

Caracterização petrológica da matéria orgânica de uma sondagem na região de Alcobaça (Bacia Lusitânica, Portugal)

João Lino Pereira

Mestrado em Geomateriais e Recursos Geológicos

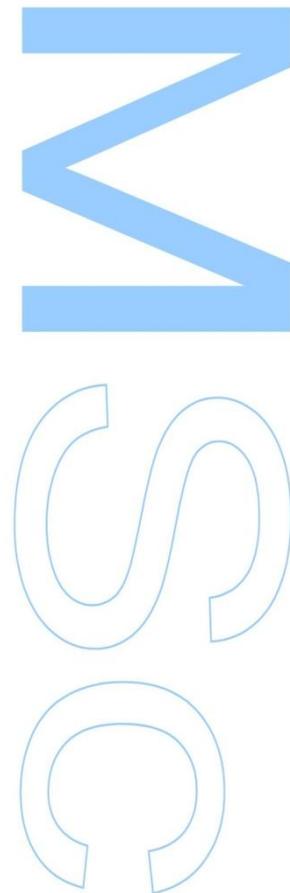
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

2014

Orientador

Professora Doutora Deolinda Flores

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto





Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____

M

S

Q

Agradecimentos

A realização desta dissertação revelou-se um desafio cativante e extremamente enriquecedor do ponto de vista científico, superando todas as minhas expectativas. Tal facto não seria possível sem um conjunto de pessoas, ao qual aproveito para deixar umas palavras de sinceros agradecimentos.

Começo por agradecer à minha orientadora, Professora Doutora Deolinda Flores, por me ter dado a oportunidade de realizar esta dissertação sob a sua orientação. As condições de trabalho que me proporcionou, todo o tempo de acompanhamento e de esclarecimento das minhas dúvidas, aliados ao seu rigor e perfeccionismo no trabalho, contribuíram de forma determinante para a minha evolução científica.

Agradeço também, à Doutora Paula Gonçalves, à Doutora Joana Ribeiro e à Mestre Cândida Neto, equipa de investigação com quem tive a oportunidade de trabalhar. Todo o apoio, dedicação e auxílio prestados, foram essenciais para ultrapassar as tarefas com que me deparei. Não posso deixar de referir também, a simpatia e boa disposição com que me receberam dia após dia, facilitando a minha integração e adaptação, com um ótimo ambiente de trabalho.

Ao Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânicas da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil (LAFO) e ao seu responsável Professor João Graciano Mendonça Filho pelo apoio na realização das análises geoquímicas (COT, St e RI).

Quero agradecer a todos os meus amigos e família pelas palavras de motivação.

Deixo uma palavra especial de agradecimento aos meus pais e irmão, incansáveis no apoio e investimento que me têm proporcionada ao longo da vida

Por último, agradeço à GalpEnergia e PortoEnergy por terem disponibilizado a sondagem para este trabalho, que se revelou de um enorme contributo com novos dados orgânicos e geoquímicos para as Formações estudadas.

Resumo

O Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica é caracterizado por depósitos sedimentares de origem margo-calcária, ricos em matéria orgânica (MO). O presente trabalho incide no estudo da MO de uma sondagem localizada na área de Alcobaça. Tendo em conta os dados da sondagem, relativamente à sua sequência estratigráfica, foram seleccionadas 37 amostras para este estudo. Destas, 29 estão distribuídas pelas Formações de Coimbra (8 amostras), Água de Madeiros (4 amostras), Vale das Fontes (10 amostras) e Lemedede (7 amostras), cobrindo um intervalo de 166 metros. As 8 restantes foram seleccionadas visualmente tendo em conta as suas características litológicas, uma vez que a estratigrafia não está disponível. Este estudo tem como objetivos a caracterização petrográfica da matéria orgânica dispersa, definição do tipo de cerogénio, avaliação da maturação térmica e do potencial de geração de hidrocarbonetos. Baseou-se em análises de petrografia orgânica, nomeadamente na identificação dos macerais e na medição da reflectância (%R_r) da vitrinite e dos betumes sólidos identificados, e em análises de geoquímica orgânica, tais como carbono orgânico total (COT), enxofre total (St) e resíduo insolúvel (RI).

A análise petrográfica evidencia partículas de matéria orgânica pertencentes a todos os grupos de macerais, em que o grupo da liptinite abunda relativamente aos outros. Assim, a MO pertence maioritariamente a um cerogénio tipo II.

A interpretação da reflectância dos betumes sólidos e das respetivas características óticas permitiu distinguir quatro famílias. A família com reflectância de 0.39 a 0.68 %R_r, foi designada de grahamite. As famílias com poder refletor entre 0.71-0.95 %R_r e 1.04-1.65 %R_r foram classificadas como epi-impsonite. A família de betumes sólidos cuja reflectância varia de 2.03 a 2.90 %R_r foi classificada como meso-impsonite.

Os valores obtidos para o poder refletor da vitrinite, indicam que a MO está essencialmente madura, com destaque para as Formações de Lemedede (0.50–0.72 %R_r), Vale das Fontes (0.56–0.70 %R_r) e Água de Madeiros (0.56–0.61 %R_r), em que esta se encontra no estágio da catagénese.

Os valores mais elevados de COT foram obtidos para as Formações de Vale das Fontes (2.91 %) e Água de Madeiros (1.19 %), que apresentam elevado potencial de geração de hidrocarbonetos, tendo em conta que se trata de fácies carbonatada.

Os valores de RI inferiores a 50 %, confirmam o predomínio da fração carbonatada relativamente à siliciclástica, para todas as formações.

A relação entre os valores de COT e de St permite inferir em todas as formações um ambiente deposicional redutor.

Palavras-chave: Jurássico Inferior; matéria orgânica; vitrinite; betume sólido; maturação

Abstract

The Lower Jurassic of the Lusitanian Basin (Portugal) is characterized by marly–limestone sedimentary deposits, rich in organic matter (OM). The present work focuses on the study of the OM from a well drilled in the Alcobaça area. According to the well data, relative to its stratigraphic sequence, 37 samples were selected for this study. From these, 29 are distributed by Coimbra Formation (8 samples), Água de Madeiros Formation (4 samples), Vale das Fontes Formation (10 samples) and Lemede Formation (7 samples), covering an interval of 166 meters. The remaining 8, were visually selected with regard to its lithology, once the stratigraphy is not available. The objectives of this study are the petrographic characterization of the dispersed organic matter, kerogen type setting, thermal maturation and hydrocarbon generation potential evaluation. It was based in organic petrographic analysis, such as identification of maceral groups and vitrinite and solid bitumen reflectances (%R_r), and organic geochemistry analyses, such as total organic carbon (TOC), total sulfur (St) and insoluble residue (IR).

The petrographic analysis shows particles of organic matter belonging to all groups of macerals, in which the liptinite group abounds in relation to others. Therefore, the OM mainly belongs to a type II kerogen.

The interpretation of solid bitumens reflectance and their optical characteristics allowed to distinguish four different families. The solid bitumen family with reflectance values between 0.31–0.68 %R_r, was classified as grahamite. The solid bitumen families with reflectance values between 0.71–0.95 %R_r and 1.04–1.65 %R_r were classified as impsonites. The solid bitumen family which reflectance values range from 2.03 to 2.90 %R_r, was classified as meso-impsonite.

The values obtained for the vitrinite reflectance indicate that the OM is essentially mature, with special emphasis to Lemede (0.50-0.72 %R_r), Vale das Fontes (0.56-0.70 %R_r) and Água de Madeiros (0.56-0.61 %R_r) Formations, where it is in the catagen stage.

The highest TOC values were obtained for the Vale das Fontes (2.91%) and Água de Madeiros (1.19%) Formations, which have high hydrocarbon generation potential, taking into account that correspond to carbonated facies.

IR values lower than 50 % confirms the presence of carbonate sediments over siliciclastic fraction, for all Formations.

The ratio between TOC and St values allow to infer a reducing depositional environment in all Formations.

Keywords: Lower Jurassic; organic matter; vitrinite; solid bitumen; maturation

Índice

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	IV
ABSTRACT	VI
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE TABELAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
LISTA DE ABREVIATURAS	XIII
1. ENQUADRAMENTO GERAL	1
1.1. Introdução e objetivos	1
1.2. Conceitos Gerais	3
1.2.1. Evolução térmica da matéria orgânica.....	3
1.2.2. Tipo de matéria orgânica	4
1.2.3. Matéria Orgânica Dispersa nos sedimentos (MOD) do ponto de vista petrográfico	6
Características.....	7
2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO	11
2.1. Contexto geodinâmico	11
2.2. Setores no interior da bacia	13
2.3. Contexto paleogeográfico e paleotectónico	14
2.3.1. 1º episódio de <i>rifting</i> (Triássico-Sinemuriano)	15
2.3.2. 2º episódio de <i>rifting</i> (Pliensbaquiano/Oxfordiano)	16
2.4. Descrição das unidades litostratigráficas da área de estudo	17
2.4.1. Formação de Coimbra	18
2.4.2. Formação de Água de Madeiros.....	19
2.4.3. Formação de Vale das Fontes.....	20
2.4.4. Formação de Lemedo.....	21
3. AMOSTRAS E METODOLOGIAS	23
3.1. Seleção de amostras	23
3.2. Petrografia orgânica	26
3.2.1. Preparação das amostras.....	26
3.2.2. Caracterização da MOD e determinação do poder refletor aleatório	28
3.3. Geoquímica Orgânica	30

3.3.1. Preparação das amostras.....	30
3.3.2. Análise de COT, St e RI.....	30
4. RESULTADOS.....	33
4.1. Petrografia Orgânica	33
4.1.1. Análise descritiva.....	33
4.1.1.1. Amostras entre as transições	33
4.1.1.2. Formações.....	47
4.2. Geoquímica Orgânica.....	55
5. DISCUSSÃO	57
6. CONCLUSÃO	73
7. ATLAS PETROGRÁFICO.....	75
7.1. Formação de Lemedede.....	76
7.2. Formação de Vale das Fontes	80
7.3. Formação de Água de Madeiros.....	84
7.4. Formação de Coimbra.....	88
BIBLIOGRAFIA	93

ANEXOS

Anexo I. Histogramas de distribuição de vitrinite e de betumes sólidos, identificados nas amostras entre transições e nas Formações

Anexo II. Cópia do trabalho aceite para publicação no volume Especial das Comunicações Geológicas e diapositivos da comunicação oral no IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa (IXCNG/2ºCoGePLiP)

Índice de Tabelas

Tabela 1.1 - Sistema de nomenclatura internacional de Stopes Heerlen – SH (ICCP 1971, 1998, 2001, Sykorova et al. 2005). Morfologia e aspetos característicos dos macerais (Marques & Flores 2003).....	7
Tabela 1.2 - Sistema de nomenclatura internacional dos constituintes orgânicos da MOD do ICCP/TSOP.....	9
Tabela 3.1 - Total de amostras por formação que foram colhidas na sondagem em estudo e respetivos limites em profundidade.	24
Tabela 3.2 - Profundidade a que as transições foram identificadas.	24
Tabela 3.3- Totalidade das amostras selecionadas por formação e transições para este estudo e respetivas profundidades.	25
Tabela 3.4- Descrição litológica das formações, de acordo com os dados fornecidos pela empresa.	26
Tabela 3.5 - Etapas seguidas durante o polimento das amostras.....	28
Tabela 4.1 - Valores de poder refletor aleatório médio da vitrinite (%R _r) das amostras estudadas, o desvio padrão da distribuição e o número de medidas efetuadas.	35
Tabela 4.2 -Valores de poder refletor aleatório (%R _r) das famílias de betumes sólidos identificadas (B1 a B4), desvio padrão (DP) e número de medidas efetuadas (n).	43
Tabela 4.3-Valores de COT, St, RI e COT/St determinados para as amostras estudadas.	55
Tabela 5.1 - Tabela com os valores de reflectância da vitrinite (%R _r) e reflectância equivalente da vitrinite (%REV) obtidos usando a equação de Jacob (1989) [VReqv= (0.618*reflectância de betume)+0.4] para as amostras onde foram identificados betumes sólidos. Neste cálculo foi sempre usada a família de betumes com reflectância mais baixa (Jacob, 1989).....	66

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Esquema geral da evolução da matéria orgânica desde que se deposita nos sedimentos até à zona metamórfica (adaptado de Tissot & Welte, 1984)	4
Figura 2.1 - Localização da Bacia Lusitânica (adaptado de Oliveira et al., 2006).....	11
Figura 2.2 - Enquadramento geográfico e tectónico da Bacia Lusitânica. Definição de setores (1- Rocha & Soares, 1984; 2- Ribeiro et al., 1996).....	14
Figura 2.3 - Quadro simplificado das unidades litostratigráficas da Bacia Lusitânica e das relações entre eventos sedimentares e tectónicos no período de sin-rift (retirado de Kullberg et al., 2013).	17
Figura 2.4 - Unidades litostratigráficas dos setores setentrional e central da Bacia Lusitânica, no intervalo Triásico-Jurássico Médio (Caloviano Superior) para o 1º e 2º episódios de rifting (retirado de Kullberg et al., 2013).....	21
Figura 2.5 - Quadro litostratigráfico do Pliensbaquiano e Toarciano da Bacia Lusitânica (retirado de Kullberg et al., 2013).	22
Figura 3.1 - Material de moldagem e respetiva mistura das preparações nos moldes, antes da secagem.....	27
Figura 3.2 - Polimento manual das preparações.....	28
Figura 3.3 -Microscópio de marca Leica DM4000, equipado com um sistema Discus-Fossil para a determinação da reflectância.	29
Figura 3.4 - Analisador Leco® SC-144DR.	31
Figura 4.1 - Constituintes orgânicos identificados em luz branca refletida (A - partícula de vitrinite; B - partícula de inertinite) e luz azul incidente (C e D, partículas de liptinite).....	34
Figura 4.2 - Macerais identificados em luz branca refletida (C - betume sólido B1; E - betume sólido B2; G - betume sólido B3; H - partícula de vitrinite) e luz azul incidente (A - alginite; B - cisto de dinoflagelado; D - betume sólido B1; F - betume sólido B2).	37
Figura 4.3 - Principais constituintes orgânicos identificados em luz branca refletida (A - betume sólido B1; C - betume sólido B3) e luz azul incidente (B - betume sólido B1; D - alginite).	38
Figura 4.4 - Constituintes orgânicos identificados em luz branca refletida (A - partícula de inertinite; C - betume sólido B1; e - betume sólido B2) e luz azul incidente (B - alginite; D - betume sólido B1; F - betume sólido B2).	39
Figura 4.5 - Macerais identificados em luz branca refletida (A - partícula de inertinite; C - betume sólido B1; E - betume sólido B3; F - partícula de vitrinite) e luz azul incidente (B - alginite; D - betume sólido B1).	40

Figura 4.6 - Principais constituintes orgânicos identificados em luz branca refletida (A - partícula de inertinite; C - betume sólido B2; e - betume sólido B3; F - partícula de vitrinite) e luz azul incidente (B - alginite; D - betume sólido B2).42

Figura 4.7 - Macerais identificados em luz branca refletida (A - partícula de inertinite; C - betume sólido B1; E - betume sólido B2; G - betume sólido B3; H - betume sólido B4) e luz azul incidente (B - alginite; D - betume sólido B1; F - betume sólido B2).45

Figura 4.8 - Constituintes orgânicos identificados em luz branca refletida (A - partícula de vitrinite; C - betume sólido B2; E - betume sólido B3; F - betume sólido B4) e luz azul incidente (B - alginite; D - betume sólido B2).....46

Figura 4.9 - Constituintes orgânicos identificados em luz branca refletida [A - partícula de vitrinite (ALC1552); C - betume sólido B1 (ALC1558); E - betume sólido B2 (ALC1540); G - betume sólido B3 (ALC1564); H - betume sólido B4 (ALC1528)] e luz azul incidente [B - betuminite (ALC1558); D - betume sólido B1 (ALC1558); F - betume sólido B2 (ALC1540)]......48

Figura 4.10 - Exemplo dos principais constituintes orgânicos identificados em luz branca refletida [C - betume sólido B1 (ALC1576); E - betume sólido B2 (ALC1568); G - betume sólido B3 (ALC1568); H - partícula de vitrinite (ALC1574)] e luz azul incidente [A - alginite (ALC1576); B - betuminite (ALC1574); D - betume sólido B1 (ALC1576); F - betume sólido B2 (ALC1568)].50

Figura 4.11 - Macerais identificados em luz branca refletida [A - partícula de vitrinite (ALC1598); C - betume sólido B1 (ALC1598); E - betume sólido B2 (ALC1590); G - betume sólido B3 (ALC1590); H - betume sólido B4 (ALC1604)] e luz azul incidente [B - betuminite (ALC1600); D - betume sólido B1 (ALC1598); F - betume sólido B2 (ALC1590)].52

Figura 4.12 - Constituintes orgânicos identificados em luz branca refletida [A - partícula de vitrinite (ALC1646); C - betume sólido B1 (ALC1686); E - betume sólido B2 (ALC1694); G - betume sólido B3 (ALC1670); H - betume sólido B4 (ALC1660)] e luz azul incidente [B - alginite (ALC1638); D - betume sólido B1 (ALC1686); F - betume sólido B2 (ALC1694)].54

Figura 5.1.A - Variação da reflectância da vitrinite com a profundidade e a indicação do início da geração dos hidrocarbonetos líquidos para cerogénio tipos I (% $R_r = 0.65$) e II (% $R_r = 0.5$).58

Figura 5.1.B - Variação da reflectância da vitrinite, identificada nas formações, com a profundidade e a indicação do início da geração dos hidrocarbonetos líquidos para cerogénio tipo II (% $R_r = 0.5$).59

Figura 5.2 - Variação da reflectância da vitrinite e das diferentes famílias de betumes sólidos identificados, com a profundidade.....64

Figura 5.3 - Variação da reflectância da vitrinite e dos valores calculados para a reflectância equivalente da vitrinite (REV), com a profundidade.67

Lista de Abreviaturas

BL	Bacia Lusitânica
COT	Carbono orgânico total
St	Enxofre total
Fm	Formação
ICCP	International Committee for Coal and Organic Petrology
JI	Jurássico Inferior
MOI	Margem Ocidental Ibérica
MO	Matéria orgânica
MOD	Matéria orgânica dispersa
Mb	Membro
%R _r	Reflectância média
RI	Resíduo insolúvel
TSOP	The Society for Organic Petrology

1. Enquadramento Geral

1.1. Introdução e objetivos

A existência de rochas geradoras de hidrocarbonetos tem como pré-requisitos a produção, acumulação e preservação de matéria orgânica não degradada (Tissot & Welte, 1984). Em rochas sedimentares, a matéria orgânica (MO) representa restos de plantas e animais, cuja quantidade nos sedimentos é controlada por uma variedade de fatores químicos, biológicos e físicos (Taylor et al., 1998). Entende-se assim por MO, todo o material composto por moléculas orgânicas na forma de monómeros ou polímeros, derivada direta ou indiretamente das partes orgânicas de organismos (Tissot & Welte, 1984). Esta foi sintetizada por organismos vivos, e posteriormente depositada e preservada nos sedimentos. Dependendo dos fenómenos geológicos ocorridos, a matéria orgânica sedimentar pode transformar-se em compostos tais como hidrocarbonetos (Tissot & Welte, 1984). A classificação dos componentes da MO é determinada por características tais como a sua origem, natureza e propriedades, para que a sua ocorrência em rochas sedimentares possa ser comparada qualitativamente e quantitativamente (Taylor et al., 1998).

A ocorrência de hidrocarbonetos em bacias sedimentares tem como princípio básico a existência de horizontes ricos em MO. O seu estudo é um parâmetro essencial aplicado à geologia do petróleo, sendo a sua caracterização obtida através da integração de técnicas de microscopia e geoquímica orgânica (Mendonça Filho, 2010).

Durante o processo evolutivo da Bacia Lusitânica (BL), o Jurássico Inferior (JI) caracterizou-se por uma sedimentação carbonatada (Duarte & Soares, 2002), onde se incluem as Formações de Lemedo, Vale das Fontes, Água de Madeiros e Coimbra, objeto de análise neste estudo. Visto que as unidades sedimentares do JI são uma referência no domínio da sedimentação rica em MO, diversos trabalhos foram realizados com o intuito de estudar estes horizontes do ponto de vista da caracterização e potencial de geração de hidrocarbonetos. Assim, as Formações referidas anteriormente tornaram-se alvo de estudos publicados nos últimos anos.

Oliveira et al. (2006), com base em estudos de geoquímica orgânica e isotópica, realizaram um estudo de avaliação do potencial petrolífero e interpretação paleoambiental do intervalo estratigráfico datado do Pliensbaquiano ao Toarciano inferior em Peniche.

Duarte et al. (2010) desenvolveram um estudo de estratigrafia sequencial, onde estabeleceram uma relação entre a distribuição do teor em carbono orgânico total (COT) e as fases transgressivo-regressivas de 2ª ordem, para o intervalo compreendido entre o Sinemuriano e o Pliensbaquiano em pontos distintos da BL.

Ferreira et al. (2010) apresentam um estudo quanto à maturação térmica da Formação de Vale das Fontes e da parte inferior da Formação de Lemedede, a partir da caracterização organofaciológica da sucessão sedimentar do Pliensbaquiano de Peniche.

Silva et al. (2011) elaboraram modelos sedimentológicos preditivos para caracterizar duas unidades potencialmente geradoras de petróleo do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica, a Formação de Vale das Fontes (Pliensbaquiano) e a Formação de Cabaços (Oxfordiano inferior/médio).

Silva et al. (2012) desenvolveram o primeiro estudo de reconstituição paleoambiental e diagenética da série hemipelágica rica em matéria orgânica da Bacia Lusitânica, a partir de dados biogeoquímicos.

Duarte et al. (2012) apresentaram um estudo de estratigrafia de alta resolução, palinofácies e potencial gerador de hidrocarbonetos da Formação de Água de Madeiros em S. Pedro de Moel, na Bacia Lusitânica.

Poças Ribeiro et al. (2013) desenvolveram um estudo de caracterização da matéria orgânica presente nas formações de Água de Madeiros e Coimbra da Bacia Lusitânica, suportado por técnicas de petrografia e geoquímica orgânicas.

Silva et al. (2013) realizaram um estudo de caracterização sedimentológica, estratigráfica, palinofaciológica e geoquímica sumária do membro Margo-calcários com níveis betuminosos da Formação de Vale das Fontes, um dos mais importantes intervalos ricos em matéria orgânica e potencialmente gerador de petróleo da Bacia Lusitânica.

Neste contexto, este trabalho está centrado no estudo da MO dispersa em sedimentos, pertencentes ao Jurássico Inferior de uma sondagem realizada na área de Alcobaça, recorrendo a técnicas de petrologia orgânica e a determinação de carbono orgânico total (COT), enxofre total (St) e resíduo insolúvel (RI). Tendo em conta os dados providenciados pela empresa que realizou a sondagem, esta intercetou as Formações de Coimbra, Água de Madeiros, Vale das Fontes e Lemedede. Este estudo tem como objetivos principais: i) caracterizar a matéria orgânica dispersa (MOD) presente nestas Formações; ii) definir o tipo de cerogénio; iii) estimar a maturação térmica da MO; e iv) avaliar o potencial de geração de hidrocarbonetos.

Os resultados correspondentes à Formação de Vale das Fontes foram apresentados, sob a forma de comunicação oral, no IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa (IXCNG/2ºCoGePLiP) e o trabalho intitulado “The Vale das Fontes Formation in the Alcobaça area (Lusitanian Basin, Portugal): organic petrology characterization and thermal maturation” foi aceite no tema 4 – Bacias Sedimentares – Evolução e Recursos Gerados, para publicação no volume Especial das Comunicações Geológicas. Cópia do trabalho aceite assim como dos diapositivos da comunicação oral são apresentados no Anexo II.

1.2. Conceitos Gerais

1.2.1. Evolução térmica da matéria orgânica

A transformação físico-química da matéria orgânica quando se deposita nos sedimentos é controlada por alguns fatores, tais como a atividade biológica, temperatura e pressão. Este é um processo contínuo designado por maturação térmica e está dividido em três estágios consecutivos: diagénese, catagénese e metagénese, que correspondem ao estado imaturo, maturo e supermaturo da MO, respetivamente (Tissot & Welte, 1984).

No estágio da diagénese, a matéria orgânica recentemente depositada é alterada e/ou degradada, a poucos metros de soterramento, por processos de transformação biológicos e químicos de baixa temperatura, aproximadamente até 65º C (Tissot & Welte, 1984). Durante a diagénese inicial, um dos principais agentes de transformação é a atividade microbiana, 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, tais como ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas que não são degradados, por perda de grupos funcionais e policondensação, dão origem ao cerogénio (Tissot & Welte, 1984). No fim deste estágio, as rochas geradoras de petróleo encontram-se ainda num estado imaturo, contudo o principal hidrocarboneto formado é o metano biogenético (Tissot & Welte, 1984).

A catagénese caracteriza-se por um aumento de pressão (de 300 a 1500 bar) e temperatura (aproximadamente 50 a 150º C), ocorrendo alterações termoquímicas na MO (Tissot & Welte, 1984). Este estágio é definido por valores de reflectância da vitrinite de 0.5 a 2.0 %R_r e inclui a "janela de geração do óleo", que varia entre valores de reflectância de 0.5 a 1.3 %R_r (Tissot & Welte, 1984). Neste estágio a rocha

geradora está madura, formando-se quantidades consideráveis de hidrocarbonetos líquidos e gasosos (Tissot & Welte, 1984).

A metagênese é o último estágio de maturação da matéria orgânica, é atingida a grandes profundidades e a temperaturas superiores a 120° C (Tissot & Welte, 1984). É definido por valores de reflectância da vitrinite entre 2.0 e 4.0 %R_r, sendo a rocha geradora considerada supermatura (Tissot & Welte, 1984). Nesta etapa a MO continua a ser alvo de transformações termoquímicas que provocam uma diminuição dos hidrocarbonetos líquidos e favorecem a formação de metano termogénico (Tissot & Welte, 1984).

O metamorfismo inicia-se com temperaturas entre 210 e 240° C, em que os componentes orgânicos que restam são transformados em metano, dióxido de carbono e grafite (Mendonça Filho, 2010).

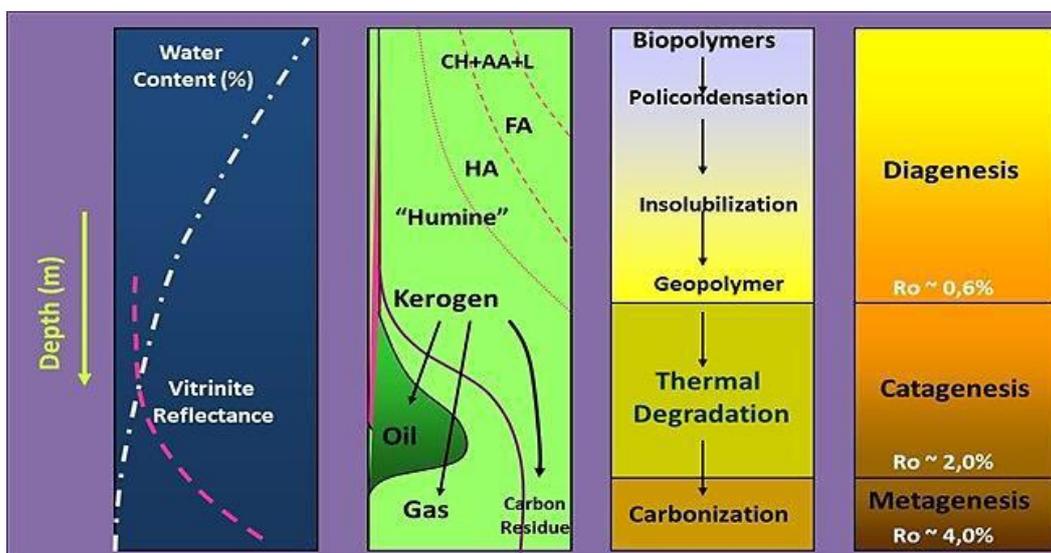


Figura 1.1 - Esquema geral da evolução da matéria orgânica desde que se deposita nos sedimentos até à zona metamórfica (adaptado de Tissot & Welte, 1984)

1.2.2. Tipo de matéria orgânica

A fração de matéria orgânica em rochas sedimentares insolúvel em solventes orgânicos é denominada de cerogénio, enquanto a fração solúvel é chamada de betume. Para que uma rocha seja considerada ativa ou potencial geradora de petróleo, tem de obrigatoriamente que possuir MO na sua constituição. Visto que tipos diferentes de matéria orgânica possuem diferentes potenciais para gerar hidrocarbonetos, torna-se essencial fazer a distinção entre os vários tipos de cerogénio para avaliar apropriadamente a rocha geradora. A matéria orgânica que maioritariamente contribui para a presença de cerogénio em sedimentos, identifica-se

como restos de bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e plantas superiores (Tissot & Welte, 1984).

O tipo de cerogénio pode ser diferenciado e avaliado através de métodos microscópicos e físico-químicos. Os métodos microscópicos permitem a visualização do cerogénio e consequente apreciação de detalhes, tais como a mistura de matéria orgânica de fontes diferentes. Neste estudo, o cerogénio foi estimado tendo em conta o método de microscopia de luz branca refletida e luz azul incidente.

De acordo com Tissot & Welte (1984) é possível distinguir três tipos de cerogénio.

O cerogénio do tipo I é constituído essencialmente por material algal, principalmente *Botryococcus* depositados em ambiente lacustre, facilmente reconhecido em microscópio. Pode ainda ser constituído por restos de material algal estruturado misturado com matéria amorfa (possivelmente vasos condutores retrabalhados por intensa atividade microbiana). Os macerais mais abundantes pertencem ao grupo da liptinite e possui um potencial elevado para geração de óleo e gás (Tissot & Welte, 1984).

Por seu lado, o cerogénio do tipo II consiste predominantemente em matéria orgânica marinha depositada num ambiente redutor. Esta matéria orgânica faz-se representar por restos de material algal e planctónico, e algum material de plantas terrestres (esporos, grãos de pólen e cutículas). Os macerais mais abundantes pertencem ao grupo da liptinite, embora possam ser também encontradas partículas de vitrinite. Apesar do seu potencial para gerar óleo e gás ser inferior ao do tipo I, é também de elevada importância para a geração de hidrocarbonetos (Tissot & Welte, 1984).

O tipo III é maioritariamente constituído por matéria orgânica derivada de plantas superiores terrestres, encontrando-se abundantemente partículas do grupo da vitrinite. O seu potencial de geração de óleo é moderado, embora possa ainda gerar elevada quantidade de gás a grande profundidade (Tissot & Welte, 1984).

Há ainda o cerogénio tipo IV, que se assume como um cerogénio secundário produzido por carbonização, ou seja, por combustão ou oxidação pré-deposicional de qualquer tipo de matéria orgânica (Mendonça Filho, 2010).

1.2.3. Matéria Orgânica Dispersa nos sedimentos (MOD) do ponto de vista petrográfico

O termo maceral foi primeiramente usado por Stopes (1935) para um constituinte de carvão isolado por maceração. Alguns macerais representam, pelo menos em parte, restos de plantas cuja forma e/ou estrutura foram preservados nas rochas sedimentares. Outros macerais são produtos de degradação, cujo grau de alteração é tal, que se torna impossível a determinação da parte da planta de origem (Taylor et al., 1998).

De acordo com o sistema de nomenclatura internacional de Stopes-Heerlen (SH), a MO presente nos carvões, divide-se em três grupos de macerais: vitrinite, liptinite e inertinite (Tabela 1.1). Com o objetivo de uniformizar a nomenclatura usada em petrologia orgânica para a MOD presente nas rochas sedimentares, o 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 mais dois grupos: os zooclastos (restos faunais) e os produtos secundários (Tabela 1.2).

A descrição dos três principais grupos de macerais é feita a seguir.

- Grupo da vitrinite - grupo de macerais representado por constituintes ligno-celulósicos de paredes celulares de plantas, que em condições mais ou menos anaeróbias evoluíram por gelificação. Apresentam um maior teor em oxigénio e a sua estrutura química é formada por compostos aromáticos e ciclo-aromáticos nos carvões de baixo grau. O aumento do grau implica um aumento da aromaticidade, da condensação e do ordenamento das unidades poliaromáticas. Quando observados microscopicamente em luz branca refletida, apresentam uma cor cinzento intermédio entre a cor evidenciada pelos macerais da liptinite e os da inertinite.

Tabela 1.1 - Sistema de Nomenclatura Internacional de Stopes Heerlen – SH (ICCP 1971, 1998, 2001, Sykorova et al. 2005). Morfologia e aspetos característicos dos macerais (Marques & Flores 2003).

Grupos	Subgrupos	Macerais	Morfologia	Características	
Huminite/ Vitrinite	Humotelinite/ Telovitrinite	Textinite/ Telinite	Estrutura celular visível	Paredes celulares mais ou menos gelificadas	
		Uminite/ Colotelinite	Estrutura celular fracamente visível	Paredes celulares gelificadas	
	Humocolinite/ Gelovitrinite	Gelinite	Gel poroso ou mais ou menos compacto e fissurado	Gel amorfo	
		Corpohuminite/Corpogelinite	Corpos mais ou menos arredondados	Geles que preenchem (ou não) vacúolos celulares	
	Humodetrinite/ Detrovitrinite	Atrinite/ Vitrodetrinite	Detritos húmicos impregnados de geles	Detritos	
		Densinite/ Colodetrinite	Idem, mais compactados	Detritos	
	Liptinite		Esporinite	Estrutura bem preservada	Esporos e pólems
			Cutinite	Estrutura bem preservada	Cutículas
			Resinite	Corpos mais ou menos arredondados a preencher ou não vacúolos celulares	Resinas e ceras
			Suberinite*	Estrutura bem preservada	Tecidos suberinizados (raízes)
		Alginite	Colónias de algas ou algas unicelulares	Algas	
		Fluorinite*	Substâncias oleosas mais ou menos arredondadas	Óleos de plantas	
		Exudatinite	Hidrocarbonetos produzidos durante a incarbonização	Preenchem fendas e cavidades	
		Clorofilinite*	Substâncias arredondadas com fluorescência vermelho intenso	Pigmentos clorofílicos	
		Betuminite**	Sem estrutura, englobam outras substâncias húmicas	Matrizes com betumes	
		Liptodetrinite	Detritos	Detritos	
Inertinite		Fusinite	Paredes celulares bem preservadas	Paredes celulares oxidadas	
		Semifusinite	Estrutura celular incipiente	Paredes celulares parcialmente oxidadas	
		Macrinite	Aspeto amorfo	Geles amorfos oxidados	
		Micrinite**	Granulações muito finas	Maceral de neoformação	
		Funginite	Estrutura bem preservada	Paredes celulares de fungos	
		Secretinite	Corpos mais ou menos arredondados com fendas e/ou vacúolos de desvolatilização	Resinas oxidadas	
		Inertodetrinite	Detritos oxidados	Detritos oxidados	

Designações em itálico usadas para carvões de grau médio e superior.

* Macerais que só ocorrem nos carvões de grau inferior;

** Maceral de neoformação, só ocorre em carvões de grau médio e superior.

- Grupo da liptinite - constituído por constituintes figurados que correspondem a restos de plantas ricos em hidrogénio (esporos, resinas, cutículas, algas) formando preferencialmente compostos alifáticos. Para o mesmo grau de maturação, quando observadas ao microscópio em luz branca refletida, apresentam um poder refletor inferior ao da vitrinite, uma cor cinzenta mais escura e uma fluorescência de intensidade variável. Com o aumento do grau de incarbonização/maturação, o seu poder refletor aumenta convergindo com o da vitrinite e a fluorescência desaparece.

- Grupo da inertinite - os macerais deste grupo derivam das mesmas substâncias vegetais originais da vitrinite mas experienciaram diferentes transformações primárias. Agrupa assim constituintes ligno-celulósicos (inclui também os fungos), que evoluíram por fusitinação em condições mais ou menos oxidantes, formando compostos fundamentalmente aromáticos. Quando observados em microscopia de luz branca refletida, para o mesmo grau de maturação da vitrinite, o seu poder refletor é mais elevado, apresentam uma cor mais clara e não têm fluorescência.

Os Zooclastos ou restos faunais são partículas orgânicas de origem animal com características morfológicas específicas. Os mais comuns são os escolocodontes, graptólitos, quitinozoários e foraminíferos.

Os produtos secundários são produtos gerados durante a diagénese podendo ser sólidos ou líquidos que, pelo facto de serem produtos secundários, ocorrem, normalmente, a preencher espaços vazios da matéria mineral ou da matéria orgânica. Quando observados ao microscópio em luz branca refletida, apresentam uma reflectância variável e podem apresentar fluorescência. Com o aumento do grau de maturação, o seu poder refletor aumenta e a fluorescência desaparece.

Tabela 1.2 - Sistema de nomenclatura internacional dos constituintes orgânicos da MOD do ICCP/TSOP.

Grupos	Macerais
Vitrinite	Telinite
	Colotelinite
	Gelinite
	Corpogelinite
	Vitrodetrinite
	Colodetrinite
Liptinite	Alginite
	Betuminite
	Liptodetrinite
	Esporinite
	Cutinite
	Suberinite
	Resinite
	Exudatinite
	Clorophyllinite
Inertinite	Fusinite
	Semifusinite
	Macrinite
	Micrinite
	Funginite
	Inertodetrinite
Zooclastos	Escolecodontes
	Graptólitos
	Quitinozoários
	Foraminíferos
Produtos secundários	Betumes
	Pirobitumes
	Óleo

2. Enquadramento Geológico

2.1. Contexto geodinâmico

A Bacia Lusitânica (BL) é uma bacia sedimentar localizada na Margem Ocidental Ibérica (MOI), desenvolveu-se durante parte do Mesozóico e caracteriza-se como uma bacia distensiva, pertencente a uma margem continental do tipo atlântico de rift não vulcânica (Kullberg et al., 2013). Alonga-se segundo uma direção aproximada NNW-SSE por cerca de 200 km e uma outra direção perpendicular por mais de 100 km, ocupando uma área de mais de 20 000 km² na parte central da MOI (Kullberg et al., 2013). É a única bacia das margens do Atlântico Norte com uma vasta extensão superficial (Figura 2.1), apresentando cerca de 1/3 da sua área imersa na plataforma continental, enquanto que a restante aflora na área continental emersa (Kullberg et al., 2013).

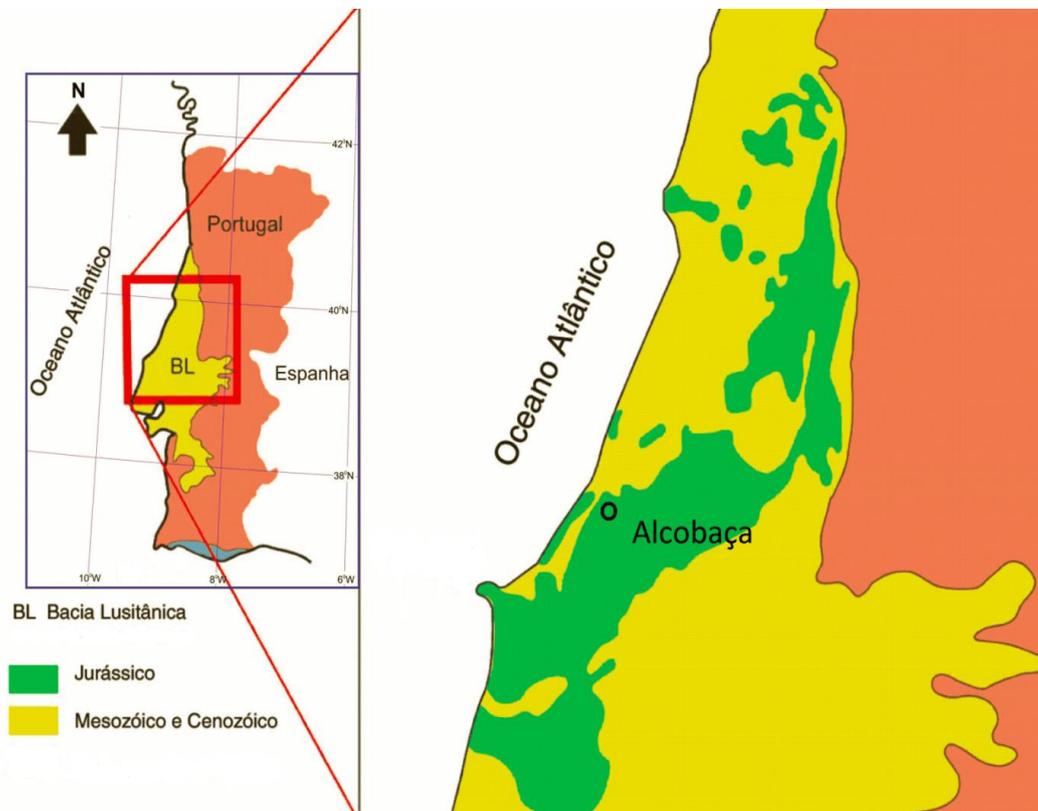


Figura 2.1 - Localização da Bacia Lusitânica (adaptado de Oliveira et al., 2006).

A origem da bacia está interligada ao contexto da fragmentação da Pangeia, mais concretamente à abertura do Atlântico Norte aquando do afastamento de dois continentes, o Norte Americano e o Europeu. Segundo Wilson et al. (1996), a sua evolução fez-se aproximadamente ao longo de um período de 135 Ma, desenvolvendo-se genericamente em regime distensivo.

Relativamente aos setores limitantes da BL, o seu bordo este é definido por estruturas de orientação predominante NNW-SSE, que acomodaram a distensão mesozóica (Kullberg et al., 2013). Este bordo é materializado pela falha Porto-Tomar (FPT) cuja fronteira se faz com o Maciço Hespérico, constituindo um segmento reativado da sutura entre as zonas Centro Ibérica e da Ossa Morena (Kullberg et al., 2013). O limite oeste é definido por uma falha normal de bordo de bacia, que aflora na plataforma continental com orientação NNE-SSW (Kullberg et al., 2013). O horst da Berlenga, conjunto de ilhéus da Berlenga, Estelas e Farilhões, localizado a oeste da península de Peniche, encontra-se próximo desse limite e faz parte do bordo levantado de soco paleozóico (Kullberg et al., 2013). O bordo sul da BL é definido pela falha da Arrábida com orientação ENE-WSW, que se localiza a sul da linha de costa meridional da Península de Setúbal (Kullberg et al., 2013). De acordo com algumas das suas características, tais como espessura, geometria do topo do soco e geometria das estruturas de inversão, é considerada como falha de bordo da bacia (Kullberg et al., 2013). Diferentes autores apresentam definições distintas quanto ao bordo norte da BL. Por um lado, Ribeiro et al. (1996) consideram a presença de uma zona de transição em échelon entre a BL a sul e a Bacia do Porto a norte; por outro, Alves et al. (2003) consideram a presença da sub-bacia de Aveiro, uma sub-bacia intermédia localizada nas montanhas submarinas do Porto, como o limite através da falha de Aveiro com orientação E-W a NE-SW.

A espessura máxima de sedimentos é estimada na ordem dos 5 000 metros (Ribeiro et al., 1979) tendo-se depositado principalmente sobre as unidades da Zona de Ossa Morena e também da Zona Sul Portuguesa (Dias & Ribeiro, 1995). Os sedimentos mais antigos reconhecidos são do Triássico Médio a Superior e os últimos depósitos, associados ao estiramento litosférico, são do Aptiano Superior (Rocha et al., 1996).

2.2. Setores no interior da bacia

Com base na caracterização das unidades litostratigráficas do Jurássico Inferior que afloram à superfície, nomeadamente quanto a variações de fácies e espessura, Rocha & Soares (1984) dividiram a BL em três setores (figura 2.2):

- Setentrional, com espessura elevada de sedimentos depositados durante o Jurássico Inferior - Médio e o Cretácico Superior - Paleogénico, localizado a norte da falha de Nazaré;
- Central, onde se observam afloramentos de fortes espessuras do Jurássico Médio, correspondentes à área aflorante do atual Maciço Calcário Estremenho (MCE), localizado entre as falhas de Nazaré a norte e de Torres Vedras - Montejunto - Arrife a sul;
- Meridional, caracterizado pela sedimentação do Jurássico Superior - Cretácico Inferior, localizado a sul das falhas de Torres Vedras - Montejunto - Arrife.

Porém, Ribeiro et al. (1996) propõem um limite diferente entre o setor central e meridional. Verificaram que existe enorme coerência na dinâmica que subdivide a área de Torres Vedras e Lisboa, onde afloram as unidades do Jurássico Superior, e a região a norte da falha de Torres Vedras - Montejunto em três sub-bacias; a inversão mais acentuada da BL no Cenozóico ocorreu no conjunto de falhas do Arrife - Sistema de Falhas do Vale Inferior do Tejo - Estuário do Tejo, que evidencia serem as discontinuidades mais importantes a nível crustal. Assim, o limite entre o setor central e meridional passa a ser neste conjunto de falhas, confinando o setor meridional à Península de Setúbal, atualmente na área emersa da bacia.

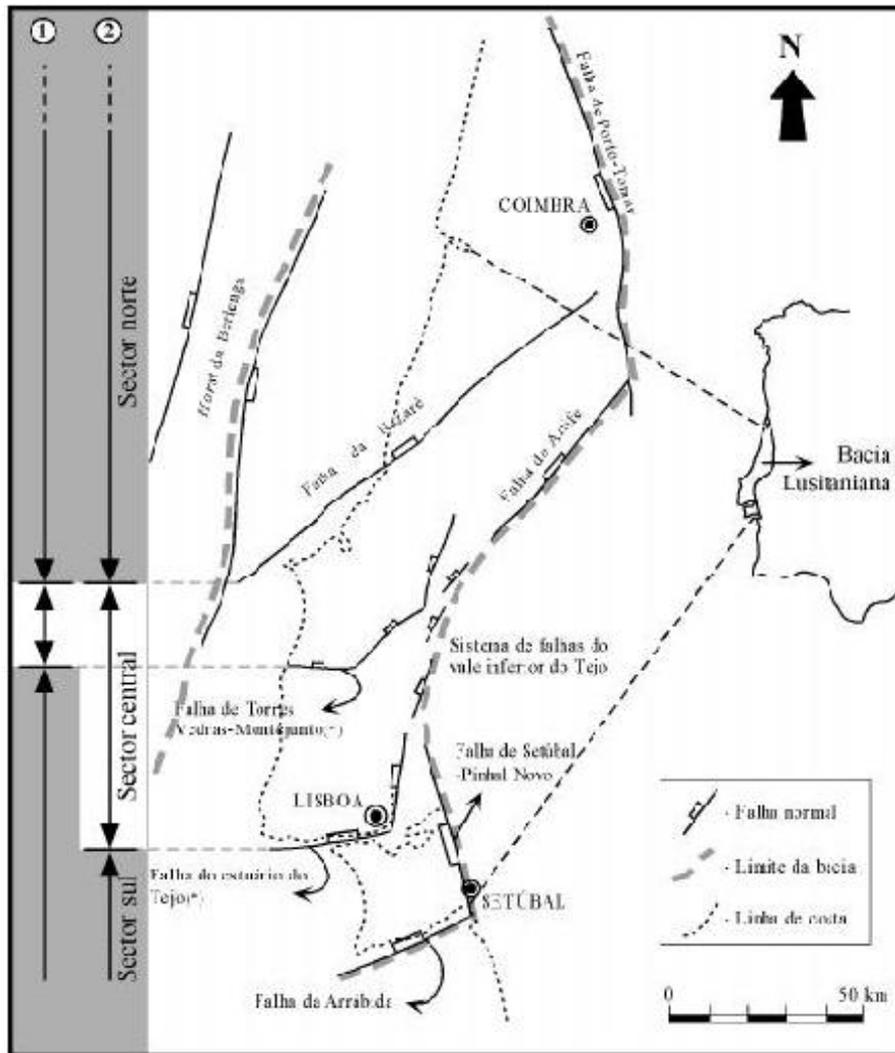


Figura 2.2 - Enquadramento geográfico e tectónico da Bacia Lusitânica. Definição de setores (1- Rocha & Soares, 1984; 2- Ribeiro et al., 1996).

2.3. Contexto paleogeográfico e paleotectónico

O desenvolvimento da Bacia Lusitânica ocorreu durante cerca de 135 Ma, do Triássico Médio ao Aptiano Superior, em que desde o início da fragmentação continental até à formação de crosta oceânica, ocorrem quatro episódios de *rifting* (Figura 2.3). Estes correspondem a intervalos temporais caracterizados por uma coerência a nível tectono-sedimentar, influenciando de forma determinante as interações espaço-temporais destas unidades. Os quatro episódios de *rifting* foram propostos em Kullberg (2013) e na sua definição, são valorizados aspetos tais como o início de cada intervalo, marcado por um período distensivo com reativação de falhas normais; as modificações estruturais, geométricas e/ou cinemáticas com consequentes efeitos no preenchimento sedimentar; e, as discontinuidades sedimentares limitantes.

Uma vez que as formações estudadas, se originaram nos 1º (Fm Coimbra e Água de Madeiros) e 2º (Fm Vale das Fontes e Lemedo) episódios de *rifting*, é apenas feita a descrição destes dois episódios.

2.3.1. 1º episódio de *rifting* (Triássico-Sinemuriano)

A abertura do Oceano Atlântico foi o fenómeno responsável pela formação de importantes estruturas distensivas na MOI. O preenchimento da BL (provável Triássico Médio) correspondeu a depósitos de natureza essencialmente aluvio-deltaica (megassequência A), tanto por todo o Maciço Hespérico como pela área geográfica ocupada atualmente pela bacia.

Na MOI, o início do período distensivo foi responsável pela estruturação das bacias do Algarve, Alentejo, Lusitânica, do Porto e da Galiza Interior. No continente norte americano formaram-se também um conjunto complexo de bacias, nomeadamente as de Horseshoe e de Wales, a de Jeanne d'Arc e a de Orpheus. O início deste período distensivo não é acompanhado por fenómenos magmáticos. A distensão apresenta uma orientação NE-SW, sendo responsável pela formação de depressões estruturais (*grabens* e *semi-grabens*) e pela reativação de falhas provenientes de outros ciclos. Estas depressões estruturais favoreceram invasões marinhas e/ou retenção de águas e acumulação de séries sedimentares evaporíticas. O *graben* de S. Mamede-Monte Real é uma das principais estruturas identificadas no soco, que apresenta esta geometria e preserva cerca de 2 000 m da Formação (Fm) da Dagorda. Grande parte dos diapiros atualmente aflorantes posicionam-se sobre um eixo oblíquo também importante de orientação NNE-SSW.

A megassequência B, caracteriza-se por depósitos evaporíticos mais distais, em bacias endorreicas, constituídas por depressões tectónicas axiais e unidades proximais de sistemas de leques aluviais.

A partir do Hetangiano (início da megassequência C) a bacia vai ganhando profundidade e largura. Há um aumento da influência de invasões marinhas, verificado pelo aumento do carácter evaporítico da Fm de Dagorda.

Durante o Sinemuriano a tendência transgressiva permanece, pela formação de uma rampa carbonatada, no início dolomítica. Contudo, no Sinemuriano Superior, devido à instalação de condições marinhas mais francas a ocidente, define-se uma rampa carbonatada a oeste, o que leva a bacia a adotar uma estrutura assimétrica (megassequência C).

2.3.2. 2º episódio de *rifting* (Pliensbaquiano/Oxfordiano)

Durante este episódio a bacia é alvo de transformações quanto à cinemática e geometria, passando a adotar uma estrutura em semi-*graben*, com limite no relevo estrutural da Berlenga. As falhas submeridianas são responsáveis pela subsidência progressiva da bacia, enquanto que as de orientação ENE-WSW a E-W, funcionam como falhas de transferência de movimento, acomodando taxas de extensão diferenciais entre compartimentos, o que leva à produção de subsidência diferenciada. Formaram-se assim, diferentes espaços disponíveis para a acumulação de sedimentos, sendo possível identificar variações de fácies e espessuras. Os três setores da bacia tornam-se evidentes durante este episódio de *rifting*.

Relativamente ao 1º episódio, neste a cinemática caracterizou-se por um vetor distensivo principal de direção aproximadamente E-W, que permaneceu estável até o final da distensão na bacia.

A sedimentação foi também alvo de modificações, sendo uma importante descontinuidade sedimentar (descontinuidade D4), responsável pelo final de uma sequência de colmatação e o início de rápido aprofundamento da bacia.

Durante o Jurássico Inferior, a variação gradual de fácies que assinalam as maiores profundidades e espessuras, não é totalmente explicada pela rampa carbonatada homoclinal, inclinada para oeste. A assimetria da bacia produzida pela rampa é também vincada pelo deslocamento da sua zona axial para oeste, em direção ao *horst* da Berlenga (bordo ativo). Regista-se assim uma sequência de calcários e margas relativamente espessa, rica em amonites (indicador de elevada profundidade), com uma componente siliciclástica importante, nomeadamente a partir do Toarciano Inferior.

A tendência regressiva iniciada no Toarciano, acompanhada de período tectónico relativamente quiescente, que levou à ocorrência de fácies de pequena a média profundidade, acentuou-se no Aaleniano. Durante o Jurássico Médio, a geometria de rampa carbonatada prossegue e as fácies evoluem para rampa de alta energia. Os afloramentos mais orientais das unidades tectónicas do bordo este, tais como na Arrábida e na região de Alvaiázere, não apresentam influência direta de acarreios continentais, contudo, a instabilidade verificada no Bajociano Inferior levou a uma progradação para W e NW. Esta instabilidade não se generaliza à bacia, visto que principalmente no setor norte é reconhecida descontinuidade. Em zonas mais centrais, a bacia denota subsidência que não é totalmente preenchida com sedimentos, devido à geometria progradante e às movimentações de massa para W.

Até o topo do Oxfordiano mantém-se a tendência de aprofundamento e de aceleração da distensão. Porém, esta tendência é interrompida no intervalo Caloviano Superior-Oxfordiano Médio, por um episódio de inversão tectónica precoce, que atingiu a globalidade da BL.

No Oxfordiano Médio-Superior, as condições de plataforma carbonatada são restabelecidas com o recomeço da distensão. Houve ativação local de falhas e tendência para simetria segundo a direção E-W, que levou a uma alteração estrutural da bacia.

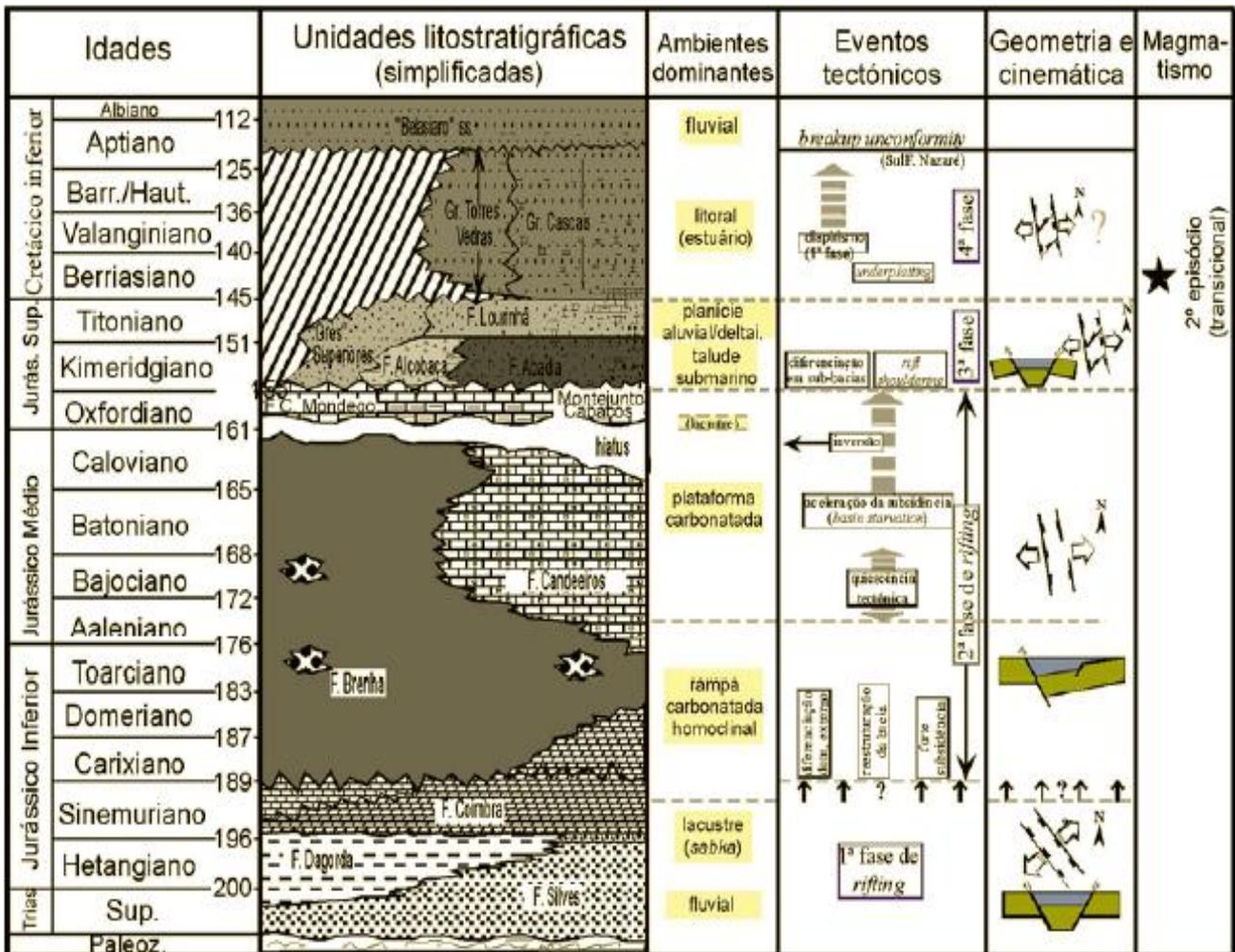


Figura 2.3 - Quadro simplificado das unidades litostratigráficas da Bacia Lusitânica e das relações entre eventos sedimentares e tectónicos no período de sin-rift (retirado de Kullberg et al., 2013).

2.4. Descrição das unidades litostratigráficas da área de estudo

O Jurássico Inferior caracteriza-se por uma sedimentação carbonatada (Azerêdo et al., 2003). Na base do Sinemuriano foram representados os primeiros depósitos verdadeiramente carbonatados, de sedimentação fundamentalmente

dolomítica (Formação de Coimbra), enquanto no Sinemuriano Superior esta apresenta origem calcária (Formação de Água de Madeiros, subdividida nos membros de Praia da Pedra Lisa e de Polvoeira), que foi gradualmente substituída por uma sedimentação mais margosa (Duarte & Soares, 2002). O Pliensbaquiano marcou o início duma sedimentação rica em matéria orgânica, em que os sedimentos lutíticos passaram a dominar todos os setores da bacia (Duarte et al., 2010). No intervalo compreendido entre a base do Pliensbaquiano e o topo do Toarciano, identificam-se as Formações de Vale das Fontes e de Lemedede. Estas unidades diferenciam-se pelas relações margas/calcário e pelos tipos litológicos presentes, que consistem em margas e calcários, incluindo fácies bioclásticas, nodulosas e grumosas (Kullberg et al, 2013).

2.4.1. Formação de Coimbra

Segundo Choffat (1903), o Grupo de Coimbra (Figuras 2.4 e 2.5) apresenta duas subunidades fundamentais entre Pereiros e Lamas. A subunidade da base é constituída por dolomitos e argilitos de espessura entre 70 e 80 m, enquanto que a do topo apresenta essencialmente calcários e calcários dolomíticos de espessura igual ou superior a 110 m. Na região de Coimbra, Soares et al. (1985) subdividiram o Grupo de Coimbra em duas formações, a Fm de Coimbra e a Fm de S. Miguel.

A Fm de Coimbra encontra-se na base e apresenta uma espessura na região de Coimbra entre 20 e 60 m, e entre Pereiros e Lamas e Penela-Rabaçal de 70 a 80 m. É constituída por dolomitos interstratificados com pelitos cinzentos a avermelhados, por vezes pseudobrechóides. Estes podem apresentar laminação ondulada e estratificação entrecruzada em *wackestones* e *grainstones*.

A Fm de S. Miguel encontra-se no topo, apresenta na região de Coimbra uma espessura de 10 a 40 m, de 110 a 140 m entre Pereiros e Lamas e Penela-Rabaçal, e é constituída por calcários interstratificados com margas cinzentas e calcários dolomíticos. A presença de braquiópodes e lamelibrânquios é também frequente nesta subunidade (Soares et al., 1985).

O limite estabelecido entre estas duas formações é heterócrono, uma vez que grande parte da Fm de S. Miguel é ocupada por redolomitização. Entre Carvalhais e Palheira, esta chega acima do nível margoso e a norte de Coimbra caracteriza a totalidade da Zona de Jamesoni (Soares et al., 2007).

Na área ocidental da BL, nomeadamente em S. Pedro de Moel, o Grupo de Coimbra apresenta uma espessura superior a 120 m e é constituído por dolomitos, calcários dolomíticos, bioconstruídos, margosos, e bioclásticos, com raros intervalos

margosos. As construções estromatolíticas, sobrepostas por uma sucessão de calcários bioclásticos e fossilíferos, tais como lumachelas de bivalves e de gastrópodes, são dos aspetos mais relevantes. Em S. Pedro de Moel, o topo da Fm de Coimbra é caracterizado por uma sucessão de calcários fossilíferos, com predominância de braquiópodes (Mouterde, 1967; Mouterde & Rocha, 1981).

2.4.2. Formação de Água de Madeiros

A Fm de Água de Madeiros (Figuras 2.4 e 2.5) localiza-se no bordo oeste da BL e está sobreposta à Fm de Coimbra. Caracteriza-se por alternâncias de margas laminadas, calcários margosos, micríticos e bioclásticos, ricos em matéria orgânica e macrofauna bentónica e nectónica (Duarte et al, 2006, 2008, 2010). Encontra-se bem definida nas localidades de Montemor-o-Velho, Serra de Boa Viagem, Peniche e S. Pedro de Moel, apresentando-se subdividida em dois membros, o Mb de Polvoeira e o Mb da Praia de Pedra Lisa (Duarte & Soares, 2002).

O Mb de Polvoeira apresenta alternâncias de margas e de calcários margosos de cor cinzenta, ricos em matéria orgânica (Duarte et al., 2006, 2010). Em S. Pedro de Moel a base do membro é constituída por níveis ricos de braquiópodes e bivalves, enquanto que o topo apresenta horizontes fossilíferos de amonóides e restos de peixes actinoptérgios (Mouterde, 1967; Antunes et al., 1981). Estes níveis fossilíferos podem ser observados em Montemor-o-Velho, Serra de Boa Viagem e em Peniche, o que permite enquadrar este membro no intervalo entre as Zonas de Oxynotum e de Raricostatum. Em Peniche, o Mb de Polvoeira apresenta uma espessura de aproximadamente 10 m, contrastando com os 42 m observados em S. Pedro de Moel (Duarte et al., 2010).

O Mb da Praia de Pedra Lisa embora evidencie algumas alternâncias margosas, caracteriza-se essencialmente por uma série calcária (*mudstones* e *packstones*). Encontra-se bem visível em Peniche e em S. Pedro de Moel, onde na base se observa uma sucessão de calcários microsparíticos pouco fossilíferos, seguindo-se um conjunto alternante de calcários decimétricos e margas cinzentas centimétricas. O topo deste membro é datado da base da Zona de Jamesoni, uma vez que se verifica o registo da presença de Deroceratídeos (Mouterde et al., 1983; Duarte et al., 2010). Até ao Pliensbaquiano Inferior, no setor sul da bacia a sucessão equivalente a esta caracteriza-se sempre por fácies dolomítica. O ambiente margino-marinho é evidenciado por termos laminares constituídos de alternância de crostas microbiano-algais com leitos de pelóides e intraclastos.

2.4.3. Formação de Vale das Fontes

A Fm de Vale das Fontes (Figuras 2.4 e 2.5) data das Zonas de Jamesoni a Margaritatus (Mouterde, 1967; Rocha et al., 1996) e é uma unidade margo-calcária de domínio margoso, que apresenta alternâncias de margas decimétricas a métricas com calcários em camadas centimétricas, ricas de macrofauna bentónica e nectónica. Tem espessura variável, e está dividida em três membros bem desenvolvidos no setor ocidental da bacia, nomeadamente o Mb das Margas e calcários com *Uptonia* e *Pentacrinus*, o Mb Margas e calcários grumosos e o Mb Margo-calcários com níveis betuminosos (Duarte et al., 2010).

O Mb Margas e calcários com *Uptonia* e *Pentacrinus* apresenta uma espessura máxima de 35 m em Montemor-o-Velho, sendo datado da Zona de Jamesoni. Caracteriza-se por alternância de margas e calcários margosos, ricos em matéria orgânica. Artículos de crinóides e belemnites são o exemplo mais evidente de uma macrofauna variada, que conferem uma textura *wackestone* aos sedimentos (Duarte et al., 2010).

O Mb Margas e calcários grumosos tem uma espessura máxima de aproximadamente 25 m e data da Zona de Jamesoni à Zona de Ibex. É composto por margas, margas calcárias, margas e calcários grumosos, com intercalações de margas laminadas, ricas em matéria orgânica. As pequenas concreções de origem microbiana, centimétricas e subangulosas de micrite castanha escura, são responsáveis pelas fácies grumosas (Dromart & Elmi, 1986; Elmi et al., 1988; Fernández-López et al., 2000). Dos membros da formação, este é o que apresenta menor diversidade de microfauna, demonstrando uma fraca expressão de elementos bentónicos.

O Mb Margo-calcários com níveis betuminosos apresenta uma espessura máxima na bacia de 35 m, datado da parte terminal da Zona de Ibex até o topo da Zona de Margaritatus (Oliveira et al., 2006; Silva et al., 2007). É composto por uma sucessão margosa rica em matéria orgânica (*black shales*), com alguns níveis de calcário margoso. Este membro é muito rico em macrofauna nectónica (amonóides e belemnites) e bentónica (braquiópodes, bivalves, crinóides, belemnites), esta última mais abundante no setor oriental da bacia, como Tomar-Alvaiázare (Duarte et al., 2010). A microfauna é também abundante e está representada essencialmente por associações de foraminíferos (Ruguet, 1985; Rey et al., 2000), de ostracodos (N'Zaba-Makaya et al., 2003) e de nanoplacton calcário (Hamilton 1977, 1979).

2.4.4. Formação de Lemedo

A Fm de Lemedo (Figuras 2.4 e 2.5) é constituída por uma alternância de calcários margosos e micríticos de proporções decimétricas, com margas calcárias cinzentas de espessura centimétrica. Apresenta uma fauna bastante diversificada e abundante, estando o topo desta formação caracterizado por belemnites, braquiópodes e bivalves, predominando as amonites nos restantes horizontes. Um dos elementos que melhor identificam esta formação em toda a bacia é a enorme ocorrência de belemnites, sendo as fácies em zonas como a de Tomar-Alvaiázere exclusivamente calcárias e bioclásticas (Kullberg et al., 2013).

Esta formação data da base do Toarciano Inferior, nomeadamente da Zona de Polymorphum, e apresenta uma espessura que varia entre 6 a 30 metros, de Tomar até à Brenha, respetivamente.

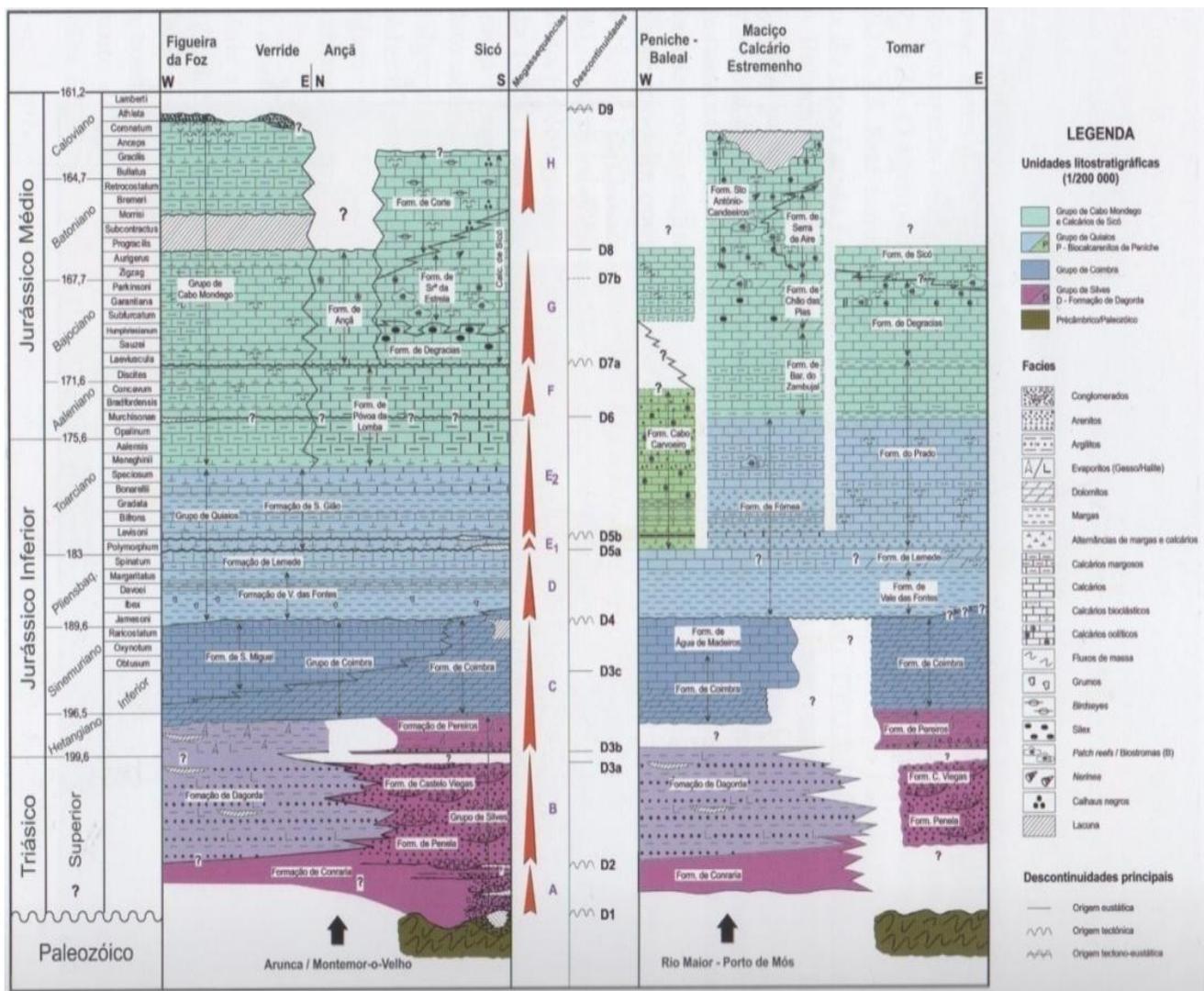


Figura 2.4 - Unidades litostratigráficas dos setores setentrional e central da Bacia Lusitânica, no intervalo Triásico-Jurássico Médio (Caloviano Superior) para o 1º e 2º episódios de rifting (retirado de Kullberg et al., 2013).

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

Figura 2.5 - Quadro litostratigráfico do Pliensbaquiano e Toarciano da Bacia Lusitânica (retirado de Kullberg et al., 2013).

3. Amostras e Metodologias

3.1. Seleção de amostras

As amostras analisadas neste estudo foram selecionadas a partir de uma sondagem realizada na área de Alcobaça, que intercetou uma sequência desde os 253 metros até aos 3240 metros de profundidade. Esta foi fornecida por uma empresa de exploração de hidrocarbonetos, juntamente com os respetivos dados relativos à estratigrafia e litologias que atravessa, com exceção do intervalo que varia entre a profundidade de 253 metros e 1516 metros (Tabela 3.1). A análise dos dados fornecidos pela empresa detentora dos direitos da sondagem, relativos à sequência litostratigráfica desta, indicam que das 37 amostras selecionadas para este estudo, 29 pertencem, da base para o topo da sequência intercetada, à Fm de Coimbra, Fm de Polvoeira, Fm de Água de Madeiros, Fm de Vale das Fontes e Fm de Lemedede. Contudo, recorrendo à classificação litostratigráfica consultada em Kullberg et al. (2013), verifica-se que a Fm de Água de Madeiros se encontra subdividida em dois membros, o Membro (Mb) de Polvoeira e o Mb da Praia de Pedra Lisa. Consequentemente, é assumido neste estudo que a formação identificada como Fm de Água de Madeiros, nos dados fornecidos, corresponde ao Mb da Praia de Pedra Lisa, enquanto que a Fm de Polvoeira corresponde ao Mb de Polvoeira, ambos pertencentes à Fm de Água de Madeiros. Quanto às restantes amostras, uma vez que cada uma delas foi selecionada entre transições identificadas visualmente, não tendo sido fornecida a estratigrafia, não foi feita a descrição das unidades litostratigráficas a que devem pertencer.

Por uma questão de confidencialidade, nos dados referentes à sondagem disponibilizada pela empresa detentora dos seus direitos, não foi fornecido o seu corte estratigráfico. Tal facto impossibilita a representação do corte estratigráfico da sondagem analisada neste estudo. Sabe-se apenas que a sondagem em estudo localiza-se no Setor Central da BL, mais concretamente na região de Alcobaça e atingiu uma profundidade de 3240 metros. Para este trabalho, foram selecionadas amostras na parte da sondagem onde a estratigrafia era conhecida no intervalo de 1522 metros a 1696 metros de profundidade. As amostras foram colhidas com intervalos de 2 metros ou 3 metros.

Tabela 3.1 - Total de amostras por formação que foram colhidas na sondagem em estudo e respetivos limites em profundidade.

Formação	Nº total de amostras	Profundidade(m)
---	429	253 - 1516
Lemedede	25	1516 - 1566
Vale das Fontes	12	1566 - 1590
Água de Madeiros	9	1590 - 1608
Coimbra	59	1608 - 1726

Tendo em conta o elevado número de amostras foi necessário estabelecer critérios de seleção, com vista a efetuar uma amostragem representativa para a caracterização da matéria orgânica da sondagem em estudo. Assim, para o intervalo entre os 253 - 1516 m foi estabelecido um critério de observação direta, que passou pela observação de todas as amostras, com a finalidade de se identificar qualquer transição a nível de cor e/ou litologia. Foram identificadas sete transições (Tabela 3.2), tendo-se selecionado uma amostra entre cada transição, perfazendo um total de 8 amostras (Tabela 3.3).

Tabela 3.2 - Profundidade a que as transições foram identificadas.

Transição	Profundidade (m)
1	525
2	640
3	823
4	916
5	1076
6	1433
7	1454

Da restante sondagem foram selecionadas 29 amostras, perfazendo a totalidade de 37 amostras para este estudo (Tabela 3.3).

Tabela 3.3- Totalidade das amostras selecionadas por formação e transições para este estudo e respetivas profundidades.

Amostra/Formação	Nº de amostras selecionadas	Profundidade (m)
Amostras entre transição	8	391 -394
		580 -583
		775 -778
		868 -871
		1006 -1008
		1253 -1256
		1442 -1445
		1484 -1487
Lemedo	7	1522 -1524
		1528 -1530
		1540 -1542
		1546 -1548
		1552 -1554
		1558 -1560
		1564 -1566
Vale das Fontes	10	1568 -1570
		1570 -1572
		1574 -1576
		1576 -1578
		1578 -1580
		1580- 1582
		1582 -1584
		1584 -1586
		1586 -1588
		1588 -1590
Água de Madeiros	4	1590 -1592
		1598 -1600
		1600 -1602
		1604 -1606
Coimbra	8	1630 -1632
		1638 -1640
		1646 -1648
		1654 -1656
		1660 -1662
		1670 -1672
		1686 -1688
		1694 -1696

As restantes amostras foram selecionadas tendo em conta os dados fornecidos relativamente à descrição litológica das formações (Tabela 3.4), bem como da

bibliografia existente relativamente à sedimentologia das mesmas (Kullberg et al., 2013).

Tabela 3.4- Descrição litológica das formações, de acordo com os dados fornecidos pela empresa.

Formação	Descrição litológica
Lemedo	Calcário cinzento claro no topo, por vezes cinzento moderado, variando de duro moderado a duro, raramente muito duro; argiloso, microcristalino com vestígios de filões de calcite; a cor torna-se cinzento escuro com a profundidade.
Vale das Fontes	Fácies carbonática representadas por calcário cinzento escuro, ocasionalmente oliva cinzento claro, raramente preto acastanhado; varia de duro moderado a duro, ocasionalmente muito duro; argiloso, microcristalino com vestígios de filões de calcite e pirite simples.
Água de Madeiros	Calcário cinzento escuro a cinzento, ocasionalmente oliva cinza claro, e raras vezes preto acastanhado; varia entre duro moderado a duro, argiloso, microcristalino com vestígios de filões de calcite e pirite simples.
Coimbra	Calcário cinzento escuro a cinzento, ocasionalmente oliva cinza claro ou preto acastanhado; varia entre duro moderado a duro, argiloso, microcristalino com vestígios de filões de calcite e pirite simples.

3.2. Petrografia orgânica

3.2.1. Preparação das amostras

A preparação das amostras para a análise de petrografia orgânica foi efetuada no Laboratório de Petrologia Orgânica do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Para a análise petrográfica de matéria orgânica dispersa (MOD), prepararam-se amostras de rocha total das amostras previamente selecionadas. Os sedimentos usados na preparação destas amostras correspondem a '*cuttings*', representativos do intervalo indicado da sondagem em estudo. O tipo de amostra de rocha total caracteriza-se por ser uma amostra em grão, apresentando várias vantagens importantes para a compreensão deste tipo de análise. Torna-se assim possível 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. Visto que os sedimentos das amostras fornecidas eram já de pequenas dimensões, não foi necessário proceder à sua moagem num almofariz de ágata. Foram então colocados cerca de 5 gramas, pesados em balança analítica, de sedimentos representativos de cada amostra em moldes próprios para este tipo de preparações. Posteriormente, preparou-se uma mistura de resina epóxi (*epofix*) com um endurecedor (*epofixhardener*) na proporção de 25 para 3 em volume, respetivamente, que foi bem homogeneizada. Esta mistura foi adicionada aos sedimentos previamente colocados nos moldes (Fig.3.1), e funciona como meio aglutinante, evitando espaços vazios entre os sedimentos. Após este procedimento, deixou-se secar durante 24 horas.



Figura 3.1 - Material de moldagem e respetiva mistura das preparações nos moldes, antes da secagem.

Após secagem, as preparações foram retiradas dos moldes e devidamente identificadas, estando assim 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 (Fig.3.2).



Figura 3.2 - Polimento manual das preparações.

Durante esta fase, as amostras foram alvo de um pré-polimento usando quatro tipos diferentes de lixas, de granulometria sucessivamente mais fina, assentes num prato permanentemente giratório, usando água como lubrificante (Tabela 3.5). O polimento foi feito com panos específicos para o efeito e alumina e sílica coloidal como líquidos abrasivos. As irregularidades na superfície da preparação foram assim eliminadas, permitindo otimizar a análise microscópica. Por último, todas as preparações foram bem lavadas com água e ar comprimido, minimizando qualquer resto de produtos de polimento ainda presente. Os blocos polidos ficaram assim prontos para serem analisados, tendo sido colocados num exsiccador para eliminação da água usada durante o polimento e limpeza da superfície polida.

Tabela 3.5 - Etapas seguidas durante o polimento das amostras.

Etapa	Lixa (mesh)/panos	Líquido abrasivo	Rotação (rpm)
1 ^a	220	Água	300
2 ^a	500	Água	300
3 ^a	1200	Água	300
4 ^a	4000	Água	300
5 ^a	Texmet	Alumina 0,3 μ m	300
6 ^a	Mastertex	Sílica coloidal 0.1 μ m	300

3.2.2. Caracterização da MOD e determinação do poder refletor aleatório

A vitrinite é o grupo de macerais mais importante que ocorre em rochas com matéria orgânica. As partículas deste grupo apresentam uma reflectância característica, permitindo distingui-las de partículas de outros grupos de macerais, que é, além disso, um dos parâmetros mais importantes para estimar a maturação e a

evolução térmica da matéria orgânica contida nos sedimentos (Tissot & Welte, 1984). A janela de geração de petróleo, dependendo do tipo de cerogénio presente e a natureza da rocha, inicia-se a valores de reflectância da vitrinite entre 0.4 e 0.6 % (Peters et al, 2005).

Os betumes sólidos podem ser encontrados dispersos em rochas geralmente de origem carbonatada. Tendo em conta a reflectância e tipo de fluorescência dos betumes sólidos, Jacob (1989) propôs a sua classificação. Os betumes sólidos não-metamórficos podem indicar a presença de petróleo, enquanto os metamórficos, particularmente as imponites, implicam que não é esperado petróleo, contudo, pode ocorrer gás natural ou condensado. Além disso, indicam também o padrão de migração do óleo e a maturação de hidrocarbonetos (Jacob, 1989).

As observações microscópicas foram realizadas em luz branca refletida e luz azul incidente (fluorescente) num microscópio Leica DM4000, equipado com um sistema Discus-Fossil (Fig.3.3). Foi usada a ocular de 10x e a objetiva 50x em óleo de imersão. Tanto o poder refletor da vitrinite como o poder refletor dos betumes sólidos foram medidos de acordo com o procedimento *standard* ASTM D7708-11. O padrão usado para a calibração do equipamento ajustou-se aos valores de reflectância esperados. Assim, para as amostras com reflectância mais baixa foi usado o padrão de calibração com reflectância igual a 0,428% (Spinel) e um vidro ótico preto (para calibração do zero). As medições correspondentes a reflectâncias mais elevadas foram precedidas de uma calibração com o padrão de reflectância 0,905% (YAG - Yttrium-Aluminium-Granat) e vidro ótico preto (zero). A matéria orgânica dispersa foi classificada de acordo com a classificação ICCP-TSOP, sendo usada a nomenclatura ICCP para os constituintes orgânicos (ICCP 1998, 2001; Taylor et al., 1998).



Figura 3.3 -Microscópio de marca Leica DM4000, equipado com um sistema Discus-Fossil para a determinação da reflectância.

3.3. Geoquímica Orgânica

3.3.1. Preparação das amostras

A preparação das amostras para a análise de geoquímica orgânica, que incidiu na determinação do Carbono Orgânico Total (COT), Enxofre (St) e Resíduo Insolúvel (RI), foi efetuada no Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro. O procedimento efetuado foi igual na preparação de todas as amostras. Primeiramente, as amostras foram fragmentadas de modo a obter sedimentos de dimensões aproximadas a 2 mm, para em seguida serem colocadas durante dois dias numa estufa à temperatura de 50° C. Após terem sido retiradas da estufa, pulverizou-se cerca de 1 grama de sedimento de cada amostra, num almofariz de ágata. Seguidamente pesaram-se 0.26 gramas num porta-amostra de porcelana filtrante, ao qual foi adicionado ácido clorídrico (HCl) a 50% de volume. Esta mistura esteve em repouso durante 24 horas, para que toda a fração carbonatada fosse eliminada. Terminada esta etapa, cada amostra foi lavada durante uma hora com água destilada quente (100°C), para eliminar os cloretos, e posteriormente neutralizada com água destilada à temperatura ambiente. O excesso de água foi descartado, tendo sido as amostras levadas à estufa durante aproximadamente 3 horas, para uma fase de secagem. Terminada a preparação, procedeu-se ao registo da massa de cada porta-amostra.

3.3.2. Análise de COT, St e RI

O conteúdo em carbono orgânico total representa a quantidade de matéria orgânica presente numa rocha (Tissot & Welte, 1984). Esta análise constitui um critério inicial na avaliação do potencial de geração de hidrocarbonetos, em que uma rocha para ser considerada como potencial geradora, deve possuir no mínimo valores de 0.5% de COT para lutitos e de 0.3% para carbonatos (Tissot & Welte, 1984). O ambiente deposicional dos sedimentos pode ser avaliado a partir da relação estabelecida entre o carbono orgânico total e o enxofre total (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.

Nas análises de geoquímica orgânica, tanto o COT como o St foram quantificados simultaneamente por um analisador LECO® SC-144DR (Fig.3.4).



Figura 3.4 - Analisador LECO® SC-144DR.

Este equipamento possui um forno em atmosfera de oxigénio (superseco) à temperatura de 1350°C, que por reações de oxi-redução 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, pelo que é um parâmetro calculado após a análise das amostras. Pressupondo que os carbonatos foram totalmente eliminados devido à acidificação, foi calculado usando a seguinte fórmula:

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

Onde:

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

PA - peso da amostra (massa inicial)

Assume-se assim uma relação entre a percentagem de RI de cada amostra e a percentagem de carbonatos, dada pela seguinte fórmula:

$$\text{Carbonatos (\%)} = 100 - RI$$

4. Resultados

4.1. Petrografia Orgânica

4.1.1. Análise descritiva

A análise descritiva resulta da observação microscópica dos blocos polidos em luz branca refletida e luz azul incidente (fluorescente). Foi possível identificar diferentes tipos de partículas orgânicas pertencentes aos grupos de macerais (vitrinite, liptinite e inertinite), bem como estabelecer a relação entre os constituintes orgânicos e inorgânicos presentes nas amostras. Identificaram-se ainda betumes sólidos, que devido às suas características tais como poder refletor e cor (em luz branca e azul incidente), foram agrupados em diferentes famílias de acordo com a classificação de betumes sólidos de Jacob (1989). Procedeu-se, também, à medição do poder refletor da vitrinite e dos betumes sólidos (sempre que presentes). Os histogramas que relacionam a abundância e os valores de poder refletor da vitrinite e dos betumes sólidos para todas as amostras, podem ser consultados no Anexo I. No capítulo 7 é apresentado um atlas petrográfico com os aspetos petrográficos observados nas amostras estudadas.

Os resultados vão ser apresentados por formações e no caso das amostras entre as transições anteriormente mencionadas, irá ser apresentada a descrição da respetiva amostra. Os dados relativos à reflectância da vitrinite e dos betumes sólidos identificados nas amostras estudadas encontram-se indicados nas tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente.

4.1.1.1. Amostras entre as transições

- **Amostra ALC391**

A amostra ALC391, correspondente ao intervalo entre a superfície da sondagem e a primeira transição identificada, apresenta uma forte componente carbonatada. Tem abundância em pirite framboidal de cor branca, que em alguns casos apresenta vestígios de oxidação, na forma de óxidos de ferro de cor avermelhada, quando observadas em luz branca.

A matéria orgânica está representada pelos três grupos de macerais, embora com abundância reduzida. O grupo da vitrinite (Figura 4.1.A) é constituído por um número muito pequeno de partículas com poder refletor de 0.67 %R_r (Tabela 4.1). A

vitrinite é de pequenas dimensões e em luz branca refletida apresenta cor cinzenta-escura. As partículas de inertinite (Figura 4.1.B) identificadas são, essencialmente, macrinite e encontram-se, também, em pequeno número apresentando cor branca quando observadas em luz branca. A observação em luz azul incidente permitiu verificar a existência de material orgânico pertencente ao grupo da liptinite, nomeadamente pequenas partículas de alginite (Figura 4.1.C e 4.1.D) com uma fluorescência intensa de cor amarela.

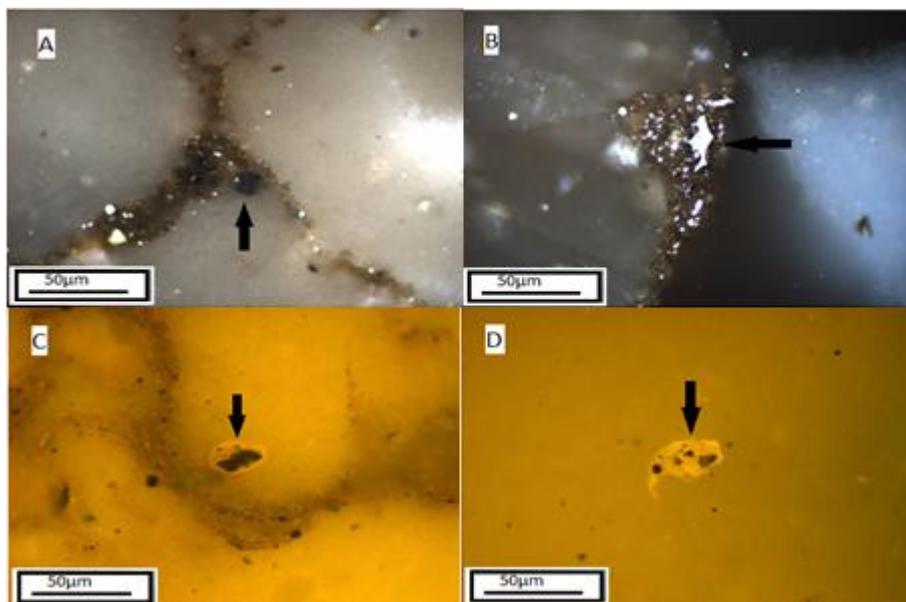


Figura 4.1 - Constituintes orgânicos identificados em luz branca refletida (A - partícula de vitrinite; B - partícula de inertinite) e luz azul incidente (C e D, partículas de liptinite).

Tabela 4.1 - Valores de poder refletor aleatório médio da vitrinite (%R_v) das amostras estudadas, o desvio padrão da distribuição e o número de medidas efetuadas.

	Amostra	%R _v médio	Desvio Padrão	Nº medidas
Amostras entre transições	ALC391	0.67	0.134	2
	ALC580	0.56	0.075	36
	ALC775	-	-	-
	ALC868	-	-	-
	ALC1006	0.52	0.046	5
	ALC1253	0.57	-	1
	ALC1442	-	-	-
	ALC1484	0.61	-	1
Formação de Lemedé	ALC1522	-	-	-
	ALC1528	-	-	-
	ALC1540	0.50	-	1
	ALC1546	0.64	0.007	2
	ALC1552	0.62	0.092	8
	ALC1558	0.59	0.041	4
	ALC1564	0.72	0.021	2
Formação de Vale das Fontes	ALC1568	0.65	0.072	12
	ALC1570	0.65	0.099	22
	ALC1574	0.61	0.066	26
	ALC1576	0.56	0.119	20
	ALC1578	0.57	0.097	17
	ALC1580	0.59	0.079	13
	ALC1582	0.64	0.101	10
	ALC1584	0.60	0.095	6
	ALC1586	0.64	0.079	7
ALC1588	0.70	0.097	9	
Formação de Água de Madeiros	ALC1590	-	-	-
	ALC1598	0.59	0.065	5
	ALC1600	0.56	0.134	2
	ALC1604	0.61	-	1
Formação de Coimbra	ALC1630	-	-	-
	ALC1638	-	-	-
	ALC1646	0.65	0.042	2
	ALC1654	-	-	-
	ALC1660	-	-	-
	ALC1670	-	-	-
	ALC1686	-	-	-
	ALC1694	-	-	-

- **Amostra ALC580**

Esta amostra pertence ao intervalo entre a primeira e segunda transições identificadas. É constituída essencialmente por material carbonatado, embora se verifique também a presença de algum material siliciclástico. A pirite framboidal de cor branca está presente na amostra, encontrando-se, por vezes, na forma de óxidos de ferro de cor avermelhada, quando observadas em luz branca.

A matéria orgânica não é abundante, contudo é possível distinguir partículas dos três grupos de macerais. O grupo da vitrinite (Figura 4.2.H) está representado por várias partículas orgânicas com reflectância de 0.56 %R_r (Tabela 4.1). Na sua maioria apresentam pequenas dimensões e têm cor cinzenta-escura quando observadas em luz branca. O grupo da inertinite faz-se representar com relativa abundância por partículas de semifusinite e macrinite, de cor cinzenta-clara e branca respetivamente, quando observadas em luz branca. Por sua vez, o grupo da liptinite está representado maioritariamente por partículas de alginite (Figura 4.2.A), incluindo acritarcas e cistos de dinoflagelados (Figura 4.2.B), de pequenas dimensões e intensa fluorescência amarela. É ainda possível identificar betumes sólidos pertencentes a várias famílias. Os de textura regular (lisa) ocupam espaços entre a matéria mineral, tais como fraturas entre os cristais dos carbonatos, enquanto que os de textura irregular (picotada) apresentam uma distribuição dispersa entre os cristais. Não foi possível estabelecer uma relação entre a textura e as diferentes famílias de betumes sólidos. A primeira família de betumes sólidos, identificada como B1, com reflectância de 0.49 %R_r (Tabela 4.2), tem uma cor cinzenta-escura quando observada em luz branca (Figura 4.2.C), e em fluorescência apresenta intensa cor laranja (Figura 4.2.D); a segunda família foi identificada como B2, possui poder refletor de 0.76 %R_r (Tabela 4.2), em luz branca tem cor cinzenta-média (Figura 4.2.E) e cor laranja-acastanhada em luz azul incidente (Figura 4.2.F); a terceira família, identificada como B3 (Figura 4.2.G), com reflectância de 1.45 %R_r (Tabela 4.2) tem cor cinzenta-clara em luz branca e não tem fluorescência.

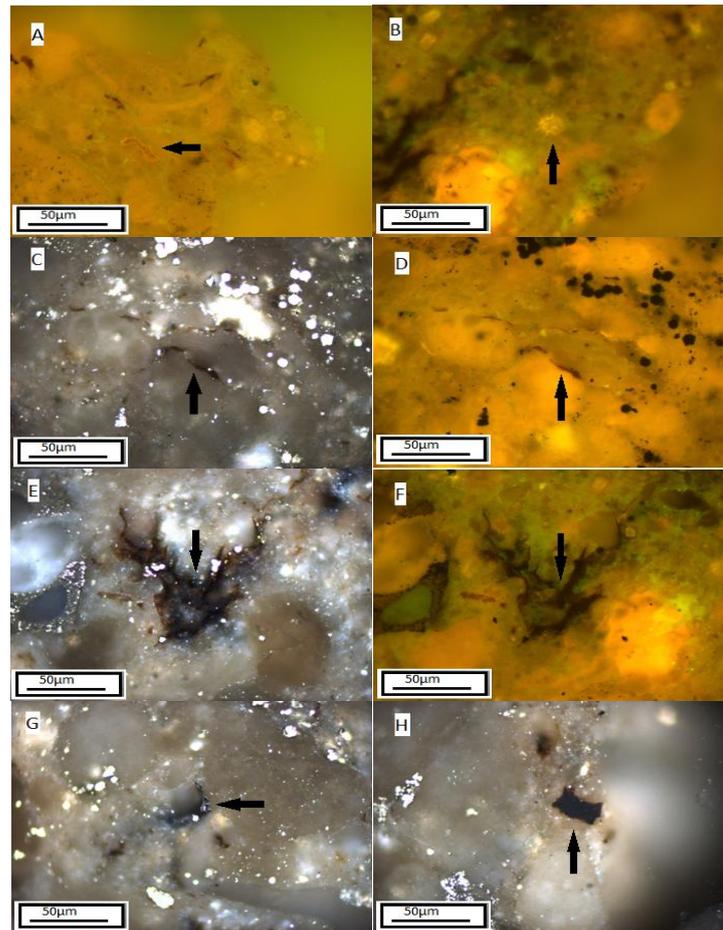


Figura 4.2 - Macerais identificados em luz branca refletida (C - betume sólido B1; E - betume sólido B2; G - betume sólido B3; H - partícula de vitrinite) e luz azul incidente (A - alginite; B - cisto de dinoflagelado; D - betume sólido B1; F - betume sólido B2).

- **Amostra ALC775**

A amostra ALC775 corresponde ao intervalo entre a segunda e a terceira transições identificadas. É constituída quase exclusivamente por material carbonatado e mostra evidências de pirite framboidal de cor branca, que em alguns casos se encontra oxidada, na forma de óxidos de ferro de cor avermelhada, quando observadas em luz branca.

A quantidade de matéria orgânica presente é muito reduzida. Não foi encontrada qualquer partícula de vitrinite e apresenta um número muito pequeno de partículas pertencentes ao grupo da inertinite, bem como da liptinite. Em luz branca refletida, a inertinite está representada por um pequeno número de partículas de semifusinite e fusinite, de cor cinzenta-clara e branca, respetivamente. Em

fluorescência observam-se pequenas partículas de alginite (Figura 4.3.D) de cor intensa amarela. Foram também identificados alguns betumes sólidos pertencentes a duas famílias. Ocupam as cavidades entre os cristais de carbonatos e apresentam essencialmente textura irregular com pequenas inclusões de pirite. A família B1, com reflectância de 0.54 %R_r (Tabela 4.2), tem cor cinzenta-escuro quando observada em luz branca (Figura 4.3.A) e uma fluorescência laranja (Figura 4.3.B); a família B3 (Figura 4.3.C), com poder refletor de 1.41 %R_r (Tabela 4.2) apresenta, em luz branca, uma cor cinzenta-clara e sem fluorescência.

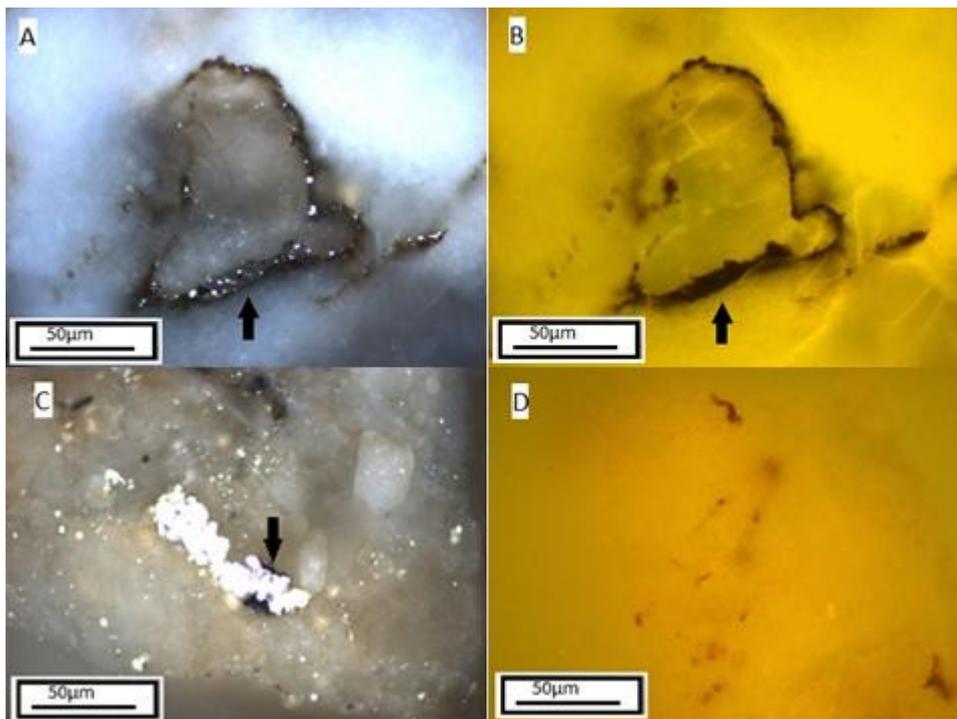


Figura 4.3 - Principais constituintes orgânicos identificados em luz branca refletida (A - betume sólido B1; C - betume sólido B3) e luz azul incidente (B - betume sólido B1; D - alginite).

- **Amostra ALC868**

A amostra ALC868 situa-se entre a terceira e a quarta transições identificadas. A sua composição mineralógica caracteriza-se por ter uma origem maioritariamente carbonatada, onde é possível identificar pequenos cristais de pirite framboidal.

Embora em pequeno número, apresenta partículas de matéria orgânica dos grupos da inertinite e da liptinite. Nas partículas de inertinite (Figura 4.4.A) encontram-se maioritariamente exemplos de semifusinite, fusinite e macrinite, de cor branca. Por

sua vez, em luz azul incidente identificam-se pequenas partículas de alginite (Figura 4.4.B), pertencentes ao grupo da liptinite, com intensa cor amarela. Detetaram-se, ainda, betumes sólidos de textura irregular e com pequenas inclusões de pirite, que ocupam espaços entre os cristais de carbonatos, por vezes com distribuição dispersa. Atendendo às suas características, foram distinguidas duas famílias diferentes. A família B1, com poder refletor de 0.61 %R_r (Tabela 4.2), tem cor cinzenta-escuro, quando observada em luz branca (Figura 4.4.C), apresentando uma intensa fluorescência laranja (Figura 4.4.D); a família B2, com reflectância de 0.72 %R_r (Tabela 4.2) caracteriza-se por possuir uma cor cinzenta-média (Figura 4.4.E), em luz branca, e fluorescência laranja-acastanhada (Figura 4.4.F).

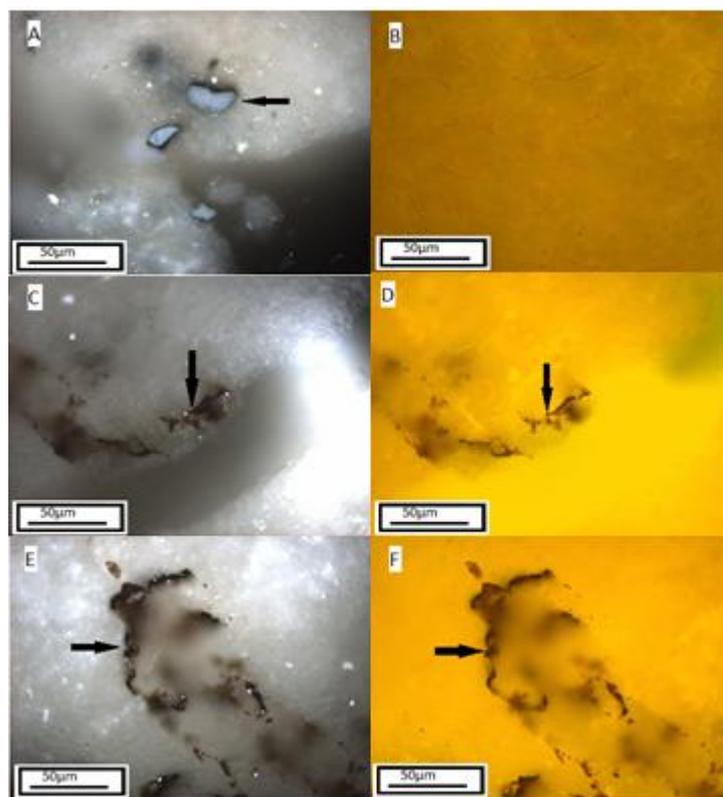


Figura 4.4 - Constituintes orgânicos identificados em luz branca refletida (A - partícula de inertinite; C - betume sólido B1; E - betume sólido B2) e luz azul incidente (B - alginite; D - betume sólido B1; F - betume sólido B2).

- **Amostra ALC1006**

A amostra ALC1006, pertencente ao intervalo entre a quarta e a quinta transições identificadas, é constituída essencialmente por material carbonatado e pirite framboidal de cor branca, que por vezes se encontra na forma de óxidos de ferro de cor avermelhada.

A matéria orgânica identificada é pouco abundante, contudo pertence aos três grupos de macerais. As partículas de vitrinite identificadas (Figura 4.5.F), com um valor de reflectância médio na ordem dos 0.52 %R_r (Tabela 4.1), são de pequenas dimensões e em luz branca apresentam cor cinzenta-escura. Partículas de semifusinite e de macrinite, de cor que varia entre cinzento-claro e branco em luz branca, são os exemplos encontrados pertencentes ao grupo da inertinite (Figura 4.5.A). O grupo da liptinite está representado por partículas de alginite (Figura 4.5.B) de intensa fluorescência amarela. Os betumes sólidos presentes na amostra têm textura regular e irregular, ocupam espaços entre os cristais de carbonatos e pertencem a famílias diferentes. A família B1, com poder refletor de 0.48 %R_r (Tabela 4.2), caracteriza-se por uma cor cinzenta-escura, em luz branca (Figura 4.5.C), e uma fluorescência intensa laranja (Figura 4.5.D); a família B3 (Figura 4.5.E), com poder refletor de 1.48 %R_r (Tabela 4.2), tem cor cinzenta-clara (luz branca refletida) e sem fluorescência.

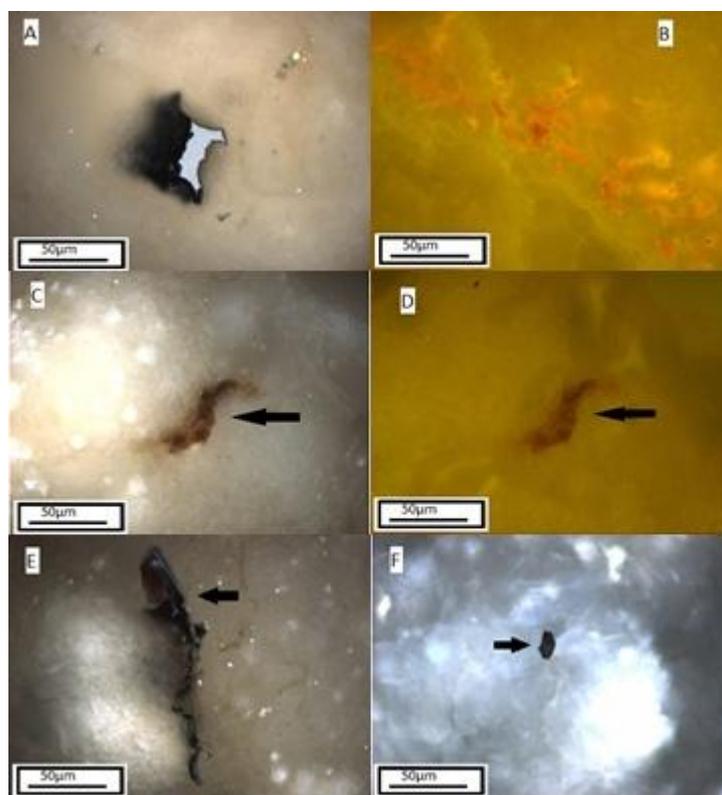


Figura 4.5 - Macerais identificados em luz branca refletida (A - partícula de inertinite; C - betume sólido B1; E - betume sólido B3; F - partícula de vitrinite) e luz azul incidente (B - alginite; D - betume sólido B1).

- **Amostra ALC1253**

A amostra ALC1253, encontra-se entre a quinta e a sexta transições identificadas e apresenta composição mineralógica predominantemente carbonatada. Mostra ainda evidências de pirite framboidal de cor branca, que em alguns casos com vestígios de oxidação, na forma de óxidos de ferro de cor avermelhada.

Relativamente à matéria orgânica presente, esta amostra apresenta apenas uma partícula de cor cinzenta-escura do grupo da vitrinite (Figura 4.6.F), quando observada em luz branca, com poder refletor de 0.57 %R_r (Tabela 4.1). O grupo da inertinite (Figura 4.6.A) apresenta partículas de fusinite, semifusinite e macrinite. Estas partículas são de diferentes dimensões e têm uma cor que varia desde o cinzento-claro ao branco, quando vistas em luz branca. Por sua vez, o grupo da liptinite faz-se representar por partículas de alginite (Figura 4.6.B) com intensa fluorescência amarela. Os betumes sólidos identificados pertencem a diferentes famílias e possuem textura tanto regular como irregular, por vezes com pequenas inclusões de pirite. Acomodam-se nos espaços entre os cristais de carbonatos, tendo ocasionalmente uma distribuição dispersa. A família B2, com reflectância de 0.76 %R_r (Tabela 4.2), quando observada em luz branca tem cor cinzenta-média (Figura 4.6.C) e fluorescência laranja-acastanhada (Figura 4.6.D); a família B3 (Figura 4.6.E), com reflectância de 1.37 %R_r (Tabela 4.2) tem cor cinzenta-clara, em luz branca, e sem fluorescência.

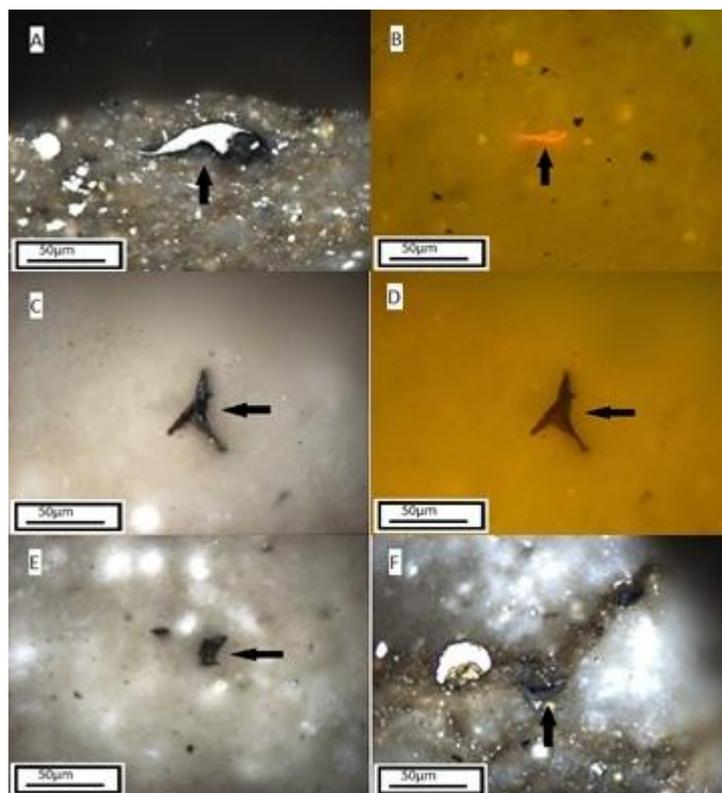


Figura 4.6 - Principais constituintes orgânicos identificados em luz branca refletida (A - partícula de inertinite; C - betume sólido B2; E - betume sólido B3; F - partícula de vitrinite) e luz azul incidente (B - alginite; D - betume sólido B2).

Tabela 4.2 -Valores de poder refletor aleatório (%R_r) das famílias de betumes sólidos identificadas (B1 a B4), desvio padrão (DP) e número de medidas efetuadas (n).

Amostra	B1			B2			B3			B4		
	%R _r	DP	n	%R _r	DP	n	%R _r	DP	n	%R _r	DP	n
Transições												
ALC391	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ALC580	0.49	0.103	89	0.76	0.051	10	1.45	0.104	3	-	-	-
ALC775	0.54	0.075	6	-	-	-	1.41	-	1	-	-	-
ALC868	0.61	0.057	8	0.72	0.007	2	-	-	-	-	-	-
ALC1006	0.48	0.061	3	-	-	-	1.48	0.134	2	-	-	-
ALC1253	-	-	-	0.76	0.047	3	1.37	0.103	21	-	-	-
ALC1442	0.57	0.141	2	0.90	-	1	1.51	0.113	13	2.90	-	1
ALC1484	-	-	-	0.82	-	1	1.50	0.109	11	2.23	-	1
Formação de Lemedo												
ALC1522	0.58	0.127	2	0.87	0.049	2	1.37	0.319	11	-	-	-
ALC1528	-	-	-	0.79	-	1	1.65	0.138	9	2.12	0.009	3
ALC1540	0.61	-	1	0.95	0.049	4	1.40	0.194	14	2.03	-	1
ALC1546	0.61	0.035	2	0.76	0.078	3	1.64	0.177	13	-	-	-
ALC1552	0.54	0.107	9	0.82	0.055	3	1.45	0.205	4	-	-	-
ALC1558	0.54	0.149	7	0.80	0.074	5	1.29	0.214	10	-	-	-
ALC1564	0.63	0.045	5	0.79	0.049	2	1.43	0.262	24	-	-	-
Formação de Vale das Fontes												
ALC1568	0.65	-	1	0.81	0.056	9	1.61	0.243	15	-	-	-
ALC1570	0.59	0.097	10	0.78	0.042	7	1.04	-	1	-	-	-
ALC1574	0.39	0.122	13	0.82	-	1	-	-	-	-	-	-
ALC1576	0.51	0.124	15	0.78	0.057	3	-	-	-	-	-	-
ALC1578	0.54	0.151	9	0.82	0.056	4	-	-	-	-	-	-
ALC1580	-	-	-	0.83	-	1	-	-	-	-	-	-
ALC1582	0.50	-	1	0.79	-	1	1.38	0.255	2	-	-	-
ALC1584	0.54	0.070	3	0.72	0.028	2	-	-	-	-	-	-
ALC1586	0.59	0.088	4	0.85	0.028	2	1.35	-	1	-	-	-
ALC1588	0.44	0.137	3	0.71	0.104	3	-	-	-	-	-	-
Formação de Água de Madeiros												
ALC1590	0.55	0.132	6	0.83	0.067	5	1.25	0.177	3	-	-	-
ALC1598	0.54	0.136	12	0.83	-	1	-	-	-	-	-	-
ALC1600	-	-	-	0.81	0.035	2	-	-	-	-	-	-
ALC1604	0.56	0.141	2	0.89	0.042	2	1.62	-	1	2.30	-	1
Formação de Coimbra												
ALC1630	0.51	0.136	3	0.80	0.053	4	1.56	-	1	-	-	-
ALC1638	0.54	0.122	4	0.87	0.065	11	1.10	0.103	4	-	-	-
ALC1646	0.68	0.014	2	0.83	0.090	2	1.17	0.159	8	-	-	-
ALC1654	0.49	0.113	2	0.90	0.088	7	1.14	0.174	4	-	-	-
ALC1660	0.57	0.113	4	0.83	0.029	6	1.17	0.213	12	2.32	-	1
ALC1670	-	-	-	0.82	0.111	6	1.25	0.146	9	-	-	-
ALC1686	0.58	0.073	39	0.79	0.062	37	1.20	0.177	2	-	-	-
ALC1694	0.58	0.049	14	0.88	0.078	41	1.07	0.092	2	-	-	-

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

- **Amostra ALC1442**

A amostra ALC1442, pertence ao intervalo entre a sexta e a sétima transições identificadas. É constituída por material siliciclástico, embora a componente carbonatada seja a mais abundante, onde é possível identificar também pequenos cristais de pirite framboidal.

A fração orgânica não apresenta qualquer partícula representativa do grupo da vitrinite. Quanto aos restantes grupos, a inertinite (Figura 4.7.A) está representada por partículas de fusinite, semifusinite e macrinite, que variam de cor entre o cinzento-claro e o branco, nas observações em luz branca. O grupo da liptinite é constituída maioritariamente por pequenas partículas de alginite (Figura 4.7.B), incluindo acritarcas e cistos de dinoflagelados, com intensa fluorescência amarela. Verifica-se ainda a presença de betumes sólidos de textura regular e irregular, por vezes com inclusões de pirite, distinguindo-se quatro famílias. Encontram-se a preencher espaços entre os cristais de carbonatos, apresentando, em alguns casos, uma distribuição difusa. A família B1, com poder refletor de 0.57 %R_r (Tabela 4.2), apresenta em luz branca uma cor cinzenta-escura (Figura 4.7.C) e tem intensa fluorescência laranja (Figura 4.7.D); a família B2, com reflectância de 0.90 %R_r (Tabela 4.2), tem cor cinzenta-média em luz branca (Figura 4.7.E) e uma fluorescência laranja-acastanhada (Figura 4.7.F); a família B3 (Figura 4.7.G), com reflectância de 1.51 %R_r (Tabela 4.2), caracteriza-se por uma cor cinzenta-clara em luz branca e sem fluorescência; a quarta família, identificada como B4 (Figura 4.7.H), tem poder refletor de 2.90 %R_r (Tabela 4.2), apresenta cor cinzenta-esbranquiçada em luz normal e não possui fluorescência.

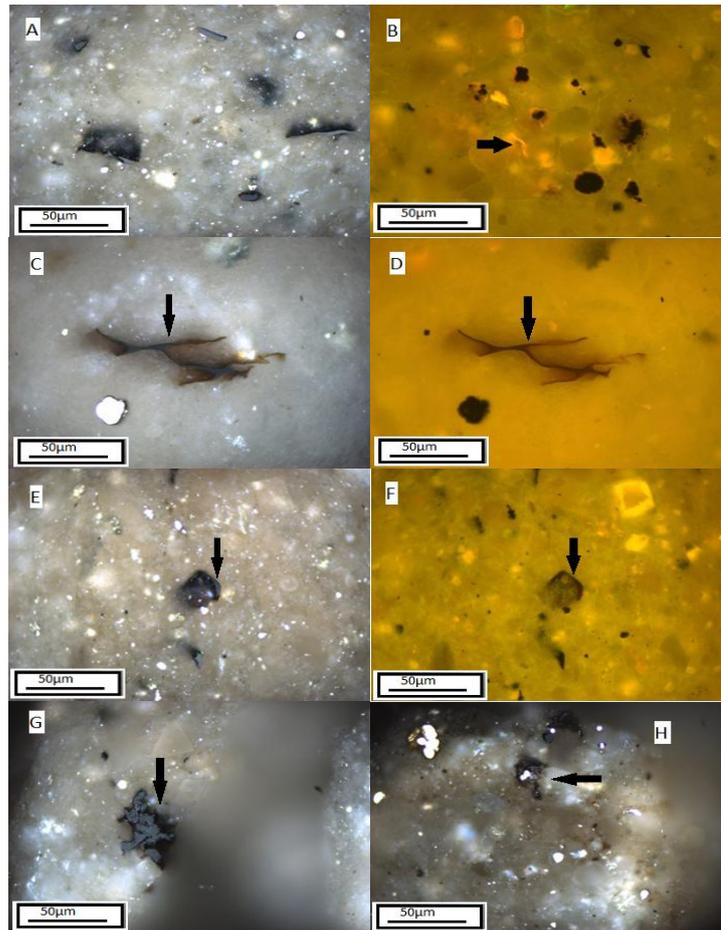


Figura 4.7 - Macerais identificados em luz branca refletida (A - partícula de inertinite; C - betume sólido B1; E - betume sólido B2; G - betume sólido B3; H - betume sólido B4) e luz azul incidente (B - alginite; D - betume sólido B1; F - betume sólido B2).

- **Amostra ALC1484**

A amostra ALC1484, encontra-se num intervalo entre a sétima transição identificada e a Formação de Lemedé. A sua composição mineralógica é maioritariamente carbonatada, embora apresente também uma componente de material siliciclástico. Esta amostra apresenta, ainda, evidências de pirite framboidal de cor branca, que em alguns casos contém vestígios de oxidação, na forma de óxidos de ferro de cor avermelhada, quando observadas em luz branca.

No grupo da vitrinite foi identificada apenas uma partícula (Figura 4.8.A), com poder refletor de 0.61 %R_r (Tabela 4.1), de pequena dimensão e cor cinzenta-escura (luz branca).

Partículas de fusinite, semifusinite e macrinite são os exemplos de macerais do grupo da inertinite. Estas apresentam diferentes tamanhos, e em luz branca refletida têm uma cor entre o cinzento-claro e o branco. Por sua vez, o grupo da liptinite encontra-se caracterizado por diversos tipos de partículas, tais como esporinite, betuminite e alginite (incluindo acritarcas e cistos de dinoflagelados). A alginite (Figura 4.8.B) e a esporinite têm uma intensa fluorescência amarela, enquanto que a betuminite, que se encontra acomodada entre os cristais de carbonatos, possui uma fluorescência laranja-acastanhada. Foram ainda identificados betumes sólidos tendo sido distinguidas três diferentes famílias. Estes apresentam textura regular e irregular, por vezes com inclusões de pirite, ocupando os espaços livres entre os cristais de carbonatos. A família B2, com poder refletor de 0.82 %R_r (Tabela 4.2), tem cor cinzenta-média em luz branca (Figura 4.8.C) e fluorescência laranja-acastanhada (Figura 4.8.D); a família B3 (Figura 4.8.E), com reflectância de 1.50 %R_r (Tabela 4.2), possui em luz branca uma cor cinzenta-clara e sem fluorescência; a família B4 (Figura 4.8.F), com poder refletor de 2.23 %R_r (Tabela 4.2), apresenta cor cinzenta-esbranquiçada em luz branca e não evidencia fluorescência.

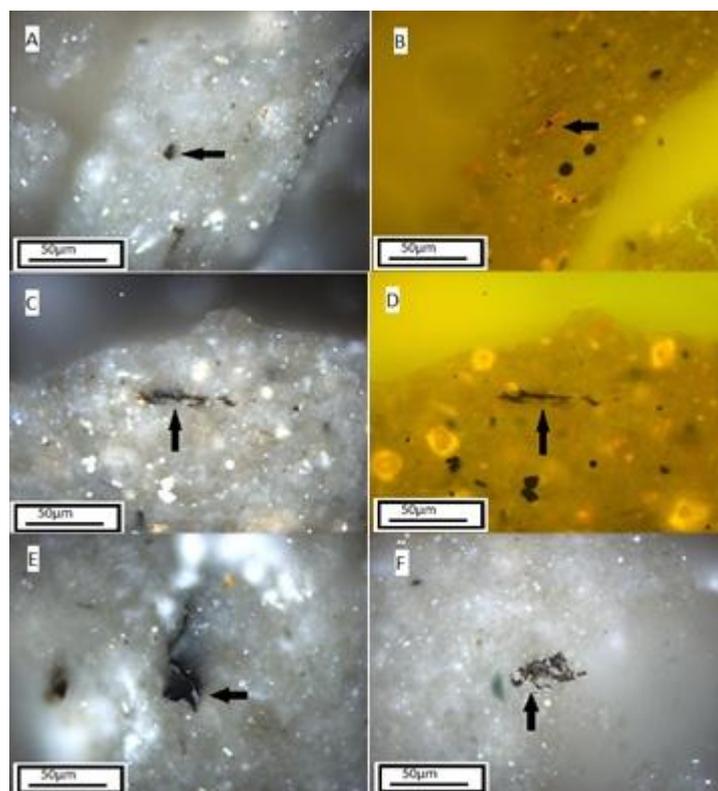


Figura 4.8 - Constituintes orgânicos identificados em luz branca refletida (A - partícula de vitrinite; C - betume sólido B2; E - betume sólido B3; F - betume sólido B4) e luz azul incidente (B - alginite; D - betume sólido B2).

4.1.1.2. Formações

- **Formação de Lemedo**

A Formação de Lemedo (7 amostras estudadas) é constituída por uma importante componente carbonatada, sendo também possível observar uma componente siliciclástica. Na sua composição mineralógica aparece ainda pirite framboidal, de cor branca quando observada em luz branca refletida, podendo apresentar sinais de oxidação, na forma de óxidos de ferro de cor avermelhada.

A observação microscópica permitiu verificar a existência de matéria orgânica pertencente a todos os grupos de macerais. As partículas de vitrinite (Figura 4.9.A), cuja reflectância varia entre 0.50-0.72 %R_r (Tabela 4.1), caracterizam-se por apresentarem pequenas dimensões e uma cor cinzenta-escura, quando observadas em luz branca. Em luz azul incidente, verifica-se que algumas das partículas de vitrinite apresentam uma fluorescência castanha de baixa intensidade. O grupo da inertinite está representado por partículas de fusinite e semifusinite, apresentando uma cor cinzenta-clara, e macrinite, por sua vez de cor branca. No grupo da liptinite observam-se essencialmente partículas de alginite (incluindo cistos de dinoflagelados e acritarcas), bem como betuminite, bem visíveis quando observadas em luz azul incidente. A alginite consiste maioritariamente em partículas pequenas com intensa fluorescência amarela, tal como os cistos de dinoflagelados. A betuminite (Figura 4.9.B) encontra-se acomodada entre os cristais de material inorgânico e possui uma fluorescência laranja-acastanhada. Todas as amostras revelaram também a presença de betumes sólidos, que preenchem os espaços vazios entre a matéria inorgânica, pertencentes a quatro famílias diferentes. A família B1, com valores de poder refletor que variam entre 0.54-0.63 %R_r (Tabela 4.2), apresenta uma cor cinzenta-escura em luz branca (Figura 4.9.C) e uma fluorescência intensa de cor laranja (Figura 4.9.D); a família B2, com reflectância entre 0.76-0.95 %R_r (Tabela 4.2), em luz branca exibe uma cor cinzenta-média (Figura 4.9.E) e uma fluorescência laranja-acastanhada (Figura 4.9.F); a família B3 (Figura 4.9.G), com poder refletor entre 1.29-1.65 %R_r (Tabela 4.2), caracteriza-se por uma cor cinzenta-clara em luz branca refletida e sem fluorescência; por último, a família B4 (Figura 4.9.H), cujo poder refletor se situa entre 2.03-2.12 %R_r (Tabela 4.2), possui em luz branca uma cor cinzenta-esbranquiçada e não exibe fluorescência.

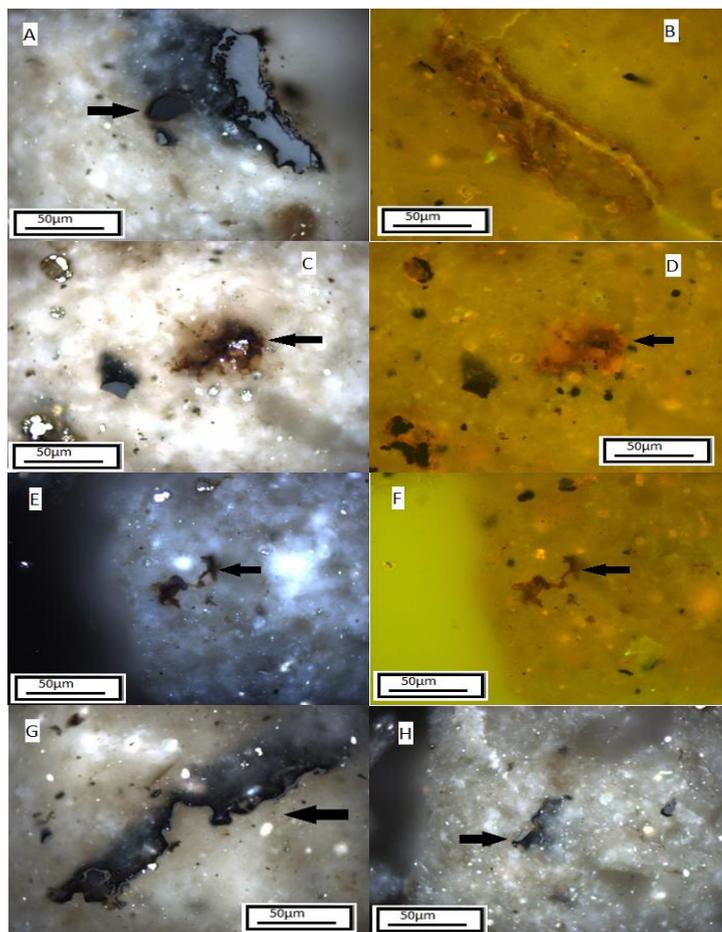


Figura 4.9 - Constituintes orgânicos identificados em luz branca refletida [A - partícula de vitrinite (ALC1552); C - betume sólido B1 (ALC1558); E - betume sólido B2 (ALC1540); G - betume sólido B3 (ALC1564); H - betume sólido B4 (ALC1528)] e luz azul incidente [B - betuminite (ALC-1558); D - betume sólido B1 (ALC1558); F - betume sólido B2 (ALC1540)].

- **Formação de Vale das Fontes**

Na Formação de Vale das Fontes foram estudadas dez amostras. Na generalidade, a composição carbonatada predomina relativamente à composição siliciclástica. A pirite framboidal de cor branca está também presente nas amostras estudadas, encontrando-se por vezes na forma de óxidos de ferro de cor avermelhada, quando observadas em luz branca refletida.

De todas as formações analisadas neste estudo, a Formação de Vale das Fontes é a que apresenta maior riqueza em matéria orgânica. Partículas do grupo da vitrinite (Figura 4.10.H), com poder refletor que varia entre 0.56-0.70 %R_r (Tabela 4.1), podem ser observadas em todas as amostras desta formação. Em luz branca refletida, apresentam cor cinzenta-escura, pequenas dimensões, podendo, nalguns casos, ser

identificada a estrutura celular. Quando observadas em luz azul incidente, algumas partículas de vitrinite apresentam baixa intensidade de fluorescência de cor castanha. O grupo da inertinite faz-se notar pela presença de fusinite e semifusinite, de cor cinzento-claro, e de macrinite, de cor branca, quando observadas em luz branca refletida. A observação em luz azul permitiu a melhor identificação dos macerais do grupo da liptinite, tais como alginite (incluindo cistos de dinoflagelados e acritarcas), esporinite, cutinite e betuminite. A alginite (Figura 4.10.A) apresenta-se como o maceral do grupo da liptinite mais abundante, tem dimensões reduzidas e uma intensa fluorescência amarela. A esporinite e a cutinite são também de pequenas dimensões e possuem um tom de fluorescência semelhante ao da alginite. A betuminite (Figura 4.10.B) encontra-se em bandas contínuas e regulares assim como em lentículas irregulares, ambas paralelas à estratificação, apresenta um aspeto pelicular, que sugere atividade microbiana. Em luz branca apresentam uma cor negra a cinzento escuro por vezes com aspeto translúcido. Evidencia fluorescência amarelo dourado intenso. Entre as bandas de betuminite ocorrem carbonatos em lentículas também contínuas ou, nalguns casos, intercrescidos dentro da betuminite sugerindo a precipitação da calcite e o crescimento dos cristais dentro do material orgânico degradado. Este facto permite apontar para que os microorganismos que promovem a degradação da MO sejam também eles responsáveis pela precipitação dos carbonatos. Foi também possível identificar betumes sólidos em todas as amostras, tendo sido distinguidas três famílias. Estes encontram-se a preencher espaços entre a matéria inorgânica, tais como intergranulares e fraturas. A família B1, com valores de reflectância entre 0.39-0.65 %R_r (Tabela 4.2), apresenta uma cor cinzenta-escura em luz branca (Figura 4.10.C) e uma intensa fluorescência laranja (Figura 4.10.D); a família B2, em que o poder refletor se encontra entre 0.71 e 0.85 %R_r (Tabela 4.2), tem, em luz branca, uma cor cinzenta-média (Figura 4.10.E) e uma fluorescência laranja-acastanhada (Figura 4.10.F); a família B3 (Figura 4.10.G), apresenta valores de reflectância entre 1.04 e 1.61 %R_r (Tabela 4.2), caracterizando-se por uma cor cinzenta-clara (luz branca refletida) e sem fluorescência.

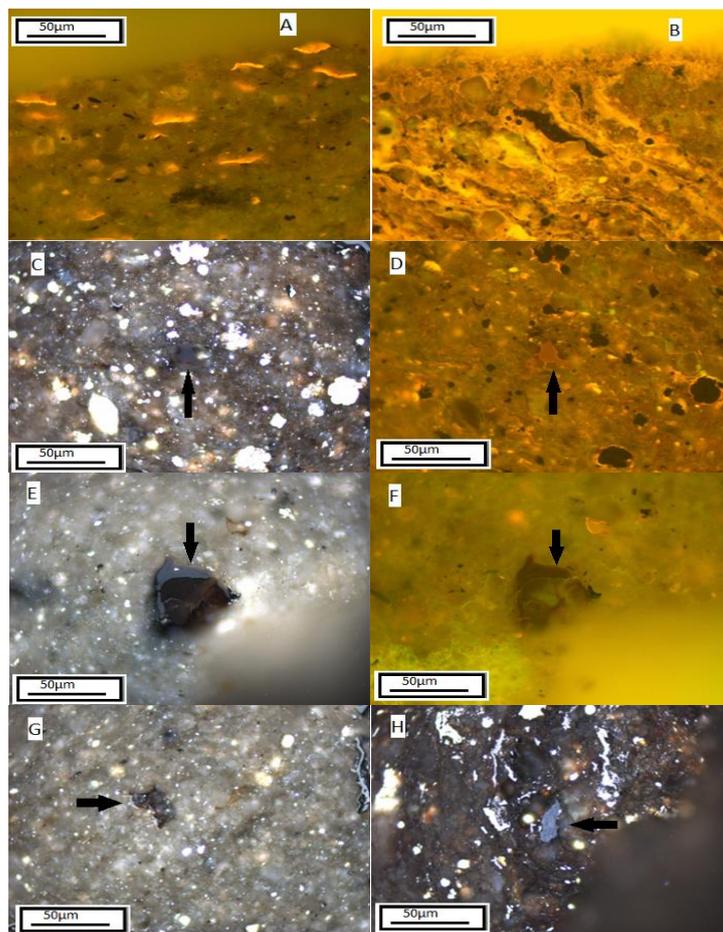


Figura 4.10 - Exemplo dos principais constituintes orgânicos identificados em luz branca refletida [C - betume sólido B1 (ALC1576); E - betume sólido B2 (ALC1568); G - betume sólido B3 (ALC1568); H - partícula de vitrinite (ALC1574)] e luz azul incidente [A - alginite (ALC1576); B - betuminite (ALC1574); D - betume sólido B1 (ALC1576); F - betume sólido B2 (ALC1568)].

- **Formação de Água de Madeiros**

No estudo da Formação de Água de Madeiros foram analisadas quatro amostras, duas pertencentes ao membro da Praia de Pedra Lisa e as restantes pertencentes ao membro de Polvoeira. Tanto a composição mineralógica como a orgânica destes dois membros se revelaram muito idênticas.

Na sua composição mineralógica, embora se note uma componente siliciclástica, a componente abundante é a carbonatada. Na observação em luz branca refletida, identificou-se pirite framboidal de cor branca, e também óxidos de ferro de cor vermelha.

No que concerne à fração orgânica foram identificados macerais representativos de todos os grupos de macerais. O grupo da vitrinite apenas não foi identificado numa amostra pertencente ao membro da Praia de Pedra Lisa (Tabela 4.1), contudo, a abundância nas restantes amostras é escassa. As partículas deste grupo de macerais, em que os valores de poder refletor variam entre 0.56 e 0.61 % R_r (Tabela 4.1), apresentam dimensões reduzidas e quando observadas em luz branca, têm cor cinzenta-escura (Figura 4.11.A). Por sua vez, o grupo da inertinite faz-se representar por partículas de fusinite, semifusinite e macrinite, em que quando observadas em luz branca refletida, as primeiras apresentam tons de cinzento claro enquanto que a última aparece branca. À semelhança da Formação de Vale das Fontes, nesta formação o grupo da liptinite caracteriza-se pela presença de partículas como a alginite (incluindo acritarcas e cistos de dinoflagelados), esporinite, cutinite e betuminite, embora em menor quantidade. A alginite encontra-se como pequenas partículas de fluorescência intensa amarela, tal como a esporinite e a cutinite. A betuminite (Figura 4.11.B) apresenta um aspeto pelicular, com carbonatos intercrescidos dentro da betuminite resultado de retrabalhamento microbiano e uma intensa fluorescência amarela-alaranjada. Foram ainda distinguidas quatro diferentes famílias de betumes sólidos, com textura regular, que se encontram a preencher espaços vazios entre a matéria mineral. A família B1, de poder refletor entre 0.54-0.56 % R_r (Tabela 4.2), tem uma cor cinzenta-escura, em luz branca (Figura 4.11.C), e uma fluorescência laranja intensa (Figura 4.11.D); a família B2, com reflectância que varia desde 0.81 a 0.89 % R_r (Tabela 4.2), apresenta, em luz branca, cor cinzenta-média (Figura 4.11.E) e uma fluorescência laranja-acastanhada (Figura 4.11.F); a família B3 (Figura 4.11.G), com reflectância entre 1.25-1.62 % R_r (Tabela 4.2), caracteriza-se por uma cor cinzenta-clara em luz branca e sem fluorescência; a família B4 (Figura 4.11.H), cuja reflectância é de 2.30 % R_r (Tabela 4.2), tem cor cinzenta-esbranquiçada (luz branca refletida) e não apresenta fluorescência.

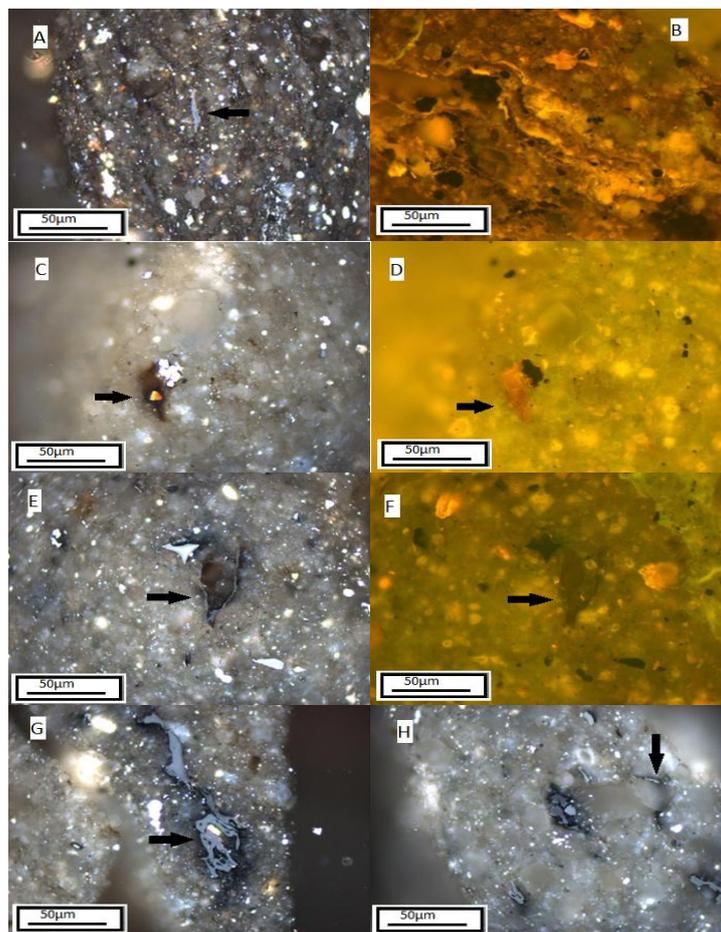


Figura 4.11 - Macerais identificados em luz branca refletida [A - partícula de vitrinite (ALC1598); C - betume sólido B1 (ALC1598); E - betume sólido B2 (ALC1590); G - betume sólido B3 (ALC1590); H - betume sólido B4 (ALC1604)] e luz azul incidente [B - betuminite (ALC1600); D - betume sólido B1 (ALC1598); F - betume sólido B2 (ALC1590)].

- **Formação de Coimbra**

O estudo da Formação de Coimbra passou pela análise de oito amostras, constituídas maioritariamente por material carbonatado, onde abunda a pirite framboidal de cor branca, havendo também a presença de óxidos de ferro de cor avermelhada, quando observadas em luz branca.

Apesar da componente orgânica se encontrar em pequena quantidade, foi possível identificar partículas de todos os grupos de macerais. O grupo da vitrinite (Figura 4.12.A) é o que está menos representado, uma vez que apenas se identificaram numa amostra duas partículas deste grupo, com poder refletor de 0.65 %R_r (Tabela 4.1). Estas apresentam pequenas dimensões e cor cinzenta-escura, quando vistas em luz branca. No grupo da inertinite foram identificadas partículas

como a fusinite, semifusinite e macrinite. Em luz branca refletida, apresentam uma cor que varia de cinzento-claro a branco, respetivamente, e possuem desde pequenas a grandes dimensões. O grupo da liptinite está essencialmente representado por partículas de alginite e betuminite (em menor quantidade). A alginite (Figura 4.12.B) apresenta-se como partículas de pequenas dimensões e intensa fluorescência amarela, podendo distinguir-se acritarcas e cistos de dinoflagelados. A betuminite caracteriza-se por uma fluorescência laranja acastanhada, ocorrendo entre os cristais de matéria inorgânica. Todas as amostras revelaram a presença de betumes sólidos. Estes encontram-se a ocupar espaços livres entre os carbonatos, podendo ter distribuição difusa, e apresentam textura regular e irregular. As suas características permitiram identificar quatro famílias. A família B1, com reflectância entre 0.49-0.68 %R_r (Tabela 4.2), apresenta uma cor cinzenta-escura, quando observada em luz branca (Figura 4.12.C), e uma intensa fluorescência laranja (Figura 4.12.D); a família B2, com valores de reflectância que se situam entre 0.79-0.90 %R_r (Tabela 4.2), tem, em luz branca, uma cor cinzenta-média (Figura 4.12.E) e uma fluorescência laranja-acastanhada (Figura 4.12.F); a família B3 (Figura 4.12.G), com poder refletor entre 1.07-1.56 %R_r (Tabela 4.2), caracteriza-se por uma cor cinzenta-claro (luz branca) e sem fluorescência; a família B4 (Figura 4.12.H), cuja reflectância é de 2.32 %R_r (Tabela 4.2), apresenta nas observações em luz branca refletida uma cor cinzenta-esbranquiçada e não exhibe fluorescência.

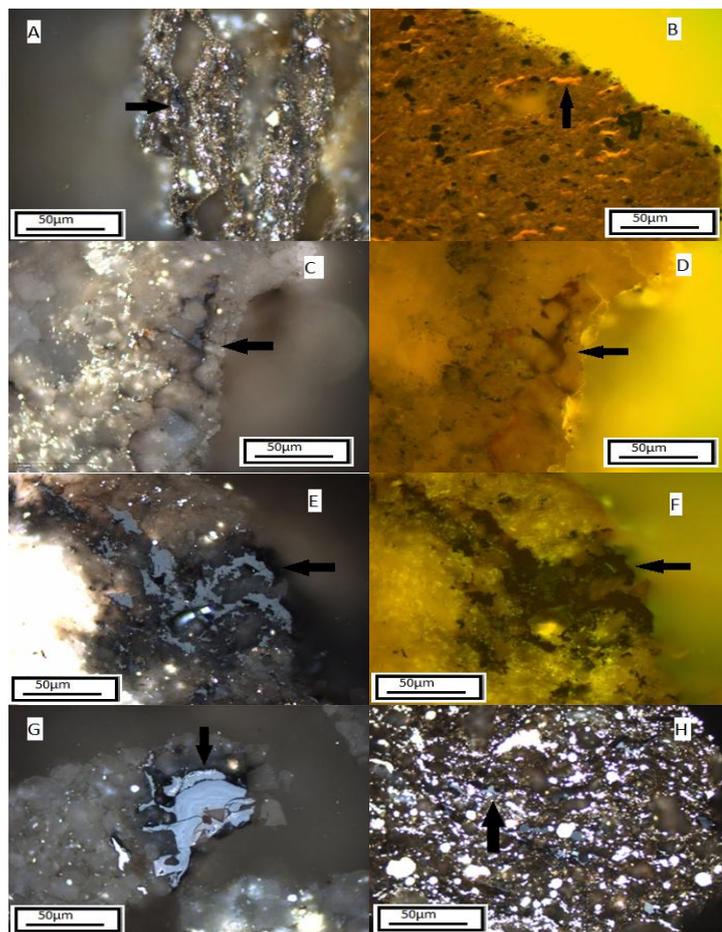


Figura 4.12 - Constituintes orgânicos identificados em luz branca refletida [A - partícula de vitrinite (ALC1646); C - betume sólido B1 (ALC1686); E - betume sólido B2 (ALC1694); G - betume sólido B3 (ALC1670); H - betume sólido B4 (ALC1660)] e luz azul incidente [B - alginite (ALC1638); D - betume sólido B1 (ALC1686); F - betume sólido B2 (ALC1694)].

4.2. Geoquímica Orgânica

Na Tabela 4.3 estão representados os valores do Carbono Orgânico Total (COT), do Enxofre (St), do Resíduo Insolúvel (RI) e da razão COT/St, determinados para todas as amostras.

Tabela 4.3-Valores de COT, St, RI e COT/St determinados para as amostras estudadas.

	Amostra	COT (%)	St (%)	RI (%)	COT/St
Transições	ALC391	0.21	0.13	2	1.66
	ALC580	0.51	0.67	15	0.76
	ALC775	0.12	0.04	< 1	2.91
	ALC868	0.15	0.03	< 1	6.13
	ALC1006	0.21	0.03	3	7.10
	ALC1253	0.26	0.23	7	1.11
	ALC1442	0.32	0.39	21	0.81
	ALC1484	0.33	0.24	22	1.37
Formação de Lemede	ALC1522	0.61	0.48	40	1.28
	ALC1528	0.53	0.49	41	1.09
	ALC1540	0.47	0.35	24	1.34
	ALC1546	0.59	0.47	23	1.26
	ALC1552	0.48	0.41	21	1.16
	ALC1558	0.54	0.47	27	1.14
	ALC1564	0.50	0.42	21	1.19
Formação de Vale das Fontes	ALC1568	0.55	0.34	25	1.61
	ALC1570	0.97	0.60	37	1.62
	ALC1574	2.91	0.93	50	3.13
	ALC1576	1.89	0.91	50	2.08
	ALC1578	1.43	0.70	50	2.04
	ALC1580	1.38	0.63	47	2.19
	ALC1582	2.70	0.80	39	3.37
	ALC1584	1.05	0.53	36	1.99
	ALC1586	1.23	0.69	46	1.77
	ALC1588	0.92	0.46	43	1.98
Formação de Água de Madeiros	ALC1590	1.19	0.52	31	2.29
	ALC1598	1.16	0.44	30	2.67
	ALC1600	0.62	0.34	24	1.84
	ALC1604	0.68	0.29	26	2.34
Formação de Coimbra	ALC1630	0.41	0.31	4	1.30
	ALC1638	0.26	0.22	5	1.18
	ALC1646	0.33	0.32	5	1.05
	ALC1654	0.23	0.24	3	0.94
	ALC1660	0.26	0.27	5	0.96
	ALC1670	0.17	0.42	6	0.41
	ALC1686	0.33	0.43	4	0.76
	ALC1694	0.36	0.36	8	1.00

Nota: COT - Carbono orgânico total; St - Enxofre total; RI -Resíduo insolúvel; COT/St - razão entre Carbono orgânico total e Enxofre total.

A interpretação da Tabela 4.3 permite verificar que os valores obtidos para as análises de geoquímica orgânica são semelhantes para quase todas as amostras estudadas. Quanto aos valores de COT, destaca-se a Formação de Vale das Fontes, visto que variam num intervalo entre 0.55 e 2.91, sendo a formação que apresenta maior conteúdo em carbono orgânico.

Os valores de RI apresentam-se iguais ou inferiores a 50 % para todas as amostras. As Formações de Lemedé, Vale das Fontes e Água de Madeiros, têm os valores mais altos, alguns próximos ou iguais a 50 %, por outro lado, as amostras entre as transições bem como as correspondentes à Formação de Coimbra, têm valores muito baixos, quase todos na casa das unidades.

Na relação COT/St, praticamente todas as amostras têm valores inferiores a 3, com exceção das amostras ALC868 e ALC1006, que demonstram valores de 6.13 e 7.10, respetivamente.

5. Discussão

As análises microscópicas efetuadas em petrografia orgânica, tal como as análises de geoquímica orgânica, são de elevada importância no estudo da matéria orgânica dispersa em sedimentos. A integração dos parâmetros obtidos através da aplicação destes métodos permite inferir quanto à caracterização, avaliação da matéria orgânica e sua maturação térmica assim como o potencial de geração de hidrocarbonetos nas amostras estudadas.

A discussão dos resultados obtidos para cada amostra selecionada entre as transições identificadas, assim como para as formações, é feita a seguir. Uma vez que não há informação relativamente à estratigrafia das amostras selecionadas entre as transições identificadas, não é feita qualquer comparação dos seus dados obtidos neste estudo, com dados obtidos em estudos realizados anteriormente.

- **Amostra ALC391**

A maior frequência com que se encontra material liptinítico (alginite), relativamente aos restantes grupos de macerais, aponta para um cerogénio maioritariamente tipo II (Tissot & Welte, 1984).

Nesta amostra apenas se encontraram duas partículas de vitrinite, cujo valor de refletância de 0.67 %R_r (Figura 5.1.A) se situa já no estágio da catagénese, o que indica uma MO no estado maturo (Tissot & Welte, 1984). Contudo, para além deste conjunto de valores não ser significativo para concluir quanto à maturação da MO, a intensa fluorescência de cor amarela que as partículas de alginite exibem, aponta para uma MO no estado imaturo (Tissot & Welte, 1984).

Apresenta um valor de COT de 0.21 %, que indica um conteúdo pobre em carbono orgânico (Peters & Cassa, 1994), tendo em conta a sua fácies carbonatada, confirmada por um valor de 2% de RI. A relação entre o COT e St é inferior a 3, o que indica um ambiente deposicional redutor (Berner, 1995; Borrego et al., 1998).

A integração dos dados obtidos leva a inferir que a rocha tem um potencial de geração de hidrocarbonetos baixo (Peters et al., 2005).

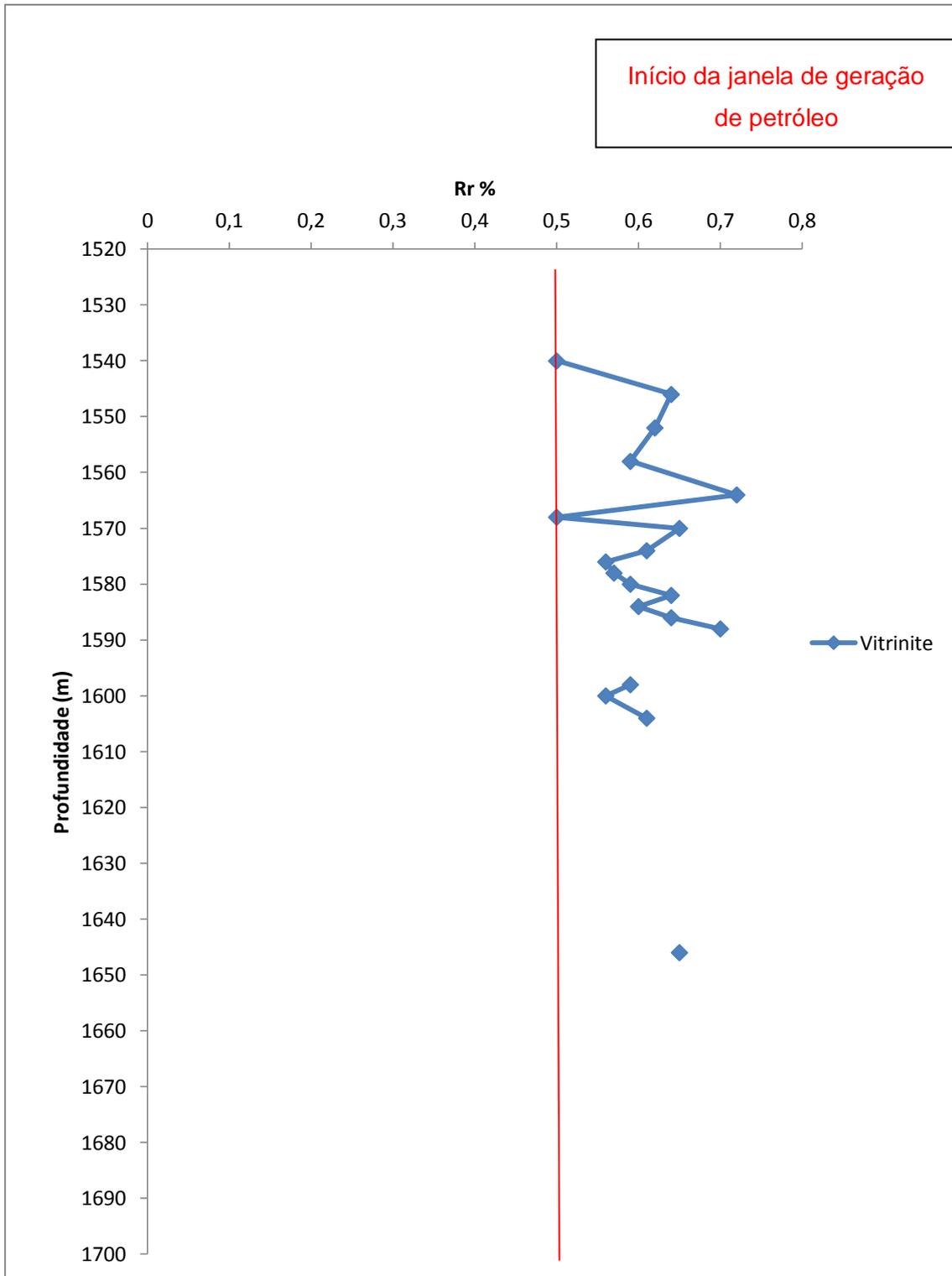


Figura 5.1.B - Variação da reflectância da vitrinite, identificada nas formações, com a profundidade e a indicação do início da geração dos hidrocarbonetos líquidos para cerogénio tipo II (%Rr = 0.5).

- **Amostra ALC580**

Uma vez que as partículas de alginite se encontram com maior frequência que os restantes grupos, pode-se inferir que se está na presença de um cerogénio maioritariamente tipo II (Tissot & Welte, 1984).

No grupo de vitrinite foram identificadas várias partículas com reflectância de 0.56 %R_r (Figura 5.1.A), pelo que a MO se encontra no início do estágio da catagénese (Tissot & Welte, 1984). Contudo, a intensa fluorescência de cor amarela que as partículas de alginite exibem, aponta para uma MO no estado imaturo (Tissot & Welte, 1984).

Foram distinguidas três famílias de betumes sólidos, que segundo a classificação de Jacob (1989) são classificadas como grahamite (família B1) e epi-impsonite (famílias B2 e B3). A equação de Jacob [$VR_{eqv} = (0.618 * \text{reflectânciabetume}) + 0.4$] correlaciona a reflectância de betumes sólidos com a reflectância equivalente da vitrinite (Jacob, 1989). A família de betumes sólidos de grahamite é a que apresenta reflectância inferior ao valor de reflectância medido nas partículas de vitrinite (Figura 5.2). Assim, aplicando esta equação ao valor de reflectância da grahamite (Figura 5.3), o valor obtido não é concordante com o valor de reflectância medido para a vitrinite (Tabela 5.1).

O valor de 0.51 % de COT indica um conteúdo razoável em carbono orgânico, de acordo com Peters & Cassa (1994). A análise de RI, com valor de 15%, confirma o predomínio da fração carbonatada relativamente à siliciclástica. A relação entre o COT e St é inferior a 3, o que indica um ambiente deposicional redutor (Berner, 1995; Borrego et al., 1998).

Pela integração dos dados obtidos, afirma-se que o potencial de geração de hidrocarbonetos é baixo (Peters et al., 2005).

- **Amostra ALC775**

A quantidade de matéria orgânica presente nesta amostra é muito reduzida, contudo, o predomínio de material liptínico (alginite) aponta para um cerogénio maioritariamente tipo II (Tissot & Welte, 1984).

Não foi identificada qualquer partícula do grupo da vitrinite, o que não permite inferir quanto à maturação da matéria orgânica, tendo em conta o poder refletor deste tipo de partículas. Por outro lado, a intensa fluorescência de cor amarela da alginite, aponta para uma matéria orgânica imatura, ou seja, ainda no estágio da diagénese (Tissot & Welte, 1984).

Os betumes sólidos fazem-se representar por duas famílias (Figura 5.2), a B1 (grahamite) e a B2 (epi-impsonite), que aparecem com uma frequência muito pequena (Jacob, 1989).

Apresenta um valor de COT de 0.12 %, que indica um conteúdo pobre em carbono orgânico (Peters & Cassa, 1994), tendo em conta a sua fácies carbonatada, confirmada por um valor de RI inferior a 1%. O seu ambiente deposicional é redutor, visto que a relação entre o COT e St é inferior a 3 (Berner, 1995; Borrego et al., 1998).

Através da integração de todos os dados obtidos, infere-se que a rocha tem um potencial de geração de hidrocarbonetos baixo (Peters et al., 2005).

- **Amostra ALC868**

Nesta amostra as partículas de alginite abundam relativamente às partículas de inertinite, o que indica que está maioritariamente presente um cerogénio tipo II (Tissot&Welte, 1984).

Não é possível inferir quanto à maturação da MO, relativamente à reflectância da vitrinite, pois não se identificaram quaisquer partículas deste grupo. Porém, a intensa fluorescência amarela leva a apontar uma MO imatura, ainda no estágio da diagénese (Tissot & Welte, 1984).

Identificaram-se betumes sólidos distinguidos em duas famílias (Figura 5.2), a B1 (grahamite) e a B2 (epi-impsonite), embora em pequena quantidade (Jacob, 1989).

A amostra é pobre em carbono orgânico, traduzido por um valor de 0.15 % de COT (Peters & Cassa, 1994), e apresenta uma forte componente carbonatada, tal como se verifica pelo valor de RI inferior a 1. A relação entre o COT e St superior a 3, indica um ambiente deposicional oxidante (Berner, 1995; Borrego et al., 1998).

A integração dos dados obtidos permite inferir um baixo potencial de geração de hidrocarbonetos (Peters et al., 2005).

A informação obtida através da análise de petrografia orgânica, bem como da geoquímica orgânica, aliada a dados obtidos por palinofácies orgânica, técnica que não se encontrava no âmbito deste estudo, leva a inferir que possivelmente esta amostra pertence à formação de Candeeiros.

- **Amostra ALC1006**

A quantidade de MO nesta amostra não é abundante, mas visto que as partículas de liptinite são as predominantes, pode-se inferir que o cerogénio é maioritariamente tipo II (Tissot & Welte, 1984).

A vitrinite apresenta uma reflectância de 0.52 %R_r (Figura 5.1.A), o que significa que a MO se encontra no início da "janela de geração de petróleo", ou seja, encontra-se já num estado maturo (Tissot & Welte, 1984).

De acordo com a classificação de Jacob (1989), os betumes sólidos identificados (Figura 5.2) são grahamite (família B1) e epi-impsonite (família B3). Pelo cálculo da reflectância equivalente da vitrinite (Tabela 5.1), usando a reflectância da grahamite na equação de Jacob, verifica-se que o valor obtido não é concordante com a reflectância da vitrinite medida (Figura 5.3).

O valor de COT de 0.21 %, indica um conteúdo pobre em carbono orgânico (Peters & Cassa, 1994), tendo em conta a sua fácies carbonatada, confirmada por um valor de RI de 3%. Apresenta um ambiente deposicional oxidante, visto que a relação entre o COT e St é superior a 3 (Berner, 1995; Borrego et al., 1998).

Pela integração dos dados obtidos, pode-se afirmar que a rocha tem um potencial de geração de hidrocarbonetos baixo (Peters et al., 2005).

Aliando toda a informação das técnicas aplicadas a novos dados de palinofácies orgânica, técnica que não estava no âmbito deste trabalho, percebe-se que a fácies orgânica desta amostra, é semelhante à fácies da formação de Candeeiros.

- **Amostra ALC1253**

Nesta amostra o grupo de liptinite, representado por partículas de alginite, é o mais abundante. Assim, pode-se afirmar que a MOD é composta maioritariamente por um cerogénio tipo II (Tissot & Welte, 1984).

O poder refletor de 0.57 %R_r (Figura 5.1.A) da única partícula de vitrinite identificada, indica que a MO se encontra no início da "janela de geração de petróleo", ou seja, em estado maturo (Tissot & Welte, 1984). Com apenas uma medição, não é possível assegurar com certeza quanto à maturação da MO, no entanto, a fluorescência da liptinite parece apontar para esse estado de maturação.

As famílias de betumes sólidos distinguidas foram a B2 e B3 (Figura 5.2), que segundo a classificação de Jacob (1989), são ambas epi-impsonite. A presença dos betumes sólidos em quantidade considerável, destas famílias de betumes, pode indicar uma possível presença de gás natural ou condensado (Jacob, 1989).

A amostra é pobre em carbono orgânico, traduzido por um valor de 0.26 % de COT (Peters & Cassa, 1994), e apresenta uma forte componente carbonatada, verificada pelo valor de RI igual a 6. A relação entre o COT e St inferior a 3, evidencia um ambiente deposicional redutor (Berner, 1995; Borrego et al., 1998).

Integrando os dados obtidos, pode-se inferir um baixo potencial de geração de hidrocarbonetos desta rocha (Peters et al., 2005).

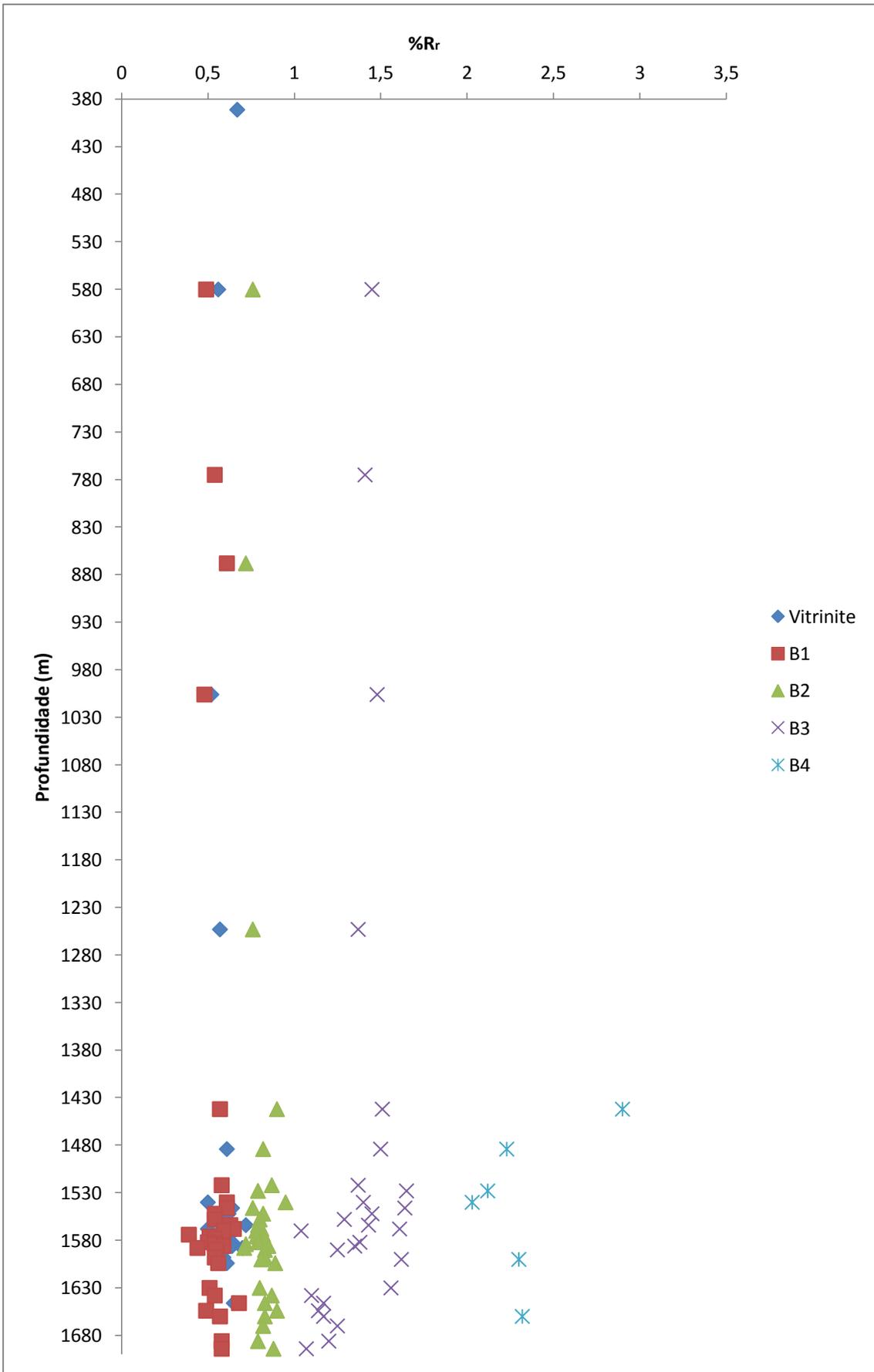


Figura 5.2 - Variação da reflectância da vitrinite e das diferentes famílias de betumes sólidos identificados, com a profundidade.

- **Amostra ALC1442**

Visto que o grupo da liptinite, nomeadamente partículas de alginite, abunda relativamente ao da inertinite, pode-se inferir que o cerogénio é maioritariamente do tipo II (Tissot & Welte, 1984).

Não é possível inferir quanto à maturação da MO, tendo em conta o poder refletor da vitrinite, pois não se identificaram quaisquer partículas deste grupo.

Distinguiram-se quatro famílias de betumes sólidos (Figura 5.2), classificadas segundo Jacob (1989), como grahamite (família B1), epi-impsonite (famílias B2 e B3) e meso-impsonite (família B4).

Na análise de COT obteve-se um valor de 0.32 %, o que significa que a amostra é pobre em carbono orgânico (Peters & Cassa, 1994). Apresenta uma componente carbonatada que predomina em relação à componente siliciclástica, traduzida pelo valor de RI igual a 21 %. O ambiente deposicional é redutor, visto que a relação entre COT e St é inferior a 3 (Berner, 1995; Borrego et al., 1998).

A integração dos dados obtidos leva a afirmar um potencial de geração de hidrocarbonetos baixo (Peters et al., 2005).

- **Amostra ALC1484**

O cerogénio presente nesta amostra é maioritariamente do tipo II, pois as partículas de alginite são as mais abundantes, podendo ainda identificar-se alguma betuminite (Tissot & Welte, 1984).

A única partícula de vitrinite identificada, com poder refletor de 0.61 % R_r (Figura 5.1.A), leva a inferir que a MO se encontra na "janela de geração de petróleo", estando no estágio da catagénesis e em estado maturo (Tissot & Welte, 1984). Porém, com apenas uma medição, não é possível assegurar com certeza quanto à maturação da MO.

Embora com pouca abundância, foi possível distinguir três famílias de betumes sólidos (Figura 5.2). As famílias B2 e B3, são epi-impsonite, enquanto a família B4, é meso-impsonite (Jacob, 1989).

Apresenta um conteúdo em carbono orgânico pobre, traduzido num valor de TOC igual a 0.33 % (Peters & Cassa, 1994), e uma componente carbonatada que

abunda relativamente à componente siliciclástica, confirmada por um valor de 20 % de RI. O ambiente deposicional é redutor, uma vez que a relação entre COT e St é inferior a 3 (Berner, 1995; Borrego et al., 1998).

Através da integração de todos os dados, infere-se um baixo potencial de geração de hidrocarbonetos da rocha (Peters et al., 2005).

Tabela 5.1 - Tabela com os valores de reflectância da vitrinite (%R_r) e reflectância equivalente da vitrinite (%REV) obtidos usando a equação de Jacob (1989) [$VReq_v = (0.618 * \text{reflectância de betume}) + 0.4$] para as amostras onde foram identificados betumes sólidos. Neste cálculo foi sempre usada a família de betumes com reflectância mais baixa (Jacob, 1989).

	Amostra	%R _r	%REV
Amostras entre transições	ALC391	0.67	-
	ALC580	0.56	0.70
	ALC775	-	0.73
	ALC868	-	0.78
	ALC1006	0.52	0.70
	ALC1253	0.57	-
	ALC1442	-	0.75
	ALC1484	0.61	-
Formação de Leme de	ALC1522	-	0.76
	ALC1528	-	-
	ALC1540	0.50	0.78
	ALC1546	0.64	0.78
	ALC1552	0.62	0.73
	ALC1558	0.59	0.73
	ALC1564	0.72	0.79
Formação de Vale das Fontes	ALC1568	0.65	0.80
	ALC1570	0.65	0.76
	ALC1574	0.61	0.64
	ALC1576	0.56	0.71
	ALC1578	0.57	0.73
	ALC1580	0.59	-
	ALC1582	0.64	0.71
	ALC1584	0.60	0.73
	ALC1586	0.64	0.76
ALC1588	0.70	0.67	
Formação de Água de Madeiros	ALC1590	-	0.74
	ALC1598	0.59	0.73
	ALC1600	0.56	-
	ALC1604	0.61	0.75
Formação de Coimbra	ALC1630	-	-
	ALC1638	-	-
	ALC1646	0.65	0.82
	ALC1654	-	-
	ALC1660	-	-
	ALC1670	-	-
	ALC1686	-	-
	ALC1694	-	-

Nota: REV - Reflectância equivalente da vitrinite

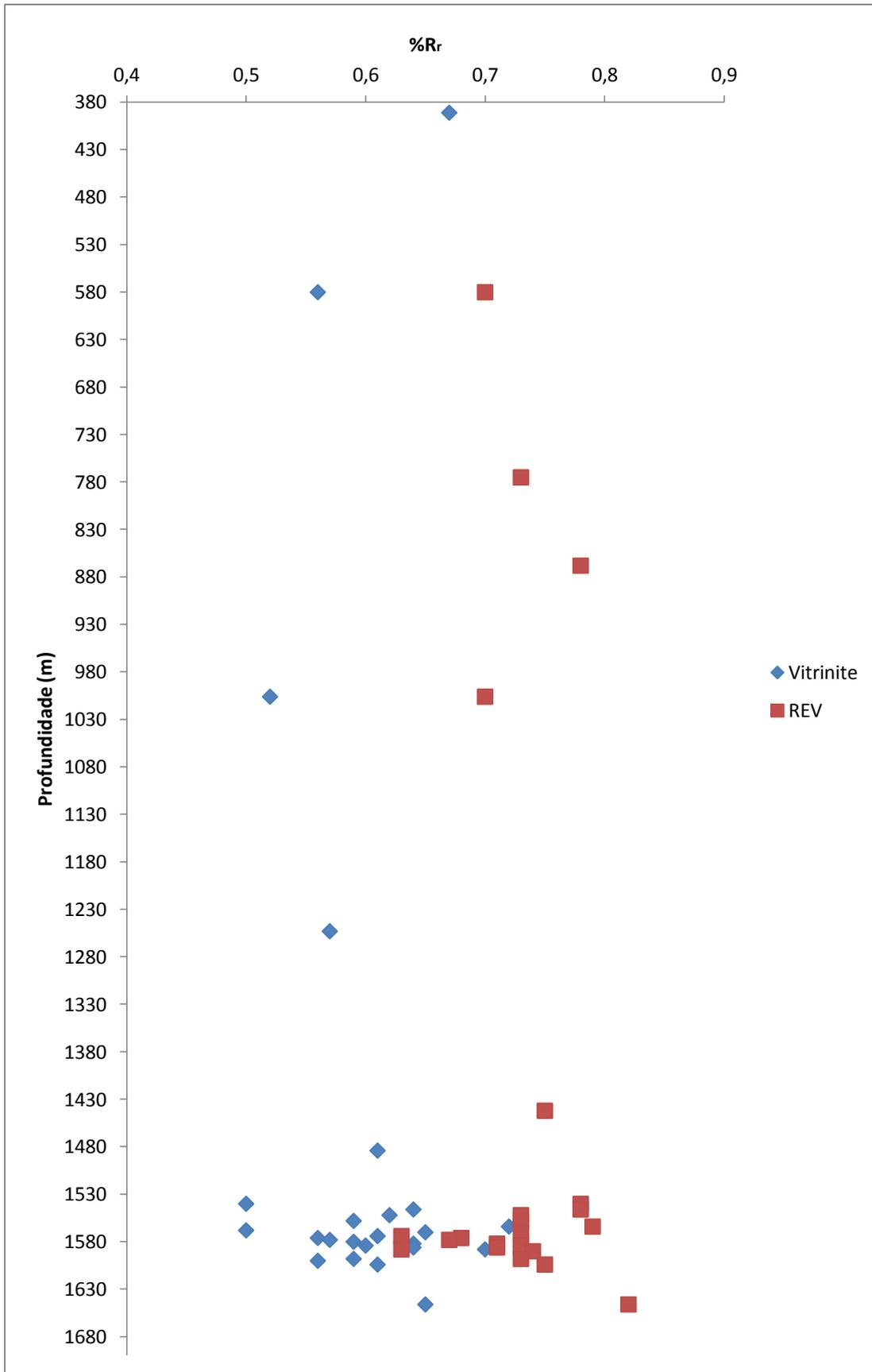


Figura 5.3 - Variação da reflectância da vitrinite e dos valores calculados para a reflectância equivalente da vitrinite (REV), com a profundidade.

- **Formação de Lemedede**

A abundância em material liptinítico, nomeadamente alginite e betuminite, permite inferir que a MOD é maioritariamente composta por um cerogénio tipo II (Tissot & Welte, 1984). Dados obtidos em estudos anteriores para esta mesma formação, mas efetuados na região de Peniche em amostras de afloramento, Oliveira et al. (2006) afirmam que o cerogénio predominante é do tipo III, enquanto que Ferreira et al. (2010) inferem que o cerogénio é do tipo IV, tendo o tipo III uma contribuição relevante.

A reflectância da vitrinite varia entre 0.50 e 0.72 %R_r (Figura 5.1.B), o que significa que a matéria orgânica presente nesta formação encontra-se no início da catagénese, em estado maturo (Tissot & Welte, 1984). Estes valores não são concordantes com os valores de 0.48 %R_r obtidos para a Formação de Lemedede em Ferreira et al. (2010). Neste estudo a MO encontra-se ainda num estado imaturo.

Foram identificadas quatro famílias de betumes sólidos (Figura 5.2). Segundo a classificação de Jacob (1989) para os betumes sólidos, estas famílias são grahamite (família B1), epi-impsonite (famílias B2 e B3) e meso-impsonite (família B4). A abundância das famílias de impsonite pode indicar uma possível presença de gás natural ou condensado (Jacob, 1989). Aplicando a equação de Jacob (1989) aos valores de reflectância dos betumes sólidos de grahamite, obtêm-se valores de reflectância equivalente da vitrinite (Tabela 5.1), que para algumas amostras desta formação, são concordantes com os valores de reflectância medidos na vitrinite (Figura 5.3).

Os valores de COT variam entre 0.47 e 0.61%, o que indica um conteúdo moderado em carbono orgânico (Peters & Cassa, 1994), tendo em conta que a formação possui fácies carbonatada. Estes valores, apesar de inferiores vão de encontro aos valores de COT indicados noutros estudos (Duarte et al., 2010; Ferreira et al., 2010; Oliveira et al., 2006). A integração dos dados obtidos permite inferir que a Formação de Lemedede tem fraco potencial de geração de hidrocarbonetos, podendo gerar quantidades reduzidas de gás (Peters et al., 2005).

O valor de RI, que varia num intervalo de 21 a 41 %, confirma a fácies carbonatada. A relação entre o COT e St inferior a 3, indica um ambiente deposicional redutor (Bernier, 1995; Borrego et al., 1998).

- **Formação de Vale das Fontes**

Esta formação caracteriza-se pela presença de inúmeras partículas pertencentes a todos os grupos de macerais, com especial abundância em alginite e betuminite. Pode-se assim afirmar, que a MOD é composta maioritariamente por um cerogénio tipo II. O mesmo tipo de cerogénio foi determinado para esta formação, nos estudos efetuados por Ferreira et al. (2010) e Oliveira et al. (2006), na área de Peniche.

A matéria orgânica presente nesta formação, de acordo com Tissot & Welte (1984), encontra-se no início da catagénesis e em estado maturo, uma vez que o poder refletor da vitrinite apresenta valores entre 0.56 e 0.70 %R_r (Figura 5.1.B). O mesmo não se verifica nas amostras de afloramento (Ferreira et al., 2010; Oliveira et al., 2006), em que a vitrinite apresenta valores de reflectância de 0.47 %R_r, estando assim a MO num estado imaturo.

É de notar a presença de betumes sólidos (Figura 5.2) da família B1 (grahamite) e B2 e B3 (ambas epi-impsonite), que podem indicar uma possível existência de gás natural ou condensado (Jacob, 1989). Aplicando a equação de Jacob (1989) aos valores de reflectância dos betumes sólidos de grahamite (Tabela 5.1), obtêm-se valores de reflectância equivalente da vitrinite concordantes com os valores medidos, para quase todas as amostras (Figura 5.3), o que indica que estes poderão ter a mesma origem da restante matéria orgânica.

Entre todas as amostras estudadas esta é a formação que apresenta o maior conteúdo em carbono orgânico. Os valores de COT variam entre 0.55 e 2.91%, sendo classificado como moderado a muito bom (Peters & Cassa, 1994). Estes valores estão de acordo com os valores obtidos nos estudos (Duarte et al., 2010; Ferreira et al., 2010; Oliveira et al., 2006; Silva et al., 2012), em que Vale das Fontes aparece como a formação da série Pliensbaquiano-Toarciano inferior, com maior conteúdo orgânico. A integração dos dados obtidos para esta formação permite dizer que a formação de Vale das Fontes tem um elevado potencial de geração de hidrocarbonetos (Peters et al., 2005).

A análise de RI, com variação de 25 a 50%, confirma que a fração carbonatada predomina relativamente à siliciclástica, quase na totalidade da formação. A relação entre o COT e St é inferior a 3, na grande maioria das amostras, o que indica um ambiente deposicional redutor (Berner, 1995; Borrego et al., 1998).

- **Formação de Água de Madeiros**

A abundância em alginite e betuminite, partículas do grupo da liptinite, relativamente aos restantes grupos de macerais, aponta para um cerogénio maioritariamente do tipo II (Tissot & Welte, 1984). No estudo Duarte et al. (2012), os autores determinaram na região de S. Pedro de Moel o mesmo tipo de cerogénio nesta formação.

O poder refletor determinado para a vitrinite, varia entre 0.56 a 0.61 %R_r (Figura 5.1.B). Encontra-se assim no início da catagénese, aludindo a uma matéria orgânica em estado maturo (Tissot & Welte, 1984). Este valor é superior ao valor de 0.43 %R_r determinado por Duarte et al. (2012), em que a matéria orgânica está num estado imaturo.

Identificaram-se 4 famílias de betumes sólidos (Figura 5.2), que segundo Jacob (1989) classificam-se como grahamite (família B1), epi-impsonite (famílias B2 e B3) e meso-impsonite (família B4). Para todas as famílias, a sua frequência é maior no membro da Praia de Pedra Lisa do que no membro de Polvoeira. A ocorrência das famílias de impsonite, aponta para uma possível existência de gás natural ou condensado (Jacob, 1989). Os valores de reflectância equivalente da vitrinite (Tabela 5.1), obtidos após a aplicação da fórmula de Jacob (1989) aos valores de reflectância dos betumes sólidos de grahamite, não são concordantes com os valores de reflectância da vitrinite medidos (Figura 5.3).

Em termos de conteúdo em carbono orgânico, da série estratigráfica estudada, esta é a segunda formação com valores de COT mais significativos. No membro da Praia de Pedra Lisa estes valores variam de 1.16 a 1.19 %, enquanto que o membro de Polvoeira tem um intervalo de 0.62 a 0.68 %. Estes valores indicam um conteúdo de moderado a bom em carbono orgânico (Peters & Cassa, 1994), que vai de encontro aos valores obtidos noutros estudos (Duarte et al., 2010, 2012). Contudo, para estes autores o membro de Polvoeira apresenta maior conteúdo em COT do que o membro da Praia de Pedra Lisa. A integração dos dados obtidos, permite inferir que a formação de Água de Madeiros tem um elevado potencial de geração de hidrocarbonetos (Peters et al., 2005), o que vai de encontro ao referido anteriormente por Duarte et al. (2012), Oliveira et al. (2006) e Silva et al., (2007, 2010).

O intervalo de 24 a 31 %, correspondente aos valores de RI, confirma a fácies carbonatada desta formação. A relação entre o COT e St é inferior a 3, o que indica um ambiente deposicional redutor (Berner, 1995; Borrego et al., 1998).

- **Formação de Coimbra**

Nesta formação, uma vez que o material liptinítico, nomeadamente alginite e betuminite, abunda relativamente ao restante, pode-se apontar uma MOD maioritariamente composta por cerogénio tipo II (Tissot & Welte, 1984).

As partículas de vitrinite identificadas, têm uma refletância de 0.65 %R_r (Figura 5.1.B), que indica um estado maturo da MO, inserida no estágio da catagénese (Tissot & Welte, 1984). Este valor não é concordante com a reflectância de 0.45 %R_r obtida no estudo de Poças Ribeiro et al. (2013), em S. Pedro de Moel e Peniche, que indica um estado imaturo da MO.

Os betumes sólidos identificados (Figura 5.2), tendo em conta a classificação de Jacob (1989), são grahamite (família B1), epi-impsonite (famílias B2 e B3) e meso-impsonite (família B4). A presença dos betumes sólidos em quantidade considerável, destas famílias de betumes, pode indicar uma possível presença de gás natural ou condensado (Jacob, 1989). O valor de reflectância equivalente da vitrinite, obtido pela aplicação da equação de Jacob (1989) à reflectância dos betumes sólidos grahamite (Tabela 5.1), não é concordante com a reflectância da vitrinite medida (Figura 5.3).

Os valores de COT variam entre 0.17 e 0.41%, o que indica um conteúdo pobre em carbono orgânico (Peters & Cassa, 1994), tendo em conta que a formação possui fácies carbonatada, tal como indicam os baixos valores de RI. Poças Ribeiro et al. (2013) afirmam que nas suas áreas de estudo a Formação de Coimbra é rica em MO, tendo alguns horizontes desta formação atingido valores de COT de 8.8 %. A integração dos dados obtidos para esta formação permite inferir que esta tem um baixo potencial de geração de hidrocarbonetos (Peters et al., 2005).

Aplicando a relação entre COT e St, percebe-se que esta formação apresenta ambiente deposicional redutor, visto que esta é inferior a 3 (Berner, 1995; Borrego et al., 1998).

6. Conclusão

Este trabalho tinha como objetivos a caracterização da MOD nas amostras em análise, para definir o tipo de cerogénio, estimar a maturação térmica da MO e avaliar o potencial de geração de hidrocarbonetos.

Os diferentes grupos de macerais podem ser encontrados em todas as formações estudadas. A MOD é essencialmente composta de liptinite (alginite e betuminite), vitrinite e betumes sólidos. Identificou-se um cerogénio maioritariamente tipo II, uma vez que o material liptínico (alginite e betuminite) abunda relativamente ao restante material.

A reflectância medida nas partículas de vitrinite, apontam para uma matéria orgânica madura em todas as formações, estando já inserida no estágio da catagénese.

As diferentes características, tais como refletância e cor de fluorescência, permitiram distinguir quatro diferentes famílias de betumes sólidos. A família B1, corresponde a grahamite, a B2 e B3, são epi-impsonites, enquanto que a B4, é de meso-impsonite.

Os valores mais elevados de COT, tendo em conta a fácies carbonatada, são encontrados nas formações de Vale das Fontes e Água de Madeiros, que apresentam elevado potencial para a geração de hidrocarbonetos.

A relação entre os valores de COT e de St permite inferir em todas as formações um ambiente deposicional redutor

7. Atlas Petrográfico

Este capítulo é constituído por um atlas petrográfico, que ilustra os aspetos mais significativos, a nível de composição orgânica e mineralógica, de cada formação estudada. São assim apresentadas figuras dos macerais que caracterizam as formações de Lemedo, Vale das Fontes, Água de Madeiros e Coimbra, bem como da componente mineralógica mais abundante. Pode-se observar que estas formações têm composição semelhante, tanto na fração orgânica como na inorgânica. Destaque, primeiramente, para a Formação de Vale das Fontes, e em seguida, para a Formação de Água de Madeiros, que são ambas ricas em matéria orgânica. Os aspetos observados neste atlas, revelam-se de enorme importância na caracterização petrográfica de cada formação estudada. A sua interpretação permitiu atingir os objetivos que se proponham para este trabalho.

7.1. Formação de Lemedo

A - Partícula de inertinite em luz branca refletida (ALC1528).

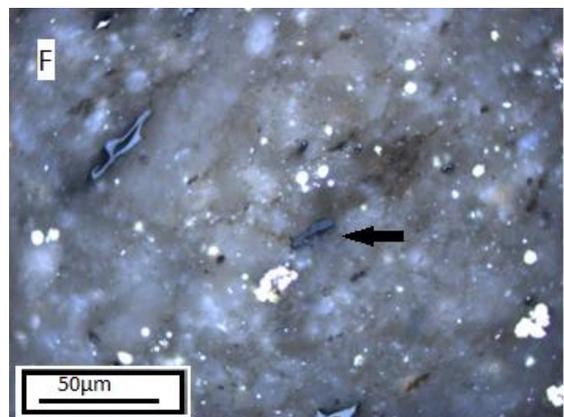
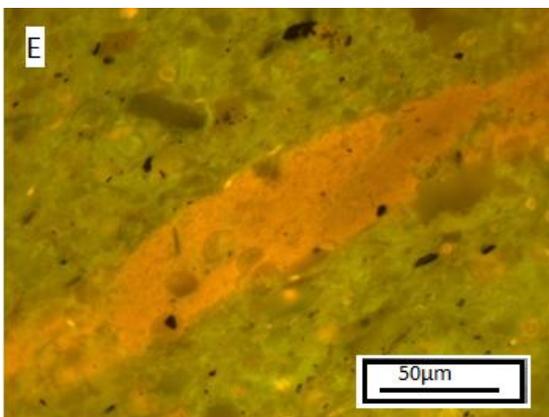
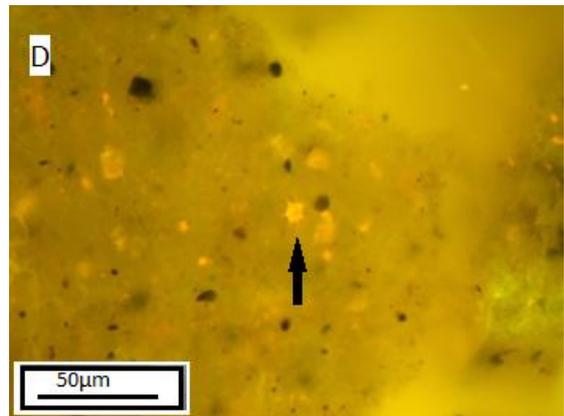
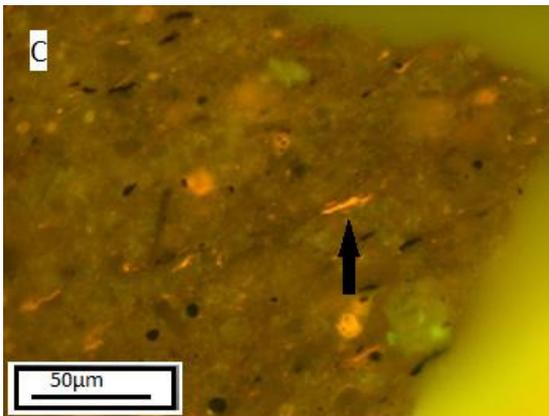
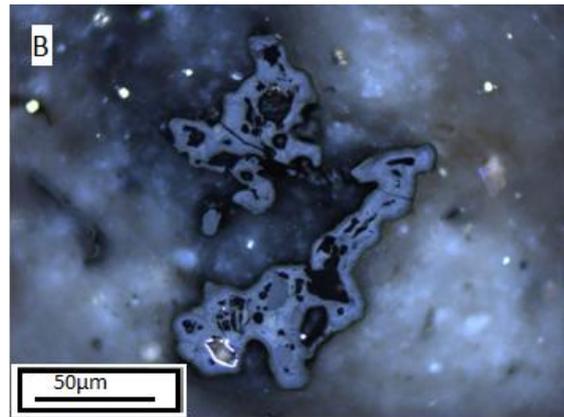
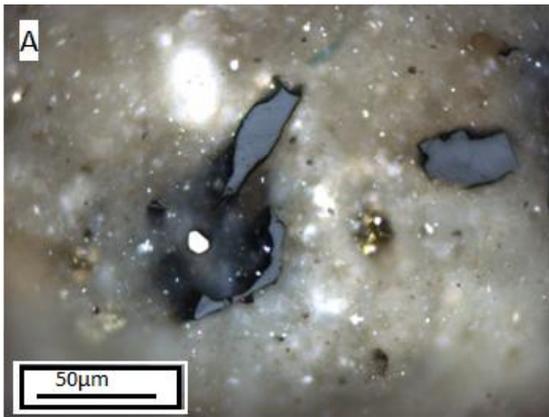
B - Partícula de inertinite em luz branca refletida (ALC1540).

C - Partícula de alginite em luz azul incidente (ALC1558).

D - Partícula de alginite (cisto de dinoflagelado) em luz azul incidente (ALC1528).

E - Betuminite em luz azul incidente (ALC1552).

F - Partícula de vitrinite em luz branca refletida (ALC1552).



G - Partícula de betume sólido B1 em luz branca refletida (ALC1552).

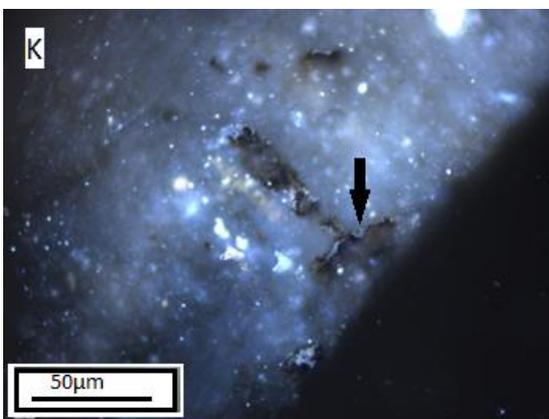
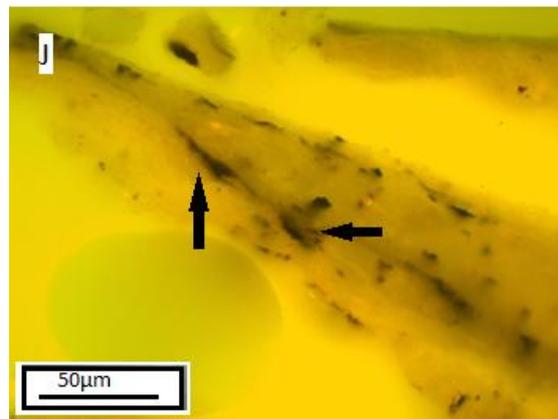
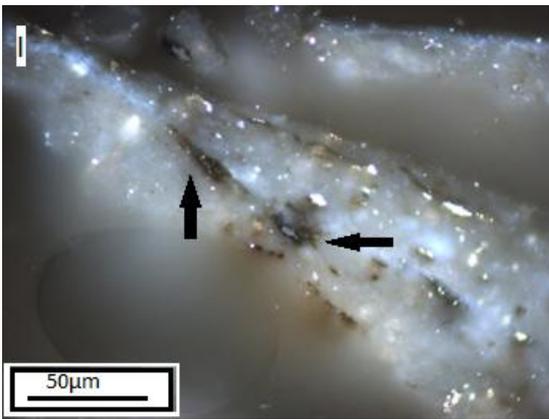
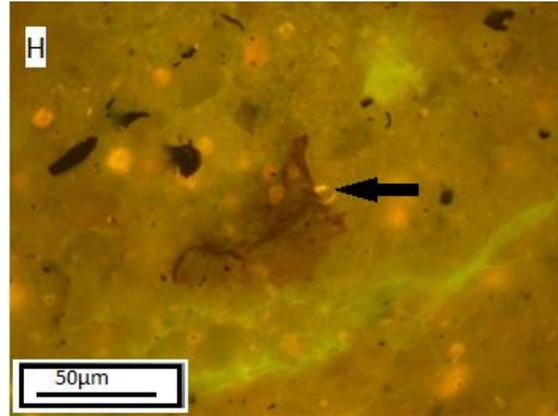
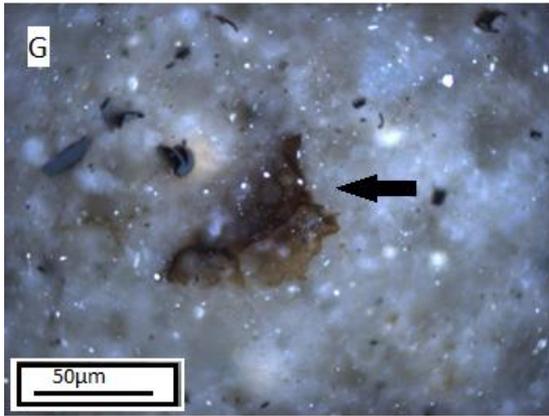
H - Partícula de betume sólido B1 em luz azul incidente (ALC1552).

I - Partícula de betume sólido B2 em luz branca refletida (ALC1540).

J - Partícula de betume sólido B2 em luz azul incidente (ALC1540).

K - Partícula de betume sólido B3 em luz branca refletida (ALC1558).

L - Partícula de betume sólido B3 em luz branca refletida (ALC1528).



7.2. Formação de Vale das Fontes

A - Partícula de inertinite em luz branca refletida (ALC1572).

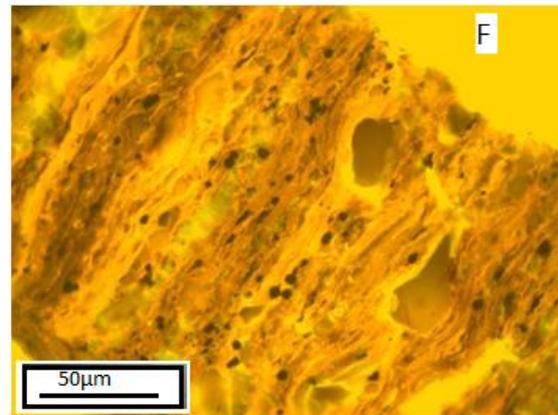
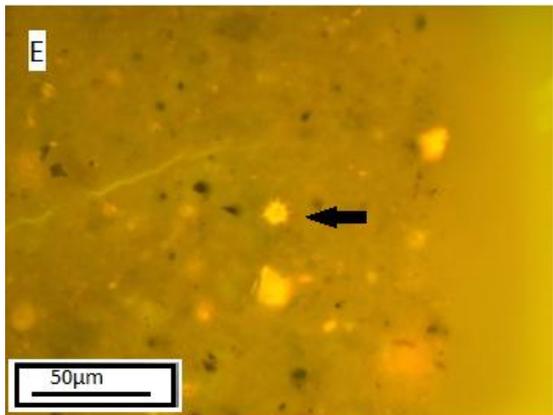
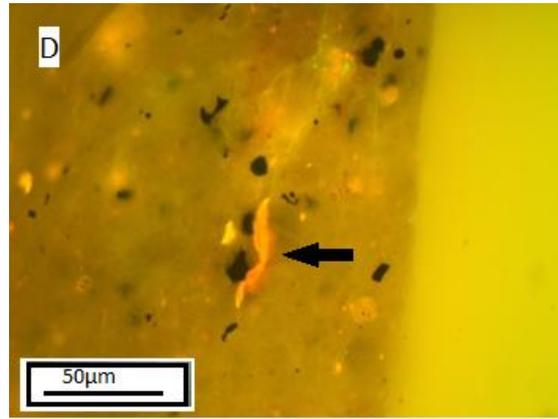
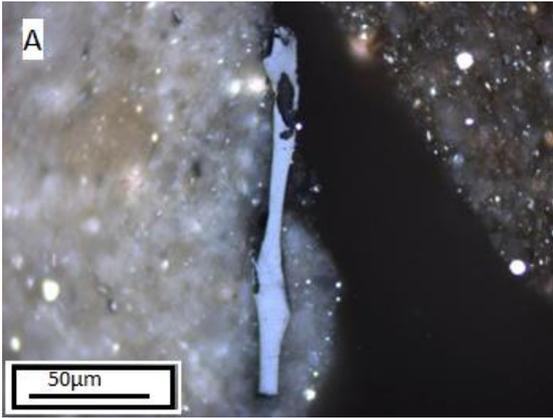
B - Partícula de inertinite em luz branca refletida (ALC1572).

C - Partícula de inertinite em luz branca refletida (ALC1568).

D - Partícula de alginite em luz azul incidente (ALC1574).

E - Partícula de alginite (cisto de dinoflagelado) em luz azul incidente (1576).

F - Betuminite em luz azul incidente (ALC1574).



G - Partícula de betume sólido B1 em luz branca refletida (ALC1578).

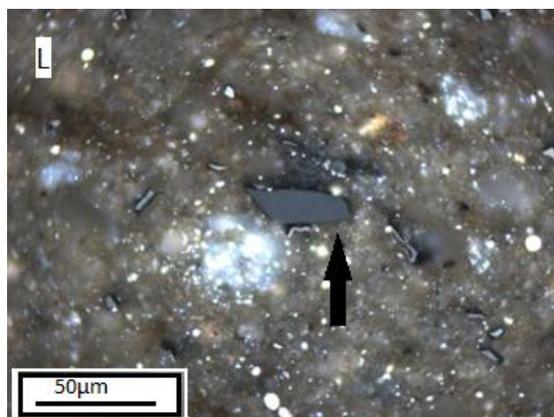
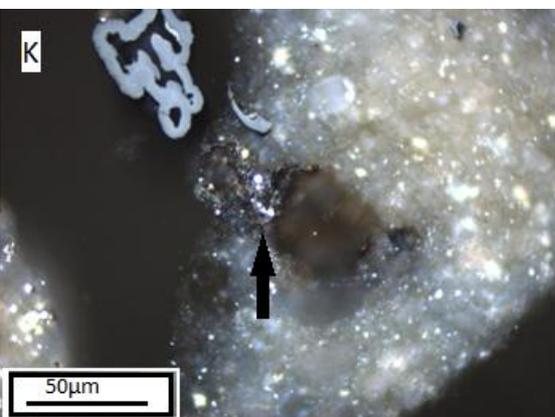
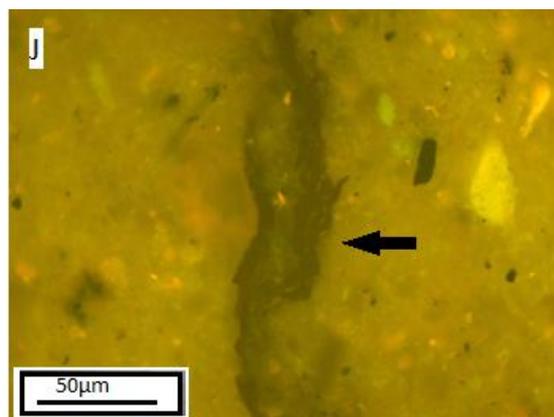
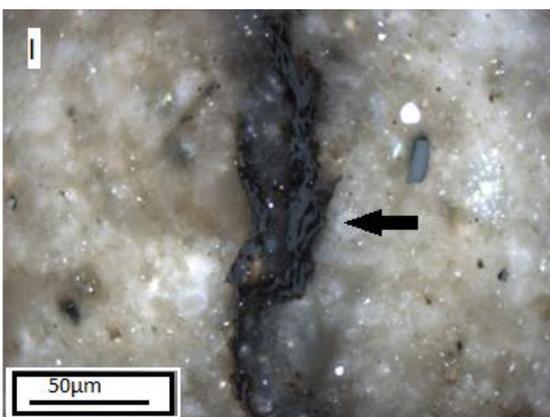
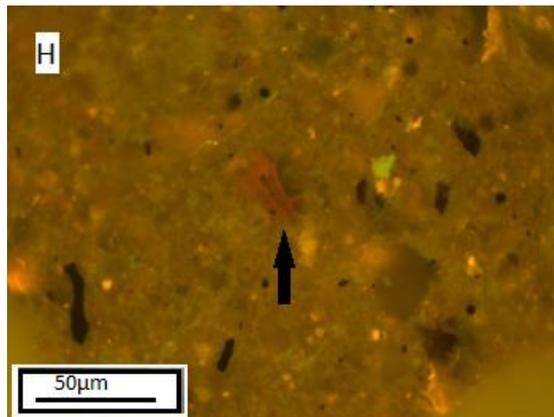
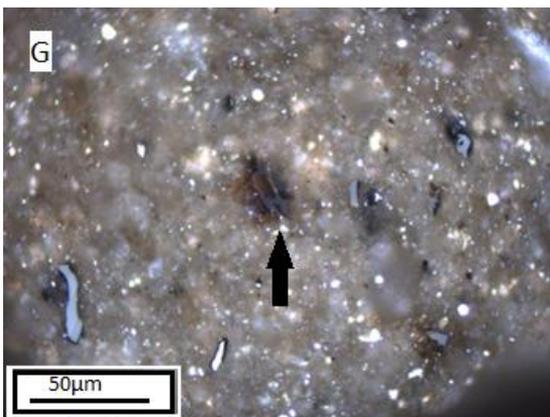
H - Partícula de betume sólido B1 em luz azul incidente (ALC1578).

I - Partícula de betume sólido B2 em luz branca refletida (ALC1570).

J - Partícula de betume sólido B2 em luz azul incidente (ALC1570).

K - Partícula de betume sólido B3 em luz branca refletida (ALC1568).

L - Partícula de vitrinite em luz branca refletida (ALC1588).



7.3. Formação de Água de Madeiros

A - Partícula de inertinite em luz branca refletida (ALC1598).

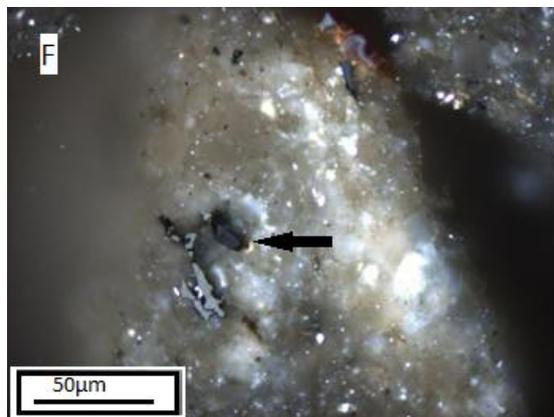
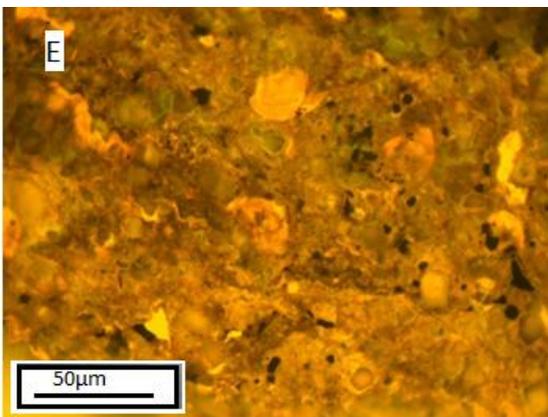
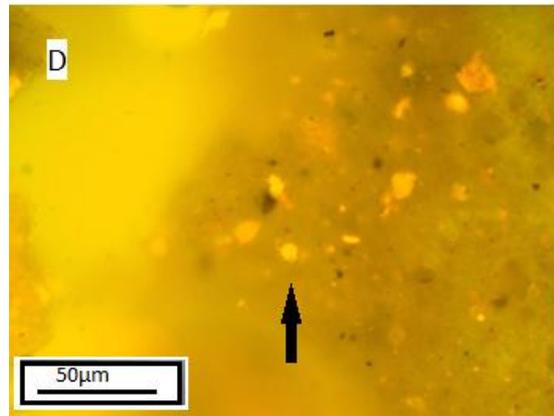
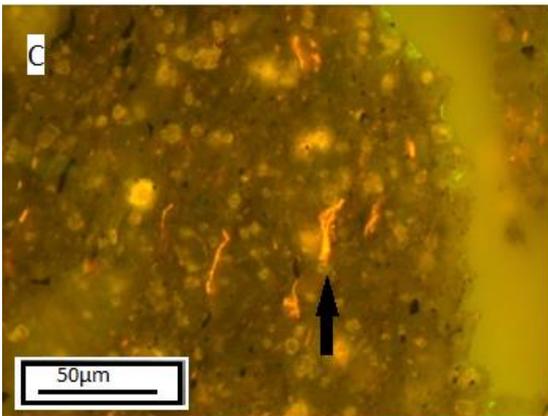
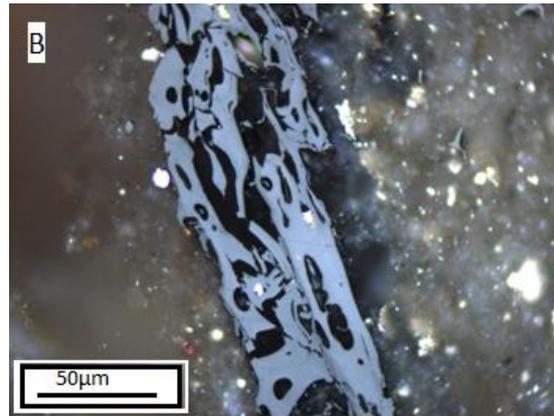
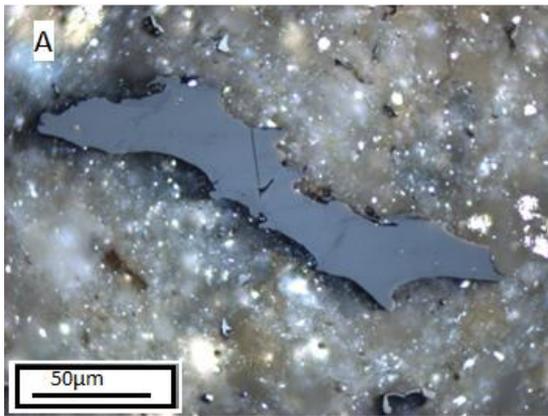
B - Partícula de inertinite em luz branca refletida (ALC1598).

C - Partícula de alginite em luz azul incidente (ALC1590).

D - Partícula de alginite (cisto de dinoflagelado) em luz azul incidente (ALC1590).

E - Betuminite em luz azul incidente (ALC1598).

F - Partícula de vitrinite em luz branca refletida (ALC1604).



G - Partícula de betume sólido B1 em luz branca refletida (ALC1598).

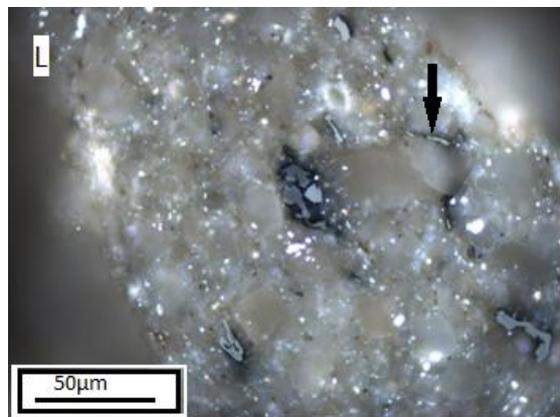
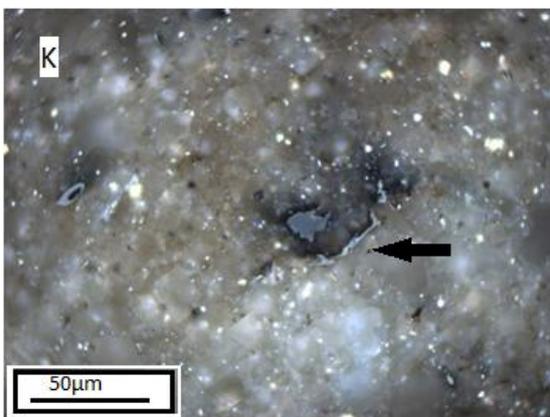
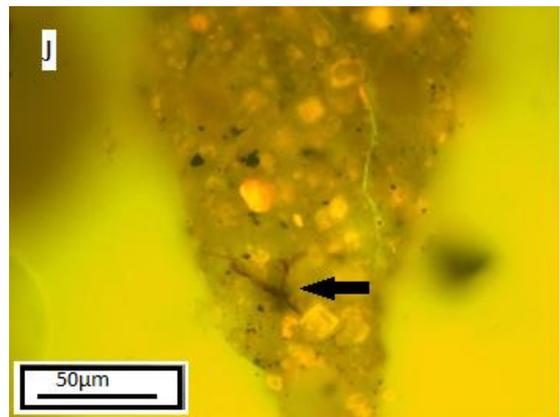
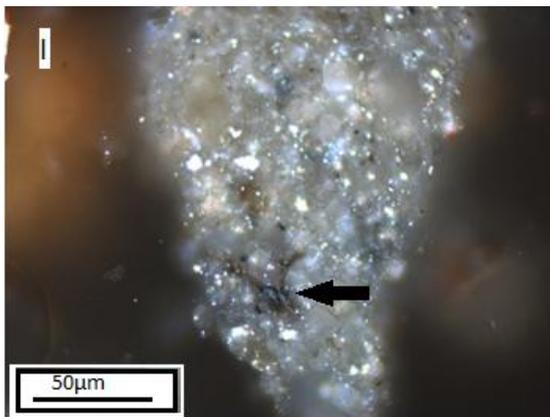
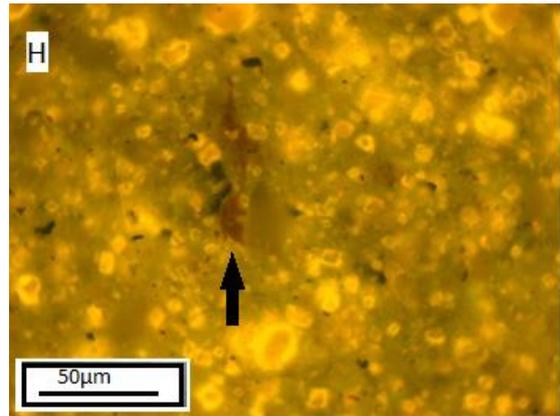
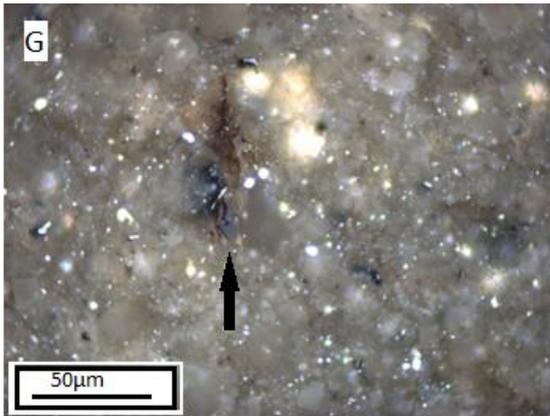
H - Partícula de betume sólido B1 em luz azul incidente (ALC1598).

I - Partícula de betume sólido B2 em luz branca refletida (ALC1590).

J - Partícula de betume sólido B2 em luz azul incidente (ALC1590).

K - Partícula de betume sólido B3 em luz branca refletida (ALC1604).

L - Partícula de betume sólido B4 em luz branca refletida (ALC1604).



7.4. Formação de Coimbra

A - Partícula de inertinite em luz branca refletida (ALC1638).

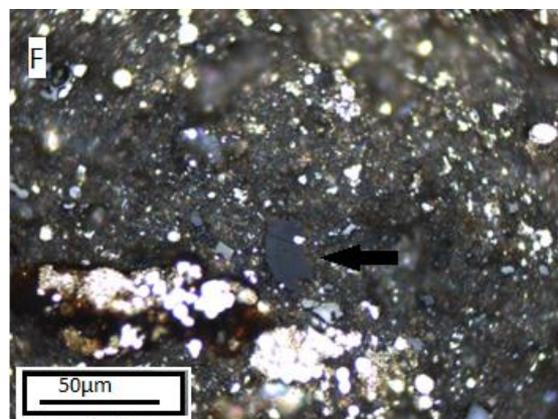
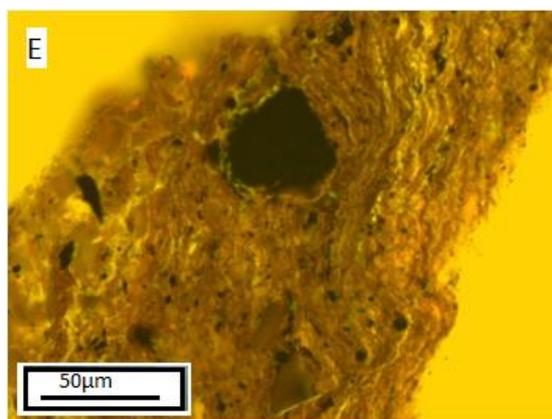
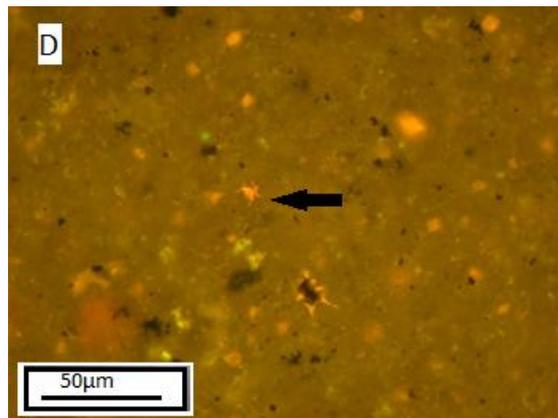
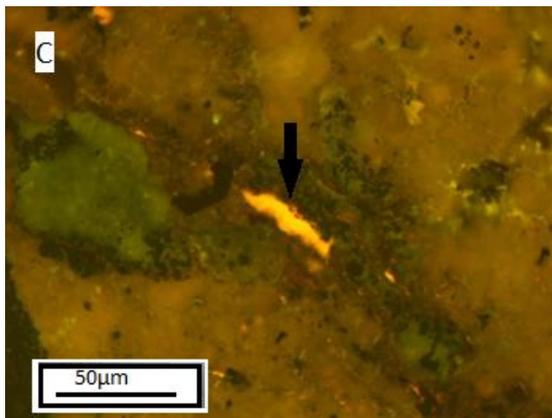
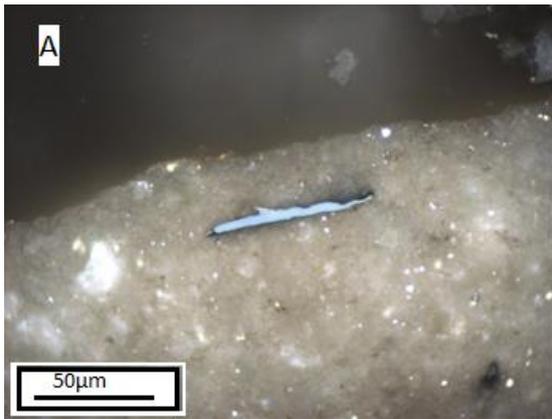
B - Partícula de inertinite em luz branca refletida (ALC1638).

C - Partícula de alginite em luz azul incidente (ALC1638).

D - Partícula de alginite (cisto de dinoflagelado) em luz azul incidente (ALC1638).

E - Betuminite em luz azul incidente (ALC1646).

F - Partícula de vitrinite em luz branca refletida (ALC1646).



G - Partícula de betume sólido B1 em luz branca refletida (ALC1686).

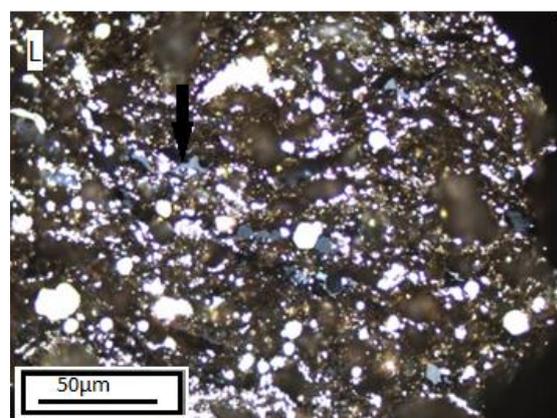
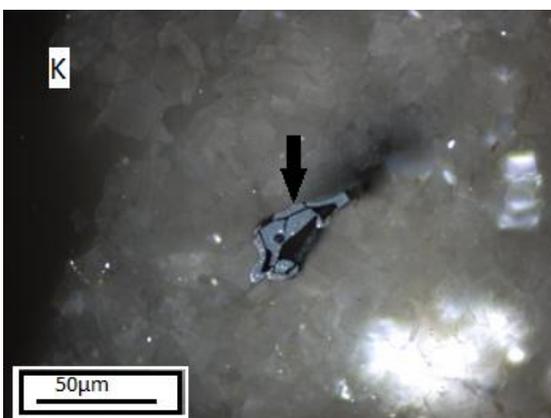
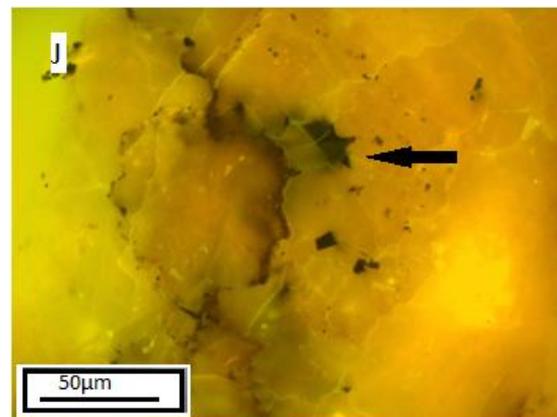
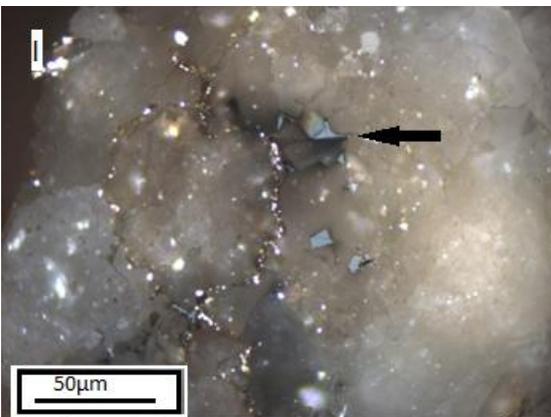
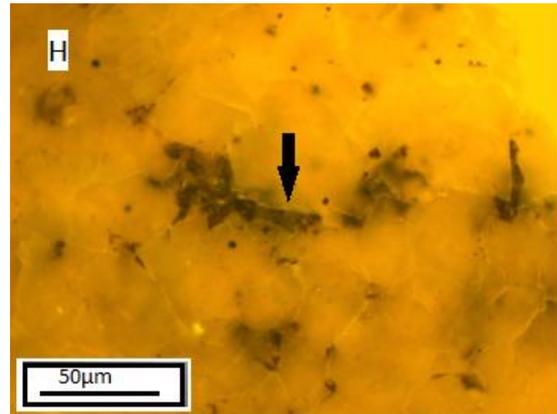
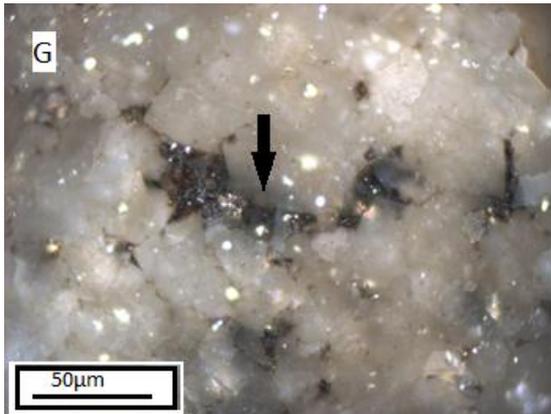
H - Partícula de betume sólido B1 em luz azul incidente (ALC1686).

I - Partícula de betume sólido B2 em luz branca refletida (ALC1694).

J - Partícula de betume sólido B2 em luz azul incidente (ALC1694).

K - Partícula de betume sólido B3 em luz branca refletida (ALC1670).

L - Partícula de betume sólido B4 em luz branca refletida (ALC1660).



Bibliografia

Alves, T. M., Gawthorpe, R. L., Hunt, D. H., Monteiro, J. H., 2003. Post-Jurassic tectono-sedimentary evolution of the Northern Lusitanian Basin (Western Iberian margin). *Basin Research* 15 (2), 227-249.

Antunes, M. T., Rocha, R. B., Wenz, S., 1981. Faunule ichtyologique ddu Lias inférieur de S. Pedro de Muel, Portugal. *Ciências Terra (UNL)* 6, 101-116.

ASTM D2797-11a. Petrographic Analysis of Coal and Coke: Standard Practice for Preparing Coal Samples for Microscopical Analysis by Reflected Light.

ASTM D7708-11. Analysis by Reflected Light: Standard Test Method for Microscopical Determination of the Reflectance of Vitrinite Dispersed in Sedimentary Rocks.

Azerêdo, A.C., Duarte, L.V., Henriques, M.H., Manupella, G., 2003. Da dinâmica continental no Triásico aos mares do Jurássico Inferior e médio. *Cadernos de Geologia de Portugal*. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 43p.

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.

Choffat, P., 1903. L'Infralias et le Sinémurien au Portugal. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal* 5, 49-114, Lisboa.

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

Dromart, G., Elmi, S., 1986. Développement de structures cryptalgaires en domaine pélagique au cours de l'ouverture des bassins jurassiques (Atlantique Central, Téthys occidentale). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 303, 311-316.

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 (Lower Jurassic), Lusitanian Basin, Portugal. *Journal of Petroleum Geology* 35, 105-126.

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. V., 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.L., Oliveira, L.C.V., Comas-Rengifo, M.J., 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., Soares, A. F., 2002. Litoestratigrafia das séries margo-calcárias do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica (Portugal). *Comunicação do Instituto Geológico e Mineiro* 89, Lisboa, pp. 115-134.

Elmi, S., Rocha, R., Mouterde, R., 1988. Sédimentation pélagique et encroûtements cryptalgaires: les calcaires grumeleux du Carixien portugais. *Ciências Terra (UNL)* 9, 69-90.

Fernández-López, S., Duarte, L. V., Henriques, M. H., 2000. Ammonites from lumpy limestones in the Lower Pliensbachian of Portugal: taphonomic analysis and paleoenvironmental implications. *Revista de la Sociedad Geológica de España* 13 (1), 3-15, Madrid.

Ferreira, R., Mendonça Filho, J.G., Duarte, L. V., Silva, R.L., Mendonça, J.O., 2010. Variação organofaciológica na sucessão rica em matéria orgânica do Pliensbaquiano de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal). In: *Actas X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa/XVI Semana de Geoquímica*, Porto (Resumos pp. 104; CD pp. 301-308).

Hamilton, G., 1977. Early Jurassic calcareous nannofossils from Portugal and their biostratigraphic use. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 70 (2), 575-597.

Hamilton, G., 1979. Lower and Middle Jurassic calcareous nannofossils from Portugal. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 72 (1), 1-17.

International Committee for Coal Petrology - ICCP, International Handbook of Coal Petrography, Supplement to the 2nd Ed. Centre National de la Recherche Scientifique, Academy of Sciences of the USSR, Paris, Moscow, 1971.

ICCP, 1998. The new vitrinite classification (ICCP System 1994). Fuel 77, 349-358.

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.

Kullberg, J.C. 2000. Evolução tectónica mesozóica da Bacia Lusitânica. Tese de Doutoramento (Não publicada), Univ. Nova de Lisboa, Portugal.

Kullberg, J.C., Rocha, R.B., Soares, A.F., Rey, J., Terrinha, P., Azerêdo, A.C., Callapez, P., Duarte, L.V., Kullberg, M.C., Martins, L., Miranda, R., Alves, C., Mata, J., Madeira, J., Mateus, O., Moreira, M., Nogueira, C.R., 2013. A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J. C. (Eds.), Geologia de Portugal, Vol. II, Geologia Meso-cenozóica de Portugal; Livraria Escolar Editora, Lisboa, Cap.III.3, 195-347.

Marques, M.M., Flores, D., 2003. Petrologia dos combustíveis fósseis. In: Seminário de Recursos geológicos energéticos. A visão da geologia económica. Resumos, p: 40-47. Departamento de Geociências, Universidade de Évora, Janeiro de 2003.

Mendonça Filho, J.G. 2010. Geoquímica do Petróleo. In: Flores, D., Marques, M., (Eds.), XVI Semana de Geoquímica/X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Porto, Memórias 16, 3-56.

Mouterde, R., 1967. Le lias moyen de S. Pedro de Muel (Portugal). Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal 52, 185-208.

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.

N'Zaba-Makaya, O., Andreu, B., Brunel, F., Mouterde, R., Rey, J., Rocha, R. B., 2003. Biostratigraphie et paléoécologie des peuplements d'ostracodes dans le Domérien du Bassin Lusitanien, Portugal. *Ciências Terra (UNL)* 15, 21-44.

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.

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.

Peters, K.E., Walters, C.C., Moldovan, J.M. 2005. *The Biomarker Guide. Vol 2, Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History*, second Ed, Cambridge University Press, 1155p.

Poças Ribeiro, N., Mendonça Filho, J. G., Duarte, L. V., Silva, R. L., Mendonça, J. 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.

Rey, J., Bonnet, L., Brunel F., Ruget, C., Cubaynes, R., Mouterde, R., Rocha, R. B., 2000. Comparaison des associations de Foraminifères dans le Domérien des Bassins Aquitain (France) et Lusitanien (Portugal). *Geobios* 33 (2), 135-144.

Ribeiro, A., Antunes, M.T., Ferreira, M.P., Rocha, R.B., Soares, A.F., Zbyszewski, G., Moitinho de Almeida, F., Carvalho, D., Monteiro, J.H., 1979. *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 114p.

Ribeiro, A., Silva, J. B., Cabral, J., Dias, R., Fonseca, P., Kullberg, M. C., Terrinha, P., Kullberg, J. C., 1996. *Tectonic of the Lusitanian Basin. Final Report*, Proj. MILUPOBAS, Contract nº JOU-CT94, ICTE/GG/GeoFCUL; 126, Lisboa.

Rocha, R. B. (Coord.), Marques, B. L., Kullberg, J. C., Caetano, P. C., Lopes, C., Soares, A. F., Duarte, L. V., Marques, J. F., Gomes, C. R., 1996. *The 1st and 2nd rifting phases of the Lusitanian Basin: stratigraphy, sequence analysis and sedimentary evolution. Final Report C. E. C. Proj. MILUPOBAS*, 4, Lisboa.

Rocha, R. B., Soares, A. F., 1984. Algumas reflexões sobre a sedimentação jurássica na orla meso-cenozóica ocidental de Portugal. *Memórias e Notícias da Universidade de Coimbra* 97, 133-142.

Ruget, C., 1985. Les Forminifères (Nodosariidés) du Lias de l'Europe occidentale. *Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon* 94, 1-294.

Silva, R., Duarte, L., Azerêdo, A., Mendonça Filho, J., 2011. Contributos sedimentológicos e geoquímicos para a modelação dos sistemas petrolíferos portugueses: as séries jurássicas ricas em matéria orgânica da Bacia Lusitânica (Portugal). *Simpósio Modelação de Sistemas Geológicos, Homenagem ao Professor Manuel Maria Godinho*.

Silva, R.L., Duarte, L.V., Mendonça Filho, J.G., 2013. Optical and geochemical characterization of Upper Sinemurian (Lower Jurassic) fossil wood from the Lusitanian Basin (Portugal). *Geochemical Journal* 47, 489–498.

Silva, R.L., Mendonça Filho, J.G., Da Silva, F.S., Duarte, L.V., Silva, T.F., Ferreira, R., Azerêdo, A.C., 2012. Can biogeochemistry aid in the palaeoenvironmental/early diagenesis reconstruction of the ~187 Ma (Pliensbachian) organic-rich hemipelagic series of the Lusitanian Basin (Portugal)? *Bulletin of Geosciences* 87, 373–382.

Silva, F., Duarte, L.V., Oliveira, L.C.V., 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.). *Vila Real, Proceedings of XV Semana de Geoquímica no VI congresso Ibérico de Geoquímica. Geoquímica Orgânica*, 12, pp. 564-567.

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., Marques, J. F., Sequeira, A. D., colaboradores, 2007. *Carta Geológica de Portugal, na escala 1/50 000. Notícia explicativa da Folha 19-D, Coimbra-Lousã. INETI*, 1-71, Lisboa.

Stopes, M.C., 1935. On the petrology of banded bituminous coals. *Fuel*, 14, 4-13.

Sýkorova, I., Pickel, W., Christanis, K., Wolf, M., Taylor, G.H., Flores, D., 2005. Classification of huminite—ICCP System 1994. *International Journal of Coal Geology* 62, 85-106.

Taylor, G. H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C. F. K., Littke, R., Robert, P., 1998. *Organic Petrology*; Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, 704 p.

Tissot, B. P., Welte, D. H., 1984. *Petroleum Formation and Occurrence* (Second revised edition), Springer-Verlag, Berlin, 699p.

Wilson, R. C. L., Sawyer, D. S., Whitmarsh, R. B., Zerong, J., Carbonnel, J., 1996. Seismic stratigraphy and tectonic history of the Iberian Abyssal Plain. *Proceedings of the Ocean Drilling Program - Scientific Results*, 149, 617-633, College Station.

Anexos

Anexo I. Histogramas de distribuição de vitrinite e de betumes sólidos, identificados nas amostras entre transições e nas Formações.

- Amostra ALC391

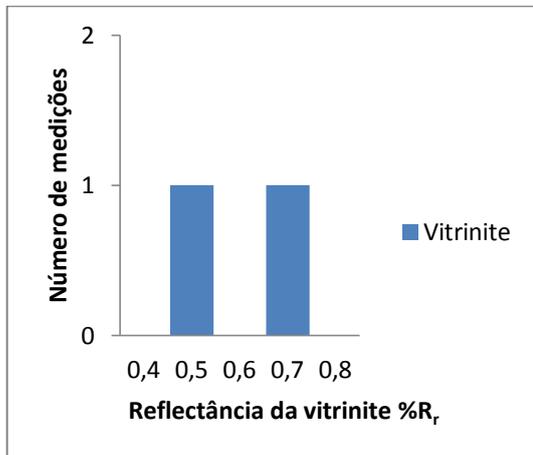


Figura I.1 - Histograma que relaciona a abundância e reflectância da vitrinite.

- Amostra ALC580

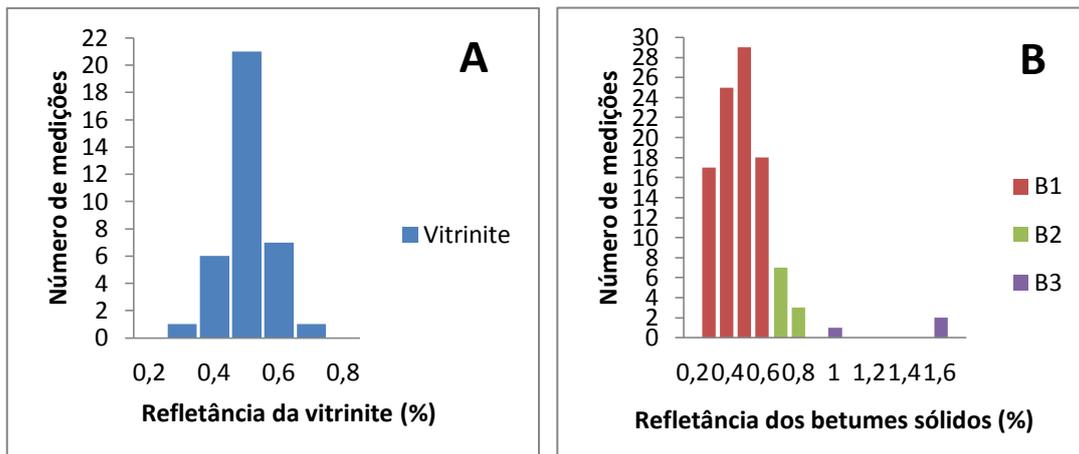


Figura I.2 - Histograma que relaciona a abundância e reflectância da vitrinite (A) e das diferentes famílias de betumes sólidos (B).

- Amostra ALC775

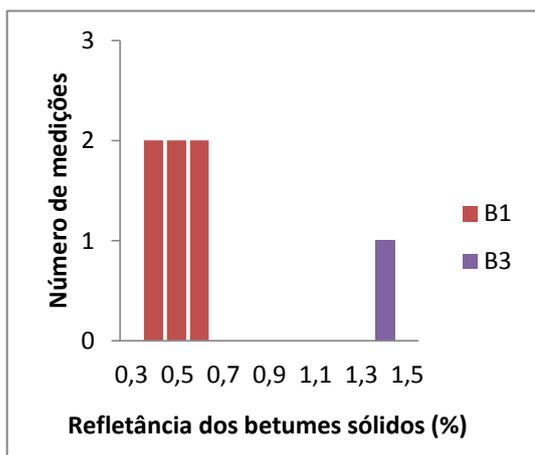


Figura I.3- Histograma que relaciona a abundância e reflectância das diferentes famílias de betumes sólidos.

- Amostra ALC868

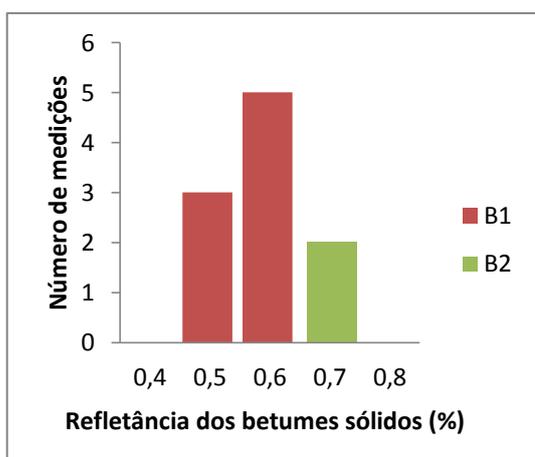


Figura I.4 - Histograma que relaciona a abundância e reflectância das diferentes famílias de betumes sólidos.

- Amostra ALC1006

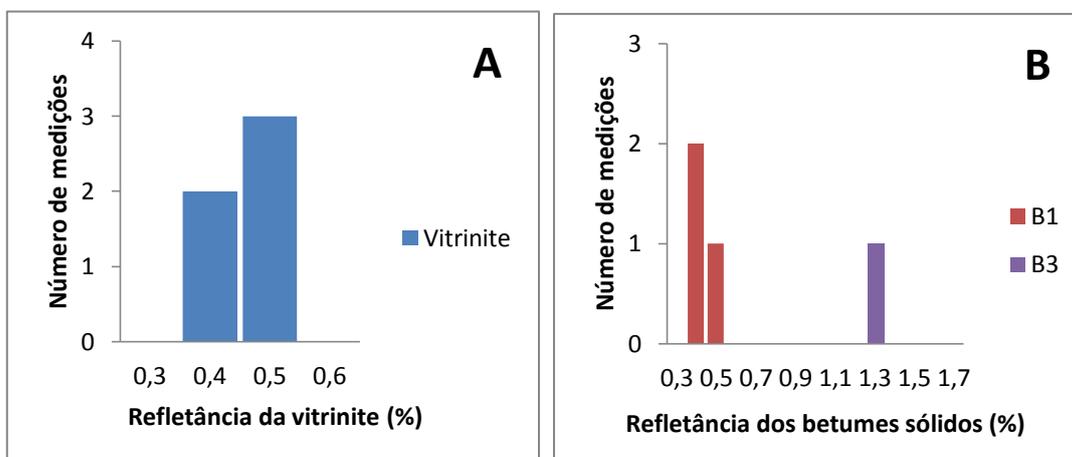


Figura I.5 - Histograma que relaciona a abundância e reflectância da vitrinite (A) e das diferentes famílias de betumes sólidos (B).

• Amostra ALC1253

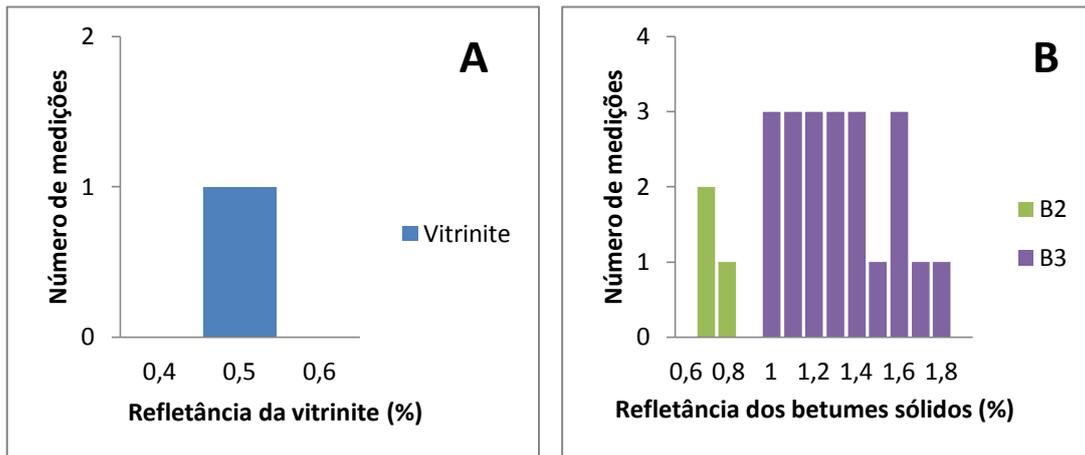


Figura I.6 - Histograma que relaciona a abundância e reflectância da vitrinite (A) e das diferentes famílias de betumes sólidos (B).

• ALC1442

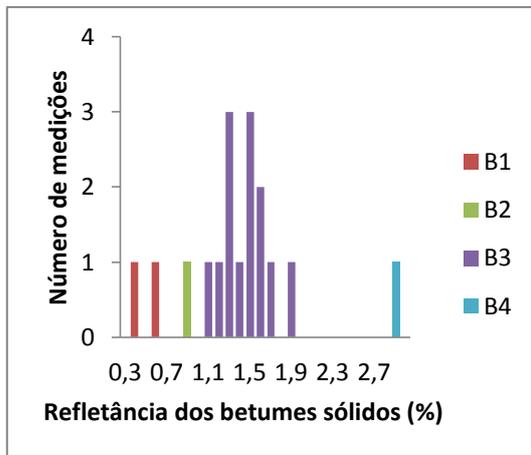


Figura I.7 - Histograma que relaciona a abundância e reflectância das diferentes famílias de betumes sólidos.

• Amostra ALC1484

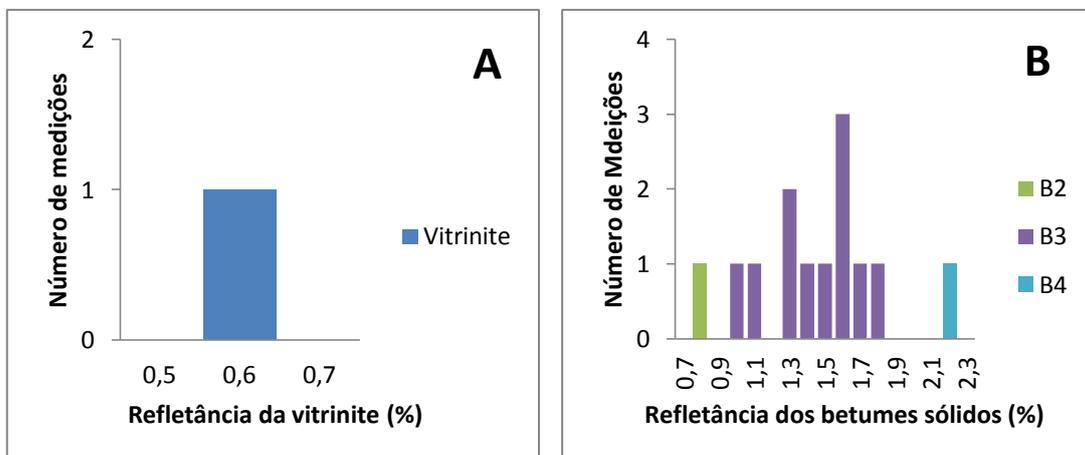


Figura I.8 - Histograma que relaciona a abundância e reflectância da vitrinite (A) e das diferentes famílias de betumes sólidos (B).

- Formação de Lemede

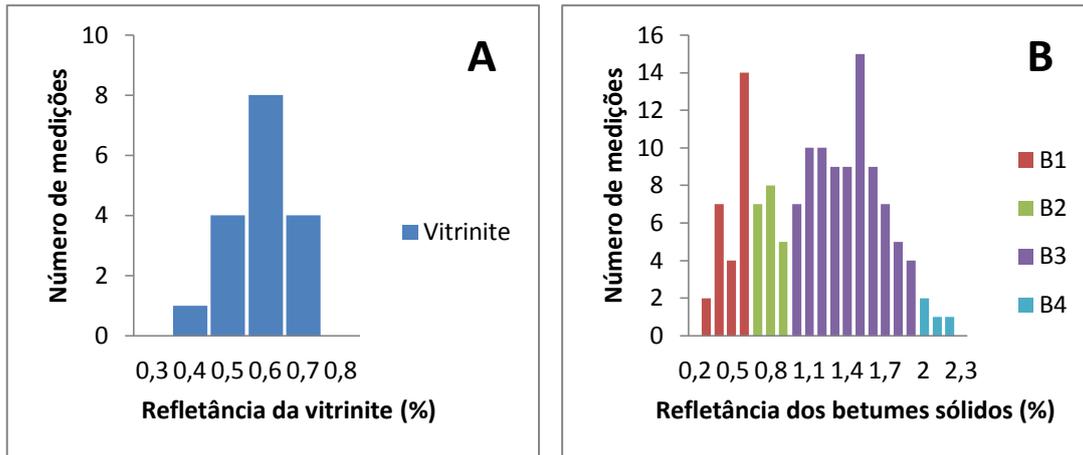


Figura I.9 - Histograma que relaciona a abundância e reflectância da vitrinite (A) e das diferentes famílias de betumes sólidos (B).

- Formação de Vale das Fontes

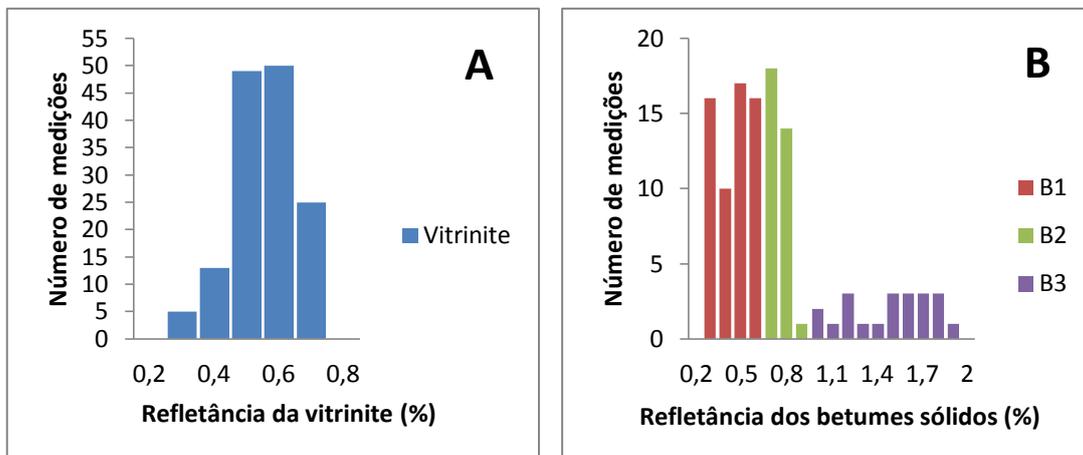


Figura I.10 - Histograma que relaciona a abundância e reflectância da vitrinite (A) e das diferentes famílias de betumes sólidos (B).

- Formação de Água de Madeiros

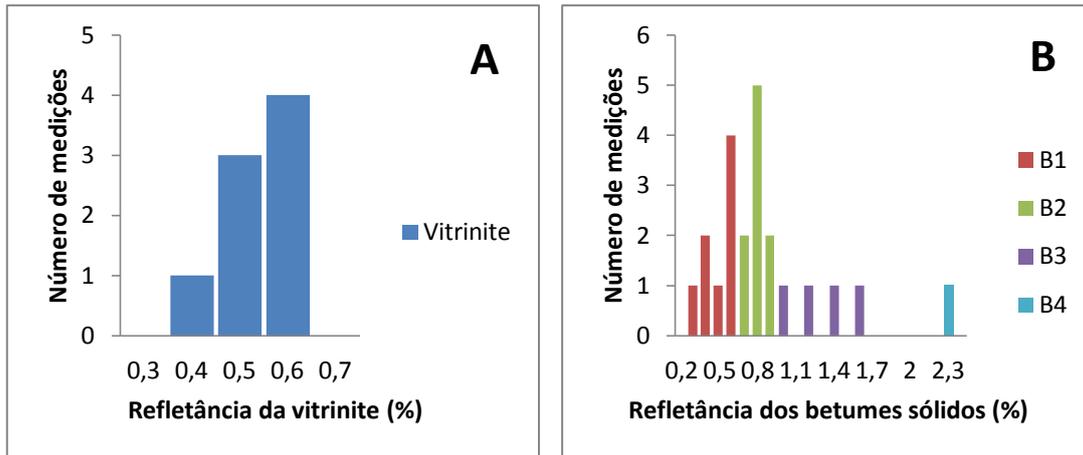


Figura I.11 - Histograma que relaciona a abundância e reflectância da vitrinite (A) e das diferentes famílias de betumes sólidos (B).

- Formação de Coimbra

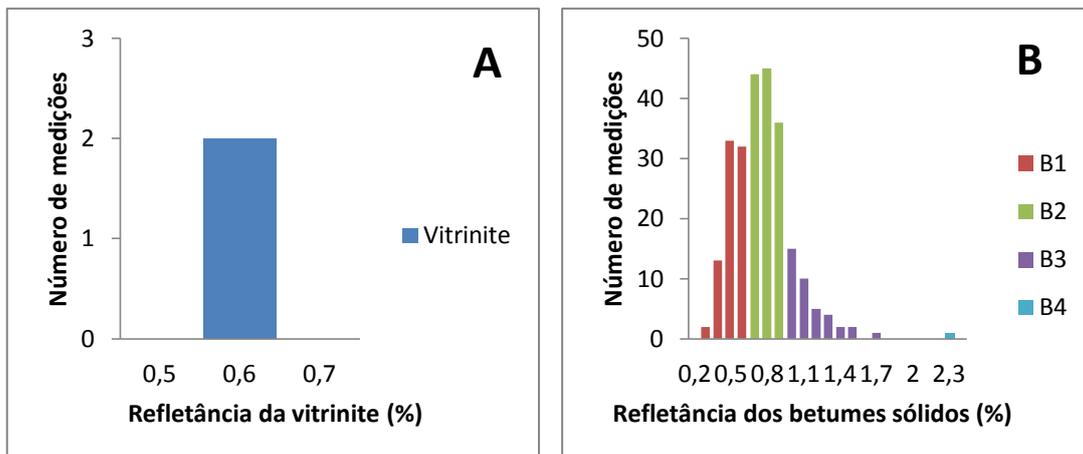


Figura I.12 - Histograma que relaciona a abundância e reflectância da vitrinite (A) e das diferentes famílias de betumes sólidos (B).

Anexo II. Cópia do trabalho aceite para publicação no volume Especial das Comunicações Geológicas e diapositivos da comunicação oral no IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa (IXCNG/2ºCoGePLiP)

The Vale das Fontes Formation in the Alcobaça area (Lusitanian Basin, Portugal): organic petrology characterization and thermal maturation

A Formação de Vale das Fontes na área de Alcobaça (Bacia Lusitânica, Portugal): caracterização petrológica e maturação térmica

João Lino Pereira^{1*}, Paula Alexandra Gonçalves², João Graciano Mendonça Filho³, Deolinda Flores^{1,2}

¹Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto, Portugal. joaolinopereira@gmail.com; paula.goncalves@fc.up.pt; dflores@fc.up.pt

²Centro de Geologia da Universidade do Porto, Rua Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto, Portugal.

³ Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânica (LAFO), Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do rio de Janeiro, Av. Athos da Silveira, 274, prédio do CCMN, sala J1020, Campus Ilha do Fundão, Cidade Universitária, CEP 21.949-900 Rio de Janeiro, Brasil. graciano@geologia.ufrj.br

* Corresponding author

Running title: Organic petrology of the Vale das Fontes Formation

Abstract

The Lower Jurassic of the Lusitanian Basin (Portugal) is characterized by marly–limestone sedimentary deposits, rich in organic matter (OM). This paper focuses on the study of the Vale das Fontes Formation (Pliensbachian) in the Alcobaça area. Its objectives are the petrographic characterization of the OM and evaluation of the thermal maturation based in organic petrographic analysis, such as vitrinite (%R_r) and solid bitumen reflectances and the identification of maceral groups, and organic geochemistry analyses, such as total organic carbon (TOC) and insoluble residue (IR). The petrographic analysis shows that OM belongs mostly to a type II kerogen. The mean random vitrinite reflectance ranges between 0.56–0.70 %R_r. The interpretation of solid bitumens reflectance and their optical characteristics allowed to distinguish three different families. The solid bitumen family with the lowest reflectance, which values range between 0.39–0.65 %R_r, was classified as grahamite. The solid bitumen families with reflectance values between 0.72–0.85 %R_r and 1.04–1.61 %R_r were classified as impsponites. The vitrinite reflectance indicates that the OM is thermally mature. TOC values range between 0.55–2.91 wt.%, pointing out a fair to very good content of organic carbon. IR values lower than 50 % confirms the presence of carbonate sediments.

Keywords - organic matter; vitrinite; solid bitumen; maturation; Lower Jurassic

Resumo

O Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica é caracterizado por depósitos sedimentares de origem margo-calcária, ricos em matéria orgânica (MO). O presente trabalho incide no estudo da Formação de Vale das Fontes (Pliensbaquiano) na área de Alcobaça. Tem como objetivos a caracterização petrográfica da matéria orgânica e avaliação da sua maturação térmica, baseada em análises de petrografia orgânica, tais como a medição do poder refletor da vitrinite (%R_r) e de betumes sólidos e identificação de grupos de

macerais, e análises de geoquímica orgânica, tais como carbono orgânico total (COT) e resíduo insolúvel (RI). A análise petrográfica mostra que a MO pertence maioritariamente a um cerogénio tipo II. A refletância da vitrinite varia entre 0.56-0.70 %R_r. A interpretação da refletância dos betumes sólidos e das respetivas características óticas permitiu distinguir três famílias. A família de betumes sólidos com refletância mais baixa, cujos valores variam entre 0,39-0,65 %R_r, foi classificada de grahamite. As famílias de betumes sólidos com valores de refletância entre 0,72-0,85 %R_r e 1,04-1,61 %R_r, foram classificadas como imponites. A refletância da vitrinite indica que a MO analisada está termicamente matura. Os valores de COT variam entre 0.55-2.91 wt.%, apontando para um conteúdo em carbono orgânico de moderado a muito bom. Os valores de RI inferiores a 50% confirmam a presença de sedimentos carbonatados.

Palavras-chave - matéria orgânica; vitrinite; betume sólido; maturação; Jurássico Inferior

1.Introduction

In sedimentary rocks, the organic matter (OM) represents remains of plants or animals, which amount in sediments is controlled by a variety of biological, physical and chemical factors (Taylor et al., 1998). The basis on which the components of OM are classified is determined by their characteristics such as the origin, nature and properties. Therefore, all occurrences of OM in rocks can be compared qualitatively and quantitatively (Taylor et al., 1998).

The Vale das Fontes Formation (Fm) from the Lusitanian Basin (LB), Portugal, is characterized by a marly–limestone deposition in a marine hemipelagic environment (Duarte and Soares, 2002). In recent years, many papers have been published about its OM content and hydrocarbon potential (e.g., Duarte, 2007; Duarte et al., 2005, 2010; Ferreira et al., 2010; Oliveira et al., 2006; Silva et al., 2011, 2012, 2013).

The aims of this paper are: i) to characterize the dispersed organic matter (DOM) to define the kerogen type; and ii) to assess the OM thermal maturation of Vale das Fontes Fm in Alcobaça area.

2. Geological Setting

The LB is located in the western Iberian margin and is associated with the opening of the North Atlantic Ocean. It belongs to a family of sedimentary basins called Atlantic margin basins (Ribeiro et al., 1979). The LB has an approximate area of 22,000 km², a length of about 300 km in north-south direction and 150 km in the east-west direction, including the offshore areas (Azerêdo et al., 2003). Its northern limit corresponds to a transition in échelon to the Porto Basin and the southern boundary is defined by the Arrábida fault (Kullberg et al., 2013). To the east, the LB is bounded by the Porto-Tomar shear zone and to west it is limited by the Variscan (granitic and metamorphic) Berlenga Horst (Pinheiro et al., 1996). This basin is filled with approximately 5 km of sediments from Late Triassic to Cretaceous, covered with Cenozoic sediments (e.g., Azerêdo et al., 2003; Wilson, 1988).

During the Early Jurassic, the LB was characterized by carbonate sedimentation (e.g., Azerêdo et al., 2003). The depositional systems changed markedly during this interval, from peritidal facies in the Early–Late Sinemurian to hemipelagic deposition in the Pliensbachian, the latter corresponding mostly to the Vale das Fontes Fm (Duarte and Soares, 2002), the focus of this paper.

The Vale das Fontes Fm represents an interval of marly sedimentation, widely spread across the basin, which range in age from the lowermost Jamesoni to the Margaritatus chronozones (Duarte et al., 2010; Silva et al., 2011). It is subdivided into three informal members (Mb): i) MLUP Mb - Marls and limestones with *Uptonia* and *Pentacrinus*; ii) LML Mb - Lumpy marls and limestones; and iii) MLOF Mb – Marly limestones with organic-rich facies (Duarte et al., 2010). The MLUP Mb is formed by marl and marly limestones. The LML Mb is composed of marl, marly limestone and lumpy limestones. The MLOF Mb consists of laminated gray marls, alternating with limestones facies (Duarte et al., 2010).

3. Materials and Methods

Ten cutting samples from the Vale das Fontes Fm (Table 1), collected at intervals of two meters from a well drilled in the Alcobaça area, were selected for this study. Whole rock polished blocks were prepared according to standard procedures (ASTM D2797-11a). Microscopic observations were performed on a Leica DM4000 microscope equipped with a Discus-Fossil system using a 50x oil immersion objective. Reflected white and blue lights were used to characterize the organic matter. Vitrinite random reflectance (%R_r) and solid bitumen reflectance were measured according to standard procedures (ASTM D7708-11) using the standards calibration with reflectance of 0.428% and 0.905% and an optical black glass (zero). The DOM was classified according to the ICCP-TSOP classification and the ICCP nomenclature for the organic constituents (ICCP 1998, 2001; Taylor et al, 1998) was used.

TOC and IR analyses were carried out in all samples. The TOC was determined on a LECO analyzer SC144 after removing the carbonate fraction by acidification (50% HCl).

4. Results and discussion

In this study, ten whole rock samples distributed vertically throughout Vale das Fontes Fm, were analyzed. It was observed several common aspects in all samples, such as macerals belonging to vitrinite, liptinite and inertinite groups (Fig. 1).

The vitrinite group is represented in all samples, however in some of them it is not abundant. The mean random reflectance of vitrinite (Fig. 1A) ranged from 0.56 to 0.70 %R_r (Table 1). The inertinite group is represented by fusinite, semifusinite and macrinite. The liptinite group includes sporinite, cutinite, alginite (including acritarchs and dinoflagellates cysts; Fig. 1C and 1F) and bituminite (Fig.1B). The bituminite has a pelicular aspect, suggesting remnant of microbial mats. The occurrence of these macerals point out that the DOM is mostly composed by a type II kerogen.

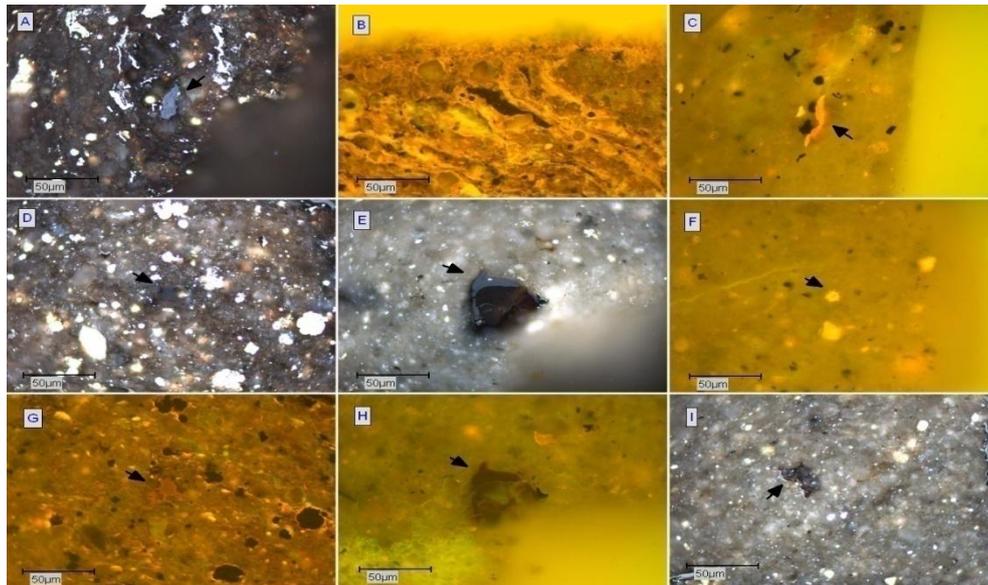


Figure 1 - Photomicrographic taken under reflected white light (RL) and fluorescence mode (FM). Vitrinite (A); bituminite (B); alginite (C); dinoflagellate cyst (F); grahamite (D and G); impsonite (E, H and I). RL: A, D, E and I. FM: B, C, F, G and H.

Figura 1 - Fotomicrografia obtida em luz branca refletida (LR) e fluorescência (F). Vitrinite (A); betuminite (B); alginite (C); cisto dinoflagelado (F); grahamite (D e G); impsonite (E, H e I). LR: A, D, E e I. F: B, C, F, G e H.

Solid bitumens occur in all samples and were found filling voids, like intergranular and fracture porosity in between the inorganic matter. According to their optical characteristics, such as reflectance and fluorescence, it was possible to distinguish three different families. The first one (Fig. 1D), with reflectance values between 0.3–0.65 %R_r (Table 1), shows an intense orange fluorescence (Fig.1G) and was classified as grahamite according to Jacob (1989) bitumen classification. The second family (Fig. 1E), displays a mean random reflectance values from 0.72–0.85 %R_r (Table 1) and an orange-brown fluorescence (Fig. 1H). The third family (Fig. 1I) is only represented in three samples and exhibit reflectance values between 1.04–1.61 %R_r (Table 1). These last two families belong to the impsonite group and are epi-impsonite (Jacob, 1989). Figure 2 shows a histogram relating the abundance and reflectance of these three families of solid bitumens.

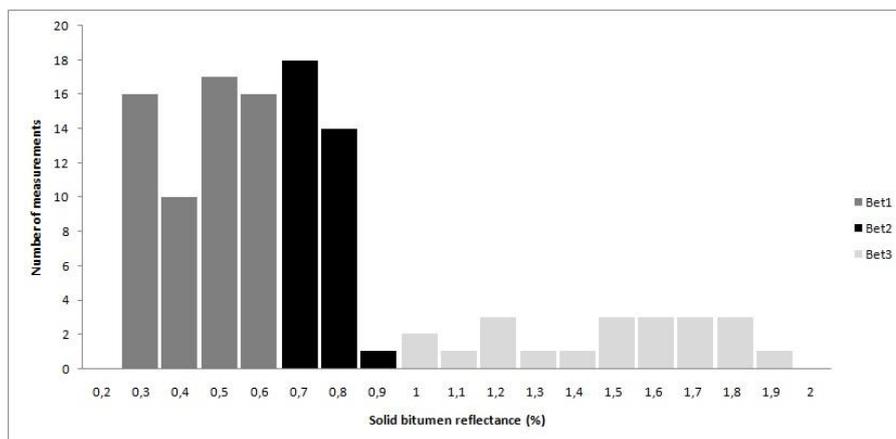


Figure 2 - Histogram relating the abundance and reflectance of the three families of solid bitumens.

Figura 2 - Histograma que relaciona a abundância e refletância das três famílias de betumes sólidos.

Jacob's equation [$VR_{eqV} = (0.618 \cdot \text{bitumen reflectance}) + 0.4$] correlates the reflectance of solid bitumen with the equivalent vitrinite reflectance (Jacob, 1989). Applying this equation to grahamite reflectance values, the results obtained for the equivalent vitrinite reflectance (Table 1) are in concordance with the vitrinite values measured in each sample.

Table 1 - Mean random reflectance values of vitrinite, solid bitumens and vitrinite equivalent calculated according to Jacob (1989), and geochemical data.

Tabela 1 - Refletância da vitrinite, betumes sólidos e vitrinite equivalente calculada de acordo com Jacob (1989), e dados geoquímicos.

Sample	%R _r V	SD	N	%R _r B1	%R _r B2	%R _r B3	%R _{eqV}	TOC (wt.%)	IR (%)
ALC1568	0.65	0.072	12	0.65	0.81	1.61	0.80	0.55	25
ALC1570	0.65	0.099	22	0.59	0.78	1.04	0.76	0.97	37
ALC1574	0.61	0.066	26	0.39	0.82	-	0.64	2.91	50
ALC1576	0.56	0.119	20	0.51	0.78	-	0.71	1.89	50
ALC1578	0.57	0.097	17	0.54	0.82	-	0.73	1.43	50
ALC1580	0.59	0.079	13	-	0.83	-	-	1.38	47
ALC1582	0.64	1.010	10	0.50	0.79	1.38	0.71	2.70	39
ALC1584	0.60	0.095	6	0.54	0.72	-	0.73	1.05	36
ALC1586	0.64	0.079	7	0.59	0.85	1.35	0.76	1.23	46
ALC1588	0.70	0.097	9	0.44	0.77	-	0.67	0.92	43

%R_r V - mean random vitrinite reflectance; SD - standard deviation for vitrinite reflectance measurements; N - number of vitrinite reflectance measurements; %R_r B1 - mean random grahamite solid bitumen reflectance; %R_r B2 - mean random imponite solid bitumen reflectance; %R_r B3 - mean random imponite solid bitumen reflectance; %R_{eqV} - vitrinite reflectance equivalent; TOC - total organic carbon; IR - insoluble residue

The oil-window starts when vitrinite reflectance values range between 0.4 to 0.6 %R_r, depending on the kerogen type (Peters et al., 2005). Considering the reflectance values for vitrinite (Table 1), OM in these samples is at the beginning of catagenesis and is in a mature stage.

TOC values (Table 1) range between 0.55–2.91 wt.%. These values point out a fair to very good content of organic carbon (Peter & Cassa, 1994), taking into account that the samples correspond to carbonate facies. The higher TOC values are associated with the highest bituminite abundance.

The IR values (Table 1) range from 25 to 50 %, which means the carbonates predominate over the terrigenous fraction in almost all samples. These data confirm the petrographic observations where carbonates, pyrite and iron oxides were identified.

5. Conclusions

Petrographic characterization and evaluation of thermal maturation of the dispersed organic matter from Vale das Fontes Formation in the Alcobaça area were the main goals of this research. The DOM in this unit is mainly composed of vitrinite, liptinite and solid bitumens. A type II kerogen was identified. The vitrinite random reflectance values point out that the OM analysed is thermally mature. Three different families of solid bitumens were identified as grahamite and epi-impsonite.

Acknowledgments

The authors would like to thank GalpEnergia and PortoEnergy for providing the well to this study, which provides new organic and geochemical data from Vale das Fontes Formation. This work was partially funded by FEDER funds through the Operational Program Competitiveness Factors - COMPETE and by national funds through FCT under the project PEst-OE/CTE/UI0039/2014.

References

ASTM D2797-11a. Petrographic Analysis of Coal and Coke: Standard Practice for Preparing Coal Samples for Microscopical Analysis by Reflected Light.

ASTM D7708-11. Analysis by Reflected Light: Standard Test Method for Microscopical Determination of the Reflectance of Vitrinite Dispersed in Sedimentary Rocks.

Azerêdo, A.C., Duarte, L.V., Henriques, M.H., Manupella, G., 2003. Da dinâmica continental no Triásico aos mares do Jurássico Inferior e médio. Cadernos de Geologia de Portugal. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 43p.

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, Lisboa, pp. 115-134.

Duarte, L.V., 2007. Lithostratigraphy, sequence stratigraphy and depositional setting of the Pleinsbachian and Toarcian series in the Lusitanian Basin (Portugal). In: R. B. Rocha (Ed.), The Peniche section (Portugal). Contributions to the definition of the Toarcian GSSP. International Subcommission on Jurassic Stratigraphy, ISBN 978-972-8893-14-9, 17- 23.

Duarte, L.V., Rodrigues, R., Oliveira, L.C., Silva, F., 2005. Avaliação preliminar das variações do carbono orgânico total nos sedimentos margosos do 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., Oliveira, L.C.V., Comas-Rengifo, M.J., 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.

Ferreira, R., Mendonça Filho, J.G., Duarte, L. V., Silva, R.L., Mendonça, J.O., 2010. Variação organofaciológica na sucessão rica em matéria orgânica do Pliensbaquiano de Peniche (Bacia Lusitânica, Portugal). In: Actas X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa/XVI Semana de Geoquímica, Porto (Resumos pp. 104; CD pp. 301-308).

ICCP, 1998. The new vitrinite classification (ICCP System 1994). *Fuel* 77, 349-358.

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"). *Int. J. Coal Geol.*, 11, 65-79.

Kullberg, J.C., Rocha, R.B., Soares, A.F., Rey, J., Terrinha, P., Azerêdo, A.C., Callapez, P., Duarte, L.V., Kullberg, M.C., Martins, L., Miranda, R., Alves, C., Mata, J., Madeira, J., Mateus, O., Moreira, M., Nogueira, C.R., 2013. A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. In: Dias, R.,

Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J. C. (Eds.), *Geologia de Portugal, Vol. II, Geologia Meso-cenozóica de Portugal*; Livraria Escolar Editora, Lisboa, Cap.III.3, 195-347.

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.

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.

Peters, K.E., Walters, C.C., Moldovan, J.M. 2005. *The Biomarker Guide. Vol 2, Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History*, second Ed, Cambridge University Press, 1155 p.

Pinheiro, L.M., Wilson, R.C.L., Pena dos Reis, R.P., Whitmarsh, R.B., Ribeiro, A., 1996. The Western Iberia Margin: A Geophysical and Geological overview. In: Whitmarsh, R.B., Klaus, D.S., Masson, D.G. (Eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 149, pp. 3-23.

Ribeiro, A., Antunes, M.T., Ferreira, M.P., Rocha, R.B., Soares, A.F., Zbyszewski, G., Moitinho de Almeida, F., Carvalho, D., Monteiro, J.H., 1979. *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 114 p.

Silva, R.L., Duarte, L.V., and Mendonça Filho, J.G., 2013. Optical and geochemical characterization of Upper Sinemurian (Lower Jurassic) fossil wood from the Lusitanian Basin (Portugal). *Geochem J* 47, 489–498.

Silva, R.L., Duarte, L.V., Comas-Rengifo, M.J., Mendonça Filho, J.G. and Azerêdo, A.C., 2011. Update of the carbon and oxygen isotopic records of the Early–Late Pliensbachian (Early Jurassic, ~187 Ma): Insights from the organic-rich hemipelagic series of the Lusitanian Basin (Portugal). *Chem Geol* 283, 177–184.

Silva, R.L., Mendonça Filho, J.G., Da Silva, F.S., Duarte, L.V., Silva, T.F., Ferreira, R. and Azerêdo, A.C., 2012. Can biogeochemistry aid in the palaeoenvironmental/early diagenesis reconstruction of the ~187 Ma (Pliensbachian) organic-rich hemipelagic series of the Lusitanian Basin (Portugal)? *Bulletin of Geosciences* 87, 373–382.

Taylor, G. H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C. F. K., Littke, R., Robert, P., 1998. *Organic Petrology*; Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, 704 p.

Wilson, R.C., 1988. Mesozoic development of the Lusitanian Basin, Portugal. *Rev. Soc. Geol. España*, 1, 393 - 407.

IX Congresso Nacional de Geologia
2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

**The Vale das Fontes Formation in the
Alcobaça area (Lusitanian Basin, Portugal):
organic petrology characterization and
thermal maturation**

João Lino Pereira

Paula Alexandra Gonçalves

João Graciano Mendonça Filho

Deolinda Flores

22/07/2014



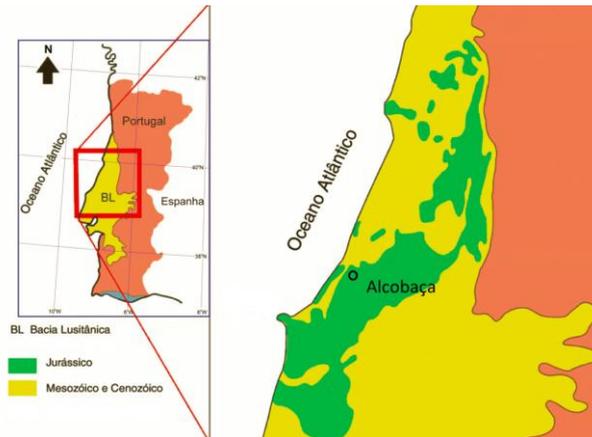
Introdução

- ▶ Estudo de matéria orgânica de uma sondagem na área de Alcobaça;

Objetivos:

- ▶ Caracterizar a matéria orgânica dispersa para definir o tipo de cerogénio;
- ▶ Avaliar a maturação térmica da matéria orgânica.

Enquadramento Geológico



Mapa de localização da Bacia Lusitânica (adaptado de Oliveira et al., 2006).

▶ 3 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

Enquadramento Geológico

Cronostratigrafia			Generalidade da bacia		
Jurássico Inferior	Pliensbaquiano	Superior	Spinatum	Formação de Lemedo	
			Margaritatus		
		Inferior	Davoei	Formação de Vale das Fontes	
			Ibex		
			Jamesoni		

Esquema litostratigráfico genérico para o Pliensbaquiano da Bacia Lusitânica (adaptado de Silva et al., 2013)

▶ 4 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

Materiais e Métodos

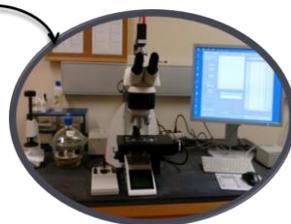
▶ Petrografia orgânica



Material de moldagem



Polimento



Microscópio
utilizado nas
observações

▶ Geoquímica orgânica



Analizador

▶ 5 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

Resultados

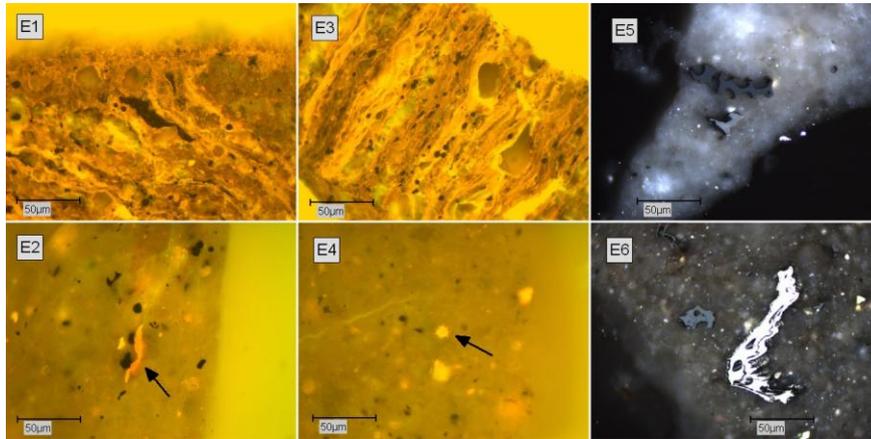
▶ Análise de COT e RI

Amostra	COT (%)	RI (%)
ALC1568	0.55	25
ALC1570	0.97	37
ALC1574	2.91	50
ALC1576	1.89	50
ALC1578	1.43	50
ALC1580	1.38	47
ALC1582	2.70	39
ALC1584	1.05	36
ALC1586	1.23	46
ALC1588	0.92	43

▶ 6 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

Resultados

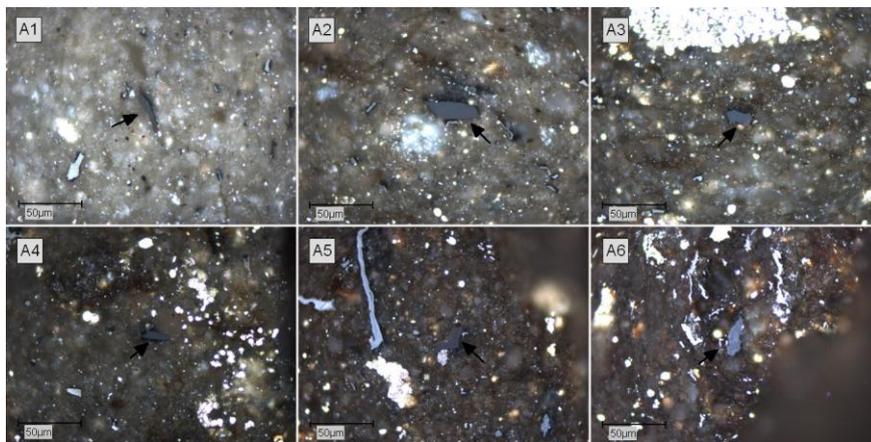
▶ Liptinite e Inertinite



▶ 7 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

Resultados

▶ Vitrinite



▶ 8 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

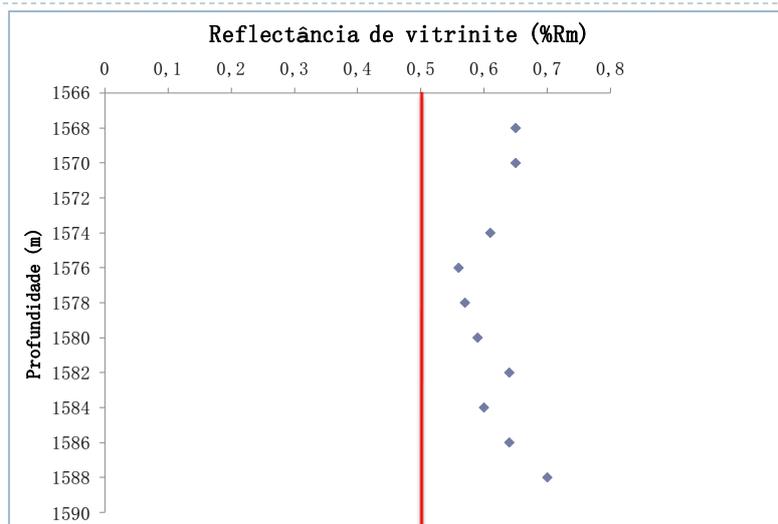
Resultados

► Reflectância, desvio padrão e número de medições de vitrinite

Amostra	% R _m V	DP	N
ALC1568	0.65	0.072	12
ALC1570	0.65	0.099	22
ALC1574	0.61	0.066	26
ALC1576	0.56	0.119	20
ALC1578	0.57	0.097	17
ALC1580	0.59	0.079	13
ALC1582	0.64	0.101	10
ALC1584	0.60	0.095	6
ALC1586	0.64	0.079	7
ALC1588	0.70	0.097	9

► 9 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

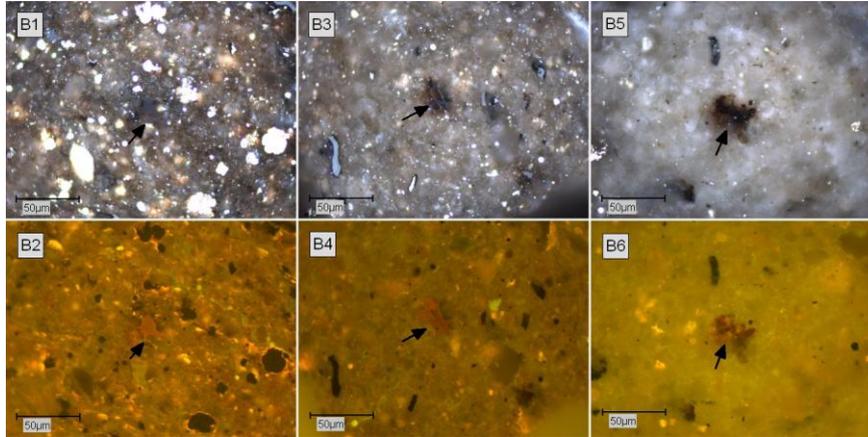
Resultados



► 10 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

Resultados

► Família de betumes sólidos B1



► 11 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

Resultados

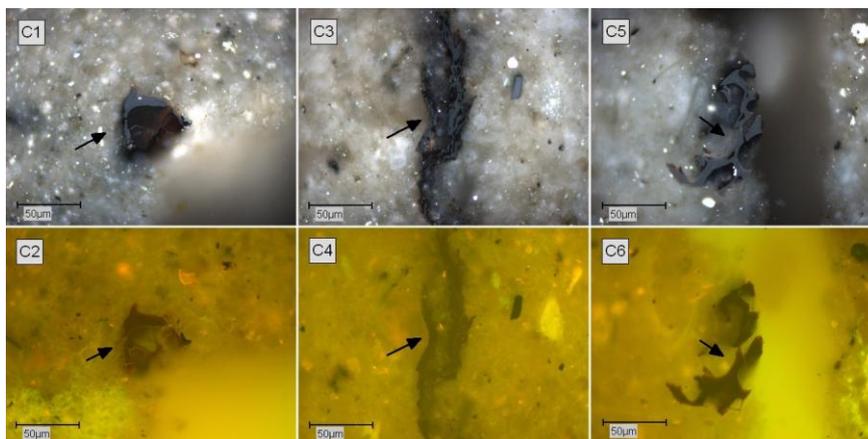
► Reflectância, desvio padrão e nº de medições de B1

Amostra	% $R_m V$	DP	N
ALC1568	0.65	-	1
ALC1570	0.59	0.097	10
ALC1574	0.39	0.122	13
ALC1576	0.51	0.124	15
ALC1578	0.54	0.151	9
ALC1580	-	-	-
ALC1582	0.50	-	1
ALC1584	0.54	0.070	3
ALC1586	0.59	0.088	4
ALC1588	0.44	0.137	3

► 12 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

Resultados

► Família de betumes sólidos B2



► 13 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

Resultados

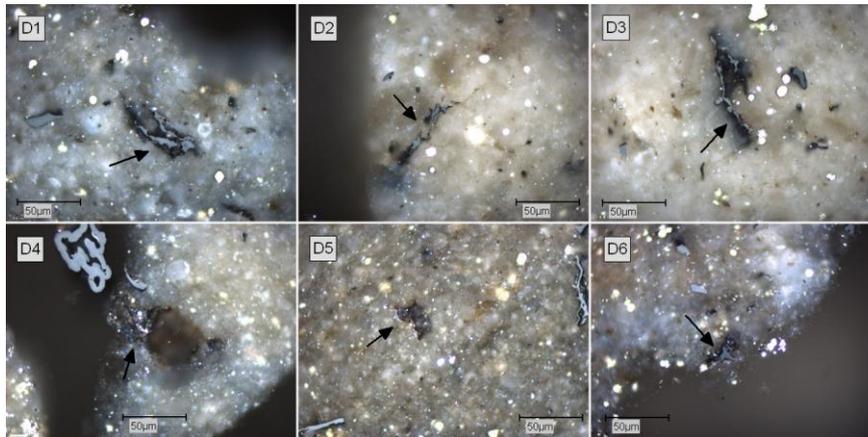
► Reflectância, desvio padrão e nº de medições de B2

Amostra	% R _m V	DP	N
ALC1568	0.81	0.056	9
ALC1570	0.78	0.042	7
ALC1574	0.82	–	1
ALC1576	0.78	0.57	3
ALC1578	0.82	0.56	4
ALC1580	0.83	–	1
ALC1582	0.79	–	1
ALC1584	0.72	0.028	2
ALC1586	0.85	0.028	2
ALC1588	0.71	0.104	3

► 14 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

Resultados

► Família de betumes sólidos B3



► 15 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

Resultados

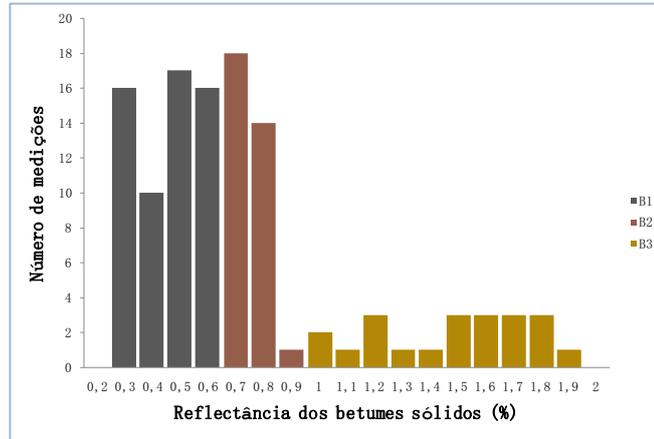
► Reflectância, desvio padrão e nº de medições de B3

Amostra	% R _m V	DP	N
ALC1568	1.61	0.243	15
ALC1570	1.04	–	1
ALC1574	–	–	–
ALC1576	–	–	–
ALC1578	–	–	–
ALC1580	–	–	–
ALC1582	1.38	0.255	2
ALC1584	–	–	–
ALC1586	1.35	–	1
ALC1588	–	–	–

► 16 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

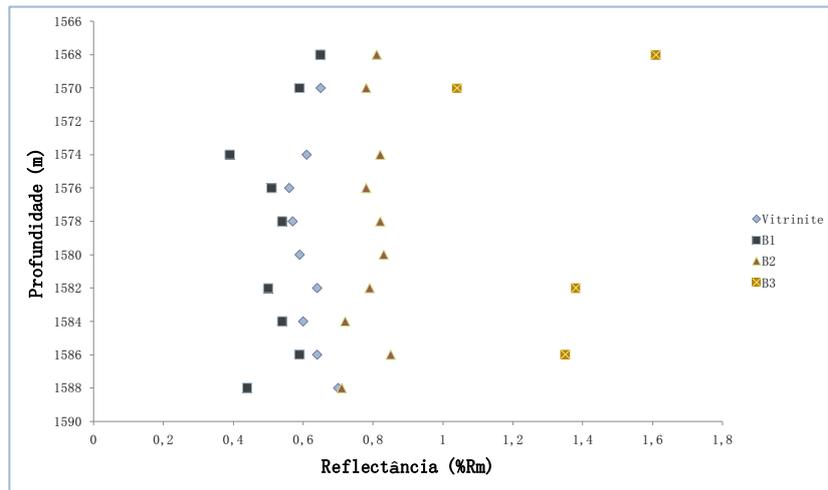
Resultados

- ▶ Histograma de distribuição das diferentes famílias de betumes sólidos



- ▶ 17 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

Resultados



- ▶ 18 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

Resultados

- ▶ Reflectância equivalente da vitrinite

Amostra	% R _m V	%R _{eqv} V
ALC1568	0.65	0.80
ALC1570	0.65	0.76
ALC1574	0.61	0.64
ALC1576	0.56	0.71
ALC1578	0.57	0.73
ALC1580	0.59	–
ALC1582	0.64	0.71
ALC1584	0.60	0.73
ALC1586	0.64	0.76
ALC1588	0.70	0.67

$$R_{eqv}V = (0.618 * \text{reflectância de betume sólido}) + 0.4$$

- ▶ 19 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

Considerações finais

- ▶ Os valores de COT apontam para um conteúdo em carbono orgânico de moderado a muito bom;
- ▶ Os valores de RI confirmam a presença de sedimentos carbonatados;
- ▶ O cerogénio é maioritariamente tipo II;
- ▶ Os valores de refletância da vitrinite indicam uma MO termicamente madura;
- ▶ As famílias de betumes sólidos foram identificadas como grahamite e epi-impsonite.

- ▶ 20 IX Congresso Nacional de Geologia e 2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa

Obrigado!!
