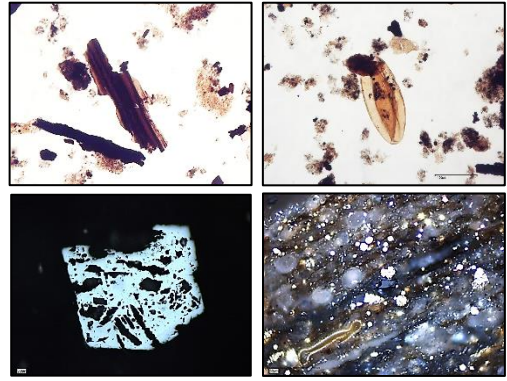
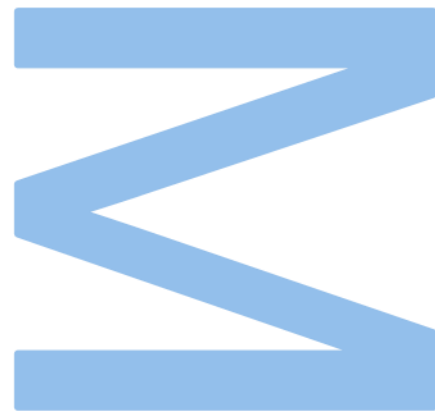




Variação da fácies orgânica durante o Jurássico Inferior-Médio na região de São Pedro de Moel - Monte Real (Bacia Lusitânica, Portugal)



Wally Alejandro Ortiz Loaiza

Mestrado em Geologia

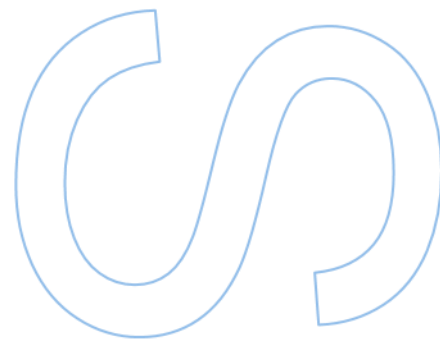
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2022

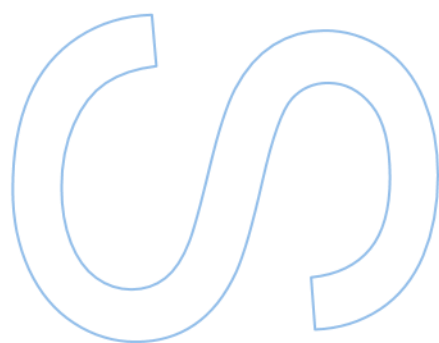
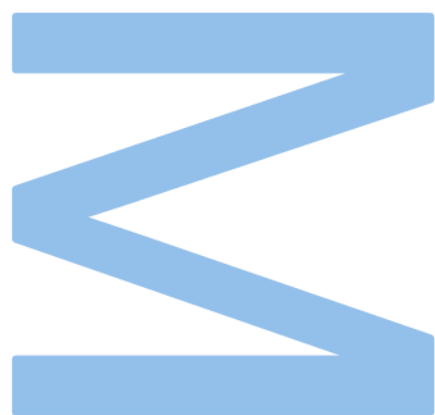
Orientador

Doutora Paula Alexandra Gonçalves, Investigadora Pós-Doutoramento, FCUP

Coorientador

Professora Doutora Deolinda Flores, Professora Catedrática, FCUP





Declaração de Honra

Eu, Wally Alejandro Ortiz Loaiza, inscrito no Mestrado em Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto declaro, nos termos do disposto na alínea a) do artigo 14.º do Código Ético de Conduta Académica da U.Porto, que o conteúdo da presente dissertação reflete as perspetivas, o trabalho de investigação e as minhas interpretações no momento da sua entrega. Ao entregar esta dissertação, declaro, ainda que a mesma é resultado do meu próprio trabalho de investigação e contém contributos que não foram utilizados previamente noutros trabalhos apresentados a esta ou outra instituição. Mais declaro que todas as referências a outros autores respeitam escrupulosamente as regras da atribuição, encontrando-se devidamente citadas no corpo do texto e identificadas na secção de referências bibliográficas. Não são divulgados na presente dissertação quaisquer conteúdos cuja reprodução esteja vedada por direitos de autor. Tenho consciência de que a prática de plágio e auto-plágio constitui um ilícito académico.

Agradecimentos

De todo coração quero agradecer à Doutora Paula Gonçalves que me orientou na realização da presente dissertação. Muito obrigado por ter-me proposto um tema que tive muito gosto em explorar numa área nova para mim dentro do campo de conhecimentos em Geologia, por ter partilhado comigo parte de seu conhecimento, por ter passado horas comigo a esclarecer as minhas dúvidas, por compreender sempre as minhas ausências devido ao trabalho e pela sua disponibilidade e paciência.

Agradeço à Professora Deolinda Flores por me despertar o interesse pela tema na assinatura de Petrologia Orgânica no mestrado em Geologia, obrigado por seus conceitos, fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Agradeço a todos os professores da comunidade de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto que partilharam comigo o seu conhecimento e que contribuíram para minha formação, em especial a professora Maria dos Anjos por estar sempre prestes a esclarecer as minhas dúvidas como estudante internacional.

Agradeço à Universidade Nacional da Colômbia, minha *alma mater* que me formou como geólogo e onde fui imensamente feliz.

Aos meus pais que sempre quiseram que eu continuasse com os estudos até ao fim e nunca duvidaram das minhas capacidades. Obrigado por estarem sempre comigo nos bons e maus momentos. Muito obrigado aos meus queridos amigos Antonio e Yecid, por sempre contar convosco e por estarem presentes na minha vida.

Finalmente um agradecimento especial a M. Obrigado por estares sempre do meu lado.

Resumo

O presente estudo visa a caracterização da matéria orgânica (MO) sedimentar particulada presente em sedimentos do Jurássico Inferior-Médio de modo a contribuir para a definição do ambiente deposicional bem como avaliar o seu potencial de geração. Para o efeito, foram selecionadas amostras de duas sondagens perfuradas no setor norte da Bacia Lusitânica, a SPM-02 perfurada na área de São Pedro de Moel e a MR-W9 perfurada próxima a Monte Real. Vinte e quatro amostras pertencentes às Formações de Dagorda e de Coimbra e à Unidade Brenha (formação informal) foram analisadas por técnicas microscópicas (determinação da reflectância de vitrinite e palinofácies) e geoquímicas (carbono orgânico total, enxofre total e resíduo insolúvel).

Em relação ao tipo e à quantidade de matéria orgânica, bem como ao ambiente deposicional, não há diferenças significativas entre as duas sondagens. Os dados geoquímicos indicam um teor em carbono orgânico pobre a bom (0,35 - 2,74%). O resíduo insolúvel varia de 3 a 70%, confirmando o carácter carbonatado da maioria das amostras. A análise de palinofácies revelou o predomínio do grupo da Amorfa, principalmente derivada de fitoplâncton, seguida por fitoclastos correspondendo a um cerogénio tipo II/III. A deposição terá ocorrido num ambiente de plataforma marinha carbonatada sob condições de depleção de oxigénio, como sugerido pela elevada percentagem de partículas amorfas. A amorfização da matéria orgânica continental sugere que ela foi transportada para o sistema marinho, indicando proximidade com a área de origem terrestre.

Os valores obtidos para a reflectância da vitrinite indicam que a matéria orgânica se encontra no início da janela de geração do óleo, tendo deste modo entrado no estágio da catagénese. Em relação ao potencial de geração de hidrocarbonetos, as sequências estudadas apresentam baixo potencial. No entanto, alguns níveis da Unidade Brenha apresentam potencial para gerar hidrocarbonetos, apresentando um teor em carbono orgânico superior a 1%, tendo a matéria orgânica atingido a janela de geração do óleo.

Abstract

The present study aims to characterize the particulate sedimentary organic matter (OM) present in Lower-Middle Jurassic sediments to contribute to the definition of the depositional environment as well as to assess its hydrocarbon generation potential. For this purpose, samples from two wells drilled in the northern sector of the Lusitanian Basin were selected, the SPM-02 in the São Pedro de Moel area and the MR-W9 near Monte Real. Twenty-four samples belonging to the Dagorda, and Coimbra Formations and the Brenha Unit (informal formation) were analyzed by microscopic (vitrinite reflectance determination and palynofacies) and geochemical (total organic carbon, total sulfur and insoluble residue) techniques.

Regarding the type and amount of organic matter, as well as the depositional environment, there are no significant differences between the two wells. Geochemical data indicate poor to good organic carbon content (0.35 - 2.74%wt.). The insoluble residue varies from 3 to 70%, confirming the carbonated character of most samples. The palynofacies analysis revealed the predominance of the Amorphous group, mainly derived from phytoplankton, followed by phytoclasts corresponding to a type II/III kerogen. The deposition occurred in a carbonated marine shelf environment under oxygen-depleted conditions, as suggested by the high percentage of amorphous particles. The amorphization of the continental organic matter suggests that it was transported to the marine system, indicating proximity to the terrestrial source area.

Vitrinite reflectance values indicate that the organic matter is at the beginning of the oil window, having entered the catagenesis stage. Regarding the potential for hydrocarbon generation, the studied sequences have low potential. However, some levels of the Brenha Unit show some potential, as indicated by the good organic carbon content (above 1%), with the organic matter reaching the oil window.

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Lista de Tabelas	vii
Lista de Figuras	viii
Lista de Abreviaturas	xi
1. Introdução.....	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Trabalhos anteriores do estudo da matéria orgânica dispersa na área em estudo	3
2. Matéria Orgânica: Conceitos Gerais e Classificação	5
2.1. Tipos de cerogénio	6
2.2. Evolução térmica da MO	8
2.3. Classificação petrográfica da MOD	10
2.3.1. Classificação da MOD em luz branca refletida	10
2.3.2. Classificação da MOD sob luz branca transmitida	14
3. Enquadramento geológico e geográfico.....	18
3.1 Enquadramento geológico.....	19
3.2 Enquadramento geográfico e unidades estratigráficas atravessadas pelas sondagens alvo de estudo.....	20
4. Amostras e Metodologias	26
4.1. Seleção de amostras.....	27
4.2. Análises Petrográficas.....	28
4.2.1. Análise de Palinofácies	28
4.2.1.1. Preparação das lâminas organopalinológicas	28
4.2.1.2. Observação microscópica.....	29
4.2.2. Petrografia orgânica.....	29
4.2.2.1. Preparação de blocos polidos	29

4.2.2.2 Observação microscópica.....	30
4.3. Geoquímica Orgânica.....	31
4.3.1. Preparação das amostras	31
4.3.2. Análise de COT, ST e RI.....	31
5. Resultados.....	33
5.1. Carbono orgânico total, enxofre total e resíduo insolúvel	34
5.2. Palinofácies	35
5.3. Petrologia Orgânica.....	47
6. Discussão	54
6.1. Interpretação Paleoambiental.....	55
6.1.1. Formação de Dagorda	55
6.1.2. Formação de Coimbra	57
6.1.3. Unidade Brenha.....	59
6.2. Avaliação da maturação térmica e potencial de geração de hidrocarbonetos... 60	
7. Conclusão.....	64
8. Referências bibliográficas	66
Anexos	
Anexo I. Cópia do <i>abstract</i> publicado e diapositivos do e-poster apresentado	

Lista de Tabelas

Tabela 1. Sistema de nomenclatura internacional dos constituintes orgânicos da MOD do ICCP/TSOP (ICCP 1998, 2001, Pickel <i>et al.</i> , 2017, Flores & Suárez-Ruiz, 2017)..	11
Tabela 2. Classificação dos componentes particulados de MO (Tyson, 1995; Mendonça Filho, 1999; Mendonça Filho <i>et al.</i> , 2012; Mendonça Filho & Gonçalves, 2017).	16
Tabela 3. Amostras estudadas e respetivas formações	27
Tabela 4. Etapas de pré-polimento e polimento das amostras	30
Tabela 5. Dados de geoquímica das amostras da sondagem MR-W9.	34
Tabela 6. Dados de geoquímica das amostras da sondagem SPM-02.	35
Tabela 7. Percentagens relativas dos subgrupos morfológicos de cerogénio identificados na sondagem MR-W9.	37
Tabela 8. Percentagens relativas dos subgrupos morfológicos de matéria orgânica particulada na sondagem SPM-02.	38
Tabela 9. Valores de reflectância média da vitrinite (%R _r) das amostras pertencentes à sondagem SPM-02.	47
Tabela 10. Valores da reflectância média da vitrinite (%R _r) das amostras pertencentes à sondagem MR-W9.	48

Lista de Figuras

Figura 1. Composição da MO disseminada nas rochas sedimentares (modificado de Tissot & Welte, 1984).....	6
Figura 2. Esquema geral da evolução da matéria orgânica, desde o sedimento recém-depositado até a zona metamórfica. CH: carboidratos, AA: aminoácidos, FA: ácidos fúlvicos, HA: ácidos húmicos, L: lípidos, (modificado de Tissot & Welte, 1984).....	8
Figura 3. Fotomicrografia sob luz branca refletida de uma partícula de vitrinite (SPM 04).	10
Figura 4. Fotomicrografia em modo de fluorescência de uma partícula de esporinite (SPM 03)	12
Figura 5. Fotomicrografia sob luz branca refletida de inertinite (SPM 01)	12
Figura 6. Fotomicrografia sob luz branca refletida de zooclastos (SPM 02).	13
Figura 7. Fotomicrografias sob luz branca refletida (A) e modo de fluorescência (B) de partículas de betume (SMR 04).	13
Figura 8. Enquadramento geográfico e tectónico da Bacia Lusitânica (retirado de Kullberg et al., 2013).	19
Figura 9. Localização das sondagens alvo de estudo. MR: Monte Real-W9; SPM: São Pedro de Moel-2 (modificado de Dias, 2005).	21
Figura 10. Unidades litoestratigráficas simplificadas da Bacia Lusitânica (retirado de Kullberg, 2000).	22
Figura 11. Coluna crono-, bio- e litoestratigráfica do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica (retirado de Pina, 2015).	23
Figura 13. Fotomicrografias do cerogénio presente na Formação de Coimbra em luz branca transmitida (A, C, G) e luz azul incidente (B, D, E, F, H). (FNO - fitoclasto não opaco; FO – fitoclasto opaco; MOA - MOA de fitoplâncton; Memb - Membrana; Es - Esporo; Po - Grãos de Pólen; ZIGO – Zigósporo; Pr – Alga Prasinófito). (A, B) MOA, Po (SMR 03); (C, D) MOA, Es (SMR 03); (E) MOA, Memb (SPM 09); (F) FO, MOA, Es, ZIGO (SMR 03); (G, H) FO, FNO, MOA F, Pr (SMR 06).	42
Figura 14. Fotomicrografias do cerogénio presente na Unidade Brenha em luz branca transmitida (A, C, E) e luz azul incidente (B, D, F). (Fito P - fitoclasto perfurado; FNO – Fitoclasto não opaco FO – Fitoclasto opaco; MOA F - MOA de fitoplâncton; MOA B - MOA bacteriana; Es - Esporo; Po - Grãos de Pólen; Zoo - Zooclasto). (A, B) FNO, FO, MOA, MOA F, Es, ZOOC, (SPM 06); (C) FO, FNO, MOA (SPM 07); (D) MOA, MOA B, Po (SPM 07); (E, F) FO, MOA, Po, Es (SPM 06).	44

Figura 15. Fotomicrografias do cerogénio presente na Unidade Brenha em luz branca transmitida (A, C, E) e luz azul incidente (B, D, E). (FO – Fitoclasto opaco; FNO: fitoclasto não opaco; MOA - MOA de fitoplâncton Sp – Zigósporo de tipo *Spirogyra*; Zooc - Zooclasto; Pr – alga prasinófitas; ZooC - Zooclasto). (A) FNO, FO, ZOOC, MOA (SPM 02); (B) MOA, FO, (SPM 03); (C, D) Sp, MOA, (SPM 03); (E, F) MOA, Pr (SPM 03). . 46

Figura 16. Fotomicrografias de características petrográficas das amostras pertencentes à Formação de Dagorda sob luz branca refletida (A, C, D) e modo de fluorescência (B). (A, B) Vitrinite (vi), pirite (pi), (SMR 07); (C) Vitrinite (SPM 14); (D) Semifusinite (SPM 14). 49

Figura 17. Fotomicrografias de características petrográficas em amostras pertencentes à Formação de Coimbra sob luz branca refletida (C-E) e modo de fluorescência (A, B, F). (A) Al: Alginite, Re: resinite, (SPM 12); (B) Al: alginite, Be: betuminite (SPM 11); (C) Zooc: zooclastos (SMR 01); (D) In: inertodetrinite com poros de desvolatilização (SPM 12) (E) BE: betume sólido, Pi: pirite (SPM13); (F) BS: betume sólido (SMR 04). 50

Figura 18. Fotomicrografias de algumas características petrográficas de amostras da sondagem SPM-02 pertencentes à Unidade Brenha sob luz branca refletida (A, B, C, E) e modo de fluorescência (D, F, G, H). (A) semifusinite (SPM 02); (B) Sfu: semifusinite, In: inertodetrinite (SPM 06); (C, D) Vitrinite, fusinite (SPM 03); (E, F) Al: alginite, Be: betuminite, Es+P: esporo preenchido por pirite (SPM 04); (G) betuminite (SPM 05); (H) BS: betume sólido, Li: liptinite, Es: esporo preenchido por pirite (SPM 05). 52

Figura 19. Histogramas de medidas de reflectância da vitrinite de amostras pertencentes às sondagens SPM 02 e MR-W9. 53

Figura 20. Palinofácies e variação de dados geoquímicos nas sondagens SPM-02 e MR-W9. Nota: Marinho inclui microplâncton marinho e zoomorfos. 55

Figura 21. Diagrama ternário Fitoclasto-MOA-Palinomorfo com a projeção das amostras da Fm. de Dagorda. Abreviaturas: I - Bacia ou plataforma altamente proximal; II - Bacia marginal disóxica-anóxica; III - Plataforma óxica heterolítica (“plataforma proximal”); IV - Transição plataforma/bacia; V - Plataforma óxica dominada por lama (“plataforma distal”); VI - Plataforma proximal subóxica-anóxica; VII - Plataforma distal disóxica-anóxica; VIII - Plataforma distal disóxica-óxica; IX - Bacia distal subóxica-anóxica/Plataforma carbonática/Marinho restrito. Triângulo: Sondagem MR-W9; Círculo: Sondagem SPM-02. 57

Figura 22. Diagrama ternário Fitoclasto-MOA-Palinomorfo com a projeção das amostras da Fm. de Coimbra. Legenda: ver Figura 21. 58

Figura 23. Diagrama ternário Fitoclasto-MOA-Palinomorfo com a projeção das amostras da Unidade Brenha. Legenda: ver Figura 21. 60

Figura 24. Variação da reflectância da vitrinite, identificada na sondagem SPM-02, com a profundidade e a indicação do início da geração dos hidrocarbonetos líquidos para cerogénio tipo II ($\%R_r = 0.5$; linha a vermelho).....	62
Figura 25. Variação da reflectância da vitrinite, identificada na sondagem MR-W9, com a profundidade e a indicação do início da geração dos hidrocarbonetos líquidos para cerogénio tipo II ($\%R_r = 0.5$; linha a vermelho).....	63

Lista de Abreviaturas

BL	Bacia Lusitânica
COT	Carbono orgânico total
Fm	Formação
FNO	Fitoclastos não opacos
FNOB	Fitoclastos não opacos não bioestruturados
FO	Fitoclastos opacos
ICCP	International Committee for Coal and Organic Petrology
H	Hidrogénio
HCl	Ácido clorídrico
HF	Ácido fluorídrico
LAFO	Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro
LBT	Luz branca transmitida
LF	Luz azul incidente
Mb	Membro
Mo	Matéria orgânica
MOA	Matéria orgânica amorfa
MOD	Matéria orgânica dispersa
N	Azoto
O	Oxigénio
%R_r	Reflectância média da vitrinite
RI	Resíduo insolúvel
S	Enxofre
ST	Enxofre total
TSOP	The Society for Organic Petrology
ZnCl₂	Cloreto de zinco

1. Introdução

1. Introdução

A caracterização da matéria orgânica dispersa (MOD) presente em sedimentos e rochas sedimentares é essencial para a definição de fácies orgânicas, sendo uma importante ferramenta na caracterização de ambientes deposicionais (de rochas geradoras e não geradoras), do nível de evolução térmica de sucessões estratigráficas, da análise de bacias sedimentares, entre outras (Tyson, 1995; Mendonça Filho *et al.*, 2012). Para tal recorre-se à integração de técnicas de petrografia (tanto em luz refletida como em luz transmitida) e geoquímica orgânica tais como, a determinação do carbono orgânico total (COT), enxofre total (ST) e resíduo insolúvel (RI). Estas técnicas facultam dados que podem ser avaliados num contexto mais amplo dos fatores gerais que controlam a sedimentação, distribuição e preservação da matéria orgânica (MO), com ênfase na análise paleoambiental (Tyson, 1995; Mendonça Filho *et al.*, 2011).

1.1. Objetivos

Este trabalho está centrado na caracterização da matéria orgânica presente nas amostras, pertencentes ao Jurássico Inferior-Médio das sondagens SPM-02 e MR-W9 realizadas nas áreas de São Pedro de Moel e Monte Real, respetivamente. Foram utilizadas técnicas microscópicas (análise de palinofácies e petrologia orgânica) e geoquímicas (determinação de COT, ST e RI).

Segundo os dados providenciados, as sondagens intercetaram as Formações de Dagorda e de Coimbra e, no caso da sondagem SPM-02, intercetou também a Unidade Brenha. Este estudo tem como objetivos principais:

- i) Caracterizar a matéria orgânica dispersa (MOD) nas sequências sedimentares atravessadas pelas sondagens em estudo;
- ii) Definir as condições paleoambientais com base em parâmetros petrográficos e geoquímicos;
- iii) Estimar a maturação térmica da MO e o tipo de cerogénio;
- iv) Avaliar o potencial de geração de hidrocarbonetos.

Os resultados relativos à análise de palinofácies obtidos neste estudo, foram apresentados, sob a forma de e-poster, no 38th Meeting of The Society for Organic Petrology (TSOP), que decorreu nos dias 12-16 de setembro de 2022, em modo virtual.

Em anexo (Anexo I) encontra-se a cópia do *abstract* publicado bem como cópia do e-poster.

1.2. Trabalhos anteriores do estudo da matéria orgânica dispersa na área em estudo

Nos últimos anos, os estudos de petrologia e geoquímica orgânica na Bacia Lusitânica (BL) têm revelado importantes e complementares informações sobre a fácies orgânica e o ambiente deposicional do Jurássico da Bacia. Além dos referidos estudos, a presença de níveis ricos em matéria orgânica (MO) tem suscitando interesse na avaliação do potencial de geração de hidrocarbonetos. Muitos dos estudos publicados nos últimos anos relativos ao Jurássico Inferior da BL foram realizados em afloramentos localizados principalmente na parte ocidental da Bacia tendo como foco intervalos ricos em matéria orgânica (Sinemuriano-Pliensbaquiano). De seguida são apresentados alguns exemplos de trabalhos realizados, por investigadores portugueses, conjugando, por vezes, a sedimentologia e o estudo da MO:

Duarte *et al.* (2005), apresentaram o estudo preliminar da variação de COT no Jurássico Inferior;

Oliveira *et al.* (2006) apresentaram o primeiro estudo de avaliação do potencial petrolífero e interpretação paleoambiental da seção Pliensbaquiano - Toarciano inferior em Peniche, com base em biomarcadores e isótopos estáveis de carbono;

Silva *et al.* (2007, 2010, 2011a, b) realizaram estudos sedimentológicos, geoquímicos e de palinofácies onde demonstraram a variabilidade vertical e lateral da distribuição da MO. Além disso, avaliaram o potencial de geração de hidrocarbonetos na Bacia;

Duarte *et al.* (2010) num estudo que incluiu amostras de afloramento pertencentes às formações Água de Madeiros e Vale das Fontes (Jurássico Inferior) recolhidas em diversos locais da BL (incluindo São Pedro de Moel), correlacionaram a distribuição de fácies ricas em MO, com base em dados sedimentológicos e de COT, e a sua disposição ao longo dos ciclos transgressivos-regressivos;

Duarte *et al.* (2012) caracterizaram a Formação de Água de Madeiros, na área de São Pedro de Moel, e avaliaram o seu potencial petrolífero com base em estratigrafia de alta resolução, palinofácies e geoquímica orgânica;

Poças Ribeiro *et al.* (2013) apresentaram a caracterização da MOD em depósitos carbonatados do Sinemuriano das Formações de Coimbra e Água de Madeiros recolhidas em São Pedro de Moel e Peniche, suportada por técnicas de petrografia e geoquímicas orgânicas;

Pereira (2014) realizou estudos de petrografia e geoquímica orgânicas em amostras da sondagem Alcobaça-1 na região de Alcobaça. Este estudo permitiu a caracterização do tipo de cerogénio, identificação de betumes sólidos e a avaliação da maturação térmica;

Morgado (2014) determinou o tipo de matéria orgânica na sequência sedimentar jurássica (Inferior a Superior) presente em amostras da sondagem Gaiteiros-1 e definiu o seu ambiente deposicional com base em parâmetros organopalinológicos e organogeoquímicos;

Mendes (2015) utilizando as mesmas amostras que Pereira (2014), realizou estudos de palinofácies e biomarcadores que permitiram indicar a origem da MO, o seu ambiente deposicional bem como a sua maturação;

2. Matéria Orgânica: Conceitos Gerais e Classificação

2. Matéria Orgânica: Conceitos Gerais e Classificação

Os elementos carbono (C), hidrogénio (H), oxigénio (O), nitrogénio (N) e enxofre (S) são os principais constituintes das moléculas orgânicas que, por sua vez, constituem a matéria orgânica. Esta pode ser autóctone (com origem na coluna d'água acima ou no sedimento em que está soterrada) ou alóctone (local de origem é diferente do ambiente de deposição) (Tissot & Welte, 1984).

A percentagem de matéria orgânica (MO) que é preservada nas rochas sedimentares é, geralmente, baixa. A MO é composta por duas frações: o cerogénio que corresponde à fração da MO insolúvel em solventes orgânicos e o betume que corresponde à fração da MO solúvel nos solventes orgânicos (Fig. 1). Caracterizar a MO contida nestas frações além de fornecer informações sobre as condições deposicionais permite, também, inferir o potencial de geração de hidrocarbonetos (Tissot & Welte, 1984).

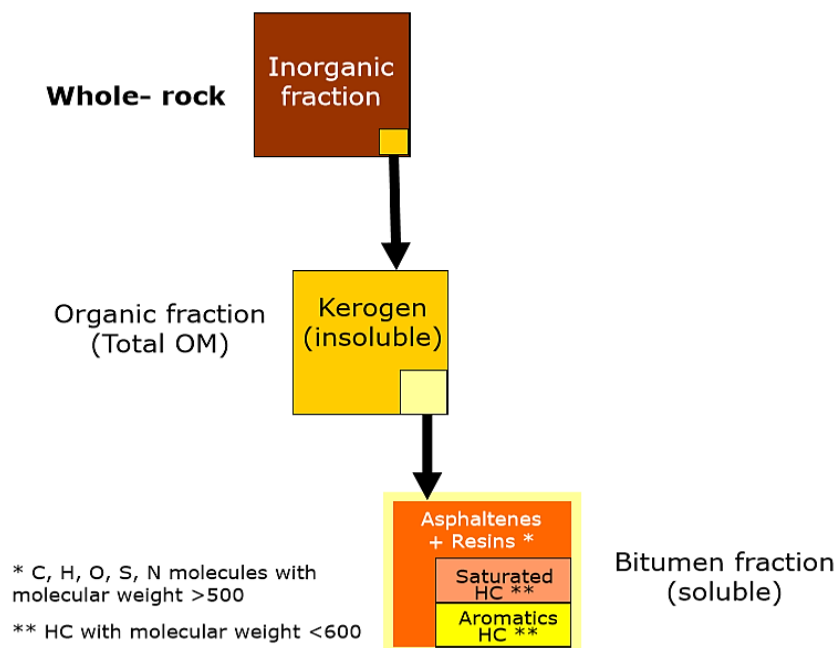


Figura 1. Composição da MO disseminada nas rochas sedimentares (modificado de Tissot & Welte, 1984).

2.1. Tipos de cerogénio

A matéria orgânica dispersa (MOD) é uma mistura complexa de materiais orgânicos heterogêneos que representam a fácies orgânica de uma secção sedimentar (Flores & Suárez-Ruiz, 2017). Cada fração de MOD apresenta características distintas

que são estudadas recorrendo-se a diferentes técnicas analíticas físicas e químicas (Mendonça Filho *et al.*, 2010, 2011, 2012), tais como: análise elementar (C, H e S), análise microscópica, ou pirólise (Rock-Eval, Hidropirólise, Micropirólise), entre outras.

A composição da MOD, principalmente no que diz respeito ao hidrogénio e oxigénio (cadeias alifáticas e grupos funcionais, respetivamente) determina a quantidade de hidrocarbonetos que pode ser gerada (Tissot & Welte, 1984). Dependendo dos componentes orgânicos que apresenta, o cerogénio pode ser classificado do seguinte modo (segundo Tissot & Welte, 1984):

- a) Cerogénio tipo I - apresenta alta relação H/C inicial (1,5 ou mais) e baixa relação O/C inicial (geralmente menor que 0,1). É rico em material lipídico, nomeadamente em cadeias alifáticas, sendo o conteúdo em núcleos poliaromáticos e ligações heteroatómicas baixo. O cerogénio tipo I está associado a ambientes de água doce onde existe acumulação seletiva de material algal (algas, como o *Botryococcus*) ou matéria orgânica enriquecida em lípidos por atividade microbiana (matéria orgânica amorfa);
- b) Cerogénio tipo II - é particularmente frequente em rochas geradoras de petróleo com relações H/C relativamente altas, e baixas de O/C. O conteúdo de núcleos poliaromáticos e grupos heteroatómicos de cetonas e ácido carboxílico são mais importantes do que aqueles do tipo I, mas menos do que no tipo III. Deriva de grãos de pólen, esporos, cutículas e matéria orgânica marinha depositados em ambiente redutor, com teor de enxofre médio a alto. Apresenta alto potencial para geração de hidrocarbonetos, no entanto inferior ao do cerogénio tipo I;
- c) Cerogénio tipo III - apresenta baixa relação H/C, sendo que a relação O/C é comparativamente maior do que os do cerogénio tipo I e II. Contém principalmente grupos funcionais poliaromáticos e oxigenados condensados. A MO deriva, principalmente, de plantas superiores terrestres. O potencial de geração de petróleo é baixo, embora possa gerar gás abundante a maiores profundidades.

Mendonça Filho *et al.* (2010) faz referência a um tipo secundário de cerogénio, o cerogénio tipo IV, composto essencialmente por componentes aromáticos. A matéria orgânica encontra-se carbonizada, resultante da combustão e/ou oxidação (pré-deposição), não apresentando potencial para a geração de hidrocarbonetos.

2.2. Evolução térmica da MO

Quando a matéria orgânica é depositada e soterrada nos sedimentos começa a sofrer diversas alterações na sua composição, primeiro como resultado da atividade biológica (microbiana) e, depois, pela ação da temperatura e pressão. Este processo contínuo, denominado de maturação térmica, está dividido em estágios consecutivos de evolução térmica (Fig. 2): diagénese, catagénese e metagénese que correspondem ao estado imaturo, maduro e supermaturo da MO, respetivamente (Tissot & Welte, 1984). Cada estágio caracteriza-se por diferentes processos (Tissot & Welte, 1984), os quais são vão ser descritos neste subcapítulo.

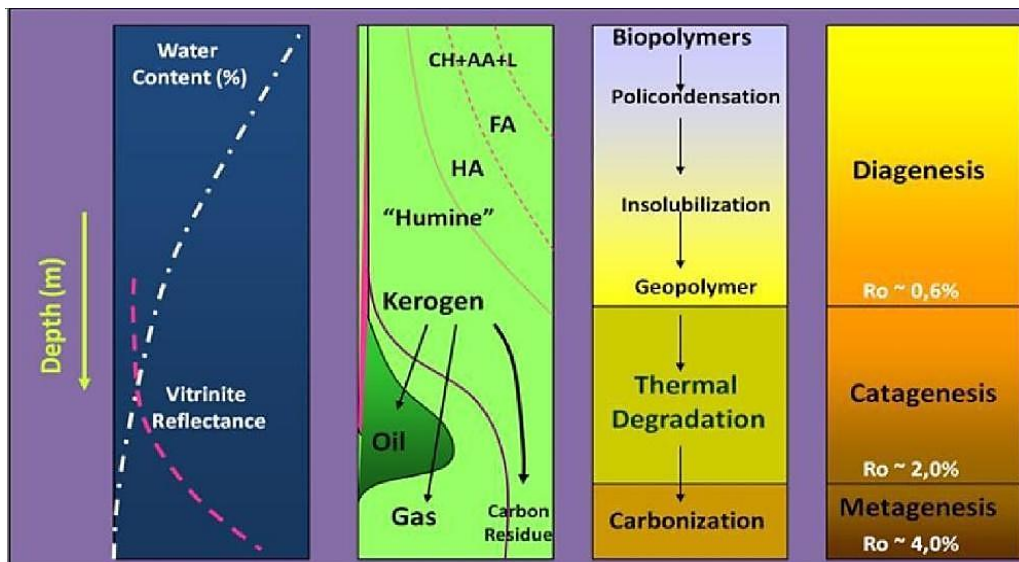


Figura 2. Esquema geral da evolução da matéria orgânica, desde o sedimento recém-depositado até a zona metamórfica. CH: carboidratos, AA: aminoácidos, FA: ácidos fúlvicos, HA: ácidos húmicos, L: lípidos, (modificado de Tissot & Welte, 1984).

Diagénese

Neste estágio, a MO recentemente depositada sofre transformações biológicas e químicas de baixa temperatura (até 65°C), que a alteram e/ou degradam, a poucos metros de profundidade. Durante a diagénese o sistema tende a aproximar-se do equilíbrio a partir do qual o sedimento se torna normalmente consolidado (Mendonça Filho *et al.*, 2010, 2011, 2012).

Na diagénese inicial (Fig. 2), a atividade microbiana desempenha um papel importante na transformação da MO, sendo responsável pela degradação de moléculas simples tais como o CO₂, N₂ e H₂O (condições aeróbias) e NH₃, H₂S e CH₄ (condições

anaeróbias). Os materiais macromoleculares (Fig. 2), tais como ácidos fúlvicos (FA), ácidos húmicos e huminas (HA) que não são degradados, por perda de grupos funcionais e policondensação, dão origem ao cerogénio. Assim, "biopolímeros" (aminoácidos, hidratos de carbono) são destruídos pela atividade microbiana durante a sedimentação e diagénese inicial, o que leva a que os seus constituintes se combinem progressivamente formando novas estruturas policondensadas denominadas de "geopolímeros", precursores do cerogénio (Fig. 2). No fim deste estágio, o principal hidrocarboneto formado é o metano biogénico (Tissot & Welte, 1984).

Catagénese

O aumento da pressão (de 300 a 1500 bar) e da temperatura (aproximadamente 50 a 150° C) devido ao aumento do soterramento, leva a alterações termoquímicas na MO (Fig. 2). Durante a catagénese, a MOD sofre uma série de reações que levam à produção de hidrocarbonetos líquidos, voláteis e produtos residuais resultantes do aumento da estabilidade térmica. Este processo ocorre devido ao craqueamento de moléculas de geopolímeros de alta massa molecular de onde resultam outros componentes como o óleo (Fig. 2). Este estágio é definido por valores de reflectância da vitrinite de 0,6 a 2,0 % e inclui a denominada "janela de geração do óleo", que apresenta valores de reflectância que variam entre 0,5 - 1,3%. Neste estágio a rocha está madura, podendo formar-se quantidades consideráveis de hidrocarbonetos líquidos e gasosos (Fig. 2). Produz primeiro óleo e depois "gás húmido" e condensado (Tissot & Welte, 1984).

Metagénese

Quando a profundidade aumenta e a temperatura ultrapassa os 120°C (Hunt, 1979) começa o estágio da metagénese, que representa o último estágio na alteração térmica da matéria orgânica e corresponde à zona de gás seco (Fig. 2). A matéria orgânica é representada por componentes residuais com alto teor de carbono, com liberação de metano. Os valores de reflectância da vitrinite variam de 2 a 4%, sendo a rocha considerada supermatura (Tissot & Welte, 1984).

2.3. Classificação petrográfica da MOD

2.3.1. Classificação da MOD em luz branca refletida

Aos constituintes individuais da matéria orgânica, reconhecidos através de observação microscópica em luz branca refletida, dá-se o nome de macerais (Taylor *et al.*, 1998). De acordo com o sistema de nomenclatura internacional de Stopes-Heerlen, a MOD presente em rochas sedimentares, divide-se em três grupos de macerais: vitrinite, liptinite e inertinite. Com o objetivo de uniformizar a nomenclatura usada em petrologia orgânica, o *International Committee for Coal and Organic Petrology* (ICCP) conjuntamente com o *The Society for Organic Petrology* (TSOP), aprovaram uma classificação para a MOD, que para além dos três principais grupos de macerais, contempla dois grupos informais (Tab. 1): zooclastos (restos faunais) e produtos secundários. A descrição geral dos diferentes grupos é apresentada de seguida de modo sucinto.

Grupo da Vitrinite - grupo de macerais originado principalmente a partir das paredes celulares de plantas superiores, constituídos por celulose, lignina e alguns taninos. Correspondem a tecidos que evoluíram por gelificação em condições maioritariamente anaeróbica. Não possuem, na maior parte dos casos, fluorescência (Fig. 3). A reflectância destas partículas situa-se entre os valores da liptinite e da inertinite (ICCP, 1998).

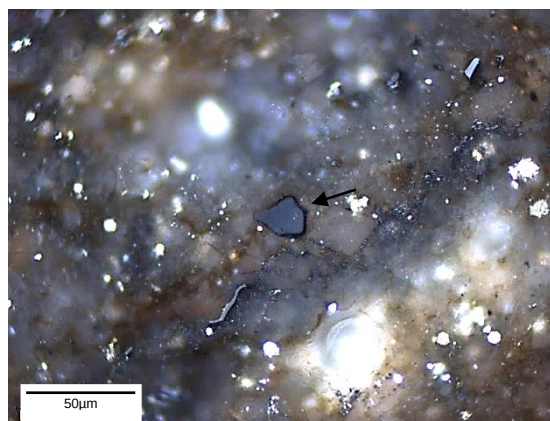


Figura 3. Fotomicrografia sob luz branca refletida de uma partícula de vitrinite (SPM 04).

Tabela 1. Sistema de nomenclatura internacional dos constituintes orgânicos da MOD do ICCP/TSOP (ICCP 1998, 2001, Pickel *et al.*, 2017, Flores & Suárez-Ruiz, 2017).

Grupos	Maceraís
Vitrinite	Telinite
	Colotelinite
	Gelinite
	Corpogelinite
	Vitrodetrinite
	Colodetrinite
Liptinite	Alginite (lamalginite e telalginite)
	Betuminite
	Liptodetrinite
	Esporinite
	Cutinite
	Suberinite
	Resinite
	Exudatinite
	Clorofilinite
Inertinite	Fusinite
	Semifusinite
	Macrinite
	Micrinite
	Funginite
	Inertodetrinite
Zooclastos	Escolecodontes
	Graptólitos
	Quitinozoários
	Foraminíferos
Produtos secundários	Betume
	Pirobetume
	Óleo

Grupo da Liptinite - inclui os constituintes figurados, isto é, esporos (Fig. 4), grãos de pólen, cutículas, resinas, algas que se reconhecem, em geral, pela sua morfologia. Possuem reflectância muito baixa e uma fluorescência de intensidade variável quando iluminados com luz azul incidente; no entanto, com o aumento do grau de maturação, o seu poder refletor aumenta convergindo com o da vitrinite e a fluorescência desaparece (Pickel *et al.*, 2017).

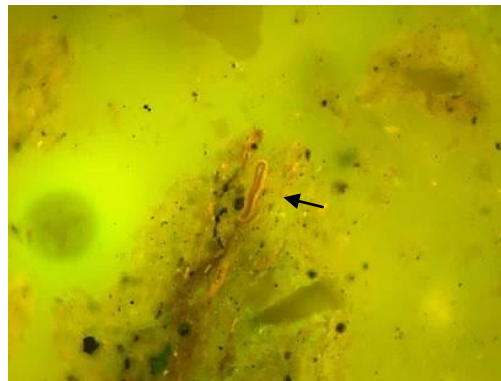


Figura 4. Fotomicrografia em modo de fluorescência de uma partícula de esporinite (SPM 03)

Grupo da Inertinite - partículas que possuem os mesmos precursores que os macerais do grupo da vitrinite, isto é, são igualmente lignocelulósicos (inclui também os fungos), mas que sofreram vários graus de oxidação (Fig. 5). Apresentam reflectância mais elevada que os macerais pertencentes aos grupos da vitrinite e liptinite (ICCP, 2001).

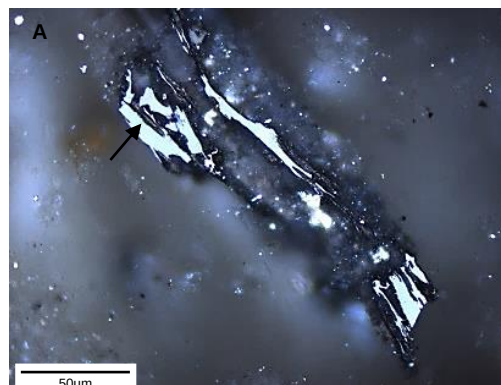


Figura 5. Fotomicrografia sob luz branca refletida de inertinite (SPM 01)

Zooclastos - correspondem a relíquias faunais (Fig. 6) sendo caracterizados pela sua morfologia específica. Os mais comuns são os foraminíferos, escolecodontes,

graptólitos e quitinozoários. Exibem uma cor que varia entre o cinzento-escuro e branco, apresentando, por vezes, propriedades óticas semelhantes às da vitrinite (Flores & Suárez-Ruiz, 2017).



Figura 6. Fotomicrografia sob luz branca refletida de zooclastos (SPM 02).

Produtos secundários - considerados matéria orgânica secundária, estes produtos ocorrem na forma de betumes, pirobetumes ou óleo, sendo considerados produtos secundários. A sua presença tem relevância na determinação da maturação térmica bem como no potencial de geração de hidrocarbonetos (Flores & Suárez-Ruiz, 2017). Neste trabalho destacam-se os betumes (Fig. 7) / pirobetumes que preenchem espaços vazios e fraturas em rochas sedimentares, resultantes de estágios avançados de maturação térmica. Os betumes / pirobetumes ocorre em rochas geradoras e em rochas reservatório, tanto siliciclásticas como carbonatadas, de muitas bacias sedimentares do mundo (Jacob, 1989).

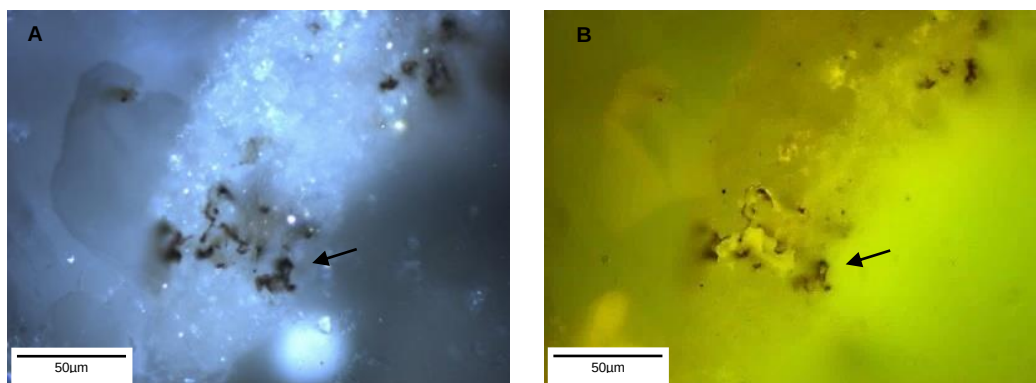


Figura 7. Fotomicrografias sob luz branca refletida (A) e modo de fluorescência (B) de partículas de betume (SMR 04).

Tal como a vitrinite, os betumes / pirobetumes apresentam em luz branca refletida tons de cinzento e a sua reflectância aumenta com o grau de maturação. Podem evidenciar fluorescência em baixos níveis de maturação (ASTM D7708-14; Gonçalves *et al.*, 2014). Como resultado da evolução térmica, a reflectância destes produtos vai aumentando e a autofluorescência tende a diminuir e a desaparecer.

A descrição completa dos macerais dos três principais grupos, a sua origem, ocorrência, morfologia e aspetos diagnósticos, pode ser consultada nas seguintes publicações ICCP (1998, 2001) e Pickel *et al.* (2017). Para os restantes constituintes orgânicos, pode ser encontrada informação relativa às suas características petrográficas em diversas publicações (por exemplo, Flores & Suárez-Ruiz, 2017; Jacob, 1989; Landis & Castaño, 1995; Link *et al.*, 1991; Suárez-Ruiz *et al.*, 2012; Taylor *et al.*, 1998).

2.3.2. Classificação da MOD sob luz branca transmitida

O conceito de palinofácies foi introduzido por Combaz (1964) que o definiu com o “estudo palinológico da assembleia total de MO contida em um sedimento seguido pela remoção da matriz sedimentar (mineral) pela acidificação com HCl e HF”. Tyson (1995) atualizou a definição, definindo palinofácies como um “corpo de sedimento contendo assembleia de componentes de MO que reflete um grupo específico de condições ambientais, ou para ser associada com um nível característico do potencial de geração de hidrocarbonetos.”

A identificação dos diferentes constituintes orgânicos usando a análise de palinofácies é uma ferramenta muito usada na exploração de hidrocarbonetos e na caracterização de bacias sedimentares. A análise de palinofácies consiste na identificação dos componentes orgânicos particulados e a determinação das suas proporções relativas e absolutas, além do seu estado de preservação para aferição do potencial de geração de hidrocarbonetos (Tyson, 1995). Além disso, permite uma análise e interpretação imediata do conteúdo orgânico, no entanto, esta classificação é, geralmente, subjetiva, baseando-se em fatores como ambientes deposicionais, classificação botânica, relação entre o contributo marinho ou terrestre, distância à fonte, grau de degradação e frações alóctones ou autóctones (Mendonça Filho *et al.*, 2014).

A análise de palinofácies tem como objetivos principais os seguintes parâmetros (Tyson, 1995):

- Determinar a origem da MO;

- Determinar as percentagens relativas dos componentes orgânicos;
- Determinar o estado de preservação dos constituintes orgânicos;
- Determinar o potencial de geração de hidrocarbonetos;
- Determinar o grau de alteração térmica (maturação) da MO;
- Caracterizar ambientes deposicionais;
- Determinar as condições redox (redução/oxidação);
- Determinar a paleosalinidade (pela diferenciação dos componentes de água doce, marinha ou salobra).

Tyson (1995) classificou a MO em três grupos principais, os Fitoclastos, os Palinomorfos e a Matéria Orgânica Amorfa (AOM). Posteriormente trabalhos desenvolvidos por Mendonça Filho *et al.* (2012) permitiram atualizar a classificação de Tyson (1995), no que diz respeito aos componentes amorfos. Recentemente Mendonça Filho & Gonçalves (2017), procederam à atualização da classificação de Palinofácies. Com esta atualização foi incluído mais um grupo de componentes particulados, o grupo dos Zooclastos tendo, também, sido incluídos os hidrozoários no subgrupo dos Zoomorfos. A classificação dos componentes particulados individuais dos diferentes grupos de palinofácies é apresentada na Tabela 2.

O termo “fitoclasto” foi introduzido por Bostick (1971) para descrever as partículas de cerogénio derivadas de plantas superiores. Os fitoclastos estão divididos em opacos (cor negra) e não opacos (amarelados a castanhos), onde se incluem as cutículas e membranas (Tab. 2). As partículas não opacas (Tab. 2) estão subdivididas de acordo com sua morfologia, presenças ou ausências de elementos estruturais e diferenças no estado de preservação (Tyson, 1995). O grupo Amorfa (Tabela 2) inclui todas as partículas orgânicas que não exibem qualquer estrutura, à escala microscópica. Neste grupo incluem-se material proveniente da degradação do fitoplâncton e de bactérias, resinas de plantas superiores e produtos amorfos da diagénese de tecidos de plantas macrófitas (Mendonça Filho *et al.*, 2012). O termo “palinomorfo”, introduzido por Tschudy (1961), corresponde a todos os componentes de parede orgânica resistente ao ataque com HCl e HF, estando divididos em vários subgrupos (Tab. 2): esporomorfos (esporos e grãos de pólen); microplâncton de parede orgânica (marinho e água doce) e zoomorfos. No subgrupo dos zoomorfos destacam-se palinoforaminíferos e os hidrozoários.

Tabela 2. Classificação dos componentes particulados de MO (Tyson, 1995; Mendonça Filho, 1999; Mendonça Filho *et al.*, 2012; Mendonça Filho & Gonçalves, 2017).

Grupo	Subgrupo
Fitoclastos	Alongados
	Opaco
	Equidimensionais
	Corroídos
Fitoclastos	Não Bioestruturado
	Bioestruturado
	Não opacos (litrado, estriado, bandado, perfurado)
	Cutículas
Fitoclastos	Membranas
	Hifas de fungos
Amorfa	Matéria Orgânica Amorfa “MOA”
	Produtos de tecidos de macrófitas
	Esteiras microbianas
	EPS
	Resina
Palinomorfos	Esporos
	Esporomorfos
	Grãos de pólen
	<i>Botryococcus</i>
	<i>Pediastrum</i>
	<i>Scenedesmus</i>
	Zygnemataceae
	<i>Gloeocapsomorpha</i>
	Cistos de dinoflagelados
	Microplâncton marinho
	Prasinófitas
	Acritarcas
Palinomorfos	Palinoforaminíferos
	Escolecodontes
	Quitinozoários
	Cutículas de ostracodes
	Hidrozoários
Zooclastos	Graptólitos, ovos de crustáceos, conchas de ostracodos, tintinídeos, fragmentos de cutículas de insetos ou fragmentos de artrópodes

O grupo Zooclasto (Mendonça Filho & Gonçalves, 2017) compreende os fragmentos de partículas orgânicas derivadas de animais, por exemplo, graptólitos, ovos de crustáceos, conchas de ostracodos, tintinídeos, fragmentos de cutículas de insetos ou fragmentos de artrópodes. Esses restos orgânicos podem ter origem desconhecida devido às características de fragmentação, mas muitas vezes possuem estrutura e contorno angular (Tyson, 1995).

3. Enquadramento Geológico e Geográfico

3. Enquadramento geológico e geográfico

A seguir vai ser feita uma sucinta descrição acerca do enquadramento geológico da Bacia Lusitânica e da área de estudo, sendo referidas as unidades litoestratigráficas em estudo.

3.1 Enquadramento geológico

As sondagens alvo de estudo foram realizadas na área de São Pedro de Moel - Monte Real, no distrito de Leiria, na região central Portuguesa. Inserem-se na Bacia Lusitânica (Fig. 8), uma bacia sedimentar situada no bordo ocidental da Península Ibérica, desenvolvida durante o Mesozoico até ao Cenozoico. É uma bacia de tipo *rift* não-vulcânica, enquadrando-se a sua dinâmica num contexto de fragmentação da Pangeia, que consequentemente deu origem a fases de extensão, levantamento, subsidência e inversão, desencadeando a abertura do Oceano Atlântico Norte e o fecho do Tétis (Kullberg *et al.*, 2013).

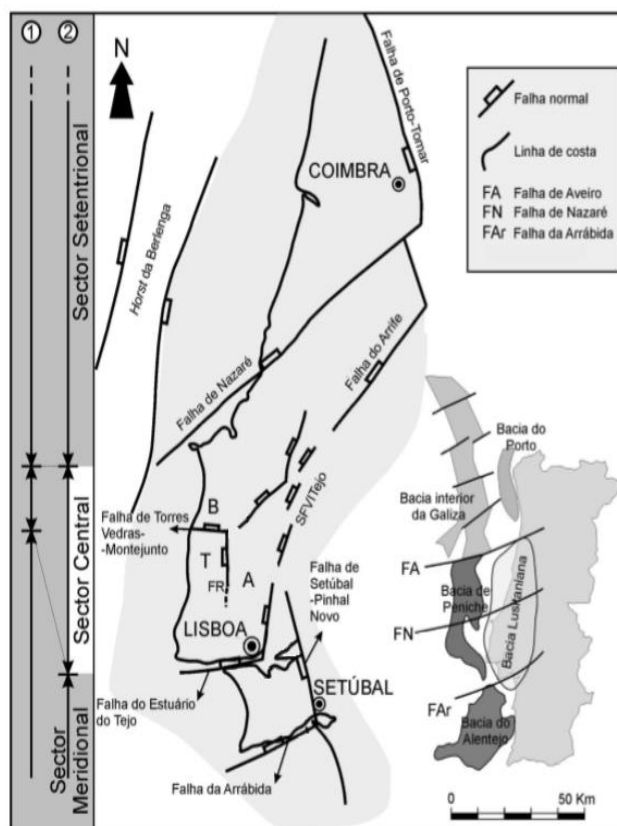


Figura 8. Enquadramento geográfico e tectónico da Bacia Lusitânica (retirado de Kullberg *et al.*, 2013).

Com um total de 20000 Km² e uma extensão de 200 Km, seguindo a direção NNW-SSE (Fig. 3), a Bacia Lusitânica é a maior bacia sedimentar portuguesa e a única bacia das margens do Atlântico Norte com uma extensa exposição superficial, sendo que apenas 1/3 da sua área se encontra imersa na plataforma continental. É limitada (Fig. 8), a este pelo Maciço Hespérico e a Oeste pelo *horst* da Berlenga. Estes limites são materializados, respetivamente, por um sistema complexo composto pelas falhas de Porto-Tomar, Arrife-Vale Inferior do Tejo, Setúbal-Pinhal Novo e por falha sub-meridiana localizada entre a Berlenga e a península de Peniche. O limite meridional localiza-se na elevação de soco a sul da Arrábida (falha da Arrábida) e o setentrional correspondendo a uma transição em *échelon* para a Bacia do Porto, localizada mais a norte (Kullberg *et al.*, 2013). Segundo Ribeiro *et al.*, (1979), os sedimentos da bacia depositaram-se nomeadamente sobre as unidades da Zona de Ossa Morena e também da Zona Sul Portuguesa (Dias & Ribeiro, 1995), pertencentes ao Maciço Hespérico. Além disso, afirma-se que a estruturação da bacia foi condicionada pela evolução tectónica da mesma, com um regime distensivo de direção predominante este-oeste, originando uma nova direção de fracturação principal ENE-WSW (Kullberg *et al.*, 2013).

3.2 Enquadramento geográfico e unidades estratigráficas atravessadas pelas sondagens alvo de estudo

As sondagens alvo deste estudo foram realizadas na zona de São Pedro de Moel e Monte Real (SPM-02 e MR-W9, respetivamente; Fig. 9), no distrito de Leiria, no setor Setentrional da Bacia Lusitânica (Fig. 8). Foram recolhidas amostras representativas das seguintes formações (da base para o topo): Formação de Dagorda, Formação de Coimbra e Unidade Brenha (formação informal).

De um modo simplificado, as unidades litoestratigráficas definidas para o Jurássico da Bacia Lusitânica estão ilustradas na Figura 10. Estudos realizados por Kullberg *et al.* (2013 e referências nele contidas) permitiram uma redefinição das formações para o Jurássico Inferior e Médio. A designação das formações apresentadas na Figura 10, cujos nomes são usados frequentemente pela indústria petrolífera em Portugal, são, em alguns casos, de unidades informais. É o caso da Brenha (Jurássico Inferior-Médio), alvo deste estudo, que é geralmente descrita nos relatórios de sondagens petrolíferas elaborados em Portugal e adaptada por Rasmussen *et al.* (1998; entre outros autores). Neste trabalho optou-se por se usar a referência a Unidade Brenha em substituição de Formação Brenha.



Figura 9. Localização das sondagens alvo de estudo. MR: Monte Real-W9;
SPM: São Pedro de Moel-2 (modificado de Dias, 2005).

A Formação (Fm.) de Dagorda é uma sequência marinha marginal, de sedimentos evaporíticos e dolomíticos, que refletem a abertura gradual da bacia a um ambiente marinho. Esta formação é interpretada como tendo sido depositada num ambiente lagunar sob condições climáticas áridas (Azerêdo *et al.*, 2003; Soares *et al.*, 1993). É atribuída uma idade do Triásico Superior-Hetangiano (Palain, 1976; Rocha *et al.*, 1990; Soares *et al.*, 1993). Esta formação termina numa sequência marinha hipersalina e transgressiva formada nas margens do Proto-Atlântico. Favorecida pelas condições de forte subsidência, aflora nos sectores ocidental e sul da bacia (nomeadamente nas zonas de Soure, Monte Real, Leiria, Caldas da Rainha - Óbidos, Porto de Mós - Rio Maior, Setúbal - Sesimbra), como consequência de processos halocinéticos. Possui um carácter litoral (lagoas e *tidal flats*, barreiras litorais), num ambiente quente e seco. À exceção de uma fina camada de sal na parte sul da bacia, os dolomititos e evaporitos desta série parecem ter sido depositados em sub-bacias limitadas por falhas, atingindo espessuras superiores a dois quilómetros (Kullberg *et al.*, 2013).

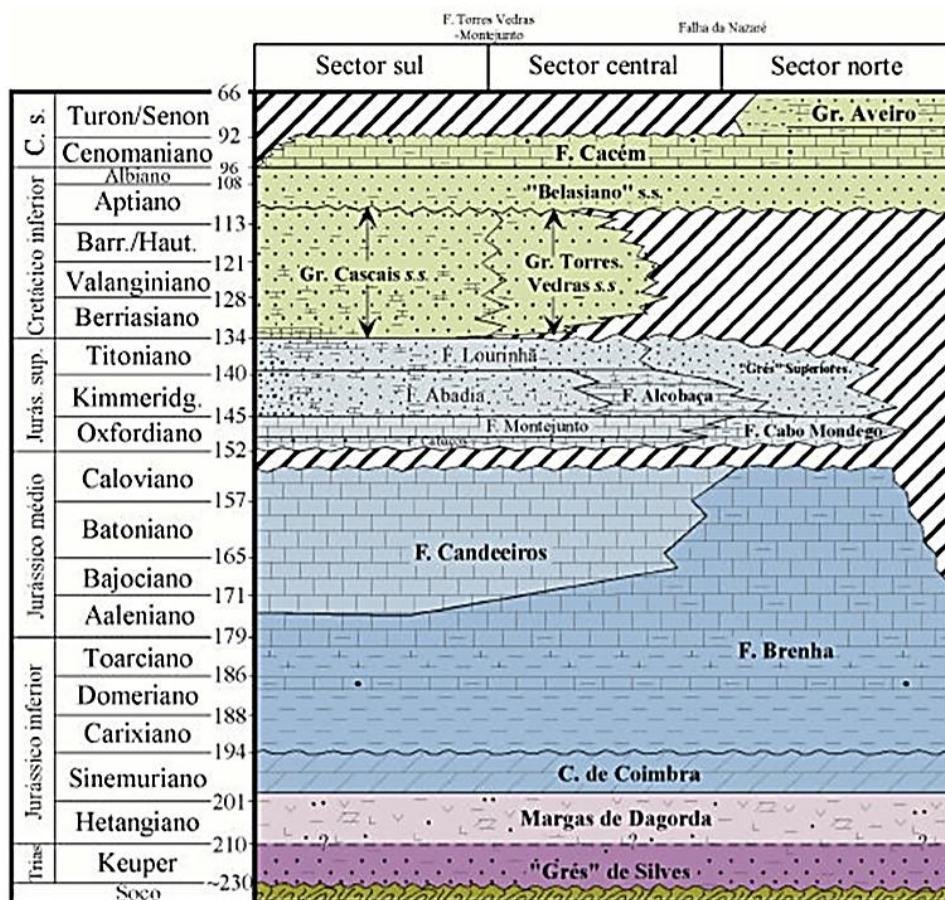


Figura 10. Unidades litoestratigráficas simplificadas da Bacia Lusitânica (retirado de Kullberg, 2000).

A Fm. de Coimbra pertence ao Grupo de Coimbra que engloba, também, a Fm. de S. Miguel (no topo). Relativamente à Fm. de Coimbra, Soares *et al.* (1985) distinguiram duas subunidades: uma subunidade dolomítica e uma subunidade calcária. O membro dolomítico é constituído por dolomitos e calcários dolomíticos enquanto o membro calcário é constituído por calcários, muitas vezes com interestratificação de leitos margosos (Azerêdo *et al.*, 2003). Comparativamente, a Fm. S. Miguel é constituída por calcários dolomíticos e calcários interestratificados com margas cinzentas (Soares *et al.*, 1985; Rocha *et al.*, 1990). Na área de estudo, São Pedro de Moel, esta formação deverá possuir mais de 120m de espessura (Duarte *et al.*, 2008; Azerêdo *et al.*, 2010), sendo composta por dolomitos, calcários dolomíticos, margosos e bioclásticos; ocorrem estruturas estromatolíticas sobrepostas por sucessões calcárias fossilíferas (Duarte *et al.*, 2008). O topo da Fm. de Coimbra, nesta área, é caracterizado por uma sucessão de calcários fossilíferos, com predominância de braquiópodes (Mouterde & Rocha, 1981).

A Unidade Brenha corresponde a uma sucessão carbonatada (Rasmussen *et al.*, 1998), presente em toda a bacia, com grande variação lateral de espessura (Fig. 10). É caracterizada por margas fossilíferas e/ou bioturbadas, calcários margosos e calcários compactos (Azerêdo *et al.*, 2002); em alguns locais da bacia, é possível identificar níveis de *shales* (Duarte *et al.*, 2010). Como referido anteriormente, a Unidade Brenha corresponde a uma unidade informal que na região de São Pedro de Moel foi individualizada em diversas formações (do Sinemuriano à base do Toarciano; Duarte & Soares, 2002; Azerêdo *et al.*, 2003), a saber: a Fm. Água de Madeiros, a Fm. Vale das Fontes e Fm. de Lemedé (Fig. 11).

Cronostratigrafia		Biostratigrafia de amonites	Litostratigrafia			
			Generalidade da bacia	Peniche/ S. Pedro Moel	Tomar	
Jurás. Médio	AALENIANO		Opalium	Fm. Póvoa da Lomba		
JURÁSSICO INFERIOR	TOARCIANO	Superior	Aalensis			Fm. Cabo Carvoeiro
			Meneghinii			
			Speciosum			
			Bonarellii			
		Médio	Gradata			
			Bifrons			
		Interior	Levisoni	Fm. S. Gião		
		Polymorphum				
	PLIENSBAQUIANO	Sup.	Spinatum	Fm. de Lemedé		
			Margaritatus	Fm. Vale das Fontes		
			Davoei			
			Ibex			
	Interior	Jamesoni	Fm. Coimbra			
SINEM.	Raricostatum	Fm. Água de Madeiros				

Figura 11. Coluna crono-, bio- e litoestratigráfica do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica (retirado de Pina, 2015).

A Fm. de Água de Madeiros (Sinemuriano Superior) sobrepõe-se à Fm. de Coimbra e apresenta uma alternância de margas, calcários margosos, micríticos e bioclásticos, ricos em MO e com macrofauna nectónica e bentónica (Duarte *et al.*, 2006, 2008, 2010). Encontra-se dividida em dois membros: o Mb. de Polvoeira e o Mb. da

Praia de Pedra Lisa. O Mb. da Praia de Pedra Lisa, aflora como uma série fundamentalmente calcária, mas no sector de S. Pedro de Moel pode mostrar alternâncias margosas. O Mb. de Polvoeira, é composto por alternâncias de margas e calcários margosos cinzentos muito ricos em matéria orgânica. No sector de S. Pedro de Moel, na base da unidade, registam-se níveis muito fossilíferos (bivalves, braquiópodes, amonóides no topo do membro, restos de peixes actinoptérigios entre outros) (Duarte *et al.*, 2010).

A Fm. de Vale das Fontes (Pliensbaquiano Inferior à parte inferior do Pliensbaquiano Superior) é uma unidade margo-calcária de domínio margoso, composta por alternâncias de margas decimétricas a métricas com calcários em camadas centimétricas ricas em macrofauna bentónica e nectónica (Soares *et al.*, 1993). Tem espessura variável e encontra-se, segundo Duarte *et al.* (2010), dividida em três membros:

- o Mb. Margas e Calcários com *Uptonia* e *Pentacrinus* está datado da Zona *Jamesoni* (Mouterde *et al.*, 1983), e corresponde a uma alternância de margas e calcários margosos ricos em MO, com espessura até 35 m. Apresenta macrofauna variada, destacando-se crinoides e belemnites;
- o Mb. Margas e Calcários grumosos é composto por margas, margas calcárias, margas e calcários grumosos, com intercalações de margas laminadas e localmente ricas em MO (Soares *et al.*, 1993). A macrofauna é menos diversificada comparada aos outros membros da formação, sendo especialmente notória a pouca presença de fauna bentónica;
- o Mb. Margo-Calcários com níveis betuminosos que abrange uma sucessão margosa rica em MO, com a ocorrência de *black shales*, com alguns níveis de calcário margoso. É rica em macrofauna nectónica e bentónica, assim como, microfauna representada por associações de foraminíferos. As condições sedimentares deste membro fazem com que seja considerado como potencial gerador de hidrocarbonetos na BL (Oliveira *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2007).

A Fm. de Lemedé (metade superior do Pliensbaquiano Superior até à base do Toarciano Inferior) é constituída por uma sucessão de calcários margosos e micríticos em bancos decimétricos, em alternância com margas calcárias centimétricas (Soares *et al.*, 1985, 1993). A fauna é abundante e diversificada; a ocorrência de belemnites possibilita identificar facilmente a formação. Apresenta em toda a bacia (com exceção da região da Arrábida) espessura entre 6 e 30 m, sendo um horizonte de referência

mesmo nos afloramentos de carácter calcário, do bordo ocidental da bacia (Kullberg *et al.*, 2013).

4. Amostras e Metodologias

4. Amostras e Metodologias

4.1. Seleção de amostras

As amostras selecionadas para o presente trabalho pertencem a duas sondagens (Fig. 9), uma na área de São Pedro de Moel (SPM-02) e outra em Monte Real (MR-W9), realizadas no setor Setentrional da Bacia Lusitânica. Estas sondagens atravessaram sequências sedimentares com 1507m (SPM-02) e 1388m (MR-W9), perfurando formações com idades compreendidas entre o Jurássico Inferior e o Cenozoico. Para este estudo foram selecionadas 24 amostras do Jurássico Inferior, recolhidas entre as profundidades 1100-1380m, no caso da sondagem MR-W9, e 700-1400m na sondagem SPM-02, pertencentes às formações de Dagorda e de Coimbra e à Unidade Brenha. Na Tabela 3 são apresentadas as amostras selecionadas para este estudo.

Tabela 3. Amostras estudadas e respetivas formações

Sondagem	Formação/Unidade	Amostra ID	Profundidade (m)
MR-W9	Coimbra	SMR 01	1100
		SMR 02	1150
		SMR 03	1200
		SMR 04	1250
		SMR 05	1300
		SMR 06	1350
	Dagorda	SMR 07	1370
		SMR 08	1380
SPM-02	Brenha	SPM 01	700
		SPM 02	750
		SPM 03	800
		SPM 04	850
		SPM 05	900
		SPM 06	950
		SPM 07	1000
		SPM 08	1050
	Coimbra	SPM 09	1080
		SPM 10	1085
		SPM 11	1100
		SPM 12	1150
		SPM 13	1180
	Dagorda	SPM 14	1185
		SPM 15	1300
		SPM 16	1400

4.2. Análises Petrográficas

4.2.1. Análise de Palinofácies

4.2.1.1. Preparação das lâminas organopalinológicas

Foram realizadas 24 lâminas para análise de palinofácies no Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânica (LAFO) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Brasil), seguindo os procedimentos palinológicos padrão descritos por Tyson (1995) e Mendonça Filho *et al.* (2010) que correspondem a métodos não oxidativos de isolamento da MO. Primeiramente, foi necessário tratar as amostras com solvente orgânico para remover os fluídos de perfuração. De seguida, procedeu-se à acidificação da amostra (cerca de 50g de sedimento) com ácido clorídrico (HCl) a 37%, durante 18 horas, para remoção da fração carbonatada. Posteriormente, neutralizou-se o material com água destilada. Esta foi adicionada a um gobelé peneirando-se o sobrenadante com uma peneira de malha de poliéster (entre 10 e 20 μm). De forma a remover a fração silicatada utilizou-se ácido fluorídrico (HF) a 40%, deixando-se as amostras em repouso durante 24 horas. Após este ataque ácido, procedeu-se novamente à neutralização com água destilada (à semelhança do processo levado a cabo após o ataque com HCl). Após a neutralização das amostras, utilizou-se cerca de 5 a 10ml de HCl a 37%, durante 3 horas, a fim de eliminar possíveis fluorsilicatos formados durante as etapas anteriores. Seguiu-se novamente uma fase de neutralização com água destilada. O resíduo foi transferido para tubos de centrifuga e a água em excesso foi eliminada por centrifugação (3 minutos a 1500 rpm). Posteriormente, foi utilizado cloreto de zinco (ZnCl_2) de densidade entre 1,9-2 g/cm^3 , durante 12 horas, para separar a fração orgânica (sobrenadante) da fração inorgânica residual. Seguidamente, eliminou-se o ZnCl_2 , acidificando-se à fração orgânica com HCl a 10%. Foram realizadas diversas neutralizações com água destilada e centrifugação até se atingir pH neutro. A fração restante corresponde ao cerogénio e foi utilizada para a preparação de lâminas organopalinológicas. Estas foram montadas numa placa de aquecimento, a 50°C, utilizando-se uma lamela (24x24mm) na qual foi depositada uma gota de cerogénio (previamente peneirado numa malha de poliéster de 10 μm). Foi adicionada à lamela uma gota de goma de acácia e água destilada para homogeneizar. Depois de secar, adiciona-se uma resina à base de xileno, que vai fixar a lamela à lâmina de vidro (24x76mm) previamente etiquetada.

4.2.1.2. Observação microscópica

A observação microscópica foi realizada num microscópio *Leica* DM2500P equipado com luz branca transmitida e luz azul incidente, oculares de 10x e objetivas de 10x, 20x e 40x. Durante esta análise foi realizada a identificação e descrição geral dos componentes particulados presentes nas lâminas organopalinológicas. De seguida, procedeu-se à contagem dos componentes palinológicos individuais (contagem de 300 a 500 partículas), percorrendo a lâmina através de seções transversais verticais utilizando os fios de retículo como guia. Para a contagem das lâminas é usada uma ocular de 10x e uma objetiva 20x, contabilizando somente as partículas que se encontram posicionadas nos fios de retículo. A contagem obedece à classificação dos grupos e subgrupos de MO (Tabela 2) proposta por Tyson (1995), Mendonça Filho *et al.* (2012) e Mendonça & Gonçalves (2017).

4.2.2. Petrografia orgânica

4.2.2.1. Preparação de blocos polidos

A preparação dos blocos polidos foi realizada no Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Para a análise petrográfica da MOD prepararam-se amostras de rocha total das amostras previamente selecionadas. Os sedimentos usados correspondem a *cuttings*, representativos do intervalo indicado das sondagens em estudo. O tipo de amostra de rocha total caracteriza-se por ser uma amostra em grão. Este tipo de preparação permite observar o tipo de relação entre a matéria orgânica e a matéria mineral, identificar partículas correspondentes a microfauna (restos de esqueletos e carapaças), hidrocarbonetos líquidos e betumes sólidos, bem como distinguir partículas orgânicas autóctones das alóctones na mesma amostra (Taylor *et al.*, 1998).

A metodologia de preparação das amostras corresponde a uma adaptação do método descrito na norma ASTM D2797-11a. As amostras foram moídas num almofariz ágata e colocadas em moldes próprios para a preparação de amostras de rocha total, previamente identificados. Posteriormente, preparou-se uma mistura de resina epóxi (*epofix*) com um endurecedor (*epofix hardener*), na proporção de 25 para 3 em volume, respetivamente. Esta preparação foi bem mexida com uma vareta de vidro, durante 2 a 3 minutos, para homogeneizar. Juntou-se esse preparado ao material anteriormente colocado no molde, fazendo com que este líquido funcione como aglutinante no

sedimento lá existente. Após este procedimento, a mistura ficou a secar durante 24 horas, de forma a solidificar. Após secagem, as preparações foram retiradas dos moldes e devidamente identificadas, estando prontas para a preparação de uma superfície polida que inclui as operações de pré-polimento e polimento.

Na fase seguinte, as preparações foram polidas manualmente através do uso de um equipamento de polimento. Durante esta fase, as amostras foram alvo de um pré-polimento, usando diferentes tipos diferentes de lixas, de granulometria sucessivamente mais fina, assentes num prato giratório (300 rotações/min), usando água como lubrificante (Tab. 4). O polimento foi feito com panos específicos para o efeito e alumina como líquido abrasivo (Tab. 4). As irregularidades na superfície da preparação foram assim eliminadas, permitindo otimizar a análise microscópica. Por último, os blocos foram bem lavados com água e ar comprimido, minimizando qualquer resto de produtos de polimento ainda presente. Os blocos polidos ficaram prontos para serem analisados, depois de colocados num exsiccador, durante aproximadamente 24h, para eliminação da água usada durante o polimento e limpeza da superfície polida.

Tabela 4. Etapas de pré-polimento e polimento das amostras

Etapas	Lixa (<i>mesh</i>)/ Pano	Lubrificante / Líquido abrasivo
1^a	220	Água
2^a	500	Água
3^a	1200	Água
4^a	4000	Água
5^a	Texmet	Alumina 0,3 µm Água (finalizar)
6^a	MasterTex	Alumina 0,05µm Água (finalizar)

4.2.2.2 Observação microscópica

A observação microscópica tem como objetivo identificar a MO presente nas amostras selecionadas bem como medir a reflectância da vitrinite. A observação foi realizada em luz branca refletida e luz azul incidente (fluorescência), num microscópio *Leica* DM4000, equipado com um sistema *Diskus-Fossil*, usando a objetiva de 50x em

óleo imersão. A refletância das partículas de vitrinite foi medida de acordo com a norma ASTM D7708-14. O microscópio foi calibrado com o padrão Spinel (0,426% R_r). A MO dispersa foi classificada de acordo com a classificação ICCP-TSOP (Tabela 1), sendo usada a nomenclatura do ICCP para os constituintes orgânicos (ICCP 1998, 2001; Pickel *et al.*, 2017).

4.3. Geoquímica Orgânica

4.3.1. Preparação das amostras

A determinação do carbono orgânico total (COT), do enxofre total (St) e do resíduo insolúvel (RI) foi efetuada no Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Brasil).

Primeiramente, as amostras são fragmentadas de modo a obter sedimentos de dimensões aproximadas a 2 mm e, em seguida, são colocadas, durante dois dias, numa estufa à temperatura de 50° C. Após serem retiradas da estufa, cerca de 1 grama de sedimento de cada amostra é pulverizada num almofariz de ágata. Seguidamente são pesadas 0,26 gramas num porta-amostra de porcelana filtrante, ao qual é adicionado ácido clorídrico (HCl) a 50% de volume. A mistura é colocada em repouso durante 24 horas, para que toda a fração carbonatada seja eliminada. Terminada esta etapa, cada amostra é lavada durante uma hora com água destilada quente (100°C), para eliminar os cloretos, e posteriormente neutralizada com água destilada à temperatura ambiente. Para descartar o excesso de água as amostras são colocadas numa estufa (a 65°C) durante aproximadamente 3 horas. Terminada a preparação, procede-se ao registo da massa de cada porta-amostra.

4.3.2. Análise de COT, ST e RI

O conteúdo em carbono orgânico total (COT) representa a quantidade de matéria orgânica presente numa rocha (Jarvie, 1991). Para a rocha ser considerada como rocha potencialmente geradora de hidrocarbonetos, deve possuir no mínimo valores de 0,5% e 0,3% de COT para *shales* e carbonatos, respetivamente (Tissot & Welte, 1984). A relação estabelecida entre o carbono orgânico total e o enxofre total (ST) pode ser usada para determinar o ambiente deposicional dos sedimentos (Berner, 1995; Borrego *et al.*, 1998). O valor de resíduo insolúvel permite inferir quanto à composição litológica da rocha sedimentar, nomeadamente o teor em carbonatos.

Na análise de geoquímica orgânica, tanto o COT como o ST foram quantificados simultaneamente num analisador LECO® SC-144DR segundo normas internacionais (U.S EPA, 2002 e ASTM D4239-08, 2008). Este equipamento possui um forno em atmosfera de oxigénio (superseco) à temperatura de 1350°C, que por reações de oxirredução leva à combustão total dos elementos. Cada porta-amostra foi introduzido no forno, obtendo-se o registo das concentrações dos gases carbono (CO₂) e enxofre (SO₂) relativo à amostra, em percentagem de massa. Todas as análises foram efetuadas em duplicado com uma exatidão de 99%.

O RI corresponde à fração da amostra que não foi eliminada durante o tratamento ácido, pressupondo que os carbonatos são totalmente eliminados. O RI foi calculado usando a seguinte fórmula:

$$RI (\%) = (PI / PA) \times 100$$

Onde:

PI - massa do insolúvel (massa da amostra descarbonatada);

PA - massa da amostra (massa inicial)

5. Resultados

5. Resultados

A seguir vão ser apresentados os resultados obtidos após a aplicação das metodologias descritas no Capítulo 4. Amostras e Metodologias. Os resultados do estudo petrográfico serão apresentados por formações, realçando as particularidades e características encontradas durante a observação microscópica no que concerne ao estudo da MOD.

5.1. Carbono orgânico total, enxofre total e resíduo insolúvel

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os valores de carbono orgânico total (COT), enxofre total (ST) e resíduo insolúvel (RI) das amostras estudadas. Os dados geoquímicos mostram que os valores de COT variam entre 0,19 e 2,47%, apresentando a Unidade Brenha (SPM-03 e SPM-04; Tabela 6) os valores mais elevados. De acordo com Peters & Cassa (1994), o conteúdo em carbono orgânico varia entre pobre a bom. Verifica-se que os valores de COT, nas formações presentes em ambas as sondagens, não apresentam variações significativas.

Tabela 5. Dados de geoquímica das amostras da sondagem MR-W9.

Amostra	COT%	COT Min - Max (%)	ST (%)	RI (%)	COT/ST
Formação de Coimbra					
SMR 01	0,97	0,42 - 0,97	3,06	56	0,32
SMR 02	0,55		5,52	40	0,10
SMR 03	0,42		1,02	15	0,41
SMR 04	0,43		0,36	9	1,19
SMR 05	0,72		0,77	27	0,94
SMR 06	0,71		0,74	31	0,96
Formação de Dagorda					
SMR 07	0,44	0,44 - 0,58	3,37	36	0,13
SMR 08	0,58		4,52	70	0,13

COT: Carbono orgânico total; ST: Enxofre total; RI: Resíduo insolúvel.

O teor de ST varia entre 0,10 e 5,52%, estando os valores mais elevados associados a amostras com anidrite (Formação de Dagorda) ou a amostras com maior quantidade relativa de pirite (Formação de Coimbra). Os valores de RI varia entre 3 e 70% (Tabelas 4, 5), evidenciando o carácter carbonatado da maioria das amostras. A interpretação dos dados de RI relativos à Formação de Dagorda deve ser feita com alguma precaução. Como referido anteriormente, a Formação de Dagorda corresponde

a uma sucessão evaporítica constituída por dolomite, sais e *shales* (Kulberg *et al.*, 2013) pelo que, teoricamente, deveria apresentar teores de RI mais elevados. Relativamente à relação COT/ST, praticamente todas as amostras apresentam valores inferiores a 3 (Tabelas 4, 5); são exceção as amostras SPM 02 e SPM 04, com valores de 3,21 e 3,39 (respetivamente).

Tabela 6. Dados de geoquímica das amostras da sondagem SPM-02.

Amostra	COT%	COT Min - Max (%)	ST (%)	RI (%)	COT/ST
Unidade Brenha					
SPM 01	0,86	0,19 - 2,74	0,47	51	1,84
SPM 02	0,89		0,28	51	3,21
SPM 03	1,23		0,84	31	1,47
SPM 04	2,74		0,81	32	3,39
SPM 05	0,70		0,27	15	2,56
SPM 06	0,25		0,17	5	1,42
SPM 07	0,19		0,10	6	1,92
SPM 08	0,34		0,15	3	2,29
Formação de Coimbra					
SPM 09	0,68	0,39 - 0,73	0,36	10	1,91
SPM 10	0,73		0,37	10	1,97
SPM 11	0,64		0,33	10	1,91
SPM 12	0,35		0,23	10	1,56
SPM 13	0,39		0,23	8	1,69
Formação de Dagorda					
SPM 14	0,89	0,43 - 0,89	0,57	27	1,54
SPM 15	0,43		2,99	32	0,15
SPM 16	0,81		0,33	24	2,42

COT: Carbono orgânico total; ST: Enxofre total; RI: Resíduo insolúvel.

5.2. Palinofácies

Procedeu-se à caracterização organopalinológica das duas sucessões jurássicas em estudo (sondagens MR-W9 e SPM-02) perfuradas no sector norte da Bacia Lusitânica. A assembleia de cerogénio (Fig. 11, Tabelas. 7, 8) inclui os três principais grupos de matéria orgânica particulada (Fitoclastos, Amorfa e Palinomorfos) e, pontualmente, zooclastos e betumes sólidos.

A análise de palinofácies revelou o predomínio do grupo Amorfa (Tabs. 7, 8), atingindo 86,3% na amostra SMR 08. O grupo Amorfa caracteriza-se, principalmente, por matéria orgânica amorfa derivada de fitoplâncton (MOA) que exibe cor de fluorescência castanha-amarelada, por vezes muito intensa, frequentemente com inclusão de palinomorfos, fitoclastos e pirite. Em menores percentagens, foi observada

matéria orgânica amorfa de origem bacteriana (MOA B), onde se distinguem crateras euédricas derivadas da dissolução dos carbonatos pelo tratamento com HCl. Estas partículas apresentam cor de fluorescência amarelo-pálido. Matéria orgânica amorfa derivada de tecidos de macrófitas (MOA F) apresentam diferentes estágios de amorfização, desde partículas subangulares com contornos nítidos até partículas com limites difusos ou completamente desestruturadas; em geral não apresentam inclusões de palinomorfos ou pirite. A MOA F exibem coloração castanha muito escura sob luz branca transmitida e cor de fluorescência amarelo-acastanho. Quanto ao grupo dos Fitoclastos, o subgrupo dos fitoclastos não opacos (FNO) é geralmente o mais representativo (Tabs. 7, 8), correspondendo principalmente a fitoclastos não opacos não bioestruturados (FNONB), na sua maioria não degradados ou muito pouco degradados. Também foram observados fitoclastos não opacos bioestruturados (FNOB), com predominância de fitoclastos bandados em ambas as sondagens. Cutículas e membranas foram observadas, exibindo uma cor castanha-pálida a clara, por vezes, translúcida (em LBT).

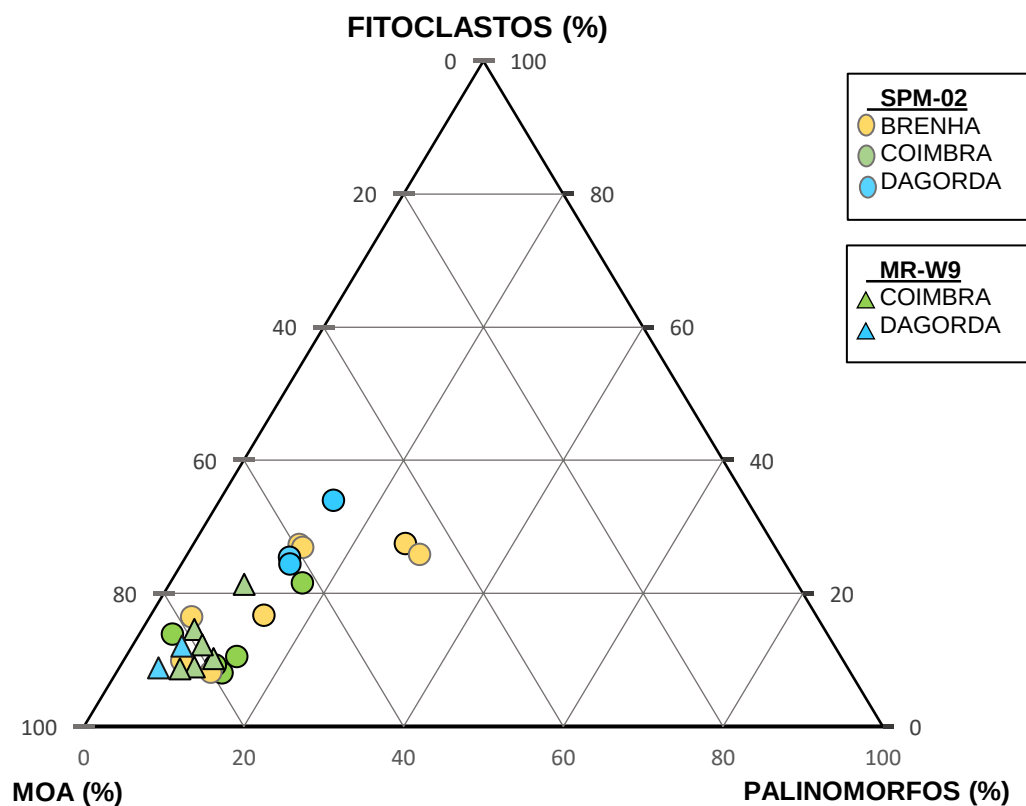


Figura 11. Diagrama ternário Fitoclastos-MOA-Palinomorfos (inclui Zooclastos) das amostras analisadas.

Os elementos do grupo Palinomorfo correspondem, maioritariamente, ao subgrupo esporomorfos (esporos e grãos de pólen). Foi também observado microplâncton de água doce, microplâncton marinho e zoomorfos.

Formação de Dagorda

A Formação de Dagorda está presente nas duas sondagens alvo de estudo. Foi confirmada a presença dos três grupos de matéria orgânica particulada em todas as amostras, correspondendo o grupo Amorfa a mais de metade da matéria orgânica particulada observada (Tabs. 7, 8).

Tabela 7. Percentagens relativas dos subgrupos morfológicos de cerogénio identificados na sondagem MR-W9.

Amostra	FO (%)	FNO (%)	MOA B (%)	MOA (%)	MOA F (%)	ESP (%)	DOCE (%)	MAR (%)
Formação de Coimbra								
SMR 1	3,99	4,98	6,64	68,11	6,98	7,31	1,00	0,99
SMR 2	6,79	3,40	1,85	58,64	18,21	10,19	0,62	0,31
SMR 3	3,73	10,87	0,62	64,29	13,98	5,59	0,62	0,31
SMR 4	0,94	20,38	0,94	65,20	3,13	9,09		0,31
SMR 5	2,00	6,67	1,33	78,33	4,00	7,67		
SMR 6	7,19	5,09	1,80	71,86	5,39	6,59		2,10
Formação de Dagorda								
SMR 7	5,23	6,86	6,21	69,61	5,88	2,61		3,59
SMR 8	2,94	5,88	2,94	82,03	1,31	3,59		1,31

FO: Fitoclastos opacos; FNO: Fitoclastos não opacos; MOA F: MOA de tecidos de macrófitas; MOA B: MOA bacteriana; MOA: MOA Fitoplâncton; DOCE: Microplâncton de água doce; MAR: Microplâncton marinho + zoomorfos + zooclastos

O grupo Amorfa representa 81,70 a 86,28% (sondagem MR-W9; Tab. 7) e 51,82 a 62,05% (sondagem SPM-02; Tab. 8) do total de cerogénio. O grupo inclui partículas amorfas provenientes de fitoplâncton (MOA; 62,32%, valor médio), assim como matéria orgânica amorfa derivada de bactérias (MOA B; 4,19%, em média) e ainda produtos amorfos de macrófitas (MOA F; média 2,16%). No que diz respeito à MOA, esta é geralmente heterogénea com contornos irregulares, sem estrutura definida, grumosa, muitas vezes com inclusões de palinomorfos, fitoclastos e pirite, apresentando cor que varia de amarela clara a castanha em LBT a amarela escura a castanho-escura em LF (Fig. 9). A MOA bacteriana apresenta-se de cor amarelo-pálida em LBT e adquire cor

amarelo-pálida, em LF (Fig. 9D). A MOA com origem em macrófitas ocorre em pequenas percentagens, apresentando diferentes estágios de amorfização. São, geralmente, partículas subangulares com contornos mais ou menos bem definidos, apresentando cor castanho-escuro em LBT e uma cor fluorescência pouco intensa (castanho-escuro). Este tipo de MOA não apresenta inclusões de palinórfos ou pirite.

Tabela 8. Percentagens relativas dos subgrupos morfológicos de matéria orgânica particulada na sondagem SPM-02.

Amostra	FO (%)	FNO (%)	MOA B (%)	MOA (%)	MOA F (%)	ESP (%)	DOCE (%)	MAR (%)
Unidade Brenha								
SPM 01	3,31	23,18	0,33	44,70	0,99	25,50		0,99
SPM 02	5,36	20,19	0,00	43,53	1,58	27,76		1,26
SPM 03	4,50	12,22	0,32	66,56	1,93	11,58		2,57
SPM 04	3,63	6,27	1,98	74,92	5,94	3,96		3,30
SPM 05	3,59	4,25	0,65	75,82	3,59	7,84		3,92
SPM 06	3,96	23,43	0,00	56,44	2,97	9,57		3,63
SPM 07	6,21	20,41	1,18	54,73	3,25	13,02		0,89
SPM 08	3,67	12,84	1,53	67,28	8,56	4,59		0,61
Formação de Coimbra								
SPM 09	2,96	7,57	2,30	69,08	4,28	10,53		3,29
SPM 10	1,58	12,30	0,32	70,66	11,04	3,47		0,63
SPM 11	1,61	6,45	1,29	76,13	1,29	9,35		3,87
SPM 12	1,91	7,01	5,10	67,83	6,05	10,83	0,32	0,64
SPM 13	3,81	17,78	3,49	57,78	0,63	15,56		0,95
Formação de Dagorda								
SPM 14	3,91	21,17	5,54	55,70	0,33	13,03		0,0
SPM 15	3,96	30,03	3,63	47,19	0,99	11,88		2,31
SPM 16	1,32	22,77	2,64	57,10	2,31	8,91		4,62

FO: Fitoclastos opacos; FNO: Fitoclastos não opacos; MOA F: MOA de tecidos de macrófitas; MOA B: MOA bacteriana; MOA: MOA Fitoplâncton; DOCE: Microplâncton de água doce; MAR: Microplâncton marinho + zoomorfos + zooclastos

No grupo dos fitoclastos, o subgrupo fitoclastos não opacos (FNO) é geralmente o mais representativo, correspondendo principalmente a fitoclastos não opacos não bioestruturados, de cor castanho-escuro a negro, quer ligeiramente degradados quer preservados (em proporções semelhantes). É possível observar diferenças significativas entre a percentagem de fitoclastos entre as sondagens alvo deste estudo. Na sondagem MR-W9, os fitoclastos correspondem, no máximo, a 12,09% (Tab. 7) da MO observada, enquanto na sondagem SPM-02 a percentagem de fitoclastos varia entre 24,42 e 33,99% (Tab. 8). O subgrupo dos fitoclastos não opacos bioestruturados

está representado por partículas de fitoclastos listrados, bandados e perfurados, de cor castanho a castanho-escuro (em LBT). Sob luz azul incidente, algumas partículas não exibem cor de fluorescência enquanto outras exibem uma cor castanho-escuro (Figs. 12A-E). Estes fitoclastos são muito heterogêneos no que diz respeito à sua preservação/degradação; alguns encontram-se bem preservados, no entanto outros estão degradados, apresentando contornos irregulares a muito irregulares. Foram, ainda, observadas membranas translúcidas (em LBT) exibindo uma cor de fluorescência em tons de amarelo suave, e cutículas, algumas delas com estomas preservados (Fig. 12D). Relativamente ao subgrupo dos fitoclastos opacos (Fig. 12E), estes correspondem a fitoclastos corroídos, alongados, equidimensionais e pseudomorfo.

O grupo dos palinomorfo corresponde, em média, a 5,56% (sondagem MR-W9; Tab. 7) e 13,58% (sondagem SPM-02; Tab. 8) do total da matéria orgânica particulada. É o grupo menos abundante de cerogénio, apresentando um evidente contributo continental, tanto de esporomorfo como de microplâncton de água doce (Tabs. 7, 8) e uma menor proporção de MO marinha (algas marinhas, zoomorfo e zooclastos). Os esporomorfo apresentam diversas formas (de oval a triangular), tamanho e ornamentação. Os esporos predominam nas duas sequências estudadas, encontrando-se bem preservados, podendo estar isolados ou aglomerados em políades, tétrades ou díades. Exibem uma cor que varia de translúcida a castanho-claro em LBT, e amarelo-pálido a intenso em LF. Os grãos de pólen, frequentemente do género *Classopollis*, de cor castanho-claro a castanha, encontrando-se, por vezes, aglomerados em tétrades. Pontualmente foram observados grãos de pólen bissacados, muitas vezes preenchidos por pirite, apresentando uma cor translúcida a amarelo-pálido até intenso (em LBT), e amarela sob luz azul incidente (Figs. 12C, D, F). Relativamente ao microplâncton de água doce destaca-se a existência de zigósporo de algas do tipo *Zygnema* (esporos da Família Zygnemataceae; Fig. 12B). O microplâncton marinho encontra-se representado por dinocisto e algas prasinófitas nomeadamente do género *Tasmanite*. Nas amostras estudadas, os dinocisto apresentam uma estrutura bem preservada, de cor que varia de translúcida a amarelo-pálido (em LBT) e amarelo, às vezes, muito intenso em LF (Fig. 12F). As algas prasinófitas aparecem isoladas, apresentam coloração translúcida em LBT e amarelo em LF. Foram observados zooclastos em algumas amostras, que apresentam coloração castanha a preta e revelaram diferentes graus de preservação.

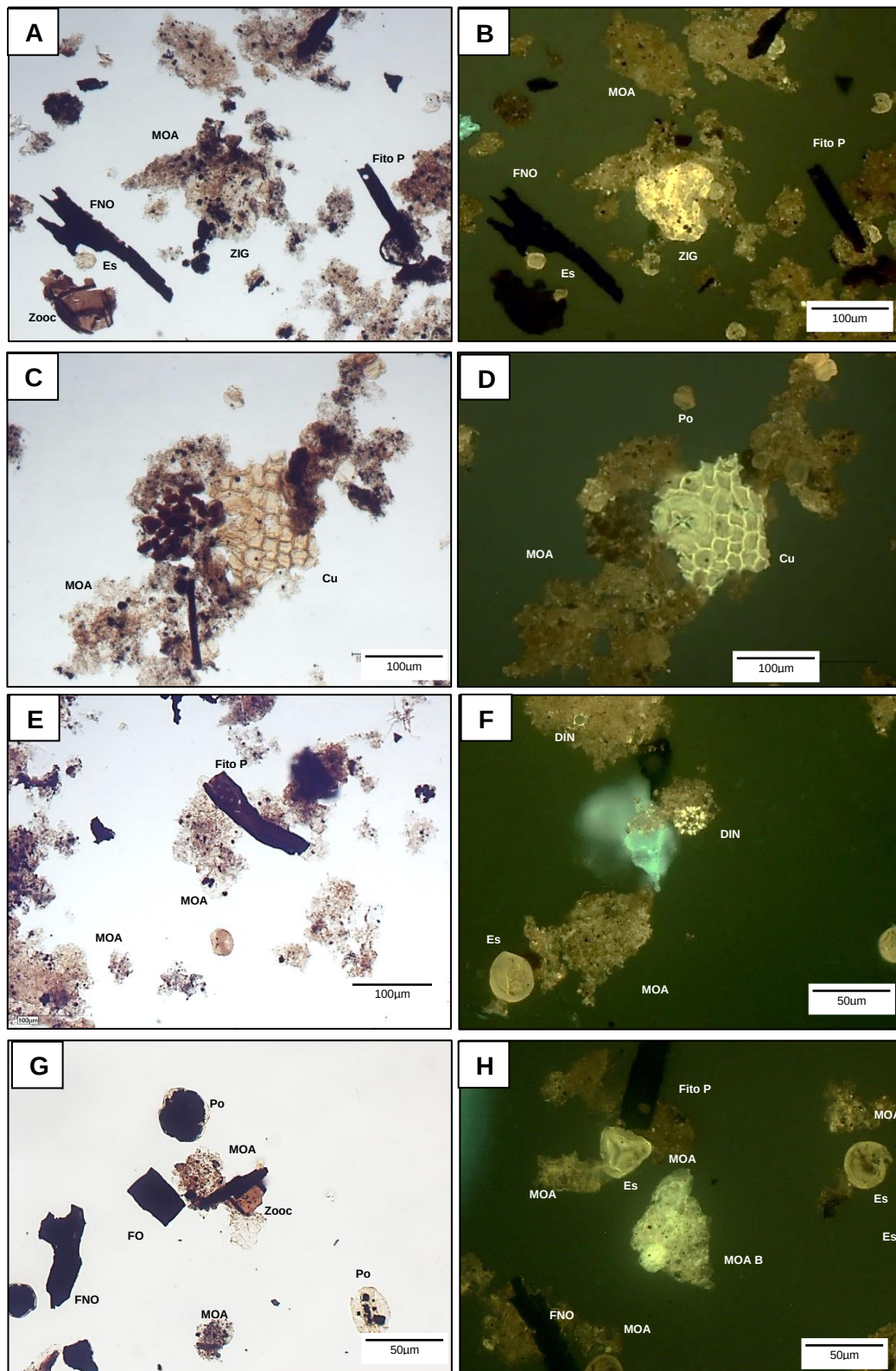


Figura 12. Fotomicrografias do cerogénio presente na Formação de Dagorda em luz branca transmitida (A, B, D, F) e luz azul incidente (C, E). (Fito P - fitoclasto perfurado; Cu – Cutícula; MOA F - MOA de fitoplâncton; MOA B - MOA bacteriana; Es - Esporo; Po - Grãos de Pólen; ZIG – Zigósporos; DIN - Dinocisto; Zooc - Zooclasto). (A, B) FNO, FO, Fito P, MOA, Esp, ZIG, Zooc (SPM 16); (C, D) Fito P, MOA, (SPM 16); (E) Fito P, MOA (SPM 16); (F) MOA, Es, DIN (SPM 16); (G) FNO, MOA, Cu, Po, Zooc (SPM 15); (H) MOA, MOA B, FO, FNO, Fito P, Es (SPM 15).

Formação de Coimbra

As amostras tanto da sondagem MR-W9 como da sondagem SPM-02 correspondentes à Formação de Coimbra revelaram a presença dos três grupos de cerogénio, sendo que o grupo predominante corresponde ao grupo Amorfa, seguida do grupo Fitoclastos e, em menor percentagem, o grupo Palinomorfo. Não se verificam variações significativas entre as amostras de ambas as sondagens (Tabs. 7, 8).

O grupo Amorfa varia entre 69,28 e 83,67% na sondagem MR-W9 (Tab. 7), e entre 61,90 e 82,02% na sondagem SPM-02 (Tab. 8). O predomínio de matéria orgânica derivada de fitoplâncton é notório, sendo as partículas muito heterogéneas em tamanho e proporção, com contornos irregulares e sem uma morfologia pré-estabelecida, apresentando, às vezes, inclusões de palinomorfos, fitoclastos e pirite (Fig. 13). As partículas de MOA exibem cores que variam de amarelo a castanho-escuro (em LBT) e, sob luz azul incidente, apresentam cor de fluorescência entre amarelo e castanho. Partículas de resina (substância produzida por plantas superiores terrestres; Tyson, 1995) foi observada em algumas amostras, exibindo cor castanho-avermelhada (em LBT). A MOA derivada de macrófitas apresenta diferentes estágios de amorfização, principalmente partículas subangulares com contornos definidos, destacando-se pela sua cor acinzentada a acastanhada e fluorescência pouco intensa (cor castanho-escura). A MOA bacteriana apresenta cor amarelo-pálida, em LF (Fig. 13E) e cor amarelo-pálida em LBT, sem inclusões.

Os fitoclastos (Tabs. 7, 8) exibem uma grande diversidade de formas, tendo sido identificados tanto FO como FNO. Os FO alongados, equidimensionais e corroídos encontram-se em proporções semelhantes. As partículas de FNOB estão geralmente bem preservadas e são principalmente bandados, listrados e perfurados, com bordos bem definidos, cor castanho-claro a castanho-escuro (em LBT). Cutículas foram observadas em menores percentagens, algumas delas com os estomas bem preservados, de cor castanha em LBT e exibindo cor de fluorescência amarela.

Tal como na Formação de Dagorda, o grupo menos abundante na assembleia de cerogénio são os palinomorfos, atingindo valores de 16,51% na base da sondagem SPM-02 (Tab. 8). A percentagem de palinomorfos é ligeiramente inferior na sondagem MR-W9 (Tab. 7).

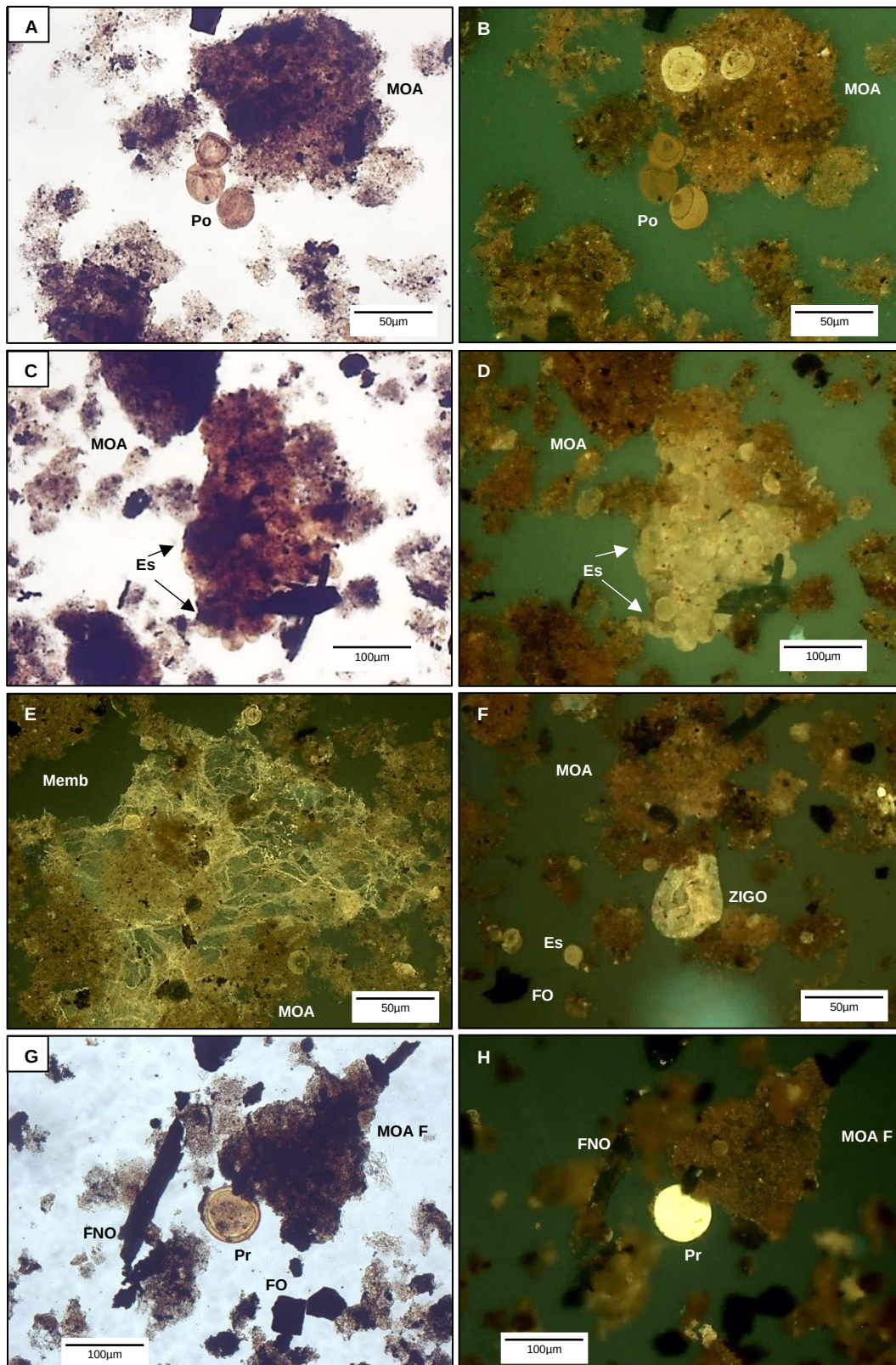


Figura 13. Fotomicrografias do cerogénio presente na Formação de Coimbra em luz branca transmitida (A, C, G) e luz azul incidente (B, D, E, F, H). (FNO - fitoclasto não opaco; FO – fitoclasto opaco; MOA - MOA de fitoplâncton; Memb - Membrana; Es - Esporo; Po - Grãos de Pólen; ZIGO – Zigósporo; Pr – Alga Prasinófito). (A, B) MOA, Po (SMR 03); (C, D) MOA, Es (SMR 03); (E) MOA, Memb (SPM 09); (F) FO, MOA, Es, ZIGO (SMR 3); (G, H) FO, FNO, MOA F, Pr (SMR 06).

Os esporomorfos predominam relativamente ao microplâncton (tanto lacustre como marinho), destacando-se a presença de esporos triangulares, geralmente bem preservados com a marca trilete bem visível. São translúcidos em LBT, no entanto, alguns deles parecem alterados, exibindo uma cor acastanhada. Em LF, apresentam fluorescência que varia de amarelo a castanho-escuro. Os grãos de pólen apresentam formas variadas, sendo identificados grãos de pólen bissacados e tétrades do género *Classopollis*. Os pólenes exibem uma cor castanha em LBT e uma cor de fluorescência amarelo-pálida a intensa.

O microplâncton de água doce é muito raro em ambas as sondagens (Tabs. 7, 8) e corresponde a zigósporos de algas da família Zygnemataceae. A presença de microplâncton marinho é rara nas amostras estudadas, no entanto surgem em maiores percentagens na sondagem SPM-02 (Tab. 8) relativamente à sondagem MR-W9 (Tab. 7). O microplâncton marinho encontra-se representado por algas prasinófitas do género *Tasmanites*, que exibem uma cor amarela intensa característica em LF e são translúcidas em LBT, e por dinocistos são translúcidos em LBT e amarelos-pálido em LF. Zooclastos e palinoforaminíferos também foram observados.

Unidade Brenha

A Unidade Brenha foi apenas estudada na sondagem SPM-02 (Tab. 8). Tal como nas formações descritas anteriormente, o grupo Amorfa domina a assembleia de cerogénio, apresentando um valor médio de 65%. Dentro do grupo Amorfa foi possível distinguir maioritariamente partículas de MOA (60,5%, valor médio), e em percentagens inferiores, MOA derivada de tecidos de macrófitas (3,76%) e MOA de origem bacteriana (0,75%). A MOA distingue-se pela sua heterogeneidade, com contornos irregulares, apresentando inclusões de fitoclastos, palinomorfos e pirite. A cor varia de castanha clara, por vezes quase translúcida, a castanho-escuro (em LBT), e amarelo a castanha em LF. A MOA derivada de tecidos de macrófitas apresenta limites mais ou menos definidos preservando parcialmente a sua forma original, embora visivelmente alterada e amorfizada. A sua cor varia de castanho-claro a escuro (em LBT) e castanho-escuro em LF. A MOA bacteriana apresenta contornos irregulares e difusos, distinguindo-se perfeitamente as crateras de dissolução resultantes do tratamento ácido, sendo translúcidas em LBT e exibindo uma cor amarelo-pálida em LF.

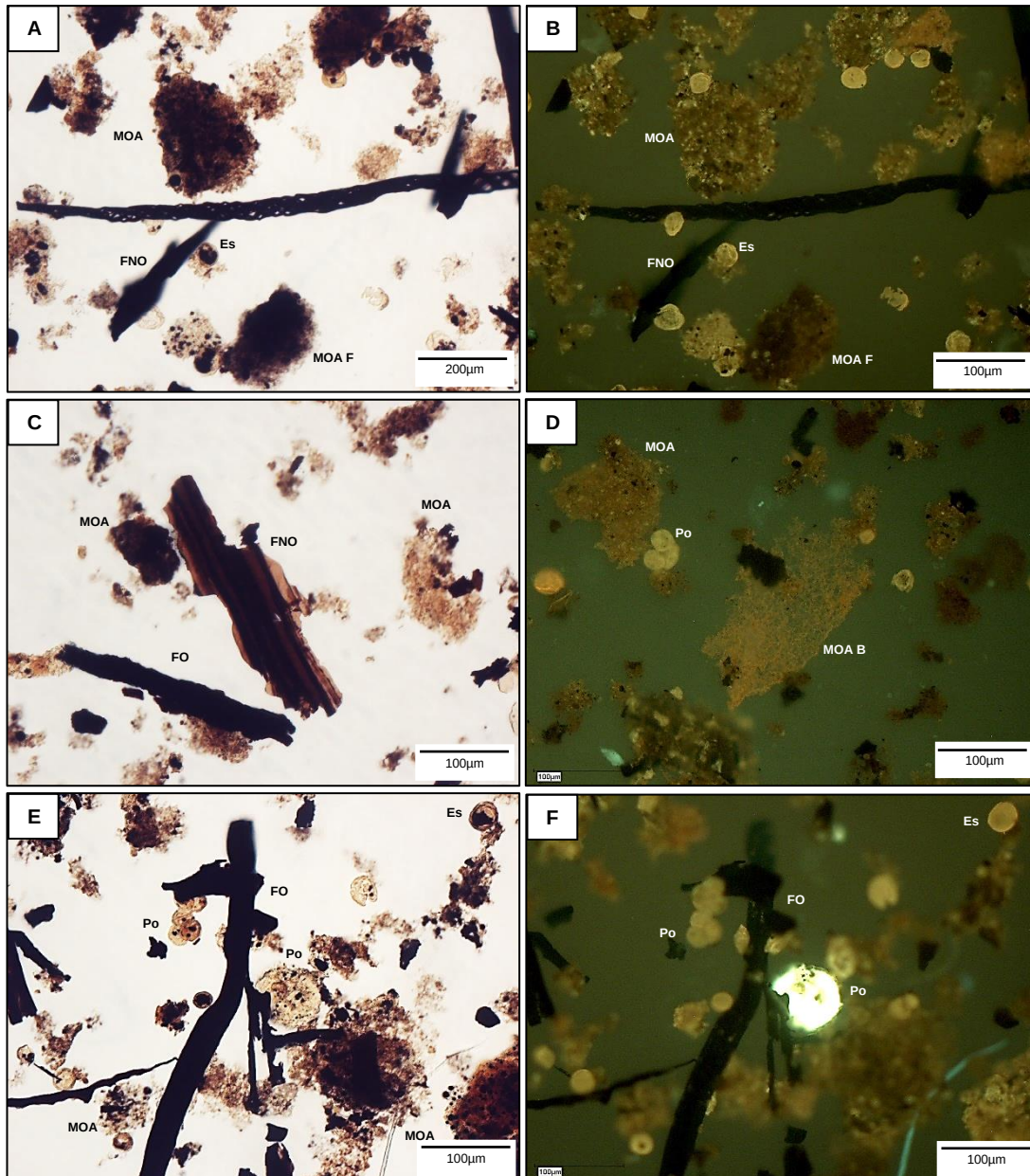


Figura 14. Fotomicrografias do cerogénio presente na Unidade Brenha em luz branca transmitida (A, C, E) e luz azul incidente (B, D, F). (Fito P - fitoclasto perfurado; FNO – Fitoclasto não opaco FO – Fitoclasto opaco; MOA F - MOA de fitoplâncton; MOA B - MOA bacteriana; Es - Esporo; Po - Grãos de Pólen; Zoo - Zooclasto). (A, B) FNO, FO, MOA, MOA F, Es, ZOOC, (SPM 06); (C) FO, FNO, MOA (SPM 7); (D) MOA, MOA B, Po (SPM 07); (E, F) FO, MOA, Po, Es (SPM 06).

As partículas de fitoclastos têm formas irregulares e tamanhos variáveis. Fitoclastos opacos foram observados em todas as amostras, tendo sido distinguidos FO alongados, equidimensionais e corroídos. Apresentam bordos heterogêneos podendo ser definidos ou difusos, exibindo a sua cor preta característica tanto em LBT como LF

(Figs. 14E, F). O subgrupo dos fitoclastos não opacos é o mais representativo, com 15,59% (em média) das partículas observadas. Os FNO bioestruturados são nomeadamente do tipo bandado e listrado, encontrando-se geralmente fragmentados, exibindo vários tons de castanho em LBT e castanho-escuro em LF (Fig. 14C). Os fitoclastos não opacos não bioestruturados têm formas variadas, muitas vezes degradados, exibindo cor castanha em LBT e castanho-escuro em LF. Fragmentos de cutículas foram observados nas amostras SPM 05 e SPM 06. Embora a estrutura original esteja preservada, é evidente que apresentam diferentes graus de amorfização. Apresentam cor que varia de castanho-claro a castanho-escuro em LBT e castanho-escuro em LF. Membranas, por vezes amorfizadas, também foram observadas exibindo em LBT uma cor que varia de castanho-claro a cinza-pálido, por vezes translúcidas, e uma cor de fluorescência amarelo intensa (em LF).

O grupo de palinomorfos corresponde a 15% (em média) da MO observada, sendo o grupo menos representativo. A contribuição terrestre (esporomorfos) representa, em média, 12,98% e a contribuição aquática (microplâncton marinho) 2,02%. Relativamente aos esporomorfos, verifica-se que os esporos e os grãos de pólen surgem em percentagens semelhantes, o que não se verificou nas formações anteriores. Os esporos, exibem formas variadas, apresentando por vezes formas triangulares com marca de trilete bem visível. Exibem cor translúcida em LBT e amarelo em LF. Os grãos de pólen são principalmente do género *Classopollis*. Em geral, são translúcidos ou ligeiramente amarelados, em LBT, e apresentam uma cor de fluorescência amarela. Apesar de não ter sido contabilizado nas contagens, verificou-se a presença de microplâncton de água doce com afinidade à família Zygnemataceae. Destacam-se os zigósporos de *Espirogira* bem preservados, de cor castanha translúcida (em LBT) e cor de fluorescência amarela muito intensa (Figs. 15C, D). Zigósporos de *Zygnema* também foram observados, normalmente alterados, embora mantendo a sua forma original, de cor castanha intensa em LBT e amarelo intenso em LF. Quanto ao subgrupo de microplâncton de origem marinha, algas prasinófitas foram identificadas, apresentando estrutura bem definida, cor castanho-claro translúcida em LBT e, em LF cor amarela intensa (Figs. 15E, F). Fragmentos de paliforaminíferos foram contabilizados na amostra SPM 1000, preservando parcialmente a sua estrutura, apresentando cor castanho-claro em LBT e castanho-escuro em LF.

Partículas de zooclastos (Fig. 15A) sem estruturas definidas foram observadas, exibindo cor castanho-claro, em LBT e castanho-escuro (em LF). Em algumas amostras,

principalmente em SPM 07, observou-se a presença de betume sólido, apresentando cor castanho-escuro (em LBT).

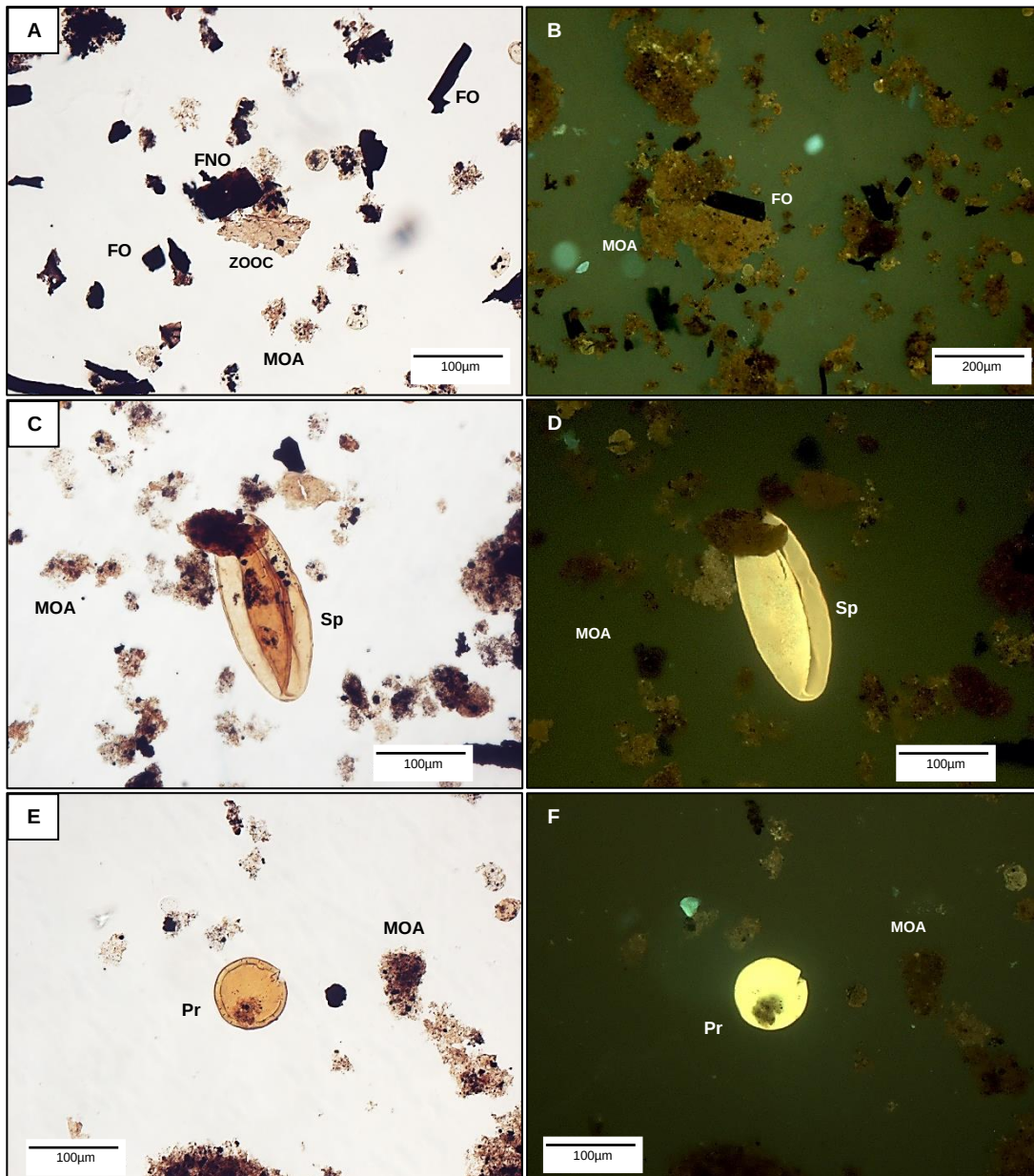


Figura 15. Fotomicrografias do cerogénio presente na Unidade Brenha em luz branca transmitida (A, C, E) e luz azul incidente (B, D, E). (FO – Fitoclasto opaco; FNO: fitoclasto não opaco; MOA - MOA de fitoplâncton Sp – Zigósporo de tipo *Spirogyra*; Zooc - Zooclasto; Pr – alga prasinófitas; ZooC - Zooclasto). (A) FNO, FO, ZOOC, MOA (SPM 02); (B) MOA, FO, (SPM 03); (C, D) Sp, MOA, (SPM 03); (E, F) MOA, Pr (SPM 03).

5.3. Petrologia Orgânica

A sondagem MR-W9 apresenta maior quantidade relativa de material carbonatado e apresenta, em geral, maior quantidade de inertinite em relação à sondagem SPM-02, e um número menor de partículas de vitrinite. Por este motivo o número de medições de reflectância da vitrinite (%R_r) realizadas é consideravelmente menor nas amostras da sondagem MR-W9 (Tabs. 9, 10).

Tabela 9. Valores de reflectância média da vitrinite (%R_r) das amostras pertencentes à sondagem SPM-02.

Amostra	%R _r	DP	n
Unidade Brenha			
SPM 01	0,61	0,062	10
SPM 02	0,56	0,064	14
SPM 03	0,57	0,065	15
SPM 04	0,57	0,063	23
SPM 05	0,55	0,022	4
SPM 06	0,57	0,058	7
SPM 07	0,50	-	1
SPM 08	0,53	0,051	7
Formação de Coimbra			
SPM 09	0,58	0,071	10
SPM 10	0,56	0,047	8
SPM 11	0,59	0,078	10
SPM 12	0,60	0,049	12
SPM 13	0,57	0,072	17
Formação de Dagorda			
SPM 14	0,60	0,077	25
SPM 15	0,52	0,043	8
SPM 16	-	-	-

Nota: DP - Desvio padrão; n - número de medições.

A análise de petrografia orgânica realizada nos blocos polidos das sondagens SPM-02 e MR-W9 revelou um conteúdo baixo a médio de matéria orgânica dispersa. A matéria orgânica está geralmente associada à fração siliciclástica. A pirite é comum ao longo da sequência, principalmente na forma framboidal e frequentemente associada à matéria orgânica (Fig. 16A). É possível observar óxidos de ferro de cor avermelhada em algumas amostras.

Formação de Dagorda

Foram analisadas 5 amostras na Formação de Dagorda; esta formação é fundamentalmente siliciclástica com alguma componente carbonatada. Na fração mineral destaca-se a presença de pirite framboidal muito abundante. Em todas as amostras desta formação os macerais do grupo da inertinite são os mais comuns componentes orgânicos primários, identificam-se tecidos estruturados (fusinite e semifusinite) e fragmentos de inertinite em partículas pequenas e discretas (> 2µm de tamanho) de forma variável (inertodetrinite).

Tabela 10. Valores da reflectância média da vitrinite (%R_r) das amostras pertencentes à sondagem MR-W9.

Amostra	%R _r	DP	n
Formação Coimbra			
SMR 1	0,58	0,083	6
SMR 2	0,61	0,094	9
SMR 3	0,56	-	1
SMR 4	-	-	-
SMR 5	0,61	0,090	3
SMR 6	0,57	0,051	4
Formação de Dagorda			
SMR 7	0,58	-	1
SMR 8	0,61	0,092	5

Nota: DP - Desvio padrão; n - número de medições.

A vitrinite está presente em todas as amostras, geralmente com dimensões pequenas a médias dispersas na matriz mineral; a reflectância aleatória média variou de 0,52% a 0,60% na sondagem SPM-02 (Tab. 9) e de 0,58% a 0,61% na sondagem MR-W9 (Tab. 10). Quando observadas em luz branca refletida exibem uma cor cinzento-escura. Em luz azul incidente, as partículas apresentam uma fluorescência castanho-escura de fraca intensidade. No grupo de macerais de liptinite, destaca-se a presença de partículas de esporos e pólenes (esporinite), além de alginite e betuminite em menores proporções. A esporinite observada na maioria das amostras apresenta fluorescência que vai do amarelo ao castanho-laranja, enquanto a alginite exibe fluorescência muito intensa de cor amarela. A betuminite exibe cor laranja-acastanhada encontrando-se geralmente entre os cristais de matéria mineral. Os produtos

secundários, sob a forma de betume sólido, foram identificados em quantidades relativas muito pequenas, preenchendo fraturas e poros.

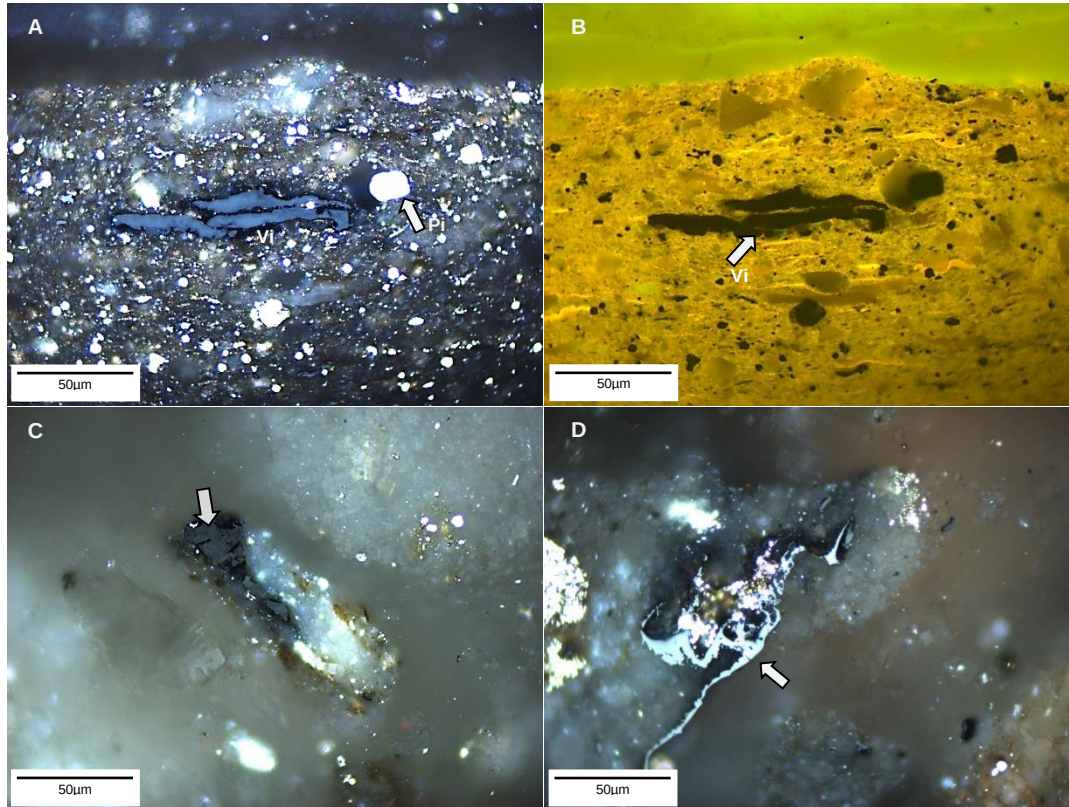


Figura 16. Fotomicrografias de características petrográficas das amostras pertencentes à Formação de Dagorda sob luz branca refletida (A, C, D) e modo de fluorescência (B). (A, B) Vitrinite (vi), pirite (pi), (SMR 07); (C) Vitrinite (SPM 14); (D) Semifusinite (SPM 14).

Formação de Coimbra

Foram analisadas onze amostras, constituídas principalmente por material de origem carbonatada e pirite framboidal muito abundante; óxidos de ferro avermelhados também foram observados. Foram identificados todos os grupos de macerais, sendo que a reflectância aleatória média da vitrinite variou entre 0,56% e 0,60% na sondagem SPM-02 (Tab. 9), e 0,57% e 0,61% na sondagem MR-W9 (Tab. 10). As medições foram realizadas nas partículas do grupo da vitrinite, de tamanhos variados, cor cinzento-escuro quando observadas em luz branca refletida. Os macerais do grupo da inertinite (Fig. 17D) são os componentes orgânicos maioritários, estando presentes em todas as amostras. Partículas de fusinite e semifusinite predominam para além da inertodetrinite,

apresentando uma grande variedade de formas e tamanhos, cor que varia de cinza-claro a branco quando observadas em luz branca refletida.

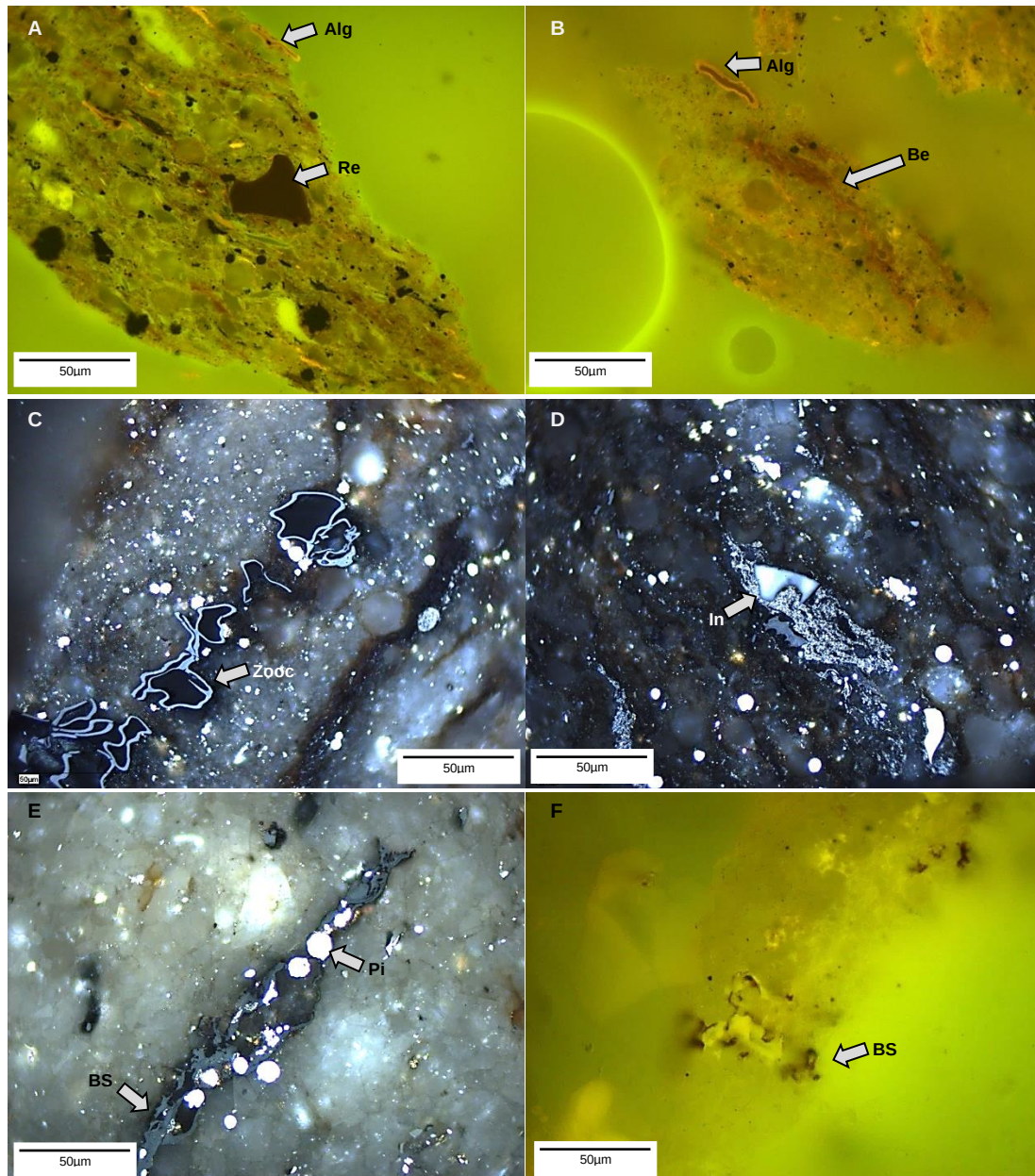


Figura 17. Fotomicrografias de características petrográficas em amostras pertencentes à Formação de Coimbra sob luz branca refletida (C-E) e modo de fluorescência (A, B, F). (A) Al: Alginite, Re: resinite, (SPM 12); (B) Al: alginite, Be: betuminite (SPM 11); (C) Zoc: zooclastos (SMR 01); (D) In: inertodetrinite com poros de desvolatilização (SPM 12) (E) BE: betume sólido, Pi: pirite (SPM 13); (F) BS: betume sólido (SMR 4).

O grupo da liptinite é composto por partículas de alginite, betuminite e resinite (em menor quantidade). A alginite (Figs 17A-B) corresponde a partículas de pequenas

dimensões e intensa cor de fluorescência amarela. A presença de betuminite caracteriza-se por uma cor de fluorescência laranja acastanhada, ocorrendo entre os cristais de matéria inorgânica. A forma da betuminite variou dependendo da forma das fraturas e dos poros que preenche. Macerais do grupo da liptinite com origem em resinas (resinite) foram observados em algumas amostras (Fig. 17A). Betume sólido disseminado na matriz mineral também foi observado em algumas amostras (Figs. 17E, F).

Unidade Brenha

Foram analisadas 8 amostras. O material de origem carbonatada é predominante. A pirite framboidal também está presente nas amostras estudadas; encontram-se, por vezes, óxidos de ferro de cor avermelhada, quando observada na luz clara branca refletida.

A matéria orgânica está representada pelos três grupos principais de macerais (Fig.18). No grupo da vitrinite (Figs. 18 C, D), a reflectância aleatória média variou entre 0,50% a 0,57% (Tab. 10). Em luz branca refletida, as partículas de vitrinite exibem cor cinza-escuro, são pequenas e geralmente isoladas na matéria mineral, espalhadas por todas as amostras. Em luz azul incidente apresentam cor que varia de castanho-escuro a castanho-avermelhado. Relativamente aos macerais do grupo da inertinite destaca-se a presença de fusinite, de cor branca e semifusinite de cor cinzento-clara quando observadas em luz branca refletida. Partículas de macrinite e inertodetrinite também foram observadas. Os macerais do grupo da liptinite apresentam cor castanho-claro quando observados em luz branca refletida e, em luz azul, destacam-se pela sua intensa cor de fluorescência amarela. Esporos ornamentados e grãos de pólen do género *Classopollis* (esporinite) foram observados. As partículas de alginite apresentam intensa fluorescência amarela-dourada. A betuminite, encontra-se em bandas contínuas e regulares assim como em lentículas irregulares, ambas paralelas à estratificação com cor de fluorescência amarelo-dourada intensa. Entre as bandas de betuminite ocorrem carbonatos em lentículas também contínuas ou, nalguns casos, intercrecidos dentro da betuminite sugerindo uma precipitação da calcite e o crescimento dos cristais dentro do material orgânico.

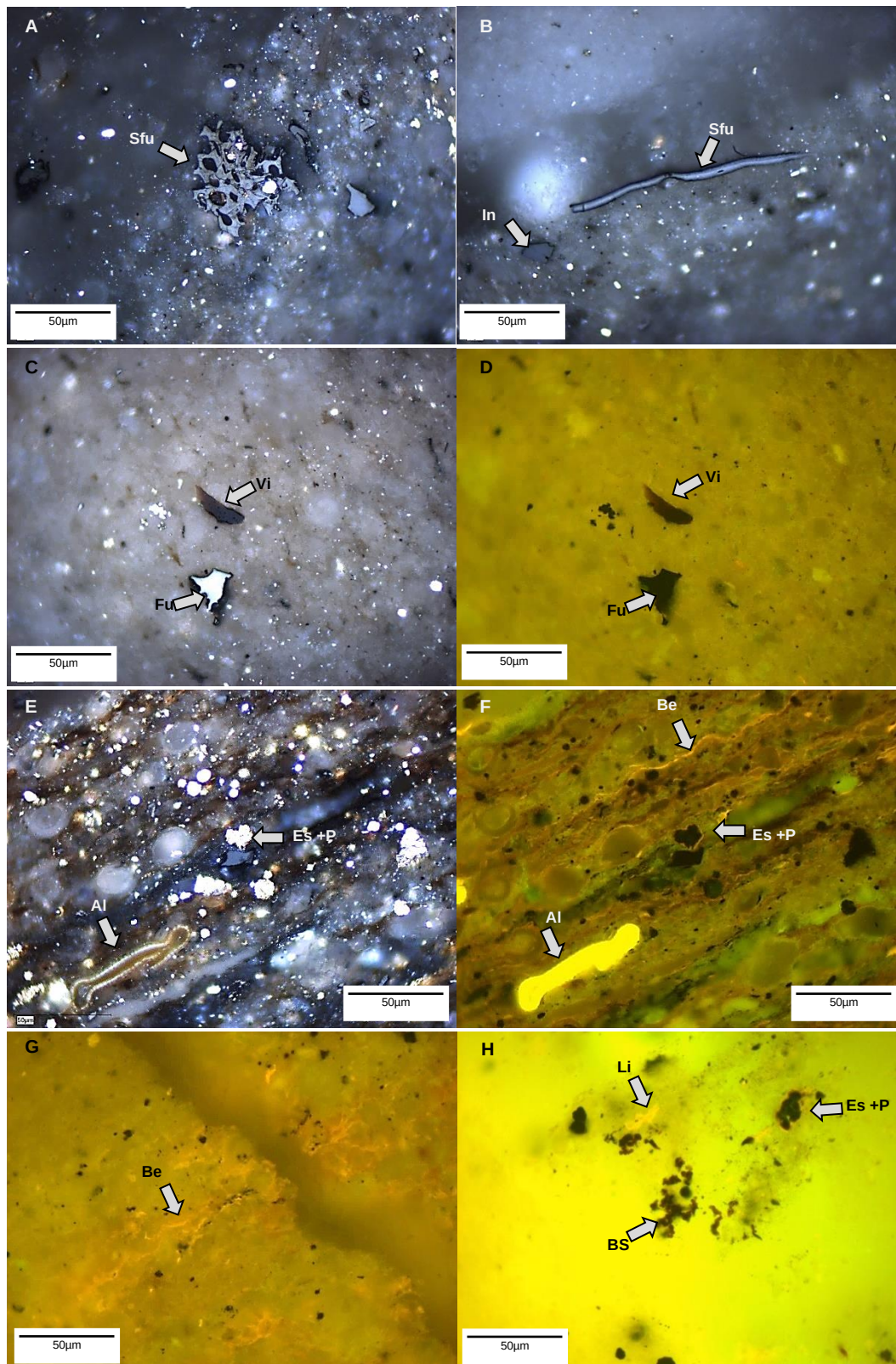


Figura 18. Fotomicrografias de algumas características petrográficas de amostras da sondagem SPM-02 pertencentes à Unidade Brenha sob luz branca refletida (A, B, C, E) e modo de fluorescência (D, F, G, H). (A) semifusinite (SPM 02); (B) Sfu: semifusinite, In: inertodetrinite (SPM 06); (C, D) Vitrinite, fusinite (SPM 03); (E, F) Al: alginite, Be: betuminite, Es+P: esporo preenchido por pirite (SPM 04); (G) betuminite (SPM 05); (H) BS: betume sólido, Li: liptinite, Es: esporo preenchido por pirite (SPM 05).

Na Figura 19 estão representados histogramas de medições de reflectância da vitrinite de algumas amostras pertencentes às sondagens em estudo.

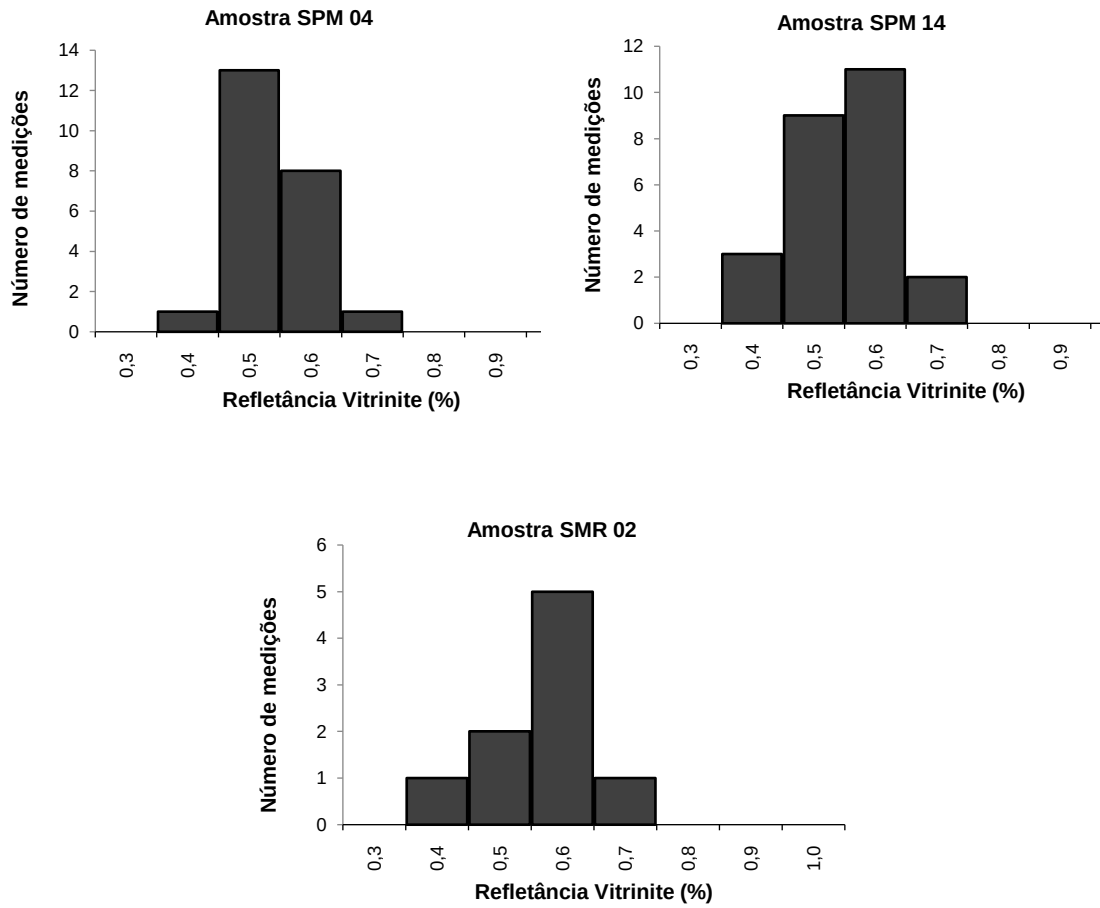


Figura 19. Histogramas de medidas de reflectância da vitrinite de amostras pertencentes às sondagens SPM 02 e MR-W9.

6. Discussão

6. Discussão

O presente capítulo integra a discussão dos resultados obtidos e expostos no capítulo anterior. Estes vão ser discutidos tendo em conta a idade geológica para uma melhor compreensão do ambiente deposicional. Fazendo uma abordagem geral e integrando os dados de geoquímica orgânica com os dados de palinofácies compreende-se a relação entre os diferentes parâmetros. A variação dos parâmetros de palinofácies e geoquímicos com a profundidade podem ser observados na Figura 20.

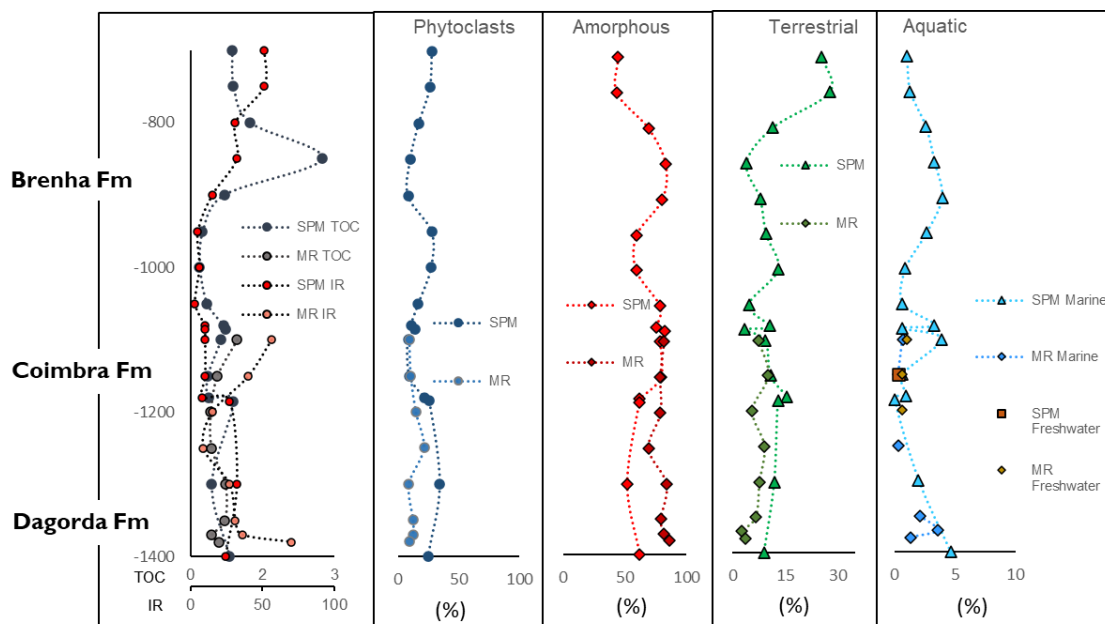


Figura 20. Palinofácies e variação de dados geoquímicos nas sondagens SPM-02 e MR-W9. Nota: Marinho inclui microplâncton marinho e zoomorfos.

6.1. Interpretação Paleoambiental

6.1.1. Formação de Dagorda

Na Formação de Dagorda, o COT apresenta um valor máximo de 0,89%, sendo que os valores mais elevados ocorrem na sondagem SPM-02. Estes valores indicam um conteúdo pobre a médio em carbono orgânico (Peters & Cassa, 1994). Os teores de enxofre total são muito variáveis, oscilando entre 0,33 e 4,52% (Tabs. 5, 6). Os valores mais elevados poderão estar relacionados a presença de evaporitos. Segundo Azerêdo *et al.* (2003), a sedimentação deu-se em *sabkas* costeiros anidríctico-halíticos e em

lagunas/lagoas evaporíticas que originaram alternâncias de argilas salgadas, halite e gesso/anidrite, em ambientes de baixa profundidade, alimentados por águas marinhas. Os valores da razão carbono (C) /enxofre (S) inferiores a 3 (Tab. 5, 6), são indicativos da presença de um ambiente deposicional anóxico ou redutor aquando da sedimentação (Borrego *et al.*, 1998; Morse & Berner, 1995). Este tipo de ambiente potencia a preservação do material amorfo (Tabelas 7, 8). O valor de RI varia de 24 a 32% na sondagem SPM-02 e entre 36 a 70% na sondagem WR-09, o que é incomumente baixo para uma formação não carbonatada. Este valores poderão ser explicados pelo tratamento com HCl das amostras que eliminam os sais (p. ex., anidrite/gesso) presentes nas amostras, o que leva a uma menor percentagem de RI.

O predomínio do grupo da Amorfa em ambas as sondagem (Tabs. 7, 8), principalmente na sondagem MR-W9, é característico de áreas de alta preservação devido às condições redutoras e de baixa energia, especialmente aquelas afastadas de áreas de atividade fluvio-deltaicas que estão associadas a processos de diluição por esporomorfos e fitoclastos (Tyson, 1995). A fraca autofluorescência (tons acastanhados) da maior parte das partículas amorfas é indicativa que estiveram expostos, pontualmente, a condições óxicas na coluna de água depois da sua formação (Tyson, 1995), justificada pelos períodos evaporíticos.

Observando o diagrama ternário, onde se projetaram os dados obtidos na análise de palinofácies (Fig. 21), verifica-se que as amostras estudadas estão projetadas no campos IX, no caso da sondagem MR-W9, e nos campos VII e VIII no caso da sondagem SPM-02. Conjugando os dados obtidos com a informação preexistente, é sugerido que a deposição ocorreu num ambiente restrito, sendo mais restrito na sondagem MR-W9, deficitário em oxigénio e com preservação de MO. De acordo com Azerêdo *et al.* (2003), a deposição de Formação da Dagorda ocorreu num regime evaporítico complexo cujos sedimentos foram depositados em ambientes de baixa profundidade, alimentados por águas marinhas, possivelmente em *sabkas* costeiras anidrítrico-halíticas e em lagunas e lagoas evaporíticas.

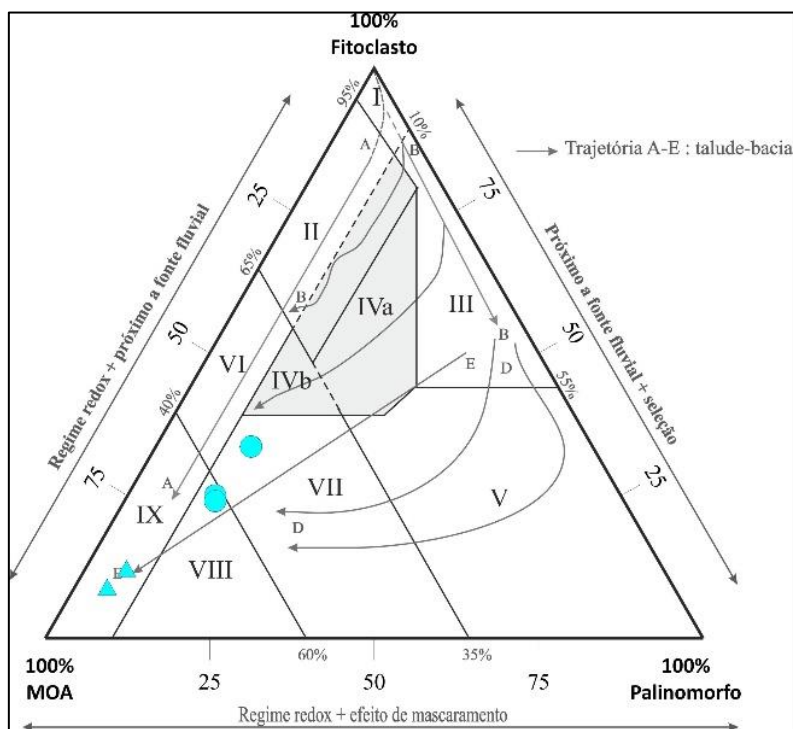


Figura 21. Diagrama ternário Fitoclasto-MOA-Palinomorfo com a projeção das amostras da Fm. de Dagorda. Abreviaturas: I - Bacia ou plataforma altamente proximal; II - Bacia marginal disóxica-anóxica; III - Plataforma óxica heterolítica ("plataforma proximal"); IV - Transição plataforma/bacia; V - Plataforma óxica dominada por lama ("plataforma distal"); VI - Plataforma proximal subóxica-anóxica; VII - Plataforma distal disóxica-anóxica; VIII - Plataforma distal disóxica-óxica; IX - Bacia distal subóxica-anóxica/Plataforma carbonática/Marinho restrito. Triângulo: Sondagem MR-W9; Círculo: Sondagem SPM-02.

6.1.2. Formação de Coimbra

Os valores de COT variam entre 0,39 e 0,73% na sondagem SPM-02 e entre 0,42 e 0,97% na sondagem SMR-W9, indicando um conteúdo pobre a moderado em carbono orgânico (Peters & Cassa, 1994). Apresenta valores de RI inferiores à formação anterior, correspondendo a amostras carbonatadas. De acordo com Kullberg *et al.* (2013), a Formação de Coimbra corresponde à primeira formação verdadeiramente carbonatada da Bacia Lusitânica. Os baixos teores de RI na sondagem SPM-02 apontam para carbonatos quase puros e estão associados a baixos valores de COT. A relação entre COT e ST (Tabs. 5, 6) permite inferir um ambiente deposicional redutor, visto todos os valores serem inferiores a 3 (Berner, 1995; Borrego *et al.*, 1998).

Relativamente aos dados de palinofácies, estes permitiram identificar o grupo Amorfa como grupo dominante, representado, sobretudo por MOA derivada de fitoplâncton e, minoritariamente, por MOA bacteriana e MOA derivada de tecidos de macrófitas. A percentagem relativa do grupo Amorfa representa, no mínimo, 61% da MO

observada, preservada num ambiente empobrecido em oxigénio. A MOA derivada de fitoplâncton deriva de frações não fossilizadas sem estruturas reconhecíveis ou de retrabalhamento bacteriano que ocorre sob condições redutoras, sendo um indicador do ambiente deposicional (Tyson, 1995). A presença de algas prasinófitas e dinocistos é indicativa de deposição em meio marinho. A presença de microplâncton de água doce no topo da formação, na sondagem MR-W9, associada ao aumento dos valores de RI é indicativo de entrada de água doce no sistema, possivelmente resultantes de tempestades ou inundações (Azerêdo *et al.*, 2010).

Analisando as condições paleoambientais segundo o diagrama ternário proposto por Tyson (1995) e modificado por Mendonça Filho *et al.* (2011) verifica-se que as amostras da Fm. de Coimbra estão projetadas nos campos VIII e IX (Fig. 22). Estes dados permitem inferir que a MO foi depositada num ambiente de plataforma carbonatada com coluna de água estratificada, propício à preservação do material amorfo. O ambiente é mais redutor na sondagem MR-W9 do que na sondagem SPM-02.

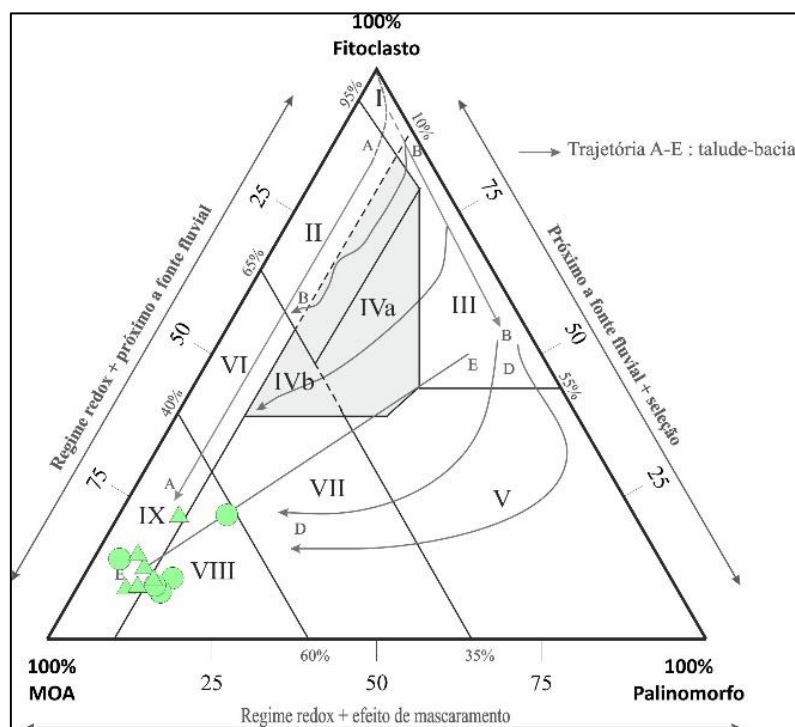


Figura 22. Diagrama ternário Fitoclasto-MOA-Palinomorfo com a projeção das amostras da Fm. de Coimbra. Legenda: ver Figura 21.

6.1.3. Unidade Brenha

Entre todas as amostras estudadas, a Unidade de Brenha é a que apresenta o maior conteúdo em COT, que varia entre 0,10 e 2,74%, apontando para um conteúdo pobre a muito bom (Peters & Cassa, 1994). A base da Unidade apresenta baixos valores de COT associados a muito baixos valores de RI, característico de um ambiente extremamente carbonatado. O aumento do RI para o topo da Unidade é indicativo de uma sedimentação mais margosa. As razões de COT/ST variam entre 1,47 e 3,39 podendo ser interpretado que a MO foi depositada sob um ambiente empobrecido em oxigénio (Borrego *et al.*, 1998; Morse & Berner, 1995).

Relativamente aos dados de palinofácies, estes permitiram identificar o grupo Amorfa como grupo dominante, representando mais de 45% dos componentes particulados observados. Estas percentagens apontam para uma preservação da MO em condições redutoras de baixa energia (Tyson, 1995). A presença dominante da MOA derivada de fitoplâncton é consistente com os dados de Duarte *et al.* (2012) que traduz as condições deposicionais marinhas. O contributo de MOA de produtos de macrófitas na base revela, segundo Mendonça Filho (2011), um contributo continental da MO sendo indicativo de ambientes ligeiramente mais próximos, com intervalos mais ricos em fitoclastos. Relativamente ao grupo dos palinomorfos, é possível verificar um predomínio de esporomorfos, nomeadamente, grãos de pólen do género *Classopollis* que são um indicador de deposição proximal à área fonte (Tyson, 1995; Mendonça Filho *et al.*, 2010) principalmente na base e no topo da Unidade (Tab. 8). Para o topo da Unidade verifica-se um aumento do RI bem como um aumento da percentagem de fitoclastos (aumento de fitoclastos não opacos), e uma diminuição da MOA (Tabs. 6, 8; Fig. 23) sendo indicador de um ambiente mais proximal relativamente à restante Unidade.

As condições ambientais podem ser inferidas analisando o diagrama ternário representado na Figura 23, onde foi projetada a abundância relativa dos três grupos de cerogénio observados. Verifica-se que as amostras estão projetadas nos campos VII, VIII e IX correspondendo a uma deposição sob plataforma carbonatadas disóxica-anóxica, com moderada a muito boa taxa de preservação da MO, como é confirmado pelos valores de COT (Tab. 6).

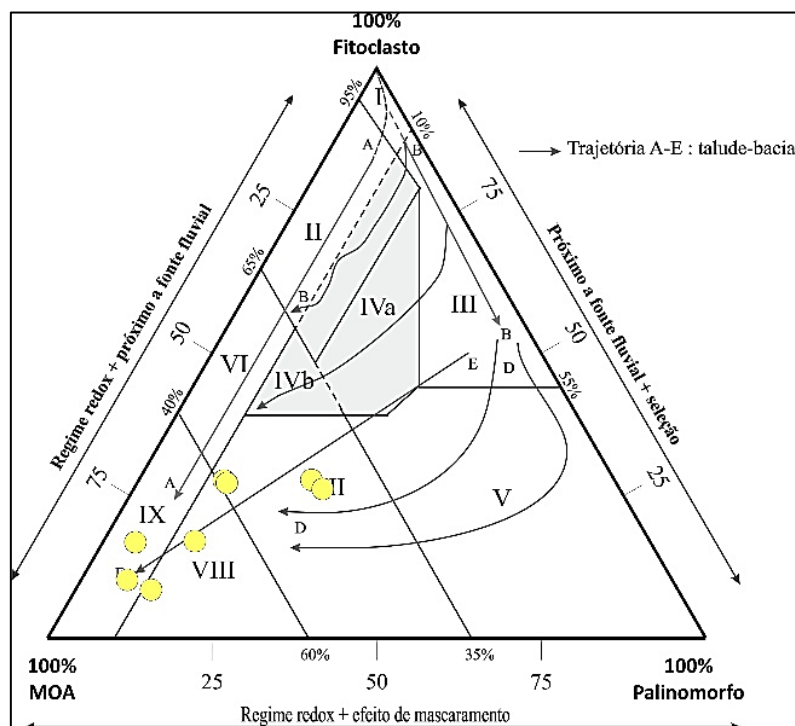


Figura 23. Diagrama ternário Fitoclasto-MOA-Palinomorfo com a projeção das amostras da Unidade Brenha. Legenda: ver Figura 21.

Estratigraficamente, a matéria orgânica preservada na Unidade Brenha foi depositada desde o Sinemuriano ao Aaleniano. Devido à falta de dados estratigráficos, não foi possível individualizar a Unidade Brenha nas diversas formações conhecidas na área de estudo, porém, com base nas variações geoquímicas, como os teores de IR e COT, foi possível identificar 2 níveis, um mais carbonatado com variação de IR de 3 a 15% e outro superior mais margoso com variação de IR de 32 a 51%.

6.2. Avaliação da maturação térmica e potencial de geração de hidrocarbonetos

A integração dos parâmetros obtidos através da aplicação de técnicas de petrografia orgânica e de geoquímica orgânica permitiu inferir a avaliação da matéria orgânica e sua maturação térmica assim como o potencial de geração de hidrocarbonetos nas amostras estudadas.

De um modo geral, a MOD presente nas amostras estudadas corresponde a um cerogénio tipo II/III, devido ao predomínio da MOA, como revelado pela análise de palinofácies. Como referido anteriormente, a maturação térmica da matéria orgânica é

influenciada pelo aumento da temperatura em profundidade. O processo de evolução do grau de maturação a que a rocha está sujeita, provoca alterações física e quimicamente da MO aí existente (Tissot & Welte, 1994). A análise da MOD em luz refletida permite a obtenção de dados referentes à maturação térmica tendo por base, neste caso, a reflectância da vitrinite, que tende a aumentar com a maturação. Dado o exposto, as medições da reflectância da vitrinite apontam um estágio imaturo a maturo para as amostras em estudo (Figs. 23, 24).

A Fm. de Dagorda apresenta uma reflectância da vitrinite média de 0,56% (Tab. 9; Fig. 24) na sondagem SPM-02 e de 0,59% na sondagem MR-W9 (Tab. 10; Fig. 25), indicando um estado maturo da MO, inserida no estágio inicial da catagénese (Tissot & Welte, 1984). A Fm. de Coimbra apresenta um valor médio de reflectância da vitrinite de 0,58 % em ambas as sondagens (Tab. 9,10; Fig. 24, 25). No global, as amostras desta formação encontram-se maduras, inserida no estágio inicial da catagénese (Tissot & Welte, 1984). Os resultados da reflectância medidas são um pouco superiores aos indicados por Duarte *et al.*, (2012) para amostras de afloramento.

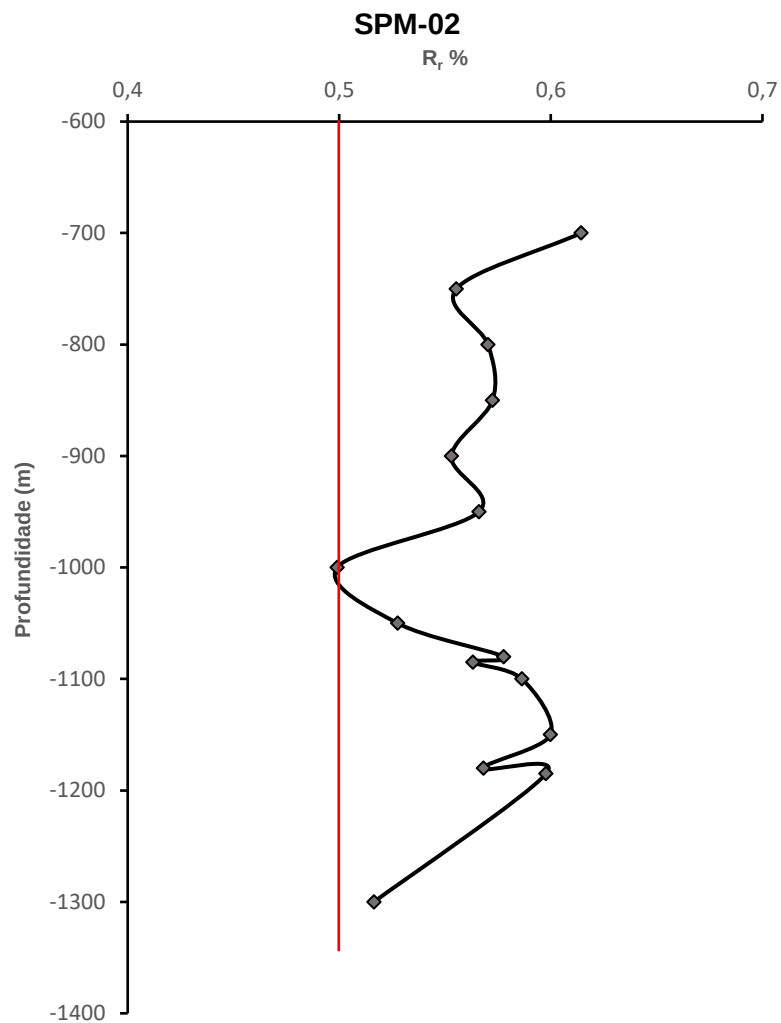


Figura 24. Variação da reflectância da vitrinite, identificada na sondagem SPM-02, com a profundidade e a indicação do início da geração dos hidrocarbonetos líquidos para cerogénio tipo II (% R_r = 0.5; linha a vermelho).

A matéria orgânica presente na Unidade Brenha, encontra-se no início da janela de geração de óleo (Tissot & Welte, 1984), apresentando valores de reflectância da vitrinite entre 0,50 e 0,61 % (Tab. 9; Fig. 24).

A integração dos dados obtidos permite afirmar que as amostras estudadas possuem baixo potencial de geração de hidrocarbonetos com exceção das amostras SPM 03 e SPM 04, que devido aos valores interessantes de COT (superiores a 1%), apresentam algum potencial para gerarem hidrocarbonetos.

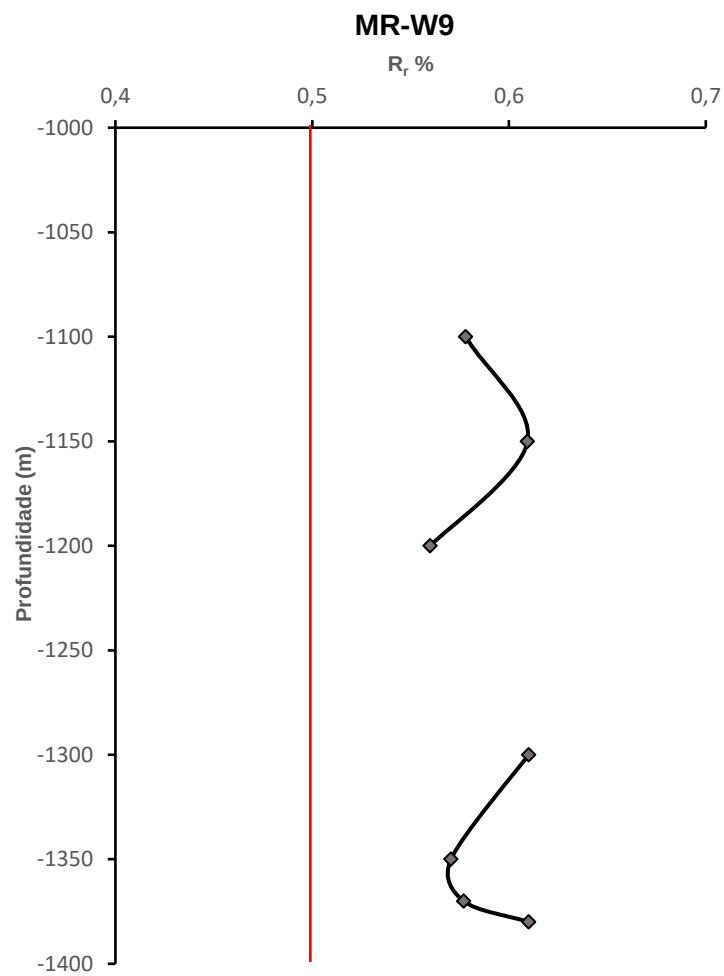


Figura 25. Variação da reflectância da vitrinite, identificada na sondagem MR-W9, com a profundidade e a indicação do início da geração dos hidrocarbonetos líquidos para cerogénio tipo II ($\%R_r = 0.5$; linha a vermelho).

7. Conclusão

7. Conclusão

O presente trabalho visou caracterizar, através da petrologia orgânica e análises geoquímicas básicas, duas sequências jurássicas da Bacia Lusitânica presentes nas sondagens SPM-02 e MR-W9. Os principais objetivos foram determinar o teor em matéria orgânica bem como a sua maturação térmica, as características organopalinológicas, o paleoambiente e o potencial de geração de hidrocarbonetos. As conclusões gerais são apresentadas a seguir.

De acordo com suas características geoquímicas, as amostras foram classificadas de pobre a boas no que diz respeito ao teor em carbono orgânico. A palinofácies e os dados geoquímicos indicam o predomínio de matéria orgânica de origem marinha, onde se destaca a presença de matéria orgânica amorfa associada a uma importante contribuição dos fitoclastos nos níveis mais proximais, correspondendo a um cerogénio tipo II/III. A matéria orgânica foi preservada num ambiente de plataforma distal a marinho restrito e sob condições anóxicas, sendo considerada, no caso da sondagem MR-W9, ainda mais restrita que a sondagem SPM-02, pois apresenta, em geral, maiores percentagens de matéria orgânica amorfa.

Em geral, todas as amostras apresentam valores de reflectância da vitrinite que correspondem ao início da janela de geração do óleo. Algumas amostras da Unidade Brenha, devido ao seu teor em carbono orgânico, tipo de cerogénio e maturação podem ser consideradas potenciais rochas geradoras de hidrocarbonetos nesta secção da Bacia do Lusitânica.

8. Referências bibliográficas

8. Referências bibliográficas

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. Office of Research and Development, Las Vegas

ASTM, 2008. D4239-08, Standard Test Methods for Sulfur in the Analysis Sample of coal and Coke using High-Temperature Tube furnace Combustion Methods. ASTM International, West Conshohocken, PA (2008), 10.1520/D4239-12

ASTM, 2011. D2797-11a. Standard practice for preparing coal samples for microscopical analysis by reflected light. Annual book of ASTM standards: Petroleum products, lubricants, and fossil fuels; Gaseous fuels; coal and coke, sec. 5, v. 5.06. ASTM International, West Conshohocken, PA, 401-405.

ASTM, 2014. D7708-14. Standard test method for microscopical determination of the reflectance of vitrinite dispersed in sedimentary rocks. Annual book of ASTM standards: petroleum products, lubricants, and fossil fuels; gaseous fuels; coal and coke, sec. 5, v. 5.06. ASTM International, West Conshohocken, PA, 823-833.

Azerêdo, A. C., Cabral, M. C., Martins, M. J., Loureiro, I. M., Inês, N., 2010. Estudo estratigráfico dum novo afloramento da Formação de Cabaços (Oxfordiano) na região da Serra do Bouro (Caldas da Rainha). Comunicações Geológicas, 97, 5-22.

Azerêdo, A.C., Duarte, L., Henriques, M. 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, 45 p.

Azerêdo, A.C., Wright, V.P., Ramalho, M.M., 2002. The Middle-Late Jurassic forced regression and disconformity in central Portugal: eustatic, tectonic and climatic effects on a carbonate ramp system. Sedimentology 49, 1339-1370.

Berner, R.A., 1995. Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis - a comment. Marine Chemistry 49, 121-122.

Borrego, J., Lopez, M., Pedon, J.G., Morales, J.A., 1998. C/S ratios in estuarine sediments of the Odiel River-mouth, S.W. Spain. Journal of Coastal Research 14, 1276-1286.

Bostick, N.H., 1971. Thermal alteration of clastic organic particles as an indicator of contact and burial metamorphism in sedimentary rocks. *Geoscience and Man*, Baton Rouge 3, 83-92.

Bustin, R.M., 1988. Sedimentology and characteristics of dispersed organic matter in Tertiary Niger Delta: origin of source rocks in a deltaic environment. *Am Asso Pet Geol Bull* 72:277-298.

Combaz, A., 1964. Les palynofacies. *Revue de Micropaléontologie*, 7, 205-218.

Dias, A.J., 2005. Reavaliação do potencial petrolífero do onshore da Bacia Lusitaniana, Portugal. Vol. I. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. (Tese de doutoramento). 142pp.

Dias, R., Ribeiro, A., 1995. The Ibero-Armorican Arc: a collisional effect against an irregular continent? *Tectonophysics* 246, 113-128.

Duarte, L.V., Perilli, N., Antonioli, L., Rodrigues, R., Cabral, M.C., Dino, R., Azerêdo, A.C., 2006. Evidências sedimentológicas, geoquímicas (COT) e micropaleontológicas nas fácies betuminosas do Sinemuriano terminal de Água de Madeiros (Portugal). VII Congresso Nacional de Geologia, 633-636.

Duarte, L., Silva, R. L., Duarte, C.B., Azerêdo, A.C., Comas-Rengifo, M.J., 2008. Litostratigrafia do Jurássico Inferior da região de S. Pedro de Moel (Bacia Lusitânica). In: Callapez, P. M., Rocha, R. B., Marques, J. F., Cunha, L. S., Dinis, P. M. (Eds.), *A Terra, Conflitos e Ordem. Homenagem ao Professor Ferreira Soares*, MMGUC, 175-185.

Duarte, L.V, Silva, R., Oliveira, L., Comas-Rengifo, M., Silva, F., 2010. Organic-Rich facies in the Sinemurian and Pliensbachian of the Lusitanian Basin, Portugal: Total organic carbon distribution and relation to transgressive-regressive facies cycles. *Geologica Acta* 8, 325-340.

Duarte, L.V., Rodrigues, R., Oliveira, L.C., Silva, F., 2005. Avaliação preliminar das variações do carbono orgânico total nos sedimentos margosos de Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica (Portugal). XIV Semana de Geoquímica/VIII Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Actas Volume 1, pp. 39-43.

Duarte, L.V., Silva, R.L., Mendonça Filho, J.G., Poças Ribeiro, N., Chagas, R.B.A., 2012. High-resolution stratigraphy, Palynofacies and source rock potential of the Água de Madeiros Formation (Upper Sinemurian) of Lusitanian Basin, Portugal. *Journal of Petroleum Geology*, 35, 105-126.

Duarte, L.V., Soares, A.F., 2002. Litoestratigrafia das séries margo-calcárias do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica (Portugal). *Comunicação do Instituto Geológico e Mineiro* 89, 115-134.

Flores, D., Suárez-Ruiz, I., 2017. Organic Petrology in the Study of Dispersed Organic Matter. Chapter 2. in: Suárez-Ruiz, I., Mendonça Filho, J.G. (Eds.). *Geology: Current and Future Developments. The Role of Organic Petrology in the Exploration of Conventional and Unconventional Hydrocarbon Systems 1*. Bentham Science Publishers, United Arab Emirates, pp. 34-76.

Gonçalves, P.A., Mendonça Filho, J.G., Silva, F.S., Flores, D., 2014. Bitumen occurrences in the Arruda sub-basin (Lusitanian Basin, Portugal): Petrographic features. *International Journal of Coal Petrology* 131, 239-249. Mouterde & Rocha, 1981.

Hunt, J.M., 1979. *Petroleum geochemistry and geology*. W. H. Freeman & Co., San Francisco.

International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP), 1998. The new vitrinite classification (ICCP System 1994). *Fuel* 77, 349-358.

International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP), 2001. The new inertinite classification (ICCP System 1994). *Fuel* 80, 459-471.

Jacob, H., 1989. Classification, structure, genesis and practical importance of natural solid oil bitumen (migrabitumen). *International Journal of Coal Geology* 11, 65-79.

Jarvie, D.M., 1991. Total Organic Carbon (TOC) analysis. In: R.K. Merrill (Ed.), *Source and Migration Processes and Evaluation Techniques*, Tulsa, Treatise of Petroleum Geology. American Association of Petroleum Geologists, pp. 113 - 118.

Kullberg, J., 2000. *Evolução Tectónica Mesozóica da Bacia Lusitaniana*. Lisboa: Tese doutoramento, Universidade Nova de Lisboa (não publicada), 361p.

Kullberg, J., Rocha, R., Soares, A., Rey, J., Terrinha, P., Azerêdo, A., Callapez, P., Duarte, L., Kullberg, M., Martins, L., Miranda, R., Alves, C., Mata, J., Madeira, J., Mateus, O., Moreira, M., Nogueira, C., 2013. A Bacia Lusitaniana: estratigrafia, paleogeografia e tectónica. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg (Eds.), *Geologia de Portugal*. Escolar Editora. Vol. II, 195-320.

Landis, C.R., Castaño, J.R., 1995. Maturation and bulk chemical properties of a suite of solid hydrocarbons. *Organic Geochemistry* 22, 137-149.

Link, C.M., Bustin, R.M., Goodarzi, F., 1990. Petrology of graptolites and their utility as indices of thermal maturity in lower Paleozoic strata in northern Yukon, Canada. *International Journal of Coal Geology* 15, 113-135.

Mendes, M., 2015. Estudo de Palinofácies e Biomarcadores de uma sondagem realizada na região de Alcobaça (Bacia Lusitânica). Tese de mestrado Universidade do Porto (não publicada), 112 p.

Mendonça Filho, J., Menezes, T.R., Mendonça, J.O., Oliveira, A.D., Silva, T.F., Rondon, N.F., Silva, F.S., 2012. Organic Facies: palynofacies and organic geochemistry approaches. In: D. Panagiotaras (Ed.), *Geochemistry Earth's system processes*, vol.1. InTech, Patras, ISBN 978-9-53-510586-2, 211-245.

Mendonça Filho, J.G., 1999. Aplicação de estudos de palinofácies e fácies Orgânica em rochas do Paleozóico da Bacia do Paraná, Sul do Brasil. Universidade Federal do Grande Sul. Tese de Doutorado em Geociências (não publicada), 2 vols. 338pp.

Mendonça Filho, J.G., Gonçalves, P.A., 2017. Organic Matter: Concepts and Definitions. Chapter 2. in: Suárez-Ruiz, I., Mendonça Filho, J.G. (Eds.). *Geology: Current and Future Developments. The Role of Organic Petrology in the Exploration of Conventional and Unconventional Hydrocarbon Systems* 1. Bentham Science Publishers, United Arab Emirates, pp.1-33.

Mendonça Filho, J.G., Menezes, T.M., Mendonça, J.O., Oliveira, A.D., Silva, T.F., Rondon, N.F., da Silva, F.S., 2012. Organic Facies: Palynofacies and Organic Geochemistry approaches. In: Panagiotaras, D. (Ed.), *Geochemistry - Earth's system processes*. Rijeka. InTech, 211-248.

Mendonça Filho, J.G., Menezes, T.R., Mendonça, J.O., 2014. Organic Composition (Palynofacies Analysis). Chapter 5. "ICCP Training Course on Dispersed Organic Matter", Potsdam (Germany) 35-87.

Mendonça Filho, J.G., Menezes, T.R., Mendonça, J.O., Oliveira, A.D., Carvalho, M., Sant'anna, A., 2010. Paleontologia. In: I.S. Carvalho (Ed.), *Paleontologia, conceitos e métodos*. Interciência. Vol.1, 289-314.

Mendonça Filho, J.G., Menezes, T.R., Mendonça, J.O., Oliveira, A.D., Sant'Anna, A.J., 2011a. Kerogen: Composition and Classification. Chapter 3. In: D. Flores, M. Marques (Eds.) "ICCP Training Course on Dispersed Organic Matter", Porto.17-24.

Morgado, A., 2014. Caracterização organofaciológica e organogeoquímica de uma sequência sedimentar do sector central da Bacia Lusitânica (Sondagem Gaiteiros-1). Tese de mestrado, Universidade do Porto, Faculdade de Ciências (não publicada), 149 p.

Morse, J.W., Berner, R.A., 1995. What determines sedimentary C/S ratios? *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, 1073-1077.

Mouterde, R., Dommergues, J.L., Rocha, R.B., 1983. Atlas des fossiles caractéristiques du Lias portugais. II - Carixien. *Ciências Terra (UNL)* 7, 187-254.

Mouterde, R., Rocha, R.B., 1981. Atlas des fossiles caractéristiques du Lias portugais. I - Lias inférieur. *Ciências Terra (UNL)* 6, 49-76.

Oliveira, L.C.V., Rodrigues, R., Duarte, L.V., Lemos, V., 2006. Avaliação do potencial gerador de petróleo e interpretação paleoambiental com base em biomarcadores e isótopos estáveis do carbono da seção Pliensbaquiano-Toarciano inferior (Jurássico inferior) da região de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal). *Boletim de Geociências da Petrobras* 14(2), 207-234.

Palain, C., 1976. Une série détritique terrigène. Les "Grés de Silves": Trias et Lias inférieur du Portugal. *Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal*, 25. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Pereira, J.L., 2014. Caracterização petrológica de uma sondagem na região de Alcobaça (Bacia Lusitânica, Portugal). Tese de mestrado, Universidade do Porto, Faculdade de Ciências (não publicada), 98 p.

Peters, K.E., Cassa, M.R., 1994. Applied source rock geochemistry. In: Magoon, L.B., Dow, W.G. (Eds.), *The petroleum system – from source to trap*, AAPG Memoir 60, Tulsa, pp. 93-120

Pickel, W., Kus, J., Flores, D., Kalaitzidis, S., Christanis, K., Cardott, B.J., Miskennan, M., Rodrigues, S., Hentschel, A., Hamor-Vido, M., Wagner, N., Crosdale, P., ICCP, 2017. Classification of liptinite-ICCP System 1994. *International Journal of Coal Geology* 169, 40-61.

Pina, B., 2015. Geoquímica orgânica da série carbonatada da base da formação do cabo do carvoeiro (Toarciano inferior) da Região de Peniche Ambiente deposicional e preservação da matéria orgânica. Tese de mestrado, Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia (não publicada), 121 pp.

Poças Ribeiro N., Mendonça Filho, Duarte L.V., Silva, R.L., Mendonça L.O., Silva T.F., 2013. Palynofacies and organic geochemistry of the Sinemurian carbonate deposits in the western Lusitanian Basin (Portugal): Coimbra and Água de Madeiros formations. *International Journal of Coal Geology* 111, 37-52.

Rasmussen. E.S., Lomholt, S., Andersen, C., Vejbæk, O.L., 1998. Aspects of the structural evolution of the Lusitanian Basin in Portugal and the shelf and slope area offshore Portugal. *Tectonophysics* 300, 199 - 225.

Ribeiro, A., Antunes, M., Ferreira, M., Rocha, R., Soares, A., Zbyszewski, G., 1979. *Introduction à Géologie Générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. 114 p.

Rocha, R.B., Marques, J., Soares, A.F., 1990. Les unités lithostratigraphiques du Bassin Lusitanien au Nord de l'accident de Nazare (Trias-Aalenien). *Cahiers Vniv. CatilOI. Lyon, ser. Sci., Lyon 4*, pp. 121-126.

Silva, F., Duarte, L.V., Oliveira, L.C., Rodrigues, R., Comas-Rengifo, M.J., 2007. Caracterização do Carbono orgânico total e pirólise Rock-Eval no intervalo Sinemuriano superior-Pliensbaquiano do sector norte da Bacia Lusitânica (Portugal). In: Gomes, E.P., Alencão, A.M. (Eds), *Livro de Actas do VI Congresso Ibérico de Geoquímica*, Vila Real, 564-567.

Silva, R.L., Duarte, L.V., Comas-Rengifo, M.J., Azerêdo, A.C., 2010a. Top Ibex-Margaritatus (Pleinsbachian) series of the Lusitanian Basin (Portugal): sedimentology, events and high-resolution correlation. Abstract book of the Special meeting of the Société Géologique de France in honor to Serge Elmi, Lyon, France, pp. 95-96.

Silva, R.L., Duarte, L.V., Mendonça Filgo, J.G., Silva, T.F., Azerêdo, A.C., 2010b. A geoquímica orgânica como ferramenta na caracterização paleoceanográfica de Pliensbaquiano da Bacia Lusitânica (Portugal): avanços e novas metas. *Memórias* 14, pp. 381-387 (cd volume).

Soares, A.F., Marques, J., Rocha, R.B., 1985. Contribuição para o Conhecimento Geológico de Coimbra. *Memórias e Notícias, Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra*, 100, 41-71.

Soares, A.F., Rocha, R.B., Elmi, S., Henriques, M.H., Mouterde, R., Almeras, Y., Ruget, C., Marques, J., Duarte, L.V., Carapito, C., Kullberg, J.C., 1993. Le sous-bassin nord-lusitanien (Portugal) du Trias au Jurassique moyen: histoire d'un "rift avorté". *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 317, 1659-1666.

Suárez-Ruiz, I., Flores, D., Mendonça Filho, J.G., Hackley, P.C., 2012. Review and update of the applications of organic petrology: Part 1, Geological Applications. *International Journal of Coal Geology* 99, 54-112.

Taylor, G.H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F. K., Littke, R., Robert, P., 1998. *Organic Petrology*; Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.

Tissot, B.P., Welte, D.H., 1984. *Petroleum Formation and Occurrence* (Second revised edition), Springer-Verlag, Berlin.

Tschudy, R.H., 1961. Palynomorphs as indicators of facies environments in Upper Cretaceous and Lower Tertiary strata, Colorado and Wyoming. *Wyoming Geological Society, 16th Annual Field Conference, Guidebook*, 53-59.

Tyson, R.V., 1995. *Sedimentary organic matter: organic facies and palynofacies analysis*. London: Chapman & Hall. 615 p.

Anexos

Anexos

Anexo I. Cópia do *abstract* publicado e diapositivos do e-poster apresentado

38th Meeting of The Society for Organic Petrology (TSOP): 2022, Volume 38, pp.17.
ISSN 1060-7250

12-16 de setembro de 2022, em modo virtual.

PALYNOFACIES ANALYSIS OF LOWER-MIDDLE JURASSIC SEDIMENTS FROM THE LUSITANIAN BASIN (PORTUGAL)

A. Loaiza^{1*}, P.A. Gonçalves^{1,2}, J.G. Mendonça Filho³ & D. Flores^{1,2}

¹Department of Geosciences, Environment and Spatial Planning, Faculty of Science of the University of Porto, Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto, Portugal

²Instituto de Ciências da Terra - Polo do Porto, Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto, Portugal

³Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânica, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Athos da Silveira, 274, prédio do CCMN, sala J1020, Campus Ilha do Fundão, Cidade Universitária, CEP 21949-900 Rio de Janeiro, Brazil

*Presenting author email: up201902274@fc.up.pt

In recent years, petrology and organic geochemistry studies have revealed important and complementary information about the Jurassic organic facies and depositional environments of the Lusitanian Basin (Portugal). The Lower-Middle Jurassic record of this basin consists of marly-limestone successions interbedded with thin layers rich in organic matter (OM). This study aims to characterize the particulate sedimentary OM present in Lower-Middle Jurassic sediments from two wells drilled in the Central Sector of the Lusitanian Basin (Portugal). A total of 24 samples, belonging to the Dagorda and Coimbra formations and the Brenha unit (an informal formation), were analyzed using palynofacies and bulk geochemical analyses.

Geochemical data indicate poor to good organic carbon content, with total organic carbon values varying from 0.19 to 2.47%wt. Total sulfur content varies between 0.10 and 5.52 wt.%, with the highest values being associated with samples with anhydrite. Insoluble residue ranges from 3 to 70%, confirming the carbonated character of most of the samples. Palynofacies analysis displayed a dominance of the amorphous group (45.11 to 86.27% of total OM). The amorphous group is mostly characterized by marine phytoplankton-derived organic matter (AOM) that exhibits a

yellow, sometimes intense, to light brown fluorescence color. Bacterial-derived AOM, with a cratered aspect and pale-yellow fluorescence color, and macrophyte-derived amorphous organic matter were also observed in minor percentages. Concerning the phytoclasts, non-opaque predominates over opaque. Non-opaque phytoclasts are mostly undegraded or very slightly degraded. Cuticles and membranes presenting a pale yellow to light brown color were observed. Regarding the palynomorph group, the sporomorphs, both spores and pollen grains, predominate. Freshwater microplankton, marine microplankton and zoomorphs were also found.

Deposition in a carbonated marine platform environment occurred under oxygen-depleted conditions, as suggested by the AOM dominance. The lower amorphization of the continental OM suggests that it was transported into the marine system, indicating proximity to the terrestrial source area. Further studies (biomarkers and vitrinite reflectance) will complement the present work to allow a better understanding of the sedimentary sequences in the study area.

Acknowledgment

P.A. Gonçalves is grateful to FCT for the financial support (SFRH/BPD/114696/ 2016). This work has been partially supported by national funds through FCT, projects UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020.

PALYNOFACIES ANALYSIS OF LOWER-MIDDLE JURASSIC SEDIMENTS FROM THE LUSITANIAN BASIN (PORTUGAL)

W.A. Ortiz-Loaiza^{1,*}, P.A. Gonçalves^{1,2}, J.G. Mendonça Filho³ & D. Flores^{1,2}

¹Department of Geosciences, Environment and Spatial Planning, Faculty of Science of the University of Porto, Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto, Portugal

²Instituto de Ciências da Terra - Polo do Porto, Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto, Portugal

³Laboratório de Palinofícias & Fácies Orgânica, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Athos da Silveira, 274, prédio do CCMN, sala J1020, Campus Ilha do Fundão, Cidade Universitária, CEP 21949-900 Rio de Janeiro, Brazil

*Presenting author email: up201902274@fc.up.pt



Introduction

The Lusitanian Basin (Portugal), located on the occidental margin of Iberian Massif, is an Atlantic margin rift basin related to the opening of the North Atlantic Ocean, presenting an extensive onshore record of Jurassic age.

The Lower-Middle Jurassic record of this basin consists of marly-limestone successions interbedded with thin layers rich in organic matter (OM).

This study aims to characterize the particulate sedimentary OM present in Lower-Middle Jurassic sediments from two wells drilled in the Lusitanian Basin.

A total of 24 samples, belonging to the Dagorda and Coimbra formations and the Brenha unit (an informal formation), were analyzed using palynofacies and bulk geochemical analyses (total organic carbon, total sulfur and insoluble residue).



Fig. 1. Aspect of a Lower Jurassic section at São Pedro de Moel (Lusitanian Basin, Portugal)

Results

Total Organic Carbon (TOC), Total Sulfur (TS), and Insoluble Residue (IR)

Geochemical data indicate a poor to good organic carbon content, with total organic carbon values varying from 0.19 to 2.74 wt. %.

Total sulfur content varies between 0.10 and 5.52 wt.%, with the highest values being associated with samples with anhydrite.

Insoluble residue ranges from 3 to 70%, confirming the carbonated character of most of the samples.



Table 1 Bulk geochemical of Monte Real MR-VV9 (MR) borehole samples.

Stratigraphic section	Sample	Depth (m)	TOC (wt%)	TS (wt%)	IR (wt%)	TOC/TS
Coimbra Formation	SMR 01	1100	0.97	3.06	56	0.32
	SMR 02	1150	0.55	5.52	40	0.10
	SMR 03	1200	0.42	1.02	15	0.41
	SMR 04	1250	0.43	0.36	9	1.19
	SMR 05	1300	0.72	0.77	27	0.94
	SMR 06	1350	0.71	0.74	31	0.96
Dagorda Formation	SMR 07	1370	0.44	3.37	36	0.13
	SMR 08	1380	0.58	4.52	70	0.13

Stratigraphic section	Sample	Depth (m)	TOC (wt%)	TS (wt%)	IR (wt%)	TOC/TS
Vale das Fontes Formation	SPM 01	700	0.86	0.47	51	1.84
	SPM 02	750	0.89	0.28	51	3.21
	SPM 03	800	1.23	0.84	31	1.47
	SPM 04	850	2.74	0.81	32	3.39
Agua de Madeiros Formation	SPM 05	900	0.70	0.27	15	2.56
	SPM 06	950	0.25	0.17	5	1.42
	SPM 07	1000	0.19	0.10	6	1.92
	SPM 08	1050	0.34	0.15	3	2.29
Coimbra Formation	SPM 09	1080	0.68	0.36	10	1.91
	SPM 10	1085	0.73	0.37	10	1.97
	SPM 11	1100	0.64	0.33	10	1.91
	SPM 12	1150	0.35	0.23	10	1.56
	SPM 13	1180	0.39	0.23	8	1.69
Dagorda Formation	SPM 14	1185	0.89	0.57	27	1.54
	SPM 15	1300	0.43	3.10	32	0.15
	SPM 16	1400	0.81	0.33	24	2.42

Table 2 Bulk geochemical data of São Pedro de Moel SPM-2 (SPM) borehole samples.

Results

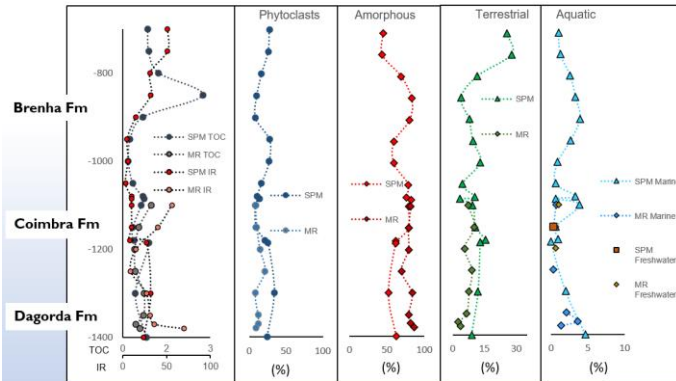


Fig. 2. Palynofacies and geochemical data variation across SPM-2 and MR-V9 boreholes. Note: Marine include marine microplankton and zooplankton.

Palynofacies

- Dominance of the amorphous group in both boreholes (45.11 to 86.27% of total OM). The amorphous group is mostly characterized by marine phytoplankton-derived organic matter (AOM). Bacterial-derived AOM, with a cratered aspect, and macrophyte-derived amorphous organic matter were also observed.
- Non-opaque phytoclasts predominates over opaque phytoclasts. Non-opaque are mostly undegraded or very slightly degraded. Cuticles and membranes, presenting a pale yellow to light brown color, were also observed.
- Regarding the palynomorph group, the sporomorphs, both spores and pollen grains, predominate. Freshwater and marine microplankton, and zoomorphs were also found in minor percentages.

Results

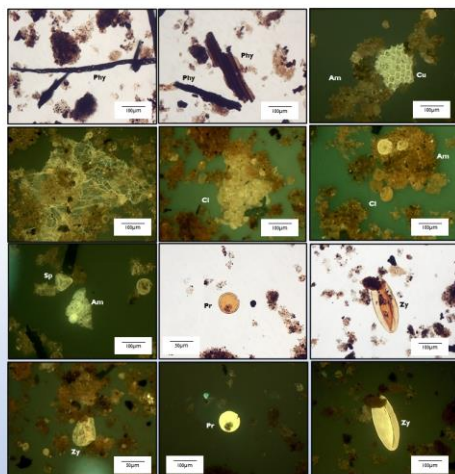


Fig. 3. Photomicrographs of kerogen assemblage from the SPM-2 borehole. Phy: Phytoclast; Cu: Cuticle; Sp: Spore; Am: Amorphous particles; Zy: Zygospor; Pr: Prasinophyta algae; Cl: Pollen grain from the genus *Clossopollis*; Zo: Zooclast.

Some paleoenvironmental considerations

- Dagorda Formation sedimentation occurred in an evaporitic lake or lagoon, with depleted oxygen conditions, presenting a kerogen assemblage dominated by phytoplankton-derived AOM.
- The first carbonated unit (Coimbra Formation) with marine influences, presents high percentage of amorphous particles and high TOC content corroborating that the deposition occurred in a low-energy shallow to moderately marine, also with oxygen-depleted conditions.
- Brenha unit was deposited in an open marine environment (carbonated platform), under suboxic-anoxic conditions, propitious to the production of amorphous organic matter (up to 82% of AOM).

Conclusions



- Deposition occurred in a carbonated marine platform environment under oxygen-depleted conditions, as suggested by the AOM dominance.
- The lower amorphization of the continental OM suggests that it was transported into the marine system, indicating proximity to terrestrial source area.
- Further studies (biomarkers and vitrinite reflectance) will complement the present work to allow a better understanding of the sedimentary sequences in the study area.

Thank you for your attention!

Acknowledgements

P.A. Gonçalves is grateful to FCT for the financial support (SFRH/BDP/114696/2016). This work has been partially supported by national funds through FCT, projects UIDB/04683/2020 and UIDP/04683/2020.

