FÁCIES ORGÂNICA DA FORMAÇÃO LA LUNA, BACIA DO VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA, COLÔMBIA: IMPLICAÇÕES PARA A GERAÇÃO DE PETRÓLEO E CARACTERIZAÇÃO PALEOAMBIENTAL

Juliana Andrade Iemini[1]; João Graciano Mendonça Filho[2]; Felix Thadeu Teixeira Gonçalves[3]; Taíssa Rêgo Menezes[4].

N° de Figuras **9**

ÍNDICE

RESUMO **1**

ABSTRACT **3**

1.Introdução **4**

2. Geologia Regional **5**

3. Sistema Petrolífero 10

4. Material e Métodos 11

4.1 Material de Estudo 11

4.2 Métodos de Estudo 11

4.2.1 Parte Exprimental 12

4.2.2 Tratamento dos Dados 13

5. Resultados e Discussões **14**

5.1 Palinofácies 14

5.2 COT e *Pirólise Rock-Eval* 16

5.3 Avaliação do Estágio de Maturação Térmica 18

5.4 Análises de Agrupamento Hierárquicas 19

6. Fácies Orgânica **20**

7. Caracterização Paleoambiental **22**

8. Conclusão **27**

Agradecimentos **27**

Referências Bibliográficas **27**

FIGURAS

Figura 1: Mapa mostrando a localização e o arcabouço estrutural da bacia do Vale Superior do Magdalena (modificado de Schamel, 1991). 5

Figura 2: Coluna estratigráfica generalizada do Vale Superior do Magdalena (modificado de Kairuz *et al*., 2000). 6

Figura 3: Coluna estratigráficada da seção aflorante do Riacho Bambuca, mostrado suas principais características litológicas e sedimentológicas e cronoestratigrafias inferidas (Gonçalves, 2005). 7

Figura 4: Quadro resumo estratigráfico do intervalo Albiano/Santoniano na Colômbia (especialmente na região do Vale do Magdalena e Cordilheira Oriental) de acordo com o trabalho de Villamil (1998), mostrando uma curva de *onlap* costeiro, principais limites de seqüências, eventos paleoceanográficos e marcos litológicos. 9

Figura 5: Localização da seção aflorante estudada no Riacho Bambuca dentro do contexto geológico da porção norte da Sub-bacia Neiva (modificado de Vargas *et al*., 2002). 11

Figura 6: Diagramas binários representando os tipos de querogênio, *IH* × *IO* (Espatelié, *et al*., 1997), *S2* × *COT* (Langford & Blanc-valleron; 1990), *IH* × *Tmax* (Delvaux *et al*., 1990). 17

Figura 7: Dendogramas representando os métodos de análise de agrupamento modo R (figura 7a) e modo Q (figura 7b). 19

Figura 8: Diagrama ternário com os campos de palinofácies definidos pelos valores percentuais dos três principais grupos da matéria orgânica particulada (Tyson, 1995) e com as amostras plotadas da seção estudada. 22

Figura 9: Parâmetros de palinofácies e organogeoquímicos com as divisões dos intervalos determinados pela análise de agrupamento modo-Q.SIM = Superfície de Inundação Máxima; Fito = Fitoclasto; Esporom. = Espormorfo; Dino = dinocistos. 26

ESTAMPA 15

TABELAS

Tabela 1: Valores percentuais dos grupos e subgrupos do querogênio em relação ao total do querogênio. 16

Tabela 2: Resultados de COT (%) e pirólise *Rock-Eval* das amostras analisadas da Formação La Luna, seção Riacho Bambuca. 18

Tabela 3: Correlação de matriz (coeficiente de *r*-Pearson) das amostras analisadas. 19

Tabela 4: Fácies orgânica (Mendonça Filho, 1999, baseado em Jones, 1987 e Tyson, 1995). 21

Tabela 5: Correlação entre palinofácies (Tyson, 1995) e fácies orgânica (Jones, 1987), de cada amostra da Formação La Luna, seção Riacho Bambuca. 23

FÁCIES ORGÂNICA DA FORMAÇÃO LA LUNA, BACIA DO VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA, COLÔMBIA: IMPLICAÇÕES PARA A GERAÇÃO DE PETRÓLEO E CARACTERIZAÇÃO PALEOAMBIENTAL

Organic facies of the La Luna Formation, Upper Valley Magdalena Basin, Colômbia: Implication to oil generation and characterization paleoenvironment.

Juliana Andrade Iemini[1]; João Graciano Mendonça Filho[2]; Felix Thadeu Teixeira Gonçalves[3]; Taíssa Rêgo Menezes[4].

[1] UFRJ, Departamento de Geologia, CCMN/IGEO, Cidade Universitária – Ilha do Fundão, juliana.iemini@gmail.com 21949-900. Rio de Janeiro, RJ – Brasil.
[2] DEGEO/IGEO/UFRJ, Ilha do Fundão, 21949-900, RJ, Brasil, graciano@geologia.ufrj.br.
[3] UFRJ, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia, Programa de *Engenharia Civil* Cidade Universitária – Ilha do Fundão 21949-900. Rio de Janeiro - felix.goncalves@lab2m.coppe.ufrj.br
[4] GEO/CENPES/PETROBRAS, Ilha do Fundão, 21949-900, RJ, Brasil. taissar.fundacao_padre@petrobras.com.br.

Resumo

As rochas pelíticas do Cretáceo Superior são as geradoras da maior parte das reservas de petróleo na Colômbia. A Bacia do Valle Superior Del Magdalena (VSM) possui afloramentos de boa qualidade e níveis de evolução térmica que variam desde o imaturo até o fim da "janela" de geração de óleo, o que torna esta região uma das mais propícias para o estudo dos processos de geração e migração primária do petróleo no Cretáceo Superior. O objetivo principal consistiu no estudo de fácies orgânica da Formação La Luna do VSM em uma seção aflorante, Riacho Bambuca, visando determinar o potencial de geração de petróleo e caracterizar o paleoambiente. Para tanto foram analisadas vinte e quatro amostras para análises de palinofácies (caracterização da assembléia de componentes do querogênio) e geoquímica orgânica (análises de Carbono Orgânico Total – COT e pirólise *Rock-Eval*, cedidas pelo Instituto Colombiano do Petróleo – ECOPETROL). A análise de palinofácies compreendeu a utilização de técnicas de microscopia (luz branca transmitida e luz azul incidente). Além disso, foi realizada a análise de Índice de Coloração de Esporos (ICE) para a determinação do estágio de maturação térmica. O material estudado apresentou o predomínio do Grupo matéria orgânica amorfa com colorações de fluorescência variando do amarelo ao laranja claro. O Grupo Palinomorfo é representado por cistos de dinoflagelados e esporomorfos. O material lenhoso ocorre em baixíssimos percentuais, sendo representado principalmente por fitoclastos opacos. Os resultados das análises geoquímicas revelaram teores de COT de médios a elevados, excelente potencial de geração de hidrocarbonetos (PG > 4 mg HC/g Rocha), índice de hidrogênio variando de 329 a 589 mg HC/g e baixos valores de índice de oxigênio caracterizando querogênio tipo II. O baixo grau de maturação térmica foi determinado por valores de Índice de Coloração de Esporos entre 2,5-3,0, valores de Tmax inferiores a 440°C e Índice de Produção de hidrocarboneto inferior a 0,2. De acordo com os dados de fácies orgânica, a Formação La Luna depositou-se em um ambiente marinho, com fácies de plataforma distal disóxica - óxica à bacia distal subóxica - anóxica,

contendo querogênio de excelente qualidade e com quantidade adequada para a geração de petróleo.
Palavras chaves: Fácies Orgânica Formação La Luna, Cretáceo, Colômbia, Palinofácies, Geoquímica Orgânica.

Organic facies of La Luna Formation, Del Magdalena Upper Valley Basin, Colômbia: Implications for the oil generation and paleoenvironmental characterization.

Abstract

Upper Cretaceous pelitic rocks generate most of the oil reserves in Colombia. In Del Magdalena Upper Valley (MUV), the existence of good quality outcrops and thermal evolution levels that vary from immaturity to the end of the oil generation "window" makes it one of the most appropriate regions for the study of primary migration and generation of oil in Upper Cretaceous. The main objectives of this work were to study the organic facies of La Luna Formation in an outcrop section called Riacho Bambuca (Bambuca Creek), determine the oil generation potential and characterize the paleoenvironment. For this research, 24 samples were used in palynofacies analysis (characterization of the kerogen components assembly) and in organic geochemistry analysis (Total Organic Carbon – TOC analysis and Rock-Eval pyrolysis, provided by Colombia Oil Institute – ECOPETROL). The palynofacies analysis included the use of microscopy techniques (transmitted white light and incident blue light). Furthermore, a Spore Coloration Index (SCI) analysis was made in order to determine the thermal maturation stage. The studied material was composed mainly of an amorphous organic substance, with its fluorescent coloration varying from yellow to bright orange. The palynomorph group is represented by spore morph and dinoflagellate cysts. The ligneous material are present in very low percentages; they are mainly opaque phytoclasts. The results of geochemical analysis showed TOC contents ranging from medium to high, excellent potential for the generation of hydrocarbons (PG > 4 mg HC/g of rock), hydrogen index ranging from 329 to 589 mg HC/g, and low values of oxygen index, characterizing type II kerogen. The low degree of thermal maturation was determined by Spore Coloration Index values ranging from 2,5 to 3,0, Tmax values below 440°C and Hydrocarbon Production Index inferior to 0,2. According to the organic facies data, La Luna Formation deposited in a marine environment with facies from disoxic-anoxic distal shelf and suboxic-oxic distal basin; there was kerogen of excellent quality, and its quantity was adequate for the generation of oil.

Key words: Organic facies, La Luna Formation, Cretaceous, Colombia, Palynofacies, Organic Geochemistry.

1. Introdução

O Valle Superior Del Magdalena é uma prolífica bacia intermontana alongada na direção NE-SW, localizada entre as Cordilheiras Andina Central e Oriental, na porção centro sul da Colômbia (Figura 1). A seqüência estratigráfica é composta por depósitos do Cretáceo ao Recente, depositado sobre um embasamento vulcanoclástico de idade Jurássica.

Os depósitos sedimentares Albo-Coniaciano do Grupo Villeta são considerados como os principais responsáveis pela geração das reservas de petróleo descobertas até o momento (2650 milhões de barris; Kairuz *et al.*, 2000; Sarmiento & Rangel, 2004). Os estudos das rochas geradoras de petróleos realizados em poços exploratórios são normalmente amostrados a cada nove metros e, geralmente, por meio de calha, o que torna uma avaliação pouco realista das rochas geradoras de uma bacia em virtude dos obstáculos na qualidade de amostragem. Assim a solução para esta limitação foi implementar o estudo numa seção aflorante denominada Riacho Bambuca, trazendo novos conhecimentos para a elucidação dos processos de geração de hidrocarbonetos.

O objetivo principal consistiu no estudo de fácies orgânica em rochas cretáceas do Valle Superior Del Magdalena, Formação La Luna, em uma seção aflorante, Riacho Bambuca, visando determinar o potencial de geração de petróleo, além da caracterização paleoambiental. Para tanto, foram realizadas análise de palinofácies associadas a técnicas de geoquímica orgânica.

Os estudos organofaciológicos nunca foram realizados em rochas geradoras colombianas, ainda mais numa bacia tão importante para a geração de petróleo como a Bacia do Valle Superior Del Magdalena. Sendo assim, a aplicação dos estudos de faciologia orgânica é considerada de grande importância na caracterização do paleoambiente de formação das rochas geradoras, na

determinação do estágio de evolução térmica da matéria orgânica e do potencial de geração de petróleo.

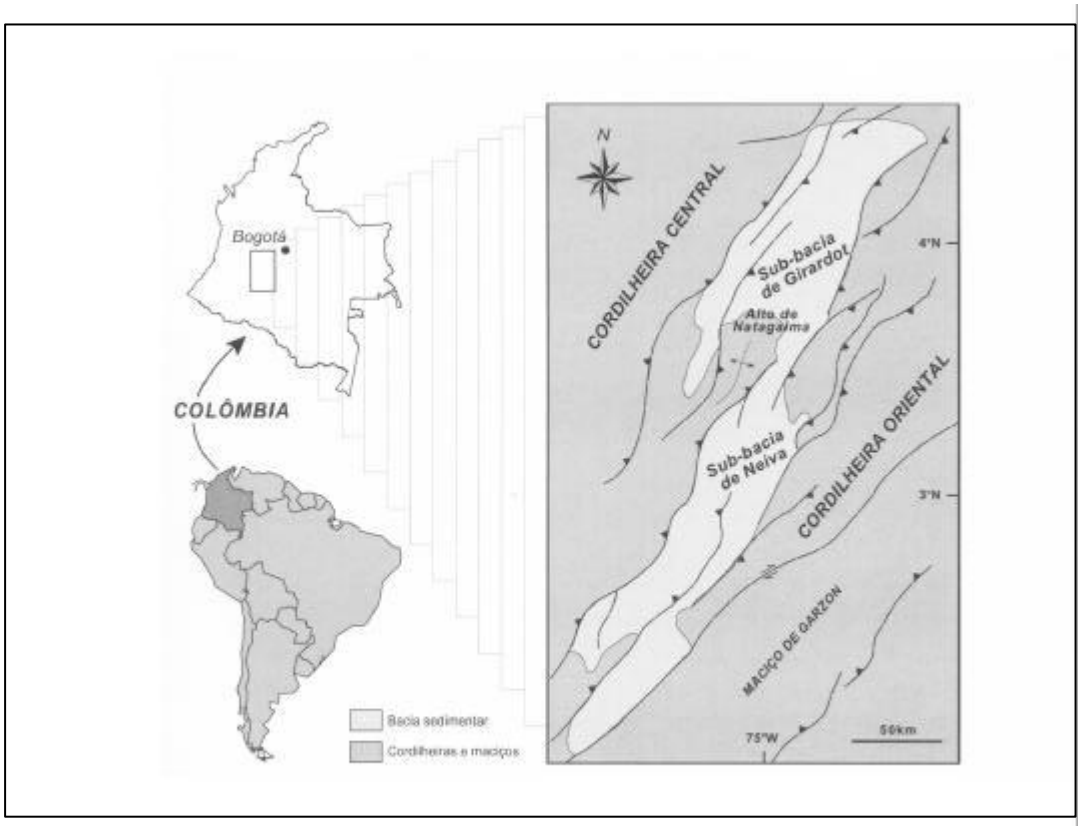


Figura 1: Mapa de localização e o arcabouço estrutural da Bacia do Va le Superior do Magdalena (modificado de Schamel, 1991).

2. Geologia Regional

A Bacia do Valle Superior Del Magdalena (VSM), é uma bacia intermontana alongada na direção NE-SW, com uma área de aproximadamente de 26.000 km^2. A bacia do VSM localiza-se entre as Cordilheiras Andina Central e Oriental, na porção centro sul da Colômbia. Segundo Schamel (1991), é limitada ao norte pela Bacia do Valle Médio Del Magdalena e ao sul pela Cordilheira Andina, sendo dividida nas sub-bacias Grirardot e Neiva pelo alto de Nataigama.

A seqüência estratigráfica é composta por depósitos do Cretáceo ao Recente, sotopostos ao embasamento vulcanoclástico do período Jurássico (Figura 2). A evolução geológica do VSM está relacionada às múltiplas fases da evolução dos Andes Colombianos (Cooper, *et al* 1995).

Figura 2: Coluna estratigráfica generalizada do Vale Superior do Magdalena (modificado de Kairuz *et al.*, 2000).

A seção sedimentar aflorante, Riacho Bambuca, compreende o intervalo deposicional Albo-Santoniano, composto por folhelhos e arenitos marinhos proximais da Formação Caballos; carbonatos e folhelhos marinhos das formações Tetuan, Bambuca e La Luna (Grupo Villeta), e os cherts e folhelhos do Grupo Oline (Figura 3). Estes sedimentos depositaram-se sobre uma extensa bacia de retro-arco que cobriu grande parte do noroeste da América do Sul. Esta sucessão

sedimentar foi controlada principalmente por variações do nível relativo do mar durante o Albo-Campaniano.

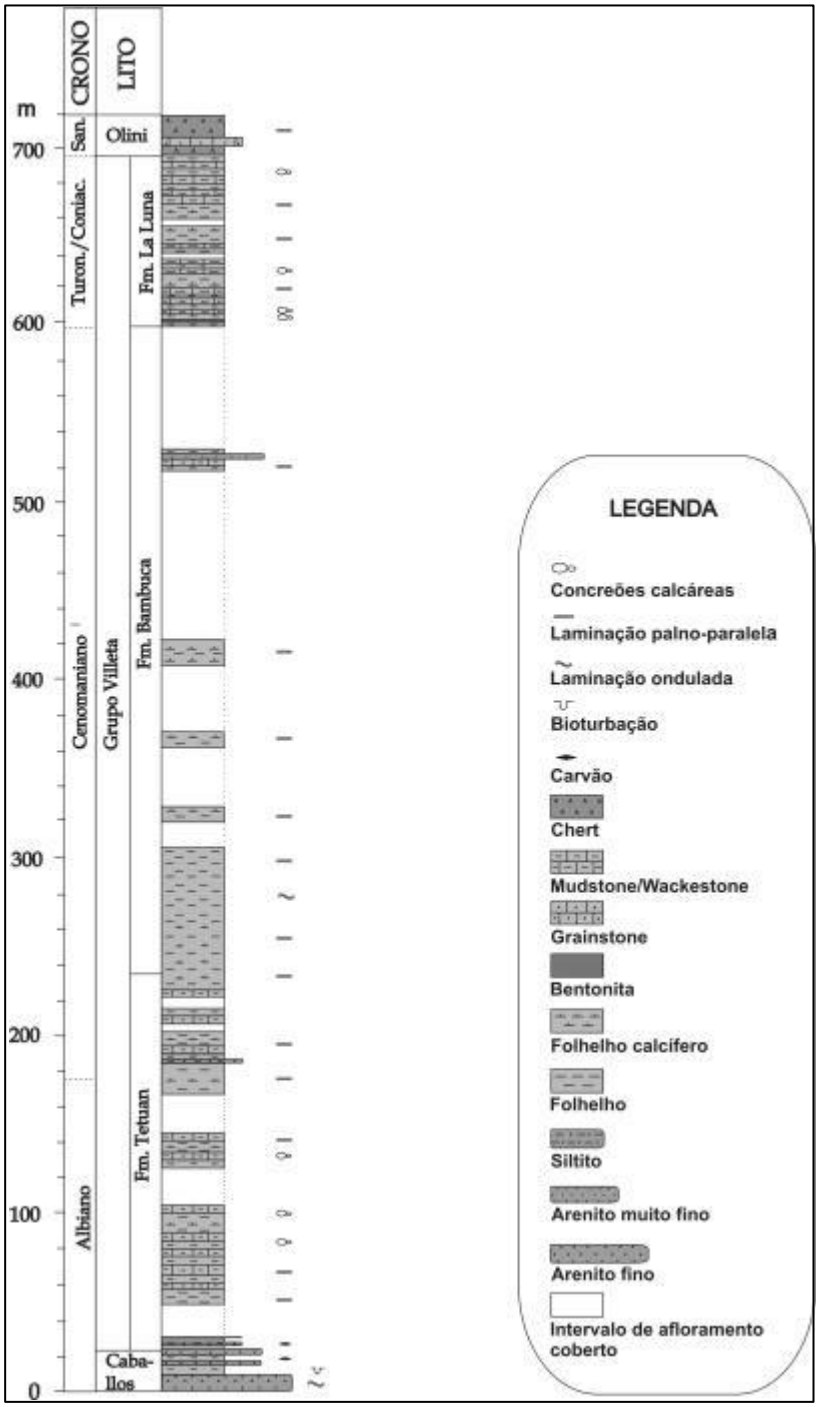


Figura 3: Coluna estratigráficada da seção aflorante do Riacho Bambuca, mostrado suas principais características litológicas e sedimentológicas e cronoestratigrafias inferidas (Gonçalves, 2005).

Baseado em estudos de outras seções aflorantes no VSM e na Cordilheira Andina Oriental, Villamil (1998) identificou ciclos transgressivos-regressivo de caráter regional. A mudança de arenitos proximais da parte superior da Formação Caballos para siltitos e folhelhos na parte inferior da Formação Tetuan marca um aumento regional do nível do mar no Albiano, definindo trato de sistema transgressivo que atingiu seu desenvolvimento máximo no Albiano médio/tardio (superfície de inundação máxima contemporânea ao Evento Anóxico Global 1, Figura 4) , registrado por um intervalo de carbonatos e folhelhos escuros com abundantes concreções calcíferas na porção inferior da Formação Tetuan.

Do Albiano tardio ao Cenomaniano inferior se desenvolveu um trato de sistema de mar alto marcado pelo aumento progressivo da espessura e freqüência das camadas de carbonatos pelágicos. A queda do nível do mar do Cenomaniano inferior é registrada por uma camada delgada de siltito abruptamente sobreposta as camadas de intercalações folhelho-carbonato na parte superior da Formação Tetuam. Durante o Cenomaniano em todo VSM, ocorre incremento da proporção de depósitos siliciclásticos em relação aos calcários, caracterizando um novo trato de sistema de mar alto. O evento regressivo no Cenomaniano superior é marcado em todo VSM, representado na seção estudada por uma camada de arenito fino que interrompe de forma abrupta a sucessão pelítica da Formação Bambuca em sua porção superior (em torno dos 530m, Figura 3).

Na porção superior da Formação Bambuca, retornam as intercalações de folhelhos escuros e carbonatos pelágicos (grande parte encontra-se encoberta na seção), registrado em todo VSM e por praticamente todas as bacias cretáceas da Colômbia, caracterizando um trato de sistema transgressivo do Cenomaniano superior/Turoniano inferior.

O máximo transgressivo ocorreu na base da Formação La Luna (ao redor de 600m; Figura 3), sendo representada por um intervalo condensado de folhelhos e carbonatos ricos em matéria orgânica e pirita e pela presença de abundantes concreções calcárias e de vários níveis finos de

bentonita (Figura 3), contemporâneo ao segundo Evento Anóxico Oceânico (Figura 4), sendo considerados como marcadores dos limites Cenomaniano – Turoniano na Colômbia e particularmente no VSM (Villamil, 1998; Villamil & Aranco, 1998).

A porção média superior da Formação La Luna é caracterizada por um aumento da espessura das camadas da seqüência rítmica folhelho- calcáreo com leve predomínio dos folhelhos, indicativo de condições de mar alto. Finalmente, na parte mais superior da seção Riacho Bambuca, camadas de cherts e fosfatos assinalam a base do Grupo Olini, marcando o rebaixamento do nível do mar do Santoniano inferior (Villamil, 1998).

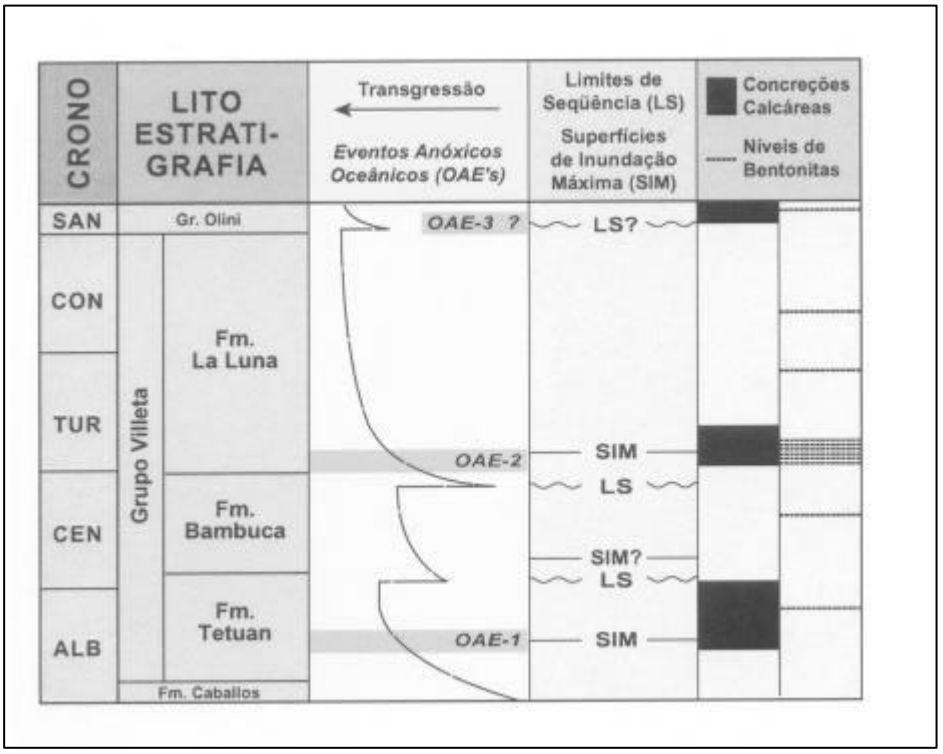


Figura 4: Quadro resumo estratigráfico do intervalo Albiano/Santoniano na Colômbia (especialmente na região do Vale do Magdalena e Cordilheira Oriental) de acordo com o trabalho de Villamil (1998), mostrando uma curva de *onlap* costeiro, principais limites de seqüências, eventos paleoceanográficos e marcos litológicos.

3. Sistema Petrolífero

O Grupo Villeta contem dois principais intervalos estratigráficos geradores, responsáveis pela maior parte do óleo comercial encontrado no VSM.

O principal intervalo de rocha geradora dentro do Grupo Villeta são as rochas calcárias das formações Tetuan e La Luna.

A maior descoberta de óleo do VSM está acumulada na Formação Caballos, o qual é a principal unidade reservatório, e a segunda unidade mais importante de rocha reservatório por volume de óleo no VSM é a Formação Monserrate (Ver Figura 2). As rochas de sobrecarga compreendem todos os depósitos sedimentares do Cretáceo ao Terciário sobrepondo as rochas geradoras.

O soterramento foi ocasionado pelo mecanismo de empurrão, que também empilhou a Formação Yavi (Aptiano) e a Formação Saldãna (Jurássico) (Ver Figura 2), ou unidades litológicas mais velhas incluídas no mesmo mecanismo tectônico.

As trapas são predominantemente estruturais e foram formadas do Eoceno ao Mioceno por deformação associada com o desenvolvimento de dobras e faixas de empurrão. Com exceção da parte nordeste da bacia, onde o momento crítico ocorreu durante o Paleogeno, o momento crítico do sistema petrolífero ocorreu durante o Mioceno assim que a rocha geradora alcançou a saturação crítica de expulsão. A extensão temporal do sistema petrolífero ocorreu do Albiano ao Recente. Provavelmente, grandes volumes de hidrocarboneto foram degradados na superfície em conseqüência dos eventos de deformação e de erosão que ocorreram durante o Terciário pela maior parte no Mioceno.

4. Material e Métodos

4.1 Material de Estudo

Um total de vinte e quatro amostras da Formação La Luna foi coletada de uma seção com 700m de espessura que aflora ao longo do Riacho Bambuca no flanco oeste da bacia (Figura 5).

O intervalo coletado da Formação La Luna apresenta uma espessura total de cerca de 110m, dos quais apenas uma pequena porção se encontra encoberta (aproximadamente 20m).

As amostras para análise de palinofácies e os resultados de geoquímica orgânica foram cedidas pelo Instituto Colombiano do Petróleo (ICP) – ECOPETROL.

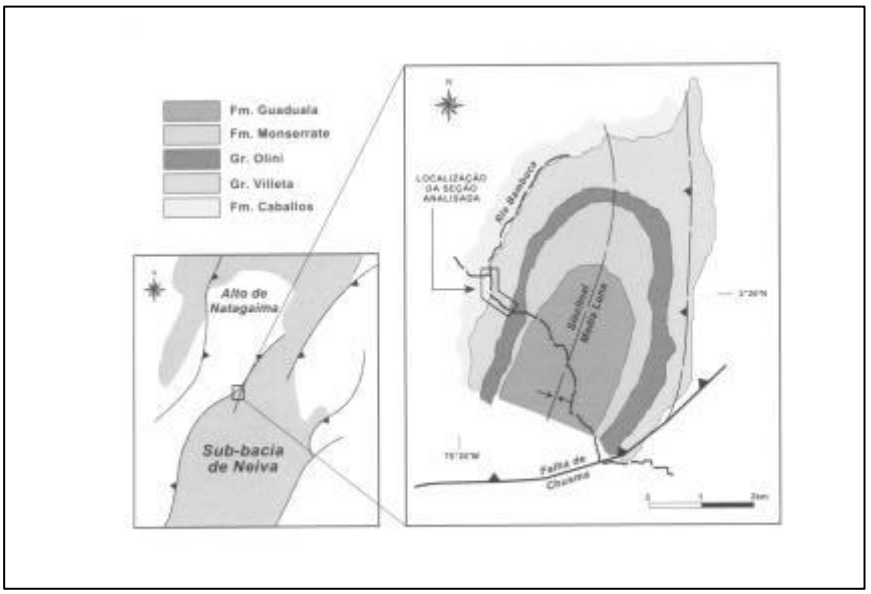


Figura 5: Localização da seção aflorante "Riacho Bambuca" dentro do contexto geológico da porção norte da Sub-bacia Neiva (modificado de Vargas *et al*., 2002).

4.2 Métodos de Estudo

A caracterização de fácies orgânica empregada no presente estudo aplicou a integração dos dados de palinofácies e de geoquímica orgânica (Carbono Orgânico Total – COT e pirólise *Rock-Eval*), uma vez o conceito de fácies orgânica pode ser definido como um "grupo de sedimentos contendo um conjunto distinto de constituintes orgânicos que podem ser reconhecidos por

microscopia ou estar associado com uma composição organogeoquímica característica" (Tyson, 1995).

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

Segundo Tyson (1995), a análise de palinofácies é o estudo palinológico de ambientes deposicionais e do potencial de rochas geradoras de hidrocarbonetos baseado na assembléia total de componentes da matéria orgânica particulada. Palinofácies pode ser definida como *"um corpo de sedimento contendo uma assembléia distinta de matéria orgânica palinológica que reflete um grupo específico de condições ambientais, podendo ser associada com um potencial de geração de hidrocarbonetos característico"*.

4.2.1 Parte Experimental

A preparação de amostras para a análise de palinofácies seguiu os procedimentos não-oxidativos para isolamento da matéria orgânica. As amostras foram acidificadas com ácido clorídrico e fluorídrico e a separação do querogênio do resíduo mineral e sua concentração foi realizada com a utilização de cloreto de zinco. A matéria orgânica isolada foi então montada em lâmina de vidro.

A análise de palinofácies envolveu o exame qualitativo e quantitativo (contagem de 300 a 500 partículas) do querogênio com a utilização de técnicas de microscopia sob luz branca transmitida e luz azul incidente (fluorescência). Vale ressaltar que a classificação dos grupos e subgrupos do querogênio obedeceu à classificação proposta por Tyson, 1995, Mendonça Filho, 1999 e Mendonça Filho *et al.*, 2002.

As análises de Carbono Orgânico Total (COT) foram obtidas com o forno de indução do determinador de carbono WR-12 da LECO e os de pirólise *Rock-Eval* com o equipamento Rock-Eval II. Os resultados de COT expressam a quantidade de matéria orgânica presente nos sedimentos, e os resultados de pirólise *Rock-Eval* fornecem informações sobre a potencialidade de geração de hidrocarbonetos, bem como o tipo de matéria orgânica presente nos sedimentos.

A avaliação do grau de maturação térmica foi realizada através do Índice de Coloração de Esporos (ICE) e da correlação deste com os resultados de Tmax da pirólise *Rock-Eval* e dos resultados qualitativos da fluorescência.

O ICE utilizado neste trabalho foi desenvolvido por Barnard *et al.* (1981), o qual apresenta uma escala de 1 a 10, em intervalos de 0,5, que foi designada para dar linearidade com o aumento de profundidade e temperatura.

As análises microscópicas foram realizadas no Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânica, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências.

4.2.2 Tratamento dos Dados

Após a contagem dos componentes orgânicos particulados, os valores absolutos foram recalculados para valores percentuais e normalizados a 100%.

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

Para a representação dos resultados foram gerados diagramas ternários, binários e dendrogramas para denotar as variações nas assembléias de palinofácies e dos dados organogeoquímicos ao longo do intervalo estudado.

5. Resultados e Discussões

5.1 Palinofácies

O Grupo da Matéria Orgânica Amorfa (M.O.A), oriundo de ataque microbiológico, domina a assembléia de componentes orgânicos. A M.O.A., sob luz branca transmitida, apresenta grumos com coloração variando do amarelo ao marrom, e sob luz azul incidente, as colorações de fluorescência variam do amarelo ao laranja claro (tabela 1; Estampa 1-a e 1-b).

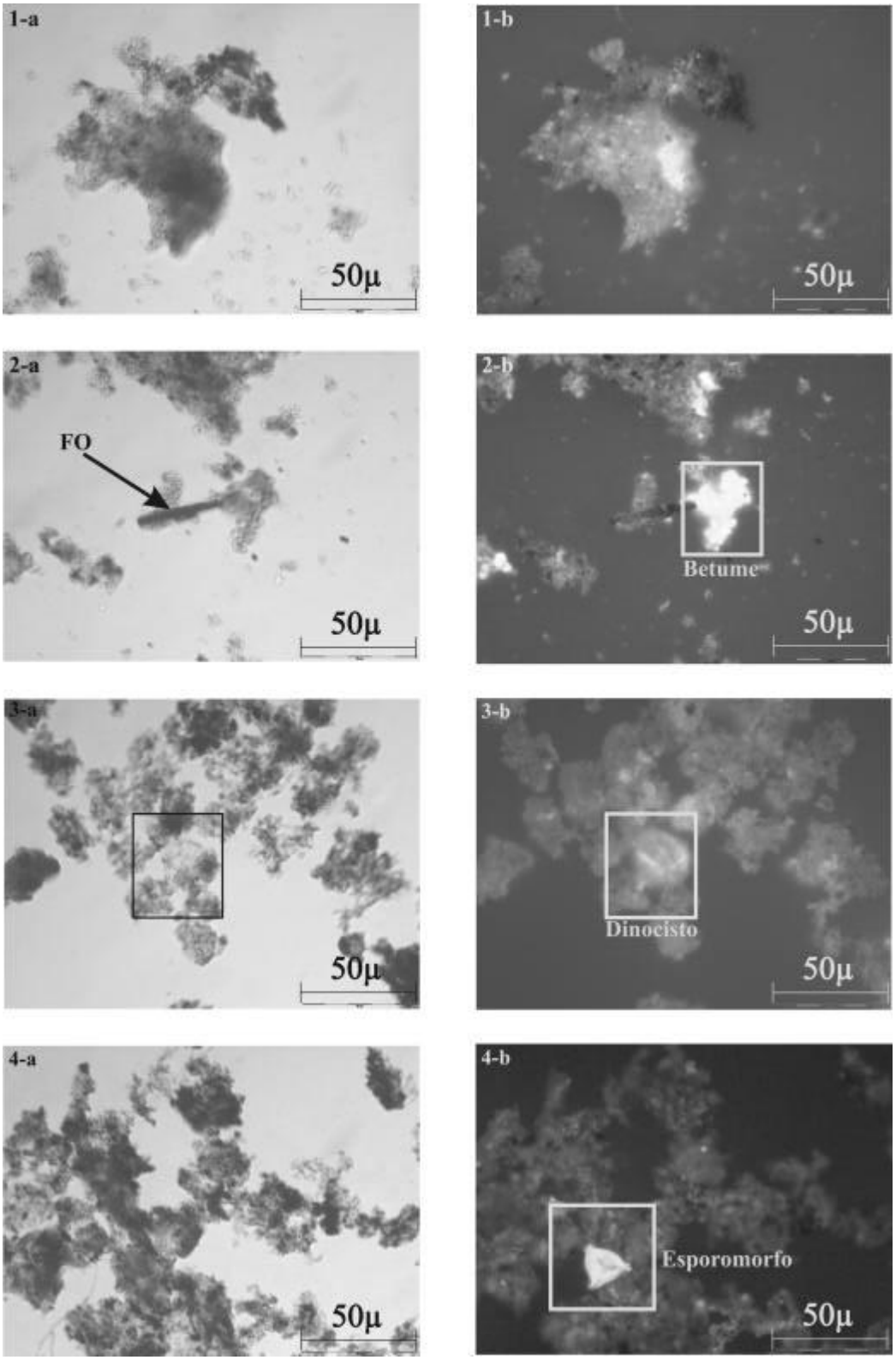
A elevada abundância relativa de M.O.A. com fluorescência é característica de áreas de alta preservação de matéria orgânica com intenso retrabalhamento microbiológico devido às condições redutoras, especialmente em áreas de alta produtividade primária (Tyson, 1993, 1995).

No geral, os demais grupos do querogênio representam baixos a baixíssimos percentuais do total do querogênio.

O Grupo Fitoclasto (derivado de tecidos lenhosos de vegetais superiores) é composto predominantemente de fitoclastos opacos de tamanho diminuto (Estampa 2-a e 2-b).

Devido ao predomínio de M.O.A., a identificação dos palinomorfos foi auxiliada pela observação do material em fluorescência. Dentre os palinomorfos, há o predomínio dos cistos de dinoflagelados (microplâncton marinho) com fluorescência amarela (Tabela 1, Estampa 3-a e 3-b). Os raros esporomorfos (palinomorfos terrestres) em luz branca transmitida apresentam coloração amarela a laranja e coloração de fluorescência de amarelo intenso a castanho claro (Estampa 4-a e 4-b). Foi verificada a presença betume sólido em quase todas amostras.

ESTAMPA


1-a
50µ
1-b
50µ
2-a
FO
50µ
2-b
Betume
50µ
3-a
50µ
3-b
Dinocisto
50µ
4-a
50µ
4-b
Esporomorfo
50µ

Estampa: 1-a Matéria orgânica amorfa grumosa em luz branca transmitida, amostra BV-182; 1-b Mesma visada da estampa 1-a, mostrando a intensidade da fluorescência da M.O.A.; 2-a Fitoclasto opaco e betume em luz branca transmitida, amostra BV-182; 2-b Mesma visada da estampa 2-a, mostrando a intensidade da fluorescência do betume; 3-a M.O.A. e dinocisto, luz branca transmitida, amostra BV-199); 3-b Mesma visada da estampa 3-a, mostrando a fluorescência do dinocisto; 4-a M.O.A. e esporomorfo em luz branca transmitida, amostra BV-181; 4-b Mesma visada da estampa 4-a, mostrando a intensidade da fluorescência do esporomorfo.

Tabela 1: Valores percentuais dos grupos e subgrupos do querogênio em relação ao total do querogênio.

Amostra	Prof. (m)	M.O.A.%	Fitoclastos%	Palinomorfos		
				Esporomorfos%	Dinocistos%	%Total
Y.C-49	707,00	88,0	3	1,5	7,5	9,0
BV-199	702,00	88,0	1,0	1,0	10,0	11,0
BV-196	698,30	85,0	5,0	3,0	7,0	10,0
BV-194	696,50	98,7	0,0	0,0	1,3	1,3
BV-193	696,00	99,7	0,0	0,0	0,3	0,3
BV-190	694,00	98,3	0,0	0,0	1,7	1,7
BV-189	690,50	98,3	0,0	0,0	1,7	1,7
BV-186	688,70	99,7	0,0	0,0	0,3	0,3
BV-185	688,00	99,3	0,7	0,0	0,0	0,0
BV-184	684,50	99,3	0,0	0,0	0,7	0,7
BV-182	676,70	99,3	0,7	0,0	0,0	0,0
Y.C-37	671,50	98,0	0,5	0,0	1,5	1,5
Y.C-35	662,00	98,3	1,0	0,0	0,7	0,7
Y.C-33	646,70	99,7	0,3	0,0	0,0	0,0
BV-181	636,50	87,2	1,5	1,3	10,0	11,3
Y.C-29	633,00	100	0,0	0,0	0,0	0,0
Y.C-27	629,30	99,7	0,0	0,0	0,3	0,3
BV-180	627,00	99,3	0,0	0,0	0,7	0,7
BV-179	620,30	97,0	0,0	0,0	3,0	3,0
BV-178	614,30	98,0	1,4	0,3	0,3	0,6
BV-177	608,80	99,3	0,3	0,0	0,3	0,3
Y.C-19	606,50	99,3	0,0	0,0	0,7	0,7
Y.C-17	603,30	100	0,0	0,0	0,0	0,0
Y.C-8	601,00	99,6	0,0	0,0	0,4	0,4

5.2 COT e Pirólise *Rock-Eval*

O material analisado apresentou teores médios a elevados de COT variando de 1,10% a 11,37%, que reflete tanto na elevada quantidade de matéria orgânica depositada, bem como no elevado grau de preservação (Tabela 2). Os resultados de pirólise *Rock-Eval* (Tabela 2) revelam que os valores de S1 (quantidade de hidrocarbonetos presentes nas amostras) são baixos e variam

de 0,14 a 3,29 mg Hc/gRocha, os valores de S2 (quantidade de hidrocarboneto que as amostras produziram durante a pirólise) são elevados, alcançando valor de ate 75,31 mg HC/g. Os valores de índice de hidrogênio (IH) variam de 329 a 662 mg Hc/g de COT e os de índice de oxigênio (IO) são baixos e variam de 6 a 124 mg de CO_2 /g de COT. Os valores de Tmax variam de 417°C e 424°C.

Foram confeccionados diagramas binários *IH x IO* – tipo Van Krevelen (Espitalié, *et al.*, 1977), *S2 x COT* (Langford & Blanc-valleron, 1990) e *IH x Tmax* (Delvaux *et al.*, 1990), os quais classificaram o querogênio como do tipo II correspondente à matéria orgânica de origem marinha.

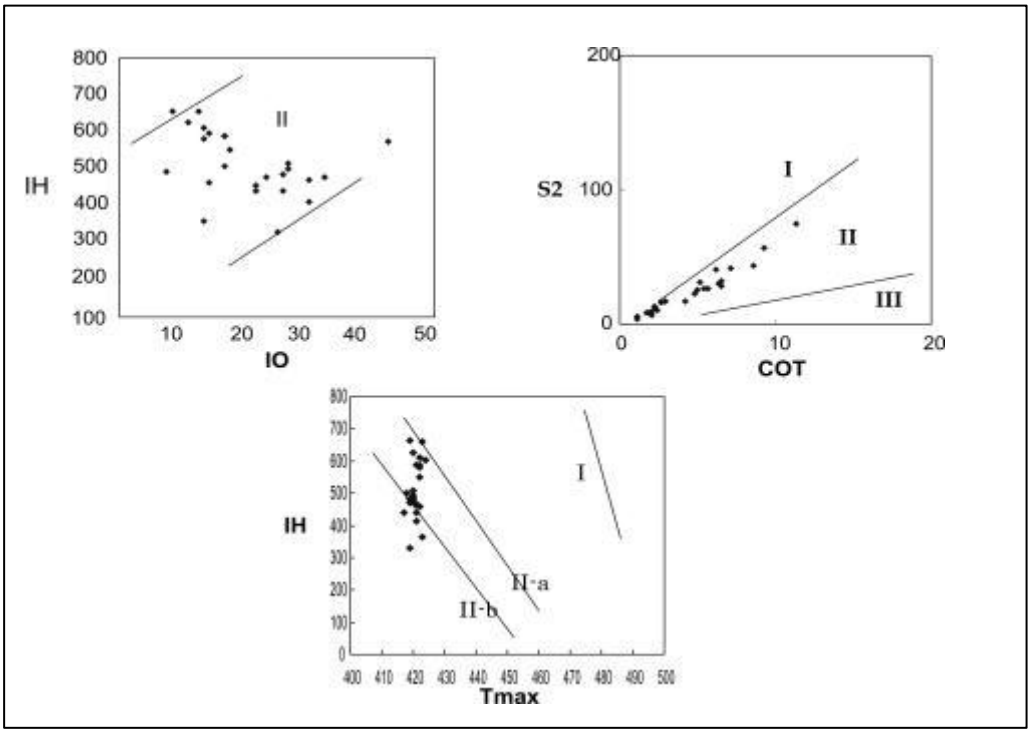


Figura 6: Diagramas binários representando os tipos de querogênio, *IH × IO* (Espatelié, *et al*., 1977), *S2 × COT* (Langford & Blanc-valleron; 1990), *IH × Tmax* (Delvaux *et al.*, 1990).

De acordo com Tissot & Welte (1984), os valores dos picos S1 e S2, somados representam o potencial de geração (PG). As amostras estudadas apresentam PG de 4,32 a 78,60 mg

Hc/gRocha, indicativo de rochas com moderado a excelente potencial geração de hidrocarbonetos.

5.3 Avaliação do Estágio de Maturação Térmica

O intervalo analisado da Formação La Luna é termicamente imaturo, com ICE 2,5-3,0. Este dado é corroborado pelos valores de Tmax abaixo de 440°C, pela intensa coloração de fluorescência da assembléia de componentes do querogênio e pelos valores de Índice de Produção (IP = (S1/(S1+S2) x 100, Bordenave *et al.*, 1993) inferiores a 0,12 (Espitalié, 1977).

Tabela 2: Resultados de COT (%) e pirólise *Rock-Eval* das amostras analisadas da Formação La Luna, seção Riacho Bambuca.

Amostras	**Prof. (m)**	**COT %**	**Tmax** °C	**S1** mg HC/gR	**S2** mg HC/gR	**S3** mg CO_2/gR	**IH** mg HC/gCOT	**IO** mg CO_2/gR	**IP**	**PG** mg HC/gRocha
Y.C-49	707,00	2,91	422	0,55	17,16	0,59	589	20	0,03	17,71
BO-199	702,00	2,03	419	0,19	6,68	0,60	329	30	0,03	6,87
BV-196	698,30	2,41	417	0,31	10,61	0,75	440	31	0,03	10,92
BV-194	696,50	6,14	423	1,94	40,46	0,62	659	10	0,05	42,40
BV-193	696,00	11,37	419	3,29	75,31	1,68	662	15	0,04	78,60
BV-190	694,00	2,14	418	0,40	10,70	0,68	500	32	0,04	11,10
BV-189	690,50	1,75	419	0,37	8,44	0,69	482	39	0,04	8,81
BV-186	688,70	8,59	420	2,12	43,63	1,70	508	20	0,05	45,75
BV-185	688,00	6,53	420	1,20	32,00	2,02	490	31	0,04	33,20
BV-184	684,50	2,62	420	0,93	16,42	0,33	627	13	0,05	17,35
BV-182	676,70	5,02	420	1,27	25,84	0,80	515	32	0,01	27,11
Y.C-37	671,50	4,82	421	0,23	22,48	1,56	466	17	0,03	22,71
Y.C-35	662,00	5,19	424	1,12	31,28	0,88	602	17	0,02	32,40
Y.C-33	646,70	7,11	422	0,99	41,24	1,18	580	51	0,03	42,23
BV-181	636,50	1,15	423	0,14	4,18	0,59	363	16	0,05	4,32
Y.C-29	633,00	6,35	419	0,60	29,98	2,31	472	36	0,02	30,58
Y.C-27	629,30	9,28	422	1,69	56,65	1,53	611	16	0,03	58,34
BV-180	627,00	5,42	420	1,33	26,69	0,51	492	9	0,05	28,02
BV-179	620,30	1,10	422	0,83	6,06	0,23	551	21	0,12	6,89
BV-178	614,30	5,70	422	1,16	26,12	1,49	458	26	0,04	27,28
BV-177	608,80	4,18	421	0,68	17,32	1,51	414	36	0,04	18,00
Y.C-19	606,50	6,49	421	0,27	28,52	1,71	439	26	0,01	28,79
Y.C-17	603,30	2,21	421	0,43	12,95	0,35	587	16	0,03	13,38
Y.C-8	601,00	1,86	419	0,95	8,93	0,52	481	28	0,10	9,88

5.4 Analises de Agrupamento Hierárquicas

O modo-R organizou em três agrupamentos (Figura 7-a), e a partir dos valores do coeficiente de *r*-Pearson (Tabela 3) observa-se que componentes orgânicos com maior grau de similaridade foram organizados de acordo com o critério "origem": o Grupo I representa os componentes marinhos (dinocistos), o Grupo II corresponde aos componentes de origem terrestres (fitoclastos + esporomorfos) e o Grupo III corresponde a M.O.A..

O modo-Q definiu cinco subgrupos (Figura 7-b) que plotados estratigraficamente definiram oito intervalos que serão discutidos posteriormente (Tabela 5). O quinto subgrupo apresenta a maior quebra no dendrograma (Figura 7-b) destacando o intervalo de maior aporte de fitoclastos e palinomorfos.

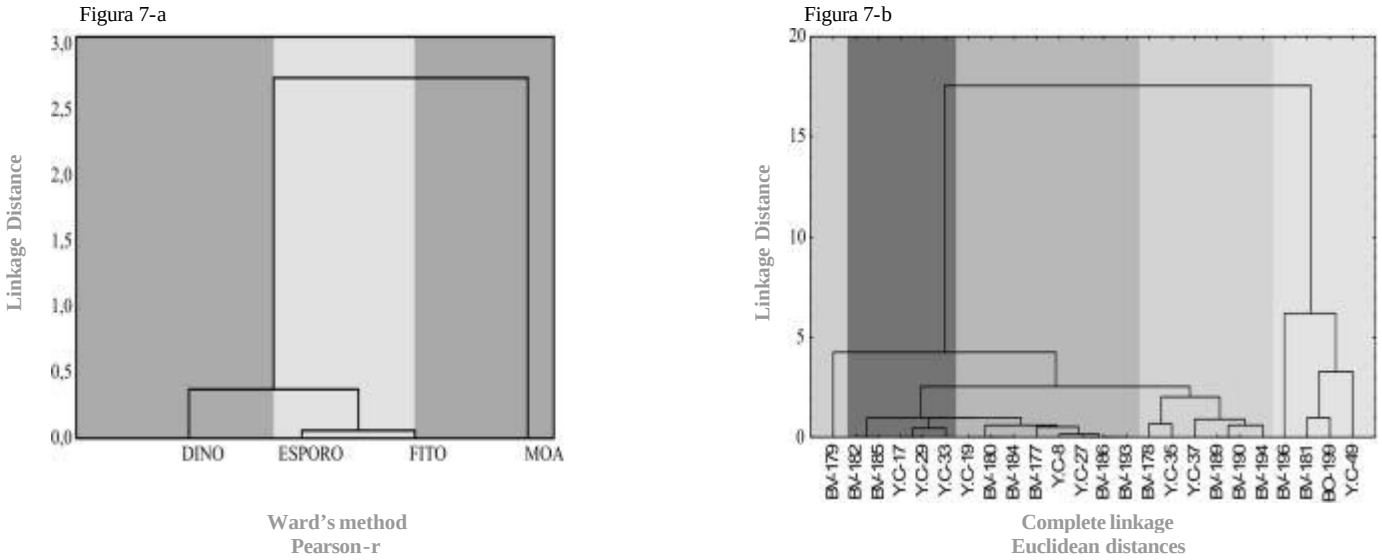


Figura 7: Dendrogramas representando os métodos de análise de agrupamento modo-R (Figura 7a) e modo-Q (Figura 7b).

Tabela 3: Correlação de matriz (coeficiente de *r*-Pearson) das amostras analisadas.

Variáveis	***MOA***	***FITO***	***ESPOM***	***DINO***
MOA	1,00	-0,82	-0,92	-0,96
FITO	-0,82	1,00	0,94	0,63
ESPOM	-0,92	0,94	1,00	0,78
DINO	-0,96	0,63	0,78	1,00

6. Fácies Orgânica

A abordagem de fácies orgânica definida por Jones (1987) é provavelmente mais realística que a aplicação do tipo de querogênio na tentativa de classificar as diferentes assembléias de componentes orgânicos. Essa caracterização leva em consideração o fato de que as assembléias são controladas por fatores preservacionais tão bem quanto sua origem e que mudanças entre assembléias são freqüentemente gradacionais (Tyson, 1995).

Sete fácies orgânicas foram identificadas por Jones (*op. cit.*) usando informações geoquímicas e, em menor extensão, dados ópticos. Essas fácies orgânicas têm sido determinadas para cada amostra individual, grupos de amostras ou unidades estratigráficas completas. Não é aconselhável uma determinação de uma fácies orgânica utilizando, somente, os dados obtidos pela análise de pirólise *Rock-Eval* e COT. Isto é devido ao fato desses parâmetros não refletirem muito bem as variações significantes na proporção de diferentes tipos de querogênio. A tabela 4 ilustra a relação comum entre fácies orgânica de Jones (1987) e palinofácies de Tyson (1995).

De acordo com Tyson (1995), as três principais divisões são as fácies anóxica-disóxica (A, AB, B, BC), proximal flúvio-deltaica à plataforma prodeltaíca-óxica (C, CD) e distal lentamente depositada, fácies óxica (D).

As fácies orgânicas *sensu* Jones (1987) dão ênfase principalmente à distinção entre fácies anóxica-disóxica (fácies orgânicas A, AB, B e BC), fácies proximal fluvio-deltaica a pró-deltaica e fácies de plataforma óxica (fácies C e CD) e fácies altamente óxica, distal e lentamente depositada (fácies orgânica D). No limite da fácies disóxica-anóxica, a fácies orgânica BC representa sedimentos com um aporte relativamente elevado de fitoclastos (geralmente nas margens da bacia), enquanto as fácies orgânicas A, AB e B ocorrem onde existe um aporte

relativamente baixo de fitoclastos (devido tanto ao clima como a distância de áreas-fonte fluvio-deltaicas).

Tabela 4: Fácies orgânica (Mendonça Filho, 1999, baseado em Jones, 1987 e Tyson, 1995).

FÁCIES ORGÂNICA (IMATURA)	DESCRIÇÃO	CARACTERÍSTICAS DE PALINOFÁCIES
A IH > 850 COT 5 - 20%	Rara; bem laminada; rica em conteúdo orgânico; usualmente lacustre; anoxia persistente no fundo da coluna d'água; aporte desprezível de matéria orgânica terrestre.	M.O.A domina; baixo conteúdo de fitoclastos; razão opacos/não-opacos elevada; rica em prasinófitas se marinha, e algas chloroccocales, se lacustre.
AB IH 650 – 850 COT 3 - 10%	Laminada; rica conteúdo org.; matéria orgânica quase que exclusivamente composta por componentes derivados de algas e/ou bactérias; anoxia persistente na coluna d'água.	M.O.A dominante; baixo conteúdo de fitoclastos; razão opacos/não-opacos elevada; rica em prasinófitas, se marinha, e algas chloroccocales, se lacustre.
B IH 400 - 650 COT 3 - 10%	Laminada a acamadada; percentagem mais elevada de matéria orgânica terrestre e residual que a fácies AB; freqüentemente ocorre uma anoxia flutuante no fundo da coluna d'água; freqüentemente intercalada com fácies menos ricas.	Matéria orgânica amorfa dominante; baixo conteúdo de fitoclastos; razão opacos/não-opacos elevada; rica em prasinófitas, se marinha, e algas chloroccocales, se lacustre.
BC IH 250 – 400 COT 1 - 3%	Coluna d'água óxica; deposição rápida cria anoxia pós deposicional; matéria orgânica mista parcialmente derivada de material terrestre / algalico biodegradados.	Matéria orgânica amorfa moderada; conteúdo moderado de fitoclastos; razão fitoclastos opacos/não-opacos usualmente baixa.
C IH 125 - 250 COT 1 - 3%	M.O. dominada por m.o. terrestre variavelmente oxidada.	Matéria orgânica amorfa ausente ou com baixo conteúdo; fitoclastos dominam a assembléia do querogênio; razão fitoclastos opacos/não-opacos usualmente baixa; esta fácies pode também ser dominada por matéria orgânica amorfa parcialmente oxidada (não fluorescente).
CD IH 50 – 125 COT < 0,5	M.O. terrestre moderadamente a bem oxidada; m.o. residual.	Matéria orgânica amorfa ausente ou em baixo conteúdo; fitoclastos dominam a assembléia, razão de fitoclastos opacos / não-opacos aumenta; esta fácies pode também ser dominada por matéria orgânica amorfa parcialmente oxidada não apresentando fluorescência.
D IH < 50 COT < 0,5	M.O. residual altamente oxidada ou redepositada.	M.O.A. ausente ou em baixo conteúdo; fitoclastos dominam a assembléia; razão de fitoclastos opacos/ não-opacos aumenta; esta fácies pode também ser dominada por matéria orgânica amorfa parcialmente oxidada não apresentando fluorescência.

Através dos parâmetros analisados, foram identificadas predominantemente à fácies B distal – disóxico/anóxico e secundariamente as fácies, BC distal – disóxico/anóxico e AB distal – anóxico/desóxico (Tabela 5).

7. Caracterização Paleoambiental

Para a caracterização paleoambiental da Formação La Luna, utilizou-se o diagrama ternário confeccionado a partir dos dados de abundancia relativa dos três grupos principais (Figura 8) que contem a definição de nove paleoambientes baseados nos dados de palinofácies marinha (Tyson, 1995).

As amostras estudadas recaem sobre os campos VIII e IX, que correspondem à fácies de deposição de matéria orgânica em ambientes de plataforma distal disóxica – óxica e bacia distal subóxica-anóxica.

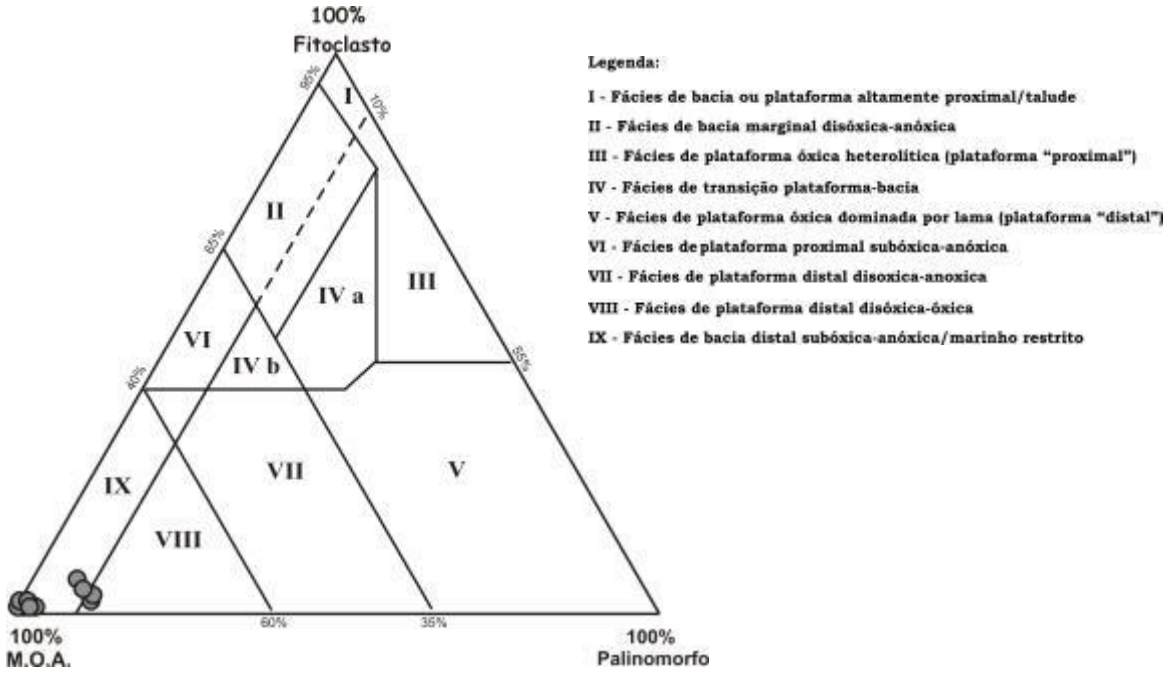


Figura 8: Diagrama ternário com os campos de palinofácies definidos pelos valores percentuais dos três principais grupos da matéria orgânica particulada (Tyson, 1995) e com as amostras plotadas da seção estudada.

Tabela 5: Correlação entre palinofácies (Tyson, 1995) e fácies orgânica (Jones,1987), de cada amostra da Formação La Luna, seção Riacho Bambuca

Amostra	Prof.(m)	Litologia	MOA	Fito	Palino	COT	IH	Fácies orgânica	Palinofácies	Intervalos
Y.C-49	707,0	*Grainstone*	88,0	3	9	2,91	589	B/BC	IX	
BV-199	702,0	*Chert*	88,0	1	11	2,03	329	BC	VIII	**8**
BV-196	698,3	Folhelho	85,0	5	10	2,41	440	B/BC	VIII	
Média			87,0	3	10	2,4				
BV-194	696,5	Folhelho	98,7	0	1,3	6,1	659	AB/B	IX	**7**
BV-193	696,0	Folhelho	99,7	0	0,3	11,4	662	AB	IX	
Média			99,2	0	0,8	8,8				
BV-190	694,0	Folhelho	98,3	0	1,7	2,14	500	B	IX	**6**
BV-189	690,5	*Mudstone*	98,3	0	1,7	1,75	482	B	IX	
Média			98,3	0	1,7	1,9				
BV-186	688,7	Folhelho	99,7	0	0,3	8,59	508	B	IX	**5**
BV-185	688,0	Folhelho	99,3	0,7	0	6,53	490	B	IX	
Média			99,5	0,4	0,2	7,6				
BV-184	684,5	*Mudstone*	99,3	0	0,7	2,62	627	B	IX	
BV-182	676,7	*Mudstone*	99,3	0,7	0	5,02	515	B	IX	**4**
Y.C-37	671,5	*Mudstone*	98	0,5	1,5	4,82	466	B	IX	
Y.C-35	662,0	Folhelho/Folhelhocalcífero	98,3	1	0,7	5,19	602	B	IX	
Média			98,7	0,6	0,7	4,4				
Y.C-33	646,7	*Mudstone*	99,7	0,3	0	7,11	580	B	IX	**3**
BV-181	636,5	*Mudstone*	87,2	1,5	11,3	1,15	363	BC	VIII	
Média			93,5	0,9	5,7	4,1				
Y.C-29	633,0	Folhelho	100	0	0	6,35	472	B	IX	
Y.C-27	629,3	*Mudstone*	99,7	0	0,3	9,28	611	B	IX	**2**
BV-180	627,0	Folhelho	99,3	0	0,7	5,42	492	B	IX	
BV-179	620,3	Folhelho	97,0	0	3,0	1,1	551	B/BC	IX	
Média			99,0	0	1,3	5,5				
BV-178	614,3	*Mudstone*	98,0	1,4	0,6	5,7	458	B	IX	
BV-177	608,8	Folhelho	99,3	0,3	0,3	4,18	414	B	IX	
Y.C-19	606,5	Folhelho	99,3	0	0,7	6,49	439	B	IX	**1**
Y.C-17	603,3	Folhelho	100	0	0	2,21	587	B	IX	
Y.C-8	601,0	Folhelho	99,6	0	0,4	1,86	481	B	IX	
Média			99,24	0,34	0,40	4,1				

A figura 9 ilustra os oito intervalos determinados a partir dos dados gerados pela análise de agrupamento modo-Q. É importante ressaltar que o topo do Intervalo 8, corresponde à amostra YC-49 representando a base do Grupo Olini na seção Riacho Bambuca litologicamente composta por *grainstone*.

A partir da variação dos parâmetros palinofaciológicos e organogeoquímicos foi possível traçar a curva de variação do nível relativo do mar, uma vez que a matéria orgânica presente na Formação La Luna (composta de folhelhos, folhelhos calcíferos e carbonatos) reflete oscilações relativas do nível do mar.

Ao longo da Formação La Luna amostrada na seção Riacho Bambuca, a deposição ocorreu predominantemente em um ambiente de bacia distal sob um regime subóxico-anóxico (Intervalos 1, 2, 4, 5 e 7) variando esporadicamente para um ambiente de plataforma distal disóxica-óxica (Intervalos 3, 6 e 8). Na passagem do Intervalo 1 para o Intervalo 2 ocorre um aumento da espessura da coluna d'água, implicando numa maior preservação da matéria orgânica, expresso no aumento do teor médio de COT. O mesmo ocorre na transição dos Intervalos 4 e 5. O Intervalo 8 é caracterizado pelo aumento do aporte de fitoclastos e palinomorfos correspondendo ao quinto subgrupo no dendrograma representado na figura 7-b, refletindo um ambiente deposicional de caráter mais proximal em relação aos demais intervalos ao longo da seção analisada.

Tais condições no ambiente favoreceram uma elevada produtividade primária (principalmente de algas unicelulares) e posterior retrabalhamento intenso por bactérias sob coluna d'água anóxica persistente que proporciona um elevado grau de preservação dos componentes ricos em hidrogênio. Por sua vez, estas condições ambientais são pré-requisitos a deposição de intervalos potencialmente geradores de hidrocarbonetos. A fácies orgânica característica corresponde a uma palinofácies rica em M.O.A. com intensa

coloração de fluorescência associada a elevados valores de índice de hidrogênio, a qual usualmente ocorre em ambientes lacustres, bem como folhelhos marinhos e ambientes carbonáticos (Jones, 1987).

Deve-se também destacar a intensa atividade vulcânica, iniciada no limite Cenomaniano/Turoniano, que gerou o desenvolvimento do arco magmático localizado à oeste da área de estudo. Segundo Sinton (1998), o intenso vulcanismo proporcionou a alteração química da água do mar durante a deposição da Formação La Luna e determinando um paleoambiente deposicional significativamente diferente das demais unidades do Grupo Villeta e conseqüentemente comprometendo as condições de oxigenação de fundo do ambiente deposicional.

Foi possível registrar o momento de máxima anoxia situado no topo da Formação La Luna (Intervalo 7 - valores mais elevados de COT, IH e de M.O.A), sugerindo-se uma superfície de máxima inundação marinha contemporânea ao terceiro evento anóxico oceânico relacionada ao evento transgressivo que ocorreu desde Eoturoniano e se estendeu durante o Coniaciano, descrito por Villamil (1998).

Apesar da baixa abundância relativa de dinocistos, fitoclastos e esporomorfos, estes auxiliaram na construção da curva de variação relativa do nível do mar, já que estes elementos foram importantes na determinação das tendências proximal – distal.

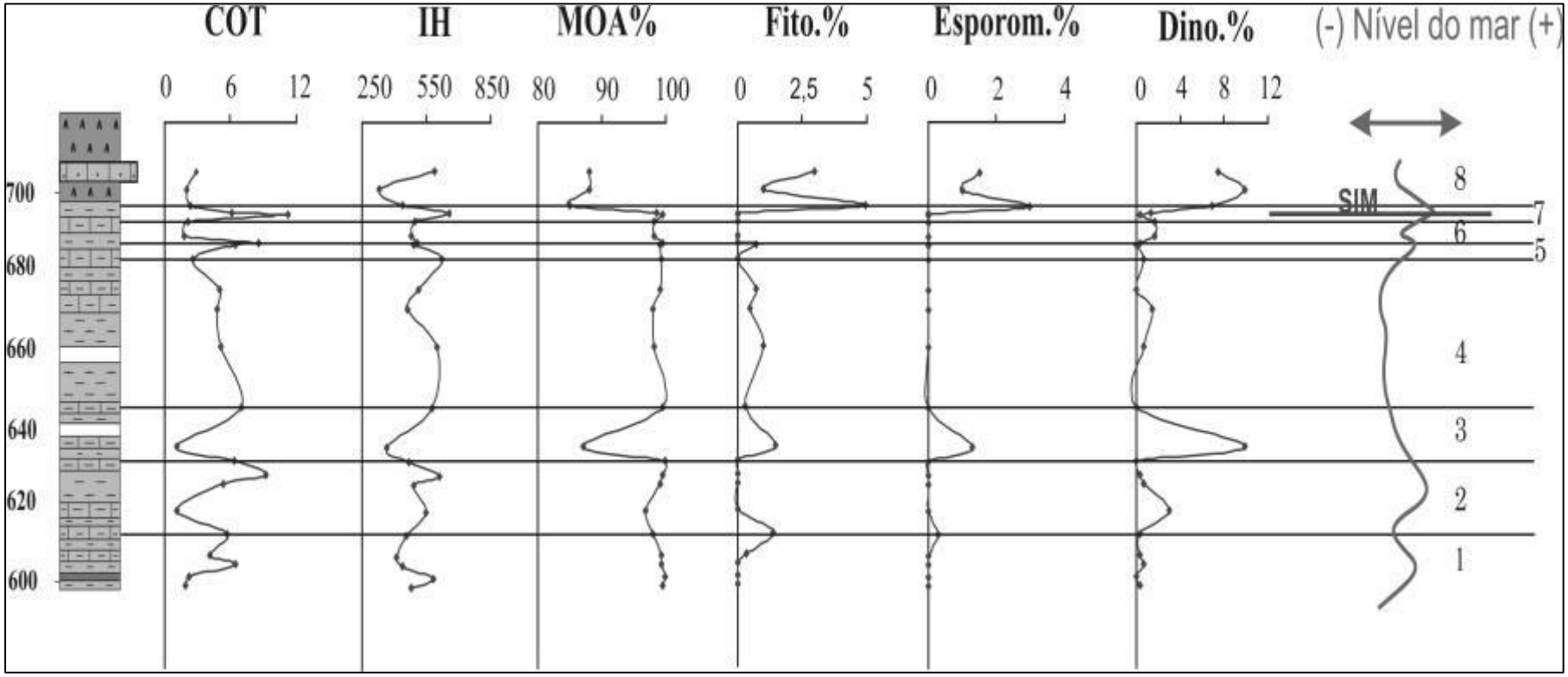


Figura 9: Parâmetros de palinofácies e organogeoquímicos com as divisões dos intervalos determinados pela análise de agrupamento modo-Q.

S IM = Superfície de Inundação Máxima; Fito = Fitoclasto; Esporom. = Espormorfo; Dino = dinocistos.

7. Conclusão

De acordo com a faciologia orgânica, a deposição dos sedimentos da Formação La Luna ocorreu sob paleoambiente marinho controlado por oscilações do nível relativo do mar e com fácies características de plataforma distal disóxica-óxica à bacia distal subóxica-anóxica. Tais condições paleambientais implicaram na formação de rochas ricas em matéria orgânica de excelente qualidade para geração de hidrocarbonetos.

A avaliação do estágio de maturação térmica da Formação La Luna amostrada na seção Riacho Bambuca indica imaturidade para o intervalo.

~~5.~~ Agradecimentos

Ao Instituto Colombiano do Petróleo – ECOPETROL pelas amostras cedidas e pelas análises de geoquímica orgânica utilizadas neste estudo.

Referências Bibliográficas

BARNARD, P. C.; COLLINS, A. G.; COOPER, B. S., 1981. Identification of Kerogen Facies in a Source Rock Horizon. Examples from the North Sea Basin. In: Brooks, J, (Ed.) *Organic Maturation Studies and Fossil Fuel Exploration*. Academic Press, London, 271-282.

BORDENAVE, M.L.; ESPITALIÉ, J.; LAPLAT, P.; OUDIN, J. L. & VANDENBROUKE, M. 1993. Screening techniques for source rock evaluation, In: BORDENAVE, M.L. (ed) *Applied Petroleum Geochemistry*, Editions Technip, Paris, p. 217-279.

COMBAZ, A.1964 Les Palynofacies. *Revue de Micropaléontologie*, **7**, 205-18

COOPER, M.A., F. T. ADDISON, R. ALVAREZ, M. CORAL, R. H. GRAHAM, A.B. HAYWARD, S. HOWE, J. MARTINEZ, J.NAAR, R. PEÑAS, A.J. PULHAM, E A. TABORDA, 1995. Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia: AAPG Boletin, v.79, p. 1421-1443

DELVAUX, D.; MARTIN, H.; LEPLAT, P. & PAULET, J. 1990. Geochemical characterization of sedimentary organic matter by means of pyrolysis kinetic parameters, In: DURAND, B. & BEHAR, F. (eds) *Advances in Organic Geochemistry 1989*, Pergamon, Oxford. *Organic Geochemistry*, v. 16, p. 175-87.

ESPITALIÉ, J.; LAPORTE, J. L.; MADEC, M.; MARQUIS, LEPLAT, P.; PAULET, J.; BOUTEFEU, A. (1977). Methode Rapide de Caracterisation des Roches Meres de leur Potentiell Petrolier e de leur Degre d'Evolution. Rev. Inst. Fr. Pet., 32:23-42.

GONCALVES, F. T. T, 2005. Investigação quimioestratigráfica de alta resolução de rochas geradoras de hidrocarbonetos: aplicação na análise do sistema petrolífero do Grupo Villeta, Vale Superior do Magdalena, Colômbia. Tese de doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro,164p.

JONES, R. W., 1987, Organic Facies, em J. Brooks e D. Welts, eds., *Advances in Organic Geochemistry*, Academic Press, v. 2, p. 1-90.

KAIRUZ, E., P. FERREIRA, E O.SOLANO, 2000, Província petrolífera Del Valle Superior Del Magdalena, Colombia: Proceedings of the VII Simpósio Bolivariano, Cartagena, Colômbia, v.1, p. 533-536.

LANGFORD, F.F. & BLANC-VALLERON, M.M. 1990. Interpreting Rock-Eval pyrolysis data using graphs of pyrolizable hydrocarbons vs. Total organic carbon. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 74, p. 799-804.

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.

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.

SARMIENTO, L.F. & RANGEL. A (2004). Petroleun systems of the Upper Magdalena Valley, Colombia. *Marine and Petroleun Geology* 21, 373-391.

SCHAMEL, S., (1991), Middle and Upper Magdalena basins, Colômbia, em K. T. Biddle, ed., *Active Margin Basins*: AAPG Memoir 52, p. 283-303.

SINTON, C. W. & DUNCAN, R. A. (1997). Potential links between ocean plateau volcanism and global ocean anoxia at the Cenomanian–Turonian boundary. *Economic Geology* 92, 836–842.

SINTON, C. W., DUNCAN, R. A., STOREY, M., LEWIS, J. & ESTRADA, J. J. 1998. An oceanic flood basalt province within the Caribbean plate. *Earth and Planetary Science Letters* 155, 221–235.

TISSOT, B. P.; WELTE, D. H. (1984). Petroleum Formation and Occurrence. 2 ed. Berlin: Springer-Verlag. 699p.

TYSON, R. V. (1995). Sedimentary Organic Matter. Organic facies and palynofacies. Chapman & Hall. Londres. 615 p.

TYSON, R. V. (1993). Palynofacies Analysis. Kluwer Academic Publishers. p. 153-191.

TYSON, R. V. (1995). Sedimentary Organic Matter. *Organic facies and palynofacies. Chapman & Hall.* Londres. 615 p.

VARGAS. L. S., Zamora. W. H., Nino. C. H., Gonçalves. F. T. T, e Mora. C. A., 2002 Caracterización estratigráfica y geoquímica del Colección Villeta em la sección de la Quebrada Bambuca (VSM): ECOPETROL-ICP relatório interno, 243p.

VILLAMIL,T. & ARANCO. C, 1998 Integrated stratigraphy of Lastest Cenomanian and Early Turanian facies of Colombia, em Pindell, J.L. e Dracks,C.L, eds., *Paleogeographic evolution and non-glacial eustasy, Northern South America*: SEPM Special Publication 58, p. 129-160.

VILLAMIL,.T., 1998 Chronology, relative sea-level history and a new sequence stratigraphic model for the Basinal Cretaceous facies of Colombia, em Pindell,.J.L e Dracks,C.L, eds., *Paleogeographic evolution and non-glacial eustasy, Northern South America*: SEPM Special Publication 58, p. 161-216