



FÁCIES ORGÂNICA DE UMA SEÇÃO SEDIMENTAR CRETÁCICA DA BACIA DE SOUSA, PB

Organic Facies of a Cretaceous Sediments Section of Sousa Basin, PB

Danielle da Silva Marques¹; João Graciano Mendonça Filho²

¹UFRJ, Departamento de Geologia, CCMN/IGEO, Cidade Universitária Ilha do Fundão, 21949-900, Rio de Janeiro, RJ-Brasil. E-mail: danielle.marques@rocketmail.com

²DEGEO/IGEO/UFRJ, Ilha do Fundão, 21949-900, RJ-Brasil. E-mail: graciano@geologia.ufrj.br

Resumo:

A bacia de Sousa localiza-se no extremo oeste do Estado da Paraíba, compreendendo juntamente com outras duas bacias sedimentares (Brejo das Freiras ou Triunfo-Uiraúna e Pombal) as bacias do Rio do Peixe, sendo a bacia de Sousa a maior de todas, ocupando uma área de cerca de 675 km². O preenchimento sedimentar da Bacia de Sousa é composto predominantemente pelos sedimentos terrígenos continentais do sistema flúvio-lacustre de idade eocretácica do Grupo Rio do Peixe pertencentes a um sistema rifte. A seqüência sedimentar da bacia de Sousa é constituída pelas formações, da base para o topo, Antenor Navarro (leques aluviais/ fluvial *braided*), Sousa (fluvial meandrante, planície de inundação/ lacustre raso) e Rio Piranhas (leques aluviais distais/ fluvial *braided*). Os contatos entre as unidades são gradacionais e a sedimentação sintectônica, sendo que a Formação Sousa, predominantemente pelítica, representa uma fase de maior estabilidade tectônica. Com a recente descoberta de indícios de óleo nas rochas tidas como da Formação Sousa, este trabalho possui como objetivo a determinação das fácies orgânicas, através de análises geoquímicas e a microscopia, de uma seção sedimentar localizada no Sítio Salguinho (Poço 1), Município de Sousa, Paraíba, visando fornecer subsídios para contextualização geológica da ocorrência de exudação de óleo descoberta no Sítio Salguinho. O foco do trabalho é a caracterização da distribuição dos componentes da matéria orgânica em relação a fatores deposicionais, além da determinação da fácies orgânica correspondente. Para isso, vinte e uma amostras foram analisadas como palinofácies e fácies orgânica. Na sucessão sedimentar da Formação Sousa observou-se que há fácies orgânica composta predominantemente por esporomorfos (representados por esporos), fragmentos lignificados e cutículas de vegetais terrestres superiores. Este estudo consistiu numa contagem de 300 a 500 partículas por amostra, através dos métodos de microscopia em luz branca transmitida (MLT) e luz azul incidente (fluorescência). Resultados de índice de coloração de esporos (ICE entre 4,0-6,0), intensidade de fluorescência e biomarcadores indicam que as amostras apresentam baixo estágio de maturidade térmica, sugerindo que a seqüência sedimentar estudada não poderia ter sido responsável pela exudação de óleo encontrada.

Palavra-chave: Fácies Orgânica, Formação Sousa, bacia do Rio do Peixe, Eocretáceo

Abstract

Part of the Brazilian northeastern region cluster of interior minor basins – Vale do Cariri (Araripe, Iguatú, Lavras da Mangabeira, Icó). The Sousa basin is located in the extreme west of the state of Paraíba, comprising together with two other sedimentary basins (Brejo das Freiras ou Triunfo-Uiraúna e Pombal) the basins of the Rio do Peixe basin is the largest of all Sousa, occupying an area of about 675 km². The sedimentation basin is composed predominantly of Sousa by continental terrigenous sediments of fluvial-lacustrine system of Early Cretaceous age of the Grupo Rio do Peixe belonging to a rift system. The following sedimentary basin is formed by Sousa formations, from bottom to top, Antenor Navarro (alluvial fan / braided river), Sousa (meandering fluvial, floodplain / shallow lake) and Rio Piranhas (Distal alluvial fan / braided river). The contacts between units are gradational and syntectonic sedimentation, and the Sousa Formation, predominantly pelitic, represents a phase of tectonic stability. With the recent discovery of traces of oil in rocks taken from the Sousa Formation as this study aims to determine the organic facies by geochemical analysis of a sedimentary section located at Sítio Salguinho (Pit 1), municipality of Sousa, Paraíba, to supply subsidies for geological context of the occurrence of exudation of oil discovery in the Site Salguinho. The main objective of this study is to characterize the distribution of components of organic matter in relation to depositional factors, and determination of the corresponding organic facies. To this end, twenty-one samples were analyzed for organic facies and palynofacies. This study consisted of a count from 300 to 500 particles per sample, using the methods of microscopy in transmitted white light (MLT) and incident blue light (fluorescence). In the Sousa Formation sedimentary succession observed that organic facies is composed predominantly of esporomorfos (represented by spores), plant of fragments cuticle and lignified higher land. Results of spor coloration index, chromatography and intensity of fluorescence indicate that the samples present low stage of thermal maturity (SCF 4.0 to 6.0), suggesting that the sedimentary sequence studied could not have been responsible for the exudation of oil found.

Key-words: Organic Facies, Sousa Formation, Rio do Peixe basin, Early Cretaceous

1 MOTIVAÇÃO

A Bacia de Sousa é uma das pequenas bacias do interior do nordeste conhecida por conter registros fósseis de pegadas de dinossauros encontrados na Formação Sousa. A exsudação natural de óleo ocorrida no Sítio Salguinho, no município de Sousa (PB), motivou novos estudos na região, anteriormente desconsiderada. Dados de análises cromatográficas e de biomarcadores indicam que o óleo exsudado apresenta características de um óleo não biodegradado maturo de ambiente de água doce (Mendonça Filho *et al.* 2006).

Foram desenvolvidos dois trabalhos de mestrados a fim de investigar a ocorrência de petróleo em Sousa, Paraíba. Os trabalhos foram de Juliana Andrade Iemini “Faciologia Orgânica de uma Sequência Sedimentar da Bacia de Sousa” e o trabalho de Alexandre Jonas Sant’Anna “Investigação geoquímica da Origem da exsudação de petróleo no Sítio Salguinho, Sousa – Paraíba”.

2 INTRODUÇÃO

A Bacia de Sousa localiza-se no extremo oeste do Estado da Paraíba, compreendendo, na realidade, juntamente com outras duas bacias sedimentares denominadas, Brejo das Freiras ou Triunfo-Uiraúna e Pombal, as bacias do Rio do Peixe (Figura 1). Das três bacias supracitadas, a de Sousa é a maior de todas, ocupando uma área de cerca de 675 km², seguida pela de Brejo das Freiras ou Triunfo-Uiraúna com cerca de 500 km², e a de Pombal que é a menor e tem uma área de cerca de 75 km².

As três bacias sedimentares encontram-se nas bacias hidrográficas do rio do Peixe e do rio Piranhas, e são controladas pelas Zonas de Cisalhamento de Portoalegre de

direção nordeste-sudoeste, de Patos de direção leste-oeste, além de outras pequenas falhas estruturais denominadas falhas de Malta, São Gonçalo e do Bé de acordo com Beurlen, K. & Mabesoone, J.M. (1969); Braun, (1969); Carvalho, (1989); Carvalho & Leonardi, (1992).

O preenchimento sedimentar da bacia de Sousa é composto predominantemente pelos sedimentos terrígenos continentais do sistema flúvio-lacustre de idade eocretácica do Grupo Rio do Peixe, pertencente a um sistema rifte, forma várias bacias em sequência Araripe, Rio do Peixe, Iguatu, Icó, Lima Campos, Malhada Vermelha e outras, no nordeste do Brasil, nos estados do Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte (Mendonça Filho *et al.*, 2006).

Apesar da extensa área de afloramentos e do registro em testemunhos de sondagem, a bacia de Sousa, como outras bacias interiores do Nordeste, sempre estiveram relegadas a um segundo plano, devido principalmente à ausência de evidências sobre a presença de recursos minerais de relevância econômica. Recentemente resquícios de exudações naturais de óleo no Sítio Salguinho relatadas recentemente pela mídia, no município de Sousa, é um forte indicativo do quão pouco se conhece sobre a geologia regional desta bacia. Tal conhecimento incipiente gera informações pontuais e essencialmente descritivas sobre aspectos dos depósitos continentais eocretácicos brasileiros, impossibilitando uma compreensão global dos fenômenos ambientais e biológicos.

Este quadro de incertezas científicas e de poucos trabalhos publicados nos motivou a desenvolver este trabalho, que começou a partir da seleção de amostras das possíveis rochas geradoras da sondagem PC-01-PB, cedida a Universidade.

bacia, novas falhas de transferência, geralmente de direção noroeste, foram geradas pelo balanceamento local da crosta (Matos 1992).

As sub-bacias de Brejo das Freiras e Sousa são constituídas de dois grábens assimétricos, com bordas flexurais que mergulham suavemente para sul (em sua porção setentrional) assim como, as camadas sedimentares, de encontro com os grandes falhamentos normais que limitam a bacia na sua porção meridional. A sub-bacia Brejo das Freiras é limitada a sudeste pela falha Portalegre de direção sudeste-sudoeste, sendo ela separada da bacia de Sousa pelo alto estrutural interno de Santa Helena, de direção leste nordeste (ENE) - oeste sudoeste (OSO).

O início da evolução tectonossedimentar da Bacia do Rio do Peixe e das demais bacias do interior nordestino, estão relacionadas à separação dos continentes sul-americana e africana, no eocretáceo, que ocorreu predominantemente pelo movimento divergente de direção leste-oeste (L – O) (Françolin & Szatamari, 1987).

A sequência sedimentar da bacia de Sousa é constituída principalmente por três formações distintas denominadas, da base para o topo de Antenor Navarro (inferior), Sousa (intermediária) e Rio Piranhas (superior), compreendendo o Grupo do Rio do Peixe (Mendonça Filho *et al.*, 2006), (Figura 2).

A formação Antenor Navarro dispõe-se em contato discordante sobre o embasamento e é constituída por rochas de granulometria grossa, com conglomerados e arenitos conglomeráticos com estratificações cruzadas acanaladas, estes arenitos representam sistemas de leques aluviais e fluviais entrelaçados com granulometria grossa (Córdoba *et al.*, 2008).

A formação Sousa é essencialmente pelítica, caracterizada por uma sucessão de camadas finas plano-paralelas de fácies mais argilosas e carbonáticas até arenitos finos a ocasionalmente grossos. Predominam arenitos finos, siltitos de cores variadas, com

leitões argilosos e margosos intercalados. A coloração é geralmente vermelha, com raras lâminas ou camadas de colorações verde e cinza. Ocorrem diversos níveis fossilíferos com ostracodes, conchostráceos, fragmento e restos de vegetais carbonizados com espessura máxima de 1.200 metros (Campos *et al.*, 1979; Dantas *et al.*, 1982), interpretados por Srivastava & Carvalho, 2004 como um sistema deposicional lacustre raso de clima semi-árido.

A formação Rio Piranhas é composta na base por arenitos finos a médios, micáceos e com matriz argilosa, com seu topo marcado por arenitos grossos e imaturos, intercalado com conglomerados e brechas. Esta formação tem ocorrência restrita a borda sudeste da sub-bacia de Sousa e é a única formação com paleocorrentes setentrionais. O que segundo Françaolin *et al.*, (1994) poderia indicar uma possível reativação da Falha de Malta.

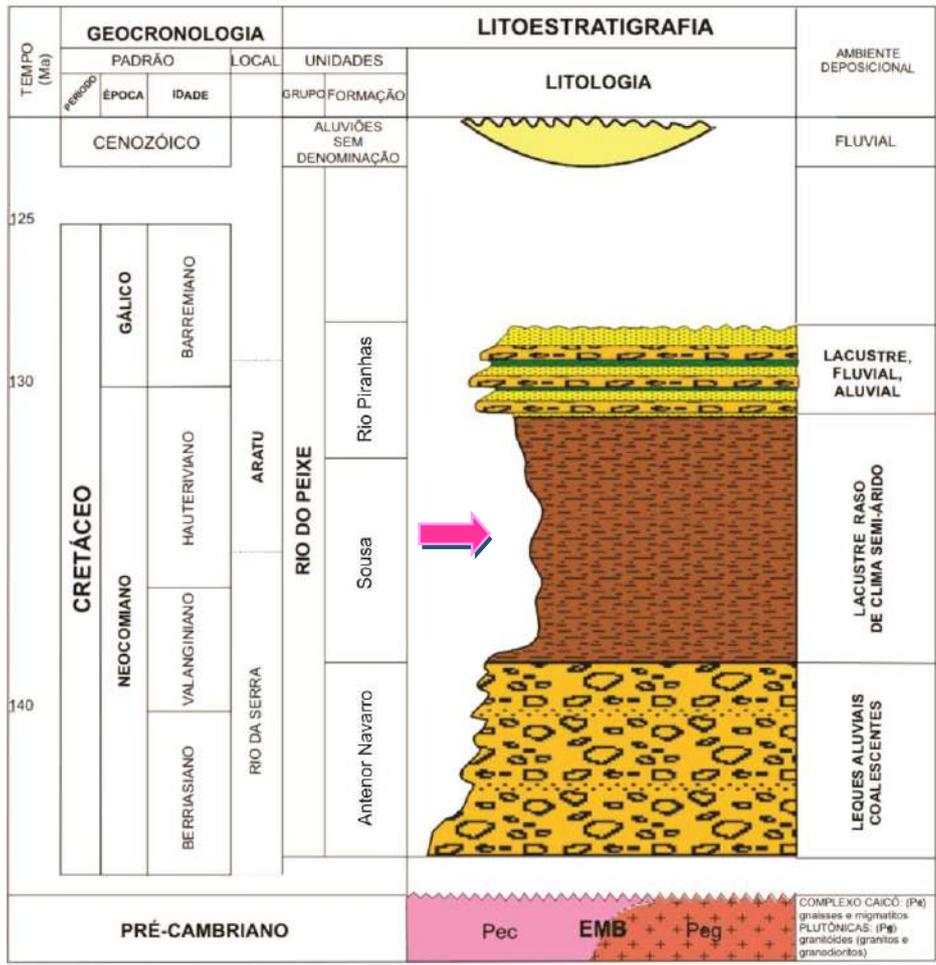


Figura 2: Carta estratigráfica da Bacia de Sousa (Srivastava & Carvalho, 2004)

4 MATERIAL E MÉTODO

Um total de 21 amostras da Formação Sousa foi coletado de uma seção com 196 m de espessura na localidade de Sítio Salguinho no Município de Sousa na Paraíba, a 5,5 km da entrada do Parque Vale dos Dinossauros, próximo à Lagoa dos Estrela (propriedade do Sr. Crisogônio Estrela de Oliveira) (Figura 3).

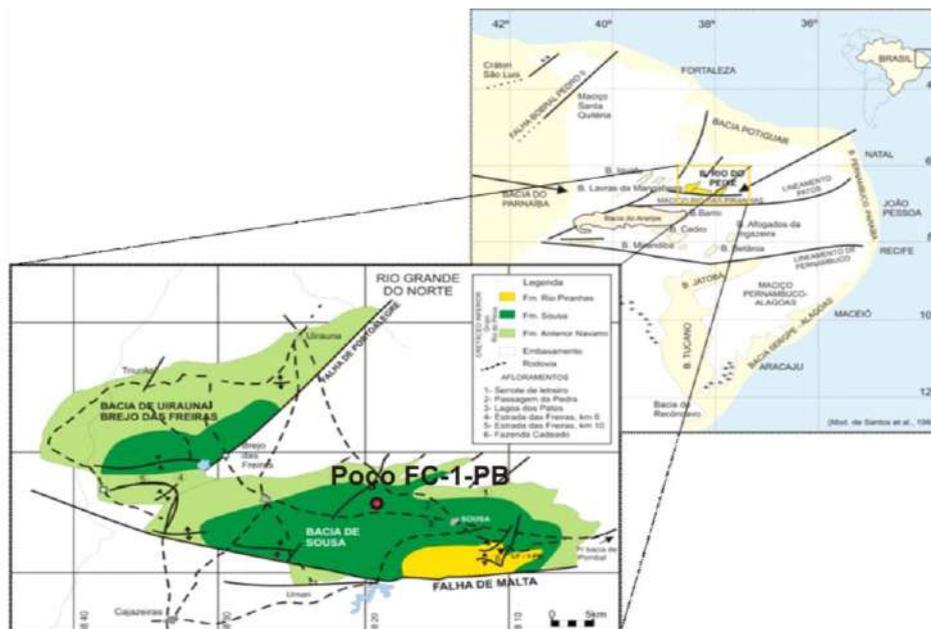


Figura 3: Localização do poço e mapa geológico da Bacia de Sousa (modificado de Srivastava & Carvalho, 2004)

Para a caracterização da fácies orgânica da Formação Sousa integrou os dados da análise de microscopia ótica (Palinofácies, Índice de Coloração de Esporos) com os dados de geoquímica orgânica (Carbono Orgânico Total e Enxofre Total). E para a determinação do estágio de evolução térmica da matéria orgânica, integramos as análises de Carbono Orgânico Total (COT), Enxofre (ST) e biomarcadores foram realizadas nas dependências do Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânica – LAFO.

4.1 Preparação das amostras

A preparação do material para a análise de palinofácies seguiu os processos não-oxidativos para o isolamento da matéria orgânica descritos por Tyson (1995), Mendonça Filho (1999), Mendonça Filho *et al.* (2002), Oliveira *et al.* (2004; 2006) e Mendonça filho *et al.* (2010). As amostras selecionadas foram fragmentadas, pesadas onde aproximadamente 20g a 40g de material foi separado para obtenção de um concentrado de querogênio. Na primeira etapa do processamento químico consistiu na acidificação com ácido clorídrico (37%) para eliminação da fração carbonática. Na segunda etapa do processamento utilizou-se ácido fluorídrico (40%), para eliminação da

fração silicosa. Após as amostras foram novamente acidificadas com HCl (10%), para eliminação dos possíveis fluorsilicatos, formados durante as etapas anteriores. A separação entre querogênio e o resíduo mineral foi realizada com a utilização de cloreto de zinco ($ZnCl_2$), que permite a separação das duas porções por flotação da fração orgânica. Após esse processamento foram confeccionadas lâminas organopalinológicas com o concentrado orgânico.

4.2 Análise de Palinofácies

A análise de palinofácies envolveu o exame quantitativo (contagem de 300 a 500 partículas) e qualitativo da amostra (identificação das partículas) dos grupos e subgrupos de componentes do querogênio através da utilização de técnicas de microscopia sob luz branca transmitida e fluorescência (luz azul). Tal contagem seguiu à classificação dos grupos e subgrupos da matéria orgânica proposta por Tyson (1995), Mendonça Filho (1999) e Mendonça Filho *et al.* (2002; 2008; 2010a). Após a contagem dos componentes orgânicos particulados, os valores absolutos foram recalculados para valores percentuais e normalizados a 100%, e confeccionados diagramas binários para a melhor visualização e interpretação dos resultados.

4.3 Fácies Orgânicas

De acordo com Jones (1987), o critério químico é primariamente utilizado para caracterizar fácies orgânicas que refletem processos químicos, físicos e biológicos.

Tuweni & Tyson (1994), consideram que a combinação das análises de COT e Pirólise *Rock-Eval*, juntamente com análise de palinofácies, constitui-se em um excelente modo de caracterização de fácies orgânica.

Segundo Tyson (1995), a caracterização de fácies orgânica leva em consideração as assembléias a serem controladas por fatores preservacionais, tanto quanto sua origem, e

que mudanças entre assembléias, são frequentemente gradacionais. De acordo com o mesmo autor os arcabouços orgânicos dividiram-se em três porções distintas: anóxica-disóxica (A, AB, B, BC), proximal flúvio-deltaica à plataforma prodeltaica-óxica (C, CD) e distal lentamente depositada, fácies óxica (D).

O quadro abaixo integra os resultados combinados de análises de geoquímica orgânica (análise elementar e Pirólise *Rock-Eval*) e técnicas microscópicas (luz branca transmitida e refletida) na caracterização das fácies orgânicas *sensu* Jones (1987) (Quadro 01).

Quadro 01: Sumário do esquema de fácies orgânicas de Jones (1987) mostrando tendências ambientais (Tyson, 1995).

FÁCIES ORGÂNICAS	A	AB	B	BC	C	CD	D
% de MOA no querogênio	dominante			moderado	usualmente baixa/ausente		
MOA fluorescente	a mais alta		moderada-fraca		fraca	usualmente ausente	
% de fitoclasto do querogênio	baixa diluição			moderada	usualmente dominante		
Fitoclasto opacos /translúcidos	frequentemente alta			usualmente baixa		aumenta	
Fatores ambientais							
Regime de oxigênio	anóxico	anóxico-disóxico			óxico		muito óxico
Taxa de acumulação sedimentar	baixa	variável		alta		moderada	baixa
FÁCIES ORGÂNICAS	A	AB	B	BC	C	CD	D

* MOA: Matéria Orgânica Amorfa

4.4 Análises de Geoquímica Orgânica

4.4.1 Análise de Carbono Orgânico Total (COT) e Enxofre (ST)

A análise do Carbono Orgânico Total é uma técnica utilizada para quantificação da matéria orgânica, em termos de carbono orgânico, em relação a um volume de rocha.

O Carbono Orgânico Total constitui mais um parâmetro importante para estudos sobre o conteúdo orgânico em rochas sedimentares, pois, além de contribuir com informações sobre a quantidade e estado de preservação da matéria orgânica, pode ser correlacionado com os demais resultados sobre a origem e o estágio de evolução térmica da matéria orgânica. O limite mínimo do conteúdo orgânico freqüentemente utilizado para considerar uma rocha como potencialmente geradora é de 0,5% para rochas carbonáticas e 1,0% para rochas siliciclásticas (Tissot & Welte,1984). Já o Enxofre Total constitui um parâmetro para estudos paleoambientais.

O RI (Resíduo Insolúvel) observado também neste tipo de análise, corresponde à fração da amostra não eliminada pelo tratamento do ácido, pressupondo-se a eliminação total dos carbonatos existentes, haverá apenas carbono orgânico no resíduo restante.

A análise do COT e ST foi obtida através do forno de indução do determinador de carbono WR-12 LECO, as determinações elementares foram realizadas em todas as amostras no aparelho SC-144 da LECO, após acidificação para remoção dos carbonatos.

4.4.2 Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM)

A identificação de compostos específicos de interesse (biomarcadores) em óleos e extratos é realizada através da técnica de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM). O método consiste em separar os hidrocarbonetos em uma coluna capilar no cromatógrafo e carrear os compostos para uma fonte de íons, onde as moléculas são ionizadas pelo processo de “ionização por impacto de elétrons”, formando íons carregados positivamente.

Quando os íons gerados são conhecidos e, conseqüentemente, suas fragmentações específicas, costuma-se trabalhar no modo monitoramento seletivo de

íons. A distribuição de compostos em função dos íons escolhidos é chamada fragmentogramas ou cromatogramas de íons. Para os biomarcadores saturados são monitorados os íons de m/z : 177, 191, 217, 218, 231 e 259.

A amostra a ser analisado no aparelho CG-EM deve ser diluída com aproximadamente 100 μ L de n- hexano. É feita a injeção automática de 1 μ L de amostra pelo injetor Agilent 7683 Series, mantido a 300°C no modo sem divisão de fluxo. Esta é carregada por um gás inerte (Hélio) até o cromatógrafo Agilent 6890 *Series*, com uma coluna capilar J&W, de sílica fundida, tipo DB5 (5% de fenil metil polisiloxano), com 60m de comprimento, 0,25mm de diâmetro interno, contendo uma fina película (0,25 μ m) de fase estacionária. A programação de temperatura é: 55 a 150°C, com uma taxa de aquecimento, de 20 °C/min. Ao alcançar 150°C a taxa de aquecimento passa para 1,5°C/min até alcançar 320°C, permanecendo na mesma por 20 minutos. O tempo de análise é de 140 minutos.

4.4.3 Índice de Coloração de Esporos (ICE)

A avaliação do estado de maturação térmica das amostras selecionadas foi realizada através da determinação do Índice de Coloração de Esporos (ICE), que registra o efeito da temperatura sobre alguns componentes orgânicos das rochas sedimentares, tais como, esporomorfos (esporos e grãos de pólen), que ao serem submetidos a aumentos de temperatura alteram sua coloração original tornando-se mais escuros à medida que ocorre sua maturação térmica (Mendonça Filho *et al.*, 1994).

As medidas do Índice de Coloração de Esporos (ICE) são determinadas sobre lâminas organopalinológicas em microscopia sob luz branca transmitida, utilizando-se como referência um conjunto de lâminas-padrão da *Robertson Research International Limited*, calibrado em escala de 1 a 10 com intervalos de 0,5% (Barnard *et. al.* 1981).

4.5 Tratamento Estatístico

A partir da análise quantitativa dos componentes orgânicos particulados foi realizado o tratamento estatístico dos dados. Após a contagem dos componentes orgânicos particulados, os valores absolutos foram recalculados para valores percentuais e normalizados para 100%.

Para uma melhor resolução das informações obtidas, empregou-se análise de agrupamento hierárquica através do programa *Statistic Basic 7*. Esta ferramenta estatística foi empregada para reconhecer a associação linear entre os grupos e subgrupos de componentes do querogênio (coeficiente de relação *r-Person/modo-R*) e para a observação de similaridade entre as amostras (modo-Q).

Para a representação dos resultados foram gerados diagramas binários e dendrogramas que mostram as variações nas assembléias de palinofácies e nos dados organogeoquímicos ao longo do intervalo estudado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Palinofácies

A análise de palinofácies realizada ao longo do testemunho apresentou os três principais grupos da matéria orgânica (Fitoclasto, Matéria Orgânica Amorfa e Palinomorfo), com um predomínio do grupo matéria orgânica amorfa com percentual médio de 48%, o grupo fitoclasto um percentual médio de 40% e o grupo dos palinomorfos apresentam uma média percentual de 12% (Figura 4).

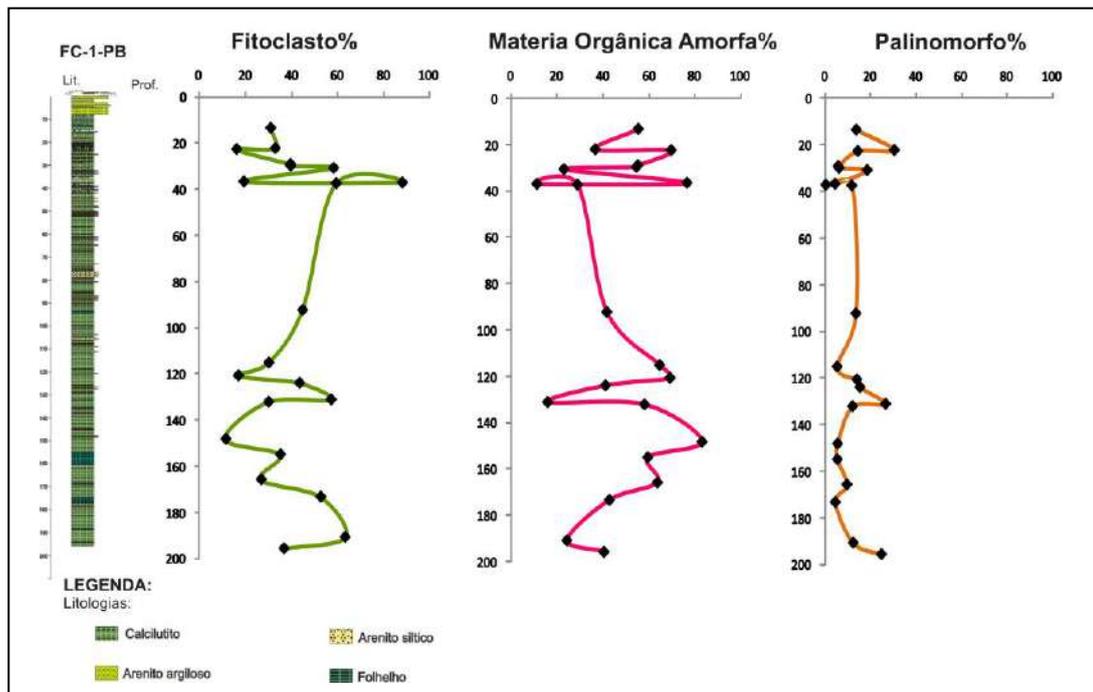


Figura 4: Diagrama ilustrando as variações percentuais dos 3 grupos principais da matéria orgânica

O grupo da Matéria Orgânica Amorfa (MOA) oriundo de ataque microbiológico domina a assembléia de componentes orgânicos. Esta MOA (Figura 5 I, J), sob luz branca transmitida apresenta grumos finamente dispersos com coloração variando do amarelado a marrom, e sob fluorescência, as colorações são fracas a moderada (laranja a marrom). Observa-se também a ocorrência de outro tipo de MOA de composição lipoproteica de origem bacteriana (bactérias autotróficas) caracterizada por uma intensa fluorescência descrita por (Borrego *et al.*, 2009 e Mendonça Filho *et al.*, 2010b) e denominada MOA “pelicular” por Combaz (1980). Neste trabalho, esse tipo de MOA foi denominado de MOA bacteriana (Figura 5L, M).

O Grupo Fitoclasto (derivado de tecidos lenhosos de vegetais superiores) é composto predominantemente fitoclastos bioestruturados bandados (Figura 5E), não bioestruturados ao longo de todo testemunho e secundariamente opacos (alongados e corroídos) (Figura 5 A, B), membranas (Figura 5 F), fitoclastos amorfizados (Figura 5

G, H) e cutículas (Figura 5 C, D), estes estão representados em ordem decrescente de proporção respectivamente.

Os palinómorfos representam os constituintes orgânicos de menor representatividade de acordo com a análise de palinofácies. Este grupo é representado por esporómorfos cujo é constituído principalmente de grão de pólen do gênero *Classopolis* e esporos cuja característica é a cor acastanhada em luz branca incidente e sob fluorescência exibe uma coloração alaranjada (Figura 5 N, O, P, S). Foi observada também a presença de microplâncton de água doce do gênero *Botryococcus* (Figura 5 T, U) em baixa proporção.

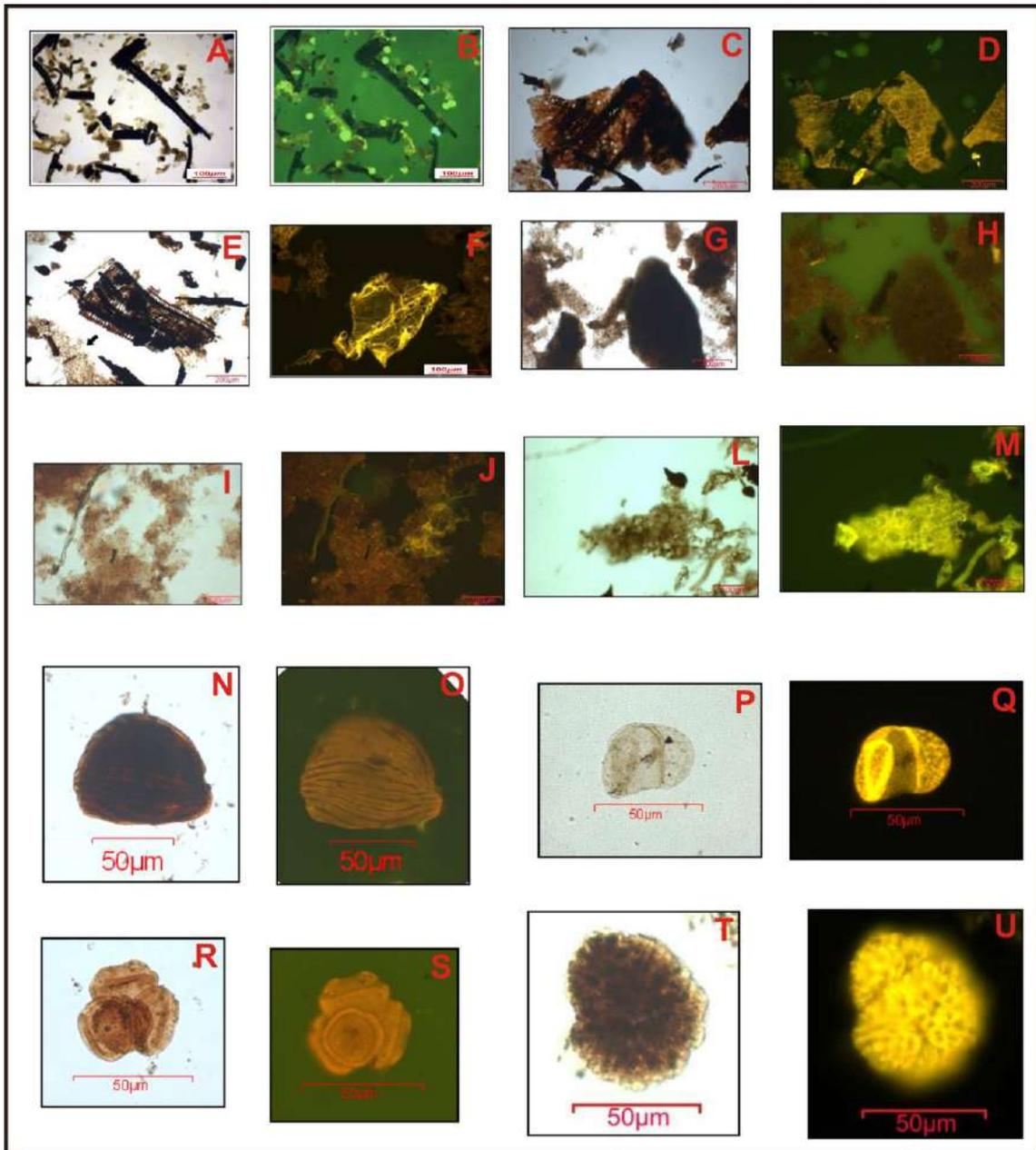


Figura 5: (A) fitoclasto opaco sob luz branca transmitida; (B) fitoclasto opaco sob fluorescência; (C) cutícula sob luz branca transmitida; (D) cutícula sob fluorescência; (E) fitoclasto não opaco bioestruturado sob luz branca transmitida; (F) membrana sob fluorescência; (G) fitoclasto amorfizado sob luz branca transmitida; (H) fitoclasto amorfizado sob fluorescência; (I) MOA sob luz branca; (J) MOA sob fluorescência; (L) MOA bacteriana sob luz branca transmitida; (M) MOA bacteriana sob fluorescência; (N) esporo sob luz branca transmitida; (O) esporo sob fluorescência; (P) pólen bissacado sob luz branca transmitida; (Q) pólen bissacado sob fluorescência; (R) tétrade de pólen sob luz branca transmitida; (S) tétrade de pólen sob fluorescência; (T) Botryococcus sob luz branca transmitida; (U) Botryococcus sob fluorescência.

5.2. Carbono Orgânico Total (%COT) e Enxofre Total (%ST)

O material analisado da formação Sousa apresentou baixos teores a teores médios de carbono orgânico total (COT) variando de 0,1-3,43%. Segundo Tissot & Welte (1984), a percentagem mínima para a geração de hidrocarbonetos em carbonatos está em torno de 0,5% e em rochas siliciclásticas em torno de 1%. A maior parte das amostras apresentou valores abaixo, sendo os menores valores para as amostras situadas mais próximas ao topo da seção estudada (Quadro 02).

Quadro 02: COT (%) = teor de Carbono Orgânico Total; ST (%)= teor de Enxofre Total.

Amostra	Prf(m)	Carbon%	Sulfur%
6	13,41	0,44	0,33
15	22,16	0,34	0,06
17	22,57	0,70	0,66
27	29,07	0,28	0,02
29	29,80	0,18	0,02
30	30,75	0,64	0,47
37	36,64	1,16	0,02
38	37,09	0,33	0,22
39	37,39	0,14	0,13
55	92,35	3,43	0,53
61	115,20	2,10	0,98
63	120,75	0,71	0,16
64	124,00	0,75	0,61
68	131,20	0,30	0,05
70	132,20	0,69	1,44
73	148,30	1,30	0,12
77	155	2,34	1,06
80	165,85	0,78	0,03
83	173,40	2,11	1,15
86	190,85	0,44	0,62
88	195,8	0,27	0,04

De acordo com o gráfico binário proposto por Berner & Raiswell (1984) e através dos dados obtidos das amostras da Formação Sousa sugerem que foram

depositadas predominantemente sob um paleoambiente lacustre salino. Berner & Raiswell (1984) também propuseram uma razão de C/S para distinguir ambientes lacustres de água doce, salobro e marinho (Figura 6).

Altas concentrações de sulfato em corpos lacustres rasos são aceitáveis devido a pequenas áreas alagadas pelas chuvas concentradas em terrenos adjacentes seguidos, por períodos de alta evaporação sob condições áridas e semi-áridas (Utting, 1987). Assim a deposição da seção sedimentar estudada estaria condicionada a um forte controle climático influenciada por uma baixa taxa de subsidência.

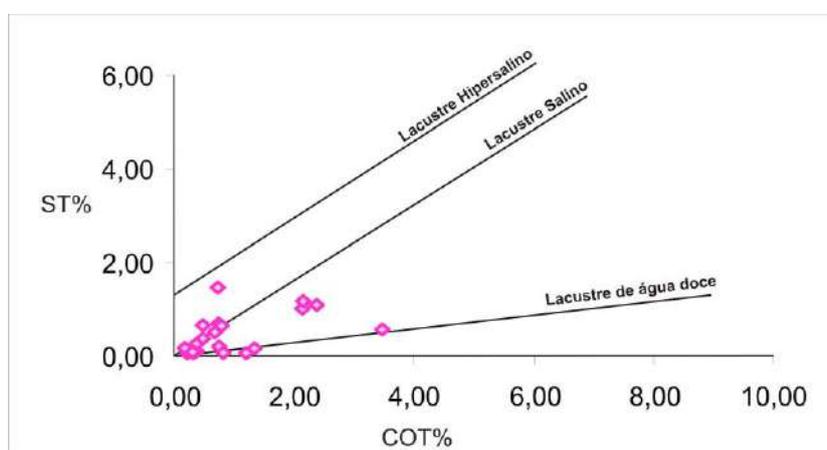


Figura 6: Gráfico de COT (% em peso) versus ST (% de enxofre em peso) para o poço FC-1-PB (Modificado de Leventhal, 1983; Berner & Raiswell, 1984).

5.3. Índice de Coloração dos Esporos (ICE)

Os resultados de ICE mostram que na Formação Sousa as medidas de Índice de Coloração de Esporos apresentaram variação de ICE 3,5 a 5,5 com média de ICE 4,5 (Quadro 03).

Quadro 03: Amostras de ICE

Amostra	Prf(m)	ICE
6	13,41	4
15	22,16	4,5
17	22,57	3,5
30	30,75	4,5
55	92,35	3,5
64	124,00	5,5
68	131,20	4,5
88	195,8	4,5

5.4. Associação de Palinofácies

Através do tratamento estatístico *modo-R* (Figura 7a), as amostras foram organizadas em quatro agrupamentos segundo o maior grau de similaridade dos componentes da matéria orgânica em relação ao “critério origem”: O agrupamento **I** representa a matéria orgânica amorfa; o agrupamento **II** corresponde aos componentes lacustres (*Botryococcus*), fitoclasto amorfizado e a razão carbono orgânico total x enxofre; o agrupamento **III** representa a matéria orgânica retrabalhada pela ação bacteriana (MOA B), esporos e membrana e o agrupamento **IV** corresponde aos componentes fúvio-lacustres (cutículas, fitoclasto opaco e fitoclasto não opaco).

As análises do agrupamento hierárquico *modo-Q* (Figura 7b), subdividiu em uma associação de quatro palinofácies.

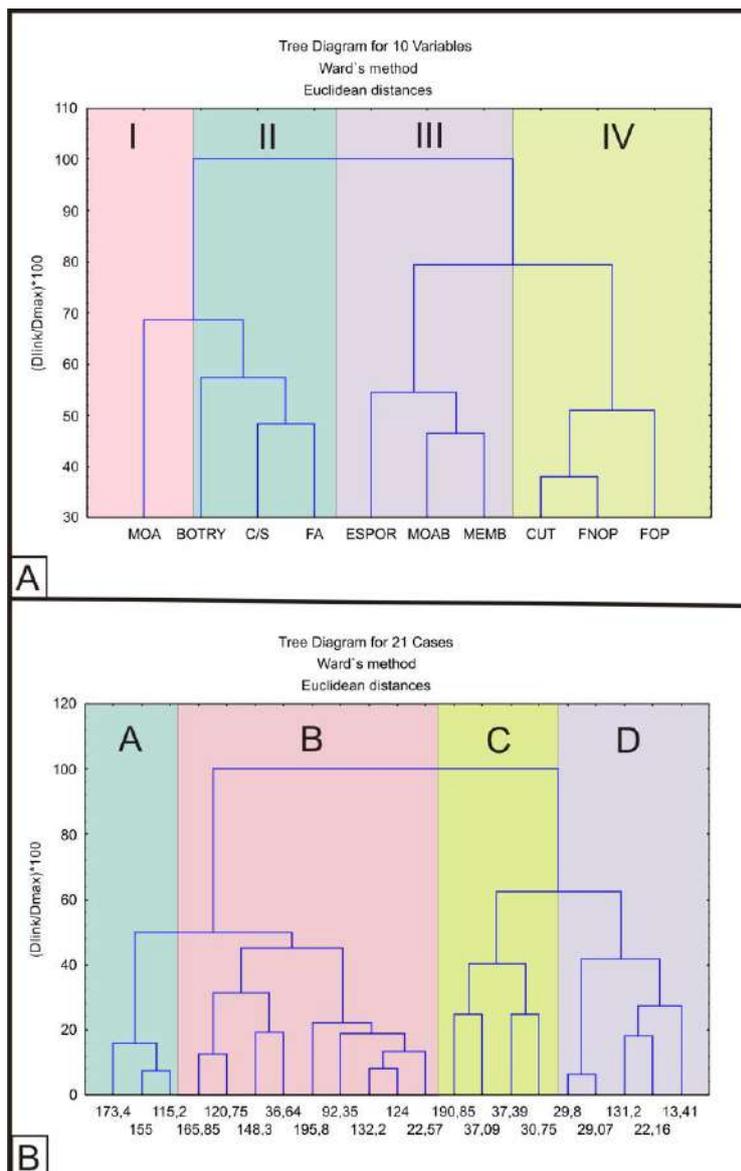


Figura 7: Dendrogramas representando os métodos de análise de agrupamento Modo-R (Figura 7a) e Modo-Q (Figura 7b).

Associação da Palinofácies A: representada pelas amostras 61, 77 e 83 e com COT variando de 2,10% a 2,34% que freqüentemente é dominado por matéria orgânica amorfa derivada do fitoplâncton, determinando a combinação de fatores preservacionais, diluição e produtividade orgânica (Tyson, 1995). Apresenta elevada percentagem do grupo dos fitoclastos essencialmente o subgrupo dos fitoclastos amorfizados (partículas que exibem aspecto de matéria amorfa com contorno difuso,

irregular, fluorescência relativamente alta e coloração entre amarelo e laranja, Mendonça Filho *et al.*, 2008), tendo em média 86,9%, juntamente com os palinórfos representadas pelas algas do gênero *Botryococcus* com 3,7% e elevada razão COT *versus* enxofre variando de 1,84% a 2,20%. O predomínio dos fitoclastos amorfizados, juntamente com a alta razão C/S sugere um ambiente de moderada oxigenação e baixa energia no substrato deposicional.

- Associação da Palinofácies B: representada pelas amostras 17, 37, 55, 63, 64, 70, 73, 80 e 88 e com COT entre 0,27% a 3,14% indicando com esses altos valores ambientes lagunares/estuarinos indicado uma palinofacie com predomínio de material amorfizado (Tyson, 1995). Corresponde ao subgrupo da matéria orgânica amorfa (MOA) com fluorescência de cor laranja a marrom predominantemente e apresenta elevada percentagem de 95,7% em relação à matéria orgânica total. Os grupos do fitoclastos e palinórfos apresentam moderada representatividade 53,8% e 24,5% respectivamente. No grupo dos fitoclastos, os fitoclastos opacos apresentam maior predomínio, enquanto que no grupo dos palinórfos o predomínio é dos esporórfos onde foi observada presença de grãos de pólen do gênero *Classopolis* que são típicos de clima árido e semi-árido. O predomínio de MOA com fluorescência de cor laranja a marrom indica que o ambiente se encontra sob condições redutoras de baixa energia necessárias para a decomposição da matéria orgânica nesses intervalos.

- Associação da Palinofácies C: representada pelas amostras 30, 38, 39 e 86 e com COT variando de 0,14% a 0,64% indicando ser dominados por fitoclastos, os quais controlam a abundância absoluta do conteúdo de carbono (Tyson, 1989; 1995). Nessas amostras predomina o Grupo dos Fitoclastos (67,3%) com predominâncias do grupo dos fitoclastos não opacos com 49,1% seguido dos fitoclastos opacos com 42,6% e cutículas com média de 1,1%. O grupo da MOA e dos palinórfos são poucos

representativos com média de 21,9% e 10,8% respectivamente. A predominância de fitoclastos não-opacos correspondendo principalmente a bioestruturados, não-bioestruturados, fitoclastos opacos concomitantemente com cutículas em assembléias de querogênio é devido à combinação da natureza proximal da fácies, às condições óxicas e à resistência relativamente elevada de tecidos lignificados (Tyson, 1993), demonstrando um aumento do aporte fluvial.

- Associação da Palinofácies D: representada pelas amostras 6, 15, 27, 29, 68 e com COT variando de 0,18% a 0,44% indicando degradação óxica (Tyson, 1995). Tem como predomínio a matéria orgânica retrabalhada por bactérias. O grupo do fitoclasto apresenta moderada percentagem sendo representado pelas membranas e o grupo dos palinomorfos está representado pelos esporos. O predomínio da MOA bacteriana é indicativa de um ambiente com regime óxico, rico em sais e nutrientes necessários para que haja a presença de bactérias autotróficas que são as responsáveis por produzirem tal matéria orgânica, representando assim a parte superior do lago.

5.5. Fácies Orgânica

A identificação das fácies orgânicas pertencentes à Formação Sousa foram estabelecidas principalmente através de parâmetros de palinofácies e de parâmetros organogeoquímicos motivada na classificação de Jones (1987) e Tyson (1995) estabelecendo assim 4 fácies orgânicas: A-AB, B, BC e CD. Abaixo se pode observar um esquema de relação das fácies orgânica e os ambientes sedimentares, principalmente quanto à oxigenação de fundo, proximidade da fonte flúvio-deltáica e clima, modificado de Jones (1987) e Tyson (1995), relacionados com as palinofácies obtidas nas amostras estudadas (Figura 8).

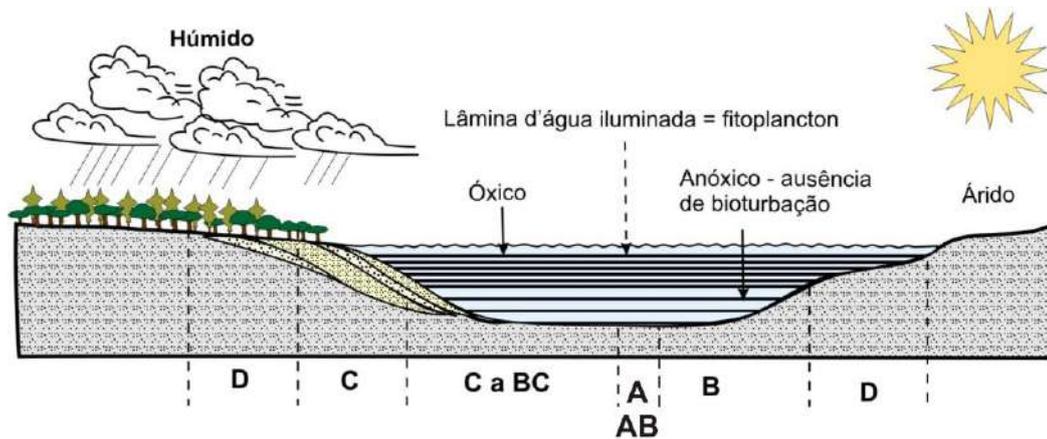


Figura 8: Relação das fácies orgânica e os ambientes sedimentares (modificado de Jones, 1987 e Tyson, 1995).

A **fácies AB**, lacustre anóxica-disóxica, correspondente a **Associação de Palinofácies D**, apresenta uma elevada quantidade do grupo da matéria orgânica amorfa (MOA), com predomínio do subgrupo da MOA bacteriana, juntamente com os esporos e as membranas que fazem parte dos grupos de palinomorfos e fitoclastos respectivamente. De acordo com a tabela de fácies de Jones (1987), pode-se dizer que, a taxa de acumulação sedimentar alterna de baixo a variável.

A **fácies B**, lacustre anóxica-disóxica, correspondente a **Associação de Palinofácies B**, mostra uma grande abundância da MOA indica ambientes com condições redutoras no ambiente, coluna d'água anóxica e alta produtividade primária. Ocorreu uma diminuição na quantidade de esporomorfos, indicando diminuição da deposição dos mesmos, tanto pelo rio como pelo vento, dando idéia de um ambiente mais árido. Observa-se uma taxa de acumulação sedimentar variável.

A **fácies BC**, lacustre anóxica-disóxica, corresponde a **Associação da Palinofácies A**, demonstra alta abundância dos fitoclastos amorfizados indicam um ambiente mais

calmo. Este material amorfizado associado a elevados valores da razão COT *versus* enxofre também evidencia um ambiente estagnado. A ocorrência de algas do gênero *Botryococcus* indica, que em determinado momento, esse ambiente deposicional apresentou alta luminosidade e alta salinidade. Observou-se através desses dados uma alta acumulação sedimentar.

A fácies CD, proximal fluvio-deltáica a prodeltáico, correspondente a **Associação de Palinofácies C** ocorre à predominância do grupo dos fitoclastos, com maior ocorrência do subgrupo dos fitoclastos opaco e não opacos juntamente com as cutículas está associado, principalmente, ao transporte fluvial ou pelo vento, tornando o ambiente mais oxidante, juntamente com um aumento do aporte sedimentar, indicando uma possível agitação da água. As cutículas bem preservadas, também indicam clima mais úmido e proximidade da área fonte. Através desses dados pode-se determinar um ambiente com taxa de acumulação variando de moderada a baixa e um regime variando de óxico a muito óxico.

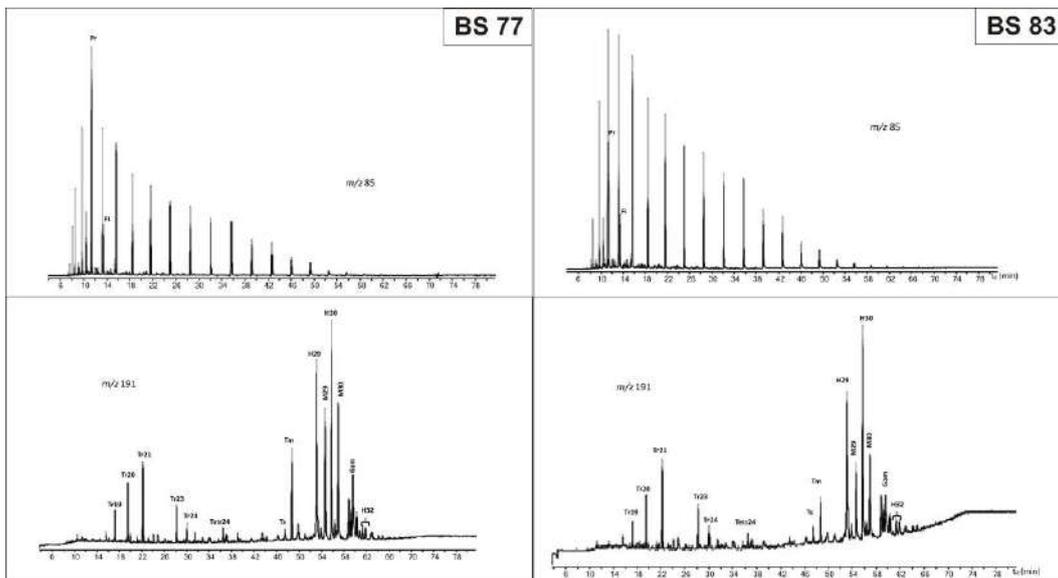
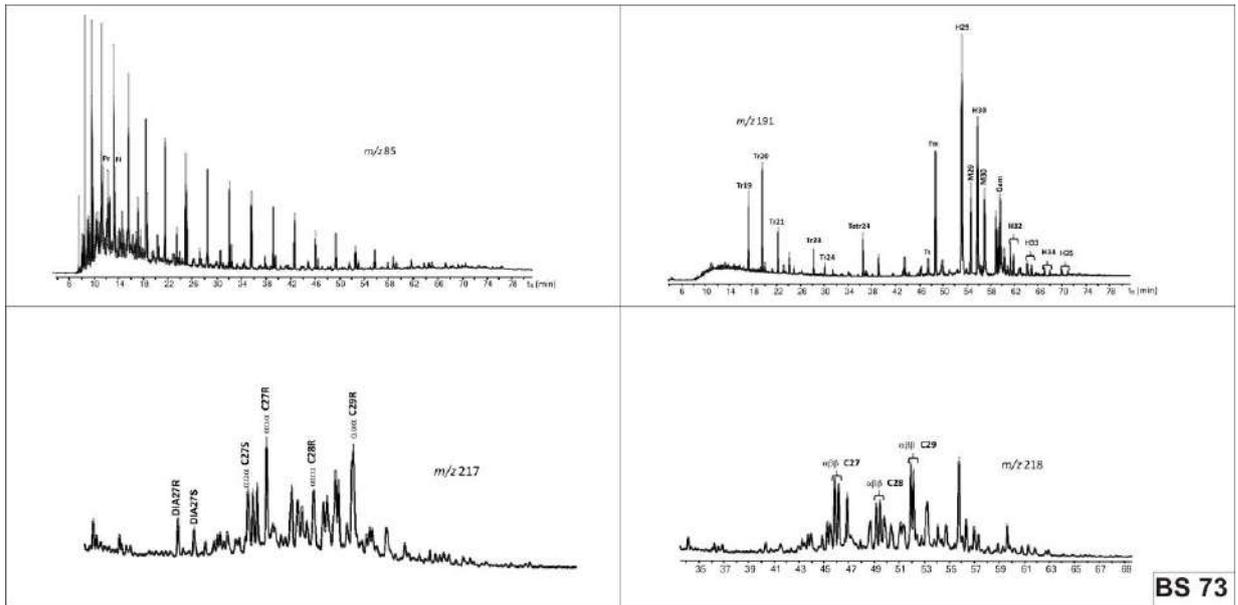
5.6. Caracterização Geoquímica do poço 1 (SÍTIO SALGUINHO)

As amostras BS73, BS 77 e BS83(148,30m, 155,00m e 173,40m respectivamente) demonstraram ser compostas por n-alcanos de alto peso molecular são derivados de matéria orgânica terrestre (Tissot & Welte, 1984). A amostra BS 73 apresentou um predomínio do fitano (Fi) em relação ao pristano (Pr) sugerindo um ambiente redutor, a razão de Pr/Fi de 0,55 mostrou que o ambiente é composto por uma matéria orgânica de ambiente redutor e a distribuição do cromatográfico sugere que esse ambiente seja evaporítico. Nas amostras BS 77 e BS 83 observou-se que isoprenóide C₁₉ (pristano) é predominante em relação ao isoprenóide C₂₀ (fitano) sugerindo um ambiente oxidante, a razão Pr/Fi é de 3,53 e 1,88 ,respectivamente, por ser alta indica um predomínio de uma materia orgânica terrestre depositada em ambiente oxidante. A distribuição do

cromatografo indica que o ambiente é lacustre salino mostrando que a lago estava sofrendo diminuição da sua lamina d'água.

No cromatograma gasoso verificou-se que as amostras BS77 e BS83 não possuem todos os seus biomarcadores preservados devido a alta degradação do material (terpanos - m/z 191; esteranos - m/z 217; m/z 218), entretanto a amostra BS 73 (148,30m) possui todos seus biomarcadores. Na amostra BS 73 observou a porcentagem do C_{29} poderia estar indicando uma contribuição terrestre demonstrando que o nível do lago estaria mais baixo juntamente com a presença da razão hopano/esterano sendo maior que 7, propondo uma deposição de matéria orgânica terrestre e/ou retrabalhada por bactérias. A razão Ts/Tm mostrou-se baixa, evidenciando a pouca maturidade do material. A razão gamacerano/ 17α (H), 21β (H), 30-hopano (C_{30}) das amostras BS 73, BS 77 e BS 83 são de 0,45, 0,25 e 0,14 respectivamente, indicando salinidade no ambiente deposicional onde as amostras mais rasas têm uma diminuição progressiva do aumento da salinidade.

O grau de evolução térmica do extrato da rocha pode ser avaliado utilizando-se alguns indicadores tais como as razões C_{29} esteranos regulares $\alpha\beta/(\alpha\alpha\beta+\alpha\alpha\alpha)$ (0,56 a 0,61), $Ts/Ts+Tm$ (0,41 a 0,43) e triclicos/hopanos (0,66 a 0,82), indicando um intervalo de baixa maturidade térmica (Figura 9).



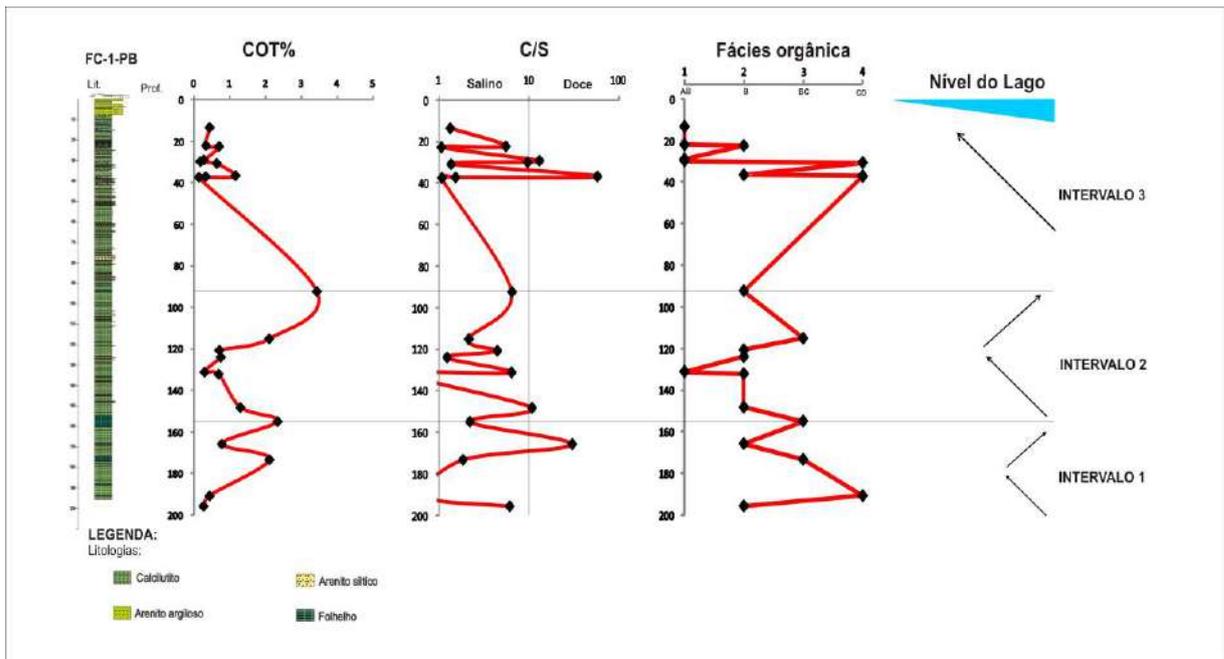


Figura 10: Intervalos paleoambientais e seus respectivos parâmetros.

O intervalo 1 (195,8m – 155,00m) apresenta razão média de C/S igual a 8,21 e um teor médio de COT de 1,19% e a associação organofaciológica B/BC/CD caracterizando um lago raso salino anóxico-disóxico. A matéria orgânica característica deste intervalo se apresenta retrabalhamento microbiológico, principalmente do material lenhoso. Essas características reforçam um paleoambiente evidenciado pelos resultados de biomarcadores das amostras BS77 e BS 83 onde mostra um lago com taxa de salinidade elevada que tende a diminuir com o aumento do seu nível. Estas altas taxas de evaporação ocorridas no lago favoreceram a preservação da matéria orgânica lenhosa amorfizada pela rápida diminuição de oxigênio dissolvido.

O intervalo 2 (148,30m – 92,35m) possui uma razão média de C/S igual a 4,56, um teor médio de COT médio de 1,33% e o predomínio de uma associação organofaciológica A-AB/B/BC evidenciando maior influência fluvial (pulsos intermitentes). Observa-se um aumento da oxigenação e das flutuações do nível d'água do corpo lacustre refletindo nos parâmetros palinofaciológicos e nos organogeoquímicos através diminuição do grau de preservação da matéria orgânica (redução do teor médio de COT, e da intensidade de fluorescência) e aumento da proporção relativa de principalmente fitoclastos não opacos e esporomorfos. O aporte fluvial é caracterizado

por pulsos intermitentes típicos de bacias endorreicas, típicas de clima árido ou semi-árido.

O intervalo 3 (37,39m – 13,41m) possui uma razão C/S de 10,23, um teor médio de COT 0,47% e o predomínio de uma associação organofaciológica A-AB/CD. É observado o predomínio da presença de membranas e de uma matéria orgânica amorfa bacteriana e fitoclastos predominantemente opacos e não opacos, demonstrando uma diminuição da lâmina d'água de um paleolago.

6. Conclusão

A seção sedimentar cretácea pertencente à formação Sousa, bacia do Rio do Peixe (poço FC-1-PB) apresenta através de estudos organopalinofaciológicos realizados em uma sucessão sedimentar de espessura de 196m revelaram o predomínio de uma matéria orgânica de origem continental terrestre, depositados em uma porção proximal de um sistema deposicional lacustre de água doce raso óxico a salino disóxico.

Em relação ao estágio de evolução térmica, através de análises organopetrográficas (palinofácies), organogeoquímicas (COT, ST, ICE e biomarcadores), demonstrou que a sucessão sedimentar estudada da formação Sousa encontra-se termicamente imatura.

A partir da avaliação do potencial gerador de hidrocarbonetos para os calcilitos e folhelhos da Formação Sousa, realizado através das análises organopetrográficas associadas aos dados de COT e enxofre, mostrou no geral, uma quantidade adequada de matéria orgânica para geração de petróleo, porém de baixa qualidade.

7. Agradecimentos

Agradeço ao Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânica (LAFO) e a COPPETEC pela ajuda financeira e aos amigos da Geologia.

8. Referências Bibliográficas

- ANP. Agência Nacional do Petróleo. 2002. Disponível em <http://www.brazil-rounds.gov.br/round4/atividades_exploratorias/cartas_secoes/cartas/ce_parniba.pdf> Acessado em 28 de agosto de 2009.
- Barnard, P.C.; Collins, A.G. & Cooper, B.S. 1981. Identification and distribution of kerogen facies in a source rock horizon – examples from the North Sea basin. *In: Organic maturation studies and fossil fuel exploration*. Academic Press, London, 271-282.
- Berner, R.A. & Raiswell, R. 1984. C/S method for distinguishing freshwater from marine sedimentary rock. *Geology*, v. 12, p. 365–368.
- Beurlen, K. & Mabesoone, J.M. 1969. Bacias Cretáceas intracratônica do Nordeste do Brasil. *Notícias Geomorfológicas*, 9 (18):19-34.
- Borrego, A.G.; Mendonça Filho, J.G.; Mendonça, J.O.; Menezes, T.R.; Silva, F.S. & Neumann, V.H. 2009. Organic matter in the carbonatic sediments of the Aptian lacustrine system in the Cretaceous Araripe Basin (NE Brazil). *ICCP News*.
- Braun, O.P.G. 1969. Geologia da Bacia do Rio do Peixe, Nordeste do Brasil. Rio do Janeiro, Prospec/DNPM, 23 p.(não publicado).

- Campos, M.; DE Mello, A. A.; Souza, M. E.; DA Silva, F. A. F.; França, J. B., 1979. Projeto Rio Jaguaribe, relatório final de geologia. D.N.P.M. *Serviço Geológico. Brasília*, 149 p.
- Carvalho, I. S. 1989. *Ícnocenosos continentais: bacias de Sousa, Uiraúna Brejo das Freiras e Mangabeira*. 1989. 167 f. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Carvalho, I. S. & Carvalho, M.G.P. 1990. O significado paleoambiental dos conchostráceos da Bacia de Sousa. *In: Simpósio sobre a bacia do Araripe e bacias interiores do nordeste*, 1, Crato-Ce, 1990, SBP. *Anais*, p. 329-333.
- Carvalho, I. S. & Leonardi, G.; 1992. Geologia das Bacias de Pombal, Sousa, Uiraúna-Brejo das Freiras e Vertentes (Nordeste do Brasil). *Academia Brasileira de Ciências*, v. 64, n° 3, p. 231-252.
- Combaz, A., 1980. Les kerogenes vus au microscope. *In: Durand, B. (Ed.), Kerogen, Insoluble Organic Matter from Sedimentary Rocks*. Editions Technip, Paris, pp. 55-112.
- Córdoba, V. C. & Antunes, A. F.; de Sá, E. F. J.; da Silva, A. N.; Sousa, D. C.; Lins, F. A. P. L.; 2008. Análise estratigráfica e estrutural da Bacia do Rio do Peixe, Nordeste do Brasil: integração a partir do levantamento sísmico pioneiro 0295_RIO_DO_PEIXE_2D. B. *Geoci. Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 53-68, nov. 2007/maio.
- Dantas, J. R. A; Caúla, J. A. L; Neves, B. B. DE B.; Pedrosa, I. L., 1982.

- Mapa Geológico do Estado da Paraíba. *Texto Explicativo*. CDRM Campina Grande, PB. 133p.
- Françolin, J.B.L.; SzatmarI, P., 1987. Mecanismo de rifteamento da porção oriental da margem norte brasileira. *Rev. Bras. Geoc.*, 17(2): 196 –207.
- Françolin, J. B. L.; Cobbold, P. R.; Szatmari, P., 1994. Faulting in the Early Cretaceous Rio do Peixe basin (NE Brazil) and its significance for the opening of the Atlantic. *Journal of Structural Geology*, v. 16, n. 5, p. 647-661.
- Jones, R. W. 1987. Organic Facies. *In: Brooks, J. & Welts, D. (eds.). Advances in Organic Geochemistry*, Academic Press, 2: 1-90.
- Leventhal, J. S. 1983. An interpretation of carbon and sulfur relationships in Black Sea sediments as indicators of environments of deposition. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 47, p. 133–137.
- Lima Filho, M. L. 2002. Mapa faciológico da Bacia do Rio do Peixe, Estado da Paraíba. *In: Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil, 6, 2002, Rio Claro. Boletim... Rio Claro: UNESP, 2002, p. 103-106.*
- Low, C. A., *Geochemistry Technics*, (2004). AAPG: Evaluating Source Rocks.
- Matos, R. M. 1992. The northeast Brazilian rift system. *Tectonics*, v.11, n.2, p.766-791.
- Mendonça Filho, J. G. 1994. *Estudo Petrográfico e Organogeoquímico de amostras de folhelhos da Formação Irati, Permiano Superior da Bacia do Paraná*. Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 248 pp.

- Mendonça Filho, J. G. 1999. *Aplicação de estudos de palinofácies e fácies orgânica em rochas do Paleozóico da Bacia do Paraná, Sul do Brasil*. Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2 volumes, 338 p.
- Mendonça Filho, J.G; Carvalho, M.A. & Menezes, T.R. 2002. Palinofácies. *In: Unisinos ed. Técnicas e procedimentos de trabalho com fósseis e formas modernas comparativas*. São Leopoldo, p. 20-24.
- Mendonça Filho, J. G.; Carvalho, I. S. & Azevedo D. A. 2006. Aspectos Geoquímicos do óleo da Bacia de Sousa (Cretáceo Inferior), Nordeste do Brasil: Contexto Geológico. São Paulo, UNESP, *Geociências*, v.25, n.1, p. 91-98.
- Mendonça Filho, J. G. ; Menezes, T. R. ; Mendonça, J. O. ; Oliveira, A. D. ; Carvalho, M. A. ; Santanna, A. J. ; Souza, J. T. 2008. Palinofácies. *In: Carvalho, I.S (ed.). No prelo. (Org.). Paleontologia*. Rio de Janeiro.
- Mendonça Filho, J.G.; Menezes, T. R.; Mendonça, J. O.; Oliveira, A. D.; Carvalho, M. A.; Santanna, A. J. & Souza, J. T. 2010. Palinofácies. *In: CARVALHO (org.) Paleontologia, 3ª Ed. v. 1, cap. 16, p.283 - 317*.
- Mendonça Filho, J.G; Araujo, C.V. ; Borrego, A.G. ; Cook, A. ; Flores, D. ; Hackley, P. ; Hower, J.; Kern, M.L; Mendonça, J.O.; Menezes, T.R.; Souza, I.V.A.F e I. Suarez-Ruiz, I. 2010 a. Report on Organic Matter Concentration Working Group (OMCWG 2009), *ICCP News* **49** (2010), pp. 15–28.
- Mendonça Filho, J.G. ; Menezes, T.R.; Mendonça, J.O.; Oliveira, A.D.; Carvalho, M.A.; Sant'Anna, A.J. e Souza, J.T. 2010 b. Palinofácies, *Ismar de Souza Carvalho, Paleontologia*, Interciência, Rio de Janeiro (2010), pp. 379–413.

- Oliveira, A.D.; Mendonça Filho, J.G.; Carvalho, M. A.; Menezes, T.R., Lana, C.C.; Brenner, WW. 2004. *In: Novo método de preparação palinológica para aumentar a recuperação de Dinoflagelados. Revista Brasileira de Paleontologia*,7(2):169-175.
- Oliveira A. D., Mendonça Filho J.G., Sant'Anna A. J., Souza J.T., Freitas A.G. & Menezes T. R. 2006. Inovação no Processamento Químico para Isolamento da Matéria Orgânica Sedimentar. *In: SBG/Núcleo Bahia-Sergipe, Congresso Brasileiro de Geologia* , 43, Aracaju, *Anais*, p. 324.
- Srivastava, N. K.; Carvalho, I. S. 2004. Bacias do Rio do Peixe. Aracaju: Fundação Paleontológica Phoenix, *Informativo Phoenix*, v. 71, p. 1-4.
- Tissot, B. P.; Welte, D. H. 1984. *Petroleum Formation and Occurrence*. 2^a ed. Berlin: Springer-Verlag.
- Tuweni A.O. & Tyson R.V. 1994. Organic facies variations in the Westbury Formation (Rhaetic, Bristol Channel, SW England). *Organic Geochemistry*, 21:1001-1014.
- Tyson, R. V. 1989. Late Jurassic palynofacies trends, Piper and Kimmeridge Clay Formations, UK onshore and northern North Sea. *The British Micropalaeontological Society*, p. 135-172.
- Tyson, R. V. 1993. Palynofacies Analysis. *In: Jenkins D.J. (eds). Applied Micropaleontology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. p. 153-191.
- Tyson, R. V. 1995. Sedimentary Organic Matter. Organic facies and palynofacies. Chapman & Hall. Londres, 615 p.
- Utting, 1987. Palynology of the Lower Carboniferous Windsor Group and Windsor-Canso boundary beds of Nova Scotia and their equivalents in Quebec, New

Brunswick, and Newfoundland. Geological Survey of Canada (Ottawa, Canada). 73 p.