



**Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências Matemática e da Natureza
Instituto de Geociências**

Marcelo Vieira da Silva Alvarenga

**FÁCIES ORGÂNICA E EVOLUÇÃO TÉRMICA DE UMA SEÇÃO
SEDIMENTAR DA FORMAÇÃO CODÓ, DA BACIA DO PARNAÍBA**

**Trabalho de Conclusão de Curso
(Bacharelado em Geologia)**

**UFRJ
Rio de Janeiro
2010**



UFRJ

Marcelo Vieira da Silva Alvarenga

**FÁCIES ORGÂNICA E EVOLUÇÃO TÉRMICA DE UMA SEÇÃO SEDIMENTAR
DA FORMAÇÃO CODÓ, DA BACIA DO PARNAÍBA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho

**Rio de Janeiro
Janeiro de 2010**

ALVARENGA, Marcelo Vieira da Silva Alvarenga
**Fácies Orgânica e Evolução Térmica de uma Seção
Sedimentar da Formação Codó, da bacia do Parnaíba** / Marcelo
Vieira da Silva Alvarenga - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2010.
xi, 44 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) –
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências,
Departamento de Geologia, 2010.

Orientador: Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho

1. Geologia. 2. Geologia Econômica e Regional – Trabalho de
Conclusão de Curso. I. João Graciano Mendonça Filho. II.
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências,
Programa de Pós-graduação em Geologia. III. Título.

Marcelo Vieira da Silva Alvarenga

FÁCIES ORGÂNICA E EVOLUÇÃO TÉRMICA DE UMA SEÇÃO SEDIMENTAR DA
FORMAÇÃO CODÓ, DA BACIA DO PARNAÍBA

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Geologia do Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Rio
de Janeiro – UFRJ, apresentado como
requisito necessário para obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho

Aprovada em: 07.01.2010

Por:

Orientador: Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho (UFRJ)

Renata Brenand Alvarenga das Chagas (LAFO-UFRJ)

M. Sc. Taissa Rêgo Menezes (CENPES - PETROBRÁS)

UFRJ
Rio de Janeiro
2010

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânica (LAFO), à CNPq-Pibic pela ajuda financeira e aos laboratórios de Gerência da Geoquímica do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello - CENPES – PETROBRAS.

Agradeço também ao meu orientador Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho, a Dr. Joalice Mendonça Filho, Dr. Frederico Sobrinho da Silva, M. Sc. Alexandre Jonas Santanna entre outros mestres e doutores pelo o apoio e pela ajuda.

Agradeço a minha família e minha namorada que sempre me apoiaram quando mais precisei.

Agradeço a todos os meus amigos de faculdade, principalmente ao Rômulo, Alisson Diego, Renata, Gisele, pelo o apoio na monografia e a Deus.

Agradeço a todos os integrantes do Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânica (LAFO).

RESUMO

ALVARENGA, M. V. S. Fácies Orgânica e Evolução Térmica de uma Seção Sedimentar da Formação Codó, da bacia do Parnaíba. 2010. xi, 44 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A bacia do Parnaíba é uma bacia intracratônica, com aproximadamente 600.000 km², localizada no nordeste do Brasil, abrangendo os Estados do Maranhão, Piauí, leste do Pará, oeste do Ceará, norte de Tocantins e Goiás. A Formação Codó, de idade cretácea, é constituída por arenitos, folhelhos, carbonatos, conglomerados e siltitos considerados de ambiente marinho raso carbonático em episódio transgressivo. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a faciologia orgânica e determinar o estágio de evolução térmica para caracterização do potencial de geração de hidrocarbonetos de 23 amostras de sequência sedimentar cretácea da Formação Codó, (Poço 1-UN-32-PI) utilizando análises microscópicas (Palinofácies e Índice de Coloração de Esporos - ICE) e geoquímica orgânica (Pirólise *Rock-Eval*, Carbono Orgânico Total - COT, Enxofre Total - ST, Refletância da Vitrinita - %Ro, Microespectro de Fluorescência). Nessa sucessão, observou-se o predomínio de componentes orgânicos do grupo Fitoclasto, seguido do grupo Palinomorfo e Matéria Orgânica Amorfa (MOA). Os resultados indicam o predomínio do querogênio tipo II apresentando matéria orgânica de excelente qualidade para geração de hidrocarbonetos, os teores de COT e ST alcançam valores de até 13,4% e 1,58%, com Potencial de Geração (PG) excelente de até 56,94 mg.HC/g.Rocha, entretanto a seção analisada encontra-se em estágio de evolução térmica insuficiente para geração de hidrocarbonetos líquidos e/ou gasosos. A partir desses resultados, a sucessão analisada foi dividida em intervalos que, de acordo com as mudanças eustáticas constatadas pela palinofaciologia, representam uma variação desde ambiente proximal restrito até ambiente marinho com alternância no regime de oxigênio variando entre óxico e disóxico-anóxico.

Palavra-chave: Fácies Orgânica, Bacia do Parnaíba, Evolução Térmica

ABSTRACT

ALVARENGA, M. V. S. Fácies Orgânica e Evolução Térmica de uma Seção Sedimentar da Formação Codó, da bacia do Parnaíba. 2010. xi, 44 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The Parnaíba basin is an intracratonic basin, with approximately 600.000 Km², in northeast of Brazil, mainly in Maranhão, Piauí States, Pará, Ceará, Tocantins and Goiás States. Codó Formation, from Cretaceous age, is composed of sandstones layers, shales, limestones, conglomerates and siltstone, considered as shallow marine carbonate formed in a transgressive episode. The aim of this study was to characterize the organic faciology and determinate the stage of thermal evolution for the characterization of the hydrocarbon potential generation of 23 samples from a Cretaceous sedimentary sequence belonging to the Codó Formation, (well 1-UN-32-PI). For such using microscopic analysis (Palinofacies and Spores Coloration Index - SCI) and organic geochemistry (*Rock-Eval* Pyrolysis, Total Organic Carbon - TOC, Total Sulfur - TS, Vitrinite Reflectance - %Ro, Fluorescence Microspectrum). In this sedimentary succession was observed the predominance of organic components from the Phytoclasts Group, followed by Palynomorph and Amorphous Organic Matter (AOM) Group. The result show the predominance of Kerogen of type II, indicating an excellent quality of organic matter for hydrocarbon generation, the contents of TOC and TS reach values up to 13.4% and 1.58%, with an excellent generation potential of 56,94 mg HC/g.Rock, however the analyzed section was found in an insufficient stage of thermal evolution to generation of liquids and/or gaseous hydrocarbons. According results, the sedimentary succession was divided in intervals according to eustatic changes evidenced by organic facies, that represent a variation since a restricted proximal to a marine environment with alternance in oxic cycle to disoxic-anoxic cycle.

Key-words: Organic facies, Parnaíba Basin, Thermal Evolution

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da bacia do Parnaíba (Souza-Lima & Hamsi, 2003)

Figura 2: Diagrama Cronoestratigráfico bacia do Parnaíba, em destaque a Formação Codó (Petrobrás, 2007).

Figura 3: Mapa geológico da bacia do Parnaíba com a localização geográfica do poço 1-UN-32- PI (4°04'55"S/43°03'15"W). (Mapa geológico, fonte: CPRM, 2005).

Figura 4: Ciclo de análise e exemplo do registro obtido pelo método da Pirólise *Rock-Eval*, Espitalié *et al.* (1977), Tissot & Welte (1984).

Figura 5: Índice de Coloração de Esporos (ICE) (*Robertson Research Limited*)

Figura 6: Variação dos percentuais dos 3 grupos principais de matéria orgânica.

Figura 7: (A) e (B) MOA e dinocisto; (C) e (D) dinocisto; (E) e (F) MOA, fitoclasto amorfizado, fitoclasto não opaco. Fotomicrografias: (A), (C) e (E) – sob luz branca transmitida e (B), (D) e (F) sob luz azul/ ultravioleta incidente (fluorescência).

Figura 8: Gráfico de COT (% em peso) x ST (% em peso) para o testemunho 1-UN-32-PI, (Berner & Raiswell, 1984).

Figura 9: Resultados de COT (%) e Pirólise *Rock-Eval* das amostras analisadas da Formação Codó, bacia do Parnaíba. Em destaque de verde o intervalo com pobre potencial de geração, e de vermelho para o intervalo de excelente potencial.

Figura 10: Gráfico representando os tipos de querogênio, IH x IO do tipo *Van Krevelen*.

Figura 11: A, B e C: Vitrinita; D, E, F: Esporinita

Figura 12: Histograma da média do valor da Refletância das Vitrinitas das amostras P13 e P23 e seu desvio padrão.

Figura 13: Correlação dos parâmetros geoquímicos para avaliação de maturação das amostras estudadas utilizando-se a tabela de correlação de parâmetro de maturação (Traduzido de Mukhopadhyay, 1994).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Sumário do esquema de fácies orgânicas de Jones (1987) mostrando tendências ambientais (modificado de Tyson, 1996).

Tabela 2: Valores percentuais de COT, ST e RI das amostras estudadas.

Tabela 3: Valores da Reflectância da Vitrinita (%Ro), do Índice de Coloração de Esporos (ICE) e do Espectro de Fluorescência das amostras do Poço 1-UN-32-PI.

SUMÁRIO

Agradecimentos	v
Resumo	vi
Abstract.....	vii
Lista de figuras	viii
Lista de tabelas	ix
Sumário.....	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 CONTEXTO GEOLÓGICO	3
3 MATERIAL E MÉTODOS	5
3.1 Preparação das amostras.....	6
3.2 Confeção de plugs de concentrado de querogênio	6
3.3 Análise de Palinofácies	6
3.4 Análises de Geoquímica Orgânica	7
3.4.1 Análise de Carbono Orgânico Total (COT) e Enxofre	7
3.4.2 Análise de Pirólise Rock-Eval	8
3.4.3 Poder Refletor da Vitrinita (%Ro)	10
3.4.4 Microespectro de Fluorescência	10
3.4.5 Índice de Coloração de Esporos (ICE)	11
3.5 Fácies Orgânica.....	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1 Palinofácies	14
4.2 Análises Geoquímica Orgânica.....	16
4.2.1 Carbono Orgânico Total (COT) e Enxofre Total (ST)	16
4.2.2 Pirólise <i>Rock-Eval</i>	18
4.3 Avaliação do estagio de Maturação Térmica	21

4.4 Fácies Orgânica.....	25
5 CONCLUSÃO	27
6 BIBLIOGRAFIA.....	28

1 INTRODUÇÃO

A bacia do Parnaíba é considerada uma bacia de “Fronteira Exploratória” devido ao insucesso exploratório resultante, em parte, por ser pouco conhecida geologicamente (Figura 01).

A Formação Codó de idade cretácea (Aptiano/Albiano) é uma importante seção potencialmente geradora de hidrocarboneto da bacia do Parnaíba, pois apresenta elevados valores de Carbono Orgânico Total (2,0 a 27,32%) e Potencial de Geração (10 a 90Kg HC/Trocha) (Rodrigues, 1995).

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a faciologia orgânica e determinar o estágio de evolução térmica para caracterização do potencial de geração de hidrocarbonetos de uma sequência sedimentar cretácea pertencente à Formação Codó, bacia do Parnaíba utilizando análises de microscopia (Palinofácies, Índice de Coloração de Esporos – ICE, Refletância da Vitrinita (%Ro) e Microespectro de Fluorescência) e técnicas organogeoquímicas (Carbono Orgânico Total – COT, Enxofre Total –ST, Pirólise *Rock-Eval*).

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.

A aplicação dos estudos de faciologia orgânica é considerada de grande importância para determinação do estágio de evolução térmica da matéria orgânica e do potencial de geração de hidrocarboneto.

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).

A análise de palinofácies é o estudo palinológico de ambientes deposicionais e do potencial de rochas geradoras de hidrocarbonetos baseado na associação total de componentes da matéria orgânica particulada.



Figura 1: Mapa de localização da bacia do Parnaíba (Souza-Lima & Hamsi, 2003)

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

A bacia do Parnaíba pode ser classificada como uma bacia do Tipo I (interior cratônico), na classificação de Klemme (1980) que ocupa uma área de aproximadamente 600.000 km², localizada na região nordeste do Brasil, abrangendo quase a totalidade dos estados do Maranhão, Piauí, parte do leste do Pará, oeste do Ceará, norte de Goiás e Tocantins (Pedreira *et al.*, 2003). Em seu depocentro, a espessura da coluna sedimentar ultrapassa 3.000 m (Cunha, 1986). Está delimitada a norte pelo arco Ferrer–Urbano Santos, que separa a bacia do Parnaíba das bacias de São Luiz e Barreirinhas. A noroeste é limitada pelo Arco Tocantins, separando-a da Fossa do Marajó e a sul e sudeste limita-se pelo Arco São Francisco.

Para este trabalho seguiu-se a carta estratigráfica definida por Vaz *et al.*, (2007) (Figura 02), a qual é dividida em cinco grupos depositados desde o Siluriano ao Cretáceo, situado sobre o embasamento proterozóico que é constituído em sua maior parte por rochas metamórficas da Formação Riachão (Kegel, 1956) e Formação Mirador (Rodrigues, 1967).

A Formação Codó, de idade Aptiano-Albiano, é constituída por folhelhos, calcários, siltitos, gipsita/anidrita e arenito, e são frequentes a presença de níveis de sílex e estromatolito. Esta sequência é caracterizada por uma rápida transgressão marinha resultado de uma subsidência, seguida da retirada definitiva do mar, que originou depósitos de sedimentação exclusivamente continental (Góes & Feijó, 1994).

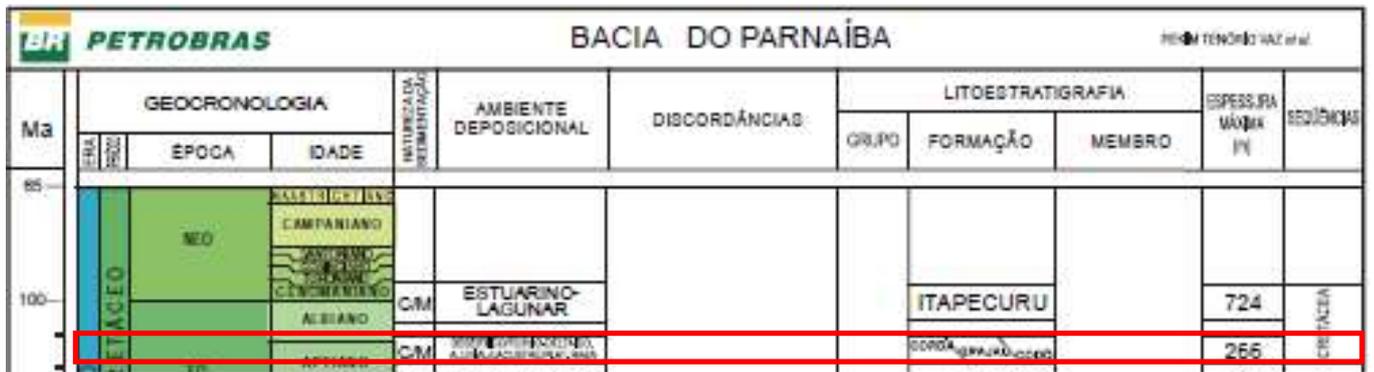


Figura 2: Diagrama Cronoestratigráfico bacia do Parnaíba, em destaque a Formação Codó (Petrobrás, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas 23 amostras do poço 1-UN-32-PI pertencentes à Formação Codó (Figura 03), e corresponde ao intervalo de 72,3 a 165,5 m de profundidade.

Para o estudo da faciologia orgânica aplicou-se a integração dos dados de análise de microscopia (Palinofácies, Índice de Coloração de Esporos - ICE) e dados de geoquímica orgânica (Carbono Orgânico Total - COT, Enxofre Total - ST) realizado por Neves *et al.* (2008) e Pirólise *Rock-Eval*. Para a determinação do estágio de evolução térmica da matéria orgânica também foram feitas análises de Refletância da Vitrinita (%Ro) e Microespectro de Fluorescência. As análises de Carbono Orgânico Total (COT) foram realizadas no Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânica - LAFO e as análises de Pirólise *Rock-Eval* foram realizadas no laboratório de Gerência da Geoquímica do Centro de Pesquisas e Desenvolvidos Leopoldo A. Miguez de Mello - CENPES - PETROBRAS.

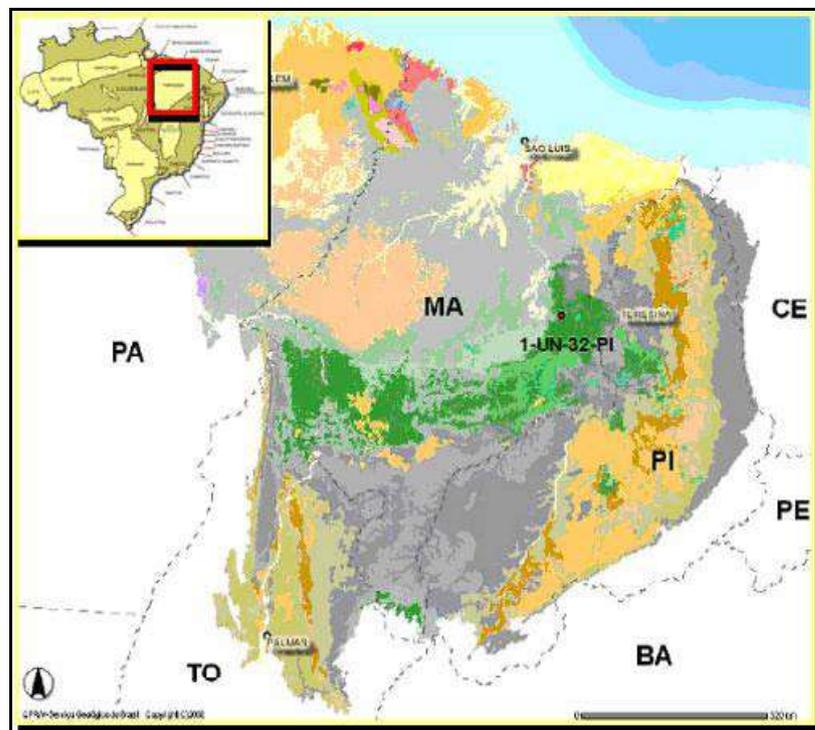


Figura 3: Mapa geológico da bacia do Parnaíba com a localização geográfica do poço 1-UN-32-PI (4°04'55"S/43°03'15"W). (Mapa geológico, fonte: CPRM, 2005).

3.1 Preparação das amostras

A preparação do material para análise de palinofácies e confecção de *plugs* para análise de maturação foi realizada utilizando-se os procedimentos palinológicos padrões não-oxidativos descritos por Tyson (1995), Mendonça Filho (1999), Mendonça Filho *et al.* (2002) e Oliveira *et al.* (2004). As amostras foram fragmentadas e aproximadamente 20g a 40g de material foi separado para obtenção de um concentrado de querogênio. A primeira etapa do processamento químico consistiu na acidificação da amostra com o ácido clorídrico (37%) para eliminação da fração carbonática. Na segunda etapa do processamento utilizou-se ácido fluorídrico (40%) para eliminação da fração silicosa. A amostra foi novamente acidificada com HCl (10%), para eliminação dos possíveis fluorsilicatos formados durante as etapas anteriores. Utilizou-se o cloreto de zinco ($ZnCl_2$) para separação por flotação da fração orgânica. Após esse processamento foram confeccionadas lâminas organopalinológicas com o resíduo orgânico.

3.2 Confecção de plugs de concentrado de querogênio

Uma pequena porção do resíduo, obtida pelo processamento de concentração de querogênio é colocada em formas de Teflon, seca em estufa (40°C), para em seguida, receber uma mistura de resina de poliéster e endurecedor (catalisador). Após o endurecimento da resina, o material é retirado da forma lixado e polido.

3.3 Análise de Palinofácies

A análise de palinofácies envolveu o exame quantitativo (contagem de 300 a 500 partículas) e qualitativo (identificação das partículas) dos grupos e subgrupos de componentes do querogênio através da utilização de técnicas de microscopia sob luz

branca transmitida e fluorescência. Tal contagem obedeceu à classificação dos grupos e subgrupos da matéria orgânica proposta por Tyson (1995), Mendonça Filho (1999) e Menezes *et al.* (2008), Mendonça Filho *et al.* (2010). Após a contagem dos componentes orgânicos particulados, os valores absolutos foram recalculados para valores percentuais e normalizados a 100%, e confeccionados diagramas binários para uma melhor visualização dos resultados.

3.4 Análises de Geoquímica Orgânica

3.4.1 Análise de Carbono Orgânico Total (COT) e Enxofre

O Carbono Orgânico Total (COT) constitui mais um parâmetro importante para estudos sobre o conteúdo orgânico em rochas sedimentares, uma vez que esse dado, além de contribuir com as informações sobre a quantidade e estado de preservação da matéria orgânica, este é correlacionado com os demais resultados sobre a origem e o estágio de evolução térmica da matéria orgânica.

A análise de Carbono Orgânico Total (COT) foi obtida através do forno de indução do determinador de carbono WR-12 LECO, as determinações elementares (COT e ST) foram realizadas em todas as amostras no aparelho SC-144 da LECO, após acidificação para remoção de carbonatos. Os métodos adotados foram os ASTM D 4239 (American Society for Testing and Materials-ASTM, 2008) e NCEA-C-1282 (United States Environmental Protection Agency-US EPA, 2002). A análise do carbono orgânico total é uma técnica utilizada para quantificação de matéria orgânica, em termos de carbono orgânico, em relação à rocha. O limite mínimo do conteúdo orgânico frequentemente utilizado para considerar uma rocha como potencialmente geradora é de 0,5% (Tissot & Welte, 1984).

3.4.2 Análise de Pirólise Rock-Eval

A análise de Pirólise *Rock-Eval* foi realizada no CENPES (Petrobrás) utilizando o equipamento *Rock-Eval VI* (Behar *et al.*, 2001).

A técnica de Pirólise *Rock-Eval*, desenvolvida por Espitalié *et al.* (1977), é um método padrão da geoquímica do petróleo e quando combinada com dados de COT, permite a identificação de rochas geradoras potenciais, além da caracterização do tipo de querogênio. Esta técnica consiste na simulação laboratorial do processo natural de geração de hidrocarbonetos, envolvendo temperaturas experimentais consideravelmente superiores às aquelas normalmente registradas em subsuperfície, tornando possível a ocorrência das reações termoquímicas num curto espaço de tempo.

Os resultados são registrados através de três picos característicos. O primeiro pico (P1 e sua área correspondente S1) está relacionado aos hidrocarbonetos presentes nos sedimentos na qual poderiam ser extraídos normalmente por solventes orgânicos; o segundo pico (P2 e sua área correspondente S2) refere-se aos hidrocarbonetos liberados pelo craqueamento térmico do querogênio durante a pirólise e o terceiro pico (P3 e sua área correspondente S3) corresponde ao dióxido de carbono (CO₂) liberado durante a pirólise do querogênio (Figura 04).

Os parâmetros obtidos na Pirólise *Rock-Eval* são: Temperatura Máxima (T_{max}), Índice de Hidrogênio (IH), Índice de Oxigênio (IO), Índice de Produção (IP) e Potencial de Geração (PG). A Temperatura Máxima (T_{max}) correspondente ao máximo do pico S2, expresso em °C, erro analítico aproximadamente 1°C, reflete a maturação de acordo com o tipo de matéria orgânica (Bordenave *et al.*, 1993). O Índice de Hidrogênio (IH) expresso em mg HC/g COT, indicativo da razão entre os hidrocarbonetos liberados e o conteúdo de carbono orgânico total, fornece uma indicação da origem, estado de

preservação e maturação térmica da matéria orgânica (Peters, 1986; Bordenave *et al.*, 1993).

O Índice de Oxigênio (IO), expresso em mg CO₂/g COT, indicativo da razão entre o dióxido de carbono (CO₂) e o conteúdo de carbono orgânico total. O Índice de Produção (IP) é resultado da razão dos hidrocarbonetos incorporados na rocha e liberados no primeiro estágio de aquecimento da pirólise (S1) e o total de hidrocarbonetos produzidos durante a pirólise (S1 + S2), indicando maturação e razão de transformação. O Potencial de Geração (PG = S1+S2), expresso em mg HC/g Rocha, representa a quantidade total de hidrocarbonetos produzidos pela rocha durante a pirólise (Tissot & Welte, 1984).

Alguns desses parâmetros foram utilizados para confeccionar o diagrama tipo Van Krevelen, podendo assim classificar o tipo de querogênio e identificar diferentes fácies orgânica (Espitalié *et al.*, 1986; Peters *et al.*, 1986).

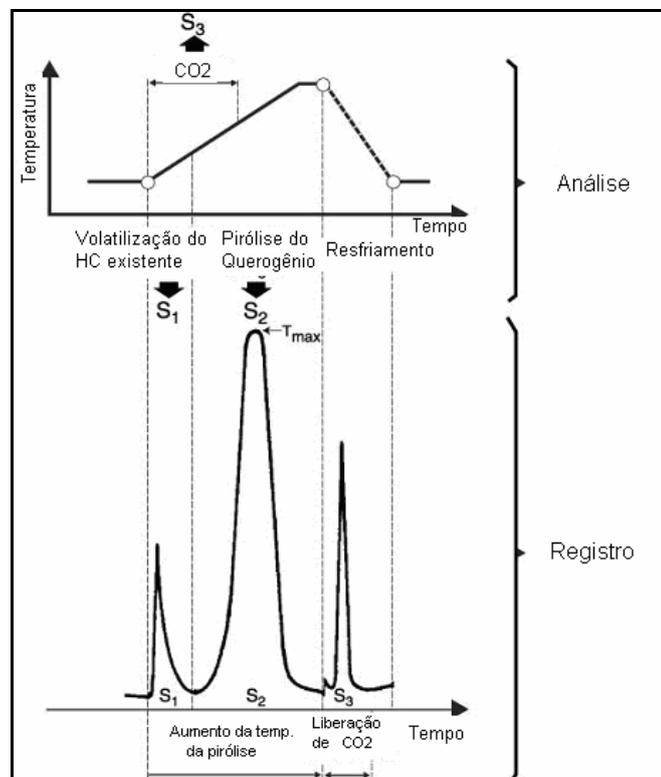


Figura 4: Ciclo de análise e exemplo do registro obtido pelo método da Pirólise *Rock-Eval*, Espitalié *et al.* (1977), Tissot & Welte (1984).

3.4.3 Poder Refletor da Vitrinita (%Ro)

Um dos mais importantes parâmetros utilizados para estudos da evolução térmica da matéria orgânica contida nos sedimentos é o Poder de Refletância da Vitrinita (%Ro), uma vez que a refletância da vitrinita pode representar todos os possíveis intervalos de paleotemperaturas, ao contrário de todos os outros métodos, óticos ou físico-químicos, que estão restritos à determinados níveis de evolução térmica (Hunt, 1979).

A vitrinita é o mais frequente e, conseqüentemente, o mais importante Grupo de Macerais que ocorre em carvões e outras rochas que contém matéria orgânica. Este grupo indica o geotermômetro de “máxima”, pois sua refletância é consequência da maior temperatura registrada (Herx *et al.*, 1979).

No geral, a “janela de geração de petróleo”, é definida pelos valores de %Ro de 0,60% (topo da janela) e 2,0% (base da janela), mas esses valores podem variar em função da cinética do querogênio presente na rocha.

3.4.4 Microespectro de Fluorescência

A técnica de Microespectro de Fluorescência é um método quantitativo de avaliação da intensidade de fluorescência e consiste em medir-se a intensidade do espectro entre 400 e 700nm (Ottenjann *et al.*, 1975).

Esse método foi satisfatório na quantificação da intensidade de fluorescência dos macerais do Grupo da Liptinita (algas pasinofitas do gênero *Tasmanites*) porém, para o presente trabalho as análises foram feitas em esporinitas. As medidas de microespectro de fluorescência foram feitas em microscópio Zeiss Axioskop 2-*plus*, objetiva (50X) em óleo de imersão ($n_e = 1,518$ a 23°C) e filtros de ultravioleta G 365, FT 395 e LP 420

(Zeiss). O fator de correção foi obtido a partir da calibração de uma lâmpada (Baranger *et al.*, 1991).

3.4.5 Índice de Coloração de Esporos (ICE)

De acordo com o efeito térmico que alguns componentes orgânicos das rochas sedimentares, tais como, esporomorfos (esporos e grãos de pólen) foram submetidos, sua coloração original é alterada, tornando-se mais escuros com o aumento da temperatura. A atribuição de valores numéricos a estas variações de coloração constitui o Índice de Coloração de Esporos (ICE), a partir do qual são desenvolvidos estudos de 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 as lâminas-padrão da Robertson Research International Limited (Figura 05), calibrado em escala de 1 a 10 com intervalos de 0,5.

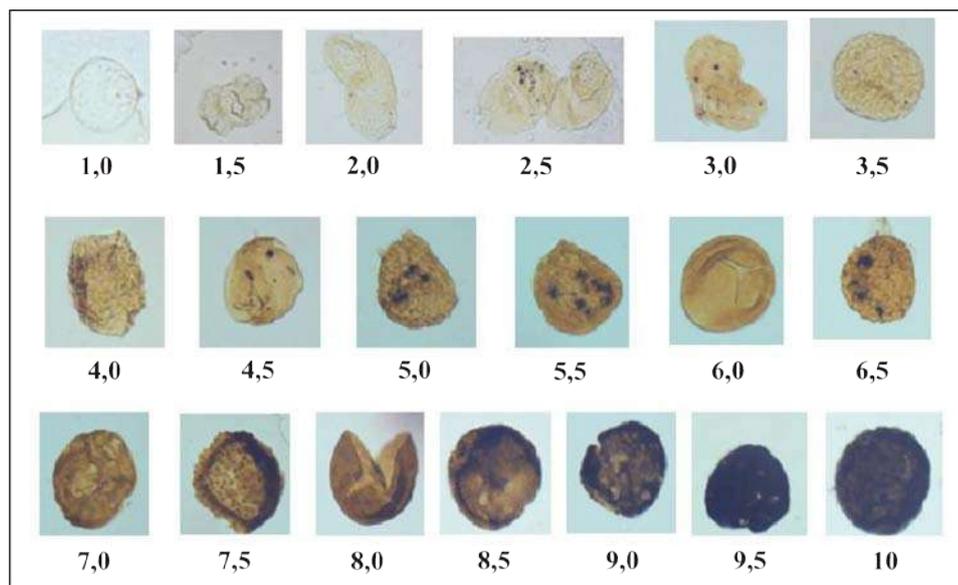


Figura 5: Índice de Coloração de Esporos (ICE) (*Robertson Research Limited*)

3.5 Fácies Orgânica

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

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.

Sete fácies orgânicas foram identificadas por Jones (1987) usando informações geoquímicas e, em menor extensão, dados ópticos. Essas fácies orgânicas têm sido determinadas para cada amostra, grupos de amostras ou unidades estratigráficas completas. Não é aconselhável uma determinação de uma fácies orgânica utilizando-se somente os dados obtidos pela análise de Pirólise *Rock-Eval* e COT.

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

A tabela abaixo integra 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) (Tabela 01).

Tabela 1: Sumário do esquema de fácies orgânicas de Jones (1987) mostrando tendências ambientais (modificado de Tyson, 1996).

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	
% Prasinofitas do Plâncton	a mais alta	moderada	rara	usualmente muito rara			
% de fitoclasto do querogênio	baixa diluição			moderada	usualmente dominante		
Fitoclasto opacos /translúcidos	frequentemente alta			usualmente baixa		aumenta	
Características geoquímicas (para sedimentos imaturos)							
Índice de hidrogênio	≥ 850	≥ 650	≥ 400	≥ 250	≥ 125	50-125	≤ 50
Tipo de querogênio	I	I/II	II	II/III	III	III/IV	IV
% COT	5-20+	3-10+		3-3+	≤ 3	< 0,5	
Fatores ambientais							
Tendência proximal-distal	distal			proximal / distal			
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

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Palinofácies

Segundo Neves *et al.* (2008), a análise de palinofácies realizada ao longo do testemunho apresentou os três principais grupos da matéria orgânica (Fitoclasto, Matéria Orgânica Amorfa-MOA e Palinomorfo), com predominância do grupo Fitoclasto em relação à matéria orgânica total, seguido por componentes do grupo Palinomorfo e da Matéria Orgânica Amorfa (Figura 06).

O grupo Fitoclasto corresponde aos fragmentos de tecidos derivados de vegetais superiores. No geral, o subgrupo fitoclasto do tipo não opaco (Figura 07 – E e F) é o de maior representatividade (21,74%). Outros componentes desse grupo tais como as membranas e cutículas ocorrem em baixos percentuais (1,91% e 3,15%, respectivamente). Também foi registrado a ocorrência de fitoclasto em estado amorfizado (Figura 07 – E e F) que ocorre com percentual de 6,50%.

No grupo do Palinomorfo, o subgrupo mais representativo é o dos esporomorfos (esporos e grãos de pólen) com o percentual de 11,22%, em baixas proporções de algas do gênero *Botryococcus* (0,37%) e dinocistos (3,56%) (Figura 07 – A, B, C e D).

O grupo da Matéria Orgânica Amorfa (MOA) (36,85%) (Figura 07 – A, B, E e F), oriunda de ataque microbiológico, apresenta-se com coloração castanho claro sob luz branca transmitida, e com coloração amarelo claro a escuro sob fluorescência.

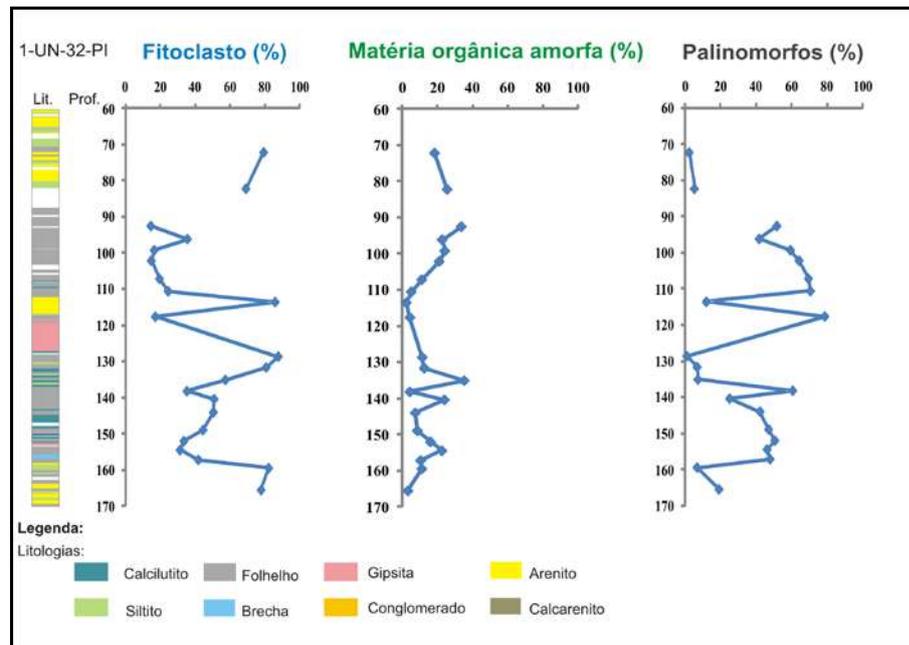


Figura 6: Variação dos percentuais dos 3 grupos principais de matéria orgânica.

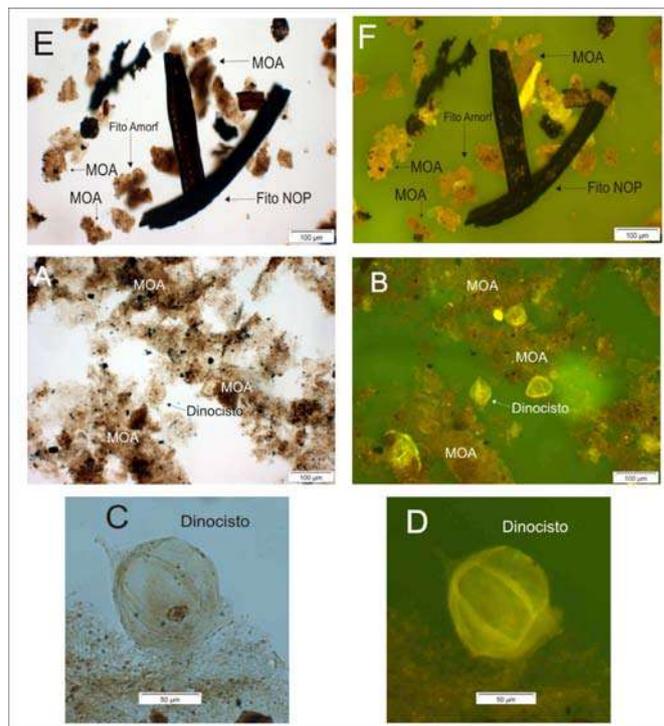


Figura 7: (A) e (B) MOA e dinocisto; (C) e (D) dinocisto; (E) e (F) MOA, fitoclasto amorfizado, fitoclasto não opaco. Fotomicrografias: (A), (C) e (E) – sob luz branca transmitida e (B), (D) e (F) sob luz azul/ ultravioleta incidente (fluorescência).

4.2 Análises Geoquímica Orgânica

4.2.1 Carbono Orgânico Total (COT) e Enxofre Total (ST)

Segundo Neves *et al.* (2008), o teor de COT (Tabela 02) de duas das amostras analisadas da Formação Codó apresentam um teor de 0,27% para a amostra P22 e um valor de 0,43% para a amostra P12, sendo assim consideradas de baixo teor, já as outras amostras apresentam teores acima de 0,5% chegando até 13,4%, respectivamente, caracterizando uma elevada quantidade de matéria orgânica para a rocha ser considerada potencialmente geradora e elevado grau de preservação. Os valores do teor de Enxofre Total (ST) apresentam-se baixos variando desde 0,07 a 1,58 % (Tabela 01). Algumas das amostras analisadas apresentam baixos valores de teor de resíduo insolúvel (RI) (amostra P12 e P13) com valores de 30% e 58%, respectivamente e outras amostras apresentam elevados valores chegando até 90% indicando baixos teores de carbonatos nessas amostras.

O gráfico COT x ST (Figura 08), indica um ambiente variando de água doce a salino (Berner & Raiswell, 1984) tendo como parâmetro para um ambiente de água doce as amostras P1, P2, P10 por possuírem uma palinofácies contendo maiores quantidades de fitoclastos e pequenas quantidades de esporomorfos e para um ambiente salino tem como parâmetro as amostras P7, P15, P20, por possuírem uma palinofácies contendo maiores quantidade de matéria orgânica amorfa (amostra P7, P15 e P20) além de pequenas quantidades de dinocisto na amostra P7, que corroboram a idéia de ter havido uma incursão marinha no topo da formação.

Tabela 2: Valores percentuais de COT, ST e RI das amostras estudadas.

Amostra	Profundidade (m)	COT %	ST %	RI %
P1	72.3	1.87	0.09	90
P2	82.3	2.45	0.07	89
P3	89.6	0.68	0.59	81
P4	92.6	1.24	0.4	80
P5	96.2	1	0.31	80
P6	99.3	0.71	0.1	81
P7	102.2	0.77	0.67	82
P8	107.2	3.26	0.49	77
P9	110	9.6	1.13	76
P10	113.6	0.51	0.07	90
P11	117.65	5.18	0.73	78
P12	128.65	0.43	0.42	30
P13	131.65	1.61	0.29	58
P14	135.1	1.96	0.5	80
P15	138.2	1.55	0.87	68
P16	140.4	1.78	1.3	68
P17	144	2.75	1.37	79
P18	148.9	7.24	1	67
P19	152	6.24	1.42	72
P20	154.45	3.7	1.58	67
P21	157.15	13.4	0.23	70
P22	159.45	0.27	0.85	85
P23	165.5	0.63	0.15	86

(COT = Carbono Orgânico Total; ST = Enxofre Total; RI= Resíduo Insolúvel)

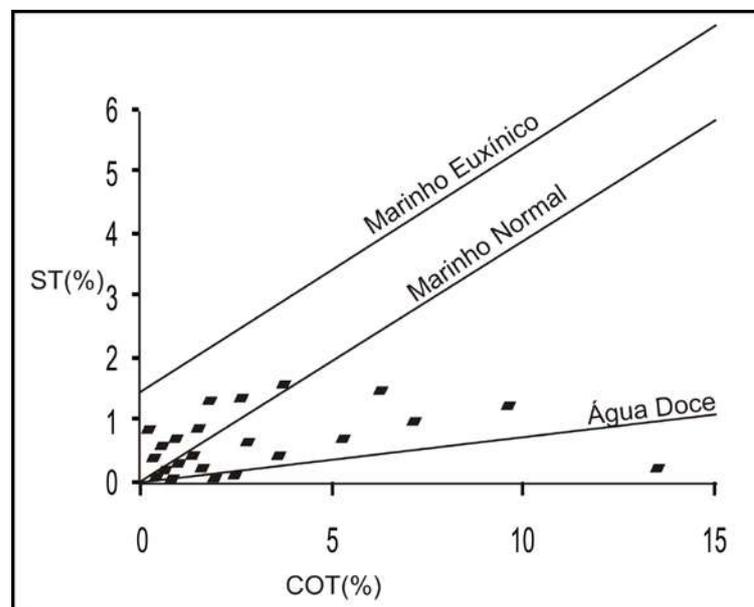


Figura 8: Gráfico de COT (% em peso) x ST (% em peso) para o testemunho 1-UN-32-PI, (Berner & Raiswell, 1984).

4.2.2 Pirólise *Rock-Eval*

Os resultados da Pirólise *Rock-Eval* estão representados na figura 09, onde mostram de baixos a elevados valores de S_1 variando de 0 a 4,51 mg HC/g Rocha, para os resultados mais elevados sugere-se uma possível presença de betume no intervalo ou de óleo migrado (144 a 157,15 m), devido a uma maior quantidade de matéria orgânica presente. Os valores S_2 são baixos a elevados, variando entre 0,02 a 54,30 mg HC/g Rocha, e estes são relacionados ao grau de evolução térmica, os valores do Índice de Hidrogênio (IH) são baixos a elevados variando entre 3 a 703 mg HC/g de COT, e estão relacionados ao tipo de querogênio, presença de hidrocarbonetos e ao grau de evolução térmica da matéria orgânica, no intervalo (144 a 157,15 m) onde os valores são elevados mostram uma maior preservação da matéria orgânica.

Os valores de Índice de Oxigênio (IO) apresentam-se baixos variam de 0,02 a 134 mg de CO_2 /g de COT, onde ocorre um aumento do teor de Carbono Orgânico Total e do Índice de Hidrogênio. Em contraposição, os valores mais elevados de IO (até 134 mg CO_2 /g de COT) estão relacionados à uma diminuição dos teores de Carbono Orgânico Total do Índice de Hidrogênio, estes valores estão caracterizando um alto grau de preservação da matéria orgânica devido, provavelmente, a baixa disponibilidade de oxigênio no ambiente deposicional. Os valores de Temperatura Máxima (T_{max}), gerada através da máxima geração de hidrocarbonetos (S_2), alcança valores de até 439°C predominando valores menores que 435 °C, indicando um baixo grau de evolução térmica, os valores do Índice de Produção (IP) variam de 0 a 0,18, com predominância de valores abaixo de 0,12 indicando um baixo grau de evolução térmica para as amostras do testemunho. Os valores de Potencial de Geração (PG) das amostras estudadas são de baixos a elevados variando entre 0 a 56,94 mg HC/g Rocha. As

amostras estudadas apresentam intervalos com pobre potencial (72 a 102 m) e intervalos com excelente potencial (144 a 157,15 m) de geração de hidrocarbonetos.

Foi confeccionado um gráfico do tipo *Van Krevelen*, o qual identificou o predomínio do querogênio tipo II (matéria orgânica algal marinha + continental (Fitoclasto, esporos e grãos de pólen)) (Figura 10).

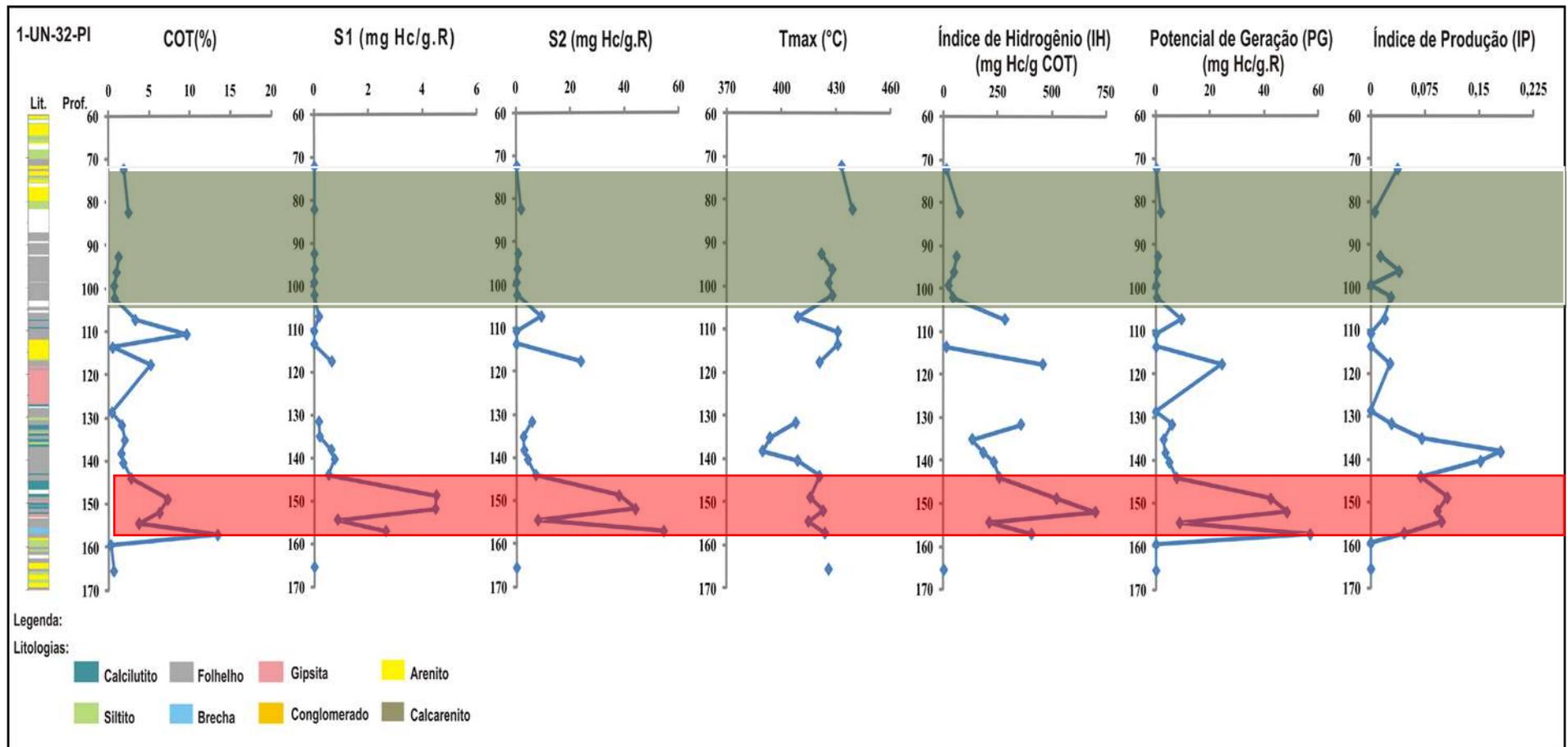


Figura 9: Resultados de COT (%) e Pirólise *Rock-Eval* das amostras analisadas da Formação Codó, bacia do Parnaíba. Em destaque de verde o intervalo com pobre potencial de geração, e de vermelho para o intervalo de excelente potencial.

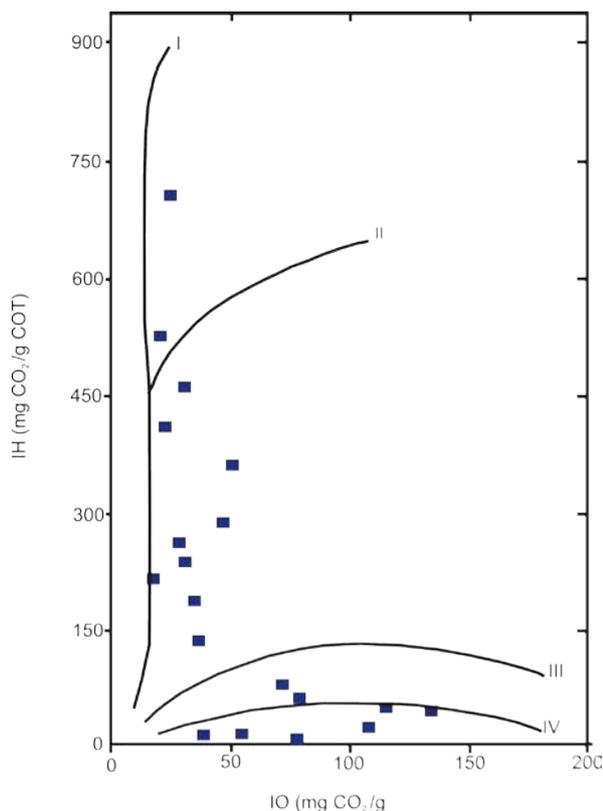


Figura 10: Gráfico representando os tipos de querogênio, IH x IO do tipo *Van Krevelen*.

4.3 Avaliação do estágio de Maturação Térmica

Segundo Neves *et al.* (2008) o intervalo é considerado termicamente imaturo visto que os valores de ICE variam de 2,5 a 3,5. Este dado é confirmado pelos valores de T_{\max} que apresentam em sua maioria abaixo de 439°C, pelos valores de Índice de Produção (IP) que na maioria das amostras apresentou valores inferiores a 0,12 (Espitalié *et al.*, 1977).

A análise do Poder Refletor da Vitrinita (%Ro) (Figura 11), foi realizada nas amostras P13 e P23, ambas apresentam o valor de 0,45%, indicando um estágio imaturo de evolução térmica. A análise do Microespectro de Fluorescência (Figura 11) foi realizada nas amostras P1, P2, P9 e P18 apresentam valores médio de intensidade de

550 e 565 λ Max (nm), podendo assim ser correlacionada a valores de Refletância de Vitritina (%Ro) equivalente entre 0,55% e 0,65%, sendo estes valores maiores que os encontrados na técnica de Refletância de Vitritina. A análise do Poder Refletor da Vitritina (%Ro) e a do Microespectro de Fluorescência junto com valores de ICE, T_{\max} e IP corroboram a idéia de que o intervalo analisado apresenta-se imaturo.

De acordo com Mendonça Filho *et al.*(2009), a técnica de preparação de amostras por maceração ácida (isolamento de querogênio), técnica utilizada neste trabalho para a preparação das amostras, afeta o resultado final da medida do espectro de fluorescência, superestimando os seus resultados. Sendo assim, os resultados de Refletância de Vitritina equivalente obtidos através da microscopia de fluorescência, não são correlacionáveis com os valores obtidos para a Refletância de Vitritina medida nas outras amostras do intervalo.

A tabela 03 apresenta os valores da Refletância de Vitritina (%Ro), do ICE e do Microespectro de Fluorescência para algumas amostras do intervalo analisado.

O histograma mostra a média do valor da Refletância da Vitritina para as amostras P13 e P23 e os desvios padrões para cada amostra (Figura 12).

A correlação dos valores do Poder Refletor de Vitritina (Ro%), T_{\max} e Espectro de Fluorescência podem ser analisado na tabela de correlação de parâmetros de maturação (Mukhopadhyay, 1994) (Figura 13).

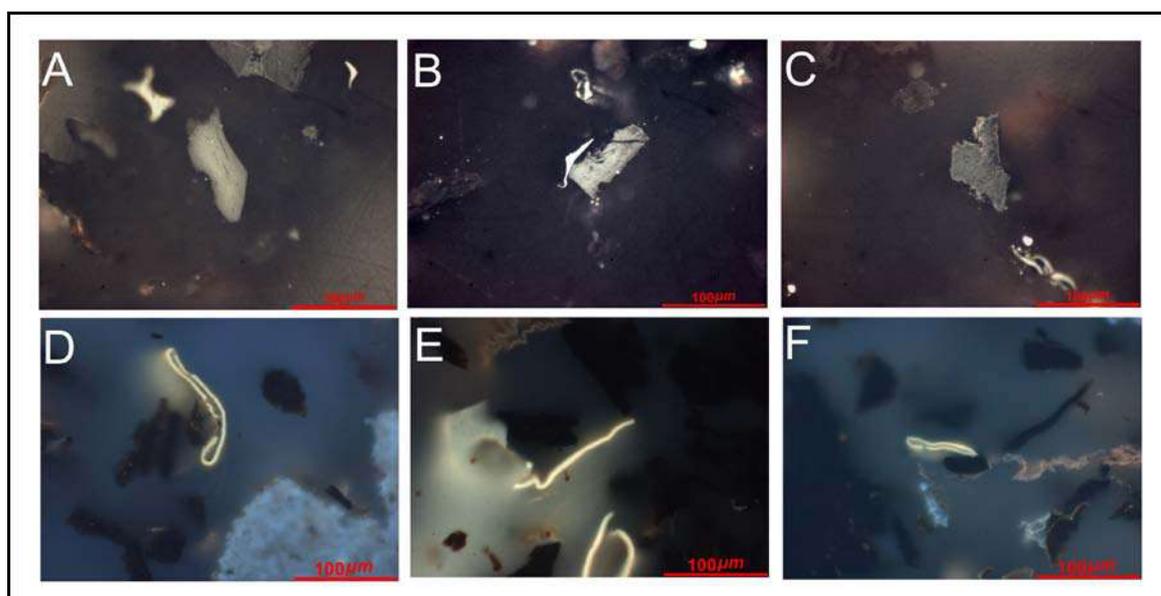


Figura 11: A, B e C: Vitrinita; D, E, F: Esporinita

Tabela 3: Valores da Reflectância da Vitrinita (%Ro), do Índice de Coloração de Esporos (ICE) e do Espectro de Fluorescência das amostras do Poço 1-UN-32-PI.

Poço 1-UN-32-PI							
Am	Poço	Profundidade (m)	%Ro	N (%Ro)	Desvio Padrão	ICE	λ Max (nm)
P1	1-UN-32-PI	72,30				3,5	565
P2	1-UN-32-PI	82,30				3,5	565
P3	1-UN-32-PI	89,60					
P4	1-UN-32-PI	92,60				3	
P5	1-UN-32-PI	96,20				3	
P6	1-UN-32-PI	99,30				3	
P7	1-UN-32-PI	102,20				3	
P8	1-UN-32-PI	107,20				2,5	
P9	1-UN-32-PI	110,60				3	550
P10	1-UN-32-PI	113,60				3,5	
P11	1-UN-32-PI	177,65				2,5	
P12	1-UN-32-PI	128,65				3	
P13	1-UN-32-PI	131,65	0,45	9	0,01	3	
P14	1-UN-32-PI	135,10				3,5	
P15	1-UN-32-PI	138,20				2,5	
P16	1-UN-32-PI	140,40				3	
P17	1-UN-32-PI	144,00				3	
P18	1-UN-32-PI	148,90				3,5	550
P19	1-UN-32-PI	152,00				2,5	
P20	1-UN-32-PI	154,45				2,5	
P21	1-UN-32-PI	157,15				3	
P22	1-UN-32-PI	159,45				3	
P23	1-UN-32-PI	165,50	0,45	23	0,02	3	

(N (%Ro) = Número de medidas da Refletância da Vitrinita; λ Max (nm) = Valores médio de intensidade do Microespectro de Fluorescência)

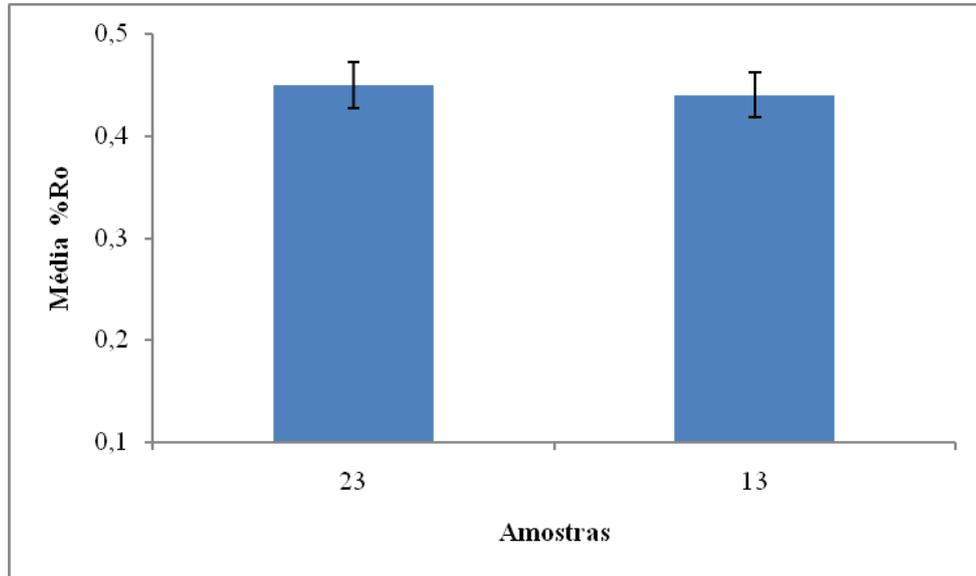


Figura 12: Histograma da média do valor da Refletância das Vitrinitas das amostras P13 e P23 e seu desvio padrão.

Maturação e Rank		PARÂMETROS MICROSCÓPICOS DE MATURAÇÃO						PARÂMETROS QUÍMICOS DE MATURAÇÃO				Zonas de Geração de HC	
Estágios de Maturação	Rank de Carvão	Ref. Vitrinita (%Ro)	IAT* IAT**	Índice de Alteração de Componente (IAC)	FLUORESCÊNCIA			Ref. do Betume Sólido (%Ro)	Tmax (°C) Rock-Eval	MPA 1	MDR		Estereo C ₂₇ -28/(C ₂₆ +28)
					Cor da Alginita	λ MAX (nm)	Alg. Tasmanita (Q)						
DIAGENESE	TURFA	0.2	1	1.5	AMARELO	AMARELO ESVERDEADO	500	0.5	0.2	0.25	0.1	0.2	Metano Biogênico e Óleo Pesado
	LINHITO	0.3											
	SUB-BETUMIN. C	0.4											
CATAGENESE	SUB-BETUMIN. A	0.5	2	2.5	LARANJA	AMARELO DOURADO	540	0.7	0.2	0.2	0.0	0.25	Óleo, Gás Líquido e Condensado
	BETUMINOSO VOLÁTIL B	0.6											
	BETUMIN. MÉDIO VOLÁTIL A	0.7	3	2.8	MARROM CLARO	AMARELO FOSCO	600	1.3	0.5	0.52	2.8	0.5	Janda de Óleo
	BETUMIN. BAIXO VOLÁTIL A	0.8											
	LOW VOLATILE BITUMIN. A	0.9											
	BETUMIN. BAIXO VOLÁTIL B	1.0	3	3.0	MARROM CLARO	LARANJA	640	1.5	1.0	0.86	5.6	0.65	Início da Geração Termogênica Principal
	BETUMIN. BAIXO VOLÁTIL C	1.1											
	BETUMIN. BAIXO VOLÁTIL D	1.2	3	3.5	MARROM	VERMELHO	680	1.7	1.5	1.38	8.2	0.6	Gás Líquido e Gás Seco
	BETUMIN. BAIXO VOLÁTIL E	1.3											
	BETUMIN. BAIXO VOLÁTIL F	1.4	3	3.5	MARROM	VERMELHO	680	1.7	1.5	1.38	8.2	0.6	Gás Líquido e Gás Seco
BETUMIN. BAIXO VOLÁTIL G	1.5												
METAGENESE	SEMI-ANTRACL.	2.0	4	3.7	MARROM ESCURO	SEM-FLUORESCÊNCIA	680	1.7	1.5	1.38	8.2	0.6	Gás Seco
	SEMI-ANTRACL.	2.5											
	ANTRACITO	3.0											
	ANTRACITO	4.0											
	ANTRACITO	5.0											
Meta-morf.	META-ANTRACL.	5.0	5	4.0	PRETO								

Figura 13: Correlação dos parâmetros geoquímicos para avaliação de maturação das amostras estudadas utilizando-se a tabela de correlação de parâmetro de maturação (Traduzido de Mukhopadhyay, 1994).

4.4 Fácies Orgânica

A partir das análises organofaciológicas e organogeoquímicas e analisando as sete fácies orgânicas que foram identificadas segundo Jones (1987), foram identificadas as fácies B, BC, C, CD, D para o intervalo de estudo.

A fácies B, correspondente às amostras P4, P6, P7, P8, P9, P11, P19, P20 mostra um predomínio do grupo Matéria Orgânica Amorfa, com baixo conteúdo do grupo Fitoclasto e do grupo Palinomorfo, apresentando conteúdos de IH variando entre 24 a 703 mg HC/g de COT, valores de COT variando de 0,71 a 9,6%. Essa fácies representa um ambiente com taxa de sedimentação variável, num regime anóxico-disóxico.

A fácies BC, correspondente às amostras P5, P15, P17, P18 e P21, mostra um conteúdo moderado do grupo Matéria Orgânica Amorfa, do grupo Fitoclasto e do grupo Palinomorfo, apresentando valores de IH variando entre 49 a 523 mg HC/g de COT e conteúdos de COT variando de 0,71 a 13,4%. Essa fácies representa um ambiente com alta taxa de sedimentação, num regime anóxico-disóxico.

A fácies C, correspondente às amostra P13, P14 e P16 mostra um conteúdo rico do grupo Fitoclasto, baixo conteúdo do grupo Matéria Orgânica Amorfa e do grupo Palinomorfo, apresentando valores de IH variando entre 134 a 358 mg HC/g de COT e conteúdos de COT variando de 1,61 a 1,96%. Essa fácies representa um ambiente com alta taxa de sedimentação, num regime óxico.

A fáceis CD, correspondente à amostra P2 e P12 mostra um conteúdo rico do grupo Fitoclasto, baixo conteúdo do grupo Matéria Orgânica Amorfa e do grupo Palinomorfo, apresentando valor de IH variando entre 76 mg HC/g de COT e conteúdo de COT variando de 0,43 a 2,45%. Essa fácies representa um ambiente com moderada taxa de sedimentação, num regime óxico.

A fácies D, correspondente às amostras P1, P10, P22 e P23, mostra um conteúdo rico do grupo Fitoclasto, baixo conteúdo do grupo Matéria Orgânica Amorfa e do grupo

Palinomorfo, apresentando valores de IH variando entre 3 a 76 mg HC/g de COT e conteúdo de COT variando de 0,27 a 1,87%. Essa fácies representa um ambiente com baixa taxa de sedimentação, num regime muito óxico.

5 CONCLUSÃO

A seção sedimentar cretácea pertencente à Formação Codó, bacia do Parnaíba (Poço 1-UN-32-PI) apresenta um predomínio do querogênio tipo II (matéria orgânica algal marinha + continental (Fitoclasto, esporos e grãos de pólen)) comprovado pelo estudo de palinofácies segundo Neves *et al.* (2008) e pela interpretação do resultado do gráfico tipo *Van Krevelen*, indicando uma excelente qualidade de matéria orgânica para geração de Hidrocarbonetos.

A avaliação do estágio de maturação térmica da seção estudada apresenta intervalos com elevado potencial de geração de hidrocarbonetos, de acordo com os resultados de COT e PG, porém de acordo com os parâmetros de maturação térmica (Índice de Coloração de Esporos, Refletância da Vitrinita (%Ro), Microespectro de Fluorescência e Parâmetros de Pirólise *Rock-Eval*), encontra-se imaturas.

As fácies orgânicas definidas para o intervalo de estudo foram às fácies B, BC, C, CD, D, mostrando um ambiente variando de água doce a salino, sendo que o salino é evidenciado por pequenas quantidades de dinocisto (alga de ambiente marinho), corroborando a idéia de ter havido uma incursão marinha no topo da formação. Há alternâncias no regime regime de oxigênio, variando de disóxico-anóxico a muito óxico e acontece um aumento da taxa de sedimentação ao longo do testemunho.

6 BIBLIOGRAFIA

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2008. Standard test methods for Sulfur in the analysis sample of coal and coke using high-temperature tube furnace combustion methods. ASTM D 4239. Publicado on-line em 01 Fev 2008. (<http://engineers.ihs.com/document/abstract/NWETIBA>).

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.

Behar, F.; Beaumont, B. De; Penteado, H. L. Rock-Eval 6 technology: performances and developments: Oil & Gas Science and Technology. *Revue de l'Institute Français du Pétrole*, v 56, p. 111-134. 2001.

Baranger, R.; Martinez, L.; J- L.; Pittion,.; Pouleau, J., 1991. A new calibration procedure for fluorescence measurements of sedimentary organic matter: *Organic Geochemistry*, Elsevier v. 17, p. 467-475.

Berner, R.A.; Raiswell, R. C/S method for distinguishing freshwater from marine sedimentary rock. *Geology*, v. 12, p. 365–368. 1984.

Bordenave, M. L.; Espitalié, J. Elemental composition of kerogens. In: BORDENAVE, M. L. (ed.). *Applied Petroleum Geochemistry*. Paris: Editions Technic. 1993. p. 334-9.

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

- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Disponível em:
http://www.geoambiente.com.br/website/cprm_geologico/viewer.htm, (Acessado em 20.abr.2005).
- Cunha, F. M. B. Evolução paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico. 1986. 107f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós- Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Espitalié, J.; Laporte, J. L. ; Madec, M. ; Marquis, F. ; Leplat, P. ; Paulet, J. ; Boutefeu, A. Methode Rapide de Caracterisation des Roches Meres de leur Potentiell Petrolier e de leur Degre d'Evolution. *Revue de l'Institute Français du Pétrole*, v. 32, p. 23-42. 1977.
- Espitalié, J. ; Deroo, G. ; Marquis, F. La pyrolise Rock-Eval et ses applications. *Revue de l'Institute Français du Pétrole*,v. 40, p. 563 579. 1986.
- Góes, A. M. O. ; Feijó, J. F. (1994). Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, Vol. 8 n. 1, p. 55-64.
- Heroux, Y.; Chagnon, A.; Bertrand, R., 1979. Compilation and correlation of major thermal Maturation Indicators. –Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. (AAPG), 63, 2128-2144
- Hunt, J. M., 1979, Petroleum Geochemistry and Geology: San Francisco, W. H. Freeman and Co., 617 p.

- Jones, R. W. 1987. Organic Facies. *In: Brooks, J. & Welts, D. (eds.). Advances in Organic Geochemistry*, Academic Press, 2: 1-90.
- Kegel, W. As inconformidades da bacia do Parnaíba e zonas adjacentes. Bol. DNPM/DGM,160. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, 59P. 1956.
- Klemme, H. D. Petroleum basins – classification and characteristics. *J. Petr. Geol.*, v.3, n.2, p.187–207, 1980.
- 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; Araujo, C.V.; Borrego, A. G.; Cook, A.; Flores, D.; Hackleu, P.; Hower, J.; Kern, M.L.; Kus, J.; Mastalerz, M.; Mendonça, J.O.; Menezes, T.R.; Souza, I.V.A.F.; Suarez-Ruiz, I., 2009. Report on Organic Matter Concentration Working Group (OMCWG 2009). *In Press*.

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.*

Menezes, T. R.; Mendonça Filho, J.G; Araujo, C. V.; Souza, I. V. A. F.; Mendonça, J. O. . Fácies orgânica: conceitos, métodos e estudos de casos na indústria do petróleo. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 38, p. 80-96, 2008

Mukhopadhyay, P. K. Vitrinite reflectance as a maturity parameter: Petrographic and molecular characterization and its applications to basin modelling. *In: MUKHOPADHYAY, P. K.; DOW, W. G. (eds). Vitrinite Reflectance as a Maturity Parameter — Applications and Limitations ACS Symposium. v. 570, p. 1–24. 1994.*

Neves, I. A; Mendonça Filho, J. G.; Souza, I. V. A. F. Aplicação da palinofácies na caracterização paleoambiental da Formação Codó, cretáceo da Bacia do Parnaíba. 2008. Trabalho de conclusão de curso. (Bacharelado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 41p.

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.*

Ottenjann, K.; Teichmüller, M.; Wolf, M., 1975. Spectral fluorescence measurements of sporinites in reflected light and their applicability for coalification studies. *In: Alpern B. (Eds), Petrographie de la Matière Organique des Sediments, Relations avec la*

Paleotemperature et le Potentiel Petrolier. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris. 49-65 pp.

Pedreira, A. J.; Lopes, R. C; Vasconcelos, A. M; Bahia, R. B. C. Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Org.). Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. 1a. ed. Brasília: Editora UnB, 2003, v. 1, p. 55-85.

Peters, K. E. 1986. Guidelines for Evaluating Petroleum Source Rock using Programmed Pyrolysis. AAPG Bulletin 70 (3): 318-329.

Rodrigues, R. Estudo sedimentológico e estratigráfico de depósitos silurianos e devonianos da Bacia do Parnaíba. Petrobras. Rel. Interno, Belém, v.273, 61p. 1967.

Rodrigues, R. A Geoquímica Orgânica na Bacia do Parnaíba. 1995. 225f. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Souza-Lima, W. & Hamsi JR, G. P. 2003. Bacias sedimentares brasileiras: Bacias da margem continental. *Phoenix*, 50: 1-4

Tissot, B.P.; Welte, D. H. *Petroleum Formation and Occurrence*. 2ª ed. Berlin: Springer-Verlag. 1984.

- Tuweni, A. O. & Tyson, R. V. (1994). *Organic facies variations in the Westbury Formation (Rhaetic Bristol Channel, SW England)*. *Organic Geochemical*. V.21 N: 10 - 11, p. 1001-1014.
- 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.
- Tyson, R. V. 1996. Sequence-stratigraphical interpretation of organic facies variations in marine siliciclastic systems: general principles and application to the onshore Kimmeridge Clay Formation, UK. *In: HESSELBO, S. P.; PARKINSON, D. N. (Ed.). Sequence stratigraphy in British Geology*. London: Geological Society, 1996. p. 75-96 (Geological Society of London. Special Publication, # 103).
- United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA), 2002. Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. Ecological Risk Assessment Support Center. NCEA-C-1282 Las Vegas: Office of Research and Development.
- Van Krevelen, D.W. 1961. *Coal: Typology-Chemistry-Physics - Constitution*. Amsterdam, Elsevier, 514p.
- Vaz, P. T.; Rezende, N. G. A. M.; Wanderley Filho, J. R.; Travassos, W. A. S. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 253-263, maio/nov. 2007