



Fácies Orgânica Aplicada na Interpretação Paleoambiental dos Sedimentos da Formação Itapecuru (na Parte Centro-Oeste da Bacia de São Luís-Brasil)
Organic Facies Applied in the Paleoenvironment Interpretation from Sediments of the Itapecuru Formation (in the West-Central Part of the San Luis Basin-Brazil)

Luis D. Caro Gonzalez¹; João Graciano Mendonça Filho²;
Sinda Beatriz Cavalhal Gomes³ & Maria Mastalerz⁴

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia - PPGL, Av. Athos da Silveira Ramos, 274, 21941-916, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

^{2,3} Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia,

Avenida Athos da Silveira Ramos, 274, Bloco F, Ilha do Fundão Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ, 21949-900, Brasil

⁴Indiana Geological and Water Survey, Indiana University, Bloomington, IN 47405-2208, USA

E-mails: lcaro@lfo.geologia.ufrj.br; graciano@geologia.ufrj.br; sinda@lfo.geologia.ufrj.br; mmastalerz@indiana.edu

Recebido em: 01/04/2019 Aprovado em: 31/07/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_3_609_623

Resumo

A Bacia de São Luís, localizada no Noroeste do Brasil, está preenchida por sedimentos correspondentes à Formação Pimenteira (Devoniano) e às Formações Bragança, Grajaú, Codó e Itapecuru (Cretáceo). A Formação Itapecuru, alvo da presente pesquisa, é a unidade sedimentar de maior espessura com 2.469 m na parte centro-oeste da Bacia. O presente trabalho apresenta os resultados do estudo dos componentes orgânicos particulados e fácies orgânicas dos sedimentos da formação. O material de estudo compreende um total de 41 amostras de calha e 3 de amostras laterais coletadas do Poço 2-ANP-5-MA e submetidas às seguintes análises: Carbono Orgânico Total (COT), Resíduo Insolúvel (RI) e Palinofácies. Os dados obtidos da contagem das Palinofácies foram submetidos a análise multivariada de agrupamento (modo-Q e modo-R) e diagramas de extremos e quartis. O material analisado apresentou baixos conteúdos de COT (menores que 0,5 %) refletindo tanto a quantidade de matéria orgânica depositada quanto no baixo grau de preservação e também o alto grau de oxidação; os altos valores de Resíduo insolúvel (> 85%) sugerem a deposição siliciclástica. Verificou-se uma correlação positiva do COT com as cutículas, resinas e palinomorfos continentais. As integrações desses resultados indicam que as condições deposicionais variaram de um corpo de água rasa, doce, por vezes com influência marinha e influência fluvial, próximo da área fonte para um corpo de água semi-restrito com variações na coluna de água e regime de energia do sistema, típico em sistemas fluviais como meandros abandonados, canais e depósitos de inundação. O regime paleoclimático aponta para condições quentes e áridas, com pequenas variações locais mais úmidas. O reconhecimento de palinomorfos do Devoniano apontam que estratos da Formação Pimenteira estavam expostos durante a deposição dos estratos da Formação Itapecuru. De acordo com a classificação das Fácies Orgânicas (*sensu* Jones, 1987) estabelece-se a Fácies Orgânica D, que corresponde à deposição de matéria orgânica retrabalhada e altamente oxidada, para a Formação Itapecuru.

Palavras chave: Fácies orgânica; Formação Itapecuru; Bacia de São Luís

Abstract

The São Luís Basin, located in the Northwest of Brazil, is filled with sediments of the Pimenteira Formation (Devonian) and the Itapecuru, Codó, Grajaú and Bragança Formations (Cretaceous). The Itapecuru Formation, the target of this research, is the thickest sedimentary unit with 2.469 meters in the central-western part of the basin. The present work focuses on the study of the organic components and organic facies from this formation. The samples were collected from the stratigraphic well 2-ANP-5-MA and were analyzed for total organic carbon (TOC), insoluble residue (RI), and palynofacies. The data obtained from the counting of the palynofacies were processed using multivariate analysis (Clusters: Q-mode and R-mode) and extreme and quartile diagrams (*box-plots*). The analyzed material has low TOC content (less than 0,50%), which reflects both the amount of organic matter deposited and the low degree of preservation and high degree of oxidation; the high values of insoluble residue (> 85%) suggested siliciclastic deposition. There was a positive correlation of TOC with cuticles, resins and continental palynomorphs (pollen grains and spores). The integration of these results indicates that the depositional conditions varied from a shallow fresh water setting with a marine influence, under river influence, in proximity of the source area of organic matter to a semi-restricted water body with variations in the column water and the energy regime increases, typical in fluvial systems such as oxbow lakes, channels and flood deposits. The warm arid to semi-arid climate prevailed, although local variations towards more humid conditions also occurred during deposition. Reworked palynomorphs from Devonian pointed out that the strata of the Pimenteira Formation were exposed during the deposition of the Itapecuru Formation. Based on the classification of organic facies from *sensu* Jones (1987), the organic facies corresponds to D that exhibits highly oxidized and redeposited organic matter for the Itapecuru Formation.

Keywords: Organic facies; Itapecuru Formation; São Luís Basin

1 Introdução

A Bacia de São Luís é caracterizada por um rifte intracontinental alongado (Góes & Rossetti, 2001; ANP, 2017) localizada na região Nordeste do Brasil e é preenchida por rochas sedimentares das sequências devoniana e cretácea. A maior unidade sedimentar corresponde aos sedimentos da Formação Itapecuru de idade Albiana (Pedrão, 1995), atingindo uma espessura de 2.469 m na parte centro-oeste da bacia. A Formação Itapecuru tem sido alvo de estudos litofaciológicos (Gonçalves & Carvalho, 1996; Oliveira, 2004; Corrêa-Martins *et al.*, 2018), estratigráficos (Rossetti, 1997; Rossetti, & Truckenbrod, 1997; Lima & Aranha, 1993) e palinológicos (Pedrão, 1995; Rossetti, 1997) visando o entendimento das condições de deposição desta formação como parte do sistema petrolífero Codó-Itapecuru², porém ainda não foram feitos estudos organofaciológicos (correlação de análises geoquímicas com resultados de análises microscópicas) (Menezes *et al.*, 2008), devido possivelmente à natureza oxidante das condições de deposição no sistema. Os estudos organofaciológicos podem, como demonstrado, contribuir na melhor definição e caracterização paleoambiental das rochas albianas da Formação Itapecuru na Bacia de São Luís.

2 Geologia

2.1 Bacia de São Luís

A Bacia de São Luís localiza-se no litoral noroeste do Brasil, no estado do Maranhão, perfazendo área aproximada de 20.000 km² (ANP, 2017) (Figura 1). Está delimitada ao Norte pelo embasamento do Cráton de São Luís/Cinturão Orogênico de Gurupi (Lima & Aranha, 1993; Soares *et al.*, 2008) e pela Plataforma Ilha de Santana (Zalán, 2007; Carvalho, 2007 Soares *et al.*, 2008). A Oeste pelo Alto de Gurupi (Lima & Aranha, 1993; Soares *et al.*, 2008). A Leste pelo alto de Curupu (Lima & Aranha, 1993; Soares *et al.*, 2008). O limite sul é o Arco Ferrer-Urbano Santos (Rezende & Pamplona, 1970; Carvalho & Pedrão, 1998; Zalán, 2007; Carvalho, 2007; Soares *et al.*, 2008; ANP, 2017).

2.2 Arcabouço Tectônico

A origem e o desenvolvimento da bacia estão relacionados com os esforços tectônicos da abertura da margem atlântica (Cerqueira & Marques, 1985; Carvalho, 2007), na região equatorial brasileira (Carvalho & Pedrão, 1998). É caracterizada por um rifte intracontinental (Goés & Rossetti, 2001; ANP, 2017) alongado no sentido WNW-ESE (Lima *et al.*,

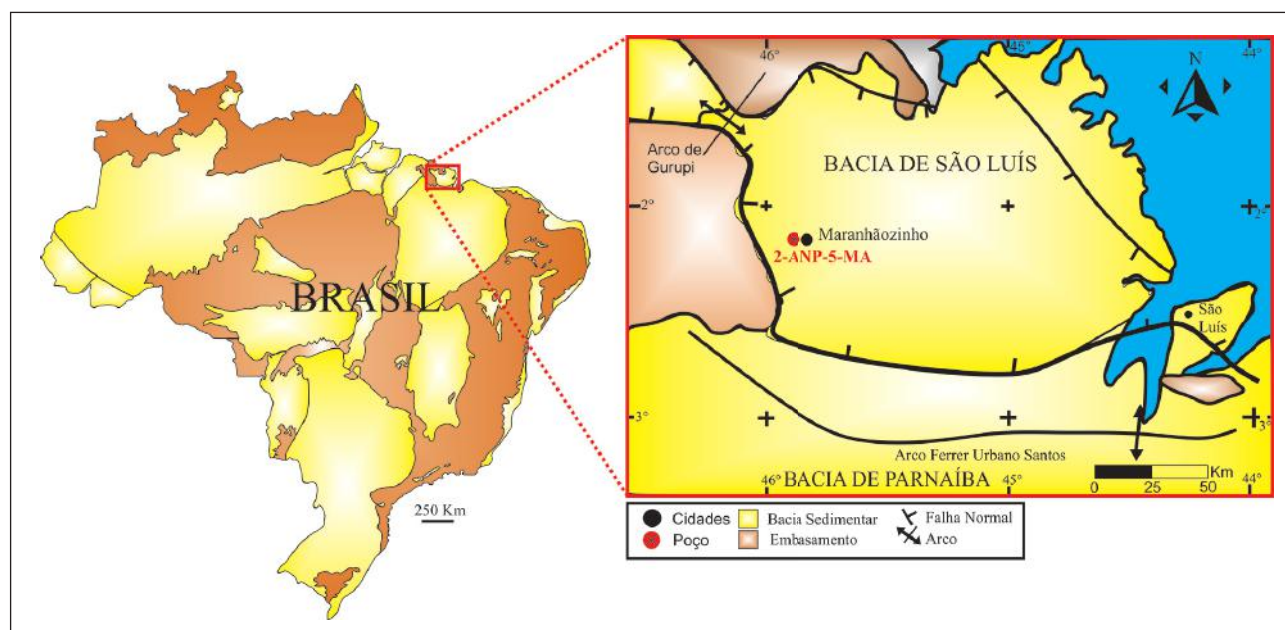


Figura 1 Mapa de localização da Bacia de São Luís mostrando o posicionamento do Poço 2-ANP-5-MA

1994; Soares *et al.*, 2008), durante a separação dos continentes africano e sul-americano (Rossetti *et al.*, 2013) desenvolvido no Aptiano-Albiano (Cerqueira & Marques, 1985) e preenchido por sedimentos que podem alcançar 4.500 m de espessura (Aranha *et al.*, 1990; Carvalho, 2007; ANP, 2017) no depocentro. O embasamento da bacia é constituído por rochas paleozoicas e mesozoicas da bacia do Parnaíba (Rossetti *et al.*, 2013), assim como rochas pré-cambrianas do Cráton São Luís/Cinturão Orogênico Gurupui (Góes & Rossetti, 2001; Soares *et al.*, 2008).

2.3 Estratigrafia

A sedimentação da bacia de São Luís compõe rochas de idade devoniana (Formação Pimenteira - Sequência Devoniana, Lima *et al.*, 1994) e sedimentos do Cretáceo das Formações Bragança (K-40), Grajaú e Codó (K-50) (Lima *et al.*, 1994) que correspondem à Super-sequência pré-rifte e sedimentos da Formação Itapecuru pertencentes à sequência Rifte (K-60) (Zalán, 2007). Segundo Zalan (2007), o registro da fase pós-rifte está ausente na sequência estratigráfica devido à falta de uma fase de subsidência termal.

2.3.1 Formação Itapecuru

A Formação Itapecuru de idade cretácea, abrange grandes áreas nas bacias do Parnaíba, Bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova, sendo a unidade estratigráfica de maior espessura com 2.469 m na Bacia de São Luís (Figura 2) e 600 m na Bacia do Parnaíba (Caputo, 1984). Numa primeira caracterização da Formação Itapecuru, Campbell (1949) denominou de Formação Itapecuru todos os sedimentos compreendidos entre a Formação Codó e o Grupo Barreiras divididos em três membros: Serra Negra, Indiferenciado e Boa Vista; compostos por arenitos médios e finos com níveis de conglomerados, intercalados com folhelhos e siltitos de cor vermelha (associados a ambientes oxidantes) a cinza, depositados em paleoambiente continental sob influência de corrente e por vezes, inundação.

Segundo Lima & Leite (1978), camadas de arenitos médio a fino de cor avermelhada e conglo-

merados intercalados com folhelhos e siltitos de cor avermelhada a cinza compõem a formação. Para Cerqueira & Marques 1985, a Formação Itapecuru, é caracterizada por deposição flúvio-lacustre, em condições ambientais fortemente oxidantes. Lima & Aranha (1993) dividiram a Formação Itapecuru em 3 partes: Inferior, Médio e Superior; tendo uma correspondência aos ciclos deposicionais ITA I, II e III de Aranha *et al.* (1990). O Membro Inferior constitui-se de arenitos gradando a siltitos, o Membro médio corresponde a arenitos, conglomerados e siltitos e o Membro Superior é composto por arenitos e siltitos. Para os pesquisadores (Lima & Leite, 1978; Cerqueira & Marques, 1985; Lima & Aranha, 1993; Aranha *et al.*, 1990), os sedimentos da Formação Itapecuru foram depositados em ambiente flúvio-lacustres com planícies de inundação associadas, sendo a coloração das rochas vermelha um destaque em função do regime de oxidação.

De acordo com Lima *et al.* (1994) e Góes & Feijó (1994), as Formações Codó e Grajaú estão sotopostas concordantemente à Formação Itapecuru. Góes & Feijó (1994), em estudos feitos no sistema Grajaú-Codó-Itapecuru, na bacia do Parnaíba, mostraram que os sedimentos da Formação Codó, de ambiente marinho restrito estão interdígidos a sedimentos litorâneos da Formação Grajaú e são sotopostos concordantemente aos sedimentos da Formação Itapecuru.

Estudos palinológicos, feitos por Pedrão (1995), datam os sedimentos do Itapecuru Inferior como neoaptianos (?) a eo-mesoalbianos em um ambiente continental fluvial com influência marinha sob condições paleo climáticas áridas e quentes. A sequência do Itapecuru Médio como eo-mesoalbianos depositada em paleoambiente fluvial, sob clima quente e árido e a sequência do Itapecuru superior no Albiano inferior/médio representa um paleoambiente deposicional continental fluvial sob clima quente e árido. Estudos palinológicos da Bacia de São Luís (Pedrão, 1995) e da Bacia de Parnaíba (Ferreira *et al.* 2016) identificam palinomorfos de idade devoniana presentes nas seções da Formação Itapecuru, apontando retralhamento de unidades sedimentares do Paleozoico (Formação Pimenteiras).

3 Material e Métodos

As amostras da Formação Itapecuru foram coletadas do poço estratigráfico 2-ANP-5-MA localizado no centro-oeste da bacia de São Luís, locação Maranhãozinho, nas coordenadas UTM 9751725.8N e 398247.9E (Figura 1) que alcança uma profundidade de 2.914 m até o embasamento. O conjunto de amostras de calha e informações do poço pertencentes à Agência Nacional do Petróleo (ANP) foram doadas à Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) para o desenvolvimento da presente pesquisa. A Formação Itapecuru tem 2.469 m de espessura nesse ponto da bacia sedimentar. O material de estudo para a presente pesquisa compreende 41 amostras de calha e 3 amostras laterais do intervalo de 393 m a 2469 m de profundidade (Figura 2). As coletas das amostras de calha seguiram as recomendações feitas por Tysson (1995) e Mendonça Filho (1999), sendo feitas nos níveis de maior conteúdo de partículas nas frações silte e argila garantindo uma maior preservação e quantidade de matéria orgânica sedimentar devido à equivalência hidrodinâmica com as frações granulométricas mais finas. Uma vez coletadas, as amostras foram submetidas às seguintes análises:

3.1 Isolamento do Querogênio

A preparação das amostras para análise e isolamento do querogênio, utilizou os procedimentos padrões não oxidativos descritos por Tyson (1995) e Mendonça Filho *et al.* (2010, 2011, 2014). Cerca de 30 gramas de amostra são acidificadas com ácido clorídrico (HCL) a 37 %, por aproximadamente 18 horas para eliminação dos carbonatos; posteriormente acidificadas com ácido fluorídrico (HF) a 40 % durante 24 horas para eliminação dos silicatos, voltando ao HCL para remoção dos cristais de fluorsilicatos. Entre cada acidificação as amostras são lavadas em água filtrada para neutralização do pH. O material produto das acidificações é levado a um tubo de ensaio, onde é adicionado líquido denso (cloreto de zinco -ZnCl₂) e submetido à centrifugação com velocidade de 1500 rpm por 10 minutos visando otimizar a recuperação da matéria orgânica particulada e garantir a preservação dos constituintes orgânicos. A etapa seguinte visou à eliminação do ZnCl₂ adicionando algumas gotas de HCL (10 %

e a recuperação da fração orgânica particulada. Aos poucos, o material sobrenadante foi levado e transferido para uma peneira de 20 µm. Após o procedimento de peneiramento, a fração orgânica é usada na preparação das lâminas organopalinológicas.

3.2 Carbono Orgânico Total (COT) e Resíduo Insolúvel (RI)

Essas análises foram realizadas seguindo as Normas de referência da *American for Testing and Materials* (ASTM) (D4239-08-2008), no aparelho LECO SC-144. É necessário a acidificação da amostra com HCl a 50% para a retirada dos minerais carbonatados e sulfatados. O resíduo insolúvel corresponde à fração da amostra não eliminada após o tratamento com ácido e pode refletir tanto a sedimentação carbonática ou siliciclástica quanto processos diagenéticos (cimentação) dos sedimentos.

3.3 Palinofácies

A análise consiste em um exame qualitativo (identificação e estado de preservação das partículas orgânicas referentes aos 3 grupos principais do querogênio: Grupo Fitoclasto, Amorfo e Palinomorfo) e quantitativo (contagem de 300 a 400 partículas: realizado em objetiva de 20 x) em lâminas de concentrado de querogênio, utilizando-se técnicas de microscopia de luz branca transmitida (LBT) e luz azul incidente/ultravioleta (modo fluorescência). A contagem e classificação seguiram os métodos propostos por Tyson (1995), Mendonça Filho *et al.* (2010, 2011, 2014) e Mendonça Filho & Gonçalves (2017).

3.4 Tratamento Estatístico

Os dados obtidos da contagem foram analisados estatisticamente após normalização dos valores absolutos para percentuais, usando o software STATISTICA da StatSoft® Verão 7.0 (Valentin, 2000). Depois disso, os dados foram submetidos a análise multivariada e de agrupamento (*Clusters*): modo-Q para observar as similaridades entre as amostras e o modo-R para verificar as similaridades entre os componentes orgânicos particulados. Usou-se o coe-

ficiente de correlação Spearman - ρ para determinar o grau de similaridade e correlação dos parâmetros e os diagramas de extremos e quartis (*box-plots*) para mostrar as variações e distribuição entre os diferentes grupos/subgrupos e descritos por abundância relativa com um valor mínimo e um valor máximo, valores de 25 % e 75 % e a mediana.

4 Resultado e Discussões

4.1 COT e Resíduo Insolúvel (RI)

Como esperado, o material analisado apresentou baixos conteúdos de COT variando de 0,068% até 0,80% (Figura 2); sendo que 59% dos dados ficaram na faixa de 0,068% - 0,3%; 27% dos dados entre 0,3% - 0,5%, 7% dos dados entre 0,5% - 0,7% e outros 7% entre 0,7% - 0,8%, o que reflete tanto a quantidade de matéria orgânica depositada como o baixo grau de preservação e alto grau de oxidação. Os altos valores de RI, variam de 85% e 95% e sugerem o predomínio de deposição terrígena na seção estudada.

4.2 Assembleia dos Componentes Orgânicos

Os resultados das palinofácies revelam a ocorrência dos três grupos principais da matéria orgânica: Fitoclastos, Grupo Amorfo e Palinomorfos (Figuras 2 e 3). O Grupo Fitoclasto é o que apresenta a maior representatividade nas amostras, sendo os fitoclastos opacos mais representativos, seguido pelos Palinomorfos e em menos abundância o Grupo Amorfo. O alto conteúdo de Fitoclastos e Palinomorfos continentais é reflexo de um forte aporte terrígeno, bem como o caráter continental da Formação Itapecuru.

A distribuição do grupo Fitoclasto (derivado de componentes orgânicos dos vegetais superiores) apresenta elevados percentuais, sendo predominante o subgrupo dos fitoclastos opacos (FOPA) (alongados e quidimensionais), seguidos pelos fitoclastos não opacos (FNOPA) (não bioestruturados e bioestruturados). Esses percentuais elevados de fitoclastos opacos estão correlacionados à preservação da matéria orgânica mais refratária, que é mais resistente à degradação óxica em ambiente continentais altamente oxidantes e não em relação deposição sele-

tiva (Tyson, 1995; , Vicent, 1995; Mendonça Filho, 1999). No geral, as cutículas e membranas apresentam baixíssimos percentuais (1,76%), contudo as cutículas podem alcançar valor de até 27,5% e variam em tamanho, forma e grau de preservação, indicando variações locais da distância da área fonte e condições de deposição (Rich, 1989; Spicer, 1989).

O Grupo dos Palinomorfos está representado principalmente pelo subgrupo dos esporomorfos, seguido por ocorrências ocasionais de microplâncton de água doce dos gêneros *Botryococcus*, *Pediastrum* e *Scenedesmus*. O microplâncton marinho (dinocistos do gênero *Subtilisphaera*) ocorre apenas na amostra 41C, base da sequência, apontando para uma incursão marinha. Identificou-se palinomorfos paleozoicos, produto de retrabalhamento, como acritarcos, prasinofíceas e quitinozoários.

Os palinomorfos continentais que permitiram a separação das partículas pelo grau de oxidação foram os esporos de pteridófitas (*Perotriletes sp.*) (Pedrão, 1995), esporos triletes psilados e ornamentados e grãos de pólen de gimnospermas (*Araucaricities australis*) (Cockson, 1947; Cantrill, 1992; Pedrão, 1995; Cantrill & Raine, 2006), que normalmente apresentam alto grau de oxidação e grãos de pólen dos gêneros *Classopollis* e *Afropollis*, que são muito comuns na sequência e não apresentam efeitos de oxidação. *Classopollis* são importantes principalmente para estudos paleoclimáticos. Este gênero pertence às coníferas (gimnospermas), família Cheirolepidiaceae com padrão de distribuição do Jurássico ao Cretáceo, tornado-se extintas no começo do Cenozoico (Vankhrameev, 1970).

Grandes concentrações desse grão de pólen, tal qual de *Afropollis* certificam clima quente e seco (semiárido a árido), enquanto que uma redução em seu conteúdo atesta condições climáticas temperadas a subtropicais, refletindo variações nas condições de umidade (Vankhrameev, 1970, 1981; Spicer *et al.*, 1993). Os *Perotriletes* são indicativos de umidade (disponibilidade de água em caráter local), comuns em sedimentos albo-aptianos (Pedrão, 1995) e de *habitat* associados às margens de corpos de água (rios e lagos) (Pedrão, 1995; Duarte *et al.*, 2012), climas tropical e subtropical (Antonioli, 2002), em ambien-

tes fluviais, lagunares, flúvio-deltaico e planícies de maré (Rossetti *et al.*, 2001; Pedrão *et al.*, 2002). Por outro lado, os grãos de pólen de gimnospermas (*Araucaracities*) estão associados a relevos um pouco mais altos e são indicativos de condições úmidas (Pedrão, 1995) com preferências ambientais a climas tropicais e subtropicais (Lima, 1983) às vezes temperados (Antoniolli, 2002). São frequentes os gêneros *Classopollis* e *Afropollis*, os quais indicam uma flora tropical de clima quente e árido (Lima, 1978; Lima, 1983; Pedrão, 1995). O Grupo Amorfo está representado apenas por resinas que é um produto derivado de coníferas e seu percentual chega a 6%. A coloração da resina apresenta-se entre um laranja e marrom em luz branca transmitida e fluorescência alaranjada até um laranja-amarelado. Na maioria dos casos encontra-se oxidada.

4.3 Correlação e Distribuição dos Componentes Orgânicos Particulados e Análise de Agrupamentos

Através dos resultados obtidos da matriz e do coeficiente de correlação Spearman - ρ constata-se uma correlação positiva do COT com as cutículas ($\rho = 0,30$, $p < 0,05$), resinas ($\rho=0,47$, $p < 0,05$) e palinomorfos continentais ($\rho = 0,34$, $p < 0,05$). Por outro lado, os fitoclastos opacos, embora sejam os componentes de maior percentual relativo, apresentam correlações negativas com todos os outros componentes orgânicos, o que aponta que a correlação negativa está relacionada a baixa preservação da matéria orgânica neste ambiente, no qual o componente orgânico orgânico mais refratário é mais resistente a degradação óxica (Tyson, 1995; Mendonça, Filho, 1999).

A análise de agrupamento e distribuição permitiu organizar em cinco agrupamentos (I – V) (Figuras 3 e 4), de acordo como o grau de similaridade dos componentes da matéria orgânica particulada em relação à origem (modo-R) (Figura 3) e a abundância relativa (*box-plots*) (Figura 4) da matéria orgânica dos grupos e subgrupos. Desta forma, foi possível definir 5 associações de palinofácies (Figura 5):

Associação de palinofácies I: Caracterizada por COT entre 0,18 % e 0,49% com mediana de

0,23%, Fitoclastos entre 78,7 % e 93,6% e mediana de 90,0%, FNOPA entre 20,4% e 51,1% e mediana de 33,2%, FOPA entre 40,9% 69,2% e mediana de 54,7%, esporomorfos entre 5,4% e 16% e mediana de 8,3%, cutículas e membras entre 0,4% e 3,4% e mediana de 1,2% e resinas entre 0,0% e 6,0% com mediana de 1,50%. Cutículas, membranas e resinas são consideradas ocorrências.

Associação de palinofácies II: Caracterizada por COT entre 0,12% e 0,27% com mediana de 0,19%, Fitoclastos entre 96,6% e 99,6% e mediana de 97,5%, FNOPA entre 15,8% e 30,6% e mediana de 20,9, FOPA entre 66,3% e 82,8% e mediana de 75,0, esporomorfos entre 0,37% e 2,64% e mediana de 1,1, cutículas e membranas entre 0,0% e 0,76% e mediana de 0,4% e resinas entre 0,0% e 1,5% e mediana de 0,8%.

Associação de palinofácies III: Caracterizada por COT de 0,40%, Palinomorfos continentais (Esporos e grãos de Pólen) (36,1%), Fitoclastos (47,1%), Fitoclastos Não Opacos (FNOP) (29,3%), Fitoclastos Opacos (FOPA) (17,8%), Cutículas e Membranas (13,22%), algas de água doce (1,15%) e como característica principal de ser a única amostra com presença de Dinocistos (*Subtilisphaera*) (2,9%) (Figura c).

Associação de palinofácies IV: Caracterizada por um COT entre 0,13% e 0,72% e mediana de 0,36%, Fitoclastos entre 76,7% e 92,2% e mediana de 84,6%, FNOPA entre 29,8% e 73,1% e mediana de 41,9%, FOPA entre 12,9% e 40,9% e mediana de 31,0%, esporomorfos entre 5,9% e 22,3% e mediana de 13,5%, cutículas e membranas entre 4,2% e 27,5% e mediana de 8,1% e resinas entre 0,0% e 2,7% e mediana de 1,3%.

Associação de palinofácies V: Caracterizada por um COT entre 0,07% e 0,8% e mediana de 0,2%, Fitoclastos entre 82,0% e 95,1% e mediana de 89,1%, FNOPA entre 25,5% e 51,3% e mediana de 30,1%, FOPA entre 29,3% e 72,6% e mediana de 54,7%, esporomorfos entre 3,5% e 13,6% e mediana de 8,5%, cutículas e membranas entre 0,6% e 4,3% e mediana de 1,5% e resinas entre 0,0% e 3,6% e mediana de 1,1%.

Fácies Orgânica Aplicada na Interpretação Paleoambiental dos Sedimentos da Formação Itapecuru (na Parte Centro-Oeste da Bacia de São Luís-Brasil)
 Luis D. Caro Gonzalez; João Graciano Mendonça Filho; Sinda Beatriz Cavalhal Gomes & Maria Mastalerz

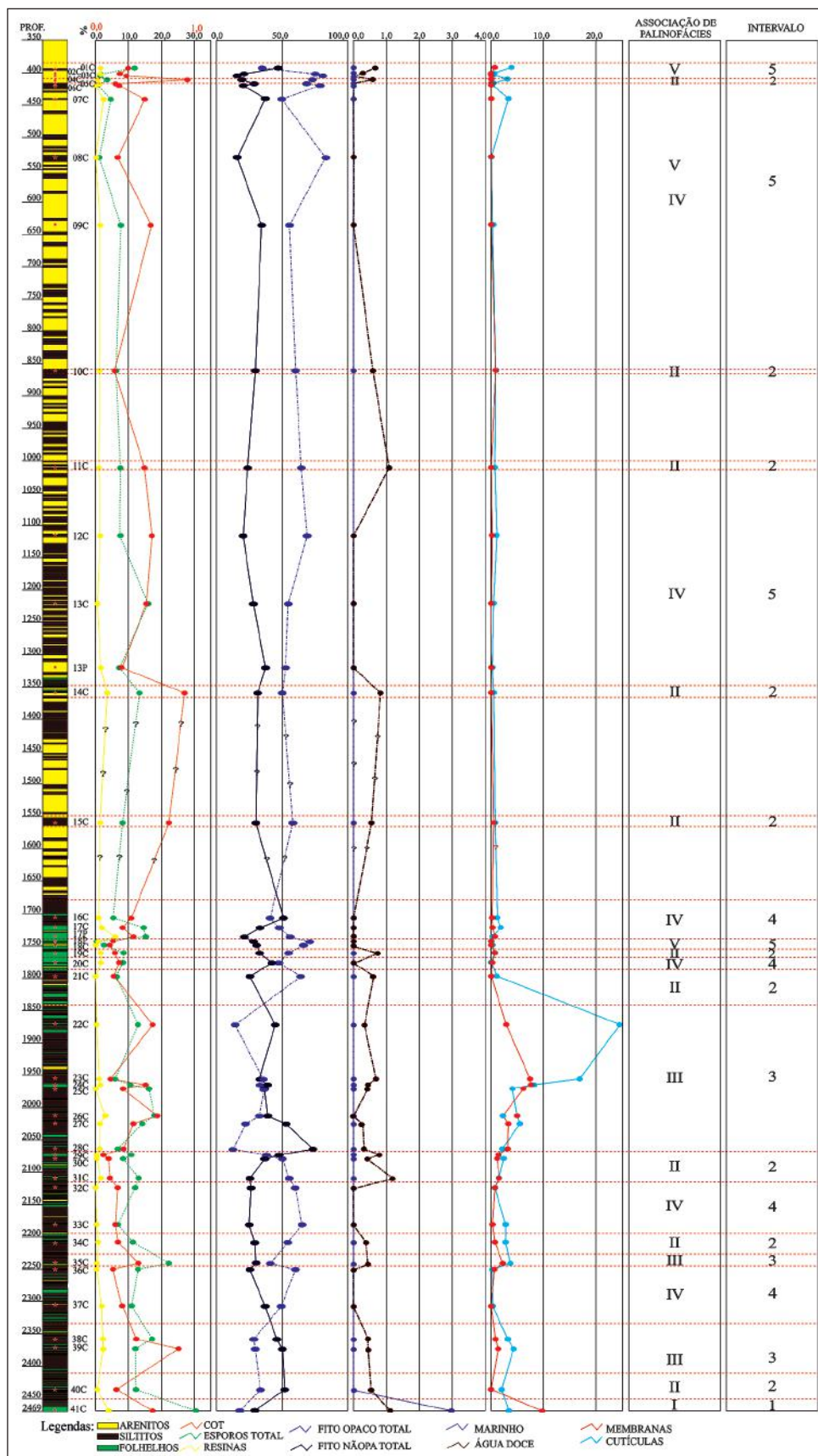


Figura 2 Perfil estratigráfico do Poço A-ANP-5-MA mostrando a Formação Itapecuru e os resultados de geoquímica *bulk*, percentuais dos componentes orgânicos particulados, as associações de palinofácies e intervalos definidos pela análises de agrupamento

4.4 Evolução e Características Paleoambientais

Os agrupamentos, modo-Q e modo-R, permitiram a identificação de 5 intervalos com associações de palinofácies diferentes (Figuras 2, 4 e 5), porém com algumas similaridades: Presença de palinomorfos continentais oxidados (*Perotriletes* e *Araucariacites*) e não oxidados (*Classopollis* e *Afropollis*):

4.4.1 Intervalo 1

Este intervalo está composto unicamente pela amostra 41 C localizada na base da sequência e caracterizada pela Associação de Palinofácies III. Os FNOP apresentam-se oxidados, de cor marrom e degradados e o microplâncton de água doce compreende *Scenedesmus* e *Botryococcus*. Por outro lado, o microplâncton marinho (exclusivo deste intervalo) está representados por dinocistos (*Subtilisphaera*); sob luz branca transmitida apresenta-se parcialmente translúcido com bordas marrons e coloração de fluorescência variando do amarelo-esverdeado até verde pálido. As cutículas e membranas encontram-se degradadas e, com fluorescência normalmente alaranjada. Este intervalo apresenta o maior percentual de palinomorfos continentais.

A deposição da matéria orgânica particulada nesse intervalo ocorreu num corpo de água doce, oxigenado, semifechado e com influência marinha, possivelmente tipo lagunar costeiro, sob condições secas e quentes.

4.4.2 Intervalo 2

Este intervalo está composto por 13 amostras (Figura 3), as quais encontram-se espalhadas pela sequência, caracterizada pela associação de Palinofácies V, e geralmente associadas ao Intervalo 3. O material característico do intervalo se encontra visivelmente mais oxidado. Os FNOP se apresentam oxidados e degradados, com bordas irregulares; em luz branca transmitida são da cor marrom a marrom escuro com fluorescência muito leve. Há um aumento da quantidade de FOPA predominando os fitoclastos opacos alongados. As resinas estão oxidadas com coloração de fluorescência alaranjada. O microplâncton de água doce é composto de *Botryo-*

coccus e *Scenedesmus* e eventualmente *Pediastrum*; as cutículas e membranas apresentam-se oxidadas e degradadas. No caso das cutículas, estas possuem colorações marrom claro e fluorescência variando do amarelo esverdeado ao laranja claro. Os palinomorfos continentais são *Perotriletes*, *Eurocaricities*, *Clasopollis* e *Afropollis*. A associação de palinofácies caracteriza um corpo de água rasa restrito, semifechado, com comunicação ativa com rio; porém com diminuição da coluna d'água, favorecendo os processos oxidativos sob condições secas e quentes.

4.4.3 Intervalo 3

O Intervalo 3 está composto por 10 amostras e representa as partes média e basal da sequência, entre 1872 m e 2373 m de profundidade, distinguindo a associação de Palinofácies IV e associado ao Intervalo 2. Os fitoclastos têm um aumento relativo no tamanho das partículas. Os FOPA têm uma redução considerável nos valores percentuais e os FNOP aumentam em quantidade relativa e tamanho exibindo em luz branca coloração marrom clara e fluorescência alaranjada. Houve um aumento significativo na quantidade relativa de cutículas e membranas e também no tamanho dessas partículas. Essas feições mostram condições melhores de preservação das partículas, bem evidentes ao exame óptico (coloração em luz branca transmitida variando de marrom a castanho claro e colorações de fluorescência amarelada e laranja intensas). As resinas também apresentam aspectos de melhor preservação.

Neste Intervalo também ocorrem *Botryococcus*, *Scenedesmus* e eventualmente *Pediastrum*. A presença de *Scenedesmus* e *Pediastrum* sugerem aumento nas condições eutróficas do corpo d'água, típico de rios, acumulações de água (poças) e lagos de água doce (Batten, 1996); o *Botryococcus* é considerado um indicador de água doce (Carvalho *et al.*, 2016). No geral, as partículas deste intervalo revelam feições indicativas de menor oxidação, as amostras têm maior quantidade de cutículas de maior tamanho, além da evidência da correlação positiva das cutículas com o COT. Possivelmente a deposição ocorreu em um ambiente com maior coluna d'água, em um corpo semifechado ou restrito, eutrófico, mais próximo da área fonte, com comu-

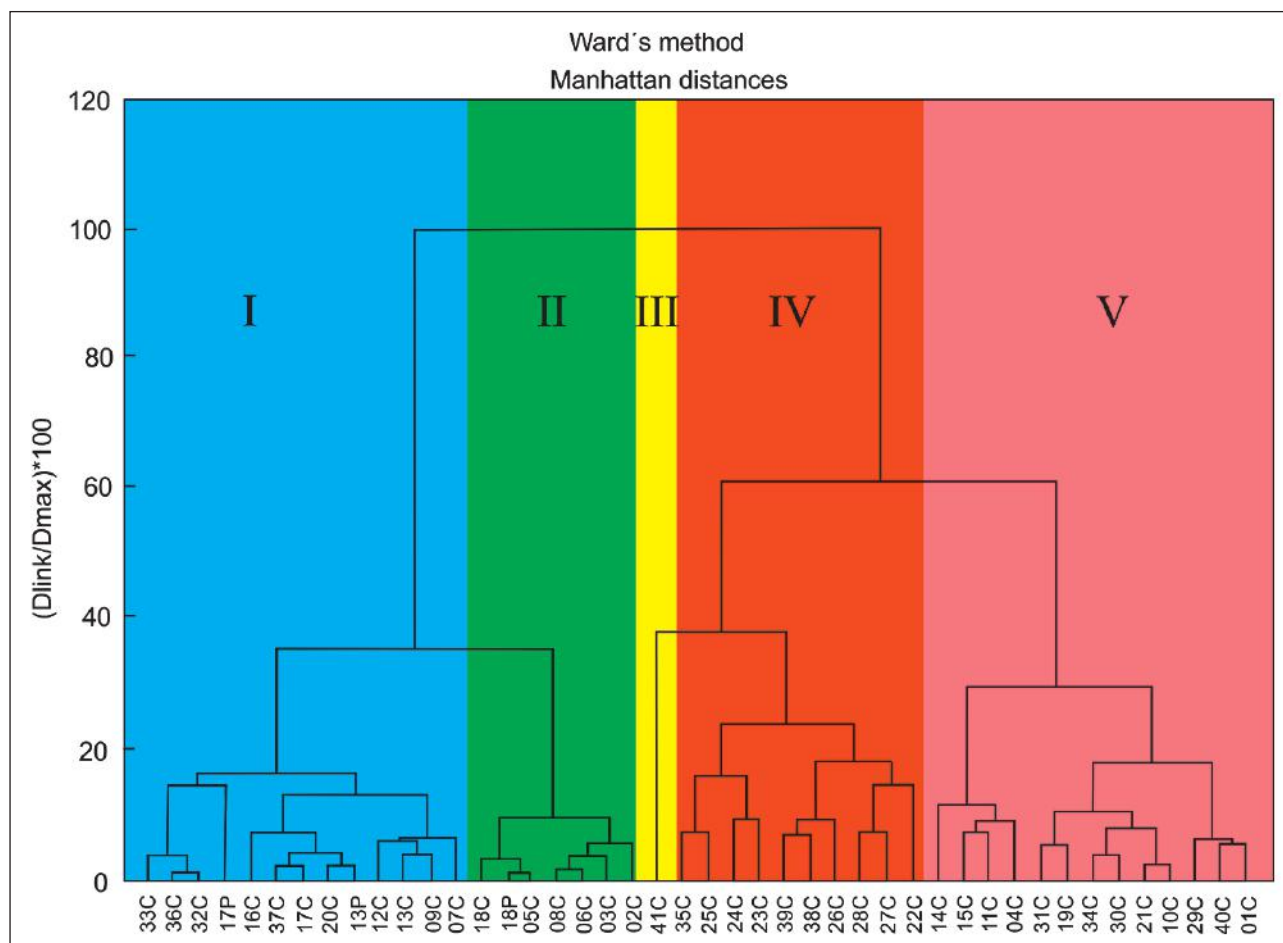


Figura 3 Dendrograma produzido pela análise Modo-Q poço 2-ANP-5-MA, Formação Itapecuru. Associações de Palinofácies: I (azul), II (verde), III (Amarelo), IV (Laranja) e V (Rosa)

nicação intermitente com rio; provavelmente um meandro abandonado.

4.4.4 Intervalo 4

O intervalo 4 compõe 13 amostras distribuídas desde o topo (402 m) até a base (2307 m) da sequência e caracteriza a associação de Palinofácies I. Similar ao Intervalo 5, possui um alto percentual de FOPA em toda a sequência, embora o conteúdo de FOPA comparado ao do Intervalo 5 seja menor. Os FOPAS são representados principalmente por partículas corroídas, sugerindo condições ambientais oxidantes e de alta energia (Tyson, 1995; Carvalho *et al.*, 2016). As partículas de FNOPA em luz branca transmitida apresentam coloração variando de marrom até o castanho escuro e fluorescência muito

baixa. As cutículas e membranas encontram-se oxidadas e degradadas, bem como as resinas estão oxidadas exibindo em luz branca transmitida cor castanha e fluorescência alaranjada de baixa intensidade. Este intervalo representa condições de alta energia, elevada entrada de sedimentos, os quais contribuem para os efeitos de diluição da matéria orgânica particulada.

4.4.5 Intervalo 5

O intervalo 5 está composto por 7 amostras, restrito à parte do topo e média da sequência entre 402 m e 1749 m de profundidade, caracterizado pela associação de Palinofácies II e associado ao Intervalo 4. Os valores percentuais de FOPA atingem a maior quantidade de toda a sequência no estudo, e o subgrupo fitoclastos alongados ocorrem em maior percentual ponderado. Neste intervalo as partículas

apresentam um tamanho relativamente menor. É um intervalo que aponta um paleoambiente deposicional de maior energia do sistema e de maior entrada de sedimento, há presença de grãos de pólen (*Clasopollis* e *Afropollis*) e com a redução de esporos, portanto que a área fonte encontra-se distante e que o paleoambiente é típico de fácies de canal fluvial sob condições secas e quentes. Não há ocorrência de microplâncton de água doce.

5 Fácies Orgânica

As associações de palinofácies permitem a identificação da predominância dos fitoclastos com mudanças nos conteúdos relativos entre Fitoclastos Opacos e Não Opacos entre os intervalos, juntamente com variações relativas nos graus de conservação-degradação e tamanho das partículas orgânicas. A partir dessa caracterização foi possível identificar os processos oxidativos imperantes nas condições de deposição dos sedimentos da Formação Itapecuru. A presença de palinomorfos continentais típicos nas associações foram importantes para auxiliar na caracterização do regime climático. De acordo e baseado na classificação das Fácies Orgânicas de (*sensu* Jones, 1987; Tyson 1995), pode-se estabelecer a fácies orgânica D para a Formação Itapecuru.

Essa fácies orgânica representa uma fácies com baixos teores de COT com a deposição e preservação matéria orgânica oxidada ou redepositada, bem como caracterizado nas associações de palinofácies descritas: domínio do Grupo Fitoclasto, principalmente do tipo opaco com baixa ocorrência ou ausência do Grupo Amorfo.

6 Retrabalamento do Paleozoico

Durante a análise dos componentes da matéria orgânica particulada foi verificada presença de acritarcos, prasinofíceas e quitinozoários do Devoniano. A ocorrência desses palinomorfos paleozoicos retrabalhados em quase toda a sequência da Formação Itapecuru (amostras 10C, 11C, 12C, 13P, 14C, 15C, 18C, 20C, 21C, 37C, 38C e 41C) mostra que estratos da Formação Pimenteira estavam expostos na Bacia de São Luís durante a deposição dos estratos da Formação Itapecuru (Figura 6).

5 Conclusões

O estudo de Fácies Orgânica da seção sedimentar estudada do poço 2-ANP-5-MA revelou a deposição e preservação de matéria orgânica sedimentar oxidada ou redepositada com predomínio de fitoclastos opacos, nos quais tais partículas são as mais resistentes à degradação óxica em paleoambientes de regime oxidante. Contudo, há uma variação relativa no conteúdo dos grupos e subgrupos do querogênio e teores de COT permitindo a diferenciação nas condições de deposição, disponibilidade de oxigênio, nível de energia e coluna de água do sistema:

- O reconhecimento de microplâncton marinho (dinocisto do gênero *Subtilisphaera*) na base da sequência analisada marcou um episódio de incursão marinha no sistema deposicional na Formação Itapecuru;
- As condições de deposição, normalmente oxidantes e variações do nível de energia, estão representadas no estado de preservação e agrupamento dos componentes, especialmente dos fitoclastos opacos dos tipos corroídos e alongados e fitoclastos não opacos degradados, cutículas e esporomorfos continentais (*Perotriletes* e *Eucarocities*, *Clasopollis* e *Afropollis*) ao longo de toda a seção sedimentar;
- Condições especiais de maior preservação dos componentes orgânicos particulados foram registrados às associações com maiores valores percentuais de cutículas/membras, tal qual o grau de preservação evidenciado pelas colorações de intensidade de fluorescências desses componentes e também das resinas. Esses aspectos indicam o aumento da coluna d'água do sistema, porém a ocorrência de eventos de anoxia para propocinarem o retrabalamento microbiológico para a formação de matéria orgânica amorfa;
- O aumento da preservação e diminuição da energia do sistema indica a presença de um corpo d'água semi-restrito com conexão ativa com rio e área fonte não distante, tipo meandro abandonado;

Fácies Orgânica Aplicada na Interpretação Paleoambiental dos Sedimentos da Formação Itapecuru (na Parte Centro-Oeste da Bacia de São Luís-Brasil)
 Luis D. Caro Gonzalez; João Graciano Mendonça Filho; Sinda Beatriz Cavalhal Gomes & Maria Mastalerz

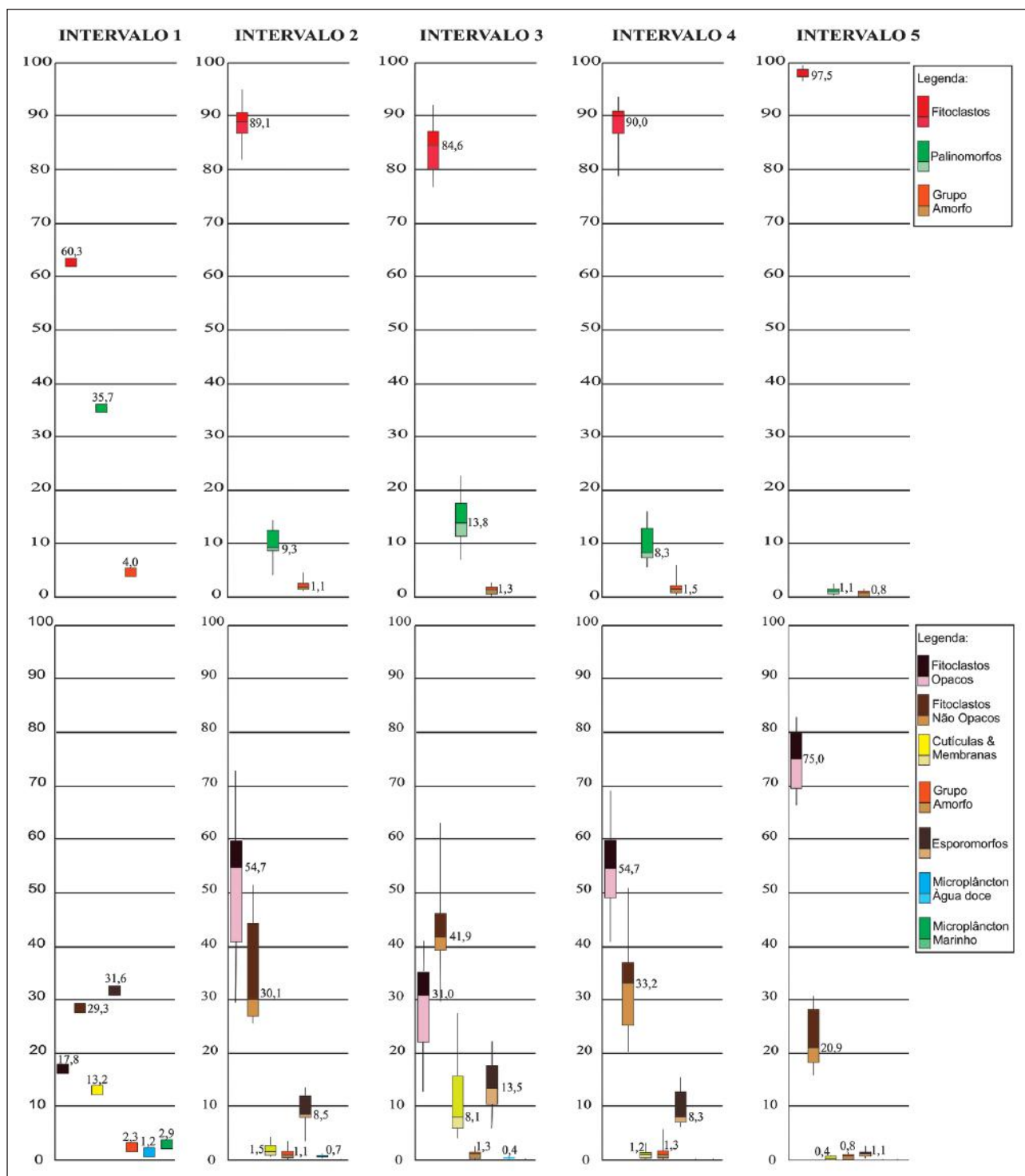


Figura 4 Diagrama de extremos e quartis por intervalos: assembleia de componentes orgânicos

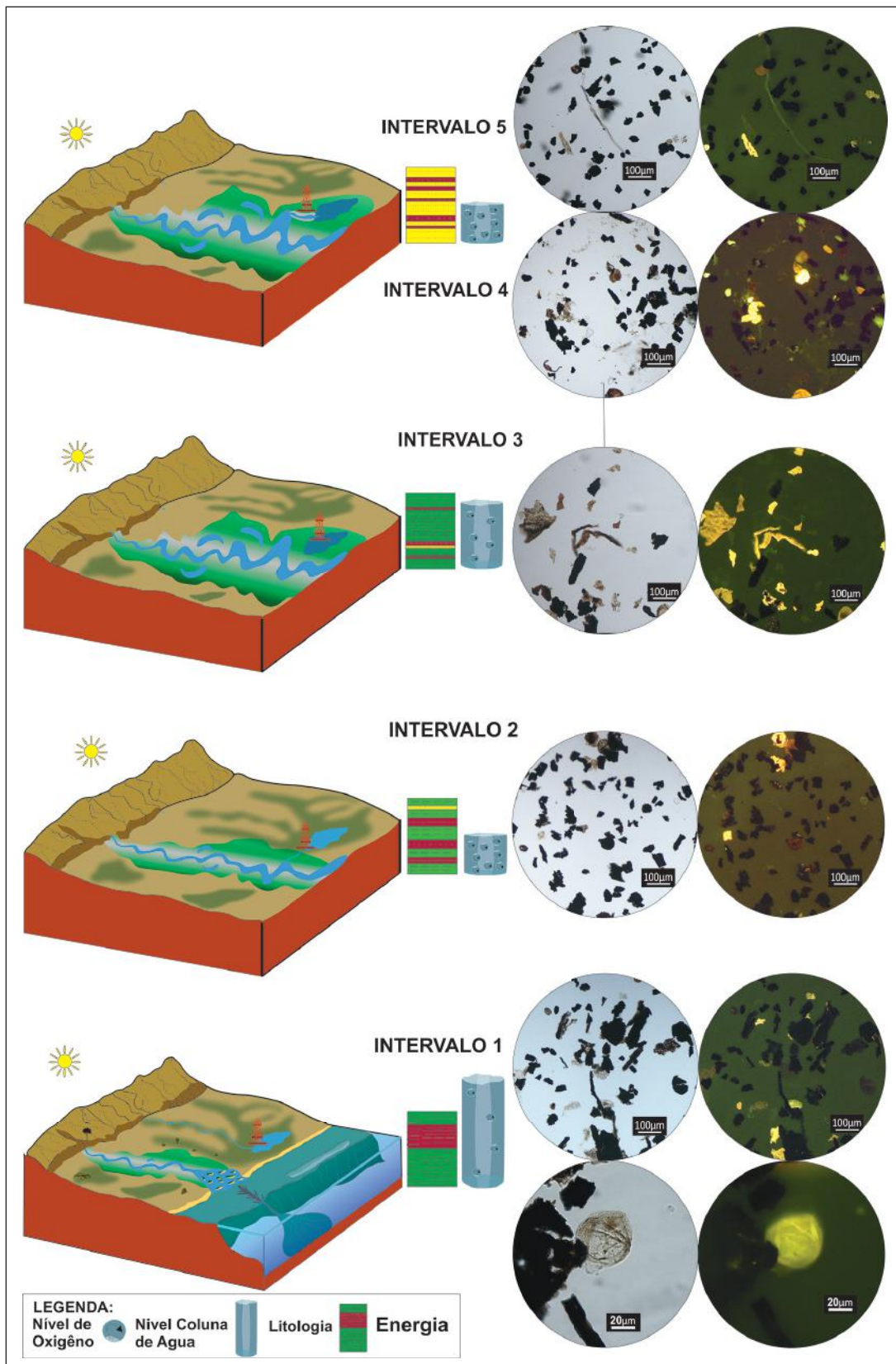


Figura 5
 Modelo deposicional para a Formação Itapecuru, Bacia de São Luís, Poço 2-ANP-5-MA com as associações de palinofácies representativas

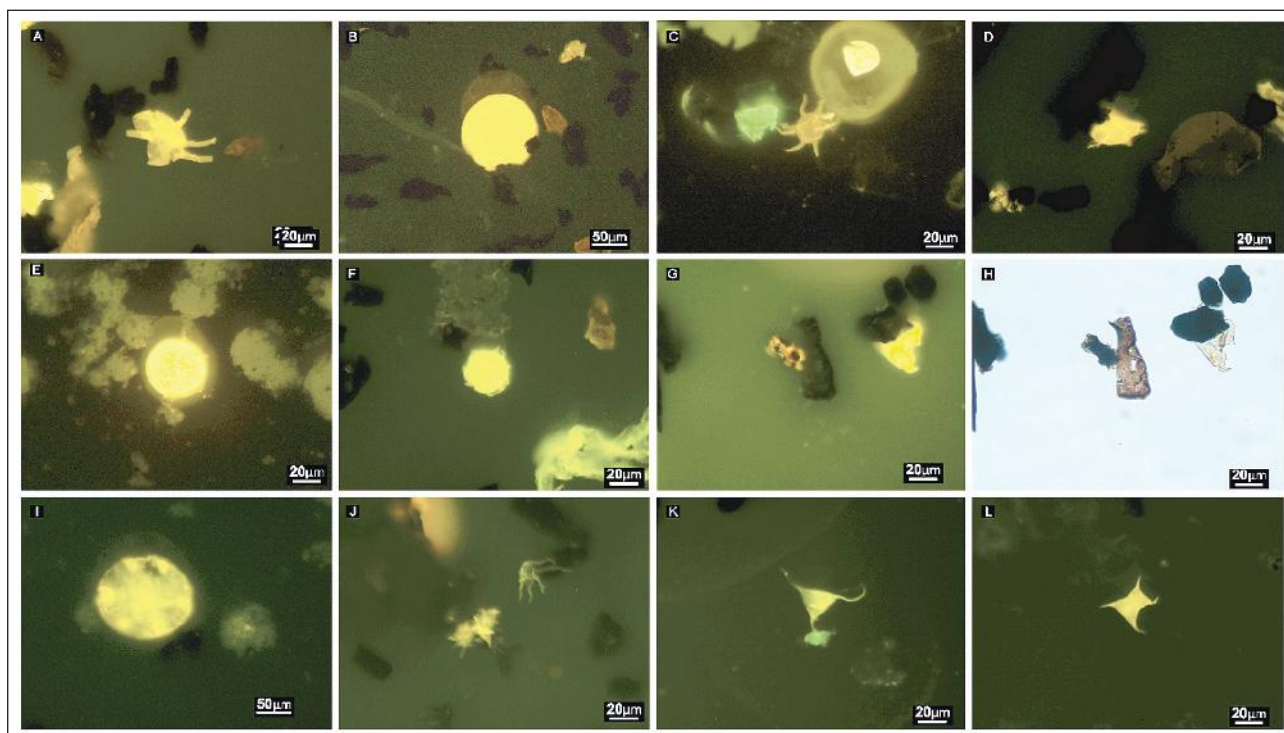


Figura 6 Fotomicrografias dos palinomorfos mostrando o retrabalhamento devoniano: A. Amostra 41C (Acritarco); B. Amostra 38C (Prasinóphyta); C. Amostra 21C (Acritarco); D amostra 20C (Acritarco); E amostra 18C (Prasinóphyta); F amostra 15C (Prasinóphyta); G-H amostra 15C (Quitinozoário); I Amostra 14C (Prasinóphyta); J. Amostra 13P (Acritarco); K. Amostra 12C (Acritarco); L. Amostra 10C (Acritarco)

- A evidência de um ambiente fluvial (canal e planícies de inundação), está representada pelas condições de maior energia e maior entrada de sedimentos, melhor representadas no topo da sequência; já na base elas representam pulsos, mostrando a conexão intermitente com rio;
- Além disso, a identificação de palinomorfos do paleozoico, em quase toda a sequência da formação, aponta que estratos da Formação Pimenteira estavam expostos na Bacia de São Luís durante a deposição dos estratos da Formação Itapecuru.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional do Petróleo (ANP) pela autorização e acesso às amostras de calha e plugues e relatórios do Poço 2-ANP-5-MA. À Dra Joalice de Oliveira Mendonça e ao Dr Frederico Sobrinho do Laboratório

de Palinofácies e Fácies Orgânica (LAFO-UFRJ) pelas discussões, sugestões e revisões feitas a este trabalho. Ao pessoal técnico do LAFO, pelo apoio na preparação das amostras. A CAPES pela bolsa de Doutorado concedida.

7 Referências

- ANP. 2017. Agência Nacional do Petróleo. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/exploracao-e-producao-de-o-leo-e-gas/estudos-geologicos-e-geofisicos/plano-plurianual-de-estudos-de-geologia-e-geofisica/ppa-2007-2014/resultados-por-bacia/>>. Acesso em: 14 Dez. 2018 e 05 Fev. 2019.
- Antonioli, L. 2002. *Estudo palino-cronoestratigráfico da Formação Codó-Cretáceo inferior do Nordeste Brasileiro*. Programa de pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 258p.
- Aranha, L.G.F.; Lima, H.P.; Souza, J.M.P.; Marmo, R.K. & Figueiras, J.M. 1990. Evolução tectônica e sedimentar das bacias de Bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova. In: GABALIA, G.P.R. & MILÂNI, E.J (Eds), *Origem e evolução das bacias sedimentares*, Petrobras, Rio de Janeiro, p. 221-234.
- ASTM Standard D4239-08. 2008. Standard Test Methods for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using

**Fácies Orgânica Aplicada na Interpretação Paleoambiental dos
Sedimentos da Formação Itapecuru (na Parte Centro-Oeste da Bacia de São Luís-Brasil)**
Luís D. Caro Gonzalez; João Graciano Mendonça Filho; Sinda Beatriz Cavalhal Gomes & Maria Mastalerz

- High-Temperature Tube Furnace Combustion Methods. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Batten D. 1996. Colonial Chlorococcales. In: JANSONIUS J. & MCGREGOR D.C. (eds), *Palynology: Principles and Applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas, Texas, USA, p. 191–203.
- Campbell, D.F. 1949. Revised report of the Reconnaissance Geology of the Maranhão Basin. [São Luís, Rio de Janeiro:] CNP/DEPEX/ SEDOC 103-00093. 117 p. + anexos.
- Cantrill, D.J. 1992. Araucarian foliage from the Lower Cretaceous of southern Victoria. *International Journal of Plant Sciences*, 153: 622- 645.
- Cantrill, D.J. & Raine, J.I. 2006. Wairarapaia mildenhallii gen. et sp. nov., a new araucarian cone related to Wollemia from the Cretaceous (Albian–Cenomanian) of New Zealand. *International Journal of Plant Sciences*, 167: 1259-1269.
- Caputo, M.V. 1984. *Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil*. University of California, Santa Barbara, USA, Tese de Doutorado, 583 p.
- Carvalho, I.S & Pedrão, E. 1998. Brazilian theropods from the equatorial atlantic margin: Behavior and environmental setting. *Gaia*, 15: 369-378.
- Carvalho, I. 2007. A bacia de São Luís. In: MACHADO, I.B (ed). *Geologia Histórica*. Editora de Universidade Federal de Uberlândia, UDFU, p. 143-149.
- Carvalho, M.T.; Mendonça, F.J.G.; Donizete, A.de O. & Assine, M.L. 2016. Faciologia orgânica da Formação Romualdo (Grupo Santana, Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe): caracterização da matéria orgânica sedimentar e interpretação paleoambiental. *Revista do Instituto de Geociências – USP*. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, 17(4): 19-44.
- Cerqueira, J.R. & Marques, L.F. 1985. Avaliação geoquímica da Bacia de São Luís. *Boletim Técnico de Petrobrás*, Rio de Janeiro, 28 (3): 151-158.
- Cockson, I.C. 1947. Plant microfossils from the lignites of Kerguelen Archipelago. British Antarctic New Zealand Research Expedition 1929-1931. *Report Series A*, 2(8): 127-142.
- Corrêa-Martins, F.J.; Mendes, J.C.; Bertolino, L.C. & Oliveira Mendonça, J. 2018. Petrografia, Diagênese e Considerações sobre Proveniência da Formação Itapecuru no Norte do Maranhão (Cretáceo Inferior, Bacia do Parnaíba, NE Brasil). *Anuário do Instituto de Geociências –UFRJ*, 41(3): 514-530.
- Duarte, S.G.; Arai, M & Wanderley, M.D. 2012. Significado Paleoambiental da Família Anemiaceae no Cretáceo do Brasil: Inferências A partir de dados Palinológicos. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, 33 (2): 1-12.
- Ferreira, E.P. 2004. *Palinoestratigrafia e caracterização de paleoambientes da seção paleocênica-eocênica da bacia de Sergipe*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidad Federal de Rio de Janeiro, Tese de doutorado, 253p.
- Ferreira, N.N.; Ferreira, E.P.; Ramos, R.R. & Carvalho, I.S. 2016. Palynological and sedimentary analysis of the Igarape Ipiranga and Querru 1 outcrops of the Itapecuru Formation (Lower Cretaceous, Parnaíba Basin), Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* , 66: 15-31.
- Góes, A.M. & Rossetti, D.F. 2001. Gênese da Bacia de São Luís -Grajaú, meio norte do Brasil. In: O CRETÁCEO DA BACIA DE SÃO LUÍS-GRAJAU. Museu Paraense Emílio Goeldi (Coleção Friedrich Katzer), Belém, p. 15-31.
- Góes, A.M & Feijó, F.J. 1994. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências de Petrobras*. Rio de Janeiro, 8 (1): 57-67.
- Gonçalves, R.A. & Carvalho, I.S. 1996. Contribuição ao estudo da sedimentação da Formação Itapecuru - região de Itapecuru-Mirim, bacia do Parnaíba (Cretáceo Inferior) - Maranhão - Brasil. *Revista de Geologia*, 9: 75-81.
- Jones, R. W. 1987. Organic Facies. In: BROOKS, J. & WELTS, D. (eds.). *Advances in Organic Geochemistry*, Academic Press, 2: 1-90.
- Lima, H.P. & Aranha, L.G.F. 1993. Bacias de Bragança-Viséu, São Luís e Graben de Ilha Nova. Análise integrada perspectivas e direcionamento exploratório. *Rel interno. Petrobras*. Belem, p. 265
- Lima, H.P.; Aranha, L.G.F. & Feijó, F.J. 1994. Bacias de Bragança-Viséu, São Luís e Graben de Ilha nova. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, 8 (1):111-116.
- Lima, M.R. 1983. Paleoclimatic reconstructions of the Brazilian Cretaceous based on palynological data. *Revista Brasileira de geociências-USP*,13(4): 223-228.
- Lima, E.P.A & Leite, J.F. 1978. Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba, Brasil. *Departamento nacional de produção mineral, Companhia de pesquisas de recursos minerais*, Recife, 182 pp.
- Lima, M.R. 1978. *Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil)*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 335 p.
- Machado, B.I.; & Carvalho, I. 2001. *Geologia Histórica: A bacia de São Luís. 2ed*. Editora EDUFU, Porto Alegre, 574p.
- Mendonça Filho, João Graciano. 1999. *Aplicação de estudos de Palinofácies e fácies orgânica em rochas do paleozoico superior da bacia do Paraná, sul do Brasil.* – Programa de Pós-graduação em Geologia. Instituto de Ciências. Universidade Federal do Rio Grande do sul, Porto Alegre, Tese de Doutorado, 157p.
- 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: CARVALHO, I. S. (Ed.). *Palaeontologia*, Editora Interciência, V(1), Rio de Janeiro, p. 289- 323.
- Mendonça Filho, J.G.; Menezes, T.R.; & Mendonça, J.O. 2011. Organic Composition (palynofacies analysis). In: FLORES, D., MARQUES, M. (ORG.), 4th ICCP Training Course on Dispersed Organic Matter, ed. Plenimagem, Chapter (5), 33–81 .
- Mendonça Filho, J.G.; Menezes, T.R.; & Mendonça, J.O. 2014. Organic composition (Palynofacies analysis). In: 7TH ICCP TRAINING COURSE ON DISPERSED ORGANIC MATTER. GFZ (Deutsches GeoForschungsZentrum), Potsdam, Germany, Chapter (5), 36–89.
- Mendonça filho, J.G.; & Gonçalves, P.A. 2017. Organic matter: concepts and definitions, Chapter 1. In: SUÁREZ-RUIZ, I. & MENDONÇA FILHO, J.G. (Eds.), *Geology: Current and Future Developments. The Role of Organic Petrology in the Exploration of Conventional and Unconventional Hydrocarbon Systems*. Bentham Science Publishers, United Arab Emirates,, p. 1–33.
- Menezes, T. R.; Mendonça Filho, J.G.; Araujo, C. V.; Souza, I. V.; & Mendonça, J. O. 2008. Fácies orgânica: conceitos,

**Fácies Orgânica Aplicada na Interpretação Paleoambiental dos
Sedimentos da Formação Itapecuru (na Parte Centro-Oeste da Bacia de São Luís-Brasil)**
Luis D. Caro Gonzalez; João Graciano Mendonça Filho; Sinda Beatriz Cavalhal Gomes & Maria Mastalerz

- métodos e estudos de casos na indústria do petróleo. *Revista Brasileira de Geociências*, 38: 80-96.
- Oliveira Pessoa, V.C. 2004. *Análise faciológica da Formação Itapecuru (cretáceo, bacia do parnaíba) em testemunhos de sondagem*. Programa de graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Monografia, 72p.
- Pedraõ, E. 1995. *Palinoestratigrafia e Evolução paleoambiental de rochas sedimentares Aptianas-Cenomanianas das Bacias Bragança-Viseu e São Luís (Margem equatorial Brasileira)*. Universidad Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, Tese de Mestrado, 215p.
- Pedraõ, E.; Lima, H.P.; Makino, R.K. & Barrilari, I.M.R. 2002. Palinoestratigrafia e evolução ambiental da seção cretácea das bacias de Bragança-Viseu e São Luís (margem equatorial brasileira). *Acta Geológica Leopoldensia*, XXV(54): 21-39.
- Rezende, W.M; & Pamplona, H.R.P. 1970. Estudo do desenvolvimento do arco ferrer-urbano santos. *Boletim Técnico da PETROBRÁS*, Rio de Janeiro, 13 (1/2): 5-14.
- Rich, F.J 1989. A review of the taphonomy of plants remains in lacustrine sediments. *Review of Paleobotany and Palynology*, 58: 33-46.
- Rossetti, D.F & Truckenbrod, W. 1997. Revisão estratigráfica para os depósitos do Albiano-Terciário inferior (?) na Bacia de São Luís, Maranhão. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciência da terra*, 9: 2-41.
- Rossetti, D.F.; Rocca, R.R. & Tatumi, S.H. 2013. Evolução dos Sedimentos Pós-barreiras na zona costeira da Bacia São Luís, Maranhão, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Belém, 8 (1): 11-25.
- Rossetti, D.F.; Góes, A.M. & Truckenbrod, W. 2001. O cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Coleção Friedrich Katzer, Belém, (1) edição: 264p.
- Soares Júnior, A.V.; Sena Costa, J.V. & Hasui, J. 2008. Evolução da margem atlântica equatorial do Brasil: Três fases distensivas. *Revista Geociências, UNESP*, São Paulo, 27 (4):427-437.
- Spicer, R.A. 1989. The Formation and interpretation of plant fossil assemblages. *Advances in Botanical Research*, 16: 95-191.
- Tyson, R.V. 1995. Sedimentary organic matter. *In: ORGANIC FACIES AND PALYNOFACIES*. Chapman and Hall, London. 591 pp.
- Valentin, J.L. 2000. Ecologia numérica. *Interciência*, Rio de Janeiro, 62p.
- Vakhrameev, V.A. 1970. Range and Paleoecology of Mesozoic Conifers, the Cheirolepidiaceae. *Paleont. Zh.*, 1: 19-34.
- Zalan, P.V. 2007. Bacias de Bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, 15(2): 341-345.