

Análise de Biomarcadores de uma seção sedimentar jurássica (Formação Cabo Carvoeiro) da Bacia Lusitânica, Portugal

Marcelo de Oliveira Bossan^{1*}; Taís Freitas da Silva¹; João Graciano Mendonça Filho¹; Luis Vitor Duarte²

¹Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânica (LAFO). Departamento de Geologia, Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Av. Athos da Silveira, 274 - prédio do CCMN, sala JI-20. Campus Ilha do Fundão - Cidade Universitária. CEP 21.949-900, Rio de Janeiro, RJ - Brasil.

²IMAR, Universidade de Coimbra, Portugal

*marcelobossan@yahoo.com.br

Resumo

A Bacia Lusitânica está localizada na borda oeste da Placa Ibérica, e apresenta uma espessura máxima de aproximadamente 5 km de sedimentos. Tal bacia possui uma relevante representação do Jurássico Inferior, tendo a região de Peniche como uma área de destaque devido à espessura de sedimentos depositados entre o Sinemuriano e o Toarciano. Este trabalho teve como objetivo analisar a fração orgânica molecular (betume) presente em 12 amostras de extrato de rocha da Bacia Lusitânica coletadas em afloramentos na região de Peniche. A análise cromatográfica das amostras apresentou distribuição de hidrocarbonetos na faixa de nC_{17} a nC_{23} , caracterizando matéria orgânica tipicamente marinha, e ainda, com exceção das amostras 32 e 77, apresentaram uma distribuição bimodal, caracterizando matéria orgânica transicional, fontes essas indicadas também pela distribuição no diagrama ternário dos esteranos regulares $C_{27} - C_{28} - C_{29}$. As amostras apresentaram variações nas condições de oxigenação e redox, evidenciado pelas razões dos isoprenóides Pristano e Fitano (Pr/Fi), e Pristano/ $n-C_{17}$. Nas análises de terpanos e esteranos os resultados indicaram que as amostras estudadas são imaturas ou estão entrando na janela de geração.

Palavras-chave: Biomarcadores, Toarciano, Peniche, Jurássica, Lusitânica.

1. Introdução

A Bacia Lusitânica está localizada na margem oeste da Placa Ibérica e pertence a um conjunto de bacias oceânicas marginais atlânticas. Limita-se a leste com o embasamento Herciniano (Maciço Hespérico) através da falha de Porto – Tomar, para sul esta falha inflete para SO (Falhas de Arrife – Vale inferior do Tejo) e para SE (Falha de Setúbal – Pinhal Novo). A oeste o limite é representado pelos *horsts* aflorantes nas ilhas das Berlengas e Farilhões (Azeredo *et al.*, 2002, 2003). Sua formação está associada à fragmentação de Pangéia, mais especificamente a abertura do Oceano Atlântico Norte (J. C. Kullberg *et al.*, 2006) (Fig. 1). A bacia possui cerca de 300 km de comprimento e 150 km de largura, incluindo a parte submersa de aproximadamente 5 km de espessura, e ainda orientação NE-SO (Ribeiro *et al.*, 1979; Wilson, 1988; Azerêdo *et al.*, 2003).

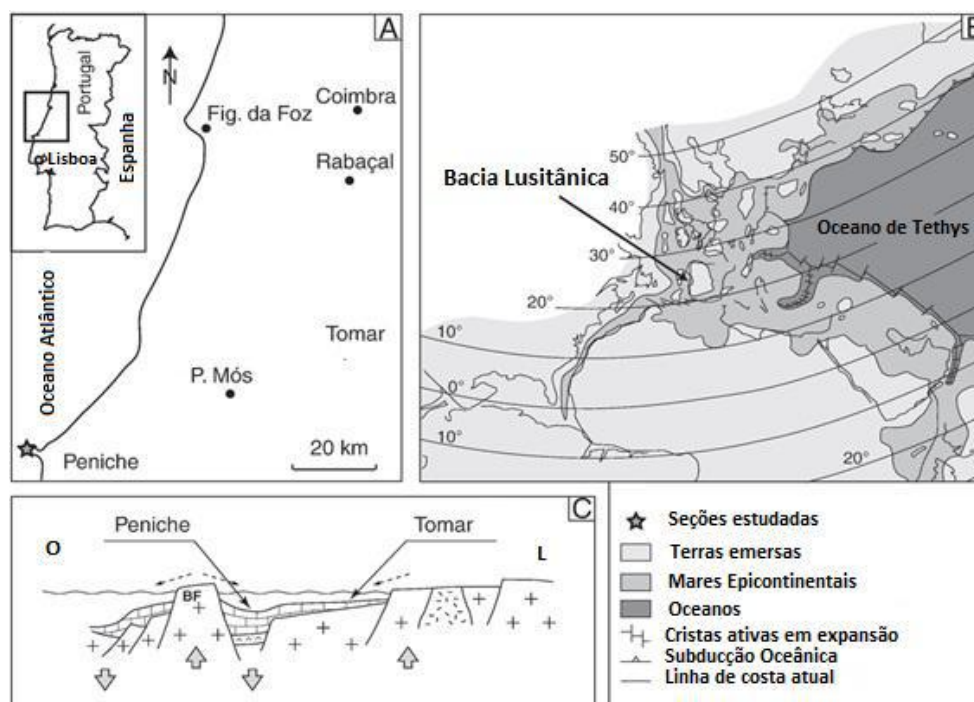


Fig. 1. (A) Local de estudo; (B) Paleogeografia da margem oeste do oceano de Tethys durante o Jurássico Inferior e localização da Bacia Lusitânica; (C) Morfologia e estrutura da Bacia Lusitânica durante o Toarciano Inferior (modificado após Vanney & Mougnot, 1981). BF: *horsts* das Berlengas e Farilhões.

A cerca de 100 km a norte de Lisboa está localizada a região de Peniche, que apresenta uma boa exposição de séries margo-calcárias características do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica e que marcam a fase inicial de sedimentação carbonática (Duarte, 2003, 2004). Essa região apresenta uma das seções estratigráficas mais importantes para o estudo do Jurássico de Portugal, com mais de 450 metros de espessura, distribuída entre o Sinemuriano e o Toarciano (Duarte *et al.* 2004), e tem sua importância ainda caracterizada pela indicação da *International Subcommission on Jurassic Stratigraphy* como candidato ao GSSP (*Global Stratotype Section and Point*) do Toarciano, na seção que abrange o limite Pliensbaquiano - Toarciano do perfil de Peniche (localidade da Ponta do Trovão) (Elmi *et al.*, 1996).

A série estratigráfica jurássica de Peniche abrange parte do Sinemuriano até a base do Jurássico Médio e apresenta uma sucessão de rochas sedimentares carbonatadas, compostas predominantemente por margas, que compõem as formações de Coimbra, Água de Madeiros, Vale das Fontes, Lemedo e Cabo Carvoeiro. Sendo as três últimas unidades com seu perfil-tipo em Peniche (Fig. 2) (Duarte & Soares, 2002).

Cronoestratigrafia			Biozonas de Amonites	Duarte & Soares (2002)					
				Generalidade da Bacia		Peniche / S. Pedro de Moel			
JURÁSSICO	INFERIOR (= LIAS)	MÉDIO (COGGER)	AALENIANO	Opalinum	Calcários de Póvoa da Lomba		Fm. do Cabo Carvoeiro	Membro C. Carvoeiro 5	
			TOARCIANO	Superior					Aalensis Meneghini Speciosum Bonarellii
		Médio		Gradata Bifrons	Margas e calcários margosos com bioconstruções de esponjários	Membro C. Carvoeiro 3			
		Inferior		Levisoni	Margas e calcários margosos com <i>Hildites</i> e <i>Hildoceras</i>			Membro C. Carvoeiro 2	
					Polymorphum	Margo-calcários com fauna de <i>Leptaena</i>		Membro C. Carvoeiro 1	
		PLIENSBACQUIANO	Domeriano	Spinatum Margaritatus	Formação de Leme de				
				Davoei	Fm. de Vale das Fontes	Margo-calcários com fácies betuminosas		Fm. de Vale das Fontes	Margo-calcários com níveis betuminosos
			Carixiano	Ibex		Margas e calcários grumosos			Margas e calcários grumosos
				Jamesoni	Margas e calcários com <i>Uptonia</i> e <i>Pentacrinus</i>	Margas e calcários com <i>Uptonia</i> e <i>Pentacrinus</i>		Mb. Praia Pedra Lisa	
		SINEMURIANO	Superior (Lotaringiano)	Raricostatum Oxynotum Obtusum	Fm. de Coimbra	Camadas de S. Miguel		Fm. de Água de Madeiros	Membro de Polvoeira
Inferior			Camadas de Coimbra s.s.	Camadas de Coimbra s.s.					

Fig. 2. Unidades Litoestratigráficas propostas por Duarte & Soares (2002) para o Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica.

A Formação Cabo Carvoeiro ocorre exclusivamente em Peniche e é subdividida em 5 membros, sendo dois deles característicos do Toarciano Inferior, os Membros Cabo Carvoeiro 1 e 2.

O Membro Cabo Carvoeiro 1 tem aproximadamente 11 metros de espessura sendo composto por margas cinzentas-esverdeadas, decimétricas, localmente micáceas e laminadas, alternadas com calcários margosos (biomicritos argilosos/*wackestone*), com abundância e diversidade macrofaunística.

O Membro Cabo Carvoeiro 2 apresenta cerca de 25 metros de espessura compostos por uma associação vertical de fácies, como margas cinzentas, localmente betuminosas, siltosas e arenosas; calcários margosos, micríticos e arenosos; arenitos e conglomerados sub-arcóseos com cimento carbonático (Duarte & Soares, 2002). Possui localmente fragmentos de matéria orgânica de origem continental. As fácies detríticas apresentam granodrecrescência ascendente e marcas de carga, sugerindo deposição turbidítica (Wright & Wilson, 1984). Apresenta pobre registro fóssilífero.

Este trabalho teve como objetivo caracterizar o ambiente de sedimentação e a maturação térmica através de análises de, composição molecular (biomarcadores) e Carbono Orgânico Total (COT), feita em 12 amostras da Formação Cabo Carvoeiro.

2. Materiais e métodos

Foi realizada análise geoquímica orgânica, de carbono orgânico total (COT) e biomarcadores, em 12 amostras da Formação Cabo Carvoeiro, coletadas ao longo de aproximadamente 25 metros da seção Toarciano Inferior de Peniche. Tais amostras abrangem os membros Cabo Carvoeiro 1 e 2.

2.1. Carbono Orgânico Total (COT)

A determinação do conteúdo de carbono orgânico total da rocha foi obtido pelo uso de um analisador de carbono elementar, que converte CO₂, proveniente da combustão da matéria orgânica total, em valores de carbono orgânico. Anteriormente ao procedimento analítico de quantificação, deve ser realizada a eliminação do carbono inorgânico na forma de carbonato.

Foram pesados 0,26g da amostra, previamente pulverizada, em um recipiente de porcelana filtrante de massa conhecida. As amostras foram então acidificadas com HCl 1:1 a frio e assim permaneceram por 24 horas para eliminação de todo carbonato.

Após, foi realizada uma lavagem, durante uma hora, com água destilada quente para eliminação dos cloretos, e depois, com água destilada em temperatura ambiente, até que o pH ficasse próximo a 6. Obtendo-se o resíduo insolúvel (RI), expresso em porcentagem, que caracteriza a fração de amostra não eliminada no tratamento com ácido.

As amostras foram colocadas para secar em estufa a 65 °C por 3 horas, e após o resfriamento, os recipientes foram pesados novamente e iniciou-se a segunda etapa do processo, que é a combustão total, feita em um analisador SC-144DR – LECO.

As amostras foram levadas a um forno numa atmosfera de oxigênio à temperatura de 1350°C. A combinação da temperatura com o fluxo de oxigênio leva a amostra à combustão total, e o COT foi obtido com a medição da quantidade de CO₂ gerada nesse processo, através de uma leitura feita por uma célula de infravermelho.

2.2. Composição Molecular (biomarcadores)

Aproximadamente 30g de amostra foi extraída em *Soxhlet* usando diclorometano como solvente. O extrato obtido (betume) foi evaporado e transferido para um béquer previamente pesado. No processo seguinte, o betume das amostras sofreu fracionamento através da cromatografia líquida em uma coluna de vidro utilizando sílica como fase sólida (70-230 mesh). Os hidrocarbonetos saturados foram obtidos pela eluição com 6 ml de hexano, os hidrocarbonetos aromáticos com 10 ml de uma mistura hexano/diclorometano (8:2) e os compostos polares com 10 ml de uma mistura diclorometano/metanol

(8:2). Os hidrocarbonetos saturados foram analisados por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-EM).

2.3.CG-EM

Os hidrocarbonetos saturados foram analisados em um cromatógrafo a gás (CG) *Agilent Technologies* (Palo Alto, CA, EUA) modelo 7890A acoplado a um espectômetro de massas triplo quadrupolar (EM/EM) *Agilent Technologies* (7000A) com detector de triplo eixo.

Para separação cromatográfica dos compostos foi utilizado uma coluna capilar (30 m x 0,25 mm d.i; $df = 0,25 \mu\text{m}$) constituída por uma fase estacionária de 5% fenil-95% metilsilicone (DB-5, *Agilent Technologies*). Hélio foi utilizado como gás carreador, em módulo de vazão constante a 1,2 mL/min. Modo de injeção sem divisão de fluxo (1 μL), com injetor a uma temperatura de 280°C.

As seguintes condições de análise cromatográfica foram empregadas: temperatura inicial do forno 70 °C, em seguida programada para elevar-se a 170 °C a 20 °C/min, depois a 310 °C, a 2 °C/min (10 minutos). Temperatura da linha de transferência de 280 °C.

As condições de operação do espectômetro de massas foram: temperatura da fonte iônica de 280 °C; temperatura do quadrupolo de 150 °C; voltagem de ionização de 70 eV.

A análise foi realizada no modo monitoramento seletivo de íons (MSI), sendo monitorados os íons m/z 85 para os *n*-alcanos, m/z 191 para os terpanos e m/z 217 e 218 para os esteranos.

3. Resultados e Discussão

3.1. Carbono Orgânico Total

A quantidade de petróleo que pode ser gerada em uma bacia sedimentar é dependente do teor e da qualidade da matéria orgânica preservada. De acordo com a literatura valores maiores que 1% de COT, em folhelhos, são considerados como razoáveis alvos para a exploração. Porém em carbonatos, valores acima de 1% de COT já podem ser avaliados como de excelente potencial (Espitalié *et al.* 1977; 1985). Contudo, altos valores de COT não são suficientes para caracterizar uma rocha como geradora de hidrocarbonetos, isso também vai depender da evolução térmica da matéria orgânica.

Os valores de COT para o perfil analisado, na sua maioria, apresentaram valores abaixo de 1%, com apenas duas exceções, as amostras 9 e 77, com valores de 16,31% e 2,72% respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de COT (% Carbono) e resíduo insolúvel (%RI).

Amostras	% Carbono	%RI
77	2,72	40
73	0,93	72
32	0,47	77
PTR 5	0,44	75
28a	0,40	76
27 Topo	0,92	55
17 Base	0,71	54
14 + 0.50	0,40	55
14 + 0.10	0,50	47
9b	0,72	44
9	16,31	57
7	0,69	50

Essas variações nos valores de COT podem ser associadas a alterações nas condições deposicionais da matéria orgânica. Segundo Oliveira *et al.* (2006), um ambiente de sedimentação onde ocorreram eventos que possibilitaram a preservação da matéria orgânica, considerando o fato de serem amostras pouco evoluídas termicamente, depositadas em ambiente marinho.

Comparando com outros locais na Europa, a sedimentação margo-calcária ocorrida no Toarciano Inferior da Bacia Lusitânica mostra-se muito pobre em matéria orgânica (Oliveira *et al.*, 2006).

Apesar das amostras 9 e 77 apresentarem potencial para geração de hidrocarbonetos, ao contrário das demais, o baixo grau de maturação térmica não torna isso possível.

3.2 Composição molecular (Biomarcadores)

Através da análise cromatográfica foram utilizados alguns parâmetros de correlação entre biomarcadores para a avaliação do grau de maturação térmica das amostras estudadas (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros de correlação obtidos pela análise de biomarcadores.

Amostras	Ts/Tm	M30/H30	H32S/(R+S)	S / R (C29 $\alpha\alpha$)	$\beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta)$
77	0,00	0,64	0,47	0,13	0,00
73	0,00	0,66	0,57	0,03	0,31
32	0,00	0,71	0,56	0,09	0,17
PTR 5	0,00	0,58	0,47	0,17	0,24
28a	0,02	0,69	0,58	0,47	0,50
27 Topo	0,02	0,57	0,52	0,31	0,23
17 Base	0,00	0,62	0,49	0,19	0,19
14 + 0.50	0,00	0,62	0,46	0,18	0,04
14 + 0.10	0,00	0,58	0,51	0,00	0,33
9b	0,05	0,45	0,54	0,05	0,09
9	0,03	0,46	0,53	0,07	0,24
7	0,02	0,54	0,57	0,05	0,13

Entre os terpanos geralmente é utilizada a relação entre compostos de configuração biológica e geológica para análise de maturação térmica. Como por exemplo, a razão entre os epímeros $17\alpha(\text{H})$, $21\beta(\text{H})\text{-H32}$ (22R) (isômero biológico) e $17\alpha(\text{H})$, $21\beta(\text{H})\text{-H32S}$ (22S) (isômero geológico) é bastante utilizada como parâmetro de maturação, pois com o aumento da maturação ocorre uma predominância do composto de configuração geológica. Nas amostras estudadas, a relação entre esses compostos ($\text{H}_{32}\text{S}/\text{S}+\text{R}$; Tabela 2) apresentou valores variando de 0,46 a 0,58, sendo que, a faixa de equilíbrio para geração de óleo varia entre 0,57 e 0,62 (Seifert & Moldowan, 1986). Sendo assim, podemos observar na Tabela 2 que as amostras 7, 28a, 32 e 73 estão no início da janela de geração, ao contrário das demais que sugerem imaturidade térmica.

A razão entre os estereoisômeros trisnorneohopano e trisnorhopano (T_s/T_m), nas amostras analisadas, quando presentes, apresentou valores muito baixos que não ultrapassaram 0,05, o que, segundo Seifert & Moldowan (1980), indica o baixo grau de evolução térmica das amostras estudadas. Um exemplo da relação entre T_s e T_m pode ser observado na amostra 9, Fig. 3.

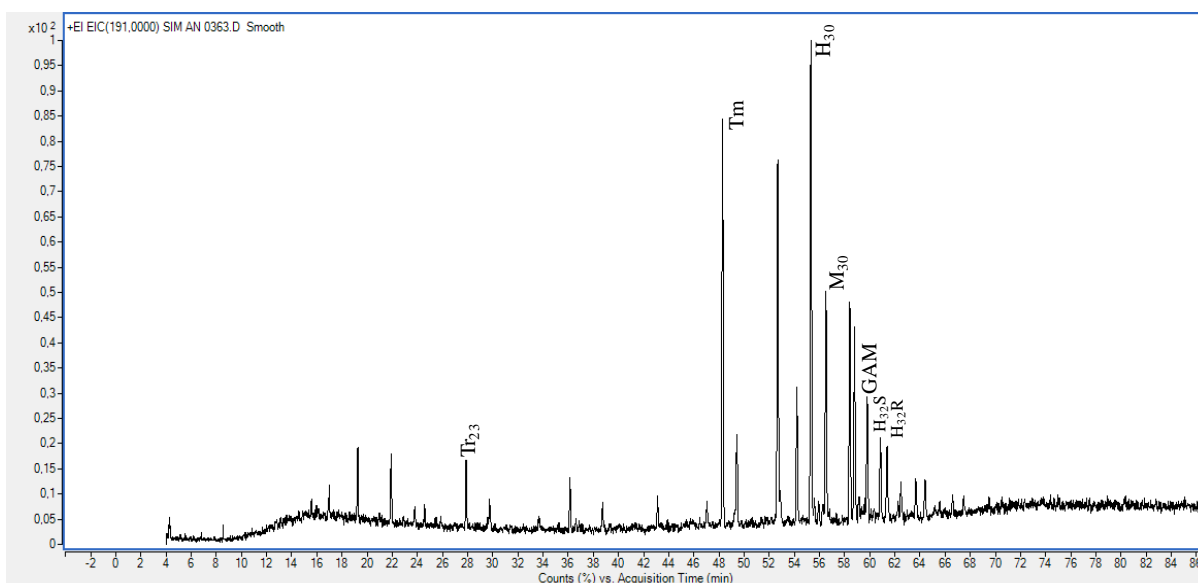


Fig. 3. Cromatograma de massas do íon m/z 191 para análise de terpanos da amostra 9 (Membro Cabo Carvoeiro 1).

Esse resultado associado aos altos valores da razão moretanos($17\beta,21\alpha(\text{H})$)/hopanos($17\alpha,21\beta(\text{H})$) ($\text{M}_{30}/\text{H}_{30}$), que teve seu resultado variando de 0,45 a 0,71, reforçaram a sugestão de imaturidade das amostras, considerando que os moretanos são termicamente menos estáveis que os hopanos, fazendo com que essa razão decresça com a maturidade térmica (Peters *et al.*, 2005).

Assim como os terpanos, os esteranos são bastante utilizados nas análises de maturação térmica através das correlações entre os epímeros biológicos e geológicos. Nas amostras estudadas foram calculadas as razões $\text{S}/\text{R}(\text{C}_{29}\alpha\alpha)$ e $(\text{S}+\text{R})\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ para C_{29} esterano (Tabela 2) com base nos esteranos analisados no cromatograma de massas do íon m/z 217 (Fig. 4).

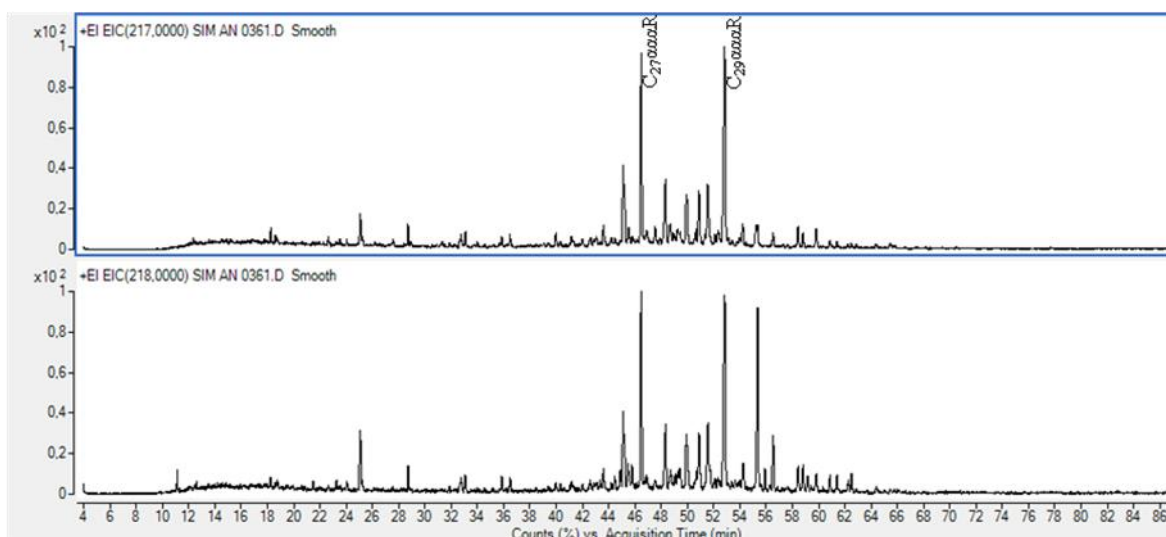


Fig. 4. Cromatograma de massa do íon m/z 217 para análise de esteranos da amostra 73.

Para a razão $S/R(C_{29}\alpha\alpha\alpha)$, os valores obtidos nas amostras analisadas variaram de 0,03 a 0,47, mostrando assim que nenhuma das amostras atingiu a faixa de equilíbrio, que tem valores entre 0,52 e 0,55 (Seifert & Moldowan, 1986). E ainda para a razão $(S+R)\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$, os valores calculados variaram de 0,00 a 0,50, não atingindo também a faixa de equilíbrio (0,67 a 0,71) (Seifert & Moldowan, 1986). Ambas as razões apresentam elevação dos seus valores com o aumento da maturação térmica devido a isomerização de epímeros biológicos(R) em geológicos(S).

Com a correlação entre os parâmetros de isomerização de centros assimétricos do C_{29} esterano (Fig. 5) é possível avaliar que as amostras se encontram em um estágio imaturo de evolução térmica, e não atingem a faixa de equilíbrio para geração de óleo.

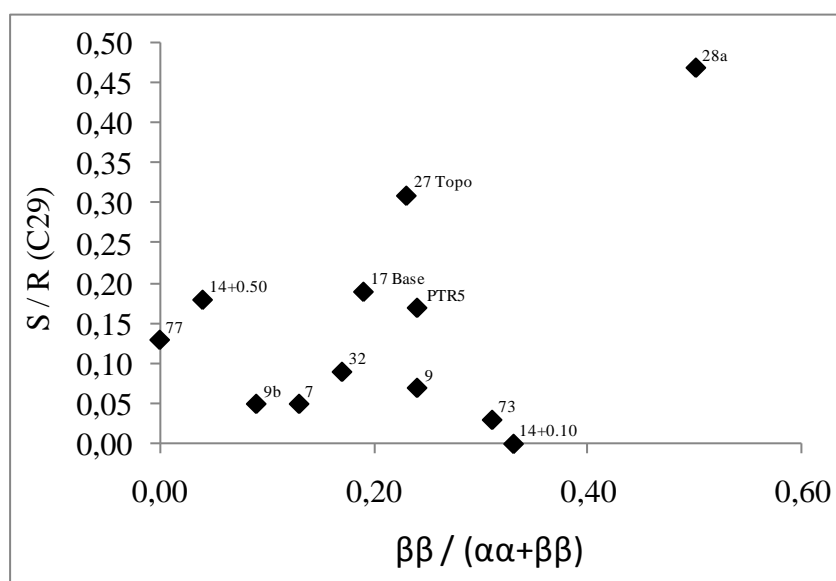


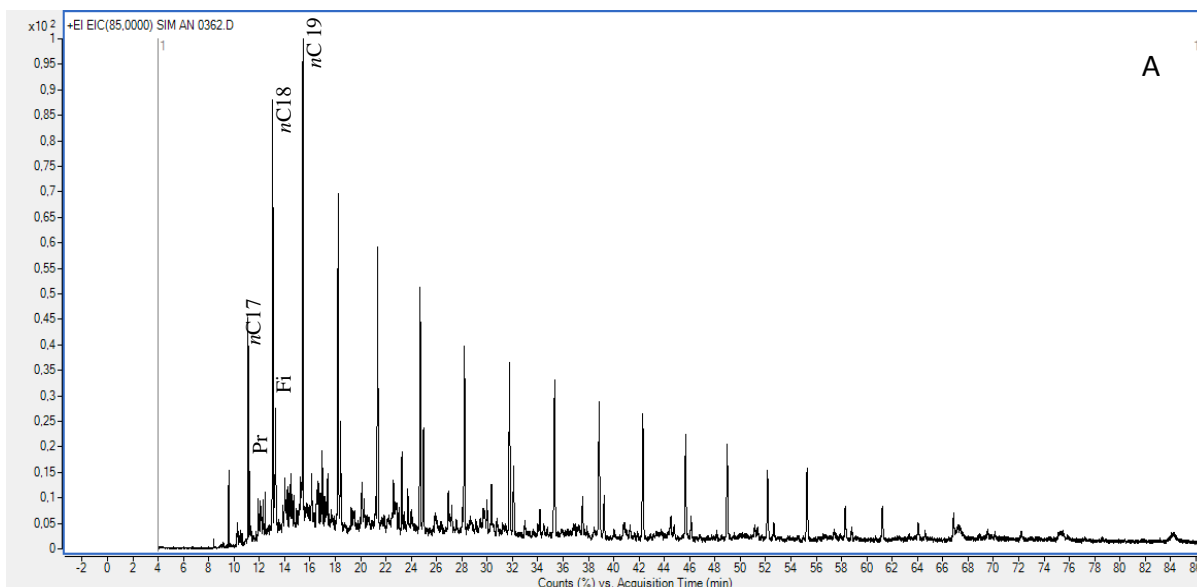
Fig. 5. Correlação entre parâmetros de maturação $S/(S+R)$ (C_{29}) e $\beta\beta / (\beta\beta+\alpha\alpha)$ para análise de esteranos nas amostras estudadas.

A avaliação do ambiente deposicional foi caracterizada com base na análise de biomarcadores específicos, assim como razões calculadas a partir desses (Tabela 3).

Tabela 3. Razões calculadas para biomarcadores específicos de ambiente deposicional.

Amostras	SAT/ARO	Pr\Fi	Pr\C17	Fi\C18	%27 aaa R	%29 aaa R	C27 aaaR/C29 aaaR
77	0,00	2,04	2,99	1,23	60,98	28,67	2,13
73	0,20	2,88	0,65	0,17	34,10	51,53	0,66
32	3,00	0,50	0,28	0,24	25,83	65,83	0,39
PTR 5	2,66	0,55	0,69	0,37	33,18	55,38	0,60
28a	3,00	0,71	0,32	0,31	45,25	28,96	1,56
27 Topo	1,00	0,53	0,35	0,18	42,81	57,19	0,75
17 Base	0,67	1,60	0,51	0,17	34,36	54,07	0,64
14 + 0.50	1,00	0,39	0,46	0,37	48,00	40,00	1,20
14 + 0.10	1,00	0,29	0,48	0,37	50,00	50,00	1,00
9b	0,50	0,83	0,49	0,42	39,57	60,43	0,65
9	2,00	0,54	0,44	0,42	41,21	55,91	0,74
7	0,29	1,94	0,53	0,21	45,37	53,67	0,85

Através da análise do cromatograma de massas do íon m/z 85 foi possível perceber que a maioria das amostras apresentam um perfil de distribuição para os n -alcanos formado predominantemente por nC_{17} até nC_{23} (Fig. 6a), o que caracteriza uma matéria orgânica tipicamente marinha (Tissot & Welte, 1984), e ainda, com exceção das amostras 32 e 77, todas as outras apresentaram também uma distribuição bimodal, caracterizando matéria orgânica transicional, derivadas tanto de fonte marinha quanto continental (Fig. 6b).



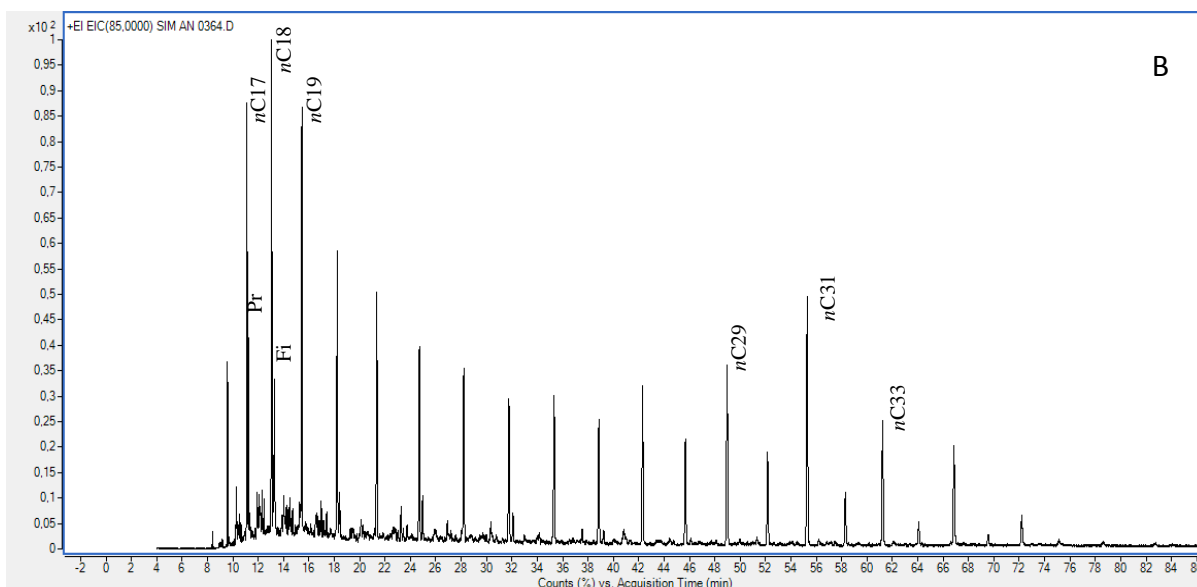


Fig. 6. Cromatograma de massas do íon m/z 85. (A) Amostra 32, predomínio dos n -alcanos C_{17} até C_{23} , caracterizando matéria orgânica tipicamente marinha. (B) Amostra 9b, padrão bimodal característico de matéria orgânica tanto de fonte marinha quanto continental.

Para a razão entre os hidrocarbonetos Saturados/Aromáticos, as amostras 9, 28a, PTR5 e 32 apresentaram valores acima de 2, que são característicos de ambiente marinho deltaico, sugerindo assim uma maior influência continental. As demais amostras apresentaram valores que alternaram entre um ambiente marinho carbonático, com valores entre 0,3 e 1,5, e um ambiente marinho mais profundo, com valores entre 1 e 2 (Tissot & Welte, 1984). Resultado esse que sugere variações no nível da coluna de água no ambiente paleodeposicional.

Já em relação à razão dos isoprenóides Pristano e Fitano (Pr/Fi), podemos sugerir um ambiente de deposição subóxico-óxico, e associar suas variações ao tipo de matéria orgânica depositada. Observando o perfil estratigráfico podemos notar que as amostras localizadas mais ao centro, próximas ao limite entre os Membros Cabo Carvoeiro 1 e 2, concentram uma maior característica de deposição anóxica e isso pode ser associado ao Evento Anóxico Oceânico do Toarciano Inferior (Fig. 7).

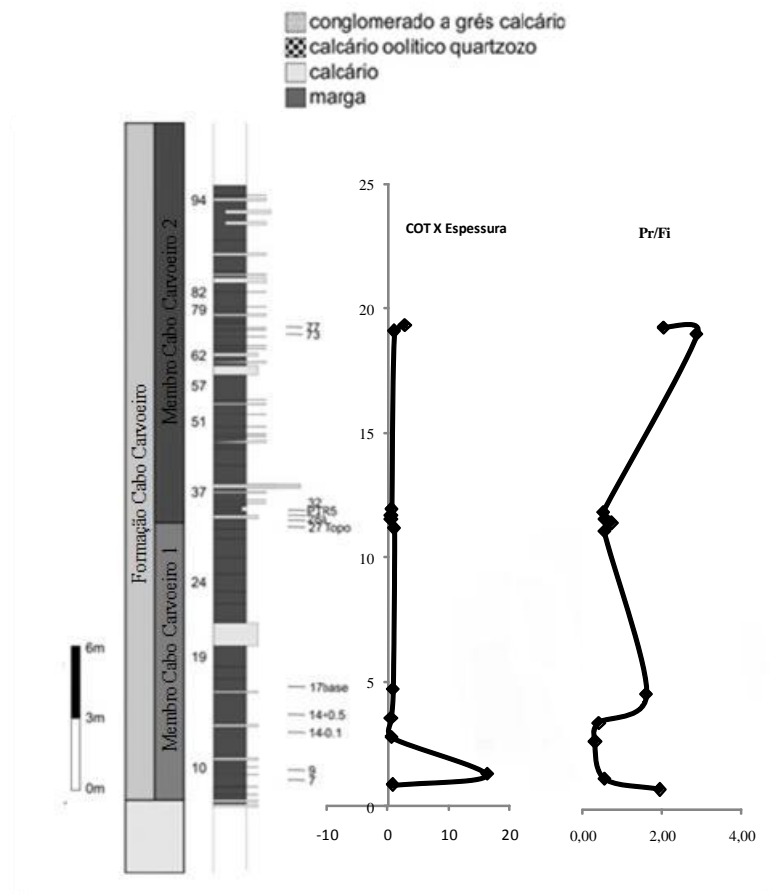


Fig. 7. Perfil estratigráfico das amostras analisadas na Formação Cabo Carvoeiro.

Evento esse caracterizado por duas excursões negativas, respectivamente, na base dos Membros Cabo Carvoeiro 1 e 2, intervaladas por excursões positivas, na curva de variação do $\delta^{13}\text{C}$ (‰). Essas variações ilustram uma perturbação global do ciclo do carbono, associada ao evento anóxico oceânico (Hesselbo *et al.*, 2007).

A razão Pr/Fi foi ainda correlacionada com a razão Hopanos/Esteranos e, com exceção da amostra 77 que apresentou valor de 1,93, todas apresentaram valores acima de 7 indicando deposição de matéria orgânica terrestre e/ou microbialmente retrabalhada (Mello *et al.*, 1988 a e b; Peters *et al.*, 2005) (Fig. 8).

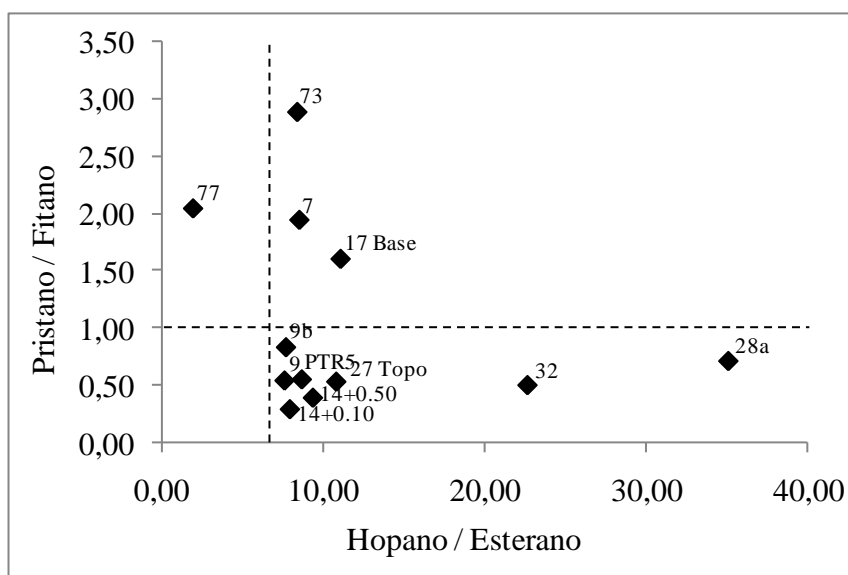


Fig. 8. Correlação entre os parâmetros Hopanos/Esteranos (Hop/Est) e Pristano/Fitano (Pr/Fi) para as amostras analisadas.

Esse resultado evidencia a influência de sedimentos continentais, que segundo Hesselbo *et al.*(2007) são re-depositados por fluxos de gravidade, alimentados por um bloco *horst* da plataforma de Berlenga-Farilhões, no limite oeste da bacia, causando assim um aumento de percentual de resíduo insolúvel (Tabela 1), caracterizado também pelo aumento de sedimentos siliciclásticos, que caracterizam o Membro Cabo Carvoeiro 2.

Com base na razão pristano/ n -C₁₇, podemos reafirmar as variações nas condições de oxigenação e redução, dito anteriormente, já que, com exceção da amostra 77, todas as outras apresentaram valores menores do que 1, típico de ambiente com alternância de condições redutora/oxidante (Lijmbach, 1975).

A relação entre os esteranos regulares C₂₇-C₂₈-C₂₉ de configuração 5 α (H), 14 α (H), 17 α (H) – 20R ($\alpha\alpha\alpha$ R) (Fig. 9) também foi utilizada para inferir sobre as características paleoambientais dos extratos orgânicos. Os resultados observados dessa correlação indicam uma maior predominância dos compostos C₂₇ e C₂₉ esteranos, o que também pode ser um indicativo da contribuição de matéria orgânica marinha e terrestre, respectivamente, embora C₂₉ esterano possa ser também derivado de certas algas marinhas (Volkman, 1986).

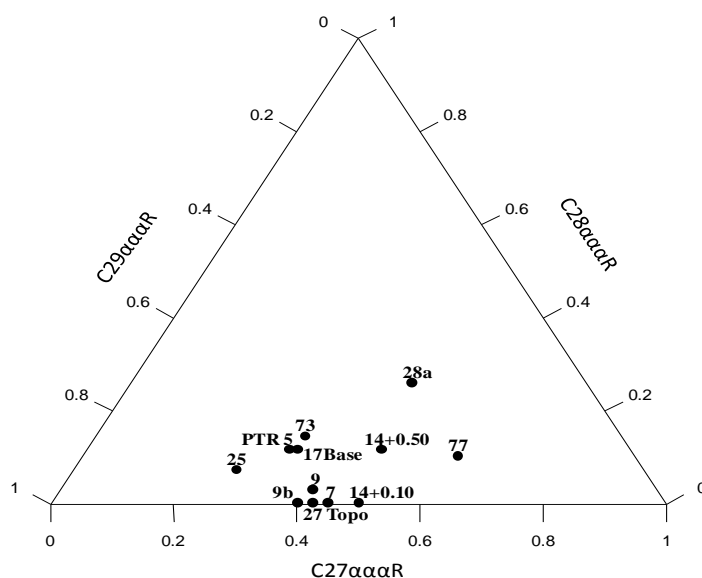


Fig. 9. Diagrama ternário da correlação entre esteranos regulares C_{27} - C_{28} - C_{29} de configuração $\alpha\alpha\alpha$ - $20R$.

4. Conclusão

As análises de geoquímica orgânica realizadas nas amostras da Formação do Cabo Carvoeiro, datadas do Jurássico Inferior, provenientes da Região de Peniche, na Bacia Lusitânica, indicaram um ambiente deposicional de característica marinha com influência continental, com variações nas condições de oxigenação e redução. O perfil de distribuição dos n -alcanos e o diagrama ternário dos esteranos regulares $C_{27} - C_{28} - C_{29}$, indicaram que a matéria orgânica teve origem variando de marinha à transicional (matéria orgânica de fonte marinha e terrestre).

A razão entre os hidrocarbonetos saturados/aromáticos evidenciou a maior contribuição de sedimentos continentais no membro 2 da Formação Cabo Carvoeiro, assim como, a razão Hopano/ Esterano.

As razões de Pr/Fi confirmaram a influência do Evento Anóxico Oceânico do Toarciano Inferior, além de sugerir as variações nas condições de oxigenação e redução, que foram confirmadas pela razão pristano/ n - C_{17} , que também reafirmou a contribuição de sedimentos continentais.

As análises de terpanos e esteranos indicaram que as amostras estudadas são imaturas ou estão no início da janela de geração, corroboradas pelas razões $C_{32}S / (S+R)$, Ts/Tm , $S/R C_{29}(\alpha\alpha\alpha)$ e $(S+R) \beta\beta / (\beta\beta + \alpha\alpha)$ que tiveram como resultados baixos valores, associados aos altos valores de M_{30}/H_{30} .

Apesar das amostras 9 e 77 apresentarem valores de COT com potencial para geração de hidrocarbonetos, o baixo grau de maturidade térmica das amostras torna isso inviável.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudo Tecnológico (COPPETEC), ao Instituto do Mar (IMAR), aos colaboradores do Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânica (LAFO). Instituições e pessoas que viabilizaram o presente trabalho.

Referências

- Azerêdo A. C., Wright V. P. & Ramalho M. M. 2002. The MiddleLate Jurassic forced regression and disconformity in central Portugal: eustatic, tectonic and climatic effects on a carbonate ramp system. *Sedimentology*, Oxford, 49 (6), pp. 1339-1370.
- Azerêdo A.C., Duarte L.V., Henriques M.H., Manuppella G. 2003. Da dinâmica continental no Triássico aos mares do Jurássico Inferior e Médio. *Cadernos de Geologia de Portugal*, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 43p.
- Didyk B.M., Simoneit B.R.T., Brassell S.C. & Eglinton G. 1978. Organic Geochemical Indicators of Paleoenvironmental Conditions of Sedimentation. *Nature*, **272**: 216-222
- Duarte L.V. & Soares A.F. 2002. Litostratigrafia das séries margo-calcárias do Jurássico inferior da Bacia Lusitânica (Portugal). *Com. Instituto Geológico e Mineiro*, **89**: 135-154.
- Duarte L.V. 2003. Variação de Fácies, Litostratigrafia e Interpretação Sequencial do Liásico Médio e Superior ao Longo da Transversal Tomar-Peniche (Portugal). *Resumos Alargados do VI Congresso Nacional de Geologia, Ciências da Terra (UNL)*, Lisboa, n° esp. V, CD-Rom: A53-A56.
- Duarte L. V. 2004. The geological heritage of the Lower Jurassic of Central Portugal: selected sites, inventory and main scientific arguments. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, Milan, v. 110, n. 1, p.381-387.
- Duarte L. V. (Coord.), Wright V. P., Fernández Lopéz S., Elmi S., Krautter M., Azerêdo A. C., Henriques M. H., Rodrigues R., Perilli N. 2004. Early Jurassic carbonate evolution in the Lusitanian Basin: (Portugal) facies, sequence stratigraphy and cyclicity. *In: International Association Sedimentologists*, Coimbra, p. 45-71.
- Duarte L.V., Silva R.L., Mendonça Filho J.G & Oliveira L.C. 2010. Evidências geoquímicas do Jurássico Inferior de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal): Estado de arte e perspectivas futuras. *In: Flores D. & Marques M. (eds): Saídas de Campo do X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa/XVI Semana de Geoquímica, Memórias n°15, Porto: 3-24.*
- Elmi S., Mouterde R., Rocha R.B. & Duarte L.V. (1996). *La limite Pliensbachien-Toarcien au Portugal: intérêt de la coupe de Peniche*. Meeting on Toarcian and Aalenian Stratigraphy. I.S.J.S.; Aalenews, Roma, 6, pp. 33-35.
- Epistalié J., Deroo G., Marquis F. 1985. Parties 1 e 2 *Revue Inst. Fr. Du Pétrole*, **40**: 5-6.
- Epistalié J., Madec M., Tissot B. 1977. *In: Offshore Technology Conference 9; Houston, Texas.*
- Hesselbo S.P., Jenkyns H.C., Duarte L.V., Oliveira L.C.V. 2007. Carbon-isotope record of the Early Jurassic (Toarcian) Oceanic Anoxic Event from fossil wood and marine carbonate (Lusitanian Basin, Portugal). *Earth and Planetary Science Letters*, **253**: 455-470.
- Kullberg J.C., Rocha R.B., Soares A.F., Rey J., Terrinha P., Callapez P. & Martins L. 2006. A Bacia Lusitânica: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectônica. *In: Geologia de Portugal no contexto da Ibéria* (R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha & J.C. Kullberg, Eds.). Univ. Évora, PP. 317-368.
- Lijmbach G.W.M. 1975. On the Origin of Petroleum. *Proceedings of the 9th World Petroleum Congress*, **2**: 357-369, Applied Science, London.
- Mello M.R., Gaglianone P.C., Brassell S.C., Maxwell J.R. 1988a. Geochemical and biological marker assessment of depositional environments using Brazilian offshore oils, *Marine and Petroleum Geology*, v.5, pp. 205-223.
- Mello M.R., Telnaes N., Gaglianone P.C., Chicarelli M.I., Brassel S.C., Maxwell J.R., 1988b. Organic geochemical characterization of depositional palaeoenvironments of source rocks and oils in Brazilian marginal basins, *Organic Geochemistry*, v.13, pp. 31-45.
- Oliveira *et al.*, 2006. Avaliação do potencial gerador de petróleo e interpretação paleoambiental com base em biomarcadores e isótopos estáveis de carbono da seção Pliensbaquiano – Toarciano inferior (Jurássico Inferior) da região de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal). *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 14, n.2, p. 207-234, maio/Nov. 2006.

- Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. 2005. The Biomarker Guide: Biomarkers and Isotopes in the Environment and Human History, 2nd Edition, Vol.1 e Vol.2, Cambridge University Press.
- Ribeiro A., Antunes M. T., Ferreira M. P., Rocha R. B., Soares A. F., Zbyszewski G., Moitinho de Almeida F., Carvalho D. & Monteiro J. H. 1979. Introduction à la géologie générale du Portugal. *Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 114 p.
- Rodrigues R. 1995. A geoquímica orgânica na Bacia do Parnaíba. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 225 p.
- Seifert W.K., Moldowan J.M., 1980. The effect of thermal stress on source-rock quality as measured by hopane stereochemistry. *In: Douglas A.G., Maxwell J.R. (Eds.), Advances in Organic Geochemistry 1979. Pergamon Press, Oxford, pp. 229–237.*
- Seifert W.K. & Moldowan J.M. 1986. Use of Biological Markers in Petroleum Exploration. *In: R.B. Johns (ed). Biological Markers in Sedimentary Record. (Methods in Geochemistry and Geophysics), Elsevier. p. 261-290.*
- Tissot B.P. & Welte D.H. 1984. Petroleum Formation and Occurrence. 2 ed. Berlin: Springer-Verlag. 699p.
- Vanney J.R., Mougnot D. 1981. La Plate-forme continentale du Portugal et les Provinces adjacentes: analyse géomorphologique. *Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 28: 86 p.*
- Volkman J.K. 1986. A Review of Sterol Markers For Marine and Terrigenous Organic Matter. *Organic Geochemistry, 9: 83-99.*
- Wilson R. C. L. 1988. Mesozoic development of the Lusitanian Basin, Portugal. *Rev. Soc. Geol. España, Madrid, 1, pp. 393-407.*
- Wright V. P., Wilson R. C. L. 1984. A carbonate submarine-fan sequence from the Jurassic of Portugal. *Journal of Sedimentary Petrology, Tulsa, v. 54, p. 394-412.*