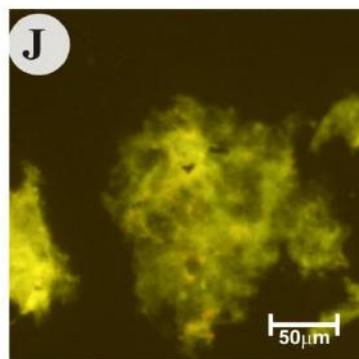
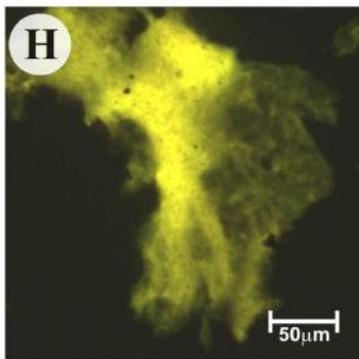
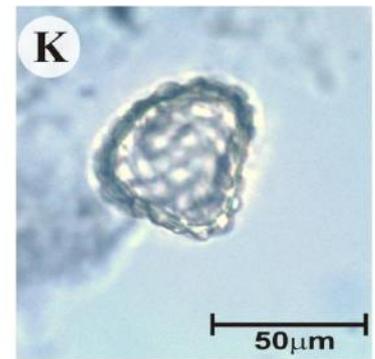
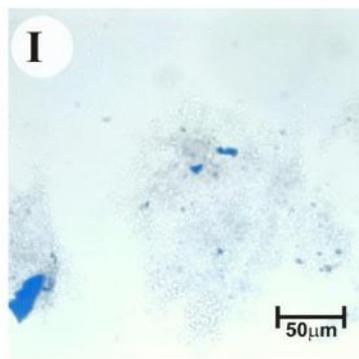
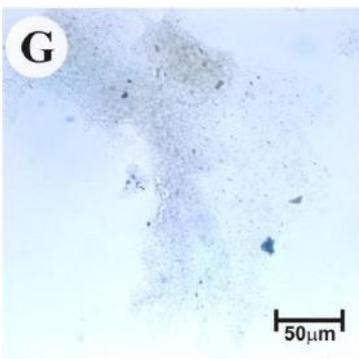
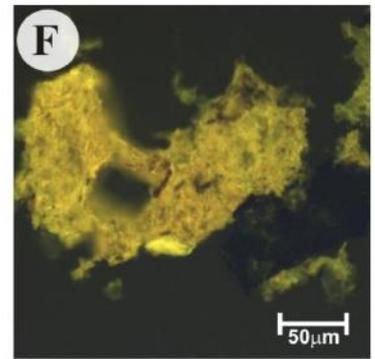
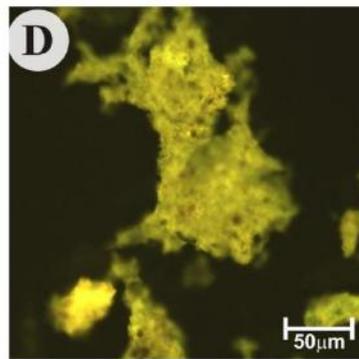
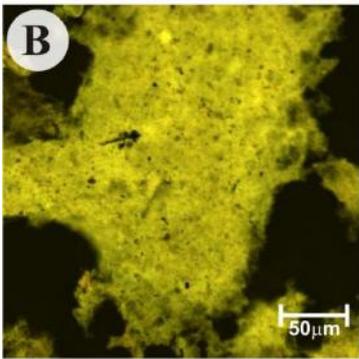
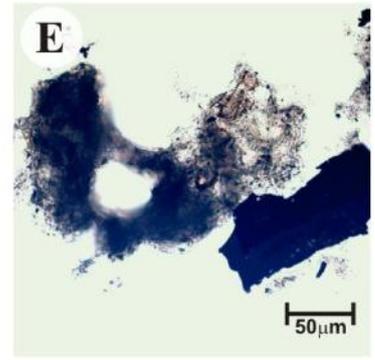
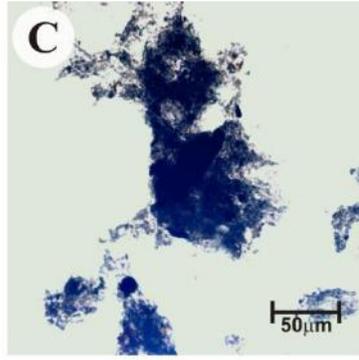
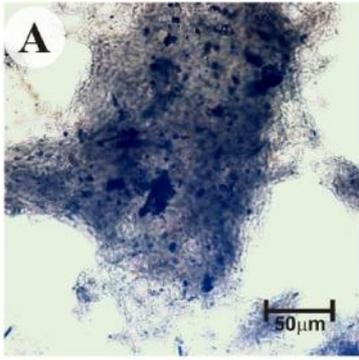
VASCONCELOS, C. O.; WARTHMAN, R.; MCKENZIE, J. A.; VISSCHER, P. T.; BITTERMANN, A. G. & LITH, Y. 2006. Lithifying microbial mats in Lagoa Vermelha, Brazil: Modern Precambrian relics? *Sedimentary Geology*, 185: 175-183.

YEMANE, K & KELTS, K., "Isotope Geochemistry Of Upper Permian Early Diagenetic Calcite Concretions - Implications For Late Permian Waters And Surface Temperatures

In Continental Gondwana", *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 125(1-4), 1996, pp. 51-73

WANDERLEY, M. D.; Preparação de microfósseis. In: Carvalho, I.S. (Ed.), *Paleontologia 3*, Interciência, Rio de Janeiro, vol. 1, 387-395.

WEHR, J. D. – Freshwater habitats of Algae – In: *Freshwater Algae of North America*. 2003. Massachusetts 12 – 57p.



Estampa 1 – Testemunho LV1

A, B – MOA Em Placas - intervalo de amostragem LV1 - 05

C, D - MOA Em Placas - intervalo de amostragem LV1 – 05

E, F - MOA Em Placas e Fitoclasto Opaco - intervalo de amostragem LV1 – 06

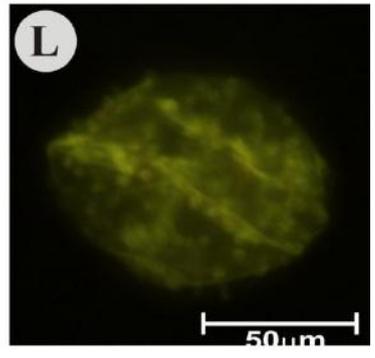
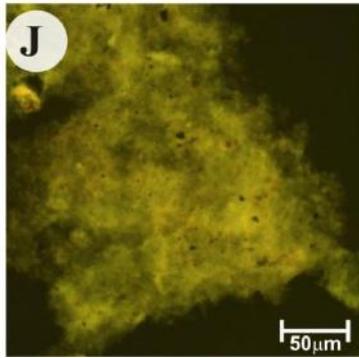
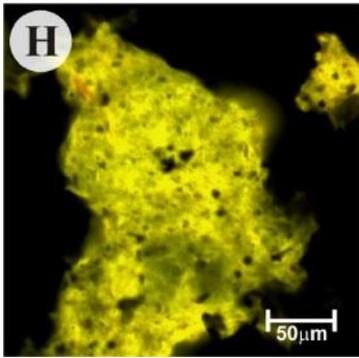
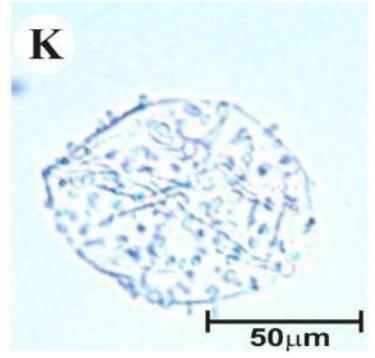
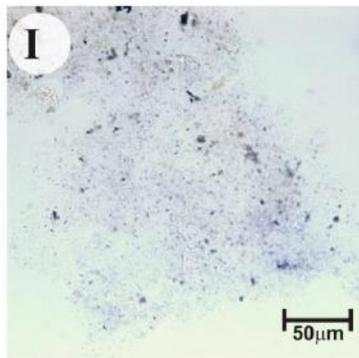
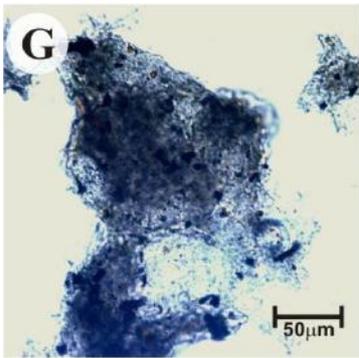
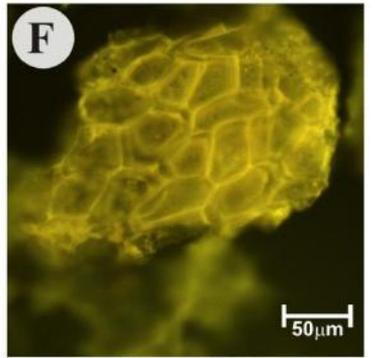
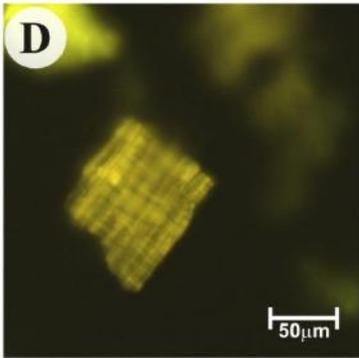
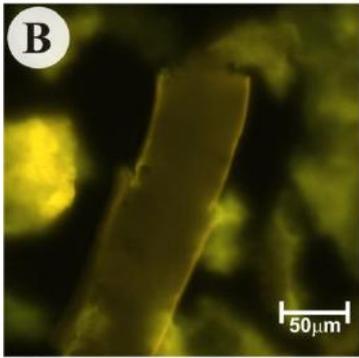
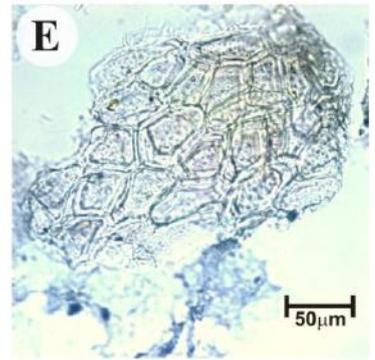
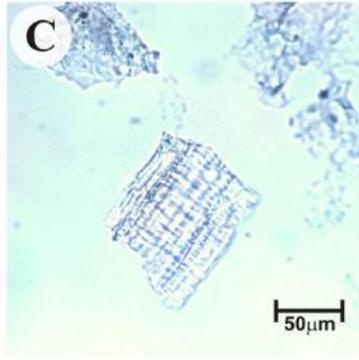
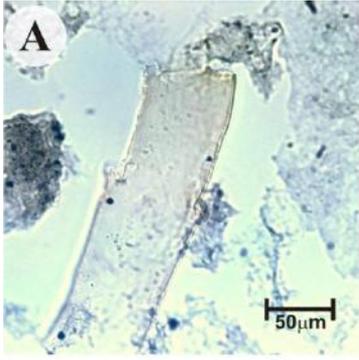
G, H – MOA Pelicular - intervalo de amostragem LV1 – 03

I, J – MOA Pelicular - intervalo de amostragem LV1 – 09

K, L – Grão de Pólen – Palinomorfo do Subgrupo Esporomorfo – intervalo de amostragem
LV 1 - 03

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

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



Estampa 2 – Testemunho LV2

A B – Membrana - intervalo de amostragem LV2 - 01.

C, D – Fitoclasto Não Opaco Bioestruturado Estriado - intervalo de amostragem LV2 - 08.

E, F – Cutícula - intervalo de amostragem LV2 - 08.

G, H – MOA Em Placas – intervalo de amostragem LV2 – 05.

I, J – MOA Pelicular - intervalo de amostragem LV2 – 03.

K, L – Dinocisto - Palinomorfo do Subgrupo de Microplânctona Marinho – intervalo de amostragem LV2 – 11.

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

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